

UNIVERSIDAD DE SONORA

DIVISIÓN DE INGENIERÍA



POSGRADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

DISEÑO Y VALIDACIÓN DE UN SISTEMA DE VISIBILIDAD
DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN APLICANDO
TECNOLOGÍA RFID EN UNA EMPRESA DE MANUFACTURA
DE PERSIANAS

T E S I S

PRESENTADA POR

RODOLFO EDUARDO RAMÍREZ HERNÁNDEZ

Desarrollada para cumplir con uno de los
requerimientos parciales para obtener el grado
de Maestro en Ingeniería

DIRECTOR DE TESIS

M.C. GUILLERMO CUAMEA CRUZ

HERMOSILLO, SONORA.

AGOSTO 2013

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

RESUMEN

Los Sistemas de Visibilidad son utilizados en los procesos de manufactura para ayudar a tomar decisiones inteligentes para mejorarlo. Estos sistemas son un elemento esencial de la estrategia de negocios que sirve como apoyo para obtener una ventaja competitiva a través del atributo de visibilidad de la producción en tiempo real. RFID (Identificación por Radiofrecuencia, por sus siglas en inglés) es un Sistema Automático de Identificación y Adquisición de Información que permite recolectar y transferir datos de producción y de negocios. Esta tecnología utiliza ondas de radiofrecuencia para transferir la información desde una etiqueta electrónica (etiqueta RFID) adherida al objeto de interés, a través de un transmisor y receptor de señal (lector RFID) con el propósito de identificar y monitorear el producto a través del proceso de manufactura. Este trabajo presenta las generalidades de la tecnología RFID y aplica este conocimiento a una Organización de Manufactura en México a través de un Protocolo Complejo de Aplicación RFID.

ABSTRACT

The Visibility Systems are utilized in the manufacturing processes to detect the status of the activities, analyze its performance and help make intelligent decisions to improve it. These systems are an essential element of the business strategy that helps obtaining competitive advantage through a real-time visibility feature. RFID is an Automated Data Identification and Acquisition System that allows collecting and transferring production and business information. This technology uses radiofrequency waves to transfer the data from an electronic tag (RFID tag) adhered to an object, through a transceiver (RFID reader) for the purpose of identifying and tracing the object of interest through the manufacturing process. This paper (derived from an in-process academic thesis) introduces to the basics of the RFID technology and applies this knowledge to a complex RFID Application Protocol at a Custom Blind Manufacturing Organization in Mexico.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	ii
ABSTRACT	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE SIGLAS	xi
1 INTRODUCCIÓN	12
1.1 Presentación	12
1.2 Objetivos	14
1.2.1 Objetivo General	14
1.2.2 Objetivos Específicos.....	14
1.3 Preguntas de Investigación.....	14
1.4 Alcances y Delimitaciones	15
1.5 Justificación	16
1.6 Hipótesis	16
2 MARCO DE REFERENCIA	17
2.1 Sistemas de Visibilidad de la Producción.....	17
2.2 Tecnología RFID	19
2.3 Comparación entre RFID y Código de Barras.....	22
2.4 Arquitectura de un Sistema RFID.....	24
2.4.1 Etiquetas RFID.....	24
2.4.2 Lectores RFID.....	25
2.4.3 Sistema Administrador Interno.....	26
2.5 Desempeño de Operación	28
2.5.1 Mejora de la Confiabilidad de Lectura.....	30
2.5.2 Orientación y Número de Etiquetas por Objeto.....	31
2.6 Experimentación para la Aplicación de RFID	32
2.6.1 Factores Significativos de Aplicación RFID.....	32
2.6.2 Programa Certificado RFID Universidad de Parma	32

2.7 Red de Rastreo RFID.....	33
2.7.1 Componentes de una RRRFID	34
2.7.2 Dinámica de Objetos en una RRRFID	34
2.7.3 Objetos y Requerimientos de una RRRFID	35
2.7.4 Rastreo de Progreso en Tiempo Real.....	36
2.9 Estándares RFID.....	37
2.10 Estudios Previos	39
2.10.1 Sistema de Ejecución de Manufactura en Tiempo Real	39
2.10.2 Sistema de Localización de Recursos (RFID-RAS)	40
2.10.3 Otras Implementaciones para el Monitoreo de la Producción.....	41
3 METODOLOGÍA.....	42
3.1 Arquitectura RFID	44
3.2 Diseño de RRFID.....	44
3.3 Parámetros Óptimos RFID.....	44
3.3.1 Descripción Experimentos	44
3.3.2 Objetivo General de los Experimentos.....	45
3.4 Simulación	45
4 IMPLEMENTACIÓN	46
4.1 Arquitectura RFID	46
I. ¿Qué tipo de aplicación RFID se desea implementar?	47
II. ¿Cuál es el mercado meta de las persianas?.....	47
III. ¿Qué características tiene la materia prima?	48
IV. ¿Qué dimensiones tiene el producto?.....	48
V. ¿Cuáles son las dimensiones del área de producción?	48
VI. ¿Qué tipo de lector se instalará?	49
4.2 Diseño de RRRFID	50
4.2.1 Arreglo Uniforme.....	50
I. Nodos	51
II. Objetos	53
III. Redes y Conexiones	53
IV. Recorrido.....	55

V. Tiempo	57
VI. Contenciones	58
4.3 Parámetros Óptimos RFID.....	60
4.3.1 Materiales	60
4.3.2 Consideraciones Previas	62
4.3.3 Altura y Potencia de Antena Lectora.....	64
I. Objetivo	64
II. Materiales	65
III. Método	65
IV. Resultados	67
V. Conclusiones	67
4.3.4 Smart Table	68
I. Objetivo	69
II. Materiales	69
III. Método	70
IV. Resultados	71
V. Conclusiones	72
4.3.5 Portal Embarques	72
I. Objetivo	73
II. Materiales	73
III. Método	73
IV. Resultados	75
V. Conclusiones	75
4.4 Simulación	76
I. Objetivo	76
II. Materiales	76
III. Método	77
IV. Resultados	78
V. Conclusiones	80
5 CONCLUSIONES.....	81
6 REFERENCIAS.....	84

7 ANEXOS 90

7.1 Especificaciones Etiqueta RFID UHF UPM Dogbone 90

7.2 Especificaciones Etiqueta RFID UHF UPM Web 92

7.3 Especificaciones Antena RFID MTI..... 94

7.4 Especificaciones Antena RFID Laird Technologies 96

7.5 Especificaciones Lector RFID UHF Speedway Revolution 97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Mapa de Proceso y Visibilidad del Área de Woven Woods.....	15
Figura 2.1 Distribución Geográfica de Frecuencias de RFID	25
Figura 2.2 Arquitectura Típica de Implementación RFID.....	27
Figura 2.3 Configuraciones de orientación de etiquetas en distintos planos.....	31
Figura 2.4 Esquema Básico de una Red de Rastreo RFID	35
Figura 3.1 Esquema Metodológico.....	43
Figura 3.2 Conveyer de Procesos RFID Lab.....	45
Figura 4.1 Layout del Área de Producción	49
Figura 4.2 Lectores RFID Distribuidos en el Área de Trabajo	51
Figura 4.3 Ubicación de Lectores RFID en Piso de Producción.....	52
Figura 4.4 Ubicación de Etiquetas en los Componentes del Producto Final	53
Figura 4.5 Red Básica de Rastre RFID	54
Figura 4.6 Reporte CA03 de SAP ®.....	55
Figura 4.7 Representación del Recorrido en el Área de Producción.....	56
Figura 4.8 Distintas Opciones Especiales	57
Figura 4.9 Reporte Sales Order Costing de SAP ®	58
Figura 4.10 Red de Rastreo RFID: Arreglo Uniforme.....	59
Figura 4.11 Apariencia de Materiales Experimento RFID	61
Figura 4.12 Apariencia física de las muestras a utilizar en el experimento	62
Figura 4.13 Colocación y Orientación de Etiquetas	63
Figura 4.14 Datos de Entrada Software RSA ®	64
Figura 4.15 Plan Experimento	66
Figura 4.16 Ilustraciones Experimento	66
Figura 4.17 Gráficas Comparativas de Detección vs. Potencia y Altura	68
Figura 4.18 Plano Experimento	70
Figura 4.19 Ilustración Experimento	71
Figura 4.20 Gráficas Comparativas de Detección vs. Potencia	72
Figura 4.21 Plano Experimento	74

Figura 4.22 Ilustraciones Experimento 74

Figura 4.23 Gráficas Comparativas de Detección vs. Potencia 75

Figura 4.24 Plano Experimento 78

Figura 4.25 Ilustraciones Experimento Conveyor 78

Figura 4.26 Datos Parciales de Visibilidad en Tiempo Real 79

Figura 4.27 Datos Completos de Visibilidad en Tiempo Real 79

Figura 4.28 Esquema General del Sistema de Visibilidad en Tiempo Real 80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Resumen de Métricos Woven Woods	13
Tabla 2.1 Comparación de Código de Barras y Etiquetas RFID	22
Tabla 2.2 Comparación de Bandas de Operación Etiquetas RFID vs. Atributos.....	25
Tabla 2.3 Comparación de Tipo de Energía Operación Etiquetas RFID vs. Atributos .	25
Tabla 2.4 Tipos de Lectores RFID y sus Características	26
Tabla 2.5 Posición Etiqueta vs. Confiabilidad de Lectura.....	28
Tabla 2.6 Aumento de Confiabilidad de Lectura con Multietiquetado	30
Tabla 2.7 Confiabilidad de Lectura para las distintas configuraciones	32
Tabla 2.8 Experimentos Realizables en el RFID Lab de Parma	33
Tabla 2.9 Rango de Frecuencias, Estándares y Aplicaciones de RFID	38
Tabla 4.1 Posibilidades de Arquitectura RFID y su Elección.....	50
Tabla 4.2 Coordenadas de la Ubicación de los lectores RFID.....	52
Tabla 4.3 Características de las Etiquetas RFID.....	60
Tabla 4.4 Características de las Antenas Lectores RFID.....	60
Tabla 4.5 Tipo y Dimensiones de las Muestras de Persianas.....	61
Tabla 4.6 Lista de Materiales	65
Tabla 4.7 Resultados Experimento	67
Tabla 4.8 Lista de Materiales	69
Tabla 4.9 Resultados Experimento	71
Tabla 4.10 Lista de Materiales	73
Tabla 4.11 Resultados Experimento	75
Tabla 4.12 Lista de Materiales	77

ÍNDICE DE SIGLAS

Auto-ID: Identificación Automática
CE: Campo Electromagnético
CEN: Comité Europeo para la Estandarización
Closed-loop: Lazo cerrado
Cordless: Sin cordón (persiana motorizada)
dBm: Decibel-miliwatt
EPC: Código Electrónico de Producto
ERP: Planeación de Recursos Empresariales
EUA: Estados Unidos de América
FCC: Comisión Federal para las Comunicaciones
GE: General Electric
GEN 2: Segunda Generación
HF: Alta Frecuencia
IEC: Comisión Electrotécnica Internacional
ISA: Sociedad Internacional de Automatización
ISO: Organización Internacional de Estándares
LF: Baja Frecuencia
MF: Microfrecuencia
OPC: Productividad y Conectividad Abiertas
Open-loop: Lazo Abierto
PLC: Controlador Lógico Programable
PMP: Producción Masiva Personalizada
RFID: Identificación por Radiofrecuencia
RFID-RAS: Sistema de Localización de Recursos basado en Tecnología RFID
R-MES: Sistema de Ejecución de Manufactura en Tiempo Real Habilitado por RFID
RRRFID: Red de Rastreo RFID
SAP: Sistemas, Aplicaciones y Procesos
Smart Table: Mesa Inteligente
SVP: Sistemas de Visibilidad de la Producción
UA: Accesibilidad Universal
UHF: Ultra Alta Frecuencia
UPM: Fábricas Unidas de Papel
T: Tiempo
W: Watts
WIP: Inventario del Trabajo en Proceso

1 INTRODUCCIÓN

El presente capítulo expone de manera breve los antecedentes teóricos para llevar a cabo el proyecto de Diseño de un Sistema de Visibilidad de la Producción utilizando Tecnología RFID (Identificación por Radiofrecuencia, por sus siglas en inglés). Se presentan los conceptos básicos que sustentan el trabajo de tesis para después plantear el problema enmarcado en una empresa de manufactura de persianas. Se establecen los objetivos generales y específicos, las preguntas de investigación, así como el alcance, las delimitaciones, la justificación y la hipótesis de la investigación.

1.1 Presentación

La empresa donde se desarrolla el trabajo de investigación recibe el nombre de Levolor Kirsch Window Fashions. Se encuentra localizada en la ciudad de Agua Prieta, Sonora y se dedica al rubro de la manufactura de persianas cuyo mercado meta se encuentra casi en su totalidad en los Estados Unidos de América y Canadá. Sus principales clientes son Lowe's, Home Depot, JC Penney y Wal Mart.

Ahora bien, los sistemas de producción se encuentran en un constante cambio hacia la mejora continua con la implementación de procesos más robustos. Sin embargo, en el ámbito de la visibilidad de los niveles de producción en tiempo real no se ha avanzado significativamente. Esto se traduce en tiempo consumido en la creación de reportes que no generan valor agregado. Sí existe un primer intento de conteo de producción al final de la línea, mas un sistema de visibilidad total sobre el sistema de producción es necesario para fines informativos, de medición del desempeño del sistema y toma de decisiones sobre su mejora inmediata y futura. Por lo general los datos de producción se conocen con un retraso de un día (a veces es demasiado tarde para lograr correcciones puntuales). Ver la Tabla 1.1 para un resumen completo de métricos de la empresa.

El área específica de la empresa donde se realizará el presente trabajo de tesis recibe el nombre de Woven Woods. En esta área se fabrican persianas de tela, bambú y carrizo. Los componentes están constituidos casi en su totalidad de madera seca.

En la organización de interés no existe un sistema capaz de proporcionar en tiempo real la detección de piezas ni el desempeño del sistema de producción sobre cualquier parte del proceso de manufactura con el grado de precisión requerida. Además, existen casos frecuentes en que los clientes deciden realizar cambios en las características del producto cuando la orden ya está siendo procesada.

El tiempo invertido en la detección y contención de las piezas implicadas genera costos a la organización debido a que en muchos casos se llegan a manufacturar, empaquetar o embarcar partes terminadas que generarían retrabajo y desperdicios debido a las modificaciones que se tendrían que realizar sobre las mismas. Al recibir quejas de clientes no se tiene la certeza de cómo, quién, cuándo y dónde se produjo la orden de interés para darle seguimiento puntual.

MÉTRICO	OBJETIVO 2012	ACTUAL 2013
Eficiencia	>80%	75%
Persianas enviadas	62656	21763
Calidad interna	3223 ppms	5057 ppms
Calidad externa	4750 ppms	6820 ppms
Entregas a tiempo	>98%	94.7%

Tabla 1.1 Resumen de Métricos Woven Woods.

Los únicos puntos de visualización del flujo de la producción están al inicio y al final del proceso donde solo parte de las operaciones pueden ser monitoreadas. Esto representa una gran incertidumbre sobre la utilización real de los recursos. Derivada de esta visibilidad limitada, dependiente del escaneado del operador, hay una aplicación de consulta llamada *Line Monitor* que puede ser accedida por miembros clave de la organización para obtener información de monitoreo. Ver figura 1.1 para más detalle.

1.2 Objetivos

A continuación se presentan los objetivos del presente trabajo de tesis que representan la motivación de la investigación.

1.2.1 Objetivo General

Diseñar y Validar un Sistema que logre una Visibilidad Integral del Proceso de Manufactura de Persianas Woven Woods utilizando Tecnología RFID.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a. Seleccionar la Arquitectura RFID que mejor se adecue al Producto y al Proceso de Manufactura.
- b. Diseñar una Red de Rastreo RFID para el Proceso de Manufactura de Persianas.
- c. Obtener Parámetros Óptimos de Aplicación RFID en un Ambiente Controlado.
- d. Simular el Proceso de Manufactura y la Instalación de la Tecnología para asegurar la Detección de las Persianas durante su fabricación.

1.3 Preguntas de Investigación

- a. ¿Qué características específicas deben tener los componentes de Arquitectura RFID para poder ser aplicados en el Proceso de Producción de Persianas?
- b. ¿Es posible lograr la Detección del Producto durante el Proceso de Producción utilizando la Tecnología RFID?
- c. ¿Qué parámetros son los adecuados para una aplicación RFID en la Fábrica de Persianas?

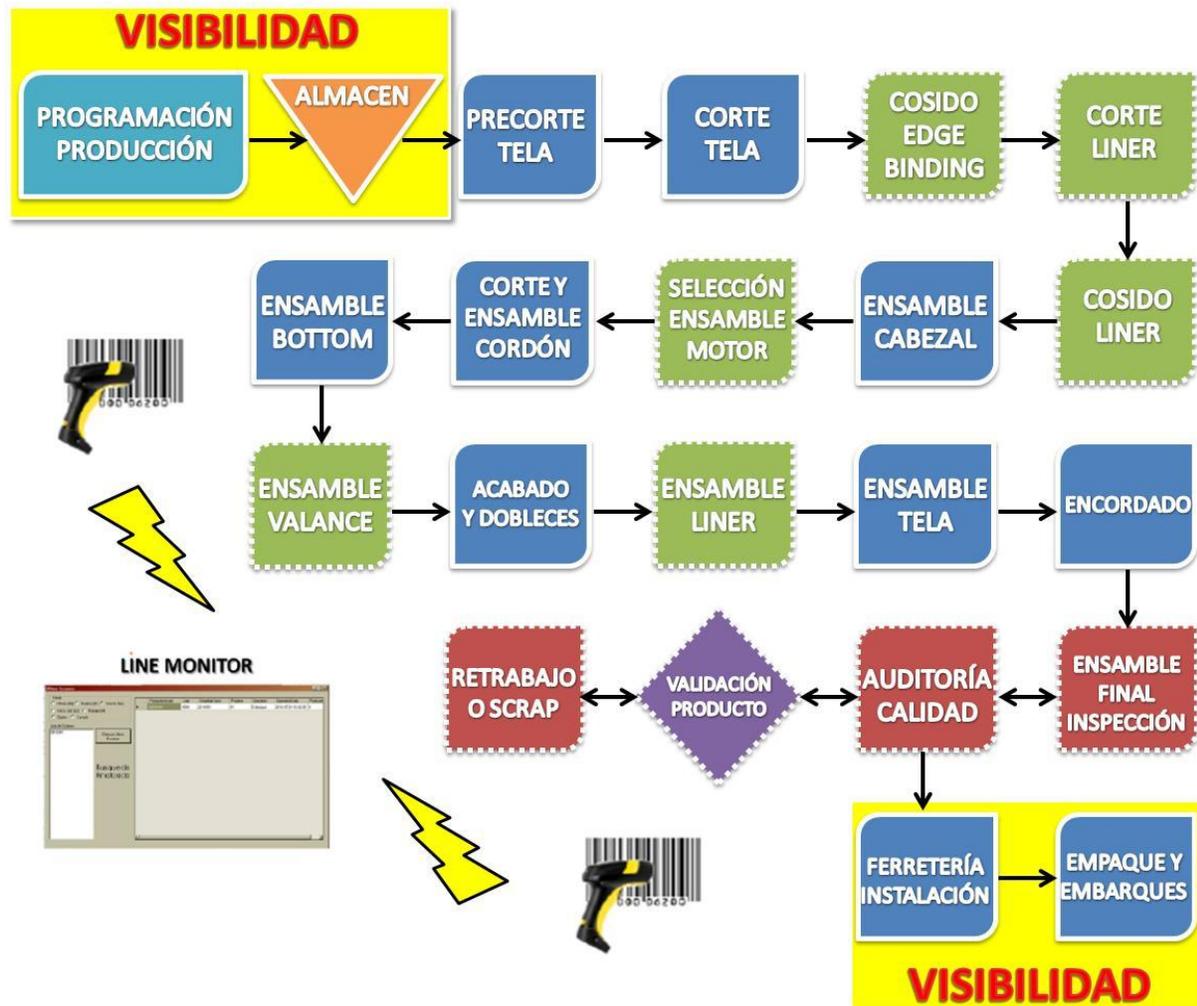


Figura 1.1 Mapa de Proceso y Visibilidad del Área de Woven Woods.

1.4 Alcances y delimitaciones

El presente trabajo de tesis abordará los rubros de Diseño, Medición y Simulación del Sistema de Visibilidad de la Producción utilizando tecnología RFID, considerando el aspecto de experimentación en un laboratorio RFID. El análisis económico queda fuera de los alcances del trabajo de investigación. Finalmente, no se pretende instalar la tecnología en la organización bajo estudio, mas sí se proporcionará una guía valiosa que facilitará su futura adopción y asegurará el éxito de su implementación.

1.5 Justificación

Debido a la necesidad de contar con un sistema capaz de visualizar el producto durante el proceso de manufactura de manera integral, el presente trabajo se justifica al obtenerse como resultado un diseño RFID completo para la implementación exitosa de la tecnología RFID en el proceso de producción de persianas.

De manera particular se asegurará una correcta migración de la tecnología de código de barras, actualmente utilizada como tecnología de identificación, a la tecnología RFID considerando las herramientas y recursos instalados en la propia organización.

Se contará con una base experimental sólida que proporcione parámetros óptimos de aplicación a la empresa de tal forma que se asegure la compatibilidad de la tecnología con las características del Producto y del Proceso de Producción.

Ya que la aplicación de la tecnología RFID no ha sido documentada anteriormente para el proceso de producción de persianas, se proporcionará una guía de diseño y validación previa a la implementación de protocolos RFID similares.

1.6 Hipótesis

Hip₁: “La tecnología RFID es compatible con el producto de Woven Woods y el proceso de producción actuales de la organización”.

Hip₂: “Es posible diseñar y validar experimentalmente un sistema de visibilidad del proceso de producción de persianas haciendo uso de la tecnología RFID”.

2 MARCO DE REFERENCIA

Hoy en día, las empresas buscan no solo cumplir con los requerimientos establecidos sino el poseer, además, una ventaja competitiva (Alien Technologies, 2007) diferenciable que genere preferencia del consumidor. Esta ventaja competitiva puede ser adquirida desde diversos ámbitos empresariales, siendo uno de los más importantes el de la manufactura.

La manufactura se define esencialmente como la transformación de bienes haciendo uso de recursos de producción (herramientas, trabajadores, etc.). Además de la transformación de entidades físicas, la manufactura también crea información nueva, como pueden ser los parámetros de los artículos producidos y las condiciones o relaciones establecidas durante el propio proceso de manufactura (Ilie-Zudor *et al.*, 2011). Además, la manufactura moderna se caracteriza por tener una gran gama de productos, cambios frecuentes en la programación de la producción y demandas constantes hacia mayores estándares de calidad y producción (Ostojic *et al.*, 2011).

Dicho lo anterior se deriva una creciente complejidad de los procesos y una demanda externa (transparencia de procesos, documentación de la seguridad y calidad de los productos, etc.) que exigen una necesidad de identificación única de las entidades que forman parte de los procesos de fabricación (Ilie-Zudor *et al.*, 2011).

Muchas compañías de manufactura adoptan nuevos sistemas de información para monitorear actividades de fabricación y tomar acción inmediata para resolver cualquier evento emergente que pudiera causar un trastorno en la producción o alguna insatisfacción del cliente. El sistema de producción implica la fabricación de productos que satisfagan a los clientes, en las fechas y términos estipulados con la calidad requerida y bajo principios de racionalización, de minimización de costos y maximización de utilidades (Byrd *et al.*, 2006).

