

Prototipo para el control y ubicación de artículos en inventarios por medio de un carro grúa y RFID

Prototipe for the handling of stocks based on a forklift and RFID

Edwin Villarreal López¹, Daniel Alejandro Arango², David Leonardo Moreno³

¹Magíster en Automatización Industrial, Docente Investigador, Universidad Manuela Beltrán,
Líder del grupo de Investigación en aplicabilidad tecnológica GIAT-UMB.

Email: edwin.villarreal@docentes.umb.edu.co.

²Magíster en Ingeniería Electrónica, Docente Investigador, Universidad Manuela Beltrán,
Miembro del grupo de Investigación en aplicabilidad tecnológica GIAT-UMB.

³Ingeniero Electrónico, Universidad Manuela Beltrán

Recibido 02/08/11, Aceptado 30/06/2012

RESUMEN

El artículo presenta el diseño y desarrollo de un prototipo de robot autónomo para la gestión de inventarios en una bodega a partir de identificación por radiofrecuencia (RFID). Dada la complejidad que representa para distintos almacenes y fábricas el manejo y la localización de productos en bodegas de almacenamiento se creó un prototipo automatizado capaz de identificar y manipular los distintos productos almacenados y actualizar en tiempo real la descripción del inventario. El prototipo emulando a un montacargas es capaz de ejecutar las tareas de gestión de forma autónoma, transportando cargas no mayores a una libra, en una pista donde este toma decisiones de ruta siguiendo una línea negra con bifurcaciones. Utilizando tecnología RFID el montacargas es capaz de leer y escribir datos sobre los productos en una etiqueta para luego descargar los mismos en un pc a través de un software de control de inventarios. La experimentación evidenció la utilidad de la identificación por radiofrecuencia para realizar la marcación segura de los productos dada su flexibilidad y bajo costo y permitió verificar la conveniencia de la navegación mediante el seguimiento de líneas en ambientes estructurados.

Palabras clave: Manejo de inventarios, RFID, Seguidor de línea, Montacargas autónomo

ABSTRACT

This paper presents the development of an autonomous robot for stock handling in warehouses using radiofrequency identification (RFID). Because of the complexity of handling inventories and locating products in large warehousing areas, it was developed a prototype of an autonomous robot for the identification and handling of products and inventory real time updates. The prototype emulates a forklift and is capable of performing autonomous tasks that demand an inventory, carrying loads over a pound on a marked track following a black line with bifurcations. Using RFID technology the forklift is able to read and write data on the products in a label ant then to download this information on a pc through an inventory control software. The experiments showed the convenience of RFID technology for safe product marking because of its flexibility and low cost and the usefulness of line following navigation in structured environments.

Keywords: Stocks handling, RFID, line follower, Autonomous forklift.

1. INTRODUCCIÓN

Teniendo en cuenta que en Colombia se ha incrementado de manera notoria las grandes superficies o bodegas en las diferentes zonas francas del país, donde llega una gran variedad de productos de diferentes partes del mundo, y para el óptimo funcionamiento de estos lugares se requieren realizar tareas de vital importancia como la toma de inventario de la mercancía y tener conocimiento de la ubicación de ésta dentro de la bodega.

Por esta razón el uso de nuevas tecnologías se hace indispensable para el desarrollo de tareas monótonas y peligrosas dentro del proceso que se adelanta en la realización de inventarios o ubicación de los productos en una bodega. Este ha sido un activo campo de investigación, tal y como se evidencia en [1], [2], [3].

Actualmente las grandes superficies y bodegas trabajan con el código de barras para la identificación de sus productos almacenados, esto tiene en su contra la larga duración al hacer los inventarios que en su mayoría son realizados manualmente, lo que puede llevar a errores de tipo humano en la cantidad de artículos y su ubicación exacta.

La evolución que ha presentado la tecnología RFID ha sido en curva ascendente, ya que desde la segunda guerra mundial cuando recién salía el radar se empezaron a identificar los aviones aliados o enemigos de acuerdo a la frecuencia emitida al realizar un giro, pasando a ser utilizada en el control de animales y vehículos, hasta nuestros días cuando tenemos etiquetas de segunda generación para identificación, representando significativamente un ahorro de dinero y tiempo [4], hecho que ha sido explotado en múltiples aplicaciones de esta tecnología en el manejo de inventarios. [5], [6], [7]

En relación con lo anterior es necesario contar con un innovador elemento para realizar estas tareas, es así como se plantea un montacargas autónomo con tecnología RFID, este es un prototipo diseñado para la lectura eficiente de los tag y para el transporte de la mercancía dentro de las bodegas de los almacenes, lo cual representa para estas una disminución notable de los costos económicos en la toma de inventarios iniciales o finales y el ahorro del tiempo en su ejecución, mejorando los indicadores y niveles de seguridad respecto al traslado de las mercancías.

Se destaca de este prototipo su autonomía en el funcionamiento y desplazamiento, ya que con una serie de instrucciones digitadas por un operario, el prototipo realiza el recorrido total de la bodega y regresa al punto de partida donde el operario puede observar mediante una interfaