



Implementación de un Sistema RFID (radio frequency identification) para la identificación de los productos y sus características, en el Proceso de Manufactura Flexible en el Centro Tecnológico de Automatización Industrial (CTAI) de la Facultad de Ingeniería Industrial en Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá.

Presentado por: Alejandro Arango

Énfasis: Tecnología

Asesorado por: Ingeniero Manuel Moreno

Entregado a: Coordinación de proyectos de grado

Agradecimientos

Agradezco la realización de este trabajo de Grado al Ingeniero Manuel Moreno, de este trabajo de grado.

De igual forma se agradece al ingeniero Sergio González por toda su dedicación tratando de resolver las dudas sobre el procedimiento del proyecto y toda la información prestada para poder llevar a cabo el desarrollo del proyecto.

Finalmente agradezco a todo el personal del Centro Tecnológico de Automatización Industrial de la Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá por su ayuda incondicional para la realización de este trabajo de grado.

Gracias a Todos

Tabla de Contenido

1. Introducción.....	7
2. Objetivo General.....	9
2.1 Objetivos específicos.....	9
3. Formulación y Justificación.....	10
3.1 Situación Actual y Simulaciones actuales	10
3.2 Formulación del problema	13
3.3 Justificación del sistema RFID	14
4. Marco Teórico	18
4.1 Historia	19
4.2 Tipos de etiquetas y frecuencias utilizadas	19
4.2.1 Diferencias entre las frecuencias utilizadas	20
4.2.2 Costos de las Etiquetas comerciales	21
4.2.3 Etiquetas RFID pasivas.....	21
4.4 Aplicaciones	24
4.5 Laboratorios universitarios utilizando RFID.....	24
4.6 Estándares ISO para etiquetas	27
5. Selección de tipo de tecnología	28
6. Diseño del Sistema RFID.....	29
6.1 Kit de evaluación TRF7970AEVM	29
6.2 Diseño del panel de control del sistema RFID.....	33
6.3 Revisión de inventario y tablas de convenciones	42
6.4 Escritura de inventario de piezas en AS/RS	47
6.5 Integración del sistema	50
6.6 Pruebas de distancia máxima de lectura.....	51
6.5.1 Diseño de experimentos propuesto.....	58
6.6 Pruebas, instalación y Simulación	61
7. Resultados.....	67
7.1 Resultados de las pruebas	67

7.2	Resultados de la simulación.....	74
7.3	Análisis estadístico.....	76
7.4	Guía de laboratorio para prácticas.....	79
8.	Análisis Costo beneficio	81
8.1	Análisis económico del proyecto.....	82
8.2	Beneficios CTAI.....	85
8.3	Beneficios estudiantes de Ingeniería Industrial	85
8.4	Beneficios Pontificia Universidad Javeriana.....	85
9.	Recomendaciones	86
9.1	Recomendaciones generales.....	86
9.2	Recomendaciones de continuidad	87
9.3	Diseño propuesto para el CTAI	90
10.	Conclusiones.....	94
11.	Bibliografía.....	96
12.	Anexos	99

Tabla de ilustraciones

Ilustración 1.	Proceso general de manufactura en el CTAI.....	12
Ilustración 2.	Proceso posible con tecnología RFID.....	17
Ilustración 3.	Enlace a corta distancia por inducción electromagnética. (Chawla et. Al. 2007)	22
Ilustración 4.	Tipos de etiquetas LF y HF. (Chawla et. Al. 2007)	22
Ilustración 5.	Enlace a larga distancia por diferencia de potencial. (Chawla et. Al. 2007) .	23
Ilustración 6.	Etiquetas de conectividad a largo alcance. (Chawla et. Al. 2007).....	23
Ilustración 7.	Laboratorios Universitarios en Norte América. (Fosso y Michael, 2010)	25
Ilustración 8.	Laboratorios Universitarios en Norte América 2. (Fosso y Michael, 2010) ...	26
Ilustración 9.	Componentes del TRF7970AEVM (Plintec Ltda. Bloque2).	29
Ilustración 10.	Etiquetas ISO 15693.....	30
Ilustración 11.	Ejecutable GUI de Texas Instruments.	31
Ilustración 12.	Secciones de la Interface del software. (User´s guide TRF7960, ANEXO 1)	32
Ilustración 13.	Panel de control RFID, Modo Lectura.....	34

Ilustración 14. Diagrama de flujo, conexión y potencia.....	35
Ilustración 15. Ejemplo modo lectura activado.....	36
Ilustración 16. Diagrama de flujo, modo lectura.....	37
Ilustración 17. Panel de control sistema RFID. Modo escritura.....	38
Ilustración 18. Diagrama de flujo, Modo escritura.....	39
Ilustración 19. Panel de control sistema RFID. Instrucciones.....	40
Ilustración 20. Panel de control sistema RFID. Códigos.....	41
Ilustración 21. Codificación UID.....	44
Ilustración 22. Escritura de datos en etiquetas.....	48
Ilustración 23. Panel de control sistema RFID, después de cada escritura de datos.....	48
Ilustración 24. Panel de control sistema RFID. Lectura de etiquetas.....	49
Ilustración 25. Base de datos generada en el panel de Control del sistema RFID.....	49
Ilustración 26. Integración RFID y SAP.....	50
Ilustración 27. Ajuste de lectura en metales.....	54
Ilustración 28. Ejemplo Observaciones de distancia.....	54
Ilustración 29. Gráfica de Pareto estandarizado.....	56
Ilustración 30. Pruebas Fase I.....	61
Ilustración 31. Pruebas Fase II.....	62
Ilustración 32. Montaje para simulación de proceso.....	63
Ilustración 33. Sleeve (Tomado de Ing. Luisa Fernanda Muñoz, 2013).....	64
Ilustración 34. Posición 28 del AS/RS.....	64
Ilustración 35. Proceso de Sleeve en la simulación.....	65
Ilustración 36. Lectura de datos en simulación de producción de SLEEVE-BR.....	66
Ilustración 37. Información en Panel de Control en la simulación.....	66
Ilustración 38. Histograma de frecuencias (Elaborada en SPSS).....	77
Ilustración 39. Prueba de ajuste para los datos de contador.....	78
Ilustración 40. Pregunta 1 de la encuesta.....	79
Ilustración 41. Pregunta 2 de la encuesta.....	80
Ilustración 42. Manipulación de la tarjeta sin manilla con descarga a tierra.....	86
Ilustración 43. Sistema de manufactura flexible, CTAI.....	91
Ilustración 44. Estaciones banda transportadora.....	91
Ilustración 45. Diseño propuesto del sistema RFID.....	92
Ilustración 46. Diseño propuesto sistema RFID horizontal.....	92

Contenido de Tablas

Tabla 1. Comparación de tecnologías.....	20
Tabla 2. Diferencia entre módulos de evaluación RFID.....	28
Tabla 3. Características de los tags.....	30

Tabla 4. Información en cada bloque de la memoria.	38
Tabla 5. Códigos CTAI.	42
Tabla 6. Inventario actual en base de datos CTAI.	43
Tabla 7. Inventario Actual del AS/RS, con ejemplo de UID.	45
Tabla 8. Convención de códigos para materiales.	45
Tabla 9. Convención de códigos para la forma de materiales.	46
Tabla 10. Ejemplos de posición y sus códigos.	46
Tabla 11. Tabla de información guardada en las etiquetas.	47
Tabla 12. Factores y niveles del diseño 2^3	51
Tabla 13. Diseño 2^3 para distancias.	53
Tabla 14. Réplicas del diseño, tomadas en centímetros.	55
Tabla 15. Tabla de contrastes.	55
Tabla 16. ANOVA del diseño.	55
Tabla 17. Mejores Tratamientos del diseño.	56
Tabla 18. Tratamientos y bloqueos del diseño en cuadrado latino.	58
Tabla 19. Diseño en cuadrado latino.	59
Tabla 20. Diseño Factorial 3 x 2.	60
Tabla 21. Resultados pruebas FASE I.	70
Tabla 22. Resultados pruebas FASE II.	71
Tabla 23. Resultados FASE II en el panel de control.	73
Tabla 24. Resultados de simulación.	75
Tabla 25. Estadística Descriptiva del contador.	76
Tabla 26. Costo del proyecto.	81
Tabla 27. Datos necesarios para el análisis.	82
Tabla 28. Ingresos de los escenarios planteados.	82
Tabla 29. Costos de alquiler.	83
Tabla 30. Ingresos y costos del escenario 1.	83
Tabla 31. Flujo de caja para escenario 1.	83
Tabla 32. Ingresos y costos para escenario 2.	83
Tabla 33. Flujo de caja para escenario 2.	84
Tabla 34. Flujo de caja para 20 horas de curso FMS.	84
Tabla 35. Flujo de caja para 20 horas de elaboración de piezas.	84
Tabla 36. Propuestas de continuación.	90
Tabla 37. Costo de propuesta con equipos Plintec en dólares americanos.	93
Tabla 38. Costo propuesta con Equipos UHF Kimbaya y HF Plintec, en dólares americanos.	93
Tabla 39. Costo propuesta con equipos UHF de HTK y HF de Plintec en dólares americanos.	93
Tabla 40. Dimensiones sugeridas para material que separa la etiqueta.	95

1. Introducción

La tecnología es una herramienta de gran ayuda para todas las áreas de la ingeniería, desde la educación hasta los procesos complejos dentro de diferentes compañías. El uso apropiado de ella lleva a tener grandes resultados de eficiencia y productividad en diferentes procesos, pero no siempre una innovación tecnológica lleva hacia algo bueno, ya que al momento de tener una mala decisión en la selección de dicha tecnología puede empeorar el problema o cuello de botella que se quiere solucionar. Uno de los principales problemas que se encuentra en la vida industrial es la falta de información precisa sobre diferentes procesos de manufactura, materiales o productos terminados, en los cuales es importante tenerlos debidamente identificados, ya sea para control, análisis, etc. Desde la aparición de la producción masiva de productos, se ha hecho necesario tener un control sobre ellos con el fin de saber qué es, de dónde viene y para dónde va. Es aquí donde aparece la identificación de materiales, productos, lotes de producto, maquinaria y equipos dentro de la industria.

Uno de los sistemas más conocidos para solucionar este problema de identificación, es el código de barras, donde un código almacena cierta información de lo que se está etiquetando o marcando, y con la ayuda de un lector conectado a un PC accede a una base de datos con información pertinente sobre el objeto o producto. A pesar de su bajo costo de implementación tiene ciertos limitantes para implementar este sistema en otras aplicaciones diferentes a las de realizar inventario, como que los lectores deben ser activados en cierto ángulo y operado por una persona, las etiquetas se ensucian o rayan fácilmente impidiendo su lectura, no pueden guardar otro tipo de información que un código y no se pueden reescribir. Atacando las principales debilidades del código de barras surge un sistema de identificación basado en ondas electromagnéticas RFID (por sus siglas en inglés para Radio Frequency Identification), donde se pueden leer las etiquetas de manera automática y a cierta distancia del lector. Otra característica principal de este sistema es la memoria que traen las etiquetas donde se guarda la información, la cual se puede reescribir las veces que se desee. Teniendo en cuenta estas características y la gran variedad de aplicaciones que la tecnología RFID ofrece a las diferentes áreas de la ingeniería y con base en la falta de visibilidad de productos en procesos de producción, se elabora el trabajo de grado en el sistema de manufactura flexible ubicado en el Centro tecnológico de Automatización Industrial de la Pontificia Universidad Javeriana en Bogotá, Colombia. En este laboratorio universitario, también llamado CTAI, se cuenta con diferentes salas destinadas al aprendizaje de los estudiantes en diferentes áreas de la ingeniería industrial como: Neumática, Integración de procesos por computador, Diseño del producto y Manufactura flexible. De igual forma se fomenta la investigación de estudiantes y profesionales sobre diferentes tecnologías, de esta forma permitiendo una mejora continua del centro y una actualización de equipos y tecnología. Por otro lado, se cuenta con el mejor software para el diseño y las tecnologías de información, entre ellos podemos encontrar software como SAP y Labview, programas con gran alcance dentro de

su área aportando un valor agregado a quienes realizan sus proyectos o prácticas en el centro tecnológico.

Dentro del FMS (sistema de manufactura flexible) ubicado en éste laboratorio, no se cuenta con un sistema de inventario adecuado ya que no se tienen marcadas las piezas y durante el proceso no se puede ver lo que está pasando con los productos en el proceso, al igual que muchos de los procesos de manufactura que se llevan a cabo en diferentes organizaciones. Es importante obtener información de los productos o materiales mientras se encuentran en el proceso de manufactura con el fin de analizar la información y mejorar la eficiencia y aumentar la productividad. Otro aspecto importante es hacerle una trazabilidad a los productos en proceso, con el fin de saber en qué estaciones de trabajo se encuentran, el operador que está manipulando la estación, la fecha y hora en la que se manipuló el material, entre otros datos. De esta forma, a través de este proyecto se busca implementar un sistema RFID dentro del sistema de manufactura flexible ya mencionado con el fin de obtener cierta información de los materiales con ayuda de unas etiquetas RFID, realizando una interface hombre-máquina, para poder realizar diferentes lecturas o escrituras de datos mientras el producto está en determinado proceso.

Ya que el conocimiento por parte de estudiantes de ingeniería de la Pontificia Universidad Javeriana sobre la existencia y aplicaciones de la tecnología RFID es muy limitado, es importante destacar las características, ventajas y desventajas, y aplicaciones de la tecnología hasta el momento, con el fin de generar un conocimiento adicional de las tecnologías existentes que se aplican en logística e inventarios, aunque se debe tener en cuenta que la identificación por radio frecuencia tiene más aplicaciones como en acceso a edificios, peajes o en procesos de producción. Además se pretende dejar una base para futuras investigaciones y diferentes aplicaciones que se puedan realizar con esta tecnología.

Para poder implementar el sistema RFID en el sistema de manufactura flexible del CTAI, se compró un módulo de evaluación de Texas Instruments (TRF7970AEVM), que cuenta con un lector y un juego de etiquetas RFID. Este módulo se integró por medio del puerto serial del computador, al programa LABVIEW, permitiendo realizar un panel de control fácil de utilizar, que permite hacer lecturas y escrituras de las etiquetas, al igual que crear bases de datos en Microsoft Access. Con la ayuda de unos códigos establecidos, se diferenciaron las piezas por una identificación única, forma, material y la posición en el AS/RS (sistema automatizado de almacén, siglas de Automated Storage and Retrieval System) que ocupa la pieza. Por otro lado se realizó un diseño de experimentos para determinar la mejor posición etiqueta-antena posible, y así poder hacer el montaje en la banda transportadora del sistema de manufactura flexible, realizando pruebas de lectura. Finalmente se deja claro un análisis costo-beneficio sobre esta implementación en el CTAI, con algunas recomendaciones sobre que se debe hacer con base a lo que se logró en este trabajo, fomentando así, la investigación de los alcances de esta nueva tecnología.

2. Objetivo General

Implantar un sistema RFID en el sistema de manufactura flexible del CTAI, con el fin de identificar los productos y sus características, brindando un mayor alcance a las simulaciones de los procesos de manufactura.

2.1 Objetivos específicos

- Analizar el tipo de materia prima con la que cuenta el almacén AS/RS actualizando el inventario, para así determinar las diferencias de las piezas que se van a etiquetar y actualizando el inventario existente en este sistema de almacenamiento.
- Marcar las piezas de materia prima con las etiquetas de tecnología RFID (Radio frequency Identification), para guardar la información correspondiente a cada pieza, dándole una información única a cada una de estas, en la memoria de dicha etiqueta.
- Realizar un diseño de experimentos, tomando como variable la distancia máxima de lectura entre la antena del lector y las etiquetas, para determinar la posición adecuada en la que se debe instalar el lector RFID.
- Instalación del lector pasivo RFID en la línea de proceso de manufactura flexible, para realizar pruebas de lectura y escritura en las piezas etiquetadas a través del software diseñado para la adquisición de los datos del proceso.
- Generar informe estadístico de las piezas que han sido procesadas en las pruebas, con el fin de determinar el número de veces que se ha procesado esa pieza desde la instalación del sistema, teniendo información en tiempo real.
- Realizar un análisis costo beneficio con respecto a los aportes que tendría en el centro tecnológico de automatización industrial de la Pontificia Universidad Javeriana la implementación del sistema RFID.
- Crear una guía de laboratorio detallada, la cual pueda ser utilizada para realizar una práctica de laboratorio dentro del CTAI usando la interfaz y el kit RFID, con el fin de motivar a los estudiantes a aprender e investigar sobre la identificación por radio frecuencia.

3. Formulación y Justificación

3.1 Situación Actual y Simulaciones actuales

El centro tecnológico de automatización industrial es un lugar dentro de la Pontificia Universidad Javeriana donde principalmente se brinda un servicio de apoyo a la educación de los estudiantes de diferentes carreras o programas académicos, en todas las áreas de automatización de procesos. Por otro lado, es un espacio que es utilizado para la investigación e innovación. Dentro de este laboratorio se tienen espacios para el diseño y fabricación del producto, simulaciones de procesos de manufactura, operaciones con máquinas de control numérico CNC, control de procesos de manufactura por computador, entre otros. El propósito principal de éste centro de automatización industrial a parte de lo mencionado anteriormente, es mejorar los procesos e intereses investigativos de la universidad, al igual que la prestación de servicios de asesoría en cuanto a temas de automatización de procesos de manufactura, de este modo el CTAI ayuda a contribuir en el desarrollo científico y tecnológico de Colombia.

En el año 1993 se creó dentro del departamento de Ingeniería Industrial una sección llamada laboratorios, dándole paso al comienzo del centro de automatización. Para este tiempo el centro solo contaba con equipos neumáticos y máquinas de uso didáctico para el manejo de procesos metalmecánicos, con los que se complementaban las materias de procesos industriales y taller de procesos respectivamente. Al pasar de los años se adquirieron paquetes de software para el diseño y manufactura asistidos por computador¹. En la actualidad el CTAI cuenta con un sistema de manufactura flexible el cual explicaremos más adelante con detalle.

El centro tecnológico de automatización industrial cuenta con dos salas, en donde se lleva a cabo todo lo referente a tecnologías de información y diseño por computador llamadas salas CIM (computer integrated manufacturing) y CAD (computer aided design) / CAM (computer aided manufacturing). Por otro lado, cuenta con su sala fundadora, sala de neumática. Esta sala cuenta con todas las herramientas necesarias para el aprendizaje de la automatización basada en principios neumáticos, eléctricos y de control con PLC (controladores lógicos programables) en donde los estudiantes pueden simular procesos tanto en computador como con elementos neumáticos reales. Finalmente encontramos un espacio donde se ubica el sistema de manufactura flexible, en el cual se pueden hacer simulaciones de diferentes procesos totalmente automatizados.

Se deja la explicación detallada del sistema de manufactura flexible al final, ya que el proyecto se realizó en ésta área del CTAI. El FMS (por sus siglas en ingles que hacen referencia a flexible manufacturing system) cuenta con un almacén de materia prima y producto terminado AS/RS (automated storage and retrieval system), en donde se tienen piezas de diferentes materiales y tamaños simulando las materias primas y los productos terminados. Adicionalmente el mismo almacén tiene un sistema de transporte que se

¹ Pontificia Universidad Javeriana. Centro Tecnológico de Automatización (CTAI). En: http://puj-portal.javeriana.edu.co/portal/page/portal/Facultad%20de%20Ingenieria/dpto_indust_laboratorios_ctai

encarga de mover la pieza desde la posición de almacenamiento hacia la banda transportadora del sistema, y de manera contraria desde la banda transportadora hacia la posición que se desee almacenar la pieza dentro del almacén. Por otro lado, se tiene una banda transportadora con cuatro diferentes estaciones, equipadas con sensores, donde se puede simular por medio de un computador donde el objeto debe parar en el sistema de manufactura. Al ser una banda transportadora experimental, no es una banda transportadora tradicional, tiene unos pequeños carros que transportan la pieza por toda la longitud de la banda. Existe una estación de control de calidad, cuyo principio la visión artificial, es decir que, un sensor óptico revisa la pieza que se pone en el control de calidad. El sistema cuenta con un robot manipulador RV-2A Mitsubishi de 7 ejes, que se encarga de manipular cualquier objeto que se encuentre en la banda transportadora y llevarlo a una estación de mecanizado, es importante destacar que este robot tiene un eje de movimiento más que el brazo de un ser humano, lo cual hace que el robot pueda tener movimientos más eficientes que si se hace el trabajo por una persona. Finalmente el centro cuenta con una estación de mecanizado, que en este caso sería de torneado y fresado. Aquí es donde se simula que el objeto tiene una transformación física.

Teniendo en cuenta estos elementos y el poco espacio que se tiene en las instalaciones, los procesos de manufactura que se pueden tener son muy limitados. Para la simulación de un proceso de manufactura en este sistema, se lleva a cabo normalmente el siguiente proceso:

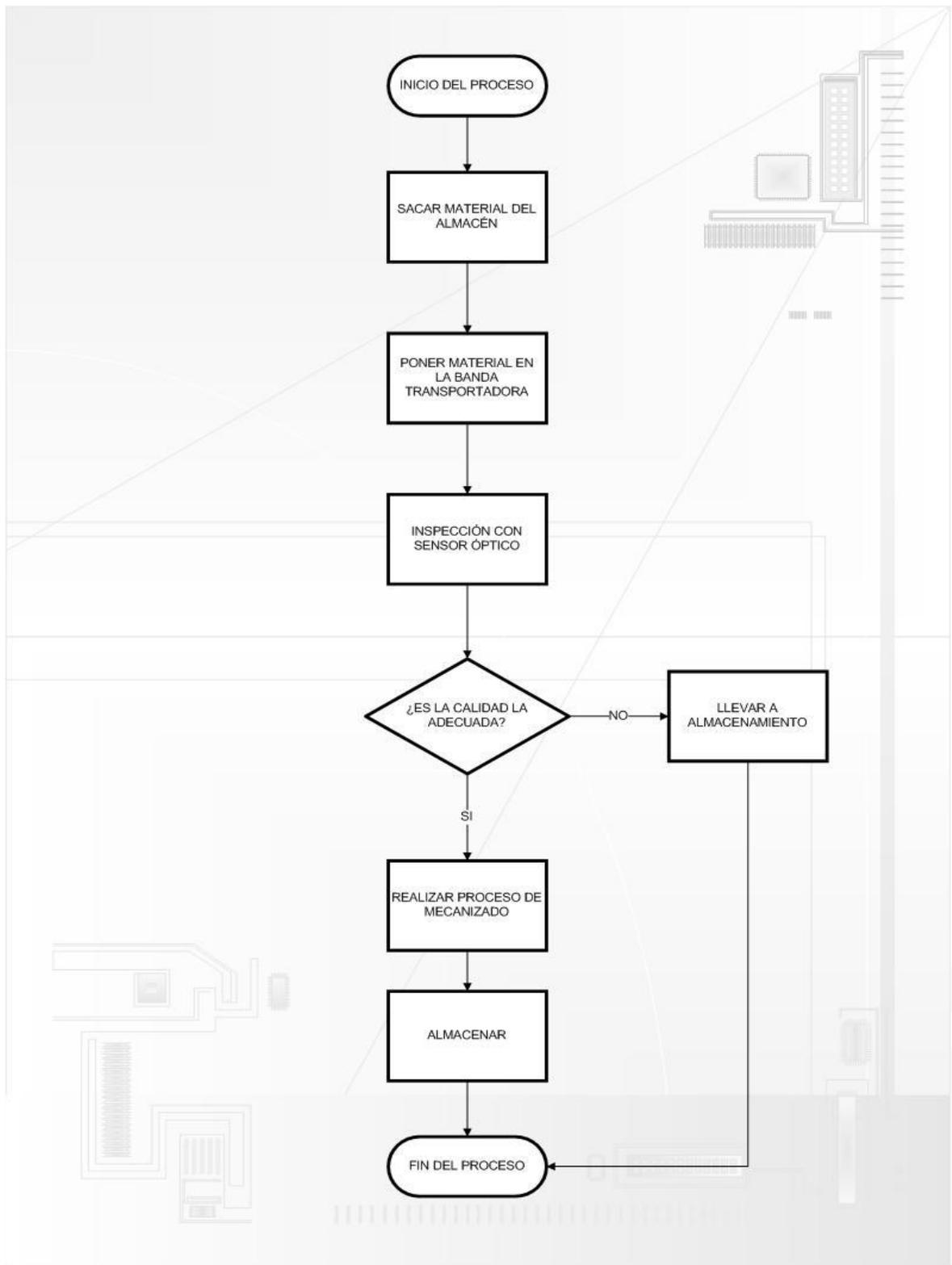


Ilustración 1. Proceso general de manufactura en el CTAI

El proceso se empieza en el almacén donde éste mismo selecciona la pieza que va a ser procesada y lo pone en uno de los carros de la banda transportadora, posteriormente la banda transportadora mueve la pieza por todo el recorrido haciendo una parada en la zona de calidad. Es aquí donde se decide si la pieza tiene una calidad adecuada para el proceso, de no tener dichas características la pieza vuelve a ser almacenada. Si la pieza cumple con las características la banda sigue moviendo el carrito que contiene la pieza y lo lleva a ponerlo en posición, para que luego el robot manipulador tome la pieza y la ponga en la estación de mecanizado. Allí la pieza es transformada dentro de la máquina, al terminar el proceso el robot toma la pieza una vez más y la coloca en el carro de donde la tomo inicialmente. El carro lleva la pieza terminada al almacén y éste se encarga de su almacenamiento final. Es importante destacar que este proceso no es único y puede tener cualquier tipo de variaciones, ya que se utiliza el sistema de manufactura flexible para simular diferentes procesos que se quieren analizar.

3.2 Formulación del problema

No todos los procesos de manufactura se pueden simular en este sistema ya que no hay el suficiente espacio ni las suficientes estaciones, pero como medio de aprendizaje y de investigación es el adecuado para realizar éstos tipos de simulaciones. El conocimiento de la tecnología de identificación por radio frecuencia en nuestro país es muy limitado, ya que es utilizada comúnmente para acceso a instalaciones mediante tarjetas inteligentes (Near Field Communication), a pesar de ser una tecnología de más de 10 años de recorrido, todavía se está desarrollando, dándole la posibilidad de tener muchas aplicaciones no solo en logística sino también en manufactura. Es importante dar a conocer el alcance de esta tecnología a los nuevos estudiantes y profesionales de la ingeniería, ya que cuando se habla de identificación, el primer sistema que se tiene en cuenta es el de códigos de barras o códigos QR (famosos por su aplicación en celulares inteligentes). Con prácticas sencillas como introducción a RFID (mostrando sus componentes y la forma básica de cómo funciona), realizar inventario por medio de RFID, y realizar ejercicios de lectura y escritura de datos; se podría aumentar el conocimiento de los estudiantes y profesionales sobre otro tipo de tecnología con una gran variedad de aplicaciones en la vida real y no solo a modo de simulación. Todo profesional de ingeniería desarrolla cualidades que le ayudan a enfrentar problemas en la vida real, con la ayuda de diferentes herramientas aprendidas, lo que nos lleva a pensar que teniendo presente esta herramienta tecnológica se pueden encontrar soluciones más productivas y eficientes. De igual forma al tener en cuenta que es una tecnología que aún está en desarrollo, se puede fomentar la investigación en los ámbitos de la ingeniería electrónica y de sistemas, creando nuevos dispositivos electrónicos que resuelvan algunas de las limitantes actuales, o creando diferentes tipos de software cuyas características sea su fácil utilización y que tengan una gran capacidad para integrarse con otros programas de cómputo utilizados en otras áreas de la ingeniería.

Por otro lado, las piezas de simulación son pocas pero tienen diferentes aspectos y características, como lo son el tamaño, la forma y el material. Con estas diferentes piezas se tienen diferentes procesos y diferentes programaciones de CNC deben hacerse para cada tipo de pieza, creando diferentes transformaciones y por ende, diferentes productos finales. De igual forma en este sistema de manufactura flexible no se sabe con exactitud la cantidad de piezas que se tienen en el inventario, esto se puede ver con el software del

AS/RS, pero se debe estar actualizando para ello. Por otro lado en cualquier momento una persona puede tomar alguna pieza, y el sistema no sabrá si está o no ubicada donde se había registrado inicialmente. Como se mencionó numerosas veces anteriormente; por esto se puede decir que el sistema está ciego, ya que no sabe que pieza se está transportando o está siendo manipulada por el sistema. El proceso se puede simular con cualquier pieza e inclusive sin ninguna pieza sin notar la diferencia. Esto puede limitar un poco el tipo de proceso que se está simulando, ya que como se mencionó anteriormente no se sabe qué tipo de pieza es ni qué cantidad de materia prima hay en el sistema de almacenamiento.

3.3 Justificación del sistema RFID

Con la diversidad de procesos de manufactura que existen alrededor del mundo, vienen también ciertos tipos de restricciones para la mejora de estos procesos, en los cuales muchas de las veces se encuentran soluciones por medio de diferentes tecnologías. Existe una restricción o problema muy común en los procesos de manufactura y es lo que se mencionó en el capítulo anterior de que el sistema estaba ciego. En muchos procesos de manufactura se sabe lo que se pone a producir pero durante el proceso es muy difícil saber con exactitud el flujo de material que hay en cada operación o que ha pasado por cada operación, este problema se vuelve más contundente cuando varias de las operaciones del proceso se hacen de forma simultánea y no se ve lo que se está pasando. Este problema se presenta en el caso de estudio (Ngai et al 2012), en donde una empresa manufacturera de indumentaria ubicada en China sufría de esta ceguera mencionada anteriormente. En los procesos de esta empresa no se podía tener ningún tipo de información del flujo de material de productos en proceso. Las operaciones de estos procesos, se hacían con operarios que contaban con ayuda de cortadoras y máquinas de coser, lo que se convertía en un gran inconveniente para la administración del proceso. Estos operarios tenían un sistema de etiquetas que le ponían a las partes de la tela que iban procesando y con esto se medía la productividad al final del día, lo que llevaba a que la empresa tuviera análisis de la productividad poco precisos, lo que crea también un problema al determinar la productividad del día. Por otro lado, no se podía cuantificar los flujos de material a través de las operaciones, ya que no se contaba con información al instante. Finalmente había una falta de información en tiempo real para la detección de cuellos de botella y poder realizar balanceos de las líneas de producción de la empresa.