2.1 Sistema de Visibilidad de la Producción

Uno de los componentes primordiales de un Sistema de Visibilidad de la Producción (SVP) es el Monitoreo, el cual se define como la habilidad de localizar físicamente los artículos dentro de las instalaciones. La posibilidad de conocer en tiempo real la localización de un bien específico reduce la incertidumbre permitiendo una mejor alineación física y un mayor flujo de información. (Canetta *et al.*, 2011).

El rastreo, que también forma parte de los SVP, se refiere a la capacidad de una aplicación de monitorear bienes, descubrir información referente a su estado pasado y estimar potencialmente su estado futuro. El rastreo es vital para las operaciones de negocios efectivos y para tomar decisiones de manera oportuna, que es fundamental para un gran rango de aplicaciones empresariales como el control de inventarios, la planeación de distribución, el control de la manufactura, entre otras. (Wu *et al.*, 2011). Un concepto relevante del Monitoreo y Rastreo es la predicción que se define como la habilidad de determinar el estado futuro posible de un artículo (Kelepouris *et al.*, 2006).

Los SVP en los procesos de producción son utilizados para detectar el estado del sistema, analizar el desempeño del mismo y ayudar a la toma de decisiones (Monette y Van Bogart, 2009). Asimismo, los SVP proporcionan una historia completa del ciclo del producto para propiciar soluciones precisas y minimizar el número de productos que regresan a la empresa como queja de cliente (Rönkkö, 2006).

Dichos sistemas son un elemento esencial para lograr la deseada ventaja competitiva y los objetivos estratégicos como lo son la salida de productos, entregas a tiempo y aumento en la eficiencia de producción (Rönkkö, 2006).

De la misma manera, la visibilidad en tiempo real es considerada como una característica fundamental dentro de los llamados Sistemas de Manufactura de Siguiete Generación (Huang *et al.*, 2008). Contar con un sistema de visibilidad en tiempo real de los niveles de producción ayudará a tomar decisiones sobre las estrategias de mejora en el proceso (Harvestmark, 2008).

En una típica base de datos histórica de un SVP, es posible determinar precisamente cuándo y dónde se construyó un producto simplemente escaneando el número de serie. Es posible, a su vez, identificar la lista de todos los componentes que fueron utilizados para manufacturar el producto (Monette y Van Bogart, 2009).

El control de producción es un aspecto crítico de los SVP. La palabra control se refiere a todos los aspectos de prueba de error. Si se pretende que el SVP reúna datos de rastreo, las funciones de control asegurarán que los operadores estén utilizando el producto y materiales correctos garantizando el cien por ciento de precisión en los datos de rastreabilidad (OEE, 2009).

De manera general, en caso del rastreo de un producto en proceso, es lógico y benéfico unir cada punto de detección a una ruta de ensamble predefinida. En este caso, el SVP sirve para comparar el estado y ubicación actual del producto comparado contra dónde debería estar. Cuando se rastrean productos seriados, la información básica del tiempo de ciclo puede ser una base de datos potencial para el monitoreo de eficiencia operacional. Es posible comparar la información en tiempo real contra la producción total calculada e incluso generar advertencias y alarmas cuando el proceso disminuya por debajo de un límite dado. En la búsqueda de las causas de un problema, las acciones correctivas y la mejora continua de los sistemas de monitoreo, rastreo y control juegan un papel de especial importancia (OEE, 2009).

2.2 Tecnología RFID

RFID es un sistema automático de identificación y adquisición de datos que permite la recolección y transferencia de información de producción y de negocios (Ostojic *et al.*, 2008). Es igualmente, y desde un punto de vista más técnico, una tecnología que utiliza frecuencias de radio para transferir información desde una etiqueta electrónica, llamada etiqueta RFID, adherida a un objeto, a través de un lector para el propósito de identificar y rastrear el objeto de interés (Chiagozie y Nwaji, 2012).

RFID es una tecnología que se clasifica dentro de la llamada Identificación Automática (Auto-ID) que se basa en el almacenamiento remoto y recuperación de información utilizando etiquetas y lectores. La adopción masiva de esta tecnología en la industria en los últimos años ha sido conducida por las siguientes dos fuerzas: la manufactura de las etiquetas pasivas RFID ha sido simplificada y automatizada reduciendo así el costo de producción de las mismas de manera significativa; la reglamentación de agencias de gobierno (en Estados Unidos de América) y la industria del detalle ha forzado a los proveedores a adoptar esta tecnología de manera acelerada (Zhou y Shi, 2009).

En décadas recientes, RFID ha atraído la atención de la industria de manufactura y otros negocios (Ngai *et al.*, 2008). Se ha comprobado que RFID puede ayudar a las organizaciones a monitorear sus artículos y obtener indicadores clave de desarrollo de manera más precisa, realizar operaciones de manufactura de manera más visible y permitir la toma de decisiones basada en información en tiempo real (Loebbecke *et al.*, 2006).

El uso de esta tecnología particular permite una mayor asociación de información acerca del proceso en general y el propio estatus del sistema. Entre más compleja sea la tecnología utilizada mayor coincidencia habrá entre el mundo real y la información obtenida del mismo. El uso de etiquetas RFID por ejemplo, permite adquirir información acerca de la localización y las actividades realizadas por los artículos a través de la lectura de la identificación de los objetos (Fleisch *et al.*, 2005).

Las primeras implementaciones de RFID fueron fundamentalmente promovidas por mandatos externos, pero a la par de mejoras tecnológicas significativas, mayor disponibilidad de componentes, reducciones de costos y mejores prácticas compartidas, la tecnología ha probado su valor en la mejora significativa de la eficiencia operacional lo que ha permitido una mayor aceptación en el campo industrial (Chiagozie y Nwaji, 2012).

Para aplicar la manufactura en tiempo real haciendo uso de las tecnologías RFID las empresas se encuentran con algunas dificultades como:

1. Las compañías reconocen el potencial de las tecnologías RFID, pero no se sabe con certeza cómo utilizarlas de manera efectiva para lograr la visibilidad y monitoreo dentro de la organización.

2. Los operadores y supervisores de piso no cuentan con herramientas adecuadas para reconfigurar los procesos de manufactura, para visualizar, monitorear y controlar su ejecución, para examinar problemas de cuellos de botella y de esta manera responder con decisiones oportunas (Huang *et al.*, 2008).

Un concepto de gran importancia dentro del avance tecnológico en materia de monitoreo y control con tecnología inalámbrica es el llamado RFID Interconectado. La idea básica detrás del RFID Interconectado radica en el uso de internet para conectar sistemas de RFID y software que de otra manera permanecerían aislados. Se derivan entonces beneficios significativos del RFID Interconectado relativos a la posibilidad del monitoreo y control de sistemas de manufactura (Ranasinghe *et al.*, 2010).

La aplicación de la tecnología RFID se expande a un ritmo acelerado en el sector de la manufactura. El principal reto de la aplicación de la tecnología radica en cómo convertir la información en tiempo real recolectada a través de RFID en información útil (inteligente) debido a que es aquí donde el valor de RFID puede ser visto. En otras palabras, es aquí donde se puede utilizar la información en tiempo real para mejorar el tiempo de entrega y la eficiencia de los proceso de toma de decisiones (Gwon *et al.*, 2011).

RFID y los sistemas de código de barras son dos métodos tecnológicos comúnmente utilizados para proporcionar monitoreo, rastreo y control en un sistema de producción (Lisheng *et al.*, 2007). A continuación se exponen las principales características y diferencias de estas dos tecnologías.

2.3 Comparación entre RFID y Código de Barras

RFID es una tecnología de codificación que puede ser utilizada en lugar de los códigos de barras (Penttilä y Sydänheimo, 2006). En el campo de la logística, los métodos tradicionales de rastreo y administración de bienes son realizados a través del código de barras, el cual requiere de una línea de visión mientras escanea. La etiqueta RFID, por su lado, es más flexible en su posición mientras es leída y puede ser colocada incluso dentro de una caja sin afectar significativamente su capacidad de ser detectada. El sistema de lectura automática puede reducir el trabajo y el tiempo de los procesos de escaneado requeridos por los códigos de barras (Li, 2012).

Además, la etiqueta de RFID utiliza una memoria digital para el almacenamiento de información en lugar de una presentación gráfica como sucede con el código de barras. Con la memoria digital, RFID puede transportar una gran cantidad de datos y ofrecer información más detallada acerca del objeto de interés. Por esta razón, el monitoreo puede ser más preciso con los Sistemas RFID. Además, la memoria digital puede ser reescrita, posibilitando el reuso de la etiqueta y la modificación de la información mientras que con el código de barras cualquier información requiere de un reemplazo del código (Li, 2012). Las diferencias más significativas entre ambas tecnologías se explican en la tabla 2.1 que se muestra a continuación:

		COMPARACIÓN TECNOLOGÍAS	
		CÓDIGO DE BARRAS	RFID
ATRIBUTOS	TECNOLOGÍA	Óptica de Imagen	Radiofrecuencia, inalámbrica
	ESTÁNDARES	ISO/IEC 15426-1 ISO/IEC 15426-2	ISO/IEC 1800, 14443 Y 15693
	CAPACIDAD INFORMACIÓN	24-2000 caracteres	Varios miles de caracteres
	REQUERIMIENTOS LECTURA	Línea de visión requerida	Dentro del rango de detección
	DURABILIDAD	Sujeta a daños, remoción y uso	Alta
	SEGURIDAD	Información fácilmente reproducible	Información puede encriptarse/borrarse
	TASA DE LECTURA	Una a la vez	Lectura simultánea de más de una etiqueta

Tabla 2.1 Comparación de Código de Barras y Etiquetas RFID. Adaptado de Li, 2012.

- a. Comunicación de muchos a muchos: una etiqueta puede leerse por muchos lectores y un lector puede leer muchas etiquetas a la vez (Dang *et al.* 2006).
- b. Transmisión de información inalámbrica en lugar de comunicación óptica (Dang *et al.* 2006).
- c. No precisa línea de visión.
- d. Lectura automática: las etiquetas RFID pueden ser leídas de manera automática cuando un producto etiquetado pasa a través de un lector, erradicando la operación manual del lector de producto en código de barras y permitiendo la automatización en tiempo real.
- e. Mayor eficiencia de lectura: las etiquetas RFID permiten una eficiencia de lectura del 99%, mientras que en el código de barras la cifra se sitúa cerca del 90%.
- f. Mayor capacidad de almacenamiento.
- g. Capacidad de escritura: las etiquetas RFID permiten la reescritura de la información existente, añadiendo nueva o grabando cada movimiento del producto etiquetado (como hora de surtido, hora de arribo, etc.). El código de barras no permite la reescritura.
- h. Durabilidad: el encapsulamiento de las etiquetas RFID con diferentes materiales permite que puedan seguir trabajando con normalidad en entornos difíciles como humedad, polvo, suciedad, frío, calor, etc. Por el contrario los códigos de barras se dañan fácilmente.
- i. Identificación individual: mientras que el código de barras identifica un tipo de producto de manera genérica, las etiquetas RFID las etiquetan de manera individual (Blanch, 2007).

El flujo efectivo y monitoreo del material y visibilidad de la información son fundamentales para mejorar el desempeño de los sistemas de manufactura. Este enfoque no es solamente viable técnicamente sino también lo es desde el punto de vista económico gracias a los avances recientes en materia de tecnología de RFID (Huang *et al.*, 2008).

2.4 Arquitectura de un Sistema RFID

La importancia de la Arquitectura de un Sistema RFID radica en el hecho de que puede afectar el desempeño operacional y la escalabilidad del sistema completo. Consta generalmente de tres componentes básicos: Etiquetas RFID, Lectores RFID y un Sistema Administrador Interno (Chen et al., 2007). A continuación se describen cada uno de los componentes de que consta la Arquitectura de un Sistema de RFID.

2.4.1 Etiquetas RFID

Son etiquetas que se adhieren a los objetos de interés (producto). La etiqueta contiene un circuito integrado o un chip que almacena la información de identificación a través de un código electrónico. Cuando la etiqueta pasa a través de un Campo Electromagnético (CE) generado por el lector, la etiqueta comunica de regreso la información de identificación al lector (Wu et al., 2011). La información almacenada en la etiqueta puede ser llamada Código de Producto Electrónico (EPC por sus siglas en inglés) que es un código de identificación único de artículos. Típicamente la información contenida en un EPC es la siguiente: fabricante, tipo de producto y el número de serie del artículo (Wu et al., 2011). Las etiquetas pueden ser clasificadas basándose en su frecuencia de operación: baja frecuencia (LF), alta frecuencia (HF) ultra alta frecuencia (UHF) y microfrecuencia (MF) (ver tabla 2.2), o de acuerdo a su técnica de energía: pasivas, activas y semipasivas (Finkenzeller, 2003). Ver tabla 2.3 para mayor detalle. Las etiquetas de RFID más económicas y con el potencial comercial más grande son las pasivas, que toman la energía de la señal de comunicación emitida por el lector (Penttilä y Sydänheimo, 2006). Desde el punto de vista de aplicación, las etiquetas de UHF son las más recomendables para el caso de los SVP. Dichas etiquetas funcionan adecuadamente con la mayoría de los plásticos, aceites, papel y madera ya sea húmeda o seca (Sanghera, 2007 y Lee et al., 2009). Finalmente, es importante destacar que las frecuencias de las etiquetas RFID son distintas dependiendo del lugar geográfico donde se desplieguen (Kommandur, 2004). Ver figura 2.1 para visualizar la división geográfica de las frecuencias en el mundo.

ATRIBUTOS	BANDAS DE OPERACIÓN			
	BAJA (LF)	ALTA (HF)	ULTRA ALTA (UHF)	MICROFRECUENCIA (MF)
FRECUENCIA	125-134 kHz	13.56-433 MHz	868-915 MHz	2.45-5.8 GHz
TAMAÑO ANTENA	Muy grande	Grande	Mediana	Pequeña
TAMAÑO ETIQUETA	Grande	Grande	Pequeña	Pequeña
TIPO ETIQUETA	Pasiva	Pasiva por lo general	Activa y Pasiva	Activa y Pasiva
RANGO DE LECTURA	Muy bajo (<0.5 m)	Bajo (< 1 m)	Alto (< 10 m)	Muy Alto (> 100 m)
TRANSFERENCIA DE DATOS	Lenta (<1kb/s)	Media (25 kb/s)	Rápida (30 kb/s)	Muy Rápida (100 kb/s)
COSTO	Elevado	Medio	Barato	Caro
ESTÁNDARES	ISO	ISO	ISO, EPC	ISO

Tabla 2.2 Comparación de Bandas de Operación Etiquetas RFID vs. Atributos. Adaptado de Kabachinski, 2005; Wyld, 2006; Tajima, 2007; Ferrer et al., 2010; Li et al., 2011 y Li, 2012.

ATRIBUTO	TÉCNICA DE ENERGÍA		
	PASIVA	ACTIVA	SEMIPASIVA
FUENTE DE PODER	Externa	Interna	Interna
DISTANCIA DE RESPUESTA	Corta	Muy Larga	Larga
PESO	Ligero	Mediano	Mediano
COSTO	Barato	Caro	Moderado
TIEMPO DE VIDA	Largo	Corto	Largo

Tabla 2.3 Comparación de Tipo de Energía de Operación Etiquetas RFID vs. Atributos. Li, 2012.

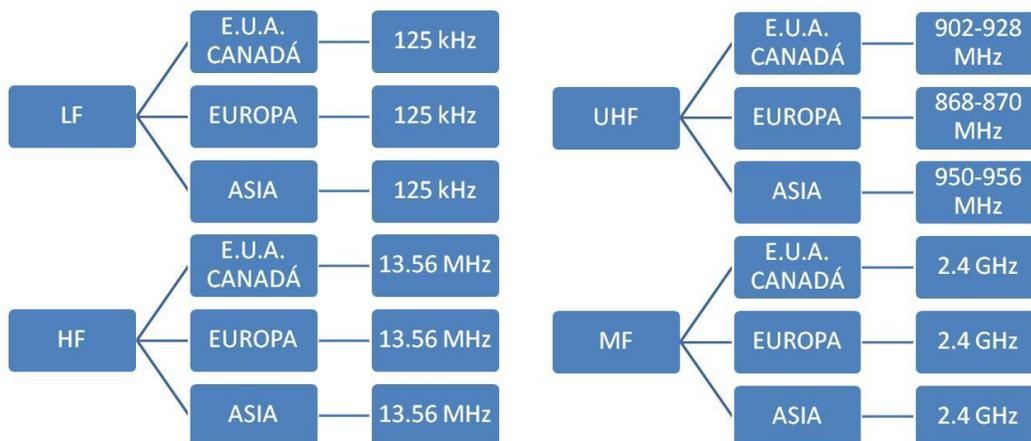


Figura 2.1 Distribución Geográfica de Frecuencias de RFID. Adaptado de Kommandur, 2004.

2.4.2 Lectores RFID

La complejidad, configuración y función de los lectores depende de la aplicación. Sin embargo, en general, la función del lector es la de generar un CE para excitar a las etiquetas (cuando se emplean etiquetas pasivas) y facilitar la comunicación con las mismas. Los lectores RFID se comunican con las etiquetas haciendo uso de una interfaz de radiofrecuencia. Dicha comunicación involucra excitar a las etiquetas para obtener información. El lector consiste de su propia fuente de poder, capacidad de procesamiento y una antena (Finkenzeller, 2003). Además, los lectores modernos cuentan con sistemas integrados con capacidad de interconexión (WiFi o LAN) para permitir que los mismos puedan ser enlazados a un hardware computacional (Want, 2006). Ver Tabla 2.4 para mayor información. Los lectores RFID son generalmente instalados en lugares clave con sus antenas estratégicamente colocadas para detectar los artículos etiquetados que pasan a través del CE generado. Los lectores RFID pueden leer múltiples etiquetas simultáneamente. El rango de distancia de lectura puede ir desde unos cuantos centímetros hasta 100 m, dependiendo del tipo de etiquetas, la energía de los lectores, etc. (Wu et al., 2011).

TIPO LECTOR	CARACTERÍSTICAS
PORTÁTILES	Operan sin cables ya que incorporan conectividad Wi-Fi GPRS o Bluetooth. Permite acceder a la información de las etiquetas con total movilidad.
MÓVILES	Fácilmente adaptables e integrables a diferentes entornos de la cadena de suministros. Pueden funcionar sin cables al igual que los portátiles.
FIJOS	Son usados en entornos con bandas transportadoras, puertas de paso, etc. Permiten una lectura eficiente de un gran número de etiquetas. Se pueden conectar a dispositivos externos como PCs, PLCs, sensores, etc.

Tabla 2.4 Tipos de Lectores RFID y sus Características. Blanch, 2007.

Por otro lado, es importante que la frecuencia operativa de los Lectores RFID sea la misma que la de las etiquetas para que la comunicación pueda llevarse a cabo. Igualmente, debe tenerse en cuenta la potencia de los lectores para que puedan tener el alcance y la eficiencia que se desea (Vo et al., 2011). Típicamente, los lectores son conectados a un Sistema Administrador Interno a través de la red de interfaces. Los lectores son generalmente posicionados en lugares estratégicos junto con las antenas de tal forma que las etiquetas puedan ser leídas adecuadamente.

2.4.3 Sistema Administrador Interno

Los lectores son conectados a una red computacional en donde la información es recolectada y procesada. Esta red puede estar limitada a una sola empresa o puede cruzar límites organizacionales para permitir la cooperación y la compartición de información entre colaboradores de negocios (Chen et al., 2007).

Elegir una arquitectura RFID adecuada requiere analizar la gama de componentes y seleccionar los adecuados de manera que se logren optimizar los beneficios de implementación (Blanch, 2007). El Sistema de Ultra Alta Frecuencia (UHF) es el más recomendado ya que permite lecturas de hasta 9 m de distancia respecto a los lectores y mayor flexibilidad en la localización y posicionamiento de los mismos (Blanch, 2007). Ver figura 2.2.

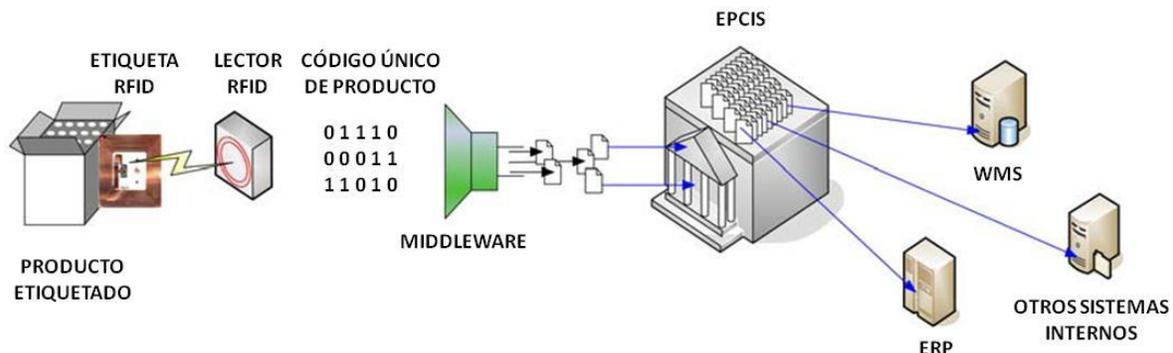


Figura 2.2 Arquitectura Típica de Implementación RFID. Chen et al., 2007.

Las etiquetas son colocadas en el producto a ser monitoreado. El lector es utilizado para recolectar la información contenida en las etiquetas o para detectar el paso del producto por una determinada área del proceso de producción. La información recolectada puede ser utilizada para alimentar una base de datos en un sistema diseñado para monitorear, rastrear y controlar los niveles de producción (Monette y Van Bogart, 2009).

2.5 Desempeño de Operación

El presente capítulo analiza los factores que afectan la correcta lectura de las etiquetas implicadas en el SVP para poder contribuir al éxito de la implementación de un sistema RFID. Para este fin se parte del siguiente concepto fundamental:

Confiabilidad de Lectura o Detección. Se define como la probabilidad de que un lector RFID detecte exitosamente e identifique una etiqueta RFID cuando ésta se encuentre en el rango de lectura (alcance) de una de las antenas del lector (Rahmati *et al.*, 2007).

A continuación, se explican los factores más significativos que pueden afectar la confiabilidad de lectura o detección.

La colocación cercana de etiquetas interfiere con su óptima operación. La orientación de las etiquetas con respecto a la colocación de la antena lectora tiene un impacto significativo en la cantidad de señal que las etiquetas pueden absorber. El número de etiquetas en el rango de lectura de una antena afecta la confiabilidad debido a que una sola etiqueta puede ser leída concurrentemente pero múltiples etiquetas pueden responder en un solo barrido de lectura provocando lo que se conoce como colisión. Existen Sistemas de RFID de última generación con mecanismos sofisticados que previenen este fenómeno. Finalmente, los objetos que se mueven a alta velocidad limitan el tiempo de visibilidad de las etiquetas por parte de la antena (Rahmati *et al.*, 2007).