Aquí es cuando se debe encontrar la solución a esta ceguera en la línea de producción de diferentes procesos. La tecnología en estos tiempos es una herramienta muy importante para mejorar procesos en ingeniería, pero no siempre puede solucionar los problemas, o simplemente una mala decisión en la selección del tipo de tecnología puede ser sencillamente contraproducente. En este caso se podrían llegar a utilizar dos tipos de tecnologías. Una de ellas es el código de barras, que se conoce comúnmente en los

productos que adquirimos en los supermercados, que consiste en unas barras impresas pegadas al producto y son leídas por un dispositivo conectado a un computador donde se muestran ciertas características del producto. El otro tipo de tecnología es el sistema de identificación por radiofrecuencia RFID (radio frequency identification), este sistema cuenta con una etiqueta que se adhiere al producto, un lector y un software de computador donde se muestra la información de lo que se ha guardado en la etiqueta. En el estudio de la identificación de pacientes en un hospital utilizando un sistema RFID (Aguilar 2007), se hace una comparación de estas dos tecnologías destacando algunas ventajas y una desventaja a favor del sistema RFID. Los lectores de códigos de barras solo pueden leer un código a la vez, mientras que un solo lector de etiquetas RFID puede leer más de 100 etiquetas a la vez, dependiendo de la tecnología que se use. Por otro lado, una vez el código de barras es impreso la información no se puede modificar, mientras que las etiquetas de identificación por radio frecuencia pueden leer, escribir y reescribir la información que esta posee. Cuando se habla de automatización se pretende optimizar la mano de obra, lo cual no es posible con los lectores de código de barras, mientras que los lectores RFID leen las etiquetas una vez éstas pasan cerca al campo electromagnético del lector (en algunos casos es de 10cm hasta más de 10 metros, según la frecuencia que maneje el lector). Finalmente se existe una desventaja de la tecnología RFID con respecto a los códigos de barras, y es su precio. El costo de un sistema que pueda leer códigos de barras es mucho más económico que el sistema RFID, tanto en los equipos como en las etiquetas, ya que un código de barras puede costar 10 COP mientras que una etiqueta puede costar alrededor de 1800 COP. Existen otras ventajas a favor del sistema RFID, como lo es la rapidez de lectura de las etiquetas que puede llegar a superar 20 veces el tiempo de lectura de un código de barras. Existen diferentes condiciones laborales en las diferentes industrias, lo que crea interferencias en ambos sistemas, cuando un código de barras está lleno de polvo el lector no puede leerlo creando así la interferencia de lectura. En un sistema RFID se pueden tener interferencias cuando se tiene muchos objetos metálicos o agua cerca, pues hacen interferencia en los campos electromagnéticos, pero escogiendo la frecuencia adecuada de los lectores se pueden superar estas interferencias.

Teniendo en cuenta que la única desventaja que tiene el sistema RFID frente a un sistema de código de barras es el precio de los equipos, y que si dicho sistema que se implante en un proceso de manufactura mejorará la eficiencia y la productividad, se tendrán un mayor número de ingresos, lo que cubriría los gastos de la inversión, la tecnología de identificación por radio frecuencia RFID es la adecuada para solucionar el problema que se planteó en el capítulo anterior. En la fábrica de indumentaria en China (Ngai et al 2012), se implementó un sistema RFID etiquetando los materiales y adjuntándole un lector a cada una de las máquinas que usaban los operarios con el fin de tener información en tiempo real de lo que estaba ocurriendo con la transformación de la materia prima a lo largo de toda la línea de producción. La implementación de este sistema se dividió en tres fases, en la primera se hizo una prueba con el sistema anterior (código de barras) y el sistema RFID simultáneamente dándole validez a la información

obtenida por el nuevo sistema, comparándola con la información de los códigos de barras. En la segunda fase se retiró el sistema de código de barras y se implantó completamente el sistema RFID, dando reportes en tiempo real del proceso y calculando las horas trabajadas por los operarios. Y finalmente en la fase tres se implementaron otro tipo de herramientas para la mejora operacional del proceso, utilizando información histórica de cada parte del proceso. Los resultados obtenidos por la implementación del sistema son muy favorables para la empresa ya que ayudo a mejorar la eficiencia y eficacia de toda la línea de producción, teniendo una mejor visibilidad de la línea de producción. El sistema RFID de igual forma ayudo a reducir los tiempos muertos por parte de los trabajadores, reducir frecuencia de defectos, retrasos en las entregas. Todo esto logro disminuir los costos de los gastos operacionales generando un margen más alto de ganancias. Finalmente se encontraron problemas que no se sabía que existían como la falta de coordinación entre los departamentos, que aunque su solución no sea directamente monetaria, genera un impulso de motivación entre los empleados.

Al implantar un sistema RFID en el sistema de manufactura flexible encontrado dentro del CTAI, beneficiaría a todos los estudiantes de ingeniería industrial enfocados en el área de tecnología y producción, al igual que los estudiantes de postgrados cuyos planes de estudios involucren éste FMS. De igual forma fomenta la investigación ya que el sistema experimental RFID puede tener diferentes usos dentro del CTAI.

Es importante dar a conocer a los estudiantes de pregrado y postgrado este tipo de tecnología ya que su crecimiento ha sido increíblemente alto en la última década y sus aplicaciones se han limitado solo por la imaginación de quién la ha implantado. Teniendo un sistema de identificación por radio frecuencia en el CTAI, se puede tener el registro de las piezas que se tienen en el almacén, guardando en la etiqueta todo lo referente a ella. En la etiqueta se puede guardar el tipo de material, la forma y el tamaño de la pieza, adicionalmente se puede tener la cuenta de cuantas veces ha pasado la pieza por el lector, sabiendo cuantas veces se ha procesado esa pieza. Teniendo diferentes características en las piezas se pueden simular diferentes procesos, con este sistema RFID es posible que el sistema reconozca el tipo de material y la forma de la pieza, para así procesarla de una forma adecuada, dándole un mayor alcance a las simulaciones del FMS. A continuación se muestra un diagrama sobre el proceso que se podría llevar a cabo con la implantación de un lector RFID en la banda transportadora del sistema de manufactura flexible.

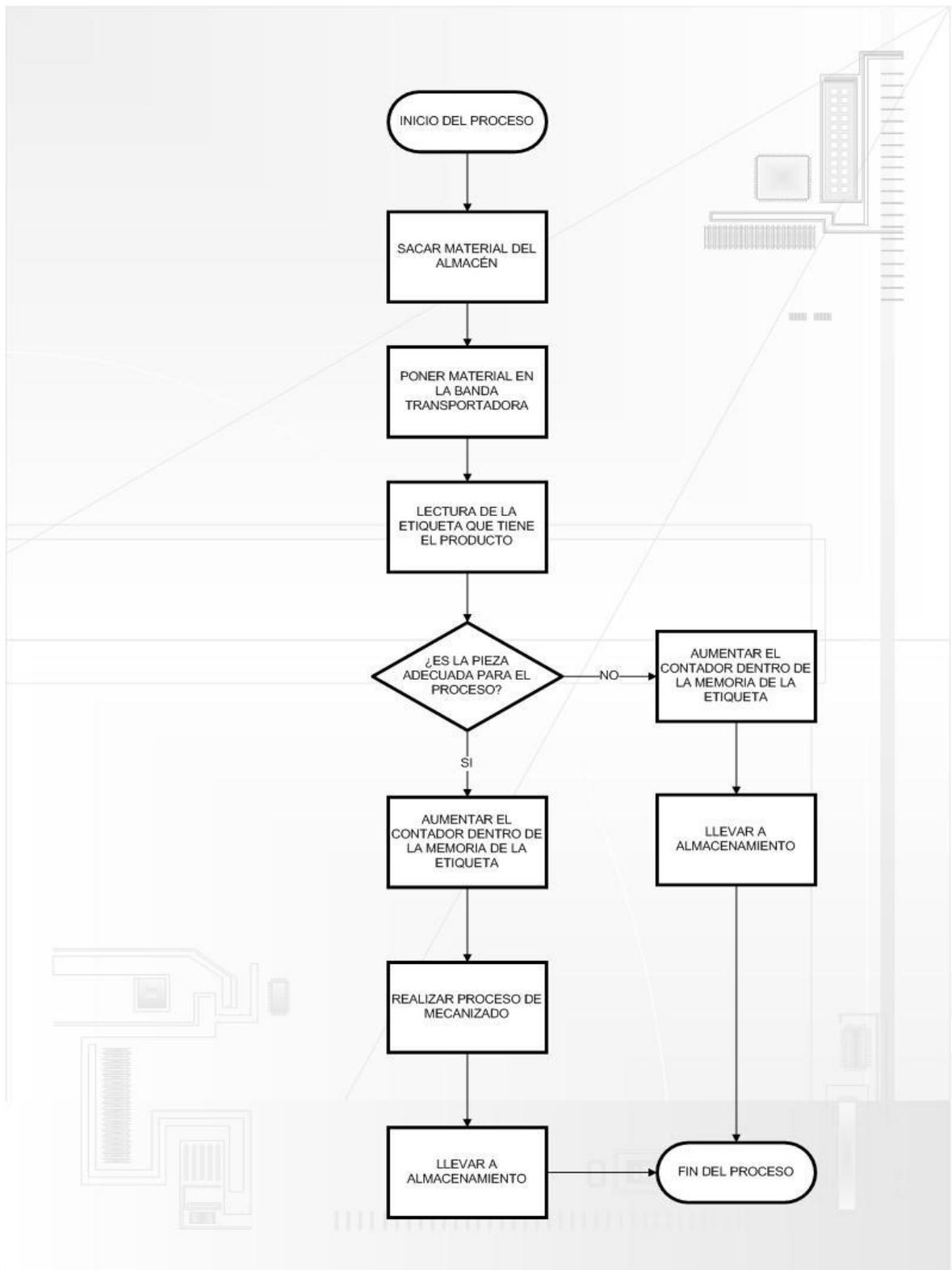


Ilustración 2. Proceso posible con tecnología RFID.

4. Marco Teórico

RFID (radio frequency identification) es una tecnología muy utilizada en la administración de la cadena de suministros y en el control de inventarios. Su uso es de gran ayuda para los procesos logísticos ya que ayuda a identificar, monitorear y obtener información de productos en tiempo real. Con una buena colaboración entre las entidades de la cadena de suministros se puede tener información actualizada y precisa de los productos que se mueven a través de ella logrando un gran avance en la gestión de inventarios, y a cumplir con el objetivo principal de la logística. Gracias a ser una tecnología muy flexible se ha podido implementar en diferentes áreas desde la identificación animal hasta procesos de manufactura discreta.

Los sistemas comunes de RFID cuentan con unas etiquetas que se adhieren a los objetos que desean ser controlados. Ésta etiqueta está compuesta por una antena, un transceptor y un circuito integrado con memoria, el circuito es el encargado de guardar la información mientras que la antena es la que transmite y recibe la información. Por otro lado, el sistema necesita de un lector de estas etiquetas que es el encargado de transmitir y recoger la información de dichas etiquetas, rastreando el movimiento físico del objeto que contiene la etiqueta. Adicionalmente este lector está conectado a un computador en donde con la ayuda de un software se obtiene la información tal y como se necesita, es decir, ya no está codificada. Para poder identificar la diferencia entre cada una de estas etiquetas, cada una cuenta con un número de identificación almacenado en la memoria, lo que hace que el lector sepa con exactitud cuál es cada etiqueta y por ende su información almacenada. Normalmente los lectores son estacionarios, pero existen nuevos lectores que son móviles o portables, éstos últimos generan un mayor rango de aplicaciones para el sistema RFID. El sistema de identificación por radio frecuencia está muy bien definido como "Una tecnología automática de identificación en donde información digital encriptada dentro de la etiqueta es capturada por un lector utilizando ondas de radio" (Liu. et. Al. 2006).

Con la comparación entre un sistema de código de barras y el sistema RFID del capítulo anterior, se nombraron la mayoría de las características del sistema de identificación por radio frecuencia, como lo era la capacidad de leer la información de más de un objeto al mismo tiempo, poder leer etiquetas a distancia y la rapidez de flujo de información que se podía tener. Las etiquetas también pueden reutilizarse y así durar por lo menos 10 años, lo que hace que el sistema tenga una gran durabilidad desde el momento en que se compra y su actualización no requiere cambios cercanos. La memoria juega un rol importante dentro de este sistema ya que al ser un circuito, permite almacenar mayor cantidad de información que sea pertinente para analizar el sistema. Finalmente los sistemas RFID pueden penetrar materiales que no sean de metal dependiendo del tipo de etiqueta que se utilice, al igual que leer en condiciones complicadas, donde otros sistemas de identificación no pueden acceder o tienen interferencias.

4.1 Historia

Como muchas de las tecnologías, el comienzo temprano de RFID empezó en el desarrollo militar. En la segunda guerra mundial los británicos desarrollaron un sistema para detectar vehículos aliados, IFF (identification of friends or foe). Con la ayuda de unos reflectores de radar arreglados en la frecuencia de la base, los radares identificaban los vehículos aliados porque brillaban más que los demás vehículos enemigos. En los años 60's y 70's, se concentró la investigación en las comunicaciones por radio frecuencia, teniendo dos prototipos patentados, uno de ellos se conectaba y obtenía energía de la ayuda de un campo electromagnético (Richarson 1963) y el otro por inducción electromagnética (Vinding 1967).

Las primeras aplicaciones comerciales de estos sistemas basados en radio frecuencias se presentaron en las décadas de los 80's y 90's. Los enfoques de la utilización de esta tecnología fueron muy diferentes entre Estados Unidos y los países europeos. La utilización de esta tecnología para el acceso de personal y de vehículos se presentó más en Estados Unidos, mientras que en los países europeos se enfocaron en el rastreo animal, en la industria y principalmente en peajes electrónicos, dando paso al primer peaje automatizado en el año 1987 instalado en Noruega.

Con la cantidad de aplicaciones que se estaban empezando a tener de esta tecnología se empezaron a tener problemas de compatibilidad entre sistemas ya que no se tenían normas de estandarización para los fabricantes. Es aquí cuando se crean las actividades de estandarización por parte de la ISO y la IEC (international electrotechnical commission), dejando las primeras dos normas para el rastreo animal (ISO11784 y ISO 11787) y primera norma para la fabricación de tarjetas de identificación (ISO 14443).

Finalmente a finales de la década de los 90's se empieza a tener la aplicación de esta tecnología en la cadena de suministros, donde se empezaron a mejorar todos los aspectos de la logística teniendo información en tiempo real de los productos que se movían por toda la cadena de suministros. Es aquí cuando se empezaron a producir etiquetas con diferentes materiales para disminuir su costo, y de esta manera poder rastrear mayor cantidad de productos a un menor costo. La primera empresa que utilizo esta tecnología en su cadena de suministros para el rastreo de productos y obtener información en tiempo real fue Wal-Mart Inc. En la actualidad EPC Global es el proveedor más importante de equipos para la utilización de la tecnología de identificación por radio frecuencia.

4.2 Tipos de etiquetas y frecuencias utilizadas

Existen dos tipos de etiquetas dentro de los sistemas de RFID que se diferencian entre sí principalmente por la fuente de energía que utilizan. Las etiquetas activas son las que tienen una batería interna que suplente al circuito con la corriente necesaria para su funcionamiento, y de igual forma mandan la señal al lector. Por otro lado las etiquetas pasivas utilizan la señal de la antena para activar el circuito integrado. Una de las principales ventajas de las etiquetas activas sobre las pasivas, es que tienen una memoria

mucho más grande y su rango de operaciones es mucho mayor. La ventaja principal de las etiquetas pasivas sobre las activas es principalmente su costo, ya que son más económicas. Dentro de las etiquetas pasivas hay otra sub clasificación que se diferencian entre sí por la velocidad de onda que se maneja, es decir, la frecuencia utilizada. Existen UHF (ultra high frequency), HF (high frequency) y LF (low frequency); ultra alta frecuencia, alta frecuencia y baja frecuencia.

El uso de las etiquetas UHF normalmente se lleva a cabo en la administración de la cadena de suministros, las frecuencias que usan este tipo de etiquetas van desde los 860MHz hasta los 960MHz. Son las etiquetas más económicas del mercado. Otra ventaja que tienen sobre las etiquetas de alta y baja frecuencia es que su tiempo de lectura es mucho menor y su distancia de lectura es mucho mayor ya que se pueden leer las etiquetas a 10 metros de distancia a la que se encuentra el lector. Las etiquetas utilizadas por la tecnología NFC (near field communication) son etiquetas de alta frecuencia (HF) y su alcance de distancia con el lector es de poco menos de un metro. Este tipo de etiquetas tienen un mejor funcionamiento en los objetos metálicos. Finalmente las etiquetas que utilizan baja frecuencia son las que menos energía necesitan para su funcionamiento, y pueden penetrar en objetos que no sean metálicos, y adicionalmente pueden leer la información a través de agua, pero su distancia de lectura a la que debe estar la etiqueta del lector no supera los 30 centímetros.

4.2.1 Diferencias entre las frecuencias utilizadas

A continuación se muestra una tabla comparativa entre las cuatro frecuencias utilizadas tanto en las etiquetas como en los lectores, de la tecnología de identificación por radio frecuencia. En dicha tabla podemos ver los aspectos más importantes que se deben tener en cuenta para escoger la tecnología que más se ajuste a lo que se está buscando.

Tipo	Frecuencia	Tipos de etiqueta	Tamaño de etiqueta	Tiempo de lectura	Capacidad de lectura cerca de metales	Alcance de lectura	Costos Etiquetas
Baja Frecuencia (LF)	Menor a 135 KHz	Pasiva	Grande	Alto	Muy bueno	<10 cms	>1,5USD
Alta Frecuencia (HF)	13,56 MHz	Pasiva	Mediana	Medio	Bueno	10cms - 100cms	0,5USD- 1,5USD
Ultra alta Frecuencia (UHF)	desde 860MHz hasta 960MHz	Pasiva y Activa	Pequeña	Bajo	Malo	4m-5m	<0,5USD
Microonda	2,45GHz	Pasiva y Activa	Muy Pequeña	Muy bajo	Muy malo	5m-15m	<0,5USD

Tabla 1. Comparación de tecnologías

4.2.2 Costos de las Etiquetas comerciales

El costo del sistema RFID no es una gran inversión ya que el lector y el servidor de computador sirven para muchas etiquetas diferentes. Entonces el problema sería la cantidad de etiquetas que se necesiten para la operación que se desea controlar con identificación por radio frecuencia. En el año 2000, fue cuando se desarrolló esta tecnología y el valor de cada etiqueta era de alrededor de 1 dólar, lo que no era posible si se quería hacer un uso extensivo de estas etiquetas, lo que exigía que el costo disminuyera drásticamente. Como se mencionó anteriormente las etiquetas más económicas del mercado son las de UHF, costando actualmente más o menos 10 centavos de dólar, mientras que el resto de etiquetas están cerca de los 13 centavos de dólar. Es importante destacar que se debe tener en cuenta el valor agregado del uso de ésta tecnología antes que pensar en el costo agregado. Si con el uso de esta tecnología se pueden cumplir con procesos de una forma más eficiente sin un costo adicional de operación, es decir, que no se debe invertir en mano de obra para su operación, se puede cuantificar este valor que se gana con la eficiencia del nuevo proceso. Al realizar esta cuantificación de la eficiencia del nuevo proceso, y es mayor al valor de las etiquetas, es una tecnología viable para la ayuda de los diferentes procesos de las empresas (Zhu et. Al. 2012).

4.2.3 Etiquetas RFID pasivas

Estas etiquetas son las etiquetas más utilizadas actualmente ya que son las más compactas y las de menor costo, ya que no requieren tantos componentes de alimentación de corriente para su funcionamiento. Las etiquetas pasivas son las que no necesitan una batería interna para su funcionamiento, aprovechan los campos electromagnéticos inducidos por el lector para generar la energía necesaria para activar el circuito interno dentro de ellas. Las etiquetas más utilizadas se clasifican según la frecuencia que utilizan en esta comunicación con el lector, y se clasifican en dos grupos, las de comunicación a corta distancia y las de comunicación a larga distancia con el lector. Para las primeras se tienen las etiquetas de baja y alta frecuencia (128KHz y 13.56MHz respectivamente).

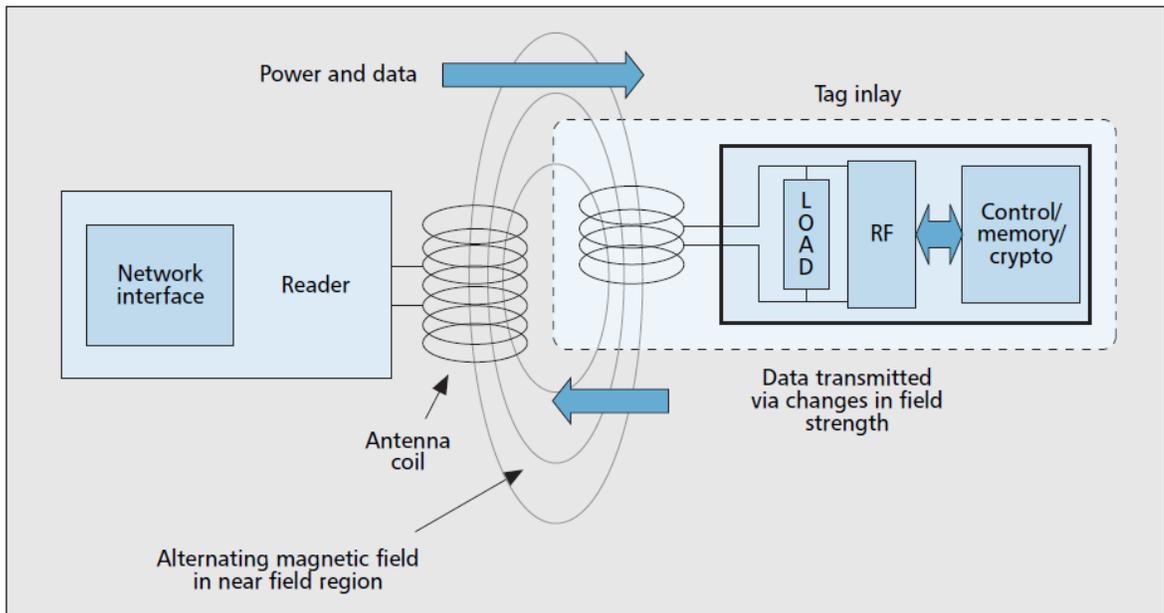


Ilustración 3. Enlace a corta distancia por inducción electromagnética. (Chawla et. Al. 2007)

Como se muestra en la figura, se crea un enlace por inducción electromagnética desde la antena del lector hacia la antena de la etiqueta, donde cualquier cambio en el campo electromagnético del lector afectara a la etiqueta, dándole la energía necesaria para activar el circuito y enviando la información que se desea escribir en la memoria interna de la etiqueta. A continuación se muestran algunos ejemplos de las etiquetas.

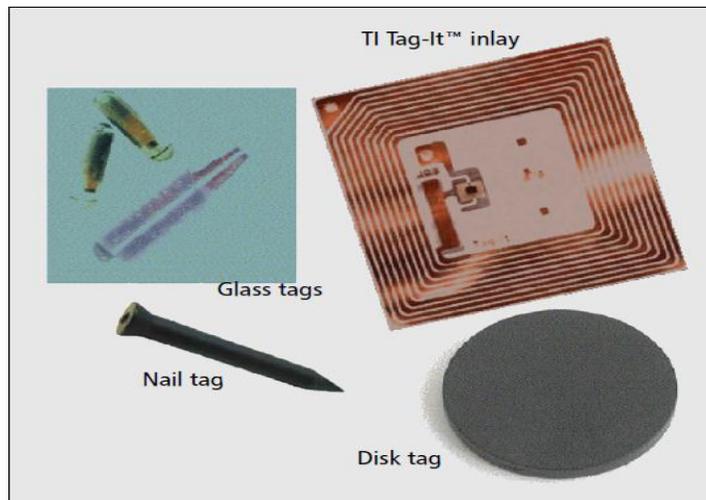


Ilustración 4. Tipos de etiquetas LF y HF. (Chawla et. Al. 2007)

Para las etiquetas de conexión a larga distancia con el lector, se encuentran las etiquetas de UHF (960MHz) y las bandas de micro ondas que operan a una frecuencia de (2.45GHz). Estas etiquetas tienen un rango de acción de entre los 5 metros y los 20 metros. Y su funcionamiento es un poco más complicado que el de las de alta y baja frecuencia.

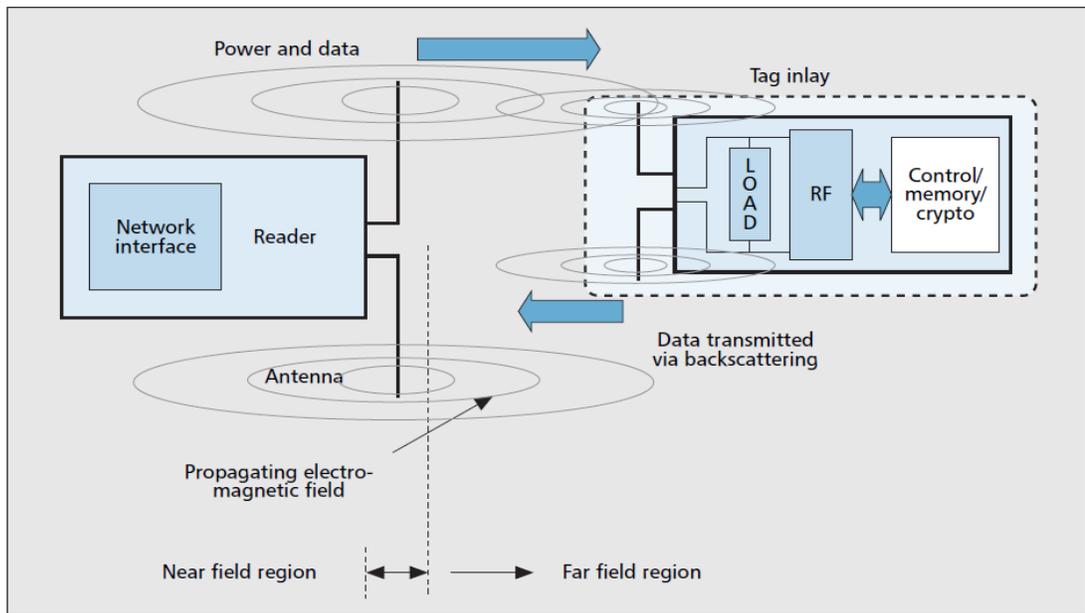


Ilustración 5. Enlace a larga distancia por diferencia de potencial. (Chawla et. Al. 2007)

Con la ayuda de dos antenas tanto en el lector como en la etiqueta, se crea una diferencia de potencial con los diferentes campos electromagnéticos de las antenas, cambiando así la cantidad de energía reflejada. El principio básico de este tipo de etiquetas es la Impedancia. A continuación se muestran los ejemplos de dichas etiquetas, que comúnmente son circuitos impresos.

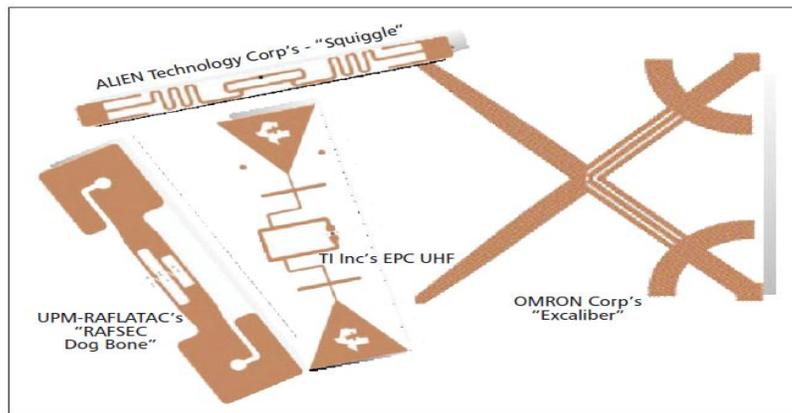


Ilustración 6. Etiquetas de conectividad a largo alcance. (Chawla et. Al. 2007)

4.4 Aplicaciones

Algunas aplicaciones en las que se han implementado sistemas RFID nombradas (Zhu et. Al. 2012):

- Stock de productos real, no basado en el sistema de información.
- Dar seguimiento a productos por toda la cadena de suministros.
- Minimizar inventarios con el rastreo de los productos.
- Estanterías inteligentes.
- Contar inventario, generar pronósticos, y probabilidades de venta en las tiendas de ropa.
- Cuartos para cambiarse dentro de las tiendas de ropa.
- Restaurante y el seguimiento a los pedidos de comida desde los proveedores.
- En el sector de la salud se utiliza para marcar a los pacientes y para tener un control en los medicamentos inventariados.

Existen otros tipos de aplicaciones como lo son todas las que tienen que ver con la industria de manufactura y el acceso a diferentes zonas con tarjetas RFID. Pues no solo se tienen aplicaciones para esta tecnología en la industria; Guinness, la principal empresa cervecera de Irlanda y principal patrocinador del Rugby irlandés, está utilizando esta tecnología para tener información y en tiempo real de todo lo que pasa en el campo de juego durante los partidos. El sistema ayuda a tener informes más detallados de estadísticas sobre pases, tackles y metros recorridos por cada jugador, además de la velocidad de los pases instalando una etiqueta dentro de la pelota de juego.

4.5 Laboratorios universitarios utilizando RFID

Teniendo en cuenta toda la capacidad y alcance de la tecnología de identificación por radio frecuencia, también se tienen muchos problemas que no permiten que se produzca a gran escala y se implemente en más cantidad de procesos. Los problemas de estandarización, rendimiento de las etiquetas y los lectores, la falta de retorno de la inversión y los requerimientos de integración con otros sistemas, son algunos de los graves problemas que tiene esta tecnología para su óptimo desarrollo. Teniendo en cuenta estas limitantes se han venido implementando laboratorios universitarios, basados en RFID. Muchos de estos laboratorios universitarios pertenecen a universidades de Estados Unidos, donde la investigación en diferentes tecnologías es muy común.

Uno de los laboratorios universitarios más importante y más grande del mundo, es el laboratorio de identificación automática (Auto-ID labs). Este laboratorio hace parte de una asociación de investigación entre diferentes universidades como MIT (Estados Unidos), Cambridge (Inglaterra), St. Gallen (Suiza), Kaist (Korea del Sur), Fudan (China), Adelaide (Australia) y Keio (Japón). Son laboratorios independientes que se encargan de investigar y desarrollar nuevas tecnologías para revolucionar el comercio global, dándole beneficios

nunca antes dados a los clientes. A pesar de ser laboratorios independientes tienen el mismo propósito y el mismo enfoque, por eso se habla de un solo laboratorio. Se preocupan por crear redes usando RFID y redes de sensores inalámbricos. Intentan crear un sistema de rastreo global de bienes usando un sistema sencillo de numeración llamado código electrónico del producto (electronic product code).

Existen otros laboratorios universitarios importantes en Norte América, donde se estudian aplicaciones diferentes de sistemas RFID, con mayor énfasis en la cadena de suministros, trazabilidad de los productos y análisis de la información. A continuación se ilustra una tabla que resume los propósitos de cada uno de éstos laboratorios.

University RFID lab	Purpose	Source
Auto-ID Labs 1. MIT, 2. University of Cambridge, 3. University of St Gallen, 4. University of Fudan, 5. Information and Communication University, 6. University of Adelaide, and 7. Keio University	Creating internet networks for things using RFID and wireless sensor networks Creating a global system for tracking goods using a single-numbering system called the electronic product code	Auto-ID Labs*
University of Nebraska-Lincoln	The university has an extensive RFID lab stocked with RFID and material-handling equipment that students use for coursework The course focuses on RFID, RFID in logistics and RFID in engineering and business classes	Burnell (2008)
Middlesex Community College in Massachusetts	Certificate program geared towards preparing students to install and service RFID equipment	Burnell (2008)
Boise State University and the University of Alaska Anchorage	A joint graduate certificate program in supply chain management with a strong RFID focus	Burnell (2008)
Alien's RFID Solutions Center (supported by five universities: Ohio State University, Ohio University Center for Automatic Identification, Wilberforce University, Wright State University and the University of Cincinnati)	Developing RFID curricula Enhancing RFID studies via student internships at the Solutions Center Facilitating faculty consulting engagements at the center and other joint projects	Roberti (2006b)
Oklahoma State University	Course focusing on RFID system applications in manufacturing and engineering systems A systematic statistical approach for experimental design of a developed RFID system. The research has yielded new principles for harnessing information on the complex (non-linear and stochastic) nature of the process underlying signals from RFID and other sensor networks	Burnell (2008)
Southern Alberta Institute of Technology	To foster innovation and to conduct applied research in RFID application technologies This leading-edge facility allows local and national enterprises from all sectors to implement RFID applications in areas such as supply-chain management, asset tracking, safety systems and process information analysis	SAIT (2008)

Ilustración 7. Laboratorios Universitarios en Norte América. (Fosso y Michael, 2010)

Texas State Technical College RFID Training Center	Training facility for corporate and student education in RFID To provide state-of-the-art workforce training To serve as a centre of excellence devoted to facilitating the widespread adoption of RFID technologies	TSTC Waco (2008)
University of Pittsburgh	Serves as an international resource to academics and members of the business community	Mickle (2007)
ePoly Center at Polytechnic School of Montreal	Training facility for corporate and student education in RFID Course focused on RFID, RFID in logistics and RFID in engineering and business classes Evaluation of the impacts of RFID/EPC on supply-chain management in the context of B2B RFID project management	Fosso Wamba et al. (2008a, 2008b) Bendavid et al. (2007)
University of Wisconsin RFID Lab	Demonstration and education of RFID technology and applications	Burnell (2008)
University of Arkansas RFID Research Center	To create and extend knowledge in RFID utilisation and its impacts on business and society	RFID Research Center (2008)

Ilustración 8. Laboratorios Universitarios en Norte América 2. (Fosso y Michael, 2010)

A pesar de no conocer mucho a cerca de los alcances de esta tecnología en nuestro país, existe un laboratorio que utiliza sistemas RFID para algunas de sus prácticas, y está ubicado en la Pontificia Universidad Javeriana sede Cali. El laboratorio de Logística y Mercadeo es el primer laboratorio que integra áreas del conocimiento como mercadeo, logística y consumo masivo, utiliza la tecnología RFID, para rastrear los productos desde que entran al punto de distribución y son vendidos en los puntos de venta. Dentro de los servicios del laboratorio se tiene dentro del módulo de la gestión logística de tiendas minoristas y centros de distribución, la aplicación de la identificación por radio frecuencia en tiendas minoristas y centros de distribución. De igual forma, se está educando constantemente a los estudiantes en la aplicación de sistemas RFID.² En este laboratorio se utiliza la tecnología RFID en góndolas inteligentes y en un centro de distribución a escala en los que se le da seguimiento a 600 productos desde que llegan al centro de distribución hasta que se venden, este sistema RFID se integra a un sistema ERP donde se puede ver la trazabilidad de los productos en ámbitos de logística entre una tienda minorista y un centro de distribución, todo esto con el fin de analizar las estrategias comerciales que se han planteado para la venta de productos.

²Pontificia Universidad Javeriana sede Cali, Laboratorio de Logística y Mercadeo. Disponible en: <http://www.javerianacali.edu.co/laboratorios/laboratorio-de-logistica-y-mercadeo>

4.6 Estándares ISO para etiquetas

Al igual que muchos tipos de tecnología emergente los estándares no siempre son los mismos o simplemente no existen, en el caso de la identificación por radio frecuencia no es la excepción, ya que hay dos tipos de estándares que por el momento no son compatibles entre ellos. Dichos estándares se utilizan principalmente para que los protocolos de la tecnología sean los mismos, especificar de qué forma se deben almacenar los datos y con qué semántica, realizar pruebas de compatibilidad con equipos de diferentes desarrolladores, y para los usos de los sistemas RFID.

El primer tipo de estándares son los que se han desarrollado dentro el centro de investigación más importante del mundo mencionado en el ítem anterior (Auto-ID Centre), EPCglobal. También hace parte del GS1 que es la organización que se encarga del desarrollo y aplicación de especificaciones mundiales dentro de la cadena de suministro. Este tipo de estandarización tiene dos tipos de estándares, llamados clase 1 y clase 2, donde no tienen compatibilidad entre ellos, y su característica principal es que la información solo puede ser guardada una vez en la etiqueta y es inmodificable. A pesar de estar desarrollando una nueva generación de estándares para que este tipo de tecnología sea compatible con los estándares ISO, no se ha logrado con éxito. Para el desarrollo de etiquetas RFID se tienen dos estándares ISO:

- ISO 15693
- ISO 14443

La ISO 15693 es una serie internacional que se encarga de estandarizar la tecnología de cercanía RFID. Se utiliza para las etiquetas y lectores que operan a alta frecuencia. Y se divide en tres partes, la primera son las características físicas que deben tener las etiquetas (también denominadas tarjetas inalámbricas con circuito integrado), la segunda tiene que ver con la potencia de radio frecuencia y la interface de la señal, y finalmente la tercera parte es la que se encarga de definir los protocolos, comandos y otros parámetros que deben tener las etiquetas para comunicarse con el lector, al igual que los métodos que se deben utilizar para que las etiquetas se comuniquen entre ellas para prevenir la interferencia, o colisión de datos.

Cuando se habla de estándares para tarjetas inalámbricas (tarjetas inteligentes) se habla de la ISO 14443. Básicamente es el mismo estándar que la ISO 15693 pero para tarjetas de acceso, varía en que está dividida en cuatro partes en vez de tres, donde las primeras dos son los estándares de las características físicas y de la potencia de radio frecuencia y la interface de la señal, respectivamente, la tercer parte dice cómo se deben inicializar y los métodos de anticolidión que deben tener las tarjetas, y finalmente los protocolos que deben tener para interactuar con los lectores de esta tecnología. Las tarjetas con este estándar se dividen en dos tipos (A y B), donde solamente varía el modo de inicialización y la potencia de radio frecuencia que utilizan.

5. Selección de tipo de tecnología

Teniendo claro los conceptos y tecnologías disponibles para los sistemas RFID, se procede a encontrar la tecnología adecuada para realizar las pruebas propuestas, enfocándose principalmente en su costo, ya que no se disponía de ayuda externa por ser un proyecto de grado. Basándose en esta restricción, cualquier tipo de módulo (lector y etiquetas) que utilice UHF y micro ondas fue descartado, ya que son las tecnologías más costosas, ya que cada lector UHF es de aproximadamente 1.000 USD. Por otro lado, este tipo de tecnologías no son buenas para transmitir datos alrededor de objetos metálicos, y el proyecto va enfocado al sistema de manufactura flexible del CTAI que demasiados objetos metálicos, lo que generaría interferencia en la comunicación entre el lector y las etiquetas. De esta forma también son descartadas las etiquetas activas, mencionadas en el marco teórico, ya que solo operan en estas dos frecuencias.

Lo que se llevó a analizar las tecnologías más utilizadas en empresas de manufactura, que son las de alta frecuencia (HF) y baja frecuencia (LF). Existen dos módulos de evaluación para realizar pruebas con tecnología RFID, de la marca Texas Instruments que trabajan a estas frecuencias, que principalmente son para uso investigativo y educativo, y son de menor costo que cualquier lector comercial, para implementar en una empresa real. Para estas frecuencias existen ventajas y desventajas de cada una de ellas para ser aplicadas en el proceso y se muestran a continuación.

Característica	HF	LF
Capacidad para trabajar cerca de metales	Media	Alta y cerca de agua
Distancia de lectura entre la etiqueta y el lector	10cms aproximadamente	2 cms aproximadamente
Tamaño de las etiquetas	Pequeñas	Grandes

Tabla 2. Diferencia entre módulos de evaluación RFID.

Basándose en el tamaño de etiqueta y en la distancia de lectura, se escogió el módulo de evaluación TRF7970A de Texas Instruments que trabaja a alta frecuencia, explicado en el siguiente capítulo.

6. Diseño del Sistema RFID

6.1 Kit de evaluación TRF7970AEVM

Un kit de evaluación es un conjunto de equipos para realizar pruebas piloto, en este caso es un sistema RFID de lector y etiquetas. Este tipo de equipos son menos costosos que los lectores comerciales ya que están dedicados a personas que no conocen muy a fondo este tipo de tecnología, que desean realizar pruebas o quieren desarrollar una investigación sobre los alcances de dicha tecnología. En otras palabras los módulos de evaluación son hechos para la educación, la exploración (de la tecnología) y la investigación.

El TRF7970AEVM es un circuito acompañado de un micro controlador, un transreceptor y una antena, además viene incorporada en la tarjeta una conexión USB para poder ser utilizado en cualquier PC que tenga estos puertos disponibles. En algunos lectores RFID la antena no viene incorporada en el mismo circuito dándole diferentes alcances de lectura al proceso de identificación de la información de dichas etiquetas. Opera a una frecuencia de 13,56 Mhz (alta frecuencia), y es compatible con los estándares más importantes de las etiquetas de esta frecuencia (ISO 15693, 14443 tipo A y B). Permite realizar operaciones sencillas de lectura y escritura con la ayuda de un ejecutable (software) de Texas instruments y probar antenas o tags personalizadas.

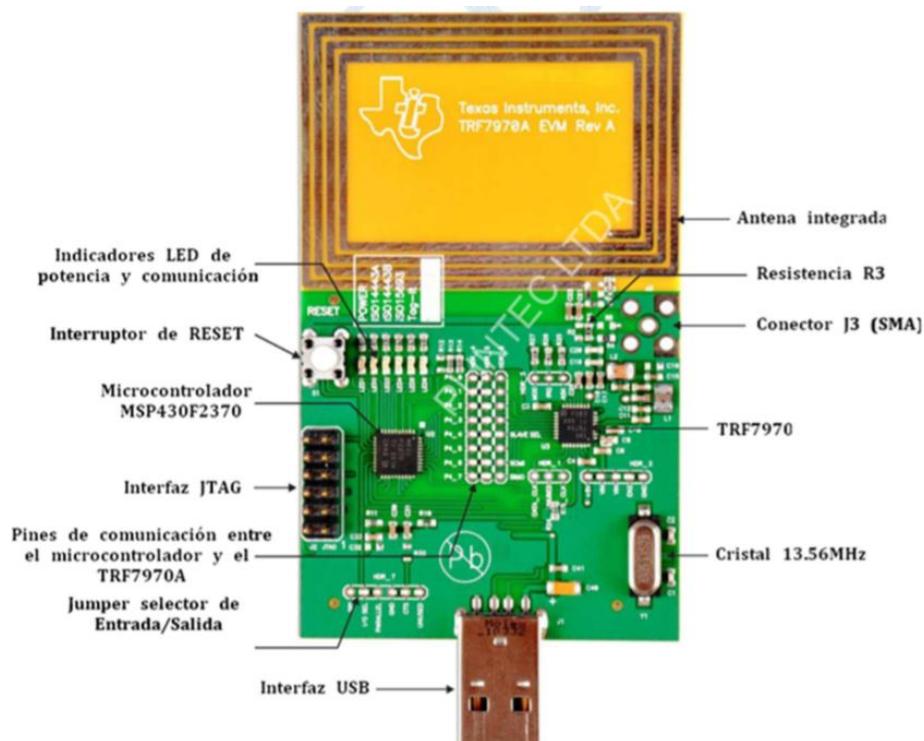


Ilustración 9. Componentes del TRF7970AEVM (Plintec Ltda. Bloque2).

Este módulo contiene 6 etiquetas ISO 15693 de tres diferentes tamaños, con una memoria disponible para el usuario de 32 Bytes dividida en 8 bloques, es decir, que cada bloque dispone de 4 Bytes para su escritura. Es importante destacar que la información está en sistema hexadecimal, lo que significa que permite mezclar números de 0 a 9 y letras de la A hasta la F, en los códigos y comandos.



Ilustración 10. Etiquetas ISO 15693

Referencia	RI-I11-112A	RI-I11-112B	RI-I02-112A
Dimensiones	48mm X 45 mm	48mm X 45 mm	45mm X 76 mm
Frecuencia	13,86MHZ	14,4MHZ	13,86MHZ
Aplicaciones	Inventario de materiales NO metálicos	Inventario de materiales NO metálicos	Inventario de materiales NO metálicos

Tabla 3. Características de los tags.

Existen otro tipo de etiquetas bajo esta misma norma ISO, que tienen diferentes aspectos físicos y con memoria más amplia que la que traen estas etiquetas, pero sus comandos son los mismos, gracias a la norma mencionada anteriormente.

Para poder conectar esta tarjeta al PC no solo basta con insertarla en un puerto USB, ya que el computador no reconocerá el equipo. Se debe instalar un driver que permite asignarle un puerto COM a la tarjeta dentro del computador. Este driver se puede

encontrar en internet bajo el nombre “USB to UART bridge VPC driver”, o también se encuentra en los anexos de este trabajo de grado. Este componente es muy importante para poder hacer uso del dispositivo, ya sea con el software de prueba o con el panel de control diseñado para el proyecto (explicado en el siguiente ítem de este capítulo).

El software de prueba es brindado por el fabricante de este kit de evaluación y está disponible para descargar desde la página oficial de Texas Instruments. Se puede encontrar bajo el nombre “TRF7970AEM GUI ejecutable”. En este ejecutable se pueden realizar pruebas de lectura y escritura para las etiquetas ISO mencionadas anteriormente.

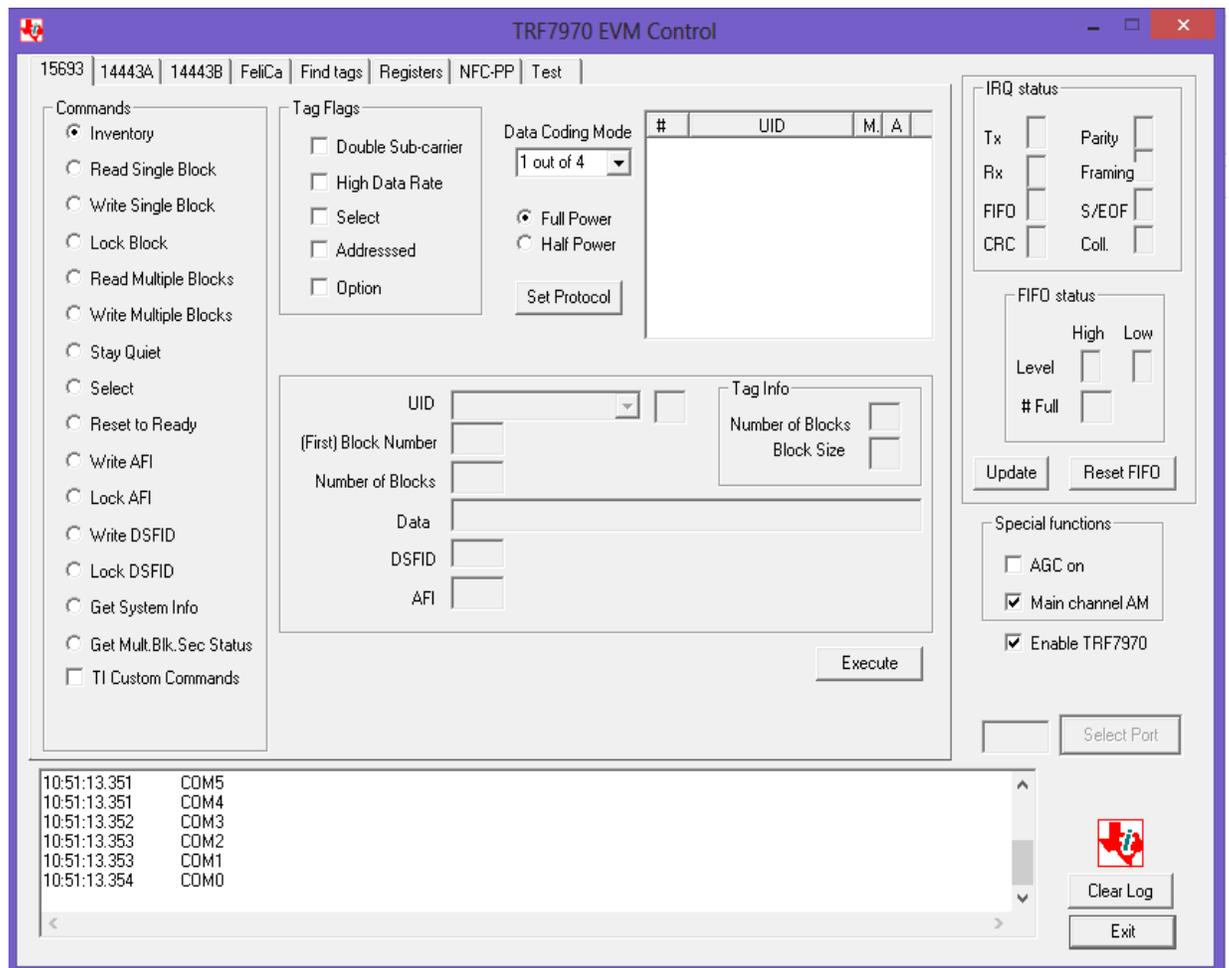


Ilustración 11. Ejecutable GUI de Texas Instruments.

Como podemos ver el software de prueba tiene muchas opciones para realizar las pruebas que se deseen realizar con el sistema RFID. Las pestañas superiores indican el tipo de etiquetas con las que se está trabajando para poder cambiar los comandos y las opciones que tiene cada una de estas etiquetas. La opción que se encuentra seleccionada en la imagen es la de ISO 15693, aquí podemos realizar la lectura de los UID de las etiquetas, dejando la opción de inventario activada. De igual forma activando el

comando adecuado se pueden leer o escribir los bloques de memoria dentro de las etiquetas. Para revisar información detallada de este programa y su aplicación con la tarjeta de identificación por radio frecuencia, revisar el ANEXO 1, que es la guía detallada de este software.

A pesar de ser un software muy sencillo de utilizar, es solamente para realizar pruebas de lectura y escritura entre el lector y las etiquetas, lo que hace que sea muy básico y no existe forma de utilizar la información en otro tipo de documento o en otro programa, solo se puede utilizar con fines educativos. Sin embargo, tiene una información importante que puede ser utilizada para realizar otro tipo de interface.

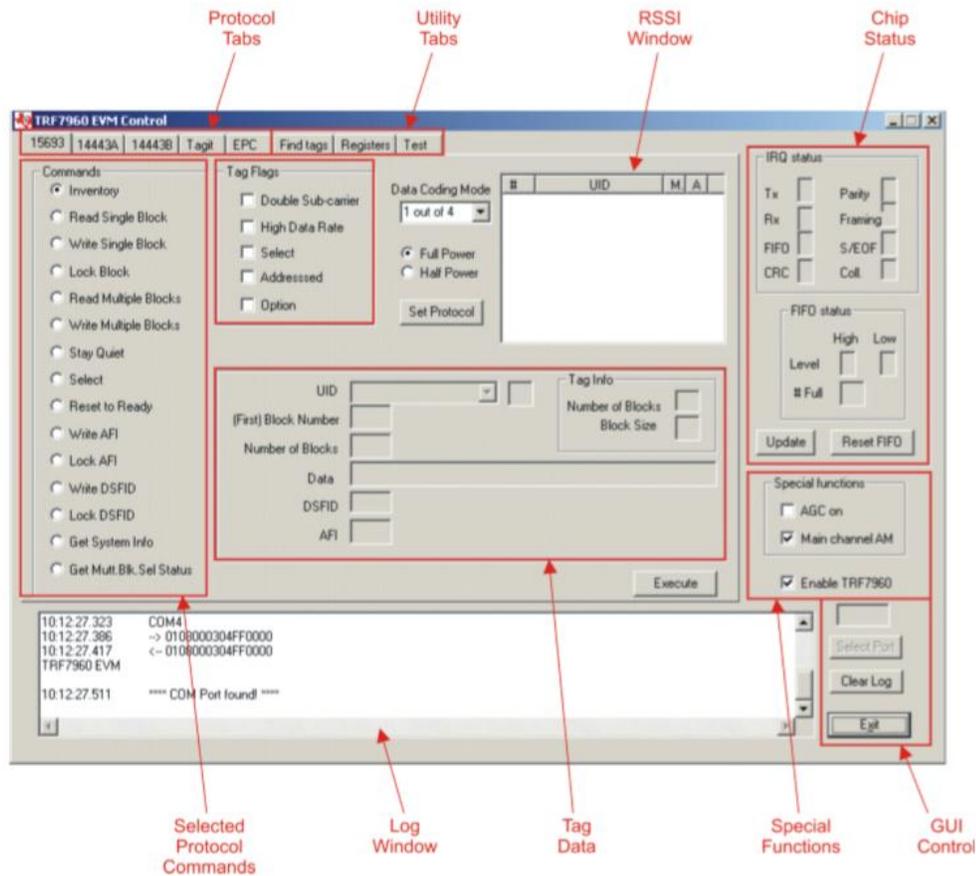


Ilustración 12. Secciones de la Interface del software. (User´s guide TRF7960, ANEXO 1)

La sección “Log Window” muestra los comandos que se envían a la tarjeta cuando se realiza alguna acción en el software, y las respuestas de ésta con respecto a estos comandos. Estos comandos son los que nos permiten hacer conexión con la tarjeta, y de esta forma podemos crear otras interfaces utilizando los comandos que vemos en esta sección, como se realizó en el diseño de la interface del sistema RFID en el programa LABVIEW 2011.

6.2 Diseño del panel de control del sistema RFID

Teniendo en cuenta que el software de prueba con el que viene el kit de evaluación RFID no tiene forma de conectarse con otros programas o de generar información en otros archivos, se hizo necesario investigar la forma de utilizar este equipo en otros programas más flexibles para integrarse con otros programas o equipos.

En el estudio de JEHNG et. Al. Se utiliza LABVIEW para integrar un sistema RFID, con interface en LABVIEW para ver la trazabilidad de ciertos materiales hacia dos diferentes bodegas, controlando de esta manera que vayan a la bodega correcta. Con la ayuda de una base de datos tipo ACCDB (Access database) que contiene 5 tablas diferentes, con datos de los productos, las bodegas y la trazabilidad correcta; y un sistema RFID con un lector y 4 antenas; se realizaron la programación y la simulación del proceso.

Con base en este estudio podemos ver la flexibilidad del programa LABVIEW para integrarse con otros programas de diferente función como lo son las bases de datos de Access. Es por esto que se decidió la realización de un panel de control para nuestro sistema RFID, en este programa.

LABVIEW es un sistema que se basa en una programación por bloques, que permite al usuario diseñar y realizar pruebas desde sistemas muy simples hasta sistemas más complejos. Este software ofrece una amplia integración con software existente y hardware, para utilizar las últimas tecnologías. De igual manera son ayuda a resolver problemas existentes e incentiva a los usuarios a la innovación, de forma rápida, fácil y eficiente. Una de sus características principales es la gran variedad de aplicaciones que se pueden crear en mucho menos tiempo que un lenguaje basado en C. A diferencia de otros tipos de lenguajes de programación, la programación por bloques es gráfica, es decir, que podemos ver los elementos utilizados en la misma programación y conectarlos con una herramienta de cableado (wiring tool). Por otro lado, se tienen dos ventanas donde una es donde se hace la programación por bloques, y la otra es donde se ven todos los controles e indicadores del programa que está elaborando, haciendo posible la edición de los comandos de la forma que el usuario quiera. Los programas realizados por el usuario se guardan en formato .vi y también se les llama VI's. LABVIEW también permite con la ayuda de un driver "NI VISA" establecer comunicación con un micro controlador mediante un puerto serial del PC. Iniciar una sesión VISA, es simplemente configurar el puerto serial para que haya concordancia entre el micro controlador y el computador, para luego poder escribir (mandar) y leer (recibir) comandos hacia el micro controlador. Los elementos necesarios para realizar esta comunicación se encuentra en la barra de funciones de LABVIEW, y luego entrar a Instrument I/O.

Teniendo en cuenta estas características principales de LABVIEW, y que se tiene acceso a este programa en el centro de automatización industrial, se realiza la programación de un panel de control amigable para el usuario, para poder realizar pruebas con el sistema

RFID. Como se mencionó anteriormente, la tarjeta (lector/antena) se conecta con la ayuda de un driver a un puerto serial (COM) del pc, permitiéndonos de esta manera utilizar una sesión VISA en LABVIEW para poder enviar y recibir comandos a nuestro micro controlador, y de esta manera empezar a programar el panel de control de nuestro sistema RFID.

Con la ayuda de unos VI's y manuales realizados por trabajadores de Texas Instruments para la versión anterior del módulo de evaluación TRF7960, al igual que la "log window" del software GUI con el que venían nuestros equipos, se logró realizar la integración con el lector RFID con labview, creando un panel de control con 5 secciones, conexión y potencia, modo lectura, modo escritura, ventada de instrucciones y la ventana de códigos.

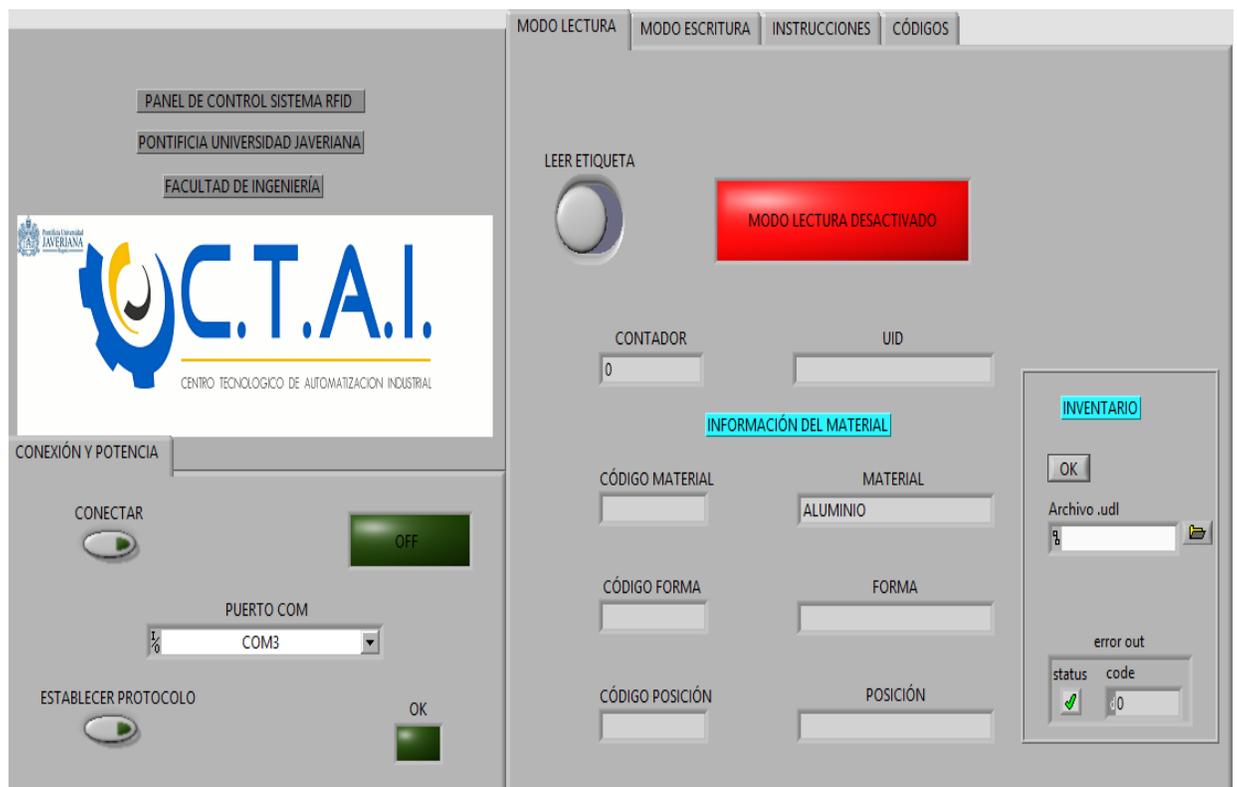


Ilustración 13. Panel de control RFID, Modo Lectura

En la ilustración 13 se pueden ver dos de las cuatro secciones de este panel de control conexión y potencia, y modo lectura. En la sección conexión y potencia (pestaña con este nombre), es donde se entabla conexión con la tarjeta seleccionando el puerto COM en el que se encuentra la tarjeta y oprimiendo el botón de conectar, luego se establece el protocolo, donde se le da la potencia máxima a la antena del lector RFID. A continuación se explica con un diagrama de flujo el funcionamiento de esta parte del panel de control.