Por otro lado y de acuerdo con Kodialam y Nandagopal (2006), las mediciones de RFID son particularmente susceptibles a las lecturas falso negativas (cuando una etiqueta presente en el rango de lectura de una antena no es detectada). En algunos casos es posible obtener lecturas falso positivas (cuando una etiqueta puede ser leída fuera de la región normalmente asociada a la antena) derivándose en una idea errónea sobre la localización del objeto en cuestión. El enfoque de los estudios asociados a esta problemática se centra en la eliminación de falsos negativos debido a que los falsos

positivos pueden ser eliminados al incrementar la distancia entre antenas o al reducir la potencia de salida de la señal emisora de las mismas.

De acuerdo a estudios realizados por Rahmati *et al.* (2007) con etiquetas de RFID comerciales EPC GEN 2 se han establecido una serie de recomendaciones en los siguientes rubros:

Rango de lectura: el rango de lectura depende en gran medida de su frecuencia de operación. Los resultados muestran una confiabilidad de lectura del 100% a una distancia de 1 m.

Distancia entre etiquetas y orientación de las mismas: el interés de los experimentos realizados en este tenor radican en encontrar la óptima distancia mínima entre las etiquetas de tal forma que no interfieran entre ellas. Los resultados mostraron que las etiquetas requieren por lo menos de 20 a 40 mm de separación.

En cuanto a la orientación de las etiquetas se encontró que la colocación perpendicular de las mismas con respecto a la antena es la configuración menos confiable.

Monitoreo de objetos: asimismo se encontró que la posición de la etiqueta en un objeto tiene un impacto importante sobre la confiabilidad de lectura de las etiquetas. Los investigadores recomiendan evitar la peor localización para cuestiones prácticas de aplicación: la parte superior del producto (ver tabla 2.5).

POSICIÓN ETIQUETA	CONFIABILIDAD
FRENTE	87%
LADO CERCANO	83%
LADO LEJANO	63%
ARRIBA	29%

Tabla 2.5 Posición Etiqueta vs. Confiabilidad de Lectura. Rahmati *et al.* (2007).

2.5.1 Mejora de la Confiabilidad de Lectura

De acuerdo con estudios realizados por Clarke *et al.*, (2005), Rahmati *et al.*, (2007), Singh *et al.*, (2009) y Zhen (2012) es posible mejorar la confiabilidad de lectura de los Sistemas RFID a través de la redundancia.

La redundancia en la forma de replicación es una técnica ampliamente utilizada para los fines expresados. Se refiere al uso simultáneo de más de uno de los componentes de los Sistemas RFID, por ejemplo: antenas múltiples en un portal, lectores múltiples en un portal, etiquetas múltiples en un objeto, etc. (Rahmati *et al.*, 2007). De acuerdo a Rahmati *et al.* (2007) y Bolotnyy y Robins (2005) la opción que proporciona más beneficios es la de etiquetado múltiple (ver tabla 2.6).

CATEGORÍA	CONFIABILIDAD PROMEDIO	
	UNA ETIQUETA	DOS ETIQUETAS
MONITOREO OBJETOS	80%	97%
MONITOREO PERSONAL	63%	96%

Tabla 2.6 Aumento de Confiabilidad de Lectura con Multietiquetado. Rahmati *et al.* (2007).

Existen tres tipos de multi-etiquetado de acuerdo a Bolotnyy y Robins (2005) a seguir:

Etiquetas redundantes: dos o más etiquetas independientes con información idéntica.

Etiquetas duales: dos etiquetas conectadas entre sí con una o dos antenas.

N etiquetas: n etiquetas conectadas entre sí con más de una antena.

Por su lado Hinske (2007) valida el etiquetado múltiple como una manera de determinar con precisión la localización de objetos de interés. Finalmente, Nikitin y Rao (2007) recomiendan la conexión de múltiples puertos de Radiofrecuencia a antenas separadas para mejorar la confiabilidad de lectura y la sensibilidad a la orientación de las etiquetas.

2.5.2 Orientación y Número de Etiquetas por Objeto

La orientación de las etiquetas, como ya se expuso, juega un papel clave en el rango de detección de objetos (Zhen, 2012). De acuerdo a estudios realizados por Bolotnyy y Robins (2005), las etiquetas que son colocadas de manera perpendicular entre sí presentan una probabilidad más alta de detección. Un experimento realizado por los investigadores consideró dos tipos de antena (de señal circular y señal lineal) y dos tipos de etiquetas unipolares (UPM Rafsec UHF Impinj 34 X 54 ETSI/FCC y la UPM Rafsec UHF Impinj 70 X 70 ETSI/FCC).

Sus resultados arrojaron la siguiente información:

- a. Colocar dos etiquetas sobre un objeto proporciona un incremento considerable en la probabilidad de detección (no sucede mayor incremento costo-beneficio al usar 3 ó 4 etiquetas). Estos resultados son compartidos para las antenas de tipo lineal y circular.
- b. Los resultados de los experimentos realizados con la orientación de etiquetas muestran una diferencia significativa para etiquetas perpendiculares entre sí tanto para antenas lineales como circulares (ver figura 2.3 y tabla 2.7).

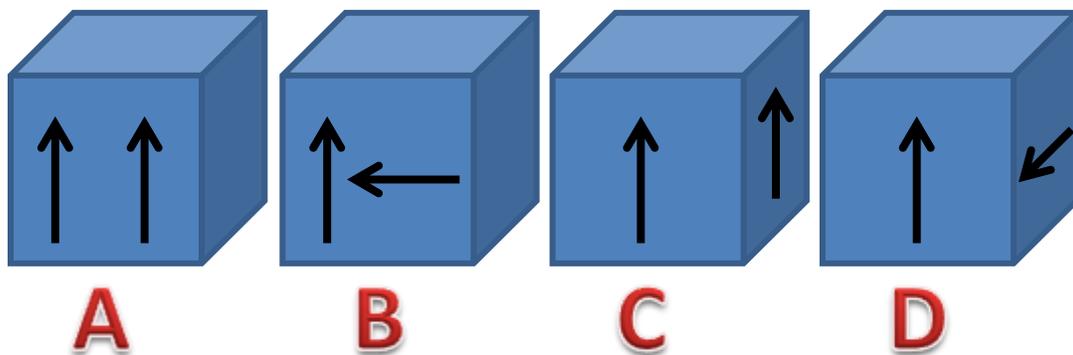


Figura 2.3 Configuraciones de orientación de etiquetas en planos distintos. Basado en Bolotnyy y Robins (2005).

POSICIÓN ETIQUETA	CONFIABILIDAD PROMEDIO		CONFIABILIDAD PROMEDIO	
	UNA ETIQUETA	DOS ETIQUETAS	UNA ETIQUETA	DOS ETIQUETAS
A	47.84%	55.00%	33.11%	37.00%
B		74.54%		52.72%
C		67.27%		52.72%
D		80.00%		63.63%

Tabla 2.7 Confiabilidad de Lectura para las distintas configuraciones. Bolotnyy y Robins (2005).

2.6 Experimentación para la aplicación de RFID

A continuación se exponen dos ejemplos que servirán de base para el diseño experimental del presente trabajo.

2.6.1 Factores Significativos de Aplicación RFID

McCarthy *et al.* (2009) diseñaron un experimento cuyo objetivo era el de determinar los factores más significativos que afectarían la aplicación de la tecnología RFID en la rastreabilidad de la carne. Los parámetros experimentales incluyeron cinco tipos de etiquetas RFID, dos niveles de velocidad de conveyor, cinco variaciones de muestras de carne y un contenedor vacío, doce etiquetas muestra por producto, tres distancias y dos tipos de polarizaciones de antenas lectoras. Las tasas de detección fueron determinadas en tres réplicas por combinación de parámetros de prueba.

En orden decreciente de significancia los efectos de los parámetros sobre la detección de la etiqueta fueron los siguientes: distancia, muestra, tipo de etiqueta, velocidad de conveyor y polarización de la antena lectora.

2.6.2 Programa Certificado RFID Lab Universidad de Parma

El RFID Lab (Laboratorio RFID) de la Universidad de Parma, es un centro de investigación, entrenamiento y transferencia de tecnología, que se enfoca en la aplicación de la tecnología RFID en los procesos industriales (RFID Lab, 2012). De

acuerdo al Reporte de Pruebas de Tecnología RFID (RFID Lab, 2012), el laboratorio ha realizado diversas pruebas que emulan diversos procesos en los rubros de la moda y la venta de productos perecederos (ver tabla 2.8).

EXPERIMENTO	OBJETIVO	SIMULACIÓN
TÚNEL	VERIFICACIÓN DE PRECISIÓN AUTOMÁTICA	DETECCIÓN BANDA TRANSPORTADORA
DISP. MÓVIL	VERIFICACIÓN DE PRECISIÓN MANUAL	CONTROL DE INVENTARIOS
PORTAL	DETECCIÓN EN ENVÍOS Y RECIBOS AUTOMÁTICOS	ÁREA DE EMBARQUES ÁREA DE RECIBOS
DISP. MÓVIL 2	DETECCIÓN EN ENVÍOS Y RECIBOS MANUALES	ÁREA DE EMBARQUES ÁREA DE RECIBOS
SMART TABLE	DETECCIÓN EN EMPAQUE MANUAL	ÁREA DE EMPAQUE DE PRODUCTO
DISP. MÓVIL 3	CONTEO MANUAL DE OBJETOS	CONTROL DE INVENTARIOS
CONVEYOR	DETECCIÓN EN ESTACIONES DE TRABAJO	PROCESO DE PRODUCCIÓN

Tabla 2.8 Experimentos Realizables en el RFID Lab de Parma. RFID Lab (2012).

2.7 Red de Rastreo RFID

En una Red de Rastreo RFID (RRRFID), los objetos en cuestión pueden ser monitoreados de manera precisa y automática. Además, su historial puede ser grabado en tiempo real. La rastreabilidad esencialmente mejora la calidad (precisión y nivel de detalle) y la velocidad de detección de la información derivándose en mejores decisiones de negocio (Ranasinghe *et al.*, 2011). Ver figura 2.4.

2.7.1 Componentes de una RRRFID

De acuerdo a Ranasinghe *et al.* (2011), los Componentes de una RRRFID son los siguientes:

Nodo. Los nodos representan punto de observación en una RRRFID. Cada nodo representa la instalación de un lector RFID que recolectará y transmitirá información asociada con el objeto que pasa a través del área de detección.

Objeto. Un objeto representa un artículo etiquetado con una etiqueta RFID.

Conexión. Una conexión es un vínculo entre nodos. Cada conexión puede estar caracterizada por algunas propiedades o meta información (por ejemplo: distancia entre nodos vecinos).

Red. Una red es un set de conexiones compuestas. Representa la relación entre los nodos. De acuerdo a las políticas de compartición de información, las redes pueden categorizarse en dos tipos: redes de circuito abierto y redes de circuito cerrado. Dentro de una red de circuito cerrado, la información es compartida por nodos que pertenecen a la misma organización. Por otro lado, los nodos en una red de circuito abierto normalmente pertenecen a diferentes organizaciones.

2.7.2 Dinámica de Objetos en una RRFID

A continuación se enlistan algunos conceptos sobre la relación dinámica de objetos en una red de rastreo (Ranasinghe *et al.*, 2011).

Movimiento. Captura el movimiento de un objeto desde un nodo fuente hasta un nodo destino.

Recorrido. Conjunto de movimientos ordenados que establece un patrón en la red.

Contención. Los objetos pueden ser organizados jerárquicamente. Un objeto principal puede contener uno o más objetos secundarios (como en el caso de sub-ensambles de un producto).

2.7.3 Objetivos y Requerimientos de una RRRFID

El objetivo clave de las Redes de Rastreo RFID es el de posibilitar el descubrimiento del rastreo, monitoreo y control de los objetos. Las RRRFID son construidas bajo la premisa de que los cambios en el mundo físico se reflejan en cambios sincronizados en los sistemas de información. Una expectativa de una Red de Rastreo RFID es la de diseñar un sistema que sea responsivo, con la habilidad de proveer información de manera oportuna (en tiempo real).

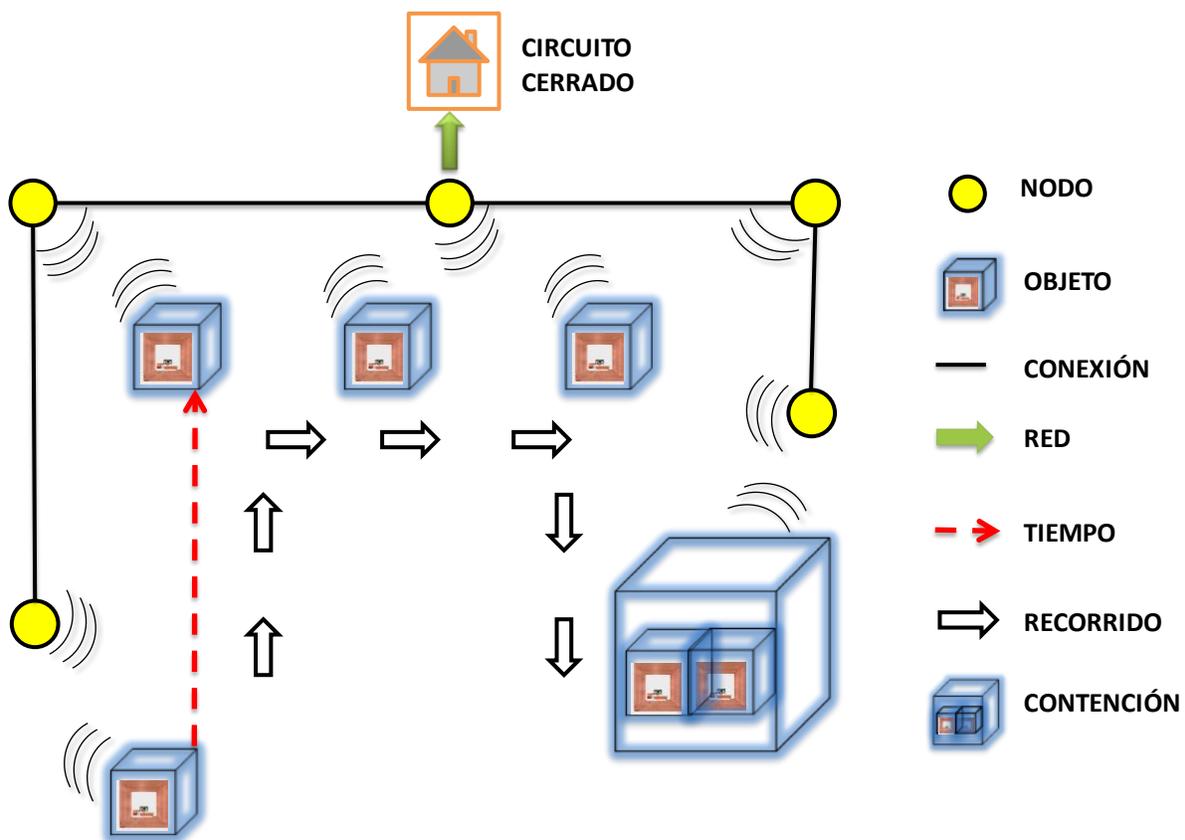


Figura 2.4 Esquema Básico de una Red de Rastreo RFID.

Seguridad y Privacidad: La tecnología RFID es capaz de realizar una serialización en masa y un barrido discreto de información a distancia. Por esta razón, las RRRFID son susceptibles a problemas de vulnerabilidad asociados a los sistemas de información. Existen numerosas publicaciones (Juels *et al.*, 2003; Aigner y Feldhofer, 2005; Dimitriou, 2005; Osaka *et al.*, 2009) que consideran el problema de la vulnerabilidad de información a través de aplicaciones de software específicamente diseñados para proporcionar la seguridad y privacidad requeridas por las organizaciones (Wu *et al.*, 2011). Un ejemplo claro es la estandarización de herramientas criptográficas disponibles para asegurar las redes computacionales y de recursos (Ranasinghe y Cole, 2008).

2.7.4 Rastreo de Progreso en Tiempo Real

Esta clase de información refleja el progreso de la manufactura en tiempo real de un proceso, parte, ensamble o producto. Por ejemplo, la programación de la producción puede ser conducida basada en el progreso en tiempo real de la producción de las tareas sucesivas y el estatus de inventario del Trabajo en Proceso (WIP, por sus siglas en inglés).

El rastreo automático de objetos en movimiento juega un papel importante en la administración del uso, seguridad y mantenimiento de las instalaciones dentro de una organización. Las tecnologías de RFID se han convertido en la piedra angular que posibilitan esta función (Zhang *et al.*, 2012).

RFID es inevitablemente afectada por el ambiente físico y por los objetos etiquetados. Por esta razón, deben tenerse en consideración los siguientes factores: la distribución del ambiente de aplicación, el radio de alcance, la colocación de los lectores, el tamaño de las etiquetas, el movimiento de los objetos etiquetados y finalmente, la integración de los sistemas de identificación existentes con el nuevo sistema (Vo *et al.*, 2011).

2.8 Estándares RFID

Existen estándares relacionados con las tecnologías RFID creados para asegurar la interoperabilidad de los productos, como guías en el desarrollo de productos complementarios e inter-operacionales y para asegurar el incremento de la confianza de la nueva tecnología. Algunos aspectos que cubren dichos estándares son: el protocolo de comunicaciones por interface-aire, contenido de información, estándares de aplicación y estándares de conformidad. Ejemplos de organismos que han expedido estándares para las tecnologías RFID son: ISO (Organización Internacional de Estándares), IEC (Comisión Electrotécnica Internacional), GS1 EPCGlobal, y CEN (Comité Europeo para la Estandarización). Se analizarán los estándares existentes para verificar la aplicación de alguno de ellos en los intereses del trabajo de investigación (Ward y Kranenburg, 2006).

Weinstein (2005) clasificó el Desarrollo de Estándares RFID. Asimismo, mostró a la Organización Internacional de Estándares (ISO, por sus siglas en ingles) tres estándares de RFID a seguir: ISO 14443 (para sistemas inalámbricos), ISO 15693 (para sistemas de vecindad) e ISO 18000 (para especificar la interfaz de aire para diversas aplicaciones de RFID). Por su lado Peris-López *et al.* (2006) presentaron una tarjeta de circuito integrado especial, ISO 7810, la cual utiliza un tipo especial de identificación sin contacto. Uddin *et al.*, (2009) señalan que de acuerdo a los rangos de comunicación, existen tres tipos de tarjetas: ISO 10536: tarjetas fuertemente acoplada, ISO 14443: tarjetas de proximidad e ISO 15693: tarjetas de vecindad.

Mientras EPCglobal se enfoca principalmente en aplicaciones de monitoreo de lazo abierto (open-loop) de la cadena de suministros, ISO cuenta con diversos protocolos definidos en varias frecuencias y para numerosas aplicaciones (como se muestra en la tabla 2.9). Los estándares 18000, por su lado, describen procedimientos de medición para verificar estructuras de RFID (Rawal, 2009). Los estándares de las familias OPC/OPC-UA tratan de la comunicación con los sistemas cercanos al área de producción, como los controladores lógicos programables (PLC) o historiales de planta.

En un escenario RFID, OPC/OPC-UA sería más adecuado para la comunicación entre el middleware y los lectores. Sin embargo, se trata de un estándar importante en la integración del piso de producción con los Sistemas de Tecnologías de Información y es utilizado cuando los lectores de RFID y equipos de producción deben ser utilizados en combinación. Finalmente, la familia de estándares ISA S-95 es utilizada para integraciones planta-negocios con especial énfasis en manufactura (Günther *et al.*, 2008). Ver Tabla 2.9.

RANGOS DE FRECUENCIA, ESTÁNDARES Y APLICACIONES RFID		
FRECUENCIA	APLICACIONES CLAVE	ESTÁNDAR
125 kHz (LF)	Identificación de animales	ISO 18000-2
13.56 MHz (HF)	Identificación de objetos	ISO 14443
400 MHz	Sistema Remoto de Control de Vehículos	ISO 18000-7
868, 915 Y 922 MHz (UHF)	Logística en Europa, Estados Unidos y Australia	AUTO ID Clase 0-2 e ISO 18000-6
2.45 MHz (MF)	Sensores de Temperatura y Localizaciones GPS	ISO 18000-4
5.8 MHz (MF)	Rangos amplios de lectura para identificación de vehículos	ISO 18000-5

Tabla 2.9 Rango de Frecuencias, Estándares y Aplicación de RFID. Rawal, 2009.

EPC Global Inc. ha desarrollado un Código de Producto Electrónico (EPC por sus siglas en inglés) como el estándar para rastrear productos a través de la cadena de suministros. EPC Global Inc., también ha definido un protocolo de operación global en el rango de UHF para el etiquetado de cartón y de pallets. Este protocolo, llamado EPC Clase 1 Generación 2 (o simplemente GEN 2) reemplazará otros protocolos que no proveían interoperabilidad global (Rawal, 2009). La etiqueta de RFID contiene al EPC y alguna información adicional en caso necesario. Los detalles de dichas aplicaciones están contenidas en el Estándar de Información de las Etiquetas RFID: un estándar ratificado por EPCglobal (Günther *et al.*, 2008).

La comunicación física entre el lector y las etiquetas es especificada por otro estándar de EPCglobal: el Estándar GEN 2. Además de enviar órdenes de un lector a las

etiquetas y recibir la información de regreso, estos estándares responden a la interrogante de cómo administrar múltiples etiquetas dentro de un rango de alcance de lectores y cómo minimizar la interface entre los diferentes lectores y etiquetas. El Estándar Protocolario del Lector describe cómo las aplicaciones de software, incluyendo el middleware, interactúan con un lector de RFID (Roussos, 2008).

2.9 Estudios Previos

Algunos ejemplos de aplicaciones de Sistemas RFID implementados con éxito se presentan a continuación:

2.9.1 Sistema de Ejecución de Manufactura en Tiempo Real

La aplicación de RFID tuvo lugar en una compañía llamada Keda que ha presentado una programación ineficiente debido a una identificación basada en papelería y a la recolección manual de datos. El caso en cuestión, presenta un Sistema de Ejecución de Manufactura en Tiempo Real Habilitado por RFID (R-MES). Para poder administrar su Producción Masiva Personalizada (PMP), la compañía ha instalado algunos Sistemas de Información Empresariales. SAP ERP es el sistema responsable de las finanzas, almacenes, compras, planeación y administración de personal.

Los dispositivos RFID son desplegados sistemáticamente en el piso de producción para monitorear y rastrear objetos de tal forma que se pueda recolectar información de producción en tiempo real. Las decisiones de planeación y programación son tomadas de manera más precisa y ejecutadas eficientemente gracias a la implementación de dicho sistema. Asimismo, el sistema proporciona servicios en línea que sirven para visualizar y administrar dinámicas de la producción y el WIP en tiempo real.

Algunos de los beneficios medibles de la aplicación del Sistema R-MES en Keda se mencionan a continuación: las operaciones basadas en papelería fueron eliminadas en

un 90%, las actividades de reingeniería de producción mejoraron la precisión de las operaciones y la eficiencia de producción, resultando en una mejora del desempeño a nivel administrativo, el inventario WIP y los ciclos de producción fueron reducidos y acortados en 27% y 22.6% respectivamente, la productividad total mejoró en 8%, la calidad del producto en un 29%, el valor total de salida mejoró en 18.5% y las ganancias mejoraron en 47.5% en un periodo de un año (Zhong *et al*, 2013).

2.9.2 Sistema de Localización de Recursos (RFID-RAS)

Un Sistema de Localización de Recursos basado en Tecnología RFID (RFID-RAS, por sus siglas en inglés) fue diseñado e implementado en una compañía manufacturera de ropa en Shenzhen, China.

En la compañía bajo estudio, se presentaban problemas recurrentes de carácter operacional como los siguientes: la poca visibilidad en las operaciones de producción, falta de información en tiempo real, monitoreo poco eficiente de los recursos materiales y humanos, generación de cuellos de botella constantes en las líneas de producción así como progreso insatisfactorio de la producción debido a los indisponibilidad de recursos necesarios.

El sistema RFID-RAS integra inteligentemente la Tecnología RFID y la Lógica Difusa para la captura en tiempo real y la generación de información que sirva para el proceso de toma de decisiones.

Una vez implementado RFID-RAS, se obtuvieron mejoras en los resultados operacionales clave entre los que destacan:

a. Mayor eficiencia del proceso de toma de decisiones para la localización de recursos: con la adopción de la tecnología RFID, el arribo de órdenes hacia producción es

notificado en tiempo real. Como resultado, el tiempo de planeación de órdenes se redujo en un 10.30%.

b. Reducción de los cortos de material y sobrantes de inventario: el uso de la materia prima es monitoreado y utilizado en el proceso de compra de materiales. De esta manera se redujo el sobrante/faltante de material en un 3.28% y 1.55% respectivamente (Lee *et al.*, 2013).

2.9.3 Otras Implementaciones de Monitoreo de la Producción

General Electric (GE), una compañía multinacional implementó exitosamente en Ohio, EUA un Sistema de Rastreo en el Ensamble de Motores Aeroespaciales que rastrea en tiempo real los motores, equipos y kits con una resolución menor a 1 pie de distancia en un ambiente multi-rutas. El Sistema de Banda Ultra Ancha automatiza el procesado de operaciones y provee información en tiempo crítico cuando es requerida (MSSI, 2003).

PC Partner, una compañía de productos electrónicos de Hong Kong, utiliza tecnología RFID para mejorar la eficiencia de las líneas de ensamble en dos de sus plantas de manufactura. El sistema implementado utiliza tecnología RFID y permite monitorear el proceso de producción a nivel artículo y calcular el material que está siendo utilizado en tiempo real (Swedberg, 2011).

Viper Motorcycle, una constructora británica de motocicletas, utiliza tecnología RFID para monitorear y rastrear el movimiento de sub-ensambles a través de las instalaciones de manufactura. Esto permite identificar la etapa en la que las motocicletas se encuentran durante el proceso de producción (Violino, 2011).

3 METODOLOGÍA

En el capítulo anterior se pudo verificar tanto el estado actual de la Tecnología RFID en el contexto de la Visibilidad de la Producción, así como la problemática a abordar y la parte de aplicación del presente trabajo de investigación en un ambiente industrial.

Asimismo, se abordaron los temas de Red de RFID y de las Plataformas existentes para gestionar la información obtenida de los productos de interés en tiempo real.

Finalmente, se mencionaron una serie de casos prácticos implementados con éxito que demuestran la factibilidad de la tecnología en la realidad industrial actual.

Dado el escenario anterior, surge la necesidad de integrar la diversidad conceptual expresada previamente a través de una metodología que defina los resultados a obtener en este trabajo de tesis.

La metodología ideada se muestra esquemáticamente en la figura 3.1. Consiste de 4 etapas clave para poder lograr las bases de un Sistema de Visibilidad del Proceso de Producción de Persianas. Las etapas se explican a continuación:

Se inicia con la definición de la Arquitectura RFID que mejor se adapte al producto, posteriormente se diseñará una Red RFID de acuerdo al layout original de la planta, para luego obtener Parámetros Óptimos de RFID (a través de experimentos en un ambiente controlado) que faciliten la aplicación práctica de la tecnología en la empresa y finalmente se presenta una Simulación del Sistema de Manufactura con la Tecnología RFID implicada que proporcione datos sobre la visibilidad en tiempo real y el desempeño de operación de la tecnología elegida.

De la aplicación de esta metodología se desprenderán datos e información valiosa para la empresa que le proporcionen una guía válida y sustentada para lograr una aplicación exitosa de la tecnología en su producto en un futuro cercano.



Figura 3.1 Esquema Metodológico.

3.1 Arquitectura RFID

Consiste en elegir la Arquitectura idónea para la compañía. Para estos fines se considerará la tecnología existente realizando una investigación bibliográfica exhaustiva y presentándola a través de preguntas clave. De esta manera se asegurará la mejor elección en términos de practicidad y facilidad de integración.

3.2 Diseño de RRRFID

Esta etapa consiste en el diseño de la RRRFID para la planta de manufactura de persianas. Consistirá en la elaboración en AutoCad®, basado en el layout de la organización, de los elementos de que consta una red típica de RFID que se explicarán en el siguiente capítulo. La información particular sobre los tiempos, recorridos y contenciones de se obtendrá de reportes específicos de SAP ® proporcionados por la organización.

3.3 Parámetros Óptimos RFID

Se presenta un Diseño Experimental basado en estudios realizado por Bolotnyy y Robins (2005), Rahmati *et al.* (2007), McCarthy *et al.* (2009), y RFID Lab (2012). Los experimentos se realizarán en el Laboratorio de RFID de la Universidad de Parma.

3.3.1 Descripción de Experimentos

Se realizarán un total de 4 experimentos distintos que servirán de base para obtener parámetros de aplicación de la Tecnología RFID. Dichos experimentos están

relacionados con la Ubicación y Potencia de Antenas RFID (Detección), Auditoría de Calidad y Embarque/Recibos. Por último se realizará una Simulación de una parte del Sistema de Producción (ver apartado 3.4).

3.3.2 Objetivo General de los Experimentos

Obtener parámetros óptimos de aplicación RFID validados experimentalmente considerando las características propias del producto final y proceso de producción.

3.4 Simulación

El Sistema de Manufactura será emulado haciendo uso de un Conveyor de Procesos instalado en el Laboratorio RFID de la Universidad de Parma (ver figura 3.2). La finalidad de dicha simulación es la de lograr la visibilidad en tiempo real y de esta manera, conocer el desempeño de operación que la tecnología podría tener en una aplicación real. Para lograrlo, se instalarán la Arquitectura RFID elegida.



Figura 3.2 Conveyor de Procesos RFID Lab.

4 IMPLEMENTACIÓN

Una vez definida la metodología, el siguiente paso consiste en la aplicación de la misma. Se iniciará con la toma de decisiones con respecto al tipo de Arquitectura RFID que mejor se adecue a las necesidades del producto en cuestión. Se tomarán como base las tablas comparativas de las Arquitecturas más utilizadas en la actualidad de la sección 2.4, construidas a través de una revisión bibliográfica exhaustiva. Posteriormente, se muestra el diseño de la RRRFID considerando el layout de la planta haciendo uso de AutoCAD®. Una vez definidas la Arquitectura y la RRRFID se procede a realizar experimentos para obtener parámetros de utilización óptimos que serán la base para una posible implementación haciendo uso de muestras físicas de producto. Finalmente, se realizará una simulación del sistema productivo para verificar la visibilidad en tiempo real.

4.1 Arquitectura RFID

El monitoreo y la rastreabilidad son factores clave para una operación eficiente y para la toma de decisiones de los negocios de hoy en día. Por esta razón, es importante contar con un sistema de identificación efectivo y preciso para llevar a cabo dicha aplicación. La tecnología RFID responde a esta necesidad a través de una diversidad de Sistemas de Arquitectura RFID disponibles en el mercado.

Debido a que no existe bibliografía referente a la aplicación de la tecnología RFID en el sector de manufactura de persianas, no se cuenta con una base que ayude a definir qué tipo de Arquitectura RFID es la mejor para el producto en cuestión. Sin embargo, basándose en matrices de comparación de atributos después de una revisión bibliográfica y respondiendo preguntas clave sobre las características del producto y del proceso se podrá acotar la gama de posibilidades para este y el resto de los componentes de la Arquitectura RFID.

Cabe destacar que la decisión final sobre los componentes a utilizar se basará en los resultados de experimentación con muestras físicas en el Laboratorio RFID. El presente apartado representa pues, un acercamiento previo sobre la Arquitectura RFID adecuada para el caso de la manufactura de persianas.

A continuación se presentan las preguntas clave que sirven para decidir qué tipo de Arquitectura RFID elegir considerando algunas características del producto y del proceso de producción, así como la gama de opciones establecidas en el apartado 2.4 Arquitectura de un Sistema RFID.

I. ¿Qué tipo de aplicación RFID se desea implementar?

Como se ha reiterado desde el inicio del presente trabajo de tesis, se desea diseñar un Sistema de Visibilidad de la Producción en Tiempo Real. Para este caso, y de acuerdo a lo establecido en el apartado 2.4, la recomendación de los autores consultados, señala que las etiquetas idóneas para dicha aplicación son las etiquetas RFID pasivas de UHF (Penttilä y Sydänheimo, 2006).

II. ¿Cuál es el mercado meta de las persianas?

La gran mayoría de las persianas son vendidas en el mercado de Estados Unidos de América y Canadá a tiendas como Wal-Mart, Lowes y JC Penny. Por lo tanto, la UHF a utilizar de acuerdo a lo establecido por Kommandur (2004) visto en la figura 2.1. es la de 902-928 MHz.

III. ¿Qué características tiene la materia prima?

El material del que están hechas las persianas de Woven Woods consiste en un 95% de madera seca (bamboo, carrizo, etc.), tela y nylon (Levolor ®, 2012). Igualmente, de acuerdo a lo expuesto en el apartado 2.4, la opción de etiquetas

más compatibles con la materia prima de las persianas sigue siendo las etiquetas RFID de UHF (Sanghera, 2007 y Lee *et al.*, 2009).

IV. ¿Qué dimensiones tiene el producto?

De acuerdo a Levolor ® 2012, el producto más pequeño que puede manufacturarse es de 10 pulgadas (25.4 cm) de ancho. Por lo tanto las dimensiones de las etiquetas RFID deben ser menores que el ancho de la persiana más pequeña. De esta manera, se asegurará la correcta manipulación del producto durante el proceso de manufactura sin alterar físicamente a la etiqueta y ayudar a su correcto desempeño.

V. ¿Cuáles son las dimensiones del área de producción?

Gracias a los planos en AutoCAD ® proporcionados por el personal de Ingeniería de Procesos de la empresa Levolor ® se pudo obtener la información sobre el área de manufactura de persianas.

Las dimensiones del área de producción, cuya forma es rectangular y libre de obstáculos (paredes), son de 23 m X 29 m, es decir, 667 m². Para mayor detalle ver figura 4.1.

Esta información servirá para poder calcular el número de lectores RFID que se deben instalar para asegurar una cobertura del 100 % del área que permita, a su vez, la comunicación con las etiquetas RFID que se encuentren dentro del sistema de producción en un momento dado.

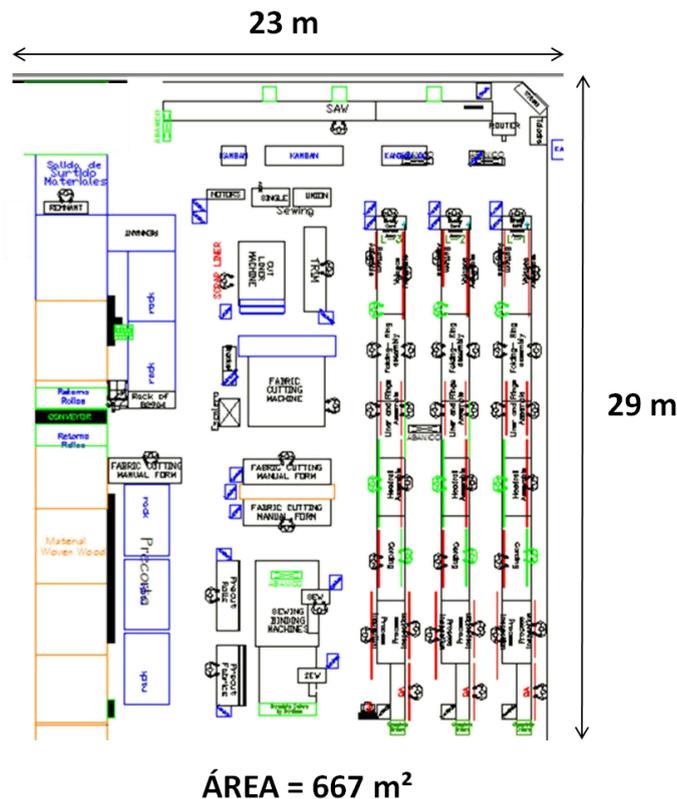


Figura 4.1 Layout del Área de Producción. Levolor ® (2012).

VI. ¿Qué tipo de lector se instalará?

Aquí es importante considerar que la frecuencia del lector RFID debe ser la misma que la de las etiquetas RFID para que la comunicación entre ambas se lleve a cabo adecuadamente. Por lo tanto, se deberán utilizar lectores RFID capaces de brindar la frecuencia de 902-928 MHz. Así pues, considerando la información proporcionada en la tabla 2.4 (Blanch, 2007) es recomendable utilizar lectores RFID fijos.

Hasta el momento se ha acotado la gama de posibilidades de Arquitectura RFID dando respuesta a preguntas clave (ver tabla 4.1). Las áreas sombreadas representan la elección de tipo, frecuencia y tamaño de etiquetas RFID, así como el tipo de lector RFID más adecuado para el caso de estudio. Se ha llegado a la conclusión de que la mejor Arquitectura RFID para el Sistema de Visibilidad de la Producción en Tiempo Real de Persianas es la siguiente: etiquetas pasivas de

UHF que trabajen en la frecuencia de 902-928 MHz (la cuál es válida para Estados Unidos y Canadá). El tamaño de las etiquetas debe ser menor a 20 cm y finalmente, los lectores RFID deben ser fijos y deben trabajar en la misma frecuencia que las etiquetas.

ETIQUETAS RFID				RFID READERS	
TAMAÑO	TIPO	FRECUENCIA	REGIÓN	FRECUENCIA	TIPO
> 20 cm	PASIVA	LF	E.U.A. CANADÁ	LF	PORTÁTIL
≤ 20 cm	SEMIPASIVA	HF	EUROPA	HF	MÓVIL
	ACTIVA	UHF	ASIA	UHF	FIJO
		MF		MF	

Tabla 4.1 Posibilidades de Arquitectura RFID y su Elección. Basado en Kommandur, 2004.

Finalmente, en cuanto al Sistema Administrador Interno se utilizará una Interface llamada RSA® de Gestión de Datos RFID así como los Reportes del Sistema SAP® de la organización, cumpliendo de esta manera con lo establecido por Chen *et al.* (2007).

4.2 Diseño de RRRFID

A continuación se presenta el arreglo uniforme de una RRRFID basándose en los trabajos de Ranasinghe *et al.* (2011) y Chen *et al.* (2007) expuestos en la sección 2.7.

4.2.1 Arreglo Uniforme

Como se expuso en el apartado 2.7, el Diseño de una RRRFID debe ser iniciado con la localización de los nodos. Dichos puntos significan la instalación de un lector RFID. De acuerdo a lo establecido en el apartado anterior, se pretenden utilizar lectores RFID de UHF que tienen un rango de alcance promedio de 9 m. Si

instalación de un lector RFID. Los nodos deberán ser colocados estratégicamente de acuerdo a lo establecido en la tabla 4.2 que se muestra enseguida.

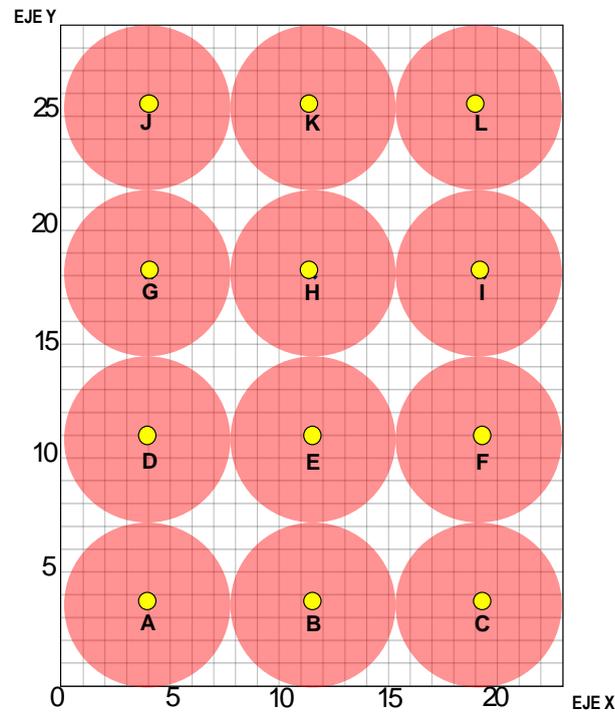


Figura 4.3 Ubicación de Lectores RFID en Piso de Producción.

LECTOR RFID	COORDENADAS
A	(4,3.7)
B	(11.5,3.7)
C	(19.2,3.7)
D	(4,10.7)
E	(11.5,10.7)
F	(19.2,10.7)
G	(4,18.2)
H	(11.5,18.2)
I	(19.2, 18.2)
J	(4,25.7)
K	(11.5,25.7)
L	(19.2,25.7)

Tabla 4.2 Coordenadas de la Ubicación de los lectores RFID.

II. Objetos

Una vez definidos los nodos, el siguiente paso consiste en definir los objetos. Recordemos que los objetos en una Red de Rastreo RFID tienen que ver con el producto etiquetado. La compañía del caso de estudio manufactura persianas que son etiquetadas individualmente. Para fines de identificación básica, se etiquetan el cabezal, el valance y la tela (Levolor, 2013). De esta manera, el producto final contiene 3 etiquetas durante el proceso de producción que cumplirán con los conceptos de Redundancia y Orientación de acuerdo a Bolotny y Robins (2005) y McCarthy *et al.* (2009) y de distancia entre etiquetas de acuerdo a Rahmati *et al.* (2007) que ayudará a la mejor detección de las persianas. Las etiquetas RFID identificarán cada uno de los 3 objetos que constituyen el producto final a través del proceso de transformación. Ver figura 4.4 donde se ilustra las secciones de la persiana que son etiquetadas.

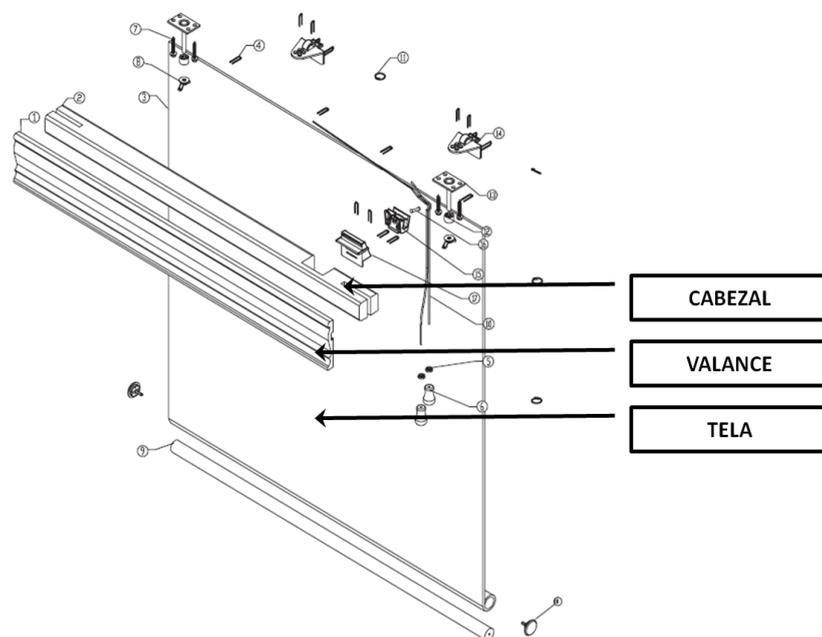


Figura 4.4 Ubicación de Etiquetas en los Componentes del Producto Final. Basado en Levolor (2012).

III. Red y Conexiones

Debido a la naturaleza del presente trabajo, la Red a utilizar será la de Lazo Cerrado, ya que se limitará al monitoreo solamente de manera interna. Cabe destacar que cuando la compañía se encuentre en la necesidad de consolidar la tecnología RFID en su cadena de suministros, deberá entonces analizar el diseño de la Red a manera de Lazo Abierto, de tal forma que la información generada pueda ser compartida con proveedores, centros de distribución y clientes. A continuación (figura 4.5) se muestra la Red Básica de Rastreo RFID que comunica a los distintos Lectores RFID con los objetos etiquetados.

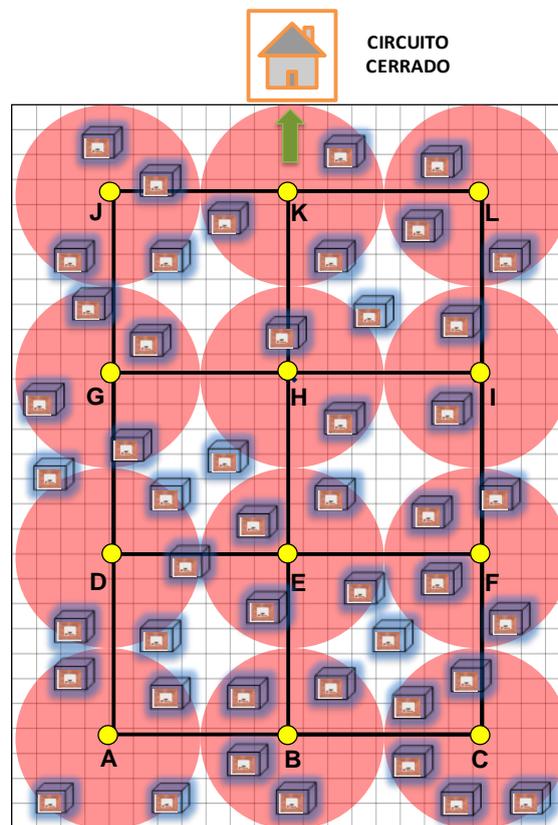


Figura 4.5 Red Básica de Rastreo RFID.

Ahora bien, para contar con una RRRFID completa es preciso considerar la Dinámica de los Productos dentro del Sistema de Producción. Es necesario entonces incluir el Recorrido transitado por las piezas, el Tiempo que tardan las

Operaciones de Manufactura, así como la Contención (empaquete) de las persianas.

IV. Recorrido

La información sobre el Recorrido de las Piezas se obtiene del Diagrama de Flujo de las Operaciones de Woven Woods. Dicha información está contenida en el *Reporte CA03* de SAP ® de la Organización en el Apartado de *Custom Operation Overview* (Levolor ®, 2013). La información contenida en dicho reporte representa las operaciones necesarias para manufacturar la persiana en cuestión. Esto indica, de manera directa, las estaciones de trabajo dentro del piso de producción que el producto en proceso debe visitar para ser terminado. A continuación se presenta un ejemplo de dicho Reporte (figura 4.6) con su correspondencia en términos de Estaciones de Trabajo dentro del Área de Producción de Persianas Woven Woods (figura 4.7).