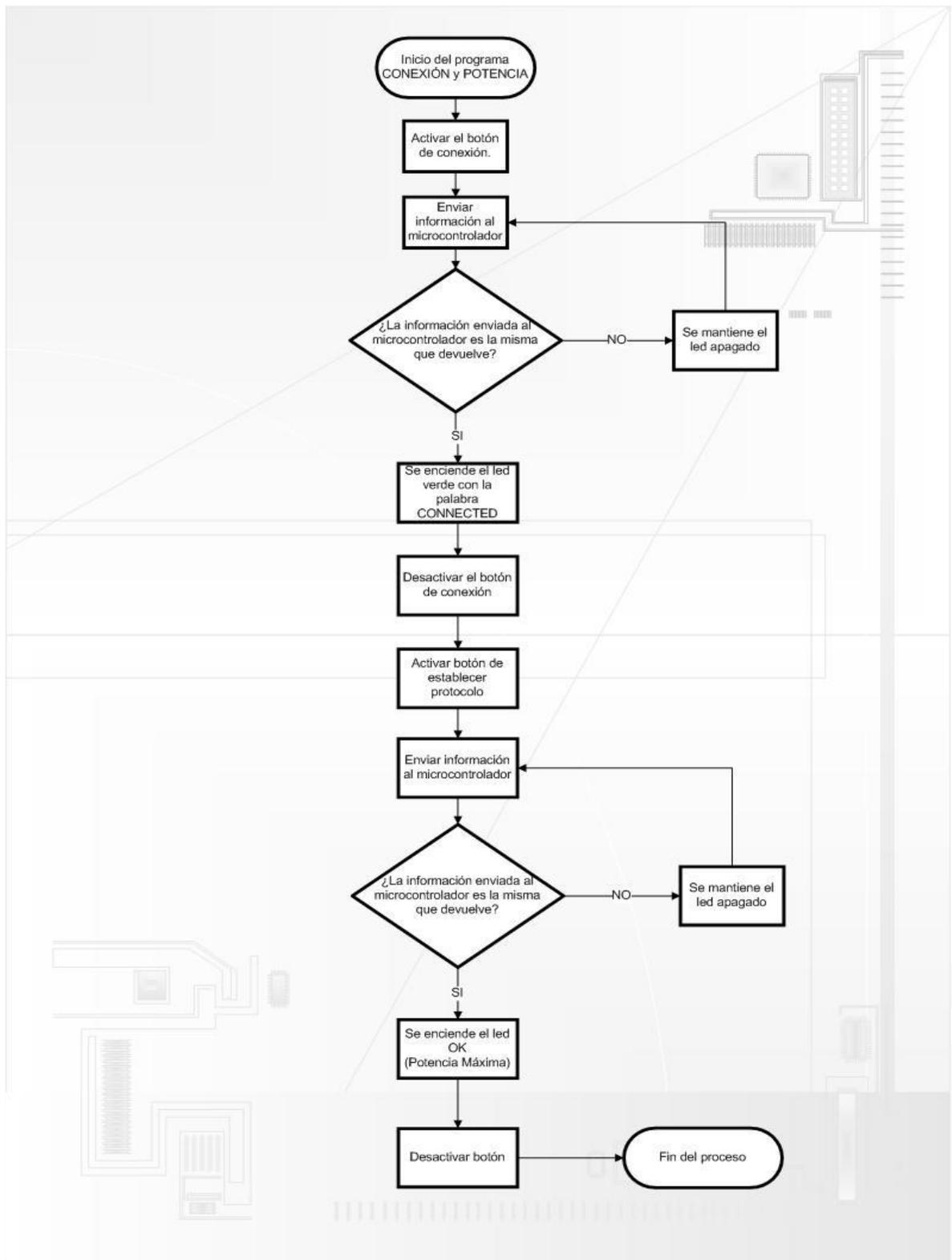


Ilustración 14. Diagrama de flujo, conexión y potencia.

Cambiando el switch de posición se tiene el modo de lectura activado, en donde el lector obtendrá la información de los bloques de memoria, y filtrará la información para mostrar los datos tanto en códigos como en su significado, como se muestra a continuación.

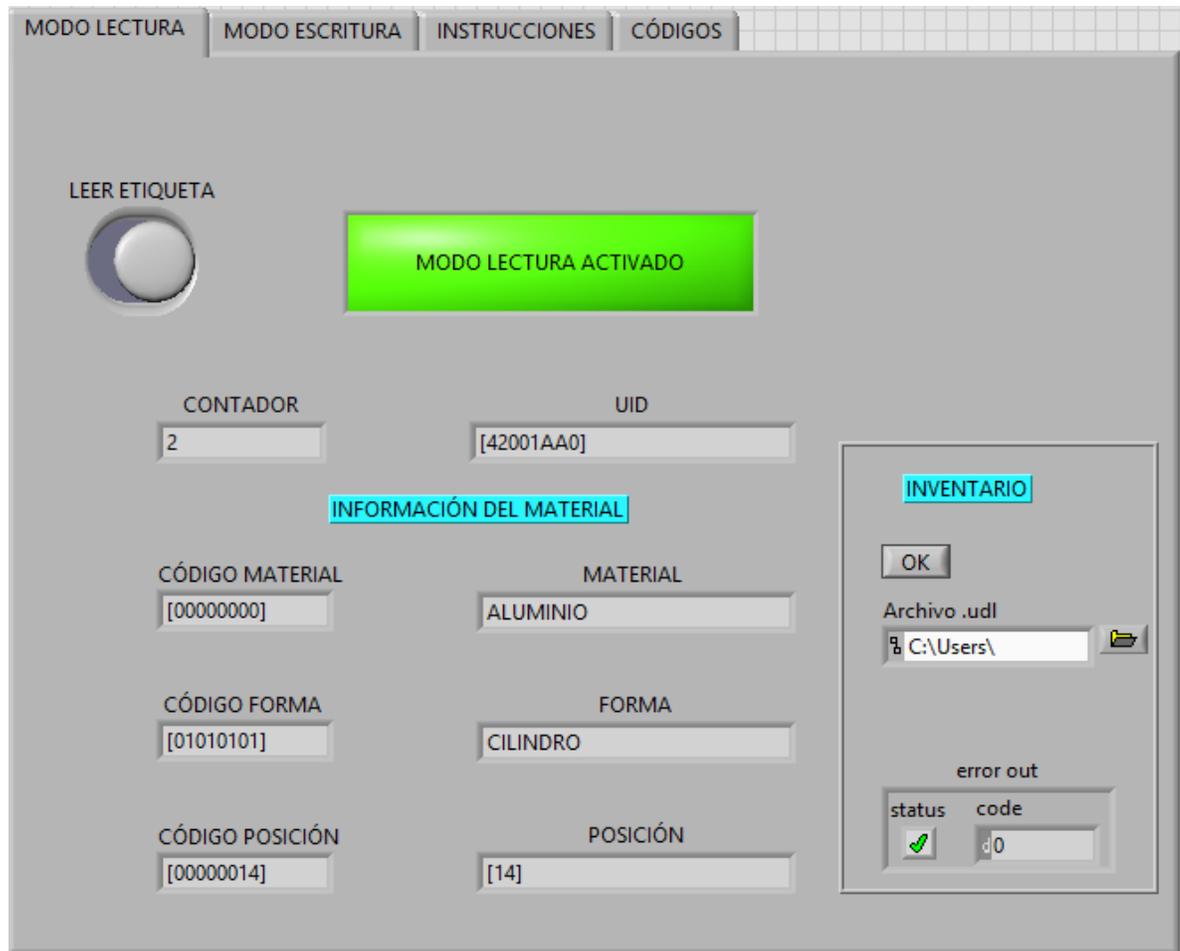


Ilustración 15. Ejemplo modo lectura activado.

Se muestra la identificación única de la etiqueta, el material, la forma y la posición en la que se encuentra en el AS/RS. Adicionalmente muestra el contador de la etiqueta que muestra el número de veces que ha pasado la etiqueta por el lector, simulando las veces que se ha procesado. Adicionalmente esta pantalla cuenta con una opción de inventario, que con solo hacer click en el botón “OK” (sección inventario), que lo que hace es mandar la información que se mencionó anteriormente, la hora y la fecha a una base de datos de Microsoft Access, permitiendo generar un inventario con las etiquetas que se deseen. Hay que tener en cuenta que se debe seleccionar el archivo INVENTARIO.udl antes de realizar la exportación de los datos, o simplemente crear una nueva dirección udl con el nombre del archivo .accdb, para poder realizar esta exportación adecuadamente. El siguiente diagrama de flujo explica detalladamente cómo funciona esta parte del programa.

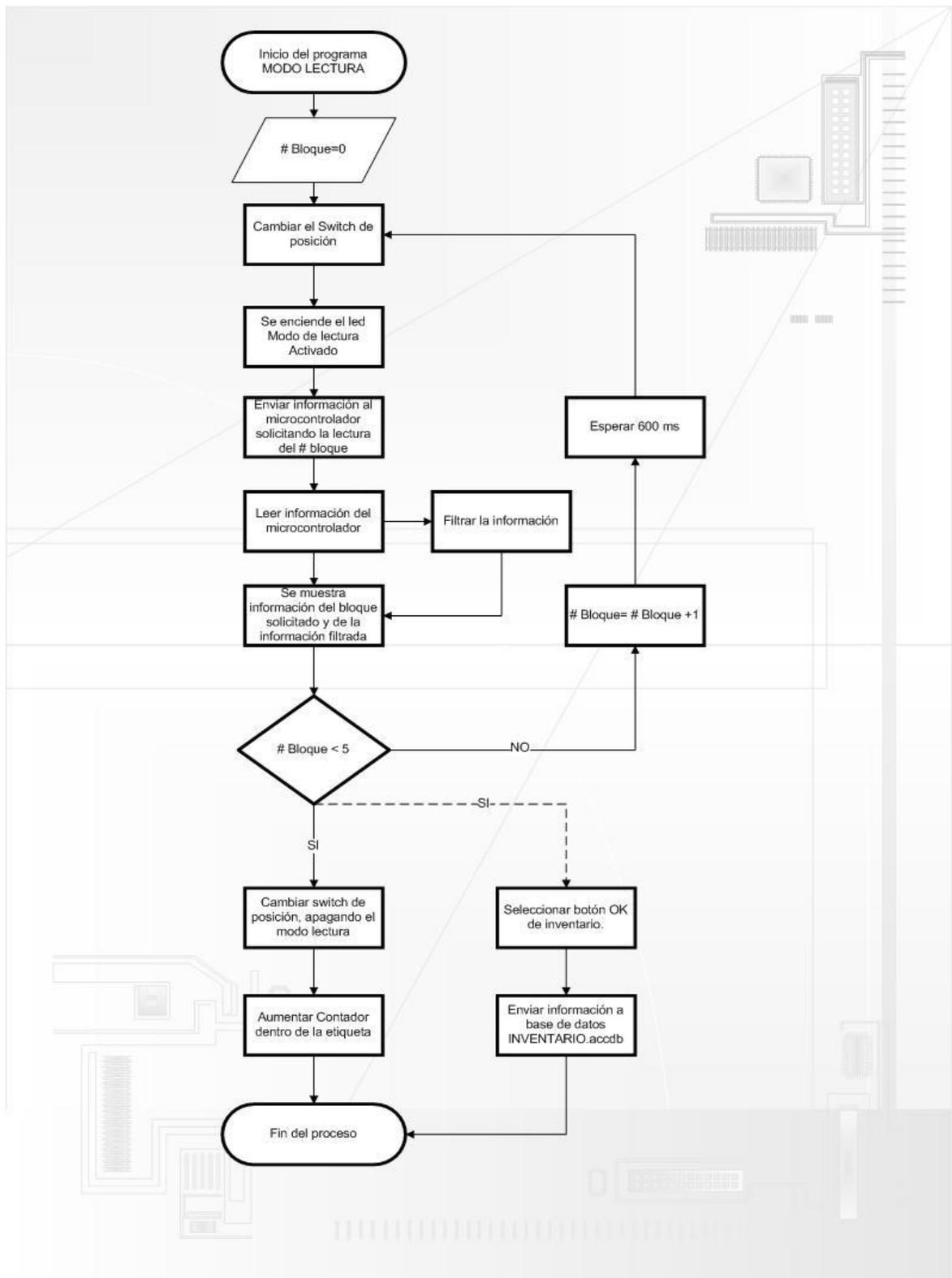


Ilustración 16. Diagrama de flujo, modo lectura.

Al seleccionar la pestaña de modo escritura se puede escribir en los bloques 0, 1, 2 y 3 de la memoria de la etiqueta para modificar el UID, material, forma y la posición en la que se encuentra la pieza en el AS/RS.

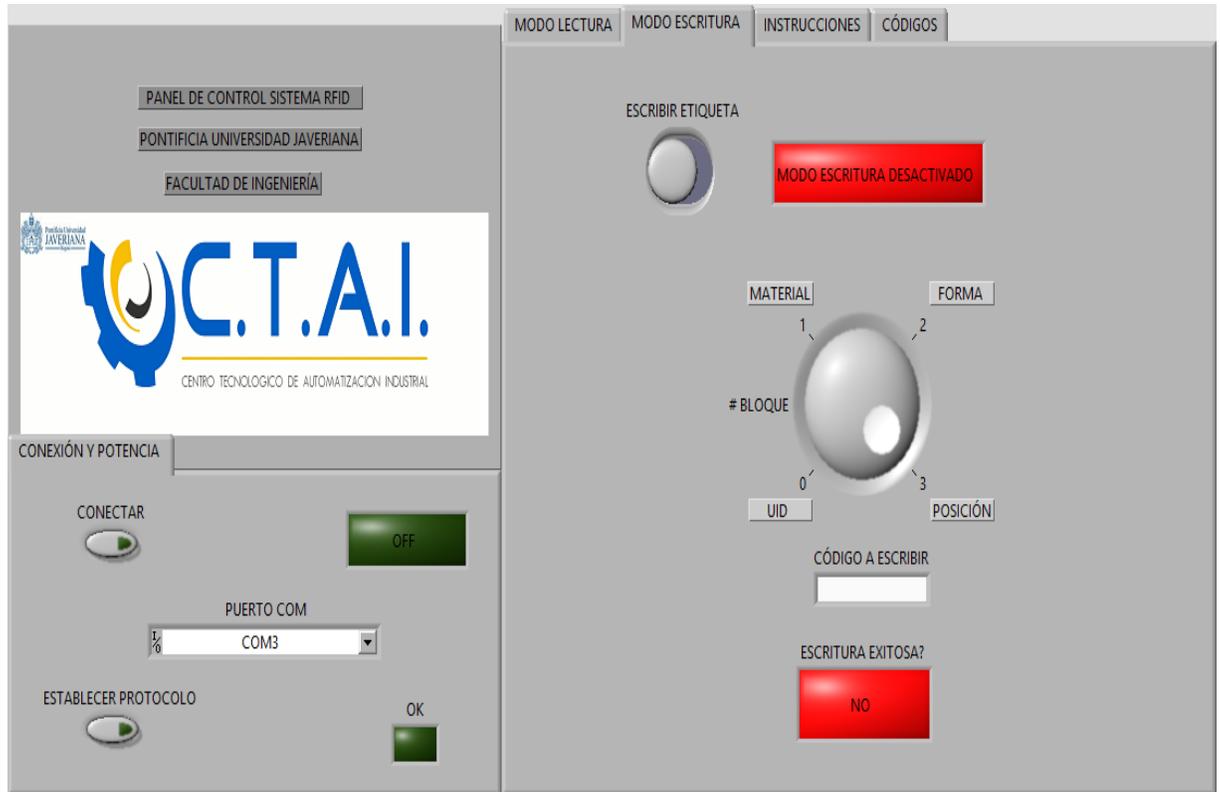


Ilustración 17. Panel de control sistema RFID. Modo escritura.

Solo con cambiar el switch de posición, seleccionando el bloque que se va a escribir y escribiendo el código adecuado, se escribe la información en la memoria. Cada bloque de memoria significa algo diferente.

Número de bloque	Significado
0	UID: identificación única de la etiqueta
1	Material: tipo de material al que pertenece la etiqueta.
2	Tipo de forma: el tipo de forma de la pieza
3	Posición en el AS/RS
4	Veces procesado: contador

Tabla 4. Información en cada bloque de la memoria.

A continuación podemos ver lo que se hace internamente en el programa.

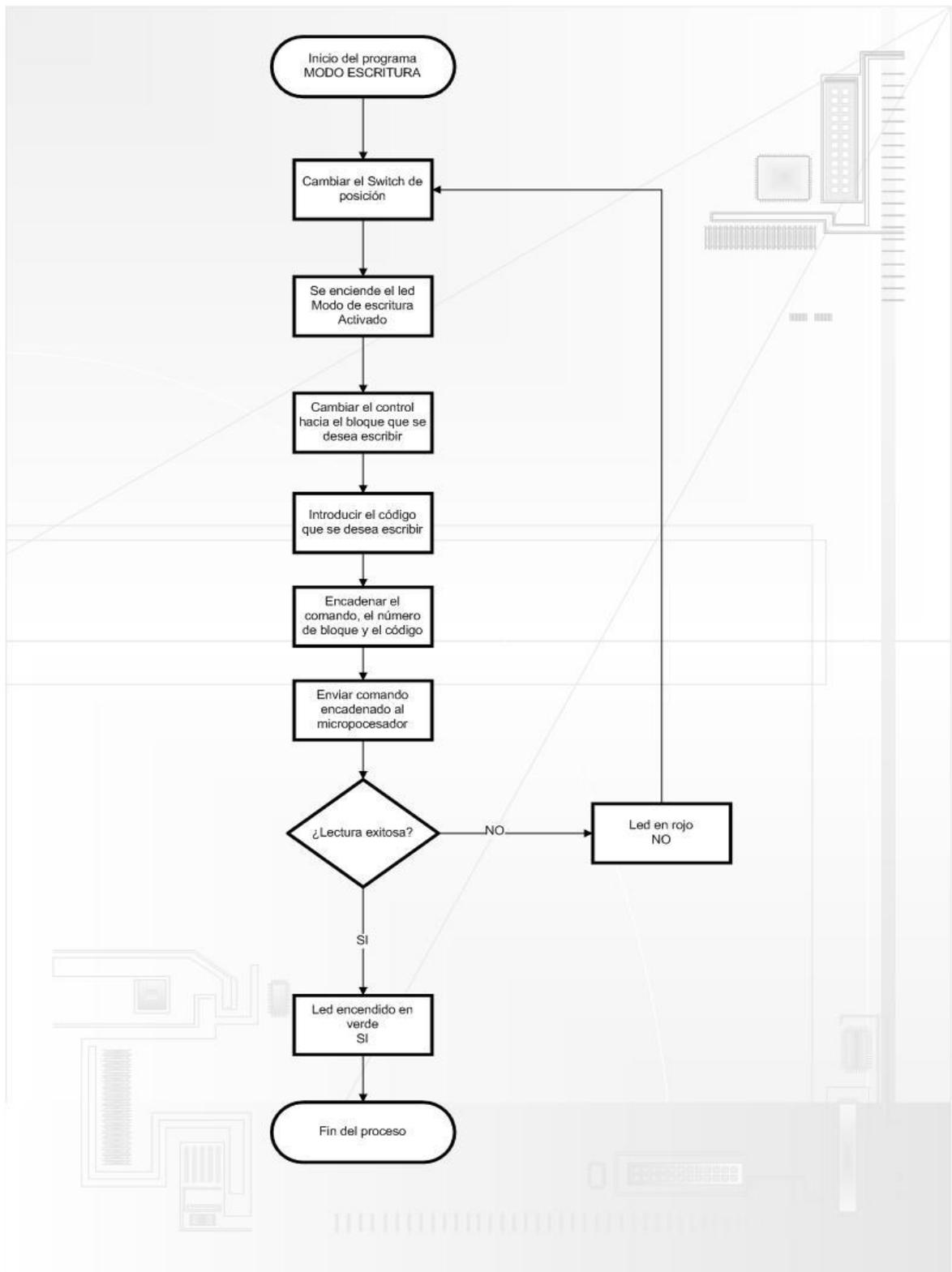


Ilustración 18. Diagrama de flujo, Modo escritura.

Finalmente se tienen las pestañas de instrucciones y de códigos. Siendo una interfaz pensada para personas que no saben su funcionamiento, se crearon estas ventanas para facilitar el uso del panel de control.

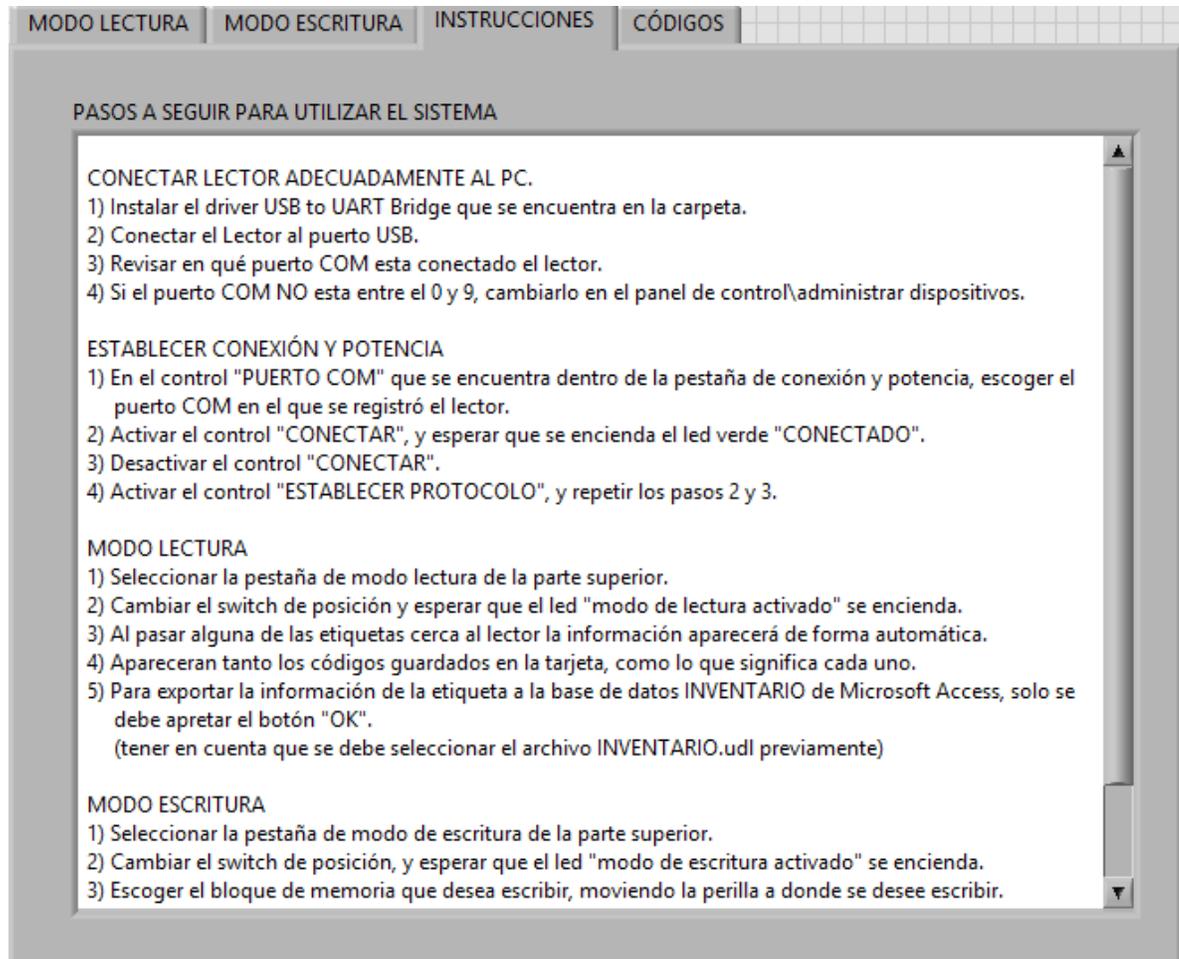


Ilustración 19. Panel de control sistema RFID. Instrucciones.

Esta pestaña está destinada a las personas que se están familiarizando con el sistema y no conocen a fondo, cómo funciona este panel de control. A pesar de ser una interfaz muy sencilla de utilizar, es posible que se requiera de información adicional para hacer uso correcto del sistema RFID, ya que no fue realizada por un profesional en sistemas.

MODO LECTURA	MODO ESCRITURA	INSTRUCCIONES	CÓDIGOS
CONVENCIONES PARA LOS CÓDIGOS			
FORMA	CÓDIGO		
CILINDRO	01010101		
SLEEVE	02020202		
PLACA RECTANGULAR	03030303		
PALLET CILINDRO	04040404		
PALLET BASE	05050505		
Materiales	CÓDIGO		
Bronce	11111111		
Aluminio	00000000		
Parafina	22222222		
POSICIÓN	CÓDIGO		
EJ: POSICIÓN 40	00000040		
EJ: POSICIÓN 15	00000015		
EJ: POSICIÓN 3	00000003		

Ilustración 20. Panel de control sistema RFID. Códigos.

La ilustración 20 muestra la tabla de convenciones para utilizar adecuadamente los códigos, y poder realizar operaciones de lectura y escritura adecuadamente. La explicación de la codificación se encuentra en el siguiente capítulo.

NOTA: es importante destacar que no es posible utilizar el modo de lectura y escritura al mismo tiempo, al igual que dejar los botones de conexión y establecer protocolo activados, ya que crearía una interferencia en la sesión VISA ya que cada una de las secciones está realizada por sub programas.

6.3 Revisión de inventario y tablas de convenciones

Una vez realizadas las pruebas de lectura y escritura necesarias para cerciorarse que la interfaz o panel de control funcionara adecuadamente, se procedió a revisar el inventario actual del AS/RS. En el CTAI se cuenta con una base de datos donde se tiene la codificación de cada una de las piezas y estados de los materiales en una tabla, y en otra tabla se encuentran las 40 posiciones del sistema con el código respectivo a la pieza que ocupa esta posición.

Para poder revisar el inventario inicial que se tiene en el almacén se deben conocer los códigos que se tienen estandarizados en el CTAI. La base de datos llamada AS/RS.accdb, tiene diferentes tablas con información del almacén, pero solo se utilizó la información de codificación de materiales e inventario actual. A continuación se muestran las tablas necesarias para el desarrollo del trabajo.

BASE DE DATOS CTAI (SEP-2013)		
Codificación CTAI	Material	Forma
32000	Bronce	sleeve
32001	Aluminio	sleeve
32002	Parafina	sleeve
42000	Parafina	Cilindro
42001	Bronce	Cilindro
42002	Aluminio	Cilindro
42010	Parafina	Placa Rectangular
42100	Aluminio	Penholder 1
42101	Aluminio	Penholder 2
42102	Aluminio	Penholder 3
42103	Aluminio	Penholder 4
42104	Aluminio	Penholder 5
42120	Bronce	Penholder 1
42121	Bronce	Penholder 2
42122	Bronce	Penholder 3
42123	Bronce	Penholder 4
42124	Bronce	Penholder 5
42140	Aluminio	Placa Base para Deskset 1
42141	Aluminio	Placa Base para Deskset 2
42142	Aluminio	Placa Base para Deskset 3
42143	Aluminio	Placa Base para Deskset 4
42144	Aluminio	Placa Base para Deskset 5
51999	-	ERROR
52000	-	Deskset 1
52001	-	Deskset 2
52002	-	Deskset 3
52003	-	Deskset 4
52004	-	Deskset 5
62200	Aluminio	Pallet para cilindro
62201	Aluminio	Pallet para base
63000	-	Pieza patron para configuración de la aplicación
64000	-	Pieza sin mecanizar que pasa la medición
64100	-	Pieza mecanizada en fresadora que pasa la medición
64200	-	Pieza mecanizada en torno que pasa la medición
65000	-	Pieza sin mecanizar que NO pasa la medición
65100	-	Pieza mecanizada en fresadora que NO pasa la medición
65200	-	Pieza mecanizada en torno que NO pasa la medición

Tabla 5. Códigos CTAI. Información suministrada por Sergio González ingeniero y profesor del CTAI.

Inventario actual en base de datos Ago-2013			
Posición	Código	Posición	Código
1	42120	21	62201
2	42001	22	62201
3	42001	23	62201
4	42001	24	62201
5	62200	25	62201
6	62200	26	62201
7	62200	27	62201
8	62200	28	62201
9	62200	29	62201
10	62200	30	62201
11	62200	31	62201
12	62200	32	62201
13	62200	33	62201
14	62200	34	62201
15	62200	35	62201
16	62200	36	62201
17	62200	37	62201
18	62200	38	62201
19	62200	39	62201
20	62200	40	62201

Tabla 6. Inventario actual en base de datos CTAI. (Sergio González ingeniero del CTAI)

Al ser muy común que el inventario dentro del centro tecnológico de automatización industrial no este actualizado, puede que la información suministrada por el ingeniero Sergio sobre el inventario del almacén este también desactualizada. Debido a esto se hizo un inventario en base a la observación y teniendo en cuenta los códigos estándar, se realizó el inventario a septiembre de 2013, la información se encuentra en la tabla 6.

Como cada etiqueta pasiva adquirida para el trabajo necesita una identificación única (UID), se debe crear un ID para cada una de las piezas. Se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

- Códigos de CTAI.
- Tamaño de cada bloque. 4 Bytes, es decir, ocho dígitos.
- Lectura/escritura memoria: Sistema Hexadecimal.

Al tener en cuenta estos aspectos, se decide crear un sistema de codificación para las piezas que ocupe los 4 Bytes de un bloque (Bloque 0), en la memoria de cada etiqueta, de la siguiente manera.

Los primeros 5 dígitos del bloque, corresponden a los códigos que el CTAI utiliza para cada uno de sus materiales o productos, y los siguientes tres números son el consecutivo para marcar las piezas con el mismo código. Teniendo en cuenta que se usa para escribir datos en la memoria un sistema hexadecimal, es decir, que se pueden utilizar combinaciones de letras de la A hasta la F y números del 0 al 9, se utiliza una combinación de dos dígitos con letras y uno con números para realizar la codificación del UID (identificación única) de cada pieza.

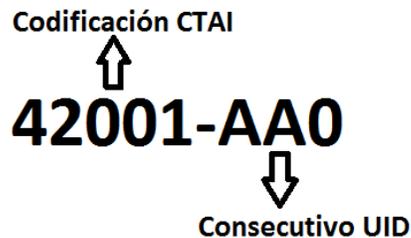


Ilustración 21. Codificación UID

Esta combinación de tres dígitos está compuesta por dos dígitos con letras de la A hasta la F y el tercer dígito un número del 0 al 9, dándonos así un total de 360 posibles arreglos ya que $6 \times 6 = 36$ (posibles arreglos de dos letras de la A hasta la F) y $36 \times 10 = 360$. Entonces podríamos tener 360 productos de la misma referencia.

Siendo el CTAI un laboratorio que tiene procesos a escala, 360 unidades de la misma referencia es más que suficiente para poder crear un UID adecuado, además nos permite separar visualmente con facilidad los primero 5 dígitos del código de producto de los 3 dígitos del consecutivo. Con base en esta codificación del UID, se muestra cómo debería ser la identificación única de los productos en el inventario actual del AS/RS.

INVENTARIO ACTUAL (SEP-2013)					
Posición	Código CTAI	UID	Posición	Código CTAI	UID
1	42000	42000AA0	21	62201	62201AA3
2	42000	42000AA1	22	VACÍO	-
3	32002	32002AA0	23	VACÍO	-
4	42000	42000AA2	24	VACÍO	-
5	42002	42002AA0	25	62201	62201AA4
6	VACÍO	-	26	62201	62201AA5
7	VACÍO	-	27	62201	62201AA6
8	VACÍO	-	28	42001	42001AA2
9	42000	42000AA3	29	62201	62201AA7
10	32002	32002AA1	30	VACÍO	-
11	62200	62200AA0	31	VACÍO	-
12	62200	62200AA1	32	VACÍO	-
13	32002	32002AA2	33	42000	42000AA4
14	VACÍO	-	34	62201	62201AA8
15	VACÍO	-	35	62201	62201AA9
16	VACÍO	-	36	62201	62201AB0
17	42001	42001AA0	37	62201	62201AB1
18	42001	42001AA1	38	62201	62201AB2
19	62201	62201AA0	39	62201	62201AB3
20	62201	62201AA1	40	62201	62201AB4

Tabla 7. Inventario Actual del AS/RS, con ejemplo de UID.