Op.	SOp	Start	Start	Work C...	Plant	Co...	StdText	Operation short text	T...	SysStatus	User Stat	CO...	PRT	TP	D...	End	Operation Qty
0010		07/26/2012	00:45:23	WOVFC	1057	PP01		PRECUT ROLL		REL						07/26/2012	
0020		07/26/2012	00:45:23	WOVFC	1057	PP01		CUT BLIND		REL						07/26/2012	
0040		07/26/2012	00:45:23	WOVCT	1057	PP01		WOVEN CUTTING		REL						07/26/2012	
0150		07/26/2012	00:45:23	WOVHAD	1057	PP01		HEADRAIL CUTTING AN...		REL						07/26/2012	
0170		07/26/2012	00:52:59	WOVASM	1057	PP01		VALANCE ASSEMBLY		REL						07/26/2012	
0180		07/26/2012	00:52:59	WOVASM	1057	PP01		BOTTOM ASSEMBLY		REL						07/26/2012	
0190		07/26/2012	00:52:59	WOVASM	1057	PP01		BLIND ASSEMBLY		REL						07/26/2012	
0210		07/26/2012	00:52:59	WOVASM	1057	PP01		FINISH AND FOLDING/RI...		REL						07/26/2012	
0230		07/26/2012	00:55:37	WOVASM	1057	PP01		RINGS ASSEMBLY		REL						07/26/2012	
0250		07/26/2012	00:57:59	WOVASM	1057	PP01		CORDING		REL						07/26/2012	
0270		07/26/2012	00:58:25	WOVASM	1057	PP01		INSPECTION AND FINAL...		REL						07/26/2012	
0290		07/26/2012	00:58:25	WOVPACK	1057	PP03		PACKAGING		REL						07/26/2012	

Figura 4.6 Reporte CA03 de SAP ®. Levolor (2013).

Las flechas naranjas corresponden al recorrido de las persianas que cuentan con cordón para elevar/bajar el producto; las flechas azules representan el recorrido de las persianas *cordless* (con motor) que accionan el mecanismo de las persianas sin el uso de cordón; finalmente, las flechas amarillas representan las estaciones que deben ser visitadas de acuerdo a opciones especiales requeridas por el cliente como lo son el contorno de tela o *edge binding*, el forro posterior o *liner* y el *valance*. Para mayor detalle ver figura 4.8.

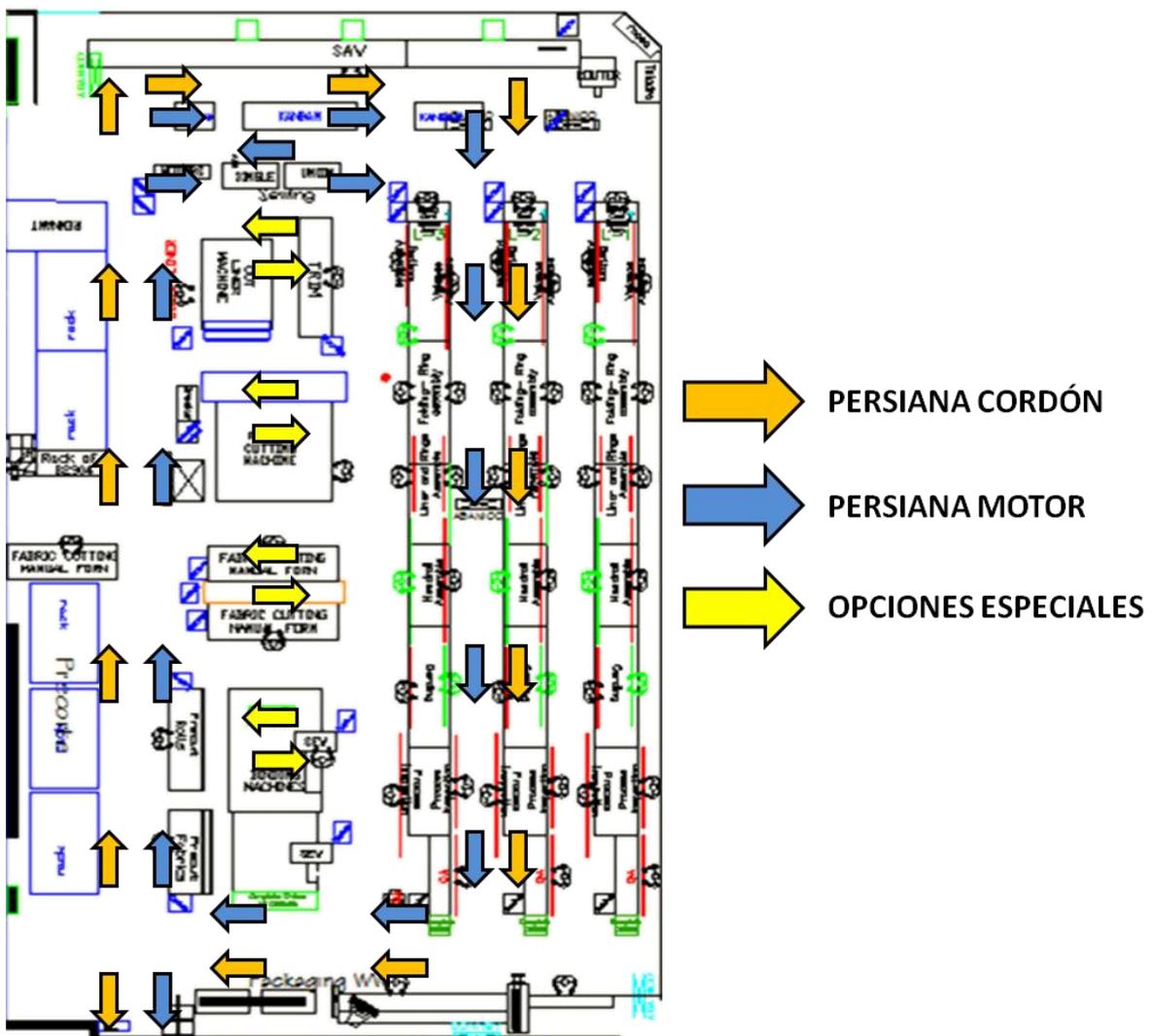


Figura 4.7 Representación del Recorrido en el Área de Producción.



Figura 4.8 Distintas opciones especiales. Levolor (2012).

V. Tiempo

La información sobre el tiempo que cada operación consume fue obtenida por medio de estudios de tiempo. Los datos fueron calculados para cada tipo de persiana (de acuerdo a sus dimensiones y opciones especiales requeridas). Dicha información también está contenida en SAP ® en el Reporte *Sales Order Costing* (Levolor®, 2013). Para mayor detalle se presenta la figura 4.9. La figura 4.10 representa la Red de Rastreo RFID con Arreglo Uniforme donde el tiempo corresponde a la línea de color rojo.

Costing Structure Off

Sales Document: 1004049053 Item: L10

Material: L1000 LEVOLOR WOVEN WOOD

Plant: 1057

Costing Data Dates Qty Struct. Valuation History Costs

Costs Based On: Costing Lot Size

Cost Component View: Total Costs Fixed Costs Variable Currency

Itemization for material L1000 in plant 1057

OpAc Operation (Text)	Resource	Cost Elme	Total Value	Fixed Value	COCr	Quantity	Un
0010 PRECUT ROLL	E 15800575E3 WOVPC L0101	810101	0.01	0.00	USD	0.004	H
0020 CUT BLIND	E 15800575E3 WOVPC L0101	810101	0.01	0.00	USD	0.090	MBN
0040 WOVEN CUTTING	E 15800575E3 WOVPCUT L0101	810101	0.03	0.00	USD	0.552	MBN
0060 PREPARATION AND SEWING BINDING	E 15800575E3 WOVBI L0101	810101	0.03	0.00	USD	0.456	MBN
0150 HEADRAIL CUTTING AND SLOTS	E 15800575E3 WOVHEAD L0101	810101	0.18	0.00	USD	3.390	MBN
0165 SAFETY CORD ASSEMBLY	E 15800575E3 WOVASM L0101	810101	0.21	0.00	USD	4.032	MBN
0170 VALANCE ASSEMBLY	E 15800575E3 WOVASM L0101	810101	0.03	0.00	USD	0.666	MBN
0180 BOTTOM ASSEMBLY	E 15800575E3 WOVASM L0101	810101	0.04	0.00	USD	0.696	MBN
0190 BLIND ASSEMBLY	E 15800575E3 WOVASM L0101	810101	0.03	0.00	USD	0.552	MBN
0210 FINISH AND FOLDING/RINGS INDICATION	E 15800575E3 WOVASM L0101	810101	0.13	0.00	USD	2.514	MBN
0230 RINGS ASSEMBLY	E 15800575E3 WOVASM L0101	810101	0.09	0.00	USD	1.752	MBN
0250 CORDING	E 15800575E3 WOVASM L0101	810101	0.15	0.00	USD	2.832	MBN
0270 INSPECTION AND FINAL ASSY	E 15800575E3 WOVASM L0101	810101	0.10	0.00	USD	0.031	H
0290 PACKAGING	E 15800575E3 WOVPACK L0101	810101	0.10	0.00	USD	1.944	MBN
			1.14	0.00	USD		

Figura 4.9 Reporte Sales Order Costing de SAP®. Levolor (2013).

VI. Contención

La contención se traduce en términos de producto en persianas empacadas. El empaque es una de las últimas operaciones dentro de la secuencia del producto previo al embarque de las piezas.

En la figura 4.10 las piezas contenidas en cajas se representan de acuerdo a los iconos establecidos en el apartado 2.7 y se visualiza en la parte inferior izquierda del layout.

Es importante destacar que la presencia de material de empaque no afecta la detección del producto al hacer uso de la tecnología RFID de acuerdo a lo mencionado por Li, (2012). Esta aseveración será posteriormente comprobada a través de un experimento que se describe en el apartado 4.3.5.

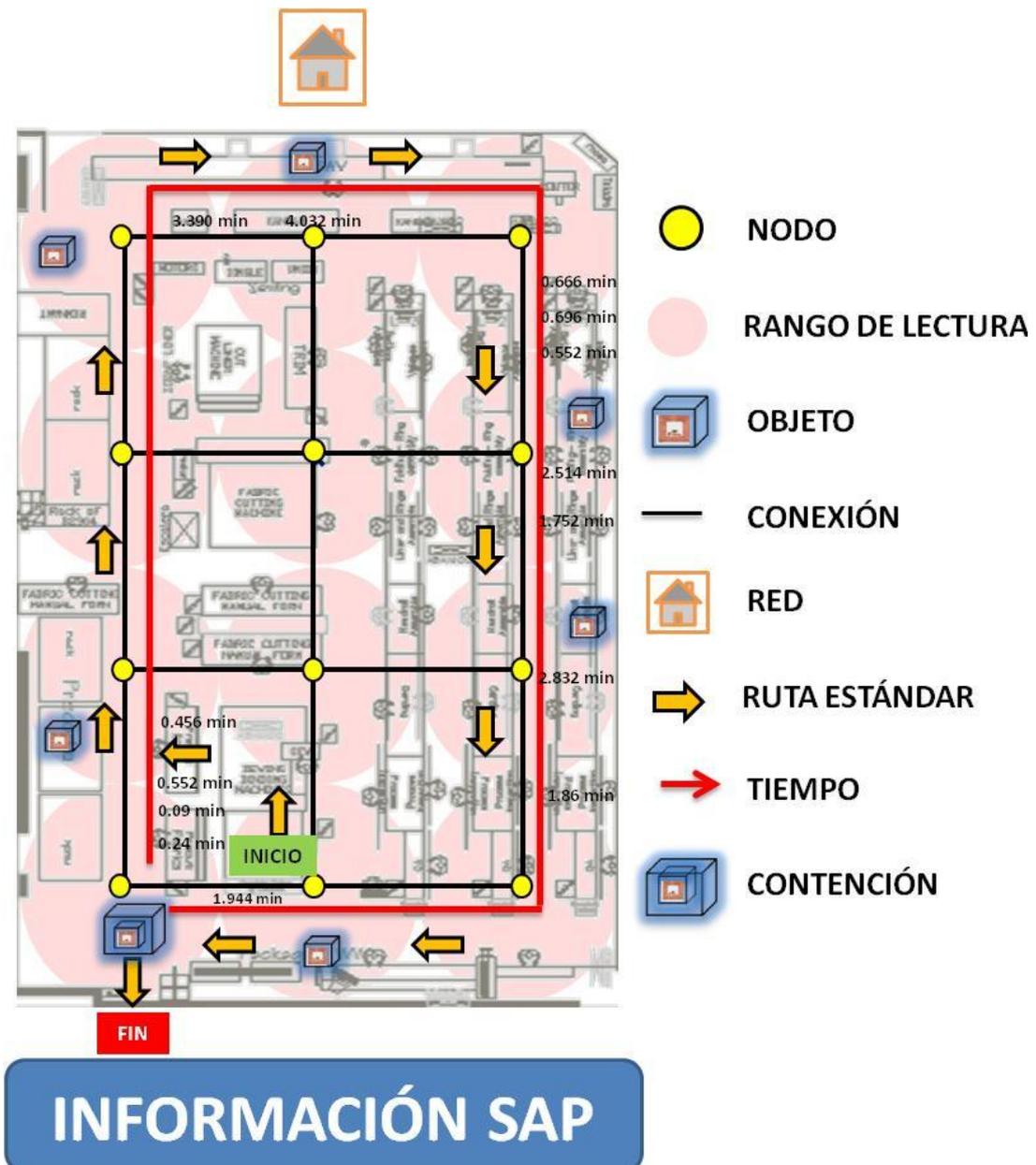


Figura 4.10 Red de Rastreo RFID: Arreglo Uniforme.

4.3 Parámetros Óptimos RFID

La presente sección describe detalladamente cada uno de los experimentos llevados a cabo para obtener parámetros óptimos de aplicación RFID para el proceso de manufactura de persianas.

Se describen las generalidades a la aplicación experimental a seguir: materiales comunes a todos los experimentos y algunas consideraciones previas. Luego se detalla el desarrollo de cada uno de los experimentos en particular y se concluye sobre los resultados obtenidos.

4.3.1 Materiales

De acuerdo a RFID Lab (2012), se ha convenido en utilizar los siguientes materiales: las etiquetas a utilizar serán Smartrac EPC Global UHF clase 1 de GEN2 (ver tabla 4.3). Se utilizarán 2 tipos de antenas lectoras de los fabricantes MTI y Laird Technologies (ver tabla 4.4). Se requerirá un administrador de lectores Impinj Speedway. La figura 4.11 ilustra la apariencia de los componentes a utilizar.

MODELO	FREC. OPERACIÓN	PROTOCOLO COMUNICACIÓN	DIMENSIONES ANTENA	MEMORIA
Dogbone 3002036	860-960 MHz	EPC Class 1 Gen 2; ISO 18000-6C	88 X 24 mm	128 bit
Web 3001962	860-960 MHz	EPC Class 1 Gen 2; ISO 18000-6C	70 X 14 mm	128 bit

Tabla 4.3 Características de las Etiquetas RFID. RFID Lab (2012).

FABRICANTE	MODELO	FREC. OPERACIÓN	POTENCIA	DIMENSIONES	POLARIZACIÓN
MTI	MT-263007/THR/A/K	865-870 MHz	6 W (max)	370 X 370 x 40 mm	CIRCULAR
Laird Technologies	S9028PCR	902-928 MHz	10 W (max)	259 X 259 X 34 mm	CIRCULAR

Tabla 4.4 Características de las Antenas Lectoras RFID. MTI (2013) y Laird Technologies (2013).



Figura 4.11 Apariencia de Materiales Experimento RFID. Smartrac (2013) y RFID Lab (2012).

Los tipos y dimensiones de las muestras físicas de producto que se utilizarán fueron elegidos de acuerdo al criterio que se presenta en el Catálogo de Producto de la empresa (Levolor®, 2012).

Las muestras son representativas de la variedad de las familias de materiales, tipo de accionamiento y opciones especiales que pueden ser requeridas por el cliente. Ver tabla 4.5 para especificaciones y Figura 4.12 para apariencia física de las muestras.

	ANCHO	LARGO	COLOR	MONTAJE	OPCIONES
C/CORDÓN	25.4 cm	30.48 cm	Gray 10281917	Interior	Contorno 1"
C/CORDÓN VALANCE	25.4 cm	30.48 cm	Origami 11281961	Exterior	Filtro de luz delgado
C/CORDÓN VALANCE MADERA	25.4 cm	30.48 cm	Black 12281923	Interior	Filtro de luz grueso
MOTORIZADA VALANCE	45.72 cm	60.96 cm	Brown 10281913	Exterior	Sin filtro de Luz
MOTORIZADA VALANCE MADERA	45.72 cm	60.96 cm	Cottage 12281759	Interior	Filtro de luz delgado
MOTORIZADA VALANCE MADERA	45.72 cm	60.96 cm	Tan 12281918	Exterior	Contorno 2"

Tabla 4.5 Tipo y Dimensiones de las Muestras de Persianas. Levolor® (2012).



Figura 4.12 Apariencia física de las muestras a utilizar en el experimento. Levolor® (2012).

4.3.2 Consideraciones Previas

El número de etiquetas por objeto será de 3 colocadas ortogonalmente y en lados distintos en el producto basado en los estudios realizados por Bolotnyy y Robins (2005). La distancia entre las etiquetas será de al menos 2 cm de acuerdo a Rahmati *et al.* (2007). Ver figura 4.13 para mayor detalle.

Las distancias entre los lectores y las etiquetas variarán en incrementos de 1 m hasta 7 m de acuerdo a lo establecido por RFID Lab (2012).

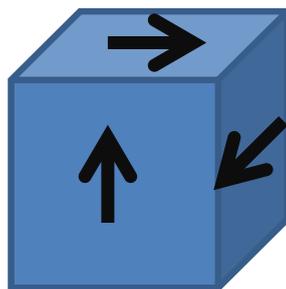


Figura 4.13 Colocación y Orientación de Etiquetas. Adaptado de Bolotnyy y Robins (2005).

Las etiquetas RFID serán preprogramadas con un Número de Identificación Único EPC. Se colocarán en total 6 etiquetas en cada muestra (3 Dogbone y 3 web) en las áreas de Cabezal, Valance y Tela (ver figura 4.4).

Se utilizarán 1, 2 ó 3 antenas colocadas estratégicamente cuyo tipo y distancia al producto serán modificadas de acuerdo al tipo de experimento a realizar.

El Administrador de Lectores RFID gestionará todas las antenas lectoras.

El Sistema de Filtros EPCglobal y el Software RSA ® serán los que calculen la Tasa de Detección y almacenen los datos.

La disposición inicial del Software RSA ® será común a todos los experimentos y su procedimiento general se explica a continuación:

Se elige el administrador de lectores adecuado, así como las distintas potencias y filtros de tipo de etiquetas a utilizar. El filtro sirve para realizar experimentos con un tipo de etiqueta u otro sin necesidad de detener el proceso de medición. Cada una de las mediciones es alimentada automáticamente a una Base de Datos en Microsoft Excel ® que servirá para realizar el análisis estadístico requerido. Finalmente, se nombra cada una de las pruebas etiquetándolas en el apartado ID Test (ver figura 4.14).

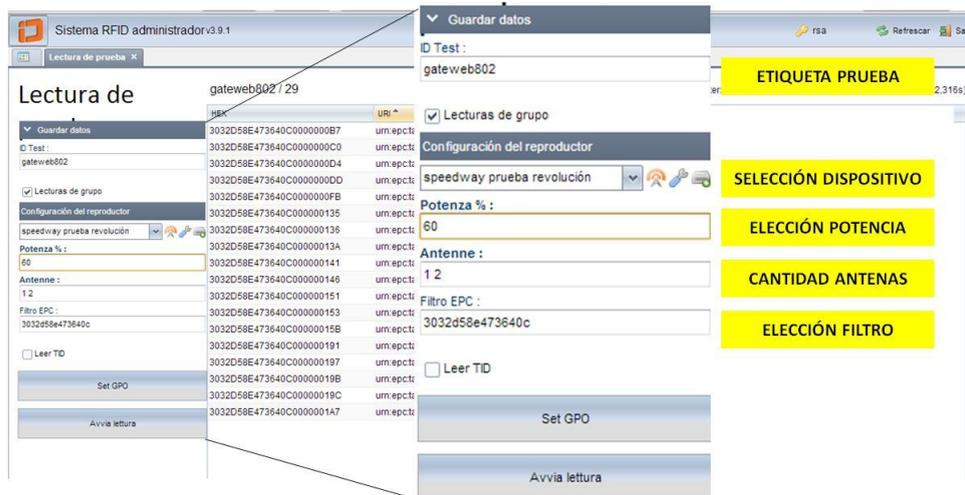


Figura 4.14 Datos de Entrada Software RSA ®. RFID Lab ®.

4.3.3 Altura y Potencia de Antena Lectora

Ya se ha resuelto la colocación óptima de lectores en el plano XY considerando el área del espacio de producción. Se precisa encontrar la altura óptima y la potencia mínima que asegure la detección del producto. Para estos fines se diseñó un experimento que prueba en incrementos de distancia la detección del producto etiquetado.

I. Objetivo

Obtener la altura óptima entre la antena lectora y el producto así como la potencia mínima utilizable que asegure la detección de las persianas en el Proceso de Producción.

II. Materiales

A continuación se enlistan los materiales necesarios para realizar el experimento del Altura y Potencia de Antena Lectora:

COMPONENTES	SOFTWARE
1 persiana de 25.4 X 30.48 cm	Interface RSA ®
3 etiquetas smartrac web	Microsoft Excel
3 etiquetas smartrac dogbone	
1 antena lectora Laird Technologies	
1 administrador de lectores Impinj Speedway	
Computadora	

Tabla 4.6 Lista de Materiales. Basado en RFID Lab (2012).

III. Método

El experimento consta de un arreglo de una antena lectora colocada en una torre y una persiana de 25.4 X 30.48 cm (la más pequeña que puede manufacturarse). La antena es conectada a un Administrador de Lectores y éste a su vez a una computadora con la interface RSA ®. Ver figura 4.15.

Se procede entonces a realizar 30 repeticiones para cada uno de los tipos de etiquetas, potencias elegidas y distancias entre el producto y la antena lectora.

La persiana es sostenida alineada directamente con la antena lectora durante 3 s por una persona durante cada réplica. De esta manera también se verifica indirectamente que la manipulación del producto no afecta su detección (simulando el proceso de ensamble manual de las persianas). Ver figura 4.16.