Al tener lista la codificación del UID, que pertenece al bloque 0 (revisar tabla 3) se procedió a dar un código para cada uno de los materiales que se manejan en el CTAI. Los aspectos que se tuvieron en cuenta para estos códigos fueron:

- Tamaño del bloque 1: 4 bytes.
- Cantidad de materiales utilizados en los productos.
- Fácil recordación por parte del que utiliza el sistema.

A continuación se muestra la convención para los tres tipos de materiales utilizados en los productos del AS/RS.

Materiales	CÓDIGO
Aluminio	00000000
Bronce	11111111
Parafina	22222222

Tabla 8. Convención de códigos para materiales

De igual se procedió con los códigos de la forma de los materiales obteniendo la siguiente tabla de convenciones para la forma.

FORMA	CÓDIGO
CILINDRO	01010101
SLEEVE	02020202
PLACA RECTANGULAR	03030303
PALLET CILINDRO	04040404
PALLET BASE	05050505

Tabla 9. Convención de códigos para la forma de materiales.

Finalmente para el bloque 3 de la memoria, donde se guarda la información sobre la posición en la que se encuentra la pieza dentro del almacén, se realiza un ajuste más que una codificación, ya que solo se ponen 6 ceros seguidos antes de insertar los dos dígitos de la posición, para los 4 Bytes de memoria. A continuación se muestran algunos ejemplos.

POSICIÓN	CÓDIGO
EJ: POSICIÓN 40	00000040
EJ: POSICIÓN 15	00000015
EJ: POSICIÓN 3	00000003

Tabla 10. Ejemplos de posición y sus códigos.

6.4 Escritura de inventario de piezas en AS/RS

Para esta parte del proyecto, se realizó una tabla para determinar los códigos que se debían escribir en cada una de las etiquetas. En la tabla solo se tuvieron en cuenta el 50% de las posiciones del sistema de almacén, ya que 12 de las 40 posiciones estaban vacías y 14 de 40 son pallets vacíos para base.

# BLOQUE	00	01		02		03	
ETIQUETA	UID	MATERIAL	CÓDIGO MATERIAL	FORMA	CÓDIGO FORMA	POSICIÓN	CÓDIGO POSICIÓN
1	4200AA0	PARAFINA	22222222	CILINDRO	01010101	1	00000001
2	4200AA1	PARAFINA	22222222	CILINDRO	01010101	2	00000002
3	32002AA0	PARAFINA	22222222	SLEEVE	02020202	3	00000003
4	4200AA2	PARAFINA	22222222	CILINDRO	01010101	4	00000004
5	42002AA0	ALUMINIO	00000000	CILINDRO	01010101	5	00000005
6	4200AA3	PARAFINA	22222222	CILINDRO	01010101	9	00000009
7	32002AA1	PARAFINA	22222222	SLEEVE	02020202	10	00000010
8	62200AA0	ALUMINIO	00000000	PALLET CILINDRO	04040404	11	00000011
9	62200AA1	ALUMINIO	00000000	PALLET CILINDRO	04040404	12	00000012
10	32002AA2	PARAFINA	22222222	SLEEVE	02020202	13	00000013
11	42001AA0	BRONCE	11111111	CILINDRO	01010101	17	00000017
12	42001AA1	BRONCE	11111111	CILINDRO	01010101	18	00000018
13	62201AA0	ALUMINIO	00000000	PALLET BASE	05050505	19	00000019
14	62201AA1	ALUMINIO	00000000	PALLET BASE	05050505	20	00000020
15	62201AA2	ALUMINIO	00000000	PALLET BASE	05050505	21	00000021
16	62201AA3	ALUMINIO	00000000	PALLET BASE	05050505	25	00000025
17	62201AA4	ALUMINIO	00000000	PALLET BASE	05050505	26	00000026
18	62201AA5	ALUMINIO	00000000	PALLET BASE	05050505	27	00000027
19	42001AA2	BRONCE	11111111	CILINDRO	01010101	28	00000028
20	62201AA6	ALUMINIO	00000000	PALLET BASE	05050505	29	00000029

Tabla 11. Tabla de información guardada en las etiquetas.

Para la escritura de las etiquetas se utilizaron los códigos mencionados en el ítem anterior, y los bloques 0, 1, 2 y 3 de la memoria. A cada uno de estos bloques le fue asignado un código el cual representa información con respecto a su material, forma o posición.

Para no tener problemas con esta parte de la escritura de datos, las etiquetas fueron grabadas con la interfaz o panel de control creado para utilizar el lector RFID, dejándolas sobre la antena. De esta manera no se tenían errores de escritura y de lectura, y de igual forma se podían utilizar ambas manos, realizando la escritura sin ningún tipo de error.

A continuación se muestra cómo se grabaron las etiquetas y lo que aparecía en el panel de control cada vez que se grabó información en cada uno de los bloques de la memoria dentro de cada una de las 20 etiquetas.



Ilustración 22. Escritura de datos en etiquetas.

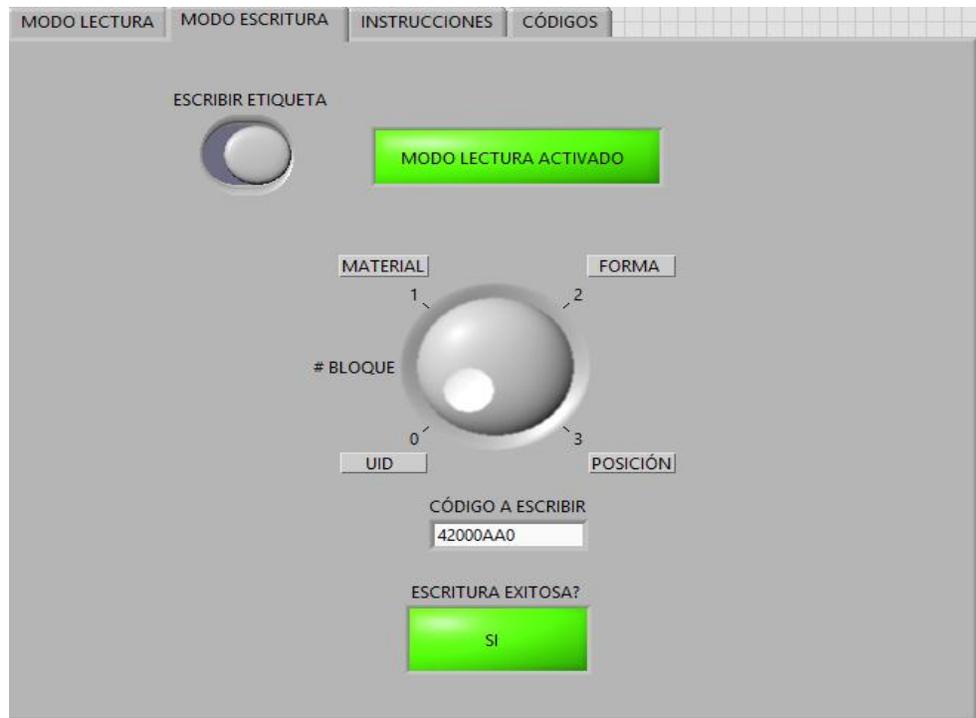


Ilustración 23. Panel de control sistema RFID, después de cada escritura de datos.

Una vez realizada la escritura de los códigos de cada uno de los bloques de memoria, se realizó una lectura de la etiqueta para asegurar que toda la información es la adecuada, y se selecciona la opción de inventario para ir generando un ingreso a la base de datos, actualizando el Inventario del AS/RS. De esta manera se procede con las otras 19 etiquetas.

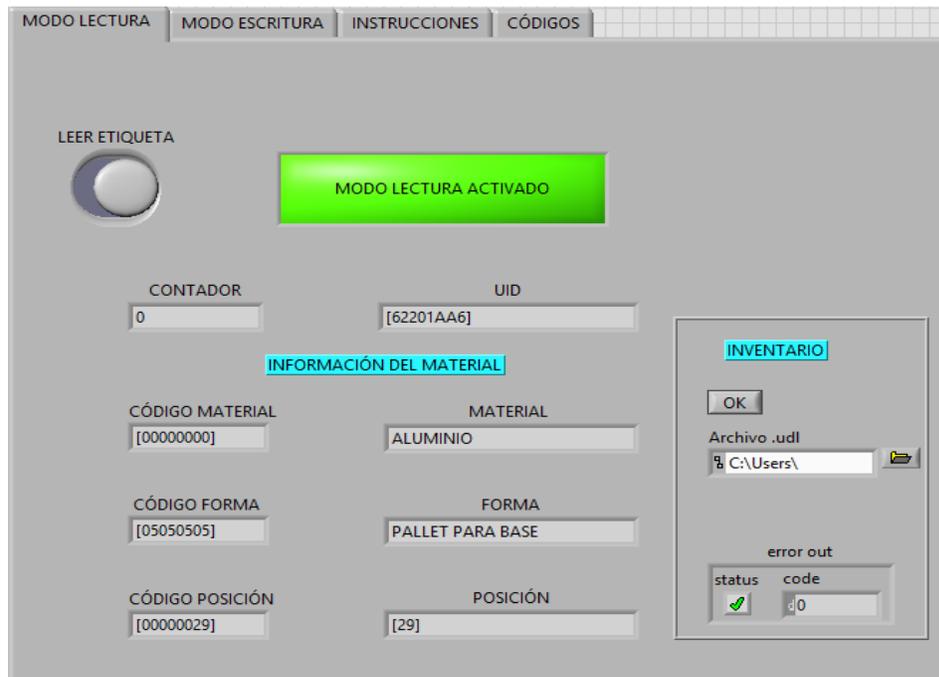


Ilustración 24. Panel de control sistema RFID. Lectura de etiquetas

FECHA	HORA	UID	MATERIAL	FORMA	POSICIÓN	CONTADOR
16/09/2013	3:42 p. m.	[42000AA0]	PARAFINA	CILINDRO	[01]	0
16/09/2013	3:44 p. m.	[42000AA1]	PARAFINA	CILINDRO	[02]	0
16/09/2013	3:48 p. m.	[32002AA0]	PARAFINA	SLEEVE	[03]	0
16/09/2013	3:51 p. m.	[42000AA2]	PARAFINA	CILINDRO	[04]	0
16/09/2013	3:53 p. m.	[42002AA0]	ALUMINIO	CILINDRO	[05]	0
16/09/2013	3:56 p. m.	[42000AA3]	PARAFINA	CILINDRO	[09]	0
16/09/2013	3:58 p. m.	[32002AA1]	PARAFINA	SLEEVE	[10]	0
16/09/2013	4:02 p. m.	[62200AA0]	ALUMINIO	PALLET CILINDRO	[11]	0
16/09/2013	4:04 p. m.	[62200AA1]	ALUMINIO	PALLET CILINDRO	[12]	0
16/09/2013	4:09 p. m.	[32002AA]	PARAFINA	SLEEVE	[13]	0
16/09/2013	4:16 p. m.	[42001AA0]	BRONCE	CILINDRO	[17]	0
16/09/2013	4:21 p. m.	[42001AA1]	BRONCE	CILINDRO	[18]	0
16/09/2013	4:24 p. m.	[62201AA0]	ALUMINIO	PALLET PARA BASE	[19]	0
16/09/2013	4:27 p. m.	[62201AA1]	ALUMINIO	PALLET PARA BASE	[20]	0
16/09/2013	4:30 p. m.	[62201AA2]	ALUMINIO	PALLET PARA BASE	[21]	0
16/09/2013	4:33 p. m.	[62201AA3]	ALUMINIO	PALLET PARA BASE	[25]	0
16/09/2013	4:34 p. m.	[62201AA4]	ALUMINIO	PALLET PARA BASE	[26]	0
16/09/2013	4:37 p. m.	[62201AA5]	ALUMINIO	PALLET PARA BASE	[27]	0
16/09/2013	4:39 p. m.	[32000AA0]	BRONCE	SLEEVE	[28]	0
16/09/2013	4:41 p. m.	[62201AA6]	ALUMINIO	PALLET PARA BASE	[29]	0

Ilustración 25. Base de datos generada en el panel de Control del sistema RFID

6.5 Integración del sistema

Al integrar la aplicación realizada para la utilización del sistema de identificación por radio frecuencia con Microsoft Access se puede integrar con otros sistemas que lean este tipo de archivos. Con la creación de la base de datos desde Labview se puede leer esta información con sistemas como SAP. En este caso la integración se hace de la siguiente forma:



Ilustración 26. Integración RFID y SAP.

Cuando se genera una base de datos en ACCESS se puede luego leer en SAP, para revisar el inventario disponible y tener actualizado el inventario en la transacción de SAP. La integración con SAP se deja abierta para otros proyectos dentro del CTAI cambiando los datos necesarios de la base de datos realizada en el capítulo anterior, ya que las referencias o códigos de productos en SAP son diferentes, y solo necesitaría de datos como fecha, hora, posición y producto que se tiene en el almacén AS/RS, para luego poder mandar ordenes de producción a otra base de datos de Access que es leída por Cosimir Control.

6.6 Pruebas de distancia máxima de lectura

Como se mencionó en el marco teórico, una de las grandes desventajas que tiene esta tecnología es el rango de distancia de lectura, es decir, la distancia que alcanza el lector para leer las etiquetas. Existen diferentes posibilidades para aumentar este rango de lectura, como crear una antena más potente que genere un campo electromagnético más amplio o trabajar con etiquetas semi-activas o activas, que alcanzan mayores distancias al no necesitar inducción electromagnética para activar su circuito interno. Teniendo en cuenta que el sistema RFID que se adquirió para la realización de todas las pruebas es un módulo de evaluación, no es posible aumentar su distancia de lectura, pero si se puede optimizar esta distancia de lectura, generando las condiciones ideales para realizar las pruebas de lectura y escritura deseadas.

Para poder determinar las condiciones ideales para la lectura y escritura de las etiquetas, se realizó un diseño de experimentos, con el fin de determinar los factores que afectan la distancia de lectura y determinar cuál de los tratamientos es el más adecuado para realizar las pruebas. Se utilizó un modelo 2^3 , es decir, se tuvieron en cuenta tres factores y cada uno de ellos con dos niveles. Teniendo en cuenta que se espera poca variabilidad en el experimento ya que se necesita la distancia en centímetros, de igual forma tener más de cuatro tratamientos y además se desean encontrar grandes diferencias en cada uno de los factores, el número de réplicas por tratamiento no tienen que ser más de 5, por esto se decidió realizar tres réplicas por cada uno de los tratamientos.

FACTOR	FORMA DE LA ETIQUETA	POSICIÓN DE LA ANTENA CON RESPECTO A LA ETIQUETA	OBJETO ETIQUETADO
NIVEL 1	RECTANGULAR	PARALELA	CONDUCTOR ELECTRICO
NIVEL 2	CUADRADA	PERPENDICULAR	NO CONDUCTOR.

Tabla 12. Factores y niveles del diseño 2^3 .

Para utilizar el método de Yates para realizar el respectivo análisis de varianza, se debe denotar cada uno de los niveles de los factores con un -1 y un 1, y dándole a cada factor una letra correspondiente. Para el diseño factorial $2 \times 2 \times 2$ se denotaron los diferentes factores por A, B y C; su nivel más bajo (nivel 1) por -1 y el nivel más alto (nivel 2) por 1 de la siguiente manera:

A= Forma de la etiqueta, niveles 1 y 2 denotados por -1 y 1 respectivamente.

B= Posición de la antena del lector, niveles 1 y 2 denotados por -1 y 1 respectivamente.

C=Objeto etiquetado, niveles 1 y 2 denotados por -1 y 1 respectivamente.

Número de réplicas por tratamiento=3

Número de tratamientos= $8-1=7$.

Teniendo en cuenta el modelo del diseño se plantearon las siguientes pruebas de hipótesis para determinar cuál tratamiento es significativo para la distancia máxima de lectura que hay entre la antena y las etiquetas RFID.

- Hipótesis para la forma de la etiqueta (A):

H₀: La forma de la etiqueta no tiene efecto significativo sobre la distancia máxima de lectura.

H_a: La forma de la etiqueta tiene efecto significativo sobre la distancia máxima de lectura.

- Hipótesis para la posición del lector (B):

H₀: La posición del lector no tiene efecto significativo sobre la distancia máxima de lectura.

H_a: La posición del lector tiene efecto significativo sobre la distancia máxima de lectura.

- Hipótesis para el material del objeto etiquetado (C):

H₀: El material del objeto etiquetado no tiene efecto significativo sobre la distancia máxima de lectura.

H_a: El material del objeto etiquetado tiene efecto significativo sobre la distancia máxima de lectura.

- Hipótesis para la interacción entre la forma de la etiqueta y la posición del lector (AB):

H₀: La interacción entre A y B no tiene efecto significativo sobre la distancia máxima de lectura.

H_a: La interacción entre A y B tiene efecto significativo sobre la distancia máxima de lectura.

- Hipótesis para la interacción entre la forma de la etiqueta y el material del objeto etiquetado (AC)

H₀: La interacción entre A y C no tiene efecto significativo sobre la distancia máxima de lectura.

H_a: La interacción entre A y C tiene efecto significativo sobre la distancia máxima de lectura.

- Hipótesis para la interacción entre la posición del lector y el material del objeto etiquetado (BC):

H₀: La interacción entre B y C no tiene efecto significativo sobre la distancia máxima de lectura.

H_a: La interacción entre B y C tiene efecto significativo sobre la distancia máxima de lectura.

- Hipótesis para la interacción entre la forma de la etiqueta, la posición del lector y el material del objeto a etiquetar (ABC):

H₀: La interacción entre A, B y C no tiene efecto significativo sobre la distancia máxima de lectura.

H_a: La interacción entre A, B y C tiene efecto significativo sobre la distancia máxima de lectura.

Para realizar el análisis de varianza (ANOVA) para el modelo experimental 2³, se utilizó el método de Yates. En este método se haya los contrastes de cada uno de los tratamientos, con base en una tabla de signos para cada uno de los factores y las interacciones entre ellos. Encontrando la suma de cuadrados para cada uno de ellos y poder realizar el respectivo análisis de varianza.

		Material del objeto					
		Conductor			No conductor		
Forma etiqueta	Posición de la antena	Replica 1	Replica 2	Replica 3	Replica 1	Replica 2	Replica 3
Rectangular	Paralela						
Cuadrada	Perpendicular						
Rectangular	Paralela						
Cuadrada	Perpendicular						

Tabla 13. Diseño 2³ para distancias.

Al realizar algunas pruebas, se encontró que las etiquetas no pueden ser leídas cuando están en contacto directo con un material metálico y por este motivo, se debe realizar un ajuste para la lectura, poniendo un material no conductor entre la etiqueta y la superficie metálica, de la siguiente manera:



Ilustración 27. Ajuste de lectura en metales

Para tomar los datos de las observaciones se utilizaron los mismos materiales y montajes para las dos formas de etiquetas. Se realizaron lecturas de la memoria de cada etiqueta para comprobar que se estaba leyendo correctamente, aumentando cada vez la distancia sobre una regla para determinar la distancia a la que ya no se leían los datos. A continuación podemos ver un ejemplo de cómo se tomaban los datos.



Ilustración 28. Ejemplo Observaciones de distancia.

A continuación se muestran las tablas de los resultados del diseño 2³, para determinar la posición ideal entre el lector y las etiquetas, con base en la distancia máxima de lectura.

Diseño de experimentos para tres factores con dos niveles cada uno		Material del objeto					
		Conductor			No conductor		
Forma etiqueta	Posición de la antena	Replica 1	Replica 2	Replica 3	Replica 1	Replica 2	Replica 3
Rectangular	Paralela	2,3	2,7	2,5	9,6	9,5	9,6
Rectangular	Perpendicular	0,2	0,1	0,3	5,4	5,6	5,8
Cuadrada	Paralela	1,7	1,6	1,7	6,9	7	6,7
Cuadrada	Perpendicular	0,3	0,2	0,1	5,5	5,4	5,7

Tabla 14. Réplicas del diseño, tomadas en centímetros.

A	B	C	AB	AC	BC	ABC	Yates	V.R	
-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	7,5	
-1	-1	1	1	-1	-1	1	a	28,7	
-1	1	-1	-1	1	-1	1	b	0,6	
-1	1	1	-1	-1	1	-1	ab	16,8	
1	-1	-1	-1	-1	1	1	c	5	
1	-1	1	-1	1	-1	-1	ac	20,6	
1	1	-1	1	-1	-1	-1	bc	0,6	
1	1	1	1	1	1	1	abc	16,6	
-10,80	-27,20	69,00	10,40	-5,80	-4,60	5,40	Contrastes		
-1,35	-3,40	8,63	1,30	-0,73	-0,58	0,68	Efectos		
4,86	30,83	198,38	4,51	1,40	0,88	1,22	Sumas de C		
242,37	Suma de C totales								

Tabla 15. Tabla de contrastes

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Valor Fisher de la prueba	Valor Fisher crítico
A	4,86	1	4,86	126,78	5,32
B	30,83	1	30,83	804,17	
C	198,38	1	198,38	5175,00	
AB	4,51	1	4,51	117,57	
AC	1,40	1	1,40	36,57	
BC	0,88	1	0,88	23,00	
ABC	1,22	1	1,22	31,70	
ERROR	0,31	8	0,04		
TOTAL	242,37	15			

Tabla 16. ANOVA del diseño

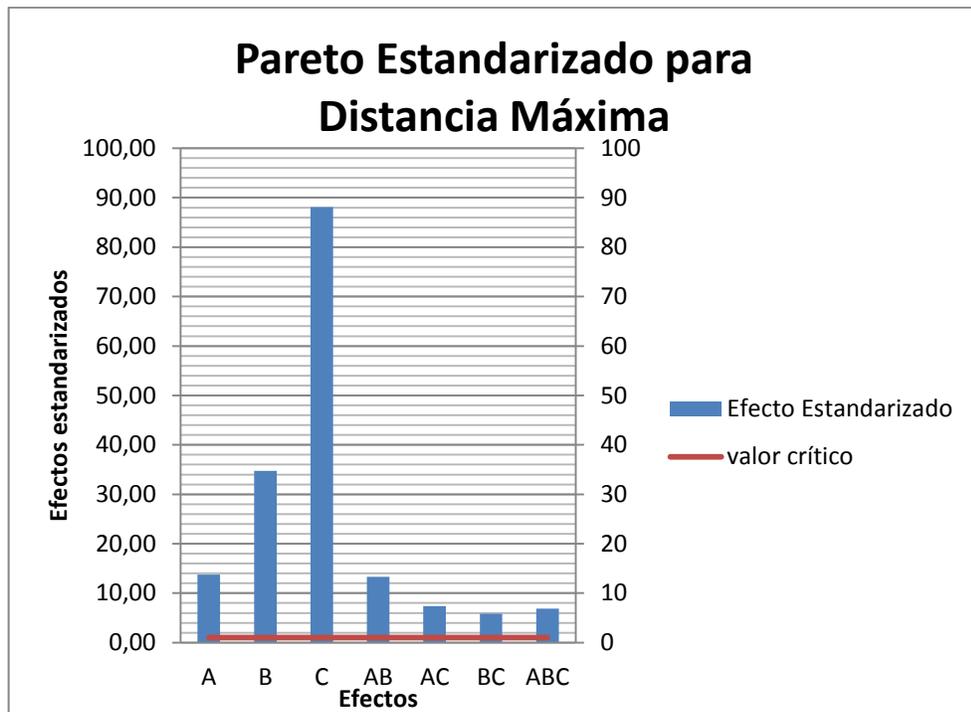


Ilustración 29. Gráfica de Pareto estandarizado.

Luego de realizar el experimento con las diferentes réplicas, y realizando el análisis de varianza con un valor alfa de 0,05; podemos ver que cada uno de los efectos es significativo y afectan directamente la distancia máxima de lectura, rechazando de esta manera todas las hipótesis nulas planteadas. Por otro lado con el Pareto estandarizado podemos observar que los efectos que más afectan la distancia máxima de lectura son C (tipo de material etiquetado) y B (posición del lector). Finalmente debido a que todos los efectos e interacción de efectos fueron significativos para la distancia máxima de lectura del sistema RFID, se establecieron los dos mejores tratamientos del diseño.

A	B	C	V.R
-1	-1	-1	7,5
-1	-1	1	28,7
-1	1	-1	0,6
-1	1	1	16,8
1	-1	-1	5
1	-1	1	20,6
1	1	-1	0,6
1	1	1	16,6
Valor +	28,7	Valor -	0,6
Valor +	20,6	Media	12,05

Tabla 17. Mejores Tratamientos del diseño

Como se ve en la tabla anterior, los mejores tratamientos son los valores máximos obtenidos de la suma de cada una de sus réplicas. Para este diseño los mejores tratamientos que dieron la mayor distancia de lectura fueron:

- Tipo de etiqueta rectangular ubicada paralelamente a la antena del lector y adherida a un material no conductor.
- Tipo de etiqueta cuadrada ubicada paralelamente a la antena del lector y adherida a un material no conductor.

Mientras que los peores tratamientos fueron:

- Tipo de etiqueta rectangular ubicada perpendicularmente a la antena del lector y adherida a un material metálico.
- Tipo de etiqueta cuadrada ubicada perpendicularmente a la antena del lector y adherida a un material metálico.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la distancia máxima de lectura en el peor de los dos mejores tratamientos, se decide no superar una distancia entre la etiqueta y el lector de 6,5 centímetros. Ya que se debe acomodar la lectura a la distancia más corta de estos dos tratamientos, que en este caso es la de la etiqueta cuadrada. De igual forma viendo la lectura de datos desde la perspectiva teórica, la inducción electromagnética entre las etiquetas y la antena del lector RFID, se ve afectada por la posición entre la antena y la etiqueta, ya que al ponerlas de forma perpendicular solo se activan las espiras de un solo lado dentro del circuito de la etiqueta, mientras que si se ponen de forma paralela hay una inducción completa en todos los lados del cuadrado de la espira que se encuentra dentro de la etiqueta. Las espiras cuadradas se pueden observar en la ilustración número 10.

6.5.1 Diseño de experimentos propuesto

Teniendo en cuenta que el proyecto es muy limitado con respecto a los equipos que se adquirieron y a la tecnología que se seleccionó se propone plantear un diseño de experimentos para ser desarrollado en algún proyecto de continuidad de la identificación por radio frecuencia, en el cual como primera medida, se comparen las dos tecnologías destacadas de RFID, que son la baja frecuencia (LF), alta frecuencia (HF) y la ultra alta frecuencia (UHF), con respecto a la capacidad de procesamiento de datos en el sistema. Como segunda medida verificar que factores influyen en la asertividad de obtención de datos por parte de la tecnología escogida en el primer diseño propuesto.

Para comparar los 3 tipos de RFID más destacados de esta tecnología se propone un diseño en cuadro latino, con tres tratamientos, y tres niveles por cada bloqueo.

Notación	1 y A	2 y B	3 y C
Bloqueo (renglones)	1 # Antenas =1	# Antenas =2	# Antenas = 3
Bloqueo (columnas)	2 Etiqueta Blanda	Etiqueta Dura para No metales	Etiquetas Dura para metales
Tratamiento (Letra)	Frecuencia utilizada= LF	Frecuencia utilizada= HF	Frecuencia utilizada= UHF

Tabla 18. Tratamientos y bloqueos del diseño en cuadrado latino.

Se plantean las siguientes hipótesis para el modelo:

- Hipótesis para el bloqueo 1:
 H0: La cantidad de antenas es significativa para la capacidad de procesamiento de datos del sistema.
 H1: La cantidad de antenas no es significativa para la capacidad de procesamiento de datos del sistema.
- Hipótesis para el bloqueo 2:
 H0: El tipo de etiqueta es significativo para la capacidad de procesamiento de datos del sistema.
 H1: El tipo de etiqueta no es significativo para la capacidad de procesamiento del sistema.

- Hipótesis para el tratamiento:
 H0: La tecnología utilizada para el sistema afecta significativamente la capacidad de procesamiento de datos del sistema.
 H1: La tecnología utilizada para el sistema no afecta significativamente la capacidad de procesamiento de datos del sistema.

Para poder realizar el respectivo ANOVA del diseño en cuadrado latino se debe tener el siguiente diseño:

Número de Antenas	Tipo de etiqueta		
	1 (blanda)	2 (dura NO metales)	3 (dura metales)
1	A	C	B
2	B	A	C
3	C	B	A

Tabla 19. Diseño en cuadrado latino.

Para poder hacer el respectivo ANOVA del diseño se deben tener en cuenta la variabilidad de los datos que se descompone en:

$$S_{Ct} = S_{C_{trat}} + S_{C_{b1}} + S_{C_{b2}} + S_{C_e}$$

Donde

- S_{Ct} = Suma de Cuadrados Totales.
- $S_{C_{trat}}$ = Suma de cuadrados de los tratamientos (LF, HF y UHF), es decir, de las letras (A, B y C).
- $S_{C_{b1}}$ = Suma de cuadrados del bloqueo 1, es decir, del número de antenas.
- $S_{C_{b2}}$ = Suma de cuadrados del bloqueo 2, es decir, del tipo de etiqueta.
- S_{C_e} = Suma de cuadrados del error.

De igual forma se deben tener en cuenta los grados de libertad para cada uno de estos términos:

- Grados de libertad totales: $K^2 - 1 = 3^2 - 1 = 8$.
- Grados de libertad de los tratamientos: $k - 1 = 3 - 1 = 2$.
- Grados de libertad del bloqueo 1: $k - 1 = 3 - 1 = 2$.
- Grados de libertad del bloqueo 2: $k - 1 = 3 - 1 = 2$.
- Grados de libertad del error: $(k-2)(k-1) = (3-2)(3-1) = 2$

Una vez realizado el respectivo ANOVA y se haya rechazado o no la hipótesis nula se puede realizar una prueba LSD para verificar la homogeneidad de los tratamientos y

poder realizar el siguiente diseño de experimentos para verificar el mejor tratamiento de la tecnología utilizada para obtener la mejor capacidad de procesamiento de datos.

Una vez encontrada la tecnología con mayor capacidad de procesamiento de datos, se sugiere proceder con un diseño factorial 3x2 en el que se tengan dos factores, uno con tres niveles y otro con dos niveles, para determinar cuál es el mejor tratamiento para la tecnología, tomando como variable la asertividad de los datos obtenidos.

- Factor A: Número de Antenas.
 - Nivel 1: 1 Antena.
 - Nivel 2: 2 Antenas.
 - Nivel 3: 3 Antenas.

- Factor B: Tipo de Etiqueta.
 - Nivel 1: Etiqueta blanda.
 - Nivel 2: Etiqueta Dura para metal.

Para este modelo se plantean las siguientes hipótesis:

- Hipótesis Factor A
 - H0: El número de antenas afecta de manera significativa la asertividad de los datos.
 - H1: El número de antenas no afecta de manera significativa la asertividad de los datos.
- Hipótesis Factor B
 - H0: El tipo de etiqueta afecta de manera significativa la asertividad de los datos.
 - H1: El tipo de etiqueta no afecta de manera significativa la asertividad de los datos.
- Hipótesis de interacción entre A y B
 - H0: La interacción entre A y B afecta de manera significativa la asertividad de los datos.
 - H1: La interacción entre A y B afecta de manera significativa la asertividad de los datos.

El diseño propuesto es el siguiente:

	Tipo de etiquetas					
	Blanda			Dura para metales		
Número de antenas	Replica 1	Replica 2	Replica 3	Replica 1	Replica 2	Replica 3
1						
2						
3						

Tabla 20. Diseño Factorial 3 x 2.

6.6 Pruebas, instalación y Simulación

Al ver los resultados obtenidos en el diseño de experimentos, se realizaron unas pruebas con una instalación provisional del lector RFID, donde la etiqueta estuviera paralela a la antena del lector y no excediera los 6,5 cms. Las pruebas se hicieron utilizando los dos tipos de etiquetas, y se dividieron en dos fases. La primera fase se centró en determinar la correcta posición del lector en la banda transportadora del sistema de manufactura flexible, y en determinar el material adecuado para poner entre la etiqueta y el pallet que va a llevar la etiqueta con la información del producto que se va a procesar, ya que la etiqueta no se puede adherir a la pieza ya que se dañaría al momento de mecanizar la pieza. En cada una de las pruebas se establecieron diferentes espesores de los materiales, de tal forma que las ondas electromagnéticas pudieran generar la inducción necesaria en la antena de las etiquetas RFID. Las pruebas sugieren que el espesor del material debe ser mayor a 2mm y se recomienda que no sea superior a 5mm.

En la segunda fase de las pruebas se realizaron lecturas reales de diferentes productos dejando correr la banda transportadora de manera automática, utilizando "FOMI" como material para separar la etiqueta del pallet metálico con un espesor de 2,25 mm +/- 0,05mm, este material se utilizó ya que era fácil de cortar y contaba con el espesor adecuado para separar la etiqueta del pallet.

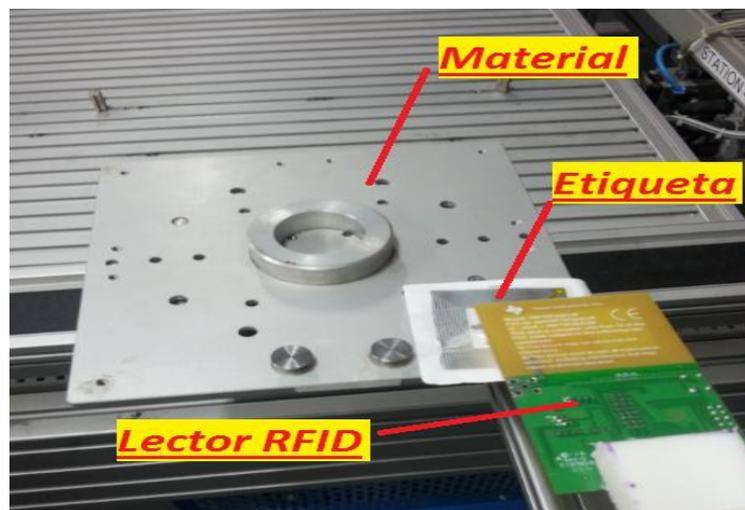


Ilustración 30. Pruebas Fase I.



Ilustración 31. Pruebas Fase II.

En estas pruebas se estableció la posición en la que se debe instalar la tarjeta TRF7970AEVM, y que la etiqueta debe estar adherida a la parte superior del pallet, ya que la pieza va a ser procesada y no puede entrar al proceso de transformación con la etiqueta. Por otro lado en la fase II se hicieron lecturas de pallets reales con la banda transportadora en movimiento, y con 4 pallets etiquetados. Estas lecturas mostraron un 75% de asertividad, y el 25% que no fue leído adecuadamente fue debido a que la velocidad de lectura de datos fue $V1 = 7,97$ Bytes/s entonces se recomienda que la velocidad de lectura de datos sea mayor a $Vr = 10$ Bytes/s, para evitar problemas de lectura. Con base en este resultado se decide modificar la programación de la interfaz para no tener errores de lectura instalando el lector en esta estación neumática. En el capítulo siguiente se encuentran detalladas las pruebas que se hicieron en las dos fases de pruebas y los resultados de cada una de ellas.

Una vez realizadas las pruebas de la fase I y la fase II, para la lectura y escritura de etiquetas RFID del proyecto, se realizó un montaje más apropiado para instalar el lector RFID en la banda transportadora del sistema de manufactura flexible. Teniendo en cuenta que el lector también se debe utilizar para actualizar el inventario del almacén automatizado, el montaje no puede ser permanente. De igual forma la tarjeta TRF7970AEVM no tiene una carcasa adecuada para aguantar impactos o errores de manipulación, y por esto se debe tener un montaje fácil de instalar y desinstalar para poder cuidar los equipos. Se utilizó la misma base metálica de las pruebas para esta instalación del lector pero ahora utilizando una base adicional para poder ajustar la tarjeta sin que se tenga que pegar con cinta de pegante, como se realizó en las pruebas anteriores.

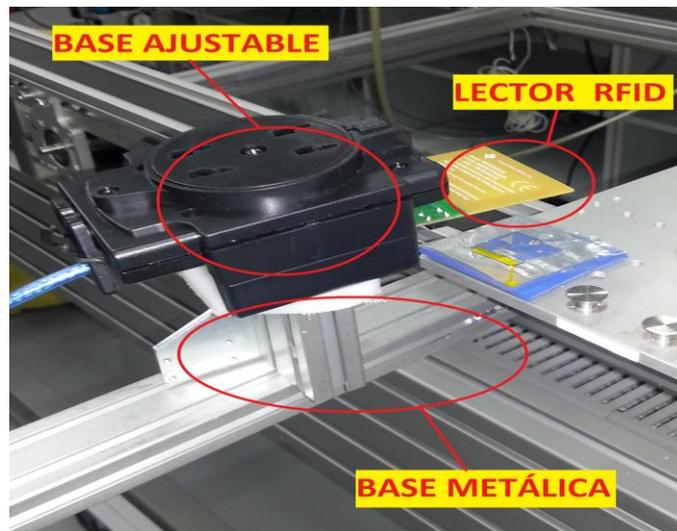


Ilustración 32. Montaje para simulación de proceso.

La ilustración 32 mostrada anteriormente muestra el montaje del lector RFID y se puede ver que está a una distancia muy corta de la tarjeta lo que nos da la posición adecuada para realizar las lecturas adecuadas de los productos. A pesar de estar en una de las estaciones neumáticas de la banda transportadora, no todas las pruebas fueron exitosas (fase II), con la banda y las estaciones en funcionamiento, ya que la solicitud de lectura de datos enviada del computador al micro-controlador tardaba mucho tiempo (velocidad de lectura de datos), y por esto se modificó la programación del panel de control para obtener los datos con mayor rapidez y no obtener errores de lectura durante la simulación del proceso, la velocidad de lectura de datos después de modificar la programación fue de 11,56 Bytes/s.

Uno de los procesos más utilizados en el sistema de manufactura flexible, es el de la producción de Sleeve. En el Centro Tecnológico de Automatización Industrial (CTAI), de la Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá, se puede simular con SAP la administración de una empresa proveedora de partes para Bicicleta (Sleeve), de dos empresas productoras de bicicletas ubicadas en Estados Unidos y en Alemania. La empresa del CTAI, produce Sleeve de bronce y de aluminio, según lo que pidan sus clientes. Es por esto que se decidió realizar la simulación de un proceso de producción de este producto, utilizando el sistema de identificación por radio frecuencia dentro de éste. El Sleeve es una parte de bicicleta que une el marco del manubrio con el cuerpo de la bicicleta, su proceso es muy sencillo ya que cuenta solo con una operación de maquinado dentro del torno, y su materia prima consta de solamente barras de bronce o aluminio.

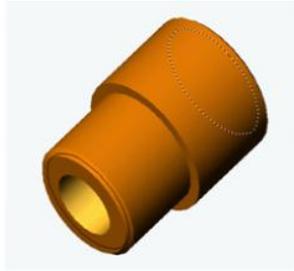


Ilustración 33. Sleeve (Tomado de Ing. Luisa Fernanda Muñoz, 2013).

Dentro del inventario realizado con el Panel de Control del sistema RFID, se encuentra una barra de bronce (materia prima para producir el SLEEVE de bronce), dentro de la posición 28 del sistema AS/RS. Posición clave para determinar en la simulación, cuál de los pallet dentro del almacén se van a utilizar y para adherirle la etiqueta.

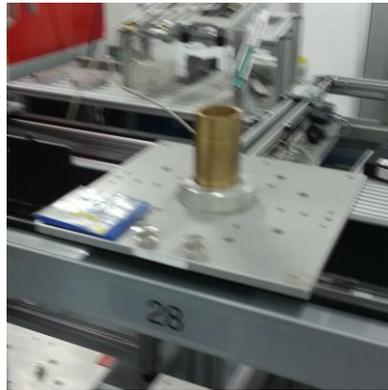


Ilustración 34. Posición 28 del AS/RS.

El proceso de manufactura realizado en la simulación fue el siguiente:

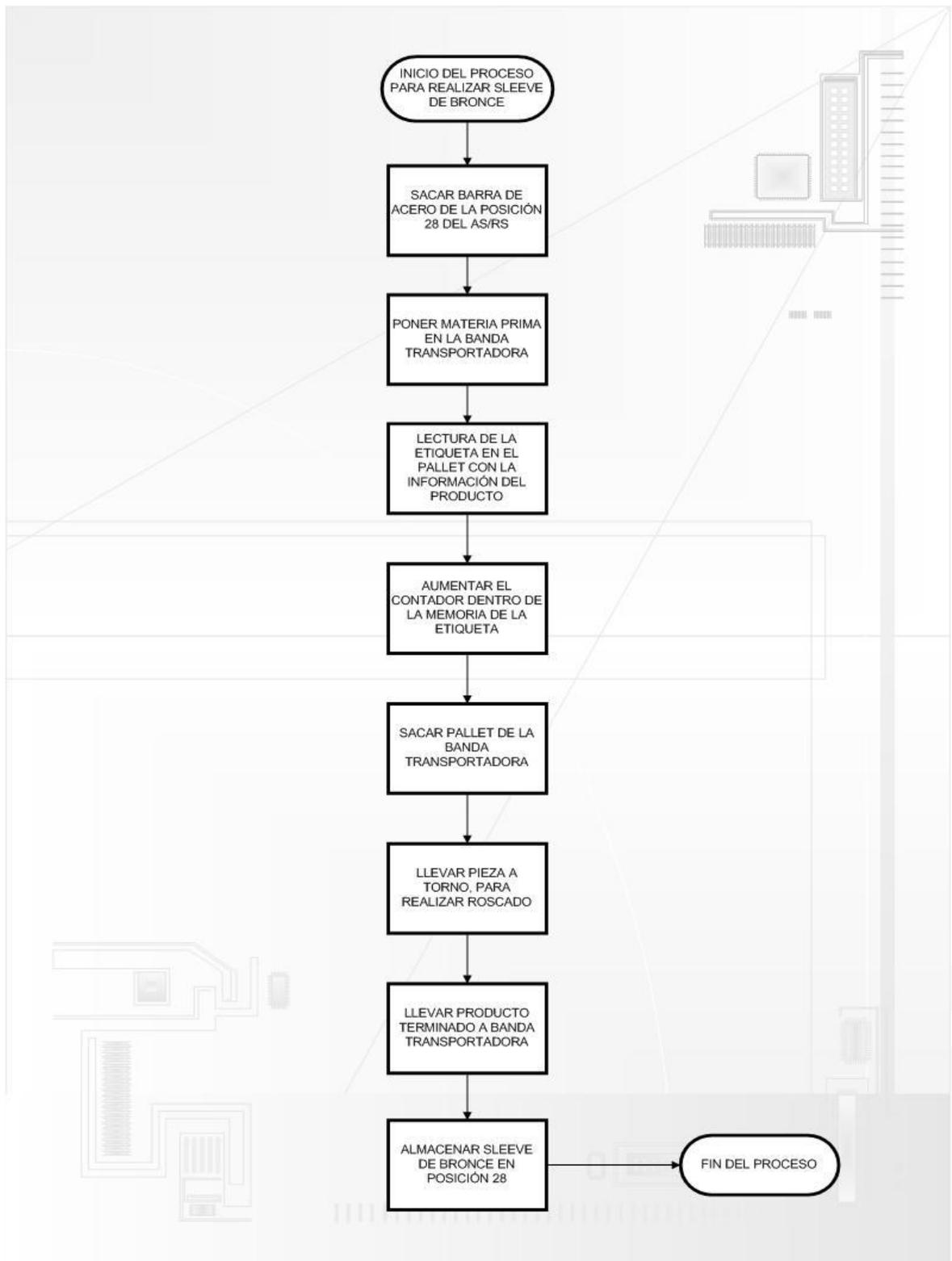


Ilustración 35. Proceso de Sleeve en la simulación.

La simulación realizada tuvo algunas limitaciones debido a que el torno CNC requiere una actualización del sistema, y por esto no se puede integrar con el sistema de manufactura flexible. De igual forma al no estar conectado el torno dentro del sistema, el programa que realiza el proceso del SLEEVE-BR (Sleeve de bronce) no permite que el robot Mitsubishi retire el pallet de la banda transportadora. A pesar de estas limitaciones se realizó la lectura de la etiqueta adherida al pallet de forma satisfactoria, y con la información adecuada sobre el producto en proceso

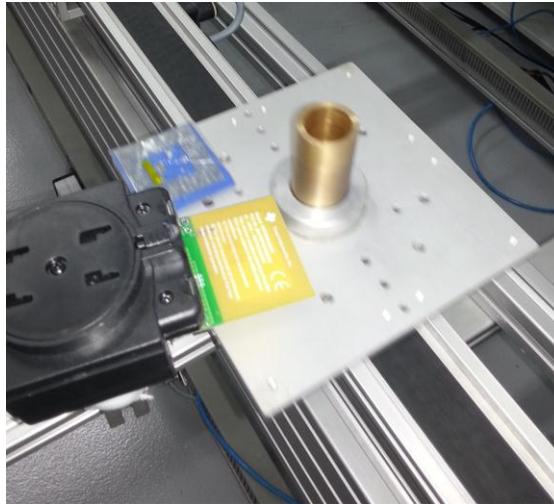


Ilustración 36. Lectura de datos en simulación de producción de SLEEVE-BR.

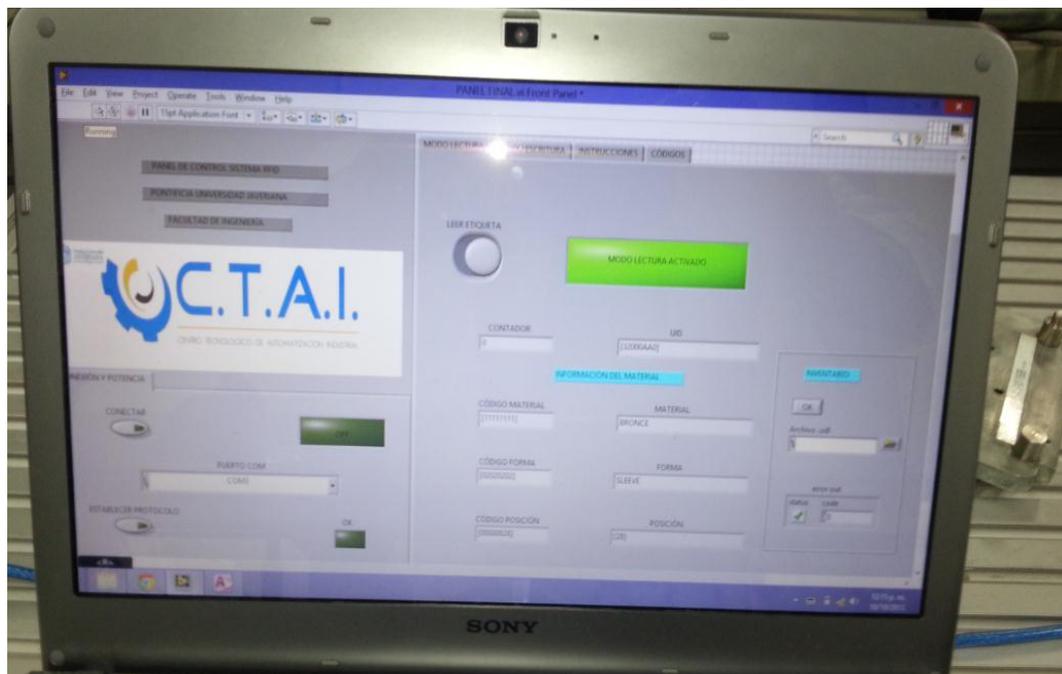


Ilustración 37. Información en Panel de Control en la simulación.

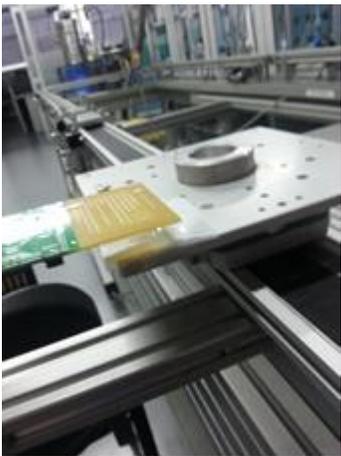
7. Resultados

7.1 Resultados de las pruebas

A continuación se muestran las tablas correspondientes a los resultados de la fase I y II de las pruebas realizadas con el sistema RFID.

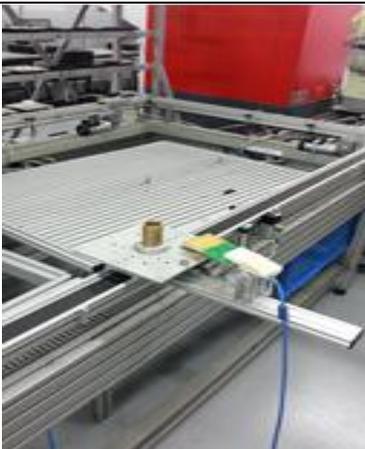
Prueba	Imagen	Descripción de la prueba	Calidad de la lectura y escritura	Espesor del material	Conclusiones
1		En esta prueba se realizó un montaje temporal del lector para leer las etiquetas colocándolas debajo del pallet.	Buena	10,95mm +/- 0,05mm	La lectura y el montaje es adecuado, pero la etiqueta no se puede colocar en esta parte del pallet, ya que el AS/RS toma los pallet desde abajo y puede que se dañe la etiqueta o el dispositivo del almacén.
2		Se realizó el montaje por encima del pallet y paralelo a la etiqueta, revisando que no hubiera problemas con el agarre que tiene el pallet para que lo agarre el robot.	Buena	10,95mm +/- 0,05mm	Este es el montaje que debe tener el lector del sistema RFID, para la identificación de productos en el sistema de manufactura flexible. Se sugiere otra ubicación para el lector, en una estación neumática.

3		<p>Se realizaron pruebas de lectura y escritura con el montaje de la prueba 2, utilizando un bloque de plástico entre el pallet y la etiqueta, ya que esta no funciona directamente sobre metales.</p>	Buena	10,95mm +/- 0,05mm	<p>Se tienen buenos resultados de las lecturas y escrituras, pero el material es muy grueso, ya que la etiqueta puede estar muy expuesta a daños por agentes externos, como máquinas o manipulaciones manuales del pallet. Se sugiere revisar otros grosores para pegar la etiqueta.</p>
4		<p>Se utilizó un empaque plástico para realizar la lectura y escritura de la etiqueta.</p>	Regular	0,50mm +/- 0,05mm	<p>El material es muy delgado y la lectura y escritura de datos no se realizan completamente, ya que las ondas electromagnéticas no logran generar inducción completa dentro de la antena de la etiqueta, se sugiere un espesor mayor.</p>

5		<p>Se utilizó un pedazo de hoja blanca para realizar las pruebas de lectura y escritura de la etiqueta</p>	Mala	<p>0,15mm +/- 0,05mm</p>	<p>El material es muy delgado y no permite que la inducción electromagnética se realice completamente, no activando el circuito interno de la etiqueta.</p>
6		<p>Se utilizó un pedazo de cinta de pegante en forma de "O" para separar la etiqueta del metal.</p>	Buena	<p>8,85mm +/- 0,05mm</p>	<p>Los resultados fueron los esperados, pero el material es muy delicado para dejarlo permanentemente en las etiquetas, ya que se debe crear una base para la etiqueta y luego adherirla al pallet.</p>
7		<p>Se realizó la lectura y escritura de datos encima de un forro de celular, teniendo en cuenta el espesor de éste.</p>	Buena	<p>2,70mm +/- 0,05mm</p>	<p>Buenos resultados, se necesita un material de aproximadamente el mismo grosor pero debe ser mayor a 3mm.</p>

8		<p>Se realizó el montaje sobre una estación neumática de la banda, para poder tener más tiempo para realizar la lectura y escritura de las etiquetas.</p>	Buena	10,85mm +/- 0,05mm	<p>Esta es la posición adecuada para realizar las pruebas de la fase 2.</p> <p>Ya que se recomienda que el tiempo que debe permanecer el pallet sin moverse sea 3 segundos, que es lo que se demora la interfaz en mostrar los datos.</p> <p>T>3s.</p>
---	--	---	-------	--------------------------	---

Tabla 21. Resultados pruebas FASE I

Prueba	Imagen	Descripción de la prueba	¿Lectura completa?	Velocidad de lectura	Conclusiones
1		<p>Con la banda transportadora prendida, se realizó lectura de los datos dentro de las etiquetas. El material era Sleeve de Bronce.</p>	NO	V1=7,97Bytes/s	<p>Al hacer la lectura de la memoria dentro de la etiqueta, no se mostraron todos los resultados en el panel de control.</p> <p>Velocidad requerida: 10Bytes/s</p>

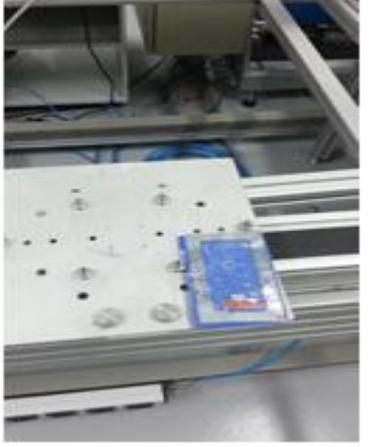
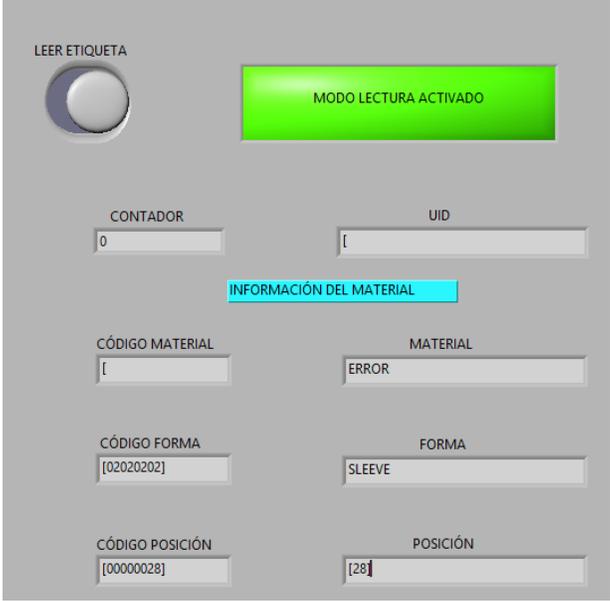
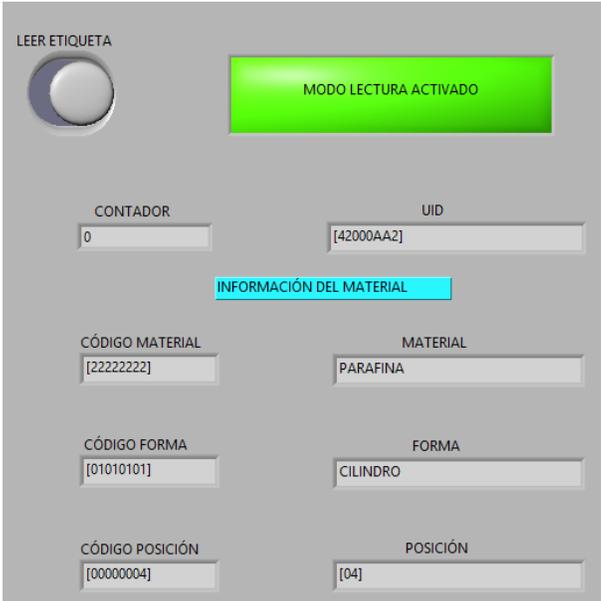
2		<p>Con la banda transportadora prendida, se realizó lectura de los datos dentro de las etiquetas. El material era cilindro de parafina industrial</p>	SI	V2=9,76Bytes/s	<p>El resultado de la prueba para esta pieza fue el esperado.</p>
3		<p>Con la banda transportadora prendida, se realizó lectura de los datos dentro de las etiquetas. El material era pallet con base para cilindro</p>	SI	V3=11,05Bytes/s	<p>El resultado de la prueba para esta pieza fue el esperado.</p>
4		<p>Con la banda transportadora prendida, se realizó lectura de los datos dentro de las etiquetas. El material era pallet vacío</p>	SI	V4=9,35Bytes/s	<p>El resultado de la prueba para esta pieza fue el esperado.</p>

Tabla 22. Resultados pruebas FASE II.

Prueba	Vista en panel de control
1	 <p>The screenshot shows a control panel interface with the following elements:</p> <ul style="list-style-type: none"> LEER ETIQUETA: A circular button on the top left. MODO LECTURA ACTIVADO: A large green button on the top right. CONTADOR: A text field containing the value '0'. UID: A text field containing the value '['. INFORMACIÓN DEL MATERIAL: A cyan header for the material information section. CÓDIGO MATERIAL: A text field containing the value '['. MATERIAL: A text field containing the value 'ERROR'. CÓDIGO FORMA: A text field containing the value '[02020202]'. FORMA: A text field containing the value 'SLEEVE'. CÓDIGO POSICIÓN: A text field containing the value '[0000028]'. POSICIÓN: A text field containing the value '[28]'.
2	 <p>The screenshot shows a control panel interface with the following elements:</p> <ul style="list-style-type: none"> LEER ETIQUETA: A circular button on the top left. MODO LECTURA ACTIVADO: A large green button on the top right. CONTADOR: A text field containing the value '0'. UID: A text field containing the value '[42000AA2]'. INFORMACIÓN DEL MATERIAL: A cyan header for the material information section. CÓDIGO MATERIAL: A text field containing the value '[22222222]'. MATERIAL: A text field containing the value 'PARAFINA'. CÓDIGO FORMA: A text field containing the value '[01010101]'. FORMA: A text field containing the value 'CILINDRO'. CÓDIGO POSICIÓN: A text field containing the value '[00000004]'. POSICIÓN: A text field containing the value '[04]'.

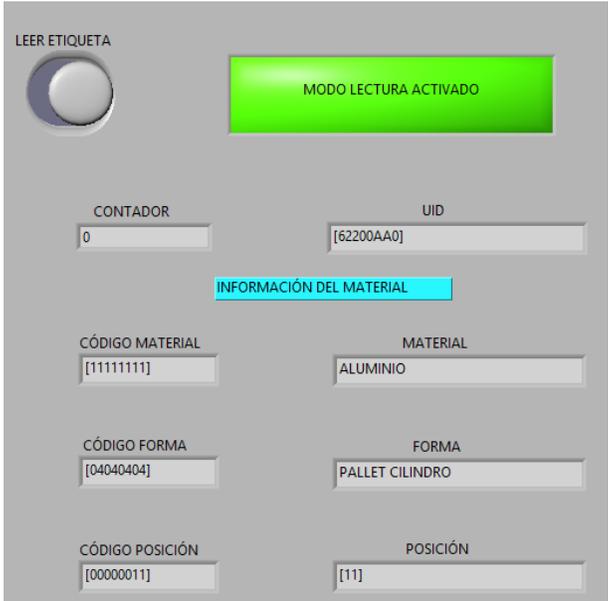
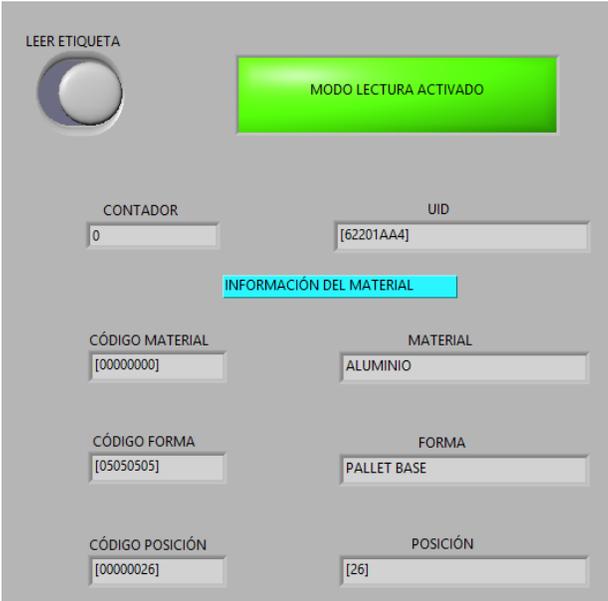
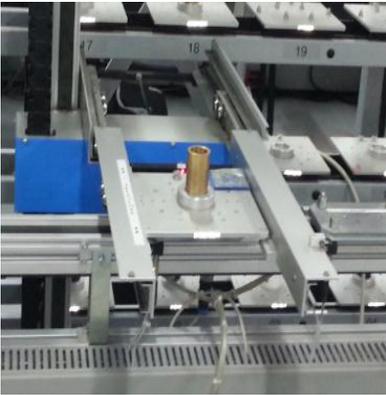
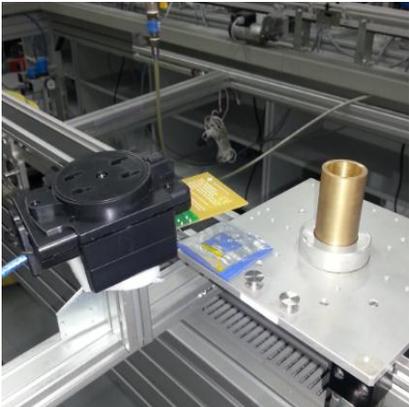
<p>3</p>	
<p>4</p>	

Tabla 23. Resultados FASE II en el panel de control.