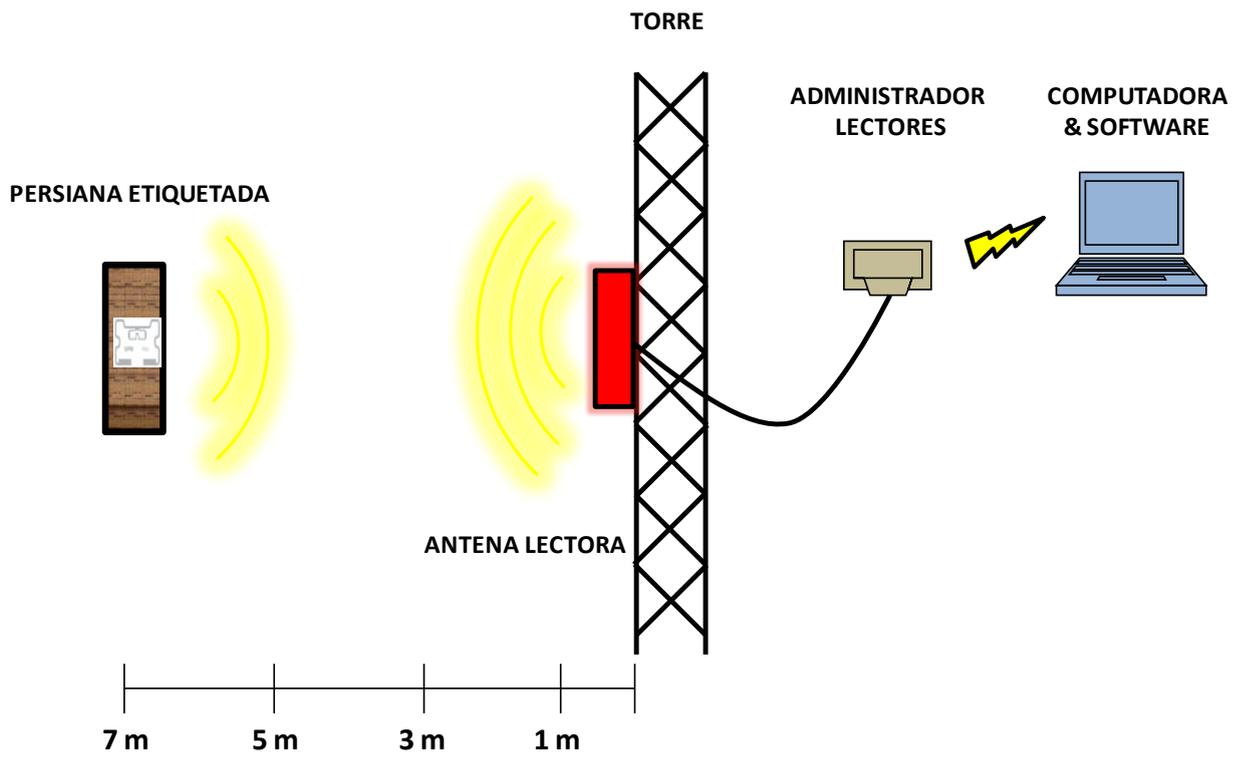


Figura 4.15 Plano Experimento. Basado en RFID Lab (2012).

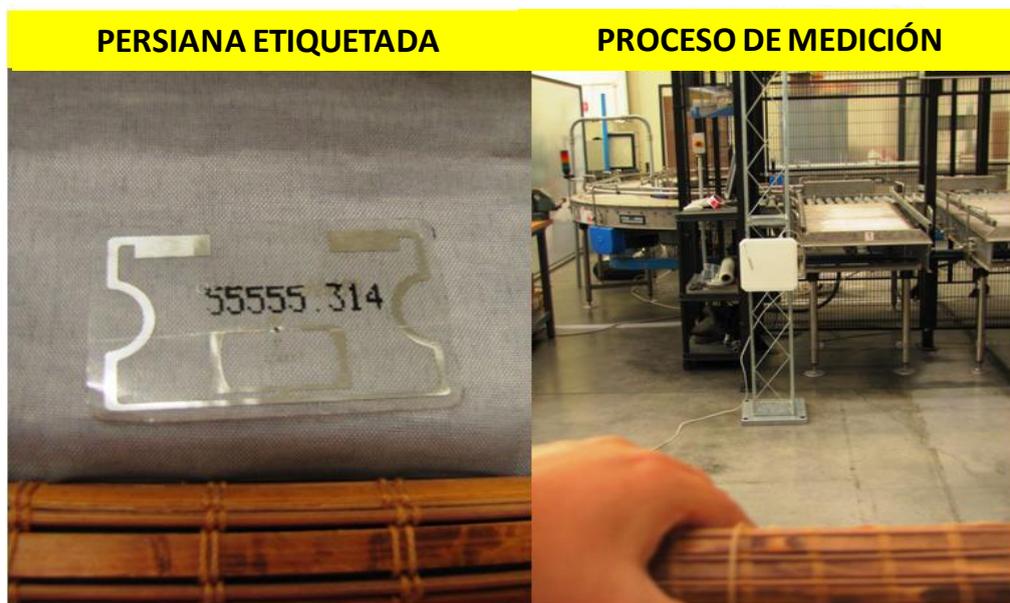


Figura 4.16 Ilustraciones Experimento.

IV. Resultados

A continuación se muestran las tablas que contienen los resultados del proceso de medición:

ETIQUETA DOGBONE			ETIQUETA WEB		
ALTURA (m)	POTENCIA (%)	DETECCIÓN (%)	ALTURA (m)	POTENCIA (%)	DETECCIÓN (%)
1	80	100.00%	1	80	100.00%
	90	100.00%		90	100.00%
	100	100.00%		100	100.00%
3	80	100.00%	3	80	93.33%
	90	100.00%		90	96.66%
	100	100.00%		100	100.00%
5	80	100.00%	5	80	60.00%
	90	100.00%		90	96.66%
	100	100.00%		100	100.00%
7	80	96.66%	7	80	57.77%
	90	97.77%		90	92.22%
	100	100.00%		100	94.44%

Tabla 4.7 Resultados Experimento.

La figura 4.17 muestra las gráficas correspondientes a los resultados obtenidos para cada tipo de etiqueta.

V. Conclusiones

De acuerdo a los datos obtenidos del proceso de medición se puede observar que en general, las etiquetas Dogbone presentaron un mejor desempeño sobre las etiquetas web debido a que su comportamiento es más constante al detectar el 100% de las persianas en las distintas configuraciones de potencia de las antenas lectoras y alturas.

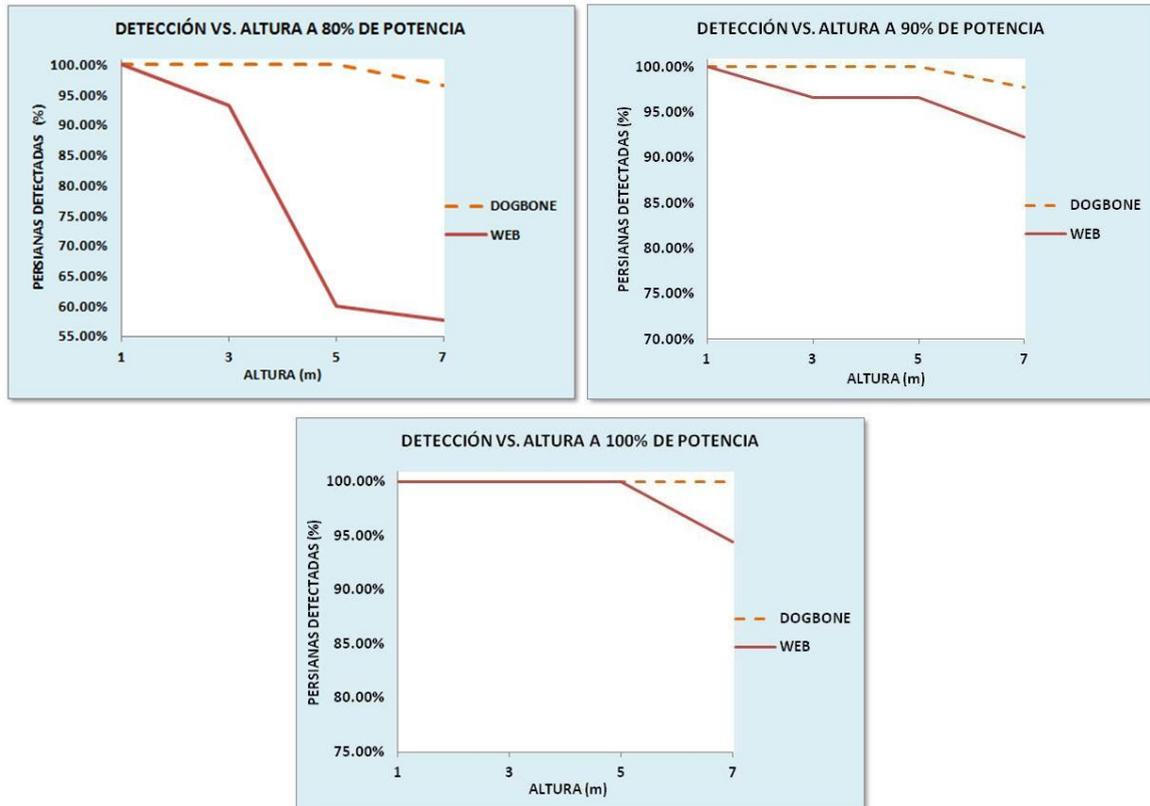


Figura 4.17 Gráficas Comparativas de Detección vs. Potencia y Altura.

Se puede concluir que si se desea una mayor altura entre las persianas y el producto asegurando su detección, es recomendable utilizar la etiqueta Dogbone a 5 m del producto, utilizando una potencia del Lector RFID de 80% (27.2 dBm, 0.525 W) o hasta 7 m de altura al 100% de potencia (31.5 dBm, 1.413 W).

La elección de la altura final dependerá de las características propias del área de trabajo. Los datos presentados servirán de base para tomar la decisión más adecuada.

4.3.4 Smart Table

El área de empaque tiene la particularidad de ser una actividad que agrega materiales distintos a los que componen las persianas (como las burbujas de aire y cartón contenedor). Por esta razón, se precisa realizar un experimento que asegure la detección de las piezas contenidas en el embalaje.

La mayor utilidad de la instalación de un Smart Table (Mesa Inteligente) en el área de producción de persianas radica en su capacidad de realizar auditorías de calidad. De esta manera, los auditores podrán saber si los componentes requeridos están dentro de la caja y si la información impresa en la parte exterior del empaque coincide con el producto contenido.

Es importante señalar que esta área debe tener un corto alcance debido a que las piezas serán auditadas individualmente, no requiriéndose detectar persianas en las cercanías de la Smart Table.

I. Objetivo

Encontrar la Potencia Mínima de las Antenas Lectoras que asegure la detección de las persianas empacadas para posibilitar auditorías de calidad previas al embarque del producto.

II. Materiales

Enseguida se enlistan los componentes y software necesarios para llevar a cabo el experimento:

COMPONENTES	SOFTWARE
1 persiana de 25.4 X 30.48 cm	Interface RSA [®]
1 persiana de 45.72 X 60.96 cm	Microsoft Excel
6 etiquetas smartrac web	
6 etiquetas smartrac dogbone	
2 antenas lectoras MTI	
1 administrador de lectores Impinj Speedway	
Computadora	

Tabla 4.8 Lista de Materiales. Basado en RFID Lab (2012).

III. Método

El experimento consta de un arreglo de dos antenas lectoras colocadas sobre una mesa. Se utilizaron dos persianas, una pequeña de 25.4 X 30.48 cm y una grande de 45.72 X 60.96 cm. Las antenas son conectadas a un Administrador de Lectores y éste a su vez a una computadora con la interface RSA ®. Ver figuras 4.18 y 4.19.

Se realizaron un total de 30 repeticiones para cada una de las potencias seleccionadas (una mínima, una media y una máxima) para los dos tipos de etiquetas y dos tipos de persianas.

Las persianas fueron colocadas en la parte central de los lectores durante 3 s, luego se verificó su lectura en el software RSA ®. Esto se realizó para cada potencia, etiqueta y tamaño de persianas para un total de 360 repeticiones.

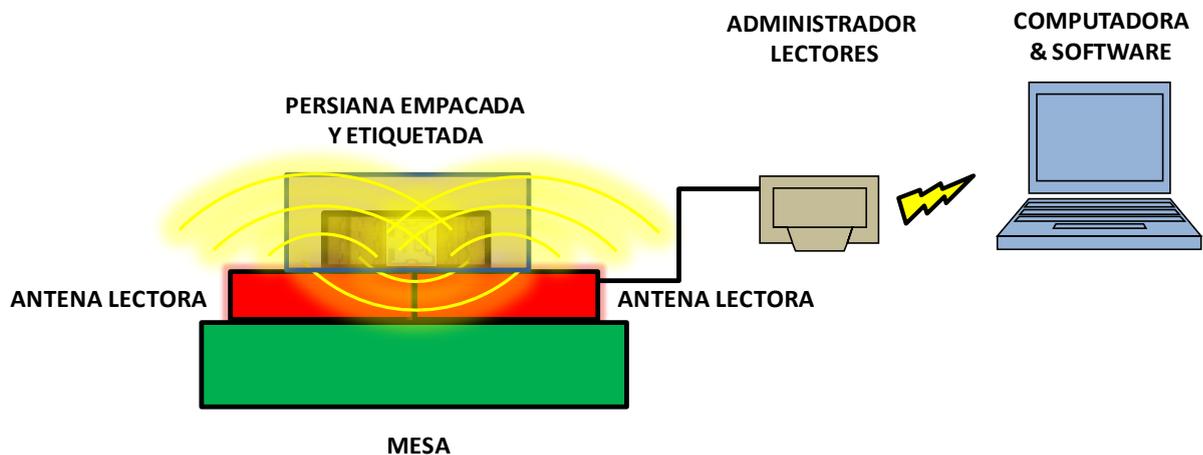


Figura 4.18 Plano Experimento. Basado en RFID Lab (2012).



PROCESO DE MEDICIÓN
 Figura 4.19 Ilustración Experimento.

IV. Resultados

En la tabla 4.9 se muestran los resultados del proceso de medición:

	PERSIANA GRANDE			PERSIANA PEQUEÑA	
	POTENCIA	DETECCIÓN		POTENCIA	DETECCIÓN
DOGBONE	1	100.00%	DOGBONE	1	100.00%
	50	100.00%		50	100.00%
	100	100.00%		100	100.00%
WEB	1	76.66%	WEB	1	100.00%
	50	80.00%		50	100.00%
	100	100.00%		100	100.00%

Tabla 4.9 Resultados Experimento.

La figura 4.20 muestra las gráficas correspondientes a los resultados obtenidos para cada uno de los tipos de etiquetas y potencias de antenas lectoras.

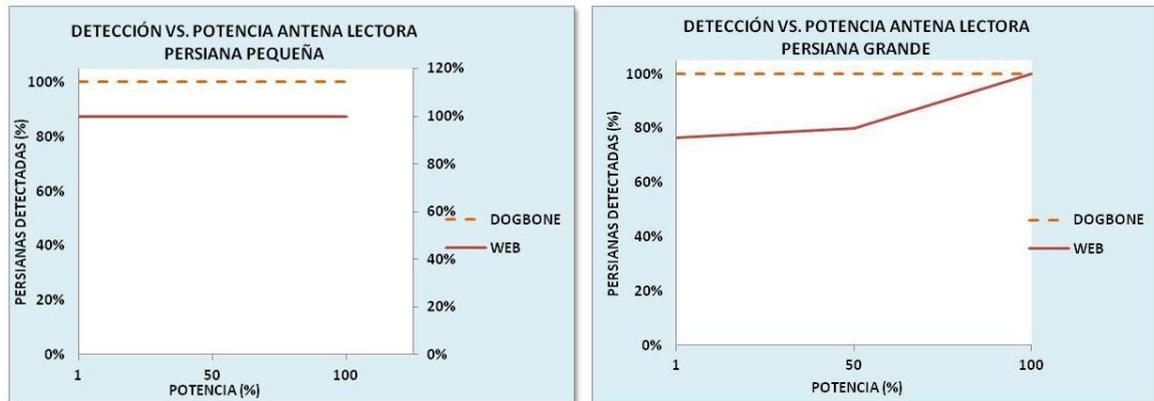


Figura 4.20 Gráficas Comparativas de Detección vs. Potencia.

V. Conclusiones

De nuevo para este experimento, las etiquetas Dogbone mostraron ser superiores a las etiquetas tipo web para lograr la detección de las persianas pequeñas y grandes considerando la menor potencia posible.

Se recomienda entonces, utilizar las etiquetas Dogbone a 1% (17.145 dBm, 0.052 W) de potencia del Lector RFID para lograr la detección del 100% de las piezas en el proceso de auditoría en la llamada Smart Table.

4.3.5 Portal Embarques

Una vez finalizada la manufactura y el empaque del producto, es necesario verificar que la cantidad correcta de productos hayan sido embarcados para su distribución. Esto es logrado a través de portales de detección colocados estratégicamente en forma de arco o torres alrededor del área de embarque de productos hacia los camiones de carga.

I. Objetivo

Asegurar la detección de las piezas que son cargadas en el área de embarques en los distintos camiones fletados para su distribución.

II. Materiales

A continuación se enlistan los materiales necesarios para realizar el experimento:

COMPONENTES	SOFTWARE
3 persiana de 25.4 X 30.48 cm	Interface RSA [®]
3 persiana de 45.72 X 60.96 cm	Microsoft Excel
18 etiquetas smartrac web	
18 etiquetas smartrac dogbone	
2 antenas lectoras Laird Technologies	
1 pallet	
Material de empaque	
1 administrador de lectores Impinj Speedway	
Computadora	

Tabla 4.10 Lista de Materiales. Basado en RFID Lab (2012).

III. Método

Se procede a instalar los componentes como se muestra en la figura 4.21. Inmediatamente después se conectan las Antenas Lectoras al Administrador de Lectores y se establece la comunicación entre éste y el Software RSA[®] instalado previamente en la computadora. Luego, se coloca cada una de las persianas empacadas en un pallet sobre un carro móvil que transportará las piezas a través del arco de detección emitido por las antenas colocadas sobre las torres. Ver figura 4.22.

Se realizarán 30 repeticiones con 5 distintos niveles de potencia de los lectores, de acuerdo a RFID Lab (2012) para verificar la precisión de la detección de las piezas. El acercamiento, por la derecha e izquierda, se fue dando en incrementos de 20%, luego a 5% y 2% a medida que los datos mostraban una tendencia positiva de detección. De esta manera se tienen un total de 330 lecturas realizadas.

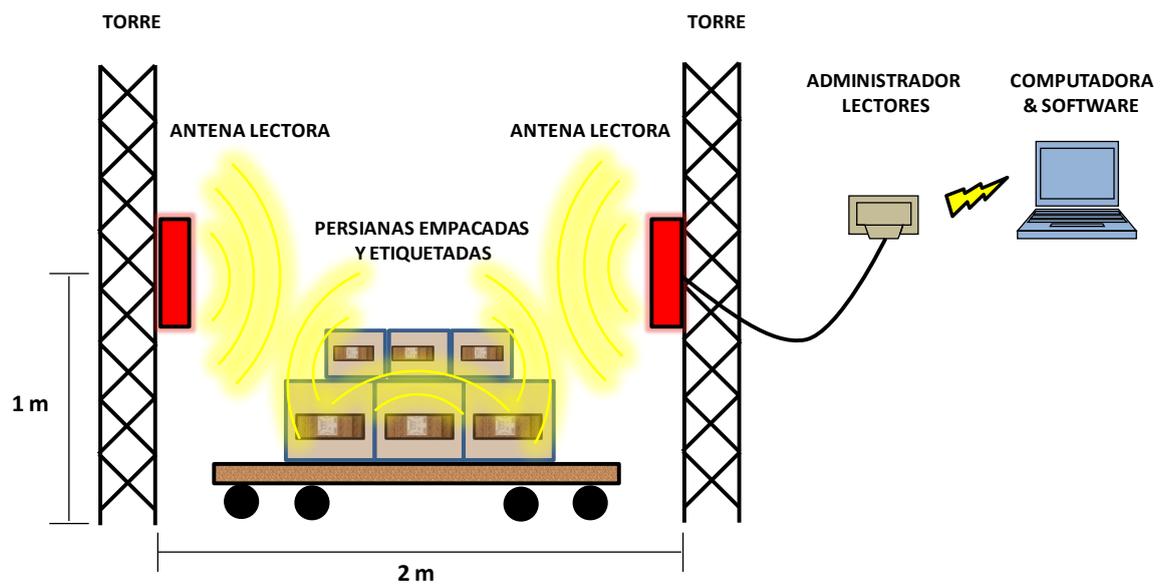


Figura 4.21 Plano Experimento. Basado en RFID Lab (2012).



Figura 4.22 Ilustraciones Experimento.

IV. Resultados

En la tabla 4.11 se muestran los resultados para los dos tipos de etiquetas:

ETIQUETA DOGBONE		ETIQUETA WEB	
POTENCIA	DETECCIÓN	POTENCIA	DETECCIÓN
60	98.80%	60	79.62%
63	99.25%	80	94.81%
65	100.00%	90	99.07%
70	100.00%	93	99.44%
80	100.00%	95	100.00%
		100	100.00%

Tabla 4.11 Resultados Experimento.

La figura 4.23 muestra gráficamente el comportamiento de la Precisión de Lectura comparado con el porcentaje de potencia utilizado para cada tipo de etiqueta.

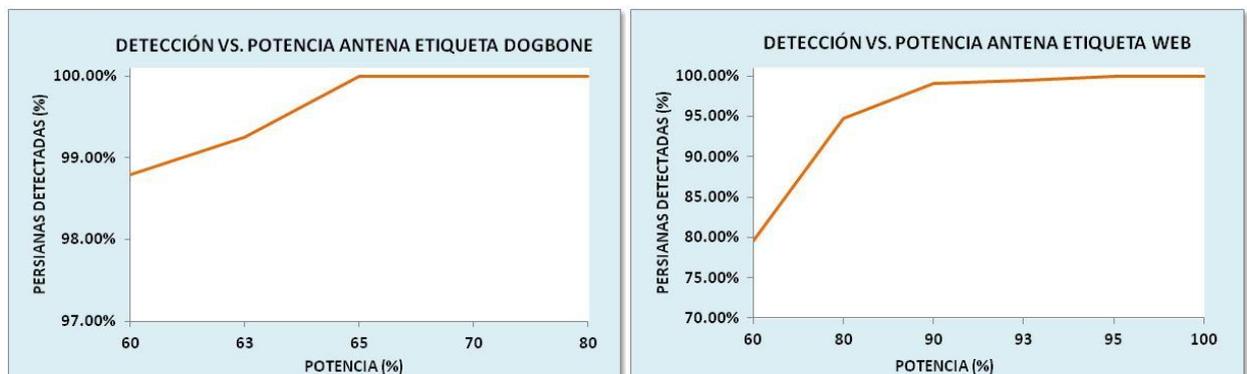


Figura 4.23 Gráficas Comparativas de Detección vs. Potencia.

V. Conclusiones

Se puede observar que las potencias mínimas a utilizar para asegurar la detección de las persianas en el área de embarques es de 65% (23.7 dBm, 0.23 W) para las etiquetas tipo Dogbone y de 95% (30.1 dBm, 1.02 W) para las etiquetas tipo Web.

De acuerdo a los resultados previamente expuestos, se puede concluir que las Etiquetas tipo Dogbone presentan un mejor desempeño sobre las tipo Web debido a que precisan solamente de 65% (23.7 dBm, 0.23 W) de potencia del Lector RFID para lograr la detección de la totalidad de las piezas en el área de embarques.

4.4 Simulación

El presente experimento tiene la finalidad de Simular el Proceso de Producción considerando los parámetros obtenidos en el apartado 4.3. Esto validará la Detección y la Visibilidad de las persianas durante el proceso de manufactura. Para estos fines se utilizará un Conveyer de Procesos con la Tecnología RFID instalada.

Asimismo, se simulará la Obtención de una Base de Datos del Rastreo de una pieza a través de 2 estaciones. Esta información será después comparada con los reportes de SAP ® correspondientes a la pieza en particular. De dicha comparación se podrán verificar posibles fluctuaciones entre el Flujo Real de la pieza y el Flujo Esperado.

I. Objetivo

Asegurar la visibilidad de persianas en el Proceso de Producción utilizando los Parámetros y Tecnología RFID propuestos.

II. Materiales

A continuación se enlistan los materiales necesarios para realizar el experimento:

COMPONENTES	SOFTWARE
1 persiana de 45.72 X 60.96 cm	Interface RSA [®]
3 etiquetas smartrac dogbone	Microsoft Excel
2 antenas lectoras Laird Technologies	Computadora
1 administrador de lectores Impinj Speedway	
1 conveyor de procesos	
1 cronómetro	

Tabla 4.12 Lista de Materiales.

III. Método

Los componentes son instalados de acuerdo a lo mostrado en la figura 4.24. La persiana muestra es identificada en el cabezal, valance y tela con las Etiquetas RFID tipo Dogbone debido a que demostraron tener mejor desempeño en todos los experimentos previos.

En total se tienen 2 antenas RFID instaladas que representan las diferentes estaciones del Área de Producción. El lector RFID envía la señal a una potencia de 27.2 dBm ó 0.525 W a 3 m de distancia del producto de acuerdo a lo establecido en el experimento de Altura vs. Potencia Lector RFID. La persiana muestra es transportada entre estas 2 estaciones y detenida en cada una de ellas donde se emula el tiempo consumido para realizar las operaciones propias de la manufactura de las piezas (ver figura 4.25).

De esta manera, se obtendrá una Base de Datos que simulará la obtención de información de la Visibilidad de una pieza real. Dicha información deberá ser luego cotejada con los Reportes de SAP previamente mostrados para realizar cálculos del desempeño de la pieza a lo largo del Sistema de Producción.

Finalmente, se generará un historial que permita conocer en tiempo real la localización de las piezas en el piso de producción en todo momento.

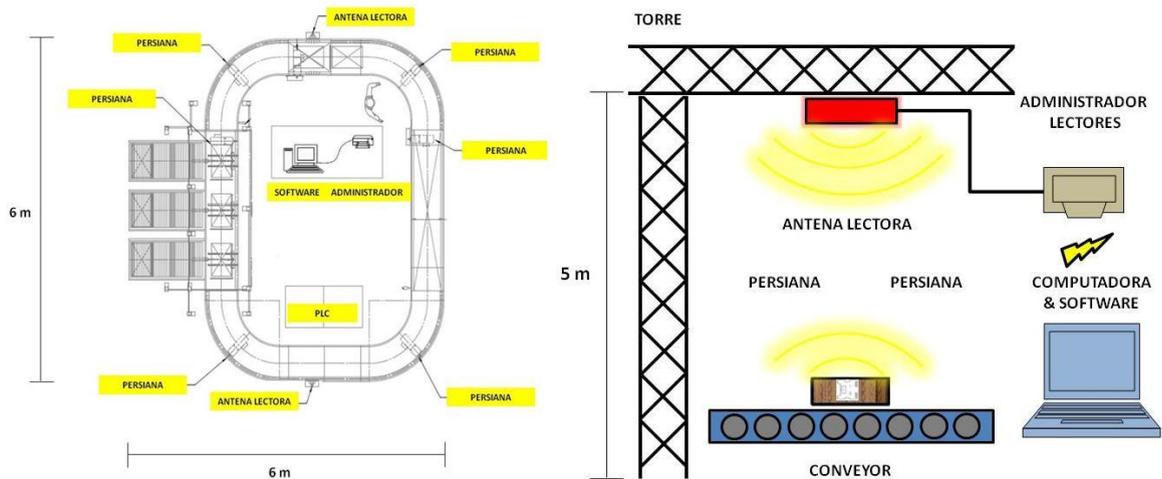


Figura 4.24 Plano Experimento. Basado en RFID Lab (2012).

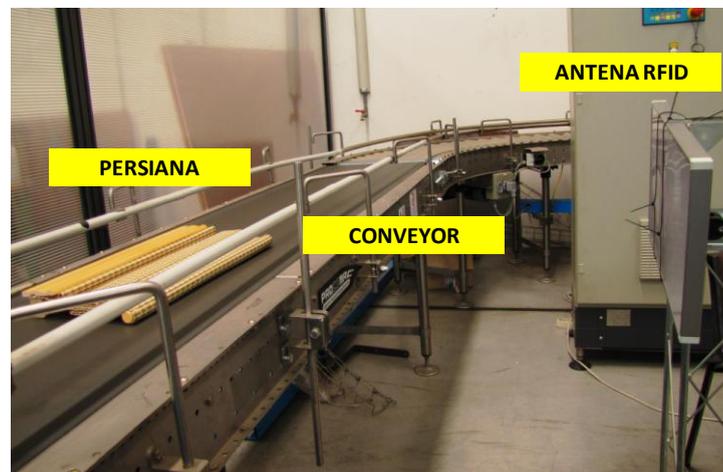


Figura 4.25 Ilustración Experimento Conveyor.

IV. Resultados

Gracias a la Tecnología RFID se pudo capturar la información relativa al status del producto durante la Simulación del Proceso de Producción. Dicha información fue gestionada por el Sistema Administrador RSA ® diseñada por el Laboratorio RFID. Se muestra primeramente el avance parcial del producto en las primeras 5 operaciones considerando las antenas RFID que detectan la pieza durante su producción (círculos de color rosa fuerte; ver figura 4.26). Una vez reunida la información completa necesaria para la persiana muestra, los datos fueron vaciados en un archivo Excel ® para su análisis (ver figuras 4.26 y 4.27).

La Base de Datos generada representa la Visibilidad en Tiempo Real considerando cada una de las Estaciones de Trabajo. Estos datos son luego comparados con el Reporte de SAP ® Sales Order Costing (Ver Esquema General en la figura 4.28).

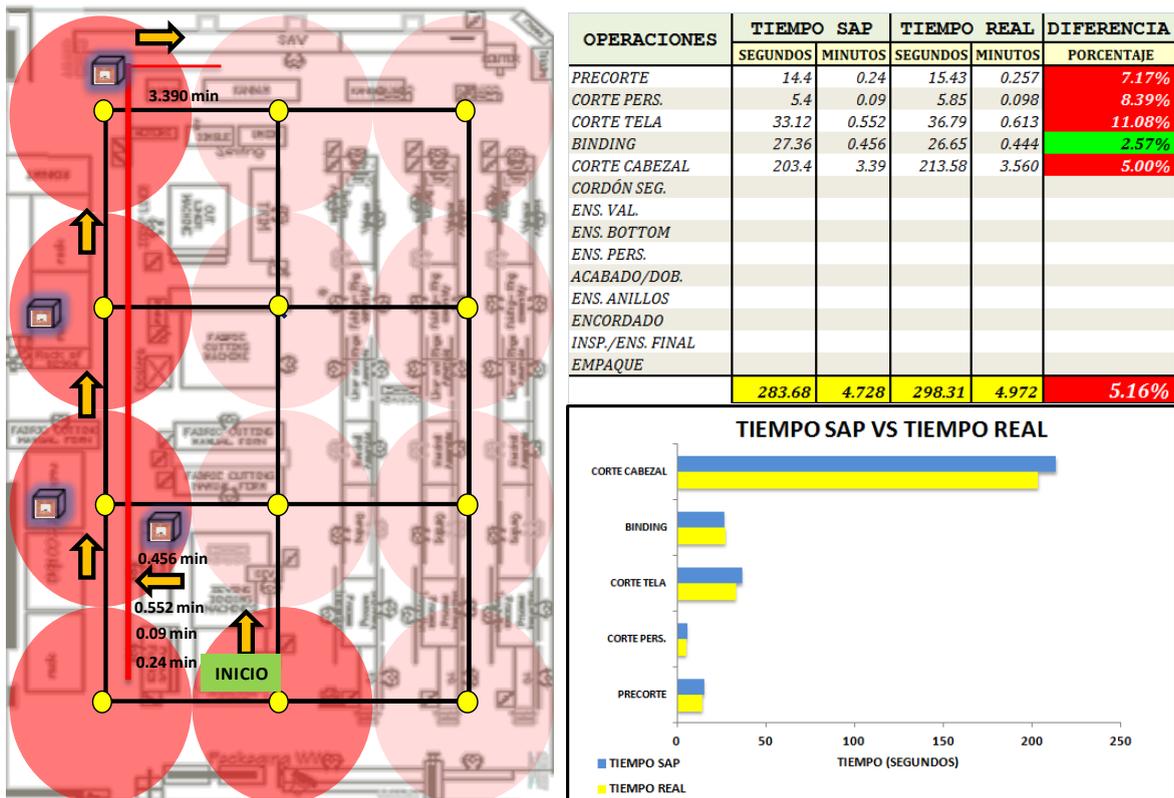


Figura 4.26 Datos Parciales de Visibilidad en Tiempo Real

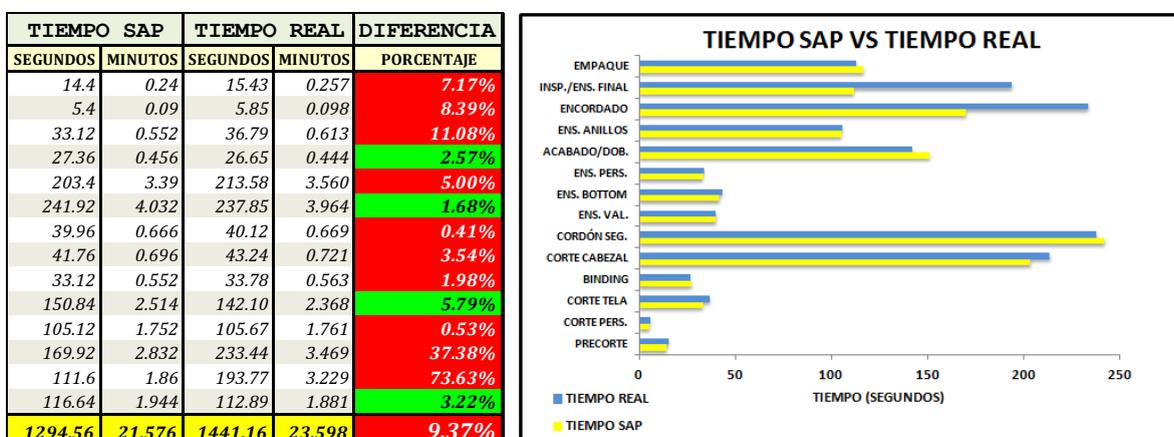


Figura 4.27 Datos Completos de Visibilidad en Tiempo Real.

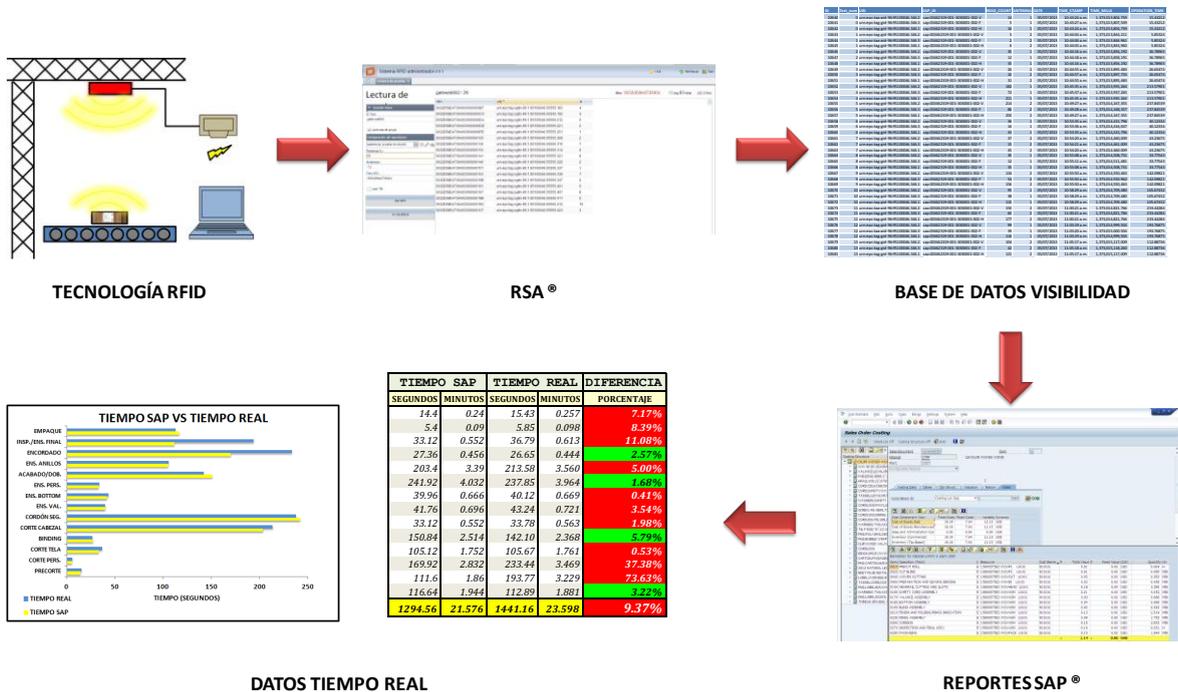


Figura 4.28 Esquema General del Sistema de Visibilidad en Tiempo Real.

V. Conclusiones

El presente experimento logró obtener datos de visibilidad en tiempo real así como un análisis comparativo general del Status Real de una Persiana con respecto al ideal esperado mediante un enfoque de simulación (información contenida en SAP®).

Asimismo, se estableció un esquema general que servirá de guía para lograr la integración final en una posible implementación futura dentro de la organización. Sirva pues el presente protocolo para estos fines.

5 CONCLUSIONES

De acuerdo a lo expuesto en el presente trabajo de tesis se pudo responder al objetivo general del mismo: se diseñó un Sistema de Visibilidad del Proceso de Manufactura de Persianas Woven Woods utilizando Tecnología RFID. Se partió de la concepción de una Metodología que permitió obtener los siguientes resultados que, a su vez, respondieron a los objetivos específicos y preguntas de investigación expuestas al inicio de este documento:

Selección de Arquitectura RFID: aquí se expuso de manera detallada la gama de posibilidades de elección de los componentes de Arquitectura RFID. Finalmente, después de formular y responder preguntas clave se estuvo en posibilidades de elegir la más adecuada para el tipo de producto y proceso de producción de persianas. Se concluye que la UHF es la frecuencia idónea de operación para los fines buscados en este trabajo.

Diseño de una Red de Rastreo RFID: para poder contar con un Sistema de Visibilidad de la Producción en Tiempo Real es preciso primeramente diseñar la Red que visualizará la dinámica de los objetos dentro del área de trabajo. Para este fin, se partió de un análisis bibliográfico y se establecieron los elementos de que consta dicha red. Al final, se obtuvo una Red de Rastreo RFID Uniforme que incluyó 12 lectores RFID localizados estratégicamente, así como la representación del producto etiquetado y empacado gobernado por la Dinámica de Manufactura establecida en Reportes SAP ® correspondientes a sus Diagramas de Flujo y Tiempo Estándar.

Obtención de Parámetros Óptimos de Aplicación RFID: para poder obtener datos certeros de aplicación se realizaron una serie de experimentos en un Laboratorio RFID. Se probaron 2 tipos de etiquetas RFID haciendo uso de dos tipos de

Antenas RFID, de acuerdo a la aplicación específica que buscaba emular el experimento, y se hizo uso de un Sistema Administrador Interno propio del Laboratorio llamado RSA ® que gestionó los datos de lectura. La detección y la potencia del Lector RFID administrador de Antenas fueron los parámetros de interés comunes a todos los experimentos. De esta manera se concluyó que el tipo de etiqueta que se desempeñó mejor en los experimentos es la etiqueta UPM Smartrac Dogbone UHF EPCglobal de Segunda Generación. Cualquier etiqueta similar que cumpla con las características de la etiqueta antes mencionada asegurará los mejores resultados. Los parámetros específicos de aplicación fueron comentados en las conclusiones de cada experimento en particular. Cabe destacar que para cuestiones de aplicación en la industria, es preciso considerar la variable llamada pérdida por cable que tiene que ver con la cantidad de potencia que se pierde al utilizar gran cantidad de cableado para comunicar el Lector RFID con las Antenas. Para este caso se deberá realizar una adecuación de la potencia aumentándola gradualmente para asegurar la detección de la totalidad de las persianas.

Simulación del Proceso de Producción: este último experimento emuló las estaciones del sistema de producción de persianas considerando los parámetros de aplicación RFID obtenidos en los experimentos anteriores. Las etiquetas fueron programadas con el serial correspondiente a la pieza en los reportes SAP ® para luego poder realizar comparaciones entre la Base de Datos del Sistema de Visibilidad generado y el ideal contenido en los reportes mencionados.

Las hipótesis fueron también respondidas durante la Implementación de la Investigación. La compatibilidad de la Tecnología RFID con el Producto Woven Woods y el Proceso de Producción se comprueba al haber logrado la detección de las piezas en su totalidad durante el proceso experimental. El Diseño y Validación del Sistema de Visibilidad fue posibilitado gracias a los resultados de los Apartados de Diseño de Red de Rastreo RFID y la Simulación del Proceso de Producción.

En cuanto a la Simulación del Proceso de Producción, se comprobó que la Tecnología RFID es capaz de proporcionar información valiosa relativa al estado actual del producto durante su manufactura como auxiliar en el Proceso de Toma de Decisiones de la organización.

Información útil como la detección de posibles cuellos de botella, cálculos de WIP instantáneos, eficiencia operacional, localización y contención de órdenes de trabajo puede ser también obtenida a través de sistemas de información específicamente diseñados para estos propósitos.

Se destacan a continuación algunas líneas de investigación que pueden servir como trabajos futuros derivados del presente documento de tesis:

Primeramente, es preciso señalar que para obtener una localización de los lectores RFID más cercana a la realidad, es preciso considerar factores como la interferencia entre lectores y el balance de carga. Para estos fines, se recomienda utilizar el enfoque del Algoritmo de Optimización Multienjambres establecido por Chen *et al.*, (2011).

Para lograr una Localización más precisa, es necesario formular Algoritmos de Localización especiales que aseguren un error mínimo aceptable para dicha aplicación. Los trabajos de Ku *et al.*, (2011) y Lee *et al.*, (2013) son propuestos como material introductorio.

Finalmente, se presenta un enfoque novedoso de aplicación RFID como auxiliar para el Logro de Objetivos de la Manufactura Esbelta. Este enfoque, investiga si la adición de la Tecnología RFID en el proceso de manufactura sirve de complemento para reducir los desperdicios establecidos en la Teoría de la Manufactura Esbelta. El artículo desarrollado por Chongwatpol y Sharda (2013) presenta el enfoque y un panorama completo de aplicación que incluye la simulación del proceso de manufactura y medibles de Manufactura Esbelta.

6 REFERENCIAS

Aigner, M. y Feldhofer, M., 2005. Secure symmetric authentication for RFID tags. *Proceedings of the Telecommunication and Mobile Computing*. Graz, Austria, marzo de 2005. Nueva York: IEE Computer Society.

Alien Technologies, 2007. Common RFID Implementation Issues. [pdf]. Disponible en: <http://www.alientechnology.com/docs/WP_RFID_Implement_issues.pdf> [Accedida Noviembre 9 2011].

Byrd, T. A., Lewis, B. R. y Bryan, R. W., 2006. The leveraging influence of strategic alignment on IT investment: An empirical examination. *Information & Management*, 43(3), pp. 308–321.

Blanch, B., 2007. *Aplicació de la tecnologia RFID a les cadenes de subministrament. Estudi de viabilitat. Memòria del projecte d'Enginyeria en Informàtica*. M.C. Universitat Autònoma de Barcelona.

Bolotnyy, L. y Robins, G., 2005. Multi-Tag Radio Frequency Identification Systems. *Proceedings of the IEEE Workshop on Automatic Identification Advanced Technologies*. Buffalo, New York, 17 y 18 de octubre de 2005. Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society.

Canetta, L., Salvadè, A., Schnegg, Müller, E. y Lanini, M., 2011. RFID-ERP Data Integration Challenges. En: Springer-Verlag London ed. 2011. *Digital Factory for Human-oriented Production Systems*. Nueva York: SpringerLink. Cap. 5.

Chen, J.L., Chen, M.C., Chen, C.W. y Chang, Y.C., 2007. Architecture design and performance evaluation of RFID object tracking systems. *Computer Communications* 30, pp. 2070-86.

Chen, H., Zhu, Y., Hu, K. y Ku, T., 2011. RFID network planning using a multi-swarm optimizer. *Journal of Network and Computer Applications* 34, 888-901.

Chiagozie, O. y Nwaji, O., 2012. Radio Frequency Identification (RFID) based Attendance System with Automatic Door Unit. *Academic Research International*, 2(2), pp.168-83.

Chongwatpol, J. y Sharda, R., 2013. Achieving Lean Objectives through RFID: A Simulation-Based Assessment. *Decision Sciences*, 44 (2), pp. 239-266.

Clarke, R., Twede, D., Tazelaar, J. y Boyer, K., 2005. Radio frequency identification (RFID) performance: The effect of tag orientation and package contents. *Packaging Technology and Science*, 19 (1), pp. 45-54.

- Dang, D., Hyunrok, L. y Kwanjo, K., 2006. Enhancing Security of EPCGlobal Gen-2 RFID against Traceability and Cloning. *Proceedings of Cryptography and Information Security*. Hiroshima, Japón, enero 17-20, 2006. Hiroshima: SCIS.
- Dimitriou, T., 2005. A lightweight RFID protocol to protect against traceability and cloning attacks. *1st International Conference on Security and Privacy for Emerging Areas in Communications Networks*. Atenas, Grecia, 5 al 9 de septiembre de 2005. Washington, D.C.: IEE Computer Society.
- Ferrer, G., Dew, N. y Apte, U. 2010. When is RFID right for your service? *International Journal of Production Economics*, 12 (4), pp. 414-25.
- Finkenzeller, K., 2003. *RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification*. Traducido del alemán por R. Waddington. Nueva York: John Wiley & Sons Ltd.
- Fleisch, E., Christ, O., Dierkes, M. 2005. *The Business Vision of the Internet of Things*. *Internet of Things*. Berlín: Springer Berlin Heidelberg.
- Gwon, S., Oh, S., Huang, N. y Hong, S., 2011. Advanced RFID application for a mixed-product assembly line. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 56, pp. 377-386.
- Günther, O., Wolfhard, K. y Kubach, U., 2008. *RFID in Manufacturing: From Shop Floor to Top Floor*. [Libro electrónico] Nueva York. Disponible en: Google books<books.google.com> [Accedida Noviembre 9 2011].
- Harvestmark., 2008. *Traceability: Giving every product an authentic identity: Package Printing*. [pdf] Disponible en: <<http://www.harvestmark.com/latest-news/media-coverage/>> [Accedida Noviembre 7 2011].
- Hinske, S., 2007. Determining the position and orientation of multi-tagged objects using RFID technology. *Fifth Annual IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerComW'07)*. White Plains, NY, marzo de 2007. Nueva York: IEE Computer Society.
- Huang, G., Zhang, Y. y Jiang, P., 2008. RFID-based wireless manufacturing for real-time management of job shop WIP inventories. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 36(7-8), pp. 752-764.
- Ilie-Zudor, E., Kemény, Z., Van Blommstein, F., Monostori, L. y Van Der Meulen, A., 2011. A survey of applications and requirements of unique identification systems and RFID techniques. *Computers in Industry*, 62(3), pp. 227-252.
- Juels, A. & Pappu, R., 2003. Squealing Euros: privacy protection in RFID-enabled banknotes. *7th International Conference Lecture Notes in Computer Science*. Guadeloupe, F.W.I., enero 23-27. Berlín: Springer Berlin Heidelberg.