7.2 Resultados de la simulación

Parte del proceso	Imagen	Resultados
<p><u>Sacar barra de bronce de la posición 28:</u> El AS/RS busca la posición 28 y retira la pieza para ponerla en el carrito de la estación 1 de la banda transportadora.</p>		<p>La simulación del proceso funciona sin ningún inconveniente.</p>
<p><u>Poner barra de bronce en la banda transportadora:</u> El AS/RS busca la posición del carro en la estación uno de la banda transportadora y pone el pallet con la barra de bronce en la banda transportadora.</p>		<p>La simulación del proceso funciona sin ningún inconveniente.</p>
<p><u>Realizar lectura de la etiqueta en el pallet con la información del producto:</u> En el momento en el que el pallet llega a la estación 3 de la banda transportadora se realiza la lectura de la etiqueta activando el Panel de Control del sistema RFID.</p>		<p>La simulación del proceso funciona sin ningún inconveniente y la lectura es exitosa.</p>

<p><u>Realizar lectura de la etiqueta en el pallet con la información del producto:</u> El panel de control del sistema RFID muestra la lectura del producto SLEEVE-BR, mostrando su posición, material y forma adecuados.</p>		<p>La simulación del proceso funciona sin ningún inconveniente y la lectura es exitosa, mostrando que el producto es el adecuado.</p>
<p><u>Sacar pallet de la banda transportadora:</u> El robot Mitsubishi se acerca a la estación 4 de la banda transportadora para tomar el pallet y sacarlo de la banda.</p>		<p>La simulación del proceso deja de funcionar, ya que el torno no está integrado con el sistema, porque requiere una actualización que al momento no se ha instalado. El robot se queda en la posición que se ve y no se mueve más, en este momento toca parar la simulación. No afecta en los resultados de la simulación ya que la lectura de datos del producto se hizo a satisfacción.</p>

Tabla 24. Resultados de simulación.

7.3 Análisis estadístico

El análisis estadístico que se realizó fue tomando simplemente los datos de los contadores de cada una de las etiquetas marcadas, los cuales se fueron cambiando a medida que se hacían diferentes pruebas y lecturas. El objetivo de mostrar este sencillo análisis es demostrar los grandes alcances que tiene el uso de la identificación por radiofrecuencia en procesos de manufactura, donde los análisis estadísticos son de suma importancia para la toma de decisiones y para el control de dichos procesos.

CONTADOR		
N	Valid	20
	Missing	0
Mean		2.00
Std. Error of Mean		.788
Median		.00
Mode		0
Std. Deviation		3.524
Variance		12.421
Skewness		2.517
Std. Error of Skewness		.512
Kurtosis		6.899
Std. Error of Kurtosis		.992
Range		14
Minimum		0
Maximum		14
Percentiles	25	.00
	50	.00
	75	2.75

Tabla 25. Estadística Descriptiva del contador.

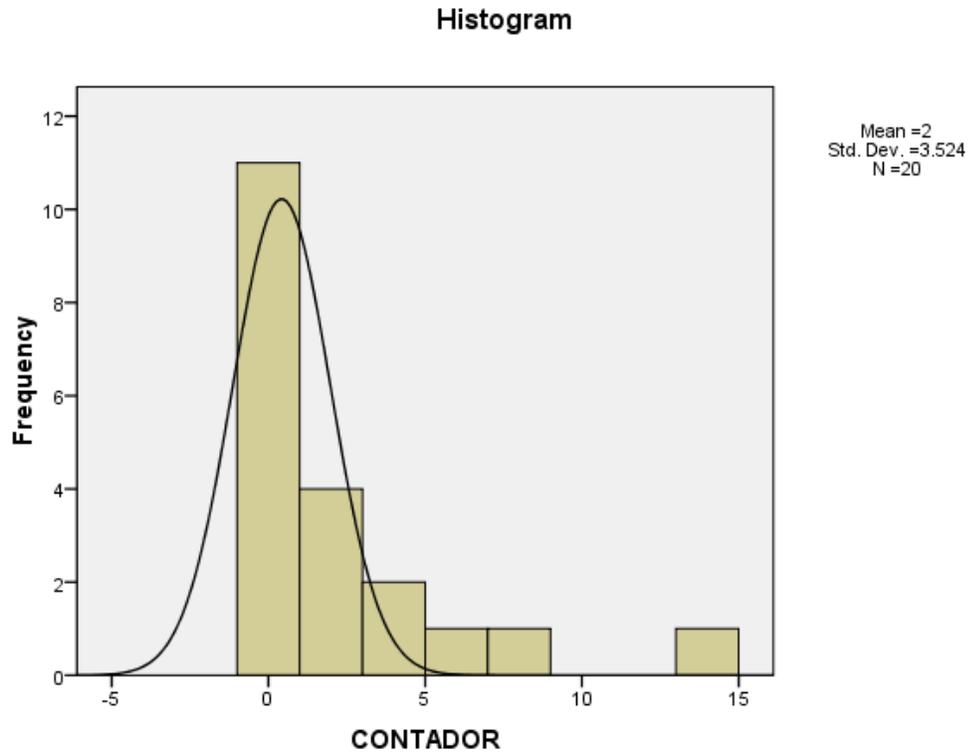


Ilustración 38. Histograma de frecuencias (Elaborada en SPSS).

Como podemos ver en esta estadística descriptiva de las 20 etiquetas que se adquirieron y fueron marcadas cuando se realizó el inventario, mostrando las veces que se leyó su memoria durante las pruebas, la media es de 2 lecturas, por otro lado la mediana de los datos del contador es 0 y apoyándose en el coeficiente de asimetría (2,517) los datos no son simétricos ya que están alejados del 0. La desviación estándar (3,524) es muy elevada lo que nos dice que la dispersión de los datos es muy alta, esto es debido a que la mayoría de los datos es 0, por que las etiquetas no fueron leídas en las pruebas o nunca después de que se realizó la escritura de cada una, esto se puede ver en los resultados de los cuartiles ya que el 50% de los datos tienen un contador de 0. Finalmente en el histograma podemos ver que la mayoría de las etiquetas fueron leídas 0 veces, y esto es lo que pasa normalmente en el sistema de manufactura flexible, y es que las piezas permanecen en el almacén. Algunas pruebas se realizaron con una sola etiqueta y es por esto que el máximo de los datos fue tan alto en comparación a los demás.

A pesar que el histograma muestra que los datos se aproximan a una distribución normal, se verifica con una prueba de ajuste para determinar la distribución de los datos, con el programa STATFIT, donde se muestran los siguientes resultados.

Auto::Fit of Distributions

distribution	rank	acceptance
Lognormal[-1.92e+003, 7.56, 1.78e-003]	100	do not reject
Normal[2., 3.44]	99.	do not reject
Exponential[0., 2.]	9.95e-004	reject
Uniform[0., 14.]	7.35e-006	reject

Ilustración 39. Prueba de ajuste para los datos de contador.

De donde podemos ver que los datos pueden seguir una distribución Log-normal o Normal.

7.4 Guía de laboratorio para prácticas

Los equipos adquiridos para la implantación del sistema RFID al igual que el panel de control realizado, quedan en manos del Centro Tecnológico de Automatización Industrial de la Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá, para poder realizar prácticas por parte de los estudiantes, realizar proyectos de continuidad, y de igual forma fomentar la investigación de esta tecnología poco conocida por nuestros estudiantes y profesionales.

Para cuantificar la falta de conocimiento que tienen los estudiantes de ingeniería industrial de la Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá, sobre las características y aplicaciones de la identificación por radio frecuencia, se realizó una encuesta muy sencilla por medio de la aplicación “Google Drive” en donde se les preguntó a los estudiantes si conocían esta tecnología, y si no la conocen se les explicaba muy puntualmente las características de dicha tecnología al igual que sus diferentes aplicaciones, para luego preguntar si les interesaría tener una práctica de laboratorio utilizando un sistema RFID real dentro de la carrera de ingeniería industrial. Los resultados obtenidos en las 30 encuestas a estudiantes actuales de ingeniería industrial se muestran a continuación:

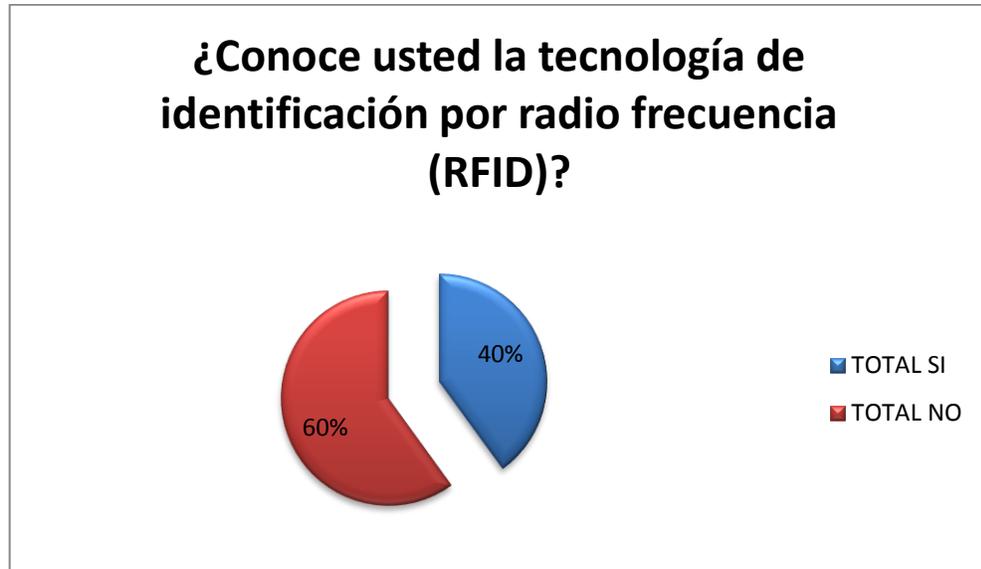


Ilustración 40. Pregunta 1 de la encuesta

¿Le gustaría tener una práctica de laboratorio con un sistema RFID?

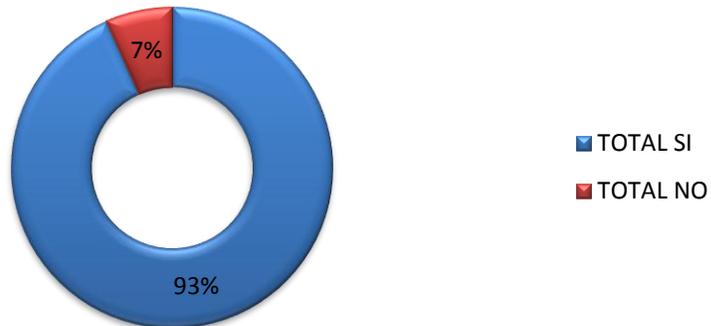


Ilustración 41. Pregunta 2 de la encuesta.

Con base en estos resultados se toma la decisión de desarrollar una guía de laboratorio para que los futuros estudiantes puedan utilizar el sistema RFID y realizar pruebas de lectura y escritura, utilizando el panel de control ya desarrollado para el TRF7970AEVM. Por otro lado, se busca familiarizar al estudiante con la tecnología RFID, fomentando el análisis y la investigación en los practicantes o estudiantes que realizan la práctica. De igual forma se le da una herramienta adicional a su formación profesional, para así poder encontrar diferentes soluciones a problemas que se le puedan presentar en el ámbito laboral.

Dentro de la guía se cuenta con objetivos específicos, un breve marco teórico y un instructivo detallado para utilizar las diferentes funciones de los equipos y del panel de control, con respectivos ejercicios para desarrollar a medida que se aprende sobre la identificación por radio frecuencia.

Esta guía puede ser utilizada principalmente en la materia Manufactura Flexible, pero se puede utilizar en otras materias modificando sus objetivos específicos y los ejercicios de cada uno de los modos del panel de control. La guía se puede revisar más detalladamente en los archivos anexos a este trabajo de grado.

8. Análisis Costo beneficio

Para la realización del proyecto y sus respectivas pruebas se utilizaron herramientas de los activos fijos de la universidad como las licencias de Labview y sus diferentes módulos, Microsoft Access, los equipos de la universidad y los equipos del sistema de manufactura flexible del CTAI. Estos activos fijos de la universidad se muestran en el análisis para cuantificar estos productos, pero no afectan directamente al costo total del proyecto por ser activos fijos de la Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá. De igual forma se costearon las horas trabajadas por el estudiante que realizó la investigación y las asesorías de profesionales. El costo por hora del investigador se basa en un salario de practicante de ingeniería industrial, mientras que las horas de asesoría profesional están basadas en un salario integral. Las horas tanto del estudiante como de los asesores profesionales, no representan un costo sobre el proyecto ya que el estudiante no está contratado y los asesores hacen parte de la nómina en la carrera de ingeniería industrial.

Ítem	Cantidad	Costo unitario	Licencia	Total	Activo fijo CTAI	Total proyecto
Licencia labview	1	\$ 14.414.160	2 años	\$ 14.414.160	SI	\$ -
Database connectivity toolkit	1	\$ 3.014.840	Ilimitada	\$ 3.014.840	SI	\$ -
Microsoft Access	1	\$ 259.990	Ilimitada	\$ 259.990	SI	\$ -
TRF7970AEVM	1	\$ 357.900	-	\$ 357.900	NO	\$ 357.900
Etiquetas tag-it TI	20	\$ 2.300	-	\$ 46.000	NO	\$ 46.000
Extensión de USB	1	\$ 10.000	-	\$ 10.000	NO	\$ 10.000
Computador	1	\$ 1.600.000	-	\$ 1.600.000	SI	\$ -
Ítem	Cantidad	Costo por hora	Total	Activo fijo PUJ	Total proyecto	
Tiempo de investigación	272	\$ 5.000	\$ 1.360.000	SI	\$ -	
Tiempo de asesoría	60	\$ 29.000	\$ 1.740.000	SI	\$ -	
			TOTAL	\$ 22.802.890	Total proyecto	\$ 413.900

Tabla 26. Costo del proyecto

Dentro de los costos se tuvieron en cuenta todas las licencias de software necesarias y los equipos que se usaron para la realización del proyecto. Teniendo en cuenta que se realizó una instalación del sistema RFID experimental, no se incluyeron los costos de instalación, ya que no se dejó instalado el lector. En el total del proyecto se invirtieron 413.900 pesos Colombianos, los cuales traerían beneficios tanto para la Javeriana como para los estudiantes de ingeniería industrial. A pesar de que los beneficios son netamente cualitativos se exponen dos escenarios en los que se podría analizar económicamente el proyecto, tomando como base el tiempo que ahorraría realizar el inventario con el panel de control del sistema RFID.

8.1 Análisis económico del proyecto

Teniendo en cuenta que la actualización del inventario del AS/RS se hace de manera manual en el CTAI y esto tarda unos 30 minutos, cada vez que se actualice el inventario con el sistema RFID, se ahorrará este tiempo. En el caso hipotético de que se actualizara dos veces al semestre, es decir, 4 veces al año, la sala se podría alquilar 2 horas al año, generando unos ingresos anuales para el CTAI, los cuales fueron utilizados para analizar la inversión del proyecto por medio de una proyección a 5 años.

La sala CNC puede prestar diferentes servicios a entidades externas a la Pontificia Universidad Javeriana, tanto para la enseñanza como para la realización de piezas. En el análisis de la inversión realizada, se tuvieron en cuenta dos escenarios, el primero es alquilando la sala para un curso de FMS de dos horas teniendo ingresos por 180.000 COP anuales. Por otro lado se puede alquilar la sala dos horas al año para elaborar piezas utilizando las máquinas CNC generando ingresos por 860.000 COP. Ambos ingresos se incrementan en 2.75% anual basándose en la inflación del año 2013.

Inversión proyecto	\$ 413.900
Depreciación (línea recta)	10 años
Depreciación Anual	\$ 41.390
Impuesto	33%
Valor del mercado	70%
Ganancia Ocasional	10%
WACC	5%
Incremento por inflación	2,16%

Tabla 27. Datos necesarios para el análisis.

Ingresos por HORA	Costo Unit.	Cantidad	Total
Ingreso Curso FMS	\$ 90.000	2	\$ 180.000
Ingreso Elaboración piezas	\$ 430.000	2	\$ 860.000

Tabla 28. Ingresos de los escenarios planteados.

Para los costos se tuvieron en cuenta los costos que se tendrían que llevar a cabo para poder alquilar esta sala, como mantenimiento, profesores, costo de energía, vigilancia y aseo. En los otros costos se incluye la operación de las máquinas, la instalación y preparación de equipos.

Costos por Hora	Costo Unit	Cantidad	total
Costos de Mantenimiento	\$ 3.125	2	\$ 6.250
Costos de Energía	\$ 3.000	2	\$ 6.000
Costos de profesores	\$ 30.000	2	\$ 60.000
Costos seguridad y limpieza	\$ 5.000	2	\$ 10.000

Tabla 29. Costos de alquiler.

Escenario 1 (Alquiler Sala para Curso FMS)						
periodo	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Ingresos	\$ -	\$ 180.000	\$ 183.888	\$ 187.860	\$ 191.918	\$ 196.063
Costos	\$ -	\$ 82.250	\$ 84.027	\$ 85.842	\$ 87.696	\$ 89.590

Tabla 30. Ingresos y costos del escenario 1.

Flujo de caja para Escenario 1 (Alquiler de sala para curso FMS)						
Periodo	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Ingresos	\$ -	\$ 180.000	\$ 183.888	\$ 187.860	\$ 191.918	\$ 196.063
Costos		-\$ 90.475	-\$ 92.429	-\$ 94.426	-\$ 96.465	-\$ 98.549
Costos de mantenimiento		-\$ 6.250	-\$ 6.385	-\$ 6.523	-\$ 6.664	-\$ 6.808
Costos de energía		-\$ 6.000	-\$ 6.130	-\$ 6.262	-\$ 6.397	-\$ 6.535
Costos profesores		-\$ 60.000	-\$ 61.296	-\$ 62.620	-\$ 63.973	-\$ 65.354
Costos de aseo y seguridad		-\$ 10.000	-\$ 10.216	-\$ 10.437	-\$ 10.662	-\$ 10.892
Otros Costos		-\$ 8.225	-\$ 8.403	-\$ 8.584	-\$ 8.770	-\$ 8.959
Depreciación	\$ -	-\$ 41.390,00	-\$ 41.390,00	-\$ 41.390,00	-\$ 41.390,00	-\$ 41.390,00
Utilidad antes de imp.	\$ -	\$ 48.135,00	\$ 50.068,74	\$ 52.044,25	\$ 54.062,43	\$ 56.124,20
Impuesto (ahorro)		\$ 15.884,55	\$ 16.522,68	\$ 17.174,60	\$ 17.840,60	\$ 18.520,99
Utilidad despues de imp.	\$ -	\$ 32.250,45	\$ 33.546,06	\$ 34.869,65	\$ 36.221,83	\$ 37.603,21
Depreciación	\$ -	\$ 41.390,00	\$ 41.390,00	\$ 41.390,00	\$ 41.390,00	\$ 41.390,00
Inversión	-\$ 413.900	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Valor Terminal		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 281.452,00
Flujo de Caja	-\$413.900,00	\$ 73.640,45	\$ 74.936,06	\$ 76.259,65	\$ 77.611,83	\$ 360.445,21
VPN	\$ 136.349					
TIR	13%					

Tabla 31. Flujo de caja para escenario 1.

Escenario 2(Alquiler Sala para elaboración de piezas)						
periodo	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Ingresos	\$ -	\$ 860.000	\$ 878.576	\$ 897.553	\$ 916.940	\$ 936.746
Costos	\$ -	\$ 22.250	\$ 22.731	\$ 23.222	\$ 23.723	\$ 24.236

Tabla 32. Ingresos y costos para escenario 2.

Flujo de caja para Escenario 2 (Alquiler de sala para elaboración de piezas)						
Periodo	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Ingresos	\$ -	\$ 860.000	\$ 878.576	\$ 897.553	\$ 916.940	\$ 936.746
Costos		-\$ 24.475	-\$ 25.004	-\$ 25.544	-\$ 26.095	-\$ 26.659
Costos de mantenimiento		-\$ 6.250	-\$ 6.385	-\$ 6.523	-\$ 6.664	-\$ 6.808
Costos de energía		-\$ 6.000	-\$ 6.130	-\$ 6.262	-\$ 6.397	-\$ 6.535
Costos de aseo y seguridad		-\$ 10.000	-\$ 10.216	-\$ 10.437	-\$ 10.662	-\$ 10.892
Otros Costos		-\$ 2.225	-\$ 2.273	-\$ 2.322	-\$ 2.372	-\$ 2.424
Depreciación	\$ -	-\$ 41.390	-\$ 41.390	-\$ 41.390	-\$ 41.390	-\$ 41.390
Utilidad antes de imp.	\$ -	\$ 794.135	\$ 812.182	\$ 830.620	\$ 849.455	\$ 868.697
Impuesto (ahorro)		-\$ 262.065	-\$ 268.020	-\$ 274.104	-\$ 280.320	-\$ 286.670
Utilidad despues de imp.	\$ -	\$ 532.070	\$ 544.162	\$ 556.515	\$ 569.135	\$ 582.027
Depreciación	\$ -	\$ 41.390	\$ 41.390	\$ 41.390	\$ 41.390	\$ 41.390
Inversión	-\$ 413.900	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Valor Terminal		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 281.452
Flujo de Caja	-\$ 413.900	\$ 573.460	\$ 585.552	\$ 597.905	\$ 610.525	\$ 904.869
VPN		\$ 2.858.412				
TIR		140%				

Tabla 33. Flujo de caja para escenario 2.

Teniendo en cuenta los resultados mostrados para los dos escenarios, el CTAI puede encontrar una oportunidad de negocio en base a este proyecto si se incrementa el alquiler de las salas, ya que dos horas anuales es muy poco. Si se incrementaran las horas a 10 por semestre, es decir, 20 anualmente, se podrían tener los siguientes flujos para los correspondientes escenarios:

Flujos de caja para 20 horas de alquiler para curso FMS						
Flujo de Caja	-\$ 22.802.890	-\$ 4.762.976	-\$ 4.737.257	-\$ 4.710.983	-\$ 4.684.141	-\$ 4.375.268
VPN	-\$ 42.987.206					
TIR	INCALCULABLE					

Tabla 34. Flujo de caja para 20 horas de curso FMS.

Flujos de caja para 20 horas de alquiler para elaboración de piezas						
Flujo de Caja	-\$ 22.802.890	\$ 5.079.024	\$ 5.317.330	\$ 5.560.783	\$ 5.809.495	\$ 6.345.031
VPN	\$ 1.411.848					
TIR	7%					

Tabla 35. Flujo de caja para 20 horas de elaboración de piezas.

Para ambos flujos en el tiempo se utilizó el costo total del proyecto contando los activos fijos del CTAI, en donde la inversión sería de 22'802.890 COP. Los resultados obtenidos para el escenario 1 no son los adecuados ya que el valor presente neto mostrado es 48 millones de pesos menos de lo que se buscaba y la tasa interna de retorno no se puede calcular porque solo hay flujos de cajas negativos. En el escenario 2 podemos ver que la inversión es viable ya que el costo de alquilar la sala para la elaboración de piezas es más alta, la TIR es mayor al porcentaje WACC al igual que el VPN es positivo, lo que quiere decir que es viable el proyecto en este escenario.

8.2 Beneficios CTAI

La implantación del sistema RFID permite tener ciertos beneficios para el Centro Tecnológico de Automatización Industrial de la Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá, ya que permite realizar una identificación de los productos que se van a procesar, y de esta manera corroborar que es la pieza que se necesita para el proceso simulado es la adecuada, lo que permite evitar pérdidas de tiempo de reproceso para las piezas de parafina industrial que son las que se utilizan para las simulaciones. Por otro lado, el proyecto deja algunas propuestas de continuación para fomentar a los futuros estudiantes a la investigación sobre esta tecnología de identificación por radio frecuencia, o simplemente a realizar otros trabajos de grado cuya base fue el proyecto desarrollado previamente.

8.3 Beneficios estudiantes de Ingeniería Industrial

El actual trabajo de grado no solo tiene beneficios para el CTAI, también trae beneficios para los estudiantes de ingeniería industrial tanto de la Universidad Javeriana como de otras universidades que pidan los servicios del centro tecnológico, ya que esta es una tecnología todavía en desarrollo y no es muy conocida por estudiantes y profesionales de ingeniería industrial, brindándoles mayores conocimientos sobre herramientas que puedan utilizar en un futuro donde esté más desarrollada la tecnología RFID. El proyecto no solo intenta fomentar la investigación sobre esta tecnología sino también ayuda a los estudiantes a familiarizarse con equipos reales de identificación por radiofrecuencia, ya que se ha desarrollado una guía para realizar práctica en el laboratorio con los equipos adquiridos y con los programas desarrollados.

8.4 Beneficios Pontificia Universidad Javeriana

Los beneficios que puede tener la Universidad Javeriana de Bogotá no son totalmente directos por parte del proyecto realizado, pero si puede traer beneficios proyectos de investigación futuros sobre esta tecnología, permitiendo a la universidad ser la única en Colombia con áreas de investigación sobre la identificación por radiofrecuencia. Por otro lado, la mayoría de universidades que aplica esta tecnología, la aplica para manejo de la cadena de suministros e inventarios, permitiéndola ser pionera en el uso de sistemas RFID para manufactura.

9. Recomendaciones

9.1 Recomendaciones generales

Teniendo en cuenta que el proyecto desarrollado y los equipos adquiridos para el sistema de identificación por radio frecuencia, va a ser utilizado por estudiantes y profesionales de la facultad de ingeniería, se deben tener en cuenta algunas recomendaciones sobre el uso adecuado de los equipos y los programas creados. La mayoría de las recomendaciones son de seguridad de los equipos, ya que el lector y la antena se encuentran en un circuito impreso sin ningún tipo de protección, y deben ser manipulados con precaución. A continuación se mencionan estas recomendaciones:

- Para la manipulación de la tarjeta TRF7970AEVM se recomienda utilizar un brazalete con descarga a tierra, para prevenir descargas eléctricas en los elementos del circuito impreso debido a la estática que pueden tener las personas. Estas descargas podrían afectar el funcionamiento de estos elementos. En caso de no tener un brazalete de este tipo se debe coger la tarjeta por los extremos evitando tocar directamente alguna parte del circuito, preferiblemente los extremos de la tarjeta.



Ilustración 42. Manipulación de la tarjeta sin manilla con descarga a tierra.

- La conexión del lector RFID con el computador se hace por el puerto USB, teniendo en cuenta que para hacer la conexión correcta se debe realizar un esfuerzo mecánico y que la tarjeta como se mencionó anteriormente no cuenta con una carcasa o protección adicional, se puede dañar fácilmente la conexión del puerto USB con la tarjeta. Para evitar el mayor esfuerzo mecánico sobre el puerto de la tarjeta se recomienda utilizar siempre una extensión de puerto USB, con la cual se puede conectar y desconectar las veces que se desee sin dañar los equipos.

- Con el fin de evitar cortos circuitos dentro de la tarjeta se recomienda siempre dejar la tarjeta sobre superficies que no sean conductoras eléctricas. Por esta razón el diseño experimental del montaje siempre sostenía la tarjeta desde la extensión del cable USB y por los bordes, dejando un espacio vacío entre la base y la tarjeta.
- Para poder transportar la tarjeta de forma adecuada, se debe desmontar la tarjeta completamente y guardar tanto el lector como las etiquetas en las bolsas de protección electrostática, para evitar daños en los circuitos impresos, y en sus componentes.
- Cada vez que se utilice el sistema RFID en un computador diferente, se debe instalar el driver que permite al computador leer la tarjeta adecuadamente y poder hacer uso del panel de control diseñado. Si no se tiene la carpeta del driver, se puede descargar fácilmente desde internet, buscando en cualquier explorador “USB to UART Bridge Driver”.
- El panel de control cuenta con un comando para enviar los datos de las lecturas a una base de datos de Microsoft Access. Cuando se cambia el panel de control de computador se debe crear de nuevo un archivo de conexión entre Labview y Access. Este archivo es de tipo “UDL”, y se puede encontrar la forma de crearlo correctamente en el Anexo 3, dentro de la guía de laboratorio elaborada para utilizar el sistema RFID.

9.2 Recomendaciones de continuidad

El trabajo que se realizó hasta el momento con el KIT de evaluación de identificación por radio frecuencia, es una pequeña muestra de las capacidades de la tecnología, y queda mucho trabajo por realizar y por investigar sobre las diferentes aplicaciones que puede tener este tipo de sistemas. A pesar de ser un trabajo de grado de ingeniería industrial se pueden proponer trabajos de continuidad a otras áreas del conocimiento como ingeniería electrónica, ingeniería de sistemas, ingeniería mecánica o diseño industrial. Las propuestas de continuidad del proyecto se hacen con base en lo que se realizó, en los resultados obtenidos y en las limitaciones que se tuvieron durante el desarrollo del proyecto.