- Kabachinski, J., 2005. An Introduction to RFID. *Biomedical Instrumentation and Technology/Association for the Advancement of Medical Instrumentation*, 39 (2), pp. 131-134.
- Kelepouris, T., Theodorou, L., McFarlane, D., Thorne, A. y Harrison, M., 2006. *Track and Trace Requirements Scoping*. [pdf] Disponible en: <http://www.aero-id.org/research_reports/AEROID-CAM-004-TrackTrace.pdf>[Accedida octubre 11 2011]
- Kodialam, M. y Nandagopal, T., 2006. Fast and reliable estimation schemes in RFID systems. *Proceedings of the 12th annual international conference on Mobile computing and networking MOBICOM*. Los Angeles, CA, septiembre 24-29. Nueva York: ACM.
- Kommandur, B. 2004. *Exploration of Disruptive Technologies for low cost RFID Manufacturing*. Doctorado. Massachusetts Institute of Technology.
- Ku, W., Sakai, K. y Sun, M., 2011. The optimal k -covering tag deployment for RFID-based location. *Journal of Network and Computer Applications*, 34, pp. 914-924.
- Laird Technologies, 2013. *Antennas & Reception Solutions*. [En línea] Disponible en: <<http://www.lairdtech.com/Products/Antennas-and-Reception-Solutions-Industrial-Wireless/RFID-Antennas/>> [Accedida mayo 13 2013].
- Lee, W., Cheung, B. y Kwok, S., 2009. Industrial Automation: Digital Manufacturing and RFID-Based Automation. En: Nof, S., ed. 2009. *Springer Book of Automation*. Berlín: Springer Dordrecht Heidelberg. Cap. F.
- Lee, C., Choy, K., Ho, G. y Law, K., 2013. A RFID-based Resource Allocation System for garment manufacturing. *Expert Systems with Applications*, 40, pp. 784-799.
- Levolor Kirsch Window Fashions., 2012. Custom Natural Shades, Suggested Retail Pricing, p.3.
- Levolor Kirsch Window Fashions, 2013. *Discusión Tópicos Diversos*. [e-mail] (Comunicación Personal, 24 de abril de 2013).
- Li, N. y Becerick-Gerber, B., 2011. Performance-based evaluation of RFID-based indoor location sensing solutions for the built environment. *Advanced Engineering Informatics*, 25(3), pp. 535-546.
- Li, Z., 2012. *Characterization and Performance Analysis of UHF RFID Tag for Environment Sensing Applications*. M.C. University of Waterloo.
- Lisheng, Y., Shizhong, Y. y Tao, W., 2007. Searching, imaging, tracking, TTC and comm. for multitarget. *China instrument and ctrl society*, 28 (10), pp. 1811-1819.

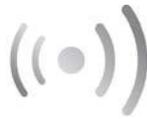
- Loebbecke, C., Palmer, J. y Huyskens, C., 2006. RFID's potential in the fashion industry: a case analysis. *19th Bled eConference eValues*, Bled, Eslovenia, junio 5-7. Bled, Slovenia: Taylor & Francis.
- McCarthy, U., Ayalew, G., Butler, F., McDonnell, K. y Ward S., 2009. Impact of reader antenna polarization, distance, inlay design, conveyor speed, tag location and orientation on the coupling of UHF RFID as applied to modified atmosphere package meat. *Computers and Electronics in Agriculture*, 69(2), pp.135-141.
- Monette, F. y Van Bogart, M., 2009. *The business case for Track, Trace, and Contro*.
- MSSI, 2003. Successfully Installed FCC Certified Ultra Wideband (UWB) Asset Tracking System for Aircraft Engine Location and Identification. *MSSI Press*.
- MTI, 2013. *RFID Antennas. Find Antenna* [En línea]. Disponible en: <<http://www.mtiwe.com/?pg=searchAntenna&AntennaCategoryID=1&SubCategoryID=>>[Accedida mayo 11 2013].
- Ngai, E.W.T., Moon, K.K.L., Riggins, F.J. y Yi, Y.C., 2008. RFID research: an academic literature review (1995–2005) and future research directions. *International Journal of Production Economics*, 112 (2), pp. 510–20.
- Nikitin, P. y Rao, K. 2007. Performance of RFID Tags with Multiple RF Ports. *International Conference on Pervasive Computing*, 1, p. 5459-5462. OEE. 2009. *Calculating OEE* [En línea]. Disponible en: <<http://www.oee.com/calculating-oe.html>> [Accedida Diciembre 5 2011].
- Osaka, K., Takagi, T., Yamazaki, K. y Takahashi, O., 2009. An efficient and secure RFID security method with ownership transfer. *RFID Security*, pp. 147–176.
- Ostojic, G., Lazarevic, M., Stankovski, S., Cosic, I. y Radosavljevic, Z., 2008. Radio Frequency Identification Technology Application in Disassembly Systems. *Journal of Mechanical Engineering*, 54 (11), pp. 759-767.
- Ostojic, G. Stankovski, S., Vukelic, D., Lazarevic, M., Hodolic, J., Tadic, B. y Odri, S., 2011. Implementation of Automatic Identification Technology in a Process of Fixture Assembly/Disassembly. *Journal of Mechanical Engineering*, 57 (11), pp. 819-25.
- Penttilä, K. y Sydänheimo, L., 2006. Radio Frequency Technology for automated manufacturing and logistics control. *The International Journal of Advanced Manufacturing and Technology*, 31(1-2), 116-124.
- Peris-López, P, Hernández-Castro, J., Estévez-Tapiador J. y Ribagorda, A., 2006. RFID Systems: A Survey on Security Threats and Proposed Solutions. *International Conference on Personal Wireless Communications*, 42 (17), pp. 159-70.

- Rahmati, A., Zhong, L., Hiltunen, M. y Rittwik J., 2007. Reliability Techniques for RFID-Based Object Tracking Applications. *Proceedings of the 37th Annual IEEE International Conference on Dependable Systems and Networks*. Edimburgo, junio 25-28. Londres: IEE Computer Society.
- Ranasinghe, D. y Cole, P., 2008. *Networked RFID Systems and Lightweight Cryptography: Raising Barriers to Product Counterfeiting*. Springer Dordrecht Heidelberg.
- Ranasinghe, D., Sheng, Q., Zeadally, S., 2010. *Unique Radio Innovation for the 21st Century: Building Scalable and Global RFID Networks*. Springer Dordrecht Heidelberg.
- Ranasinghe, D.C., Harrison, M., Främling, K. y McFarlane, D., 2011. Enabling through life product instance management: solutions and challenges. *Journal of Network Computing Applications*, 34 (3), pp. 1015-1031.
- Rawal, A., 2009. *RFID: The Next Generation Auto-ID Technology* [En línea] Disponible en: <<http://www.microwavejournal.com/articles/7632-rfid-the-next-generation-auto-id-technology>> [Accedida marzo 23 2012].
- RFID Lab, 2012. *RFID Lab-University of Parma, RFID 4 Fashion Certified Program: Report Test*. Università degli studi di Parma.
- Rönkkö, M., 2006. *A model for item centric material control in manufacturing*. M.C. Helsinki University of Technology.
- Roussos, G., 2008. *Networked RFID-Applications, Systems, Software and Services*. [Libro electrónico] Londres. Disponible en: Google Books <books.google.com> [Accedida marzo 29 2012].
- Sanghera, P., 2007. *RFID+ Study Guide and Practice Exam*. [Libro electrónico] Disponible en: <<http://site.ebrary.com.focus.lib.kth.se/lib/kth/>> [Accedida marzo 12 2013].
- Singh, J., Olsen, E., Vorst, K. y Tripp, K., 2009. RFID Tag Readability Issues with Palletized Loads of Consumer Goods. *Packaging Technology and Science*, 22(43), p. 1143.
- Smartrac, 2013. *Ultra High Frequency Product: Inlays*. [En línea] Disponible en: <<http://www.smartrac-group.com/en/products-uhf.php>> [Accedida mayo 13 2013].
- Swedberg, C., 2011. *Hong Kong Electronics Manufacturer Increases Efficiency Through RFID*. [En línea] Disponible en: < <http://www.rfidjournal.com/articles/view?8206>> [Accedida mayo 27 2012].
- Tajima, M., 2007. Strategic value of RFID in supply chain management. *Journal of Purchasing & Supply Management*, 13(4), pp. 261-273.

- Uddin, M., Ibrahimy, M., Reaz, M. y Nordin, A. 2009. Design and Application of Radio Frequency Identification Systems. *European Journal of Scientific Research*, 33(3), pp. 438-453.
- Violino, B. 2011. *Costumized bike builder VIPER uses RFID to boost factory output, cut labor costs, process repairs & serve its dealership*. [En línea] Disponible en: <<http://www.rfidjournal.com/articles/view?1905/3>> [Accedida mayo 27 2012].
- Vo, C., Chilamkurti, N., Loke, S. y Torabi, T., 2011. RADIO-MAMA: An RFID based business process framework for asset management. *Journal of Network and Computer Applications*, 34(3), pp. 990-997.
- Want, R., 2006. An introduction to RFID technology. *IEEE Pervasive Computing*, 5(1), pp. 25–33.
- Ward, M. y Van Kranenburg, R., 2006. RFID: Frequency, standards, adoption and innovation. *JISC Technology and Standards Watch*, 16.
- Weinstein, R., 2005. RFID: A Technical Overview and Its Application to the Enterprise. *IEEE IT Professional*, 7(3), pp. 27-33.
- Wu, J., Ranasinghe, D., Sheng, Q., Zeadally , S. y Yu, J. 2011. RFID enabled traceability networks: a survey. *Distributed Parallel Databases*, 29(5-6), pp. 397-443.
- Wyld, D., 2006. RFID 101: the next best thing for management. *Management Research News*, 29 (4), pp. 154-73.
- Zhang, Y., Jiang, P., Huang, G., Zhou, G. y Zhao, L., 2012. RFID-Enabled Real-Time Manufacturing Information Tracking Infrastructure for Extended Enterprises. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 23(6), pp. 2357-2366.
- Zhen, L., 2012. *Characterization and Performance Analysis of UHF RFID Tag for Environmental Sensing Applications*. M.C. University of Waterloo.
- Zhong, R., Dai, Q., Qu, T., Hu, G. & Huang, G., 2013. RFID-enabled real-time manufacturing execution system for mass-customization production. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 29(2), pp. 283-292.
- Zhou, J. & Shi, J. 2009. RFID localization algorithms and applications: a review. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 20(6), pp. 695-707.

7 ANEXOS

7.1 Especificaciones Etiqueta RFID UHF Smartrac Dogbone

SMARTRAC 

SMARTRAC 

DogBone™

Protocol	EPC Class 1 Gen 2 ISO 18000-6C
Operating frequency	Global 860–960 MHz
Antenna size	88 x 24 mm /3.5 x 0.9 inch
DogBone key features	<ul style="list-style-type: none"> • High-performance product for supply chain, industrial and RTI applications • Good global performance product for difficult to tag materials • Fits to 4” wide labels • Unique TID

DogBone™

Antenna dimensions

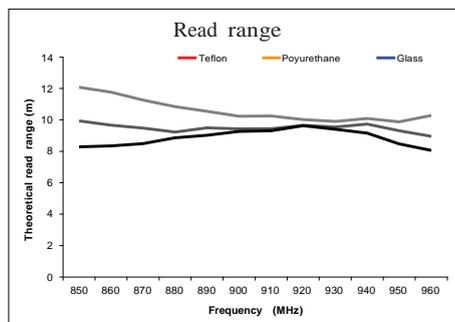
Antenna size	88 x 24 mm / 3.47 x 0.95"
Die-cut size	97 x 27 mm / 3.82 x 1.06"
Web width	100 mm / 3.94"

Electrical specifications

IC	NXP U-Code G2iL
EPC memory	128 bit
Operating frequency	860–960 MHz

General characteristics of inlay

Operating temperature	-40 °C to 85 °C -40 °F to 185 °F
Bending diameter (D)	> 50 mm tension max. 10 N

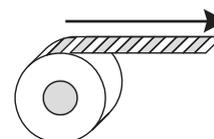


Delivery formats

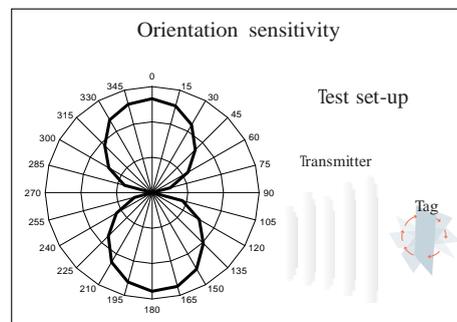
Available formats	Dry, wet, tag
Adhesive – temperature	Solvent-free permanent adhesive min. -10 °C to 120 °C min. 14 °F to 248 °F
Quality	100% performance tested

Reel details

Standard reel size	20,000 dry inlays / 5,000 wet inlays / 3,000 tags
--------------------	---



Inner core diameter 76 mm / 3 inch



All the graphs are indicative: performance in real life applications may vary. The data has been determined based on calculations for transmitters with a 2W ERP output power level.

SMARTRAC TECHNOLOGY GROUP uses three different test methods to evaluate the reliability of the RFID inlay and tag products it produces. Products are tested according to IEC 60068-2-67 (temperature and humidity), JESD22-A104-B (temperature cycling) and an in-house developed bending test.

7.2 Especificaciones Etiqueta RFID UHF Smartrac Web



Web™

Protocol	EPC Class 1 Gen 2 ISO 18000-6C
Operating frequency	Global 860–960 MHz
Antenna size	30 x 49 mm / 1.2 x 1.9 inch
Web™ key features	<ul style="list-style-type: none">• Optimized size and shape for hang tags in apparel applications.• Great material for low cost apparel hang tags and care labels.• Improved design of the already established Web™ products.• Excellent performance even when stacked in close proximity.• Great performance with high detuning materials.• Unique TID.



Web™

Antenna dimensions

Antenna size	30 x 49 mm / 1.18 x 1.93"
Die-cut size	34 x 54 mm / 1.34 x 2.13"
Web width	40 mm / 1.58"

Electrical specifications

IC	NXP U-Code G2iL
EPC memory	128 bit
Operating frequency	860–960 MHz

General characteristics of inlay

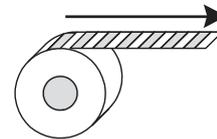
Operating temperature	-40 °C to 85 °C -40 °F to 185 °F
Bending diameter (D)	> 50 mm tension max. 10 N
Static pressure (P)	<10 MPa

Delivery formats

Available formats	Dry, wet, tag
Adhesive – temperature	Solvent-free permanent adhesive min. -20 °C to 80 °C min. -4 °F to 176 °F
Quality	100% performance tested

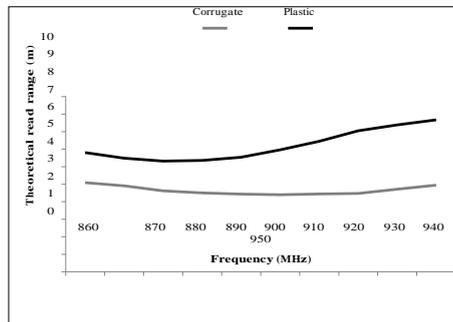
Reel details

Standard reel size	2,000 dry inlays, wet inlays, tags
--------------------	------------------------------------

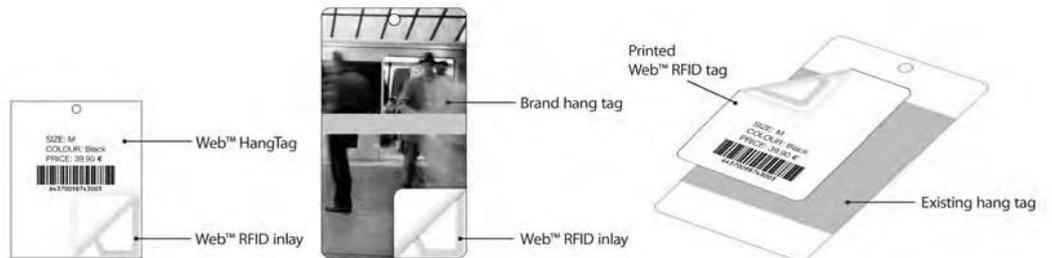
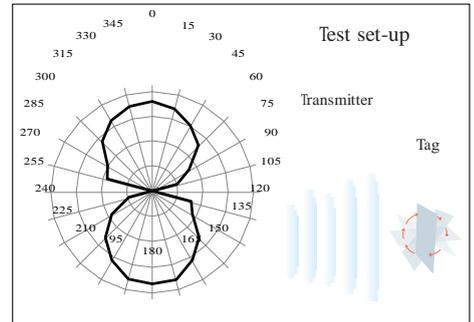


Inner core diameter 76 mm / 3 inch

Read range



Orientation sensitivity



SMARTRAC TECHNOLOGY GROUP uses three different test methods to evaluate the reliability of the RFID inlay and tag products it produces. Products are tested according to IEC 60068-2-67 (temperature and humidity), JESD22-A104-B (temperature cycling) and an in-house developed bending test.

7.3 Especificaciones Antena RFID UHF MTI



MT-263007/TRH/A/K
902-928 MHz, 10 dBic RHCP READER ANTENNA



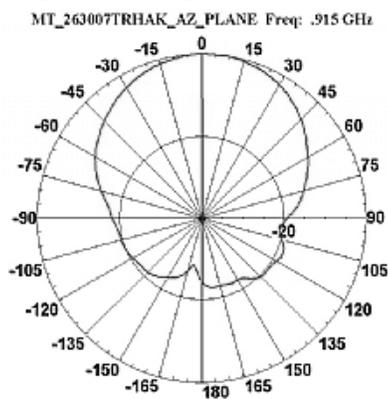
ELECTRICAL

REGULATORY COMPLIANCE	RoHS, CE 0682
FREQUENCY RANGE	902 - 928 MHz
GAIN	10 dBic (min) 11.5 dBic (max)
VSWR	1.3 : 1(max)
3DB ELEVATION BEAMWIDTH	45° (typ)
3DB AZIMUTH BEAMWIDTH	63° (typ)
SIDELOBES LEVEL @ ± 90°	-12 dB (max)
F/B RATIO	-20 dB (min)
POWER	6W (max)
INPUT IMPEDANCE	50 (ohm)
AXIAL RATIO AT BORESIGHT	2.5 dB (max) 1.5 dB (typ)
LIGHTNING PROTECTION	DC Grounded

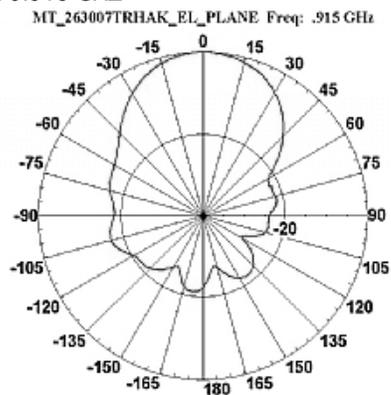
MECHANICAL

DIMENSIONS (LXWXD)	370 x370 x40mm (max)
CONNECTOR	Reverse Polarity TNC
WEIGHT	2 Kg (max) MOUNTING
KIT	SEE RD41191800C
RADOME MATERIAL	Plastic
BASE PLATE MATERIAL	Aluminum with chemical conversion coating
OUTLINE DRAWING	RD43105700C
ORIENTATION	Rectangular

AZIMUTH RADIATION PATTERN MIDBAND
FREQ. 0.915 GHZ



ELEVATION RADIATION PATTERN MIDBAND
FREQ. 0.915 GHZ



7.4 Especificaciones Antena RFID UHF Laird Technologies



Circular Polarity RFID Panel Antenna S9028PCL S9028PCR



902-928 MHz 9 dBic CIRCULAR POLARITY PANEL

The Laird Technologies' S9028PCL antenna is a circularly polarized panel antenna that provides reception and transmission of signals in the 902-928 MHz frequency band. Laird Technologies' industry-renowned design methodology achieves maximum efficiency and performance across the entire frequency band.

Both VSWR and axial ratios are excellent and allow the user to achieve the maximum performance for an antenna of this type. The antenna is housed in a heavy duty radome enclosure that can be directly wall mounted, An optional articulating mount allows either wall or mast mounting.

SPECIFICATIONS

Antenna Part Number	S9028PLC /
S9028PCR Frequency Range	902 - 928 MHz
Gain	9 dBic
Maxium VSWR	1.3:1
3 dB Beamwidth - Azimuth	70° Front to Back Ratio 20 dB
Polarization	Circular Right or Left
Maxium Input Power	10
Watts Input Impedence	50
Ohms Axial Ratio	1dB
Typical Weight (Kg)	2.3
lbs (1.04)	
Mechanical Size	10.2" x 10.2" x 1.32"
Antenna Connection	Coax Pigtail, Rev TNC Male (others
available) Radome	High Strength PC
Mount Style	Threaded
Stud Temperature Operational	-25°C to
+70°C Lightning Protection	DC
Grounded	
Environmental Rating	IP 54

7.5 Especificaciones Lector RFID UHF Speedway Revolution



Impinj Speedway Revolution R420 RFID Specs sheet

RFID Antennas	4 high performance, monostatic RFID antenna ports optimized for Impinj RFID antennas (RP TNC)		
RFID Air Protocols	EPCglobal UHF Class 1 Gen 2 / ISO 18000-6C		
Transmit Power	+10.0 to +30.0 dBm (PoE) +10.0 to +32.5 dBm (external universal power)		
Max Receive Sensitivity	-82 dBm		
Max Return Loss	10 dB		
Typical Throughput in Challenging Environment	~430 tags/second		
Supported Regions	US, Canada and other regions following U.S. FCC Part 15 regulations Europe and other regions following ETSI EN 302 208 without LBT regulations Brazil		
RFID Application Interface	EPCglobal Low Level Reader Protocol (LLRP) 1.0.1		
Network Connectivity	10/100BASE-T auto-negotiate (full/half) with auto-sensing MDI/MCX for auto-crossover (RJ-45)		
IP Address Configuration	DHCP Static Link local Addressing (LLA) with Multicast DNS (mDNS)		
Time Synchronization	Network Time Protocol (NTP)		
RFID Management Interfaces	Impinj RShell Management Console using serial management console port, telnet or SSH SNMPv2 MIBII EPCglobal Reader Management v1.0.1 Syslog		
Weight	1.5 lbs (0.68kg)		
RoHS	Compliant to European Union directive 2002/95/EC		
Reliable RFID Firmware Upgrade	Dual image partitions enable smooth transition to new RFID firmware while the RFID reader is still operating Scalable upgrade mechanism enabling simultaneous scheduled upgrades of multiple readers		
RFID Management Console	RS-232 using a standard Cisco-style management Cable (DB-9 to RJ-45) Baud rate: 115200; Data: 8 bit; Parity: none; Stop: 1 bit; Flow control: none		
USB	USB 1.1 Device (Type B) and Host (Type A) ports		
GPIO	4 inputs, optically isolated, 3–30V 4 outputs, optically isolated, 0–30V, non-isolated 5V, 100 mA supply (DB-15)		
Power Sources	Power over Ethernet (PoE) IEEE 802.3af +24 VDC @ 800 mA via external universal power supply with locking connector—sold separately		
Power Consumption		Idle	Typical
	PoE at +30 dBm	3 W	11.5 W
	Power Supply at +30 dBm	3 W	13.5 W
	Power Supply at +32.5 dBm	3 W	15 W
	* maximum is 31.5 dBm for ETSI region readers		
Environmental Sealing	IEC IP52		
Operating Temperature	-20 °C to +50 °C		
Humidity	5% to 95%, non-condensing		
Dimensions (H x W x D)	7.5 x 6.9 x 1.2 in (19 x 17.5 x 3 cm)		