Área del conocimiento	Propuesta de continuidad	Razón
Diseño Industrial	<p>Realizar una carcasa para insertar la tarjeta TRF7970AEVM, aislando el circuito de descargas electro estáticas que puedan dañar los componentes del circuito. Esta carcasa debe permitir transportar el lector RFID con mayor facilidad, y de igual forma poder instalar el lector con mayor facilidad. Por otro lado es importante que tenga dos salidas, la de la antena y la del puerto USB. Finalmente la salida del puerto USB debe tener un mango para poder realizar un inventario de forma manual.</p>	<p>Durante las pruebas del proyecto se tuvo mucho cuidado con la manipulación de la tarjeta, y nunca sufrió daños, pero de haberla golpeado o agarrado de forma inadecuada, se podría haber dañado y los resultados serían negativos. Una carcasa plástica podría proteger la tarjeta y mejorar su agarre.</p>
Ingeniería Electrónica	<p>Realizar un estudio detallado de qué tipo de antena se podría implementar en el lector RFID para aumentar la distancia de lectura entre las etiquetas, y de esta forma tener un mayor alcance en las aplicaciones para el sistema de identificación por radio frecuencia. Se fomenta la investigación sobre este tipo de antenas.</p>	<p>Para realizar las lecturas en las etiquetas de debía poner el lector muy cerca de la etiqueta, restringiendo la cantidad de etiquetas que se podían leer a la vez.</p>

<p>Ingeniería industrial</p>	<p>Realizar un trabajo enfocado en inventarios donde se utilice el mismo módulo de evaluación, realizando otro panel de control que lea más de una etiqueta a la vez, como se puede realizar en el software que trae el módulo. Creando una base de datos automáticamente, mejorando la eficiencia de la elaboración de inventarios.</p>	<p>Utilizando el software de prueba que traía el módulo TRF7970AEVM, de Texas Instruments se podían realizar lecturas de más de 7 etiquetas al mismo tiempo, no se profundizó en el tema ya que en el sistema de manufactura flexible se lee un producto a la vez.</p>
<p>Ingeniería de Sistemas</p>	<p>Se puede realizar un software con más aplicaciones y con una interfaz hombre-máquina más amigable, para realizar diferentes tipos de actividades con un sistema RFID. Tomando como base el ejecutable de Texas Instruments y el Panel de Control creado en Labview. De esta forma no solo se mejorarían las aplicaciones de la tecnología, sino que también se fomentaría la investigación del funcionamiento de la identificación por radiofrecuencia, en esta área del conocimiento.</p>	<p>Con la realización del Panel de Control del sistema RFID se tuvieron muchos inconvenientes al no entender el funcionamiento de los datos entre el lector y el computador en el que se hizo el proyecto. Por otro lado, se necesita de un computador con licencia de Labview para poder utilizar el panel de control. Finalmente a pesar de que el panel fue realizado de la forma más amigable para el usuario posible, el área de ingeniería industrial no se especializa en este tipo de desarrollos.</p>
<p>Diseño Industrial o Ingeniería Mecánica</p>	<p>Realizar un montaje móvil, que pueda instalarse más fácilmente en la banda transportadora, en el que en un extremo se agarre a la banda y en el otro pueda sostener con firmeza la tarjeta lectora RFID. Este montaje debe instalarse sin ningún tipo de herramientas, y no tan grande para no incomodar el paso de las personas.</p>	<p>Realizando el montaje para las pruebas y para la simulación, se tomaba mucho tiempo en instalar la base metálica en la banda, y tenía gran longitud incomodando el paso de las personas por esta parte del laboratorio.</p>

<p>Ingeniería Mecánica o de sistemas</p>	<p>Realizar la integración del panel de control con los sistemas de automatización del sistema de manufactura flexible, como el Cosimir Control. Para poder activar la lectura de datos en la estación 3 de la banda transportadora, y poder visualizar los datos durante el proceso de producción en la misma pantalla. De igual forma poder actualizar el inventario en Cosimir control y evitar problemas en las simulaciones y en la realización de procesos.</p>	<p>Las pruebas se realizaron en un computador aparte, ubicado cerca a la estación 3 de la banda transportadora. Pero no se logró la integración con los programas mediante las herramientas de OPC (Object Linking and Embedding for process control) de Labview.</p>
--	---	---

Tabla 36. Propuestas de continuación.

9.3 Diseño propuesto para el CTAI

Para la propuesta del proyecto se presentaron algunas restricciones para el alcance del trabajo de grado ya que no se contaban con los recursos para obtener todos los equipos necesarios. Dentro de las restricciones se encontraban:

- No trazabilidad del producto en proceso, ya que se necesita más de un lector RFID.
- Poca distancia de lectura, debido a la frecuencia utilizada, impidiendo realizar una actualización del inventario de forma constante y automática.

Basándose en estas restricciones se plantea el diseño propuesto para implementar un sistema RFID que elimine estas restricciones iniciales. En el diseño propuesto se utilizan dos tecnologías diferentes de RFID, UHF (ultra alta frecuencia) y HF (alta frecuencia).

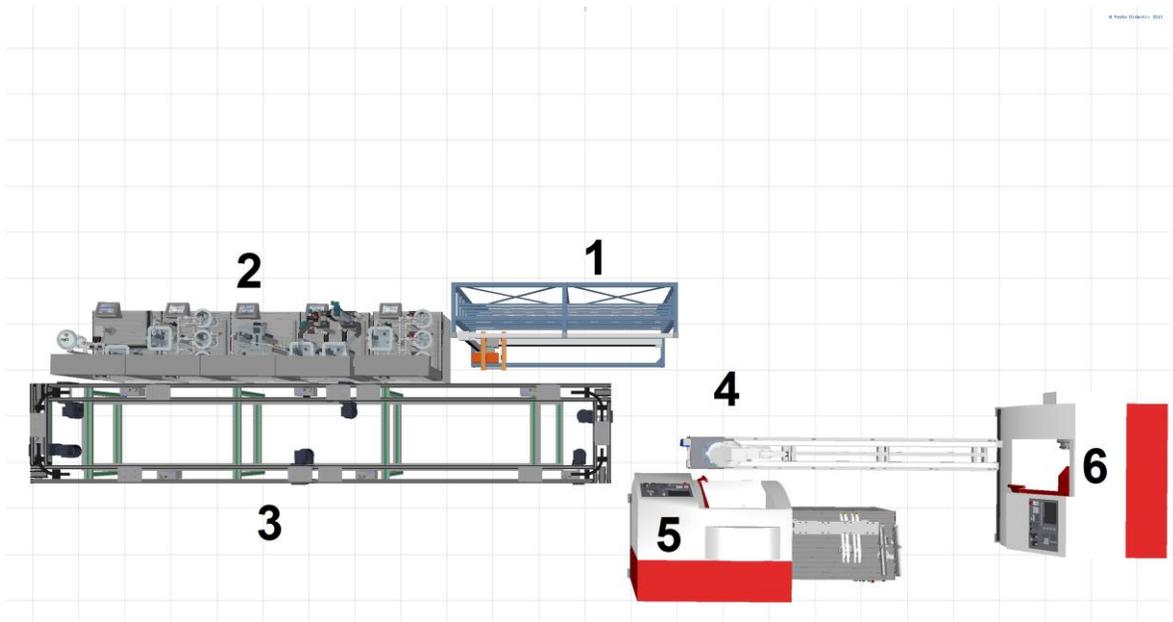


Ilustración 43. Sistema de manufactura flexible, CTAI (diseñado en Festo labcreator).

En la ilustración 43 se muestra el sistema actual de manufactura flexible dentro del CTAI, con 6 secciones. La 1 es el almacén AS/RS, la sección 2 es el modelo MPS, la número 3 es la banda transportadora de pallets, la 4 es el robot Mitsubishi, y finalmente la 5 y la 6 son el torno y la fresadora respectivamente.

La banda transportadora cuenta con 4 estaciones neumáticas dentro de ella, a continuación se muestran dónde están ubicadas dentro del diagrama.

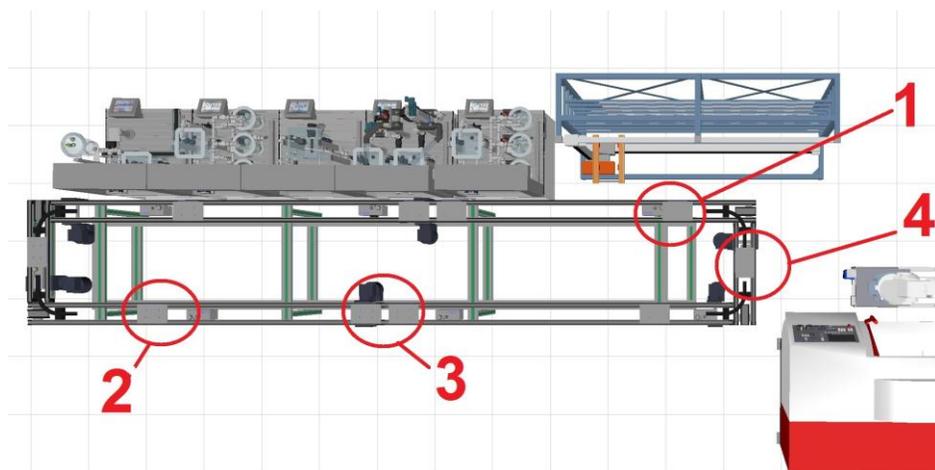


Ilustración 44. Estaciones banda transportadora (Diseñado en Festo Labcreator).

Con el fin de poder tener la trazabilidad de los productos en proceso dentro del sistema de manufactura flexible se necesita como mínimo un lector adicional, para poder en qué parte del proceso se encuentra la pieza. Como este sistema de manufactura solo cuenta

con un proceso de transformación de la materia prima, el segundo lector se debe instalar después de la estación 4 de la banda transportadora que es donde el robot recoge la pieza para llevarla a procesar y la vuelve a dejar luego de dicho procesamiento. Adicionalmente se requiere un lector que este actualizando el inventario constantemente, el cual debe ser de una tecnología diferente para tener más rango de lectura que los lectores HF, que sería la siguiente frecuencia en la tecnología RFID, la ultra alta frecuencia UHF.

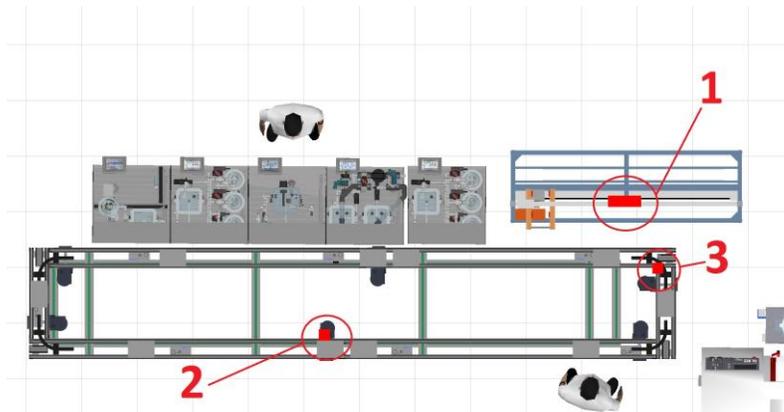


Ilustración 45. Diseño propuesto del sistema RFID (Diseñado en Festo Labcreator).

El lector 1 está ubicado encima del AS/RS de ultra alta frecuencia (UHF) que utiliza etiquetas de 2 x 2.5 centímetros de tecnología UHF y permiten ser adheridas a metales. Este lector se encarga de actualizar el inventario del almacén constantemente y de forma automática y es por esto que solo se necesita una antena. El lector 2 es el que se tiene actualmente, con el que se desarrollaron las pruebas anteriores, y el lector 3 es de la misma referencia que el lector 2 el TRF7970AEVM (se encuentra más información sobre este lector en el capítulo 6). Tanto el lector 2 como el 3 utilizan etiquetas de alta frecuencia para la identificación de productos iguales a las que se utilizaron en las pruebas del capítulo 6.

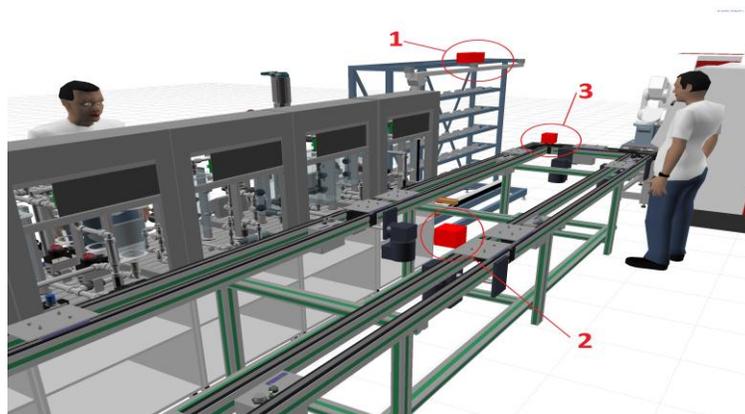


Ilustración 46. Diseño propuesto sistema RFID horizontal (Diseñado en Festo Labcreator).

A continuación se muestra un análisis de costo para el diseño propuesto con valores contundentes de lo que costaría implementar este sistema dentro del Centro Tecnológico de Automatización Industrial de la Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá. Se tuvieron en cuenta los valores de los equipos y adicionalmente unas horas de asesoría técnica por parte de profesionales para la correcta aplicación del sistema. Anexo se encuentra la cotización de los equipos, por parte de las empresas Plintec Ltda, Kimbaya Solutions, ubicadas en Bogotá y la empresa HTK de México.

ítem	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Lector y antena UHF (PT-3L01S+PT-3A1S)	1	\$ 1.256,00	\$ 1.456,96
TRF7970AEVM	1	\$ 165,00	\$ 191,40
Tags inlay Tagit TI	40	\$ 1,05	\$ 48,72
Tags UHF para metales	100	\$ 4,50	\$ 522,00
Extensión USB	2	\$ 5,21	\$ 12,09
Soporte técnico y especializado (por hora)	50	\$ 14,59	\$ 846,27
TOTAL			\$ 3.077

Tabla 37. Costo de propuesta con equipos Plintec en dólares americanos.

ítem	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Lector UHF IMPINJ R420	1	\$ 1.849,92	\$ 2.145,91
Antena UHF Farfield Circular	2	\$ 156,33	\$ 362,69
TRF7970AEVM	1	\$ 165,00	\$ 191,40
Tags inlay Tagit TI	40	\$ 1,05	\$ 48,72
Tags UHF para metales	100	\$ 4,50	\$ 522,00
Extensión USB	2	\$ 5,21	\$ 12,09
Soporte técnico y especializado (por hora)	50	\$ 14,59	\$ 846,27
TOTAL			\$ 4.129

Tabla 38. Costo propuesta con Equipos UHF Kimbaya y HF Plintec, en dólares americanos.

ítem	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Lector y antena UHF CS203 Ether	1	\$ 1.010,00	\$ 1.171,60
TRF7970AEVM	1	\$ 165,00	\$ 191,40
Tags inlay Tagit TI	40	\$ 1,05	\$ 48,72
Tags UHF para metales, Steel Wave	40	\$ 3,30	\$ 153,12
Envío equipos UHF	1	\$ 100,00	\$ 100,00
Extensión USB	2	\$ 5,21	\$ 12,09
Soporte técnico y especializado (por hora)	50	\$ 14,59	\$ 846,27
TOTAL			\$ 2.523

Tabla 39. Costo propuesta con equipos UHF de HTK y HF de Plintec en dólares americanos.

En el soporte técnico y especializado, se incluyen todos los costos de implementación y de adaptación del sistema, adicionalmente todos los equipos HF deben ser con Plintec Ltda. Ya que son distribuidores oficiales de Texas Instruments, y los equipos son módulos de evaluación como con los que se desarrolló la interface. Para el escenario 3 del costo de la propuesta se incluye el envío de los equipos por 100 USD ya que la empresa está ubicada en México.

10. Conclusiones

La tecnología de identificación por radio frecuencia (RFID) tiene gran variedad de aplicaciones para mejorar los procesos dentro de las empresas, desde el manejo de la cadena de suministros hasta los procesos de manufactura. Con el actual trabajo se dejan algunas de las posibles aplicaciones enfocándose en un sistema de manufactura, pero lo cierto es que sus alcances pueden ser mucho más amplios, se limitan simplemente a la imaginación de la persona que desarrolla el trabajo. Por otro lado, es importante revisar los proyectos de continuidad que se dejan planteados en el capítulo anterior ya que se pueden desarrollar para dejar una herramienta más efectiva y eficiente para la enseñanza y de igual forma se fomenta a los estudiantes y profesionales del centro tecnológico de automatización industrial de la Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá, a la investigación de este tipo de tecnología permitiendo que sea uno de los únicos campus universitarios en Sur América con laboratorios de investigación sobre esta tecnología.

- Se desarrolló una interface para el control del sistema RFID la cual no fue contemplada en los objetivos del proyecto ya que al manipular el software original de la tarjeta TRF7970AEVM, se encontró con que los datos mostrados en este programa no se podían exportar ni manipular de ninguna forma, lo que lleva a que se enfoque gran parte del proyecto en el desarrollo de la interfaz del sistema, dejándola abierta para cualquier tipo de integración necesaria con otros sistemas. Con la interfaz realizada en Labview se puede conectar a otros equipos por medio de una sesión OPC, la cual permitiría conectarse con otros programas como MATRIKON OPC o COSIMIR CONTROL, adicionalmente con su exportación/importación a bases de datos de ACCESS se puede integrar el sistema RFID con SAP o cualquier otro SCADA.
- Al analizar el tipo de materia prima del almacén y de revisar el inventario del AS/RS, se encontró que normalmente este inventario es manipulado manualmente lo que hace que el inventario no pueda ser actualizado efectivamente. Con la función de realizar la base de datos del sistema RFID creada en el proyecto se puede actualizar este inventario de forma más rápida y efectiva.
- La distancia de lectura de las etiquetas se ve afectada principalmente por la posición de la antena con respecto a la etiqueta ya que no induce la suficiente corriente para activar debidamente el circuito interno de las etiquetas. De igual forma los materiales metálicos y con agua, afectan los campos electromagnéticos, afectando directamente la comunicación entre la lectora y la etiqueta.

- En las pruebas de lectura y escritura de datos de la fase I se sugiere que el material que separa la etiqueta del pallet debe estar entre $2,5 \text{ mm} < E < 5 \text{ mm}$, para que se induzca la corriente necesaria para alimentar el circuito interno de las etiquetas. Al ser un proyecto de aplicación en el CTAI, se sugiere hacer unas piezas de Empack para fijar las etiquetas a los pallet con las siguientes dimensiones (ancho y largo es igual al de las etiquetas RFID):

Etiqueta	Rectangular	Cuadrada
Ancho	48mm	45mm
Largo	45mm	76mm
Alto (grosor)	3mm	3mm

Tabla 40. Dimensiones sugeridas para material que separa la etiqueta.

- Al realizar las pruebas de la Fase II se encontró una asertividad de la lectura de la etiqueta RFID del 75%, y se determinó que la velocidad mínima de lectura de datos por parte de la interfaz debe ser de 10 Bytes/s para que la asertividad de lectura en la estación neumática sea del 100%.
- A pesar de ser un proyecto netamente educativo y los beneficios son cualitativos, se realizaron dos escenarios en los cuales se analizó financieramente la viabilidad del proyecto a 5 años, tomando como inversión los 413.900 COP invertidos por el estudiante. En el escenario 1, donde se alquila la sala para el curso de FMS por dos horas anuales, se tiene un VPN de \$136.349 y una TIR del 13% lo cual hace viable el proyecto y justifica la inversión realizada, mientras que en el escenario 2, donde se alquila la sala para elaboración de piezas dos horas anuales se tienen valores mucho más elevados para el VPN (\$ 2.858.412) y la TIR (140%), ya que con dos horas de alquiler para elaboración de piezas se cubre la inversión inicial. Ambos escenarios son viables y se justifica la inversión sin tener en cuenta todos los beneficios obtenidos por la Universidad, por el CTAI y por los estudiantes.

11. Bibliografía

Artículos y Conferencias Científicas.

1. Antonio Aguilar. 2007. A Patient Identification System using RFID and IEEE 802.11b Wireless Networks. Master of Science Thesis, Stockholm. KTH Information and Communication Technology.
2. Donggeon Lee, Seongyun Kim y Howon Kim. 2010. Mobile Platform for Networked RFID applications. Pusan National University. Seventh International Conference on information Technology. Páginas 625-630.
3. E.W.T. Ngai, D.C.K. Chau, J.K.L Poon, A.Y.M Chan. B.C.M. Chan y W.W.S. Wu. 2012. Implementing an RFID-based manufacturing process management system: Lessons learned and success factors. Science Direct. Journal of Engineering and Technology Management. Páginas 112-130.
4. Fagui Liu y Zhaowei Miao. 2006. The Application of RFID technology in Production Control in the Discrete Manufacturing Industry. School of Computer Science and Engineering y South China University of Technology. Proceedings of the IEEE international Conference.
5. Seng Fat Wong, W. I. Ho, Zhixin Yang y C. T. Kwok. 2011. RFID-Aided Manufacturing Training System and Localization. University of Macau. Proceedings of the 2011 IEEE IEEM. Páginas 447-451.
6. Vipul Chawla y Dong Sam Ha. 2007. An Overview of passive RFID. Virginia Polytechnic Institute and State University. IEEE applications & practice. Páginas 11-17.
7. Xiaowei Zhu, Samar K. Mukhopadhyay y Hisashi Kurata. 2012. A review of RFID technology and its managerial applications in different industries. Science Direct. Journal of Engineering and Technology Management. Páginas 152-167.
8. Samuel Fosso Wamba y Katina Michael. 2010. An information systems design theory for an RFID university-based laboratory. Information Systems Foundations: The role of design science.
9. Ling Zhu, Gong zhang, Trevor Strome, Ricardo Lobato de Faria, Jiefe Pei, Francis Lin, Simon Liao, Trish Bergal y Blake W.Podaima. 2008. Using RFID system based on Labview for real time patient management. Anhui institute of Optics and Fine Mechanics. Chinese Academy of Sciences, Hefei, China. Winnipeg Regional Health Authority, Winnipeg, Canada. Seven Oaks general Hospital, Winnipeg, Canada. University of Winnipeg, Winnipeg, Canada. University of Manitoba, Winnipeg, Canada.

10. Wern-Kueir JEHNG, ShihSen PENG y Wei-Hsun HUANG. 2008. Using Labview to integrate RFID system and database for supply chain efficiency improvement. International journal of intelligent control and systems. Páginas 189-195.
11. Libera whitepaper series. RFID: Tecnología, Aplicaciones y perspectivas. 2010. Libera Networks. Parque tecnológico de Andalucía. Málaga, España.

Artículos Técnicos

12. Texas Instruments. TRF7960 evaluation module: ISO 15693 Host Comands. 2008. RFID. Número de literatura 11-06-26-2009.
13. Texas Instruments. TRF7960 User´s Guide. 2008. Número de literatura SLOU192C.
14. Plintec Ltda. Curso virtual RFID. Bloque 2: Herramienta de desarrollo TRF7970A.

Archivos Electrónicos

15. Texas Instruments. TRF7970A_ESCRIBIR_BLOQUE.VI, 2009.
16. Texas Instruments. TRF7970A_LEER_BLOQUE.VI, 2009.
17. Texas Instruments. TRF7970A_PROTOCOLO.VI, 2009.
18. Texas Instruments. TRF7970A_VERSION, 2009.

Consultas en páginas web

19. CONTAGIOUS MAGAZINE. Guinness' long-standing association with rugby now comes with technology. 28 January 2010. En: http://www.contagiousmagazine.com/2010/01/guinness_7.php
Recuperado: 14 DE MARZO DE 2013
20. Pontificia Universidad Javeriana sede Cali, Laboratorio de Logística y Mercadeo. Disponible en: <http://www.javerianacali.edu.co/laboratorios/laboratorio-de-logistica-y-mercadeo>
Recuperado: 25 de Agosto de 2013.
21. Pontificia Universidad Javeriana. Centro Tecnológico de Automatización (CTAI). En: http://portal.javeriana.edu.co/portal/page/portal/Facultad%20de%20Ingenieria/dpto_indust_laboratorios_ctai
Recuperado: 20 de Marzo de 2013.

22. Foro de comunidad engineer to engineer de Texas instruments. Pregunta realizada para conectar TRF7970AEVM a Labview. Disponible en:

http://e2e.ti.com/support/low_power_rf/f/667/p/285765/998702.aspx#998702

Recuperado: 21 de agosto de 2013.

Presentaciones de Clase

23. Integración de procesos con tecnología Informática (TI). 2013. Ing. Luisa Fernanda Muñoz. Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ingeniería.

12. Anexos

ANEXOS GUARDADOS EN CD

- Anexo 1: Guía Del usuario de TRF7960A Evaluation Module (Lector RFID).
- Anexo 2: Ficha técnica de Mini Rectangle Inlays RI-I03-112 (etiquetas RFID).
- Anexo 3: Guía de laboratorio para uso de panel de control del sistema RFID.
- Anexo 4: Formato encuestas realizadas.
- Anexo 5: Comandos Host para etiquetas ISO 15693 de Texas instruments.
- Anexo 6: VÍ's y sub VÍ's del panel de control para TRF7970AEVM.
- Anexo 7: Archivo de Excel con cálculos para Diseño de experimentos, tabulación de encuestas, análisis de costo beneficio y costo de propuesta.
- Anexo 8: Base de datos de Microsoft Access.
- Anexo 9: Instalador de driver USB to UART bridge VCP.
- Anexo 10: Cotización equipos para propuesta de sistema RFID por parte de Plintec Ltda.
- Anexo 11: Cotización de equipos para propuesta sistema RFID por parte de Kimbaya Solutions.
- Anexo 12: Cotización de equipos para propuesta sistema RFID por parte de HTK RFID.
- Anexo 13: Archivos de Spss tanto de datos como de resultados.

ANEXO 2

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES
(Licencia de uso)

Bogotá, D.C., 4/12/2013

Señores
Biblioteca Alfonso Borrero Cabal S.J.
Pontificia Universidad Javeriana
Cuidad

Los suscritos: Alejandro Arango, con C.C. No 1020727485
_____, con C.C. No _____
_____, con C.C. No _____

En mi (nuestra) calidad de autor (es) exclusivo (s) de la obra titulada:
Implementación de un sistema RFID (radio frequency identification) para la identificación de
productos y sus características, en el proceso de Manufactura Flexible del Centro Tecnológico de
Automatización Industrial (CTAI) de la Facultad de Ingeniería Industrial en la Pontificia
Universidad Javeriana de Bogotá.

(por favor señale con una "x" las opciones que apliquen)
 Trabajo de grado Premio o distinción: Sí No

cual: _____
presentado y aprobado en el año 2013, por medio del presente escrito autorizo
a la Pontificia Universidad Javeriana para que, en desarrollo de la presente licencia de uso
parcial, pueda ejercer sobre mi (nuestra) obra las atribuciones que se indican a continuación,
teniendo en cuenta que en cualquier caso, la finalidad perseguida será facilitar, difundir y
promover el aprendizaje, la enseñanza y la investigación.

En consecuencia, las atribuciones de usos temporales y parciales que por virtud de la presente
licencia se autorizan a la Pontificia Universidad Javeriana, a los usuarios de la Biblioteca Alfonso
Borrero Cabal S.J., así como a los usuarios de las redes, bases de datos y demás sitios web con los
que la Universidad tenga perfeccionado un convenio, son:

AUTORIZO (AUTORIZAMOS)	SI	NO
1. La conservación de los ejemplares necesarios en la sala de tesis y trabajos de grado de la Biblioteca.	X	
2. La consulta física (sólo en las instalaciones de la Biblioteca)	X	
3. La consulta electrónica - on line (a través del catálogo Biblos y el Repositorio Institucional)	X	
4. La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer	X	
5. La comunicación pública por cualquier procedimiento o medio físico o electrónico, así como su puesta a disposición en Internet	X	
6. La inclusión en bases de datos y en sitios web sean éstos onerosos o gratuitos, existiendo con ellos previo convenio perfeccionado con la Pontificia Universidad Javeriana para efectos de satisfacer los fines previstos. En este evento, tales sitios y sus usuarios tendrán las mismas facultades que las aquí concedidas con las mismas limitaciones y condiciones	X	

De acuerdo con la naturaleza del uso concedido, la presente licencia parcial se otorga a título gratuito por el máximo tiempo legal colombiano, con el propósito de que en dicho lapso mi (nuestra) obra sea explotada en las condiciones aquí estipuladas y para los fines indicados,
PUJ- BG Normas para la entrega de Tesis y Trabajos de grado a la Biblioteca General - Junio de 2013 1

ANEXO 3
BIBLIOTECA ALFONSO BORRERO CABAL, S.J.
DESCRIPCIÓN DE LA TESIS O DEL TRABAJO DE GRADO
FORMULARIO

TÍTULO COMPLETO DE LA TESIS DOCTORAL O TRABAJO DE GRADO						
Implementación de un Sistema RFID (radio frequency identification) para la identificación de los productos y sus características, en el Proceso de Manufactura Flexible en el Centro Tecnológico de Automatización Industrial (CTAI) de la Facultad de Ingeniería Industrial en Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá.						
SUBTÍTULO, SI LO TIENE						
AUTOR O AUTORES						
Apellidos Completos			Nombres Completos			
ARANGO MURGUEITIO			ALEJANDRO			
DIRECTOR (ES) TESIS O DEL TRABAJO DE GRADO						
Apellidos Completos			Nombres Completos			
MORENO VARCALCEL			MANUEL ALBERTO			
FACULTAD						
Ingeniería						
PROGRAMA ACADÉMICO						
Tipo de programa (seleccione con "x")						
Pregrado	Especialización	Maestría	Doctorado			
x						
Nombre del programa académico						
Ingeniería Industrial						
Nombres y apellidos del director del programa académico						
Carlos Muñoz Rodríguez						
TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:						
Ingeniero Industrial						
PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o tener una mención especial):						
CIUDAD		AÑO DE PRESENTACIÓN DE LA TESIS O DEL TRABAJO DE GRADO			NÚMERO DE PÁGINAS	
Bogotá		2013			98	
TIPO DE ILUSTRACIONES (seleccione con "x")						
Dibujos	Pinturas	Tablas, gráficos y diagramas	Planos	Mapas	Fotografías	Partituras
		X			X	
SOFTWARE REQUERIDO O ESPECIALIZADO PARA LA LECTURA DEL DOCUMENTO						
Nota: En caso de que el software (programa especializado requerido) no se encuentre licenciado por la Universidad a través de la Biblioteca (previa consulta al estudiante), el texto de la Tesis o Trabajo de Grado quedará solamente en formato PDF.						
NO						

MATERIAL ACOMPAÑANTE					
TIPO	DURACIÓN (minutos)	CANTIDAD	FORMATO		
			CD	DVD	Otro ¿Cuál?
Vídeo					
Audio					
Multimedia					
Producción electrónica					
Otro Cuál?					
DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVE EN ESPAÑOL E INGLÉS					
Son los términos que definen los temas que identifican el contenido. (En caso de duda para designar estos descriptores, se recomienda consultar con la Sección de Desarrollo de Colecciones de la Biblioteca Alfonso Borrero Cabal S.J en el correo biblioteca@javeriana.edu.co , donde se les orientará).					
ESPAÑOL			INGLÉS		
Centro Tecnológico de Automatización Industrial (CTAI)			Industrial Automation Technology Center (CTAI)		
Identificación por radio frecuencia			Radio frequency identification (RFID)		
Etiquetas			Tags		
TRF7970AEVM			TRF7970AEVM		
Labview			Labview		
RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS (Máximo 250 palabras - 1530 caracteres)					
<p>Con la ayuda de un Kit de evaluación de tecnología RFID (identificación por radio frecuencia) y el programa Labview se realizó una interface para la identificación de productos y sus características del sistema de manufactura flexible del CTAI de la Pontificia Universidad Javeriana de Bogota. En este trabajo se utilizó el diseño de experimentos para determinar la posición adecuada del lector y la etiqueta para ser ubicada en la banda transportadora del sistema, se realizó una actualización del inventario por medio de la interface creada, se realizaron pruebas de lectura y escritura con productos en la banda transportadora, y se creó una Guía de laboratorio para el uso del sistema RFID.</p> <p>Using a RFID evaluation module and Labview, a software application was created for the identification of products and it's characteristics inside the FMS (Flexible manufacture System) of the CTAI in the Javeriana University of Bogota. An experiment design was used to determine the right position of the reader and the tags to be set in the conveyor of the system, the inventory was updated with the application created, some tests were settled for the reading and writing of products on the conveyor, and a lab guide was created for the use of the RFID system.</p>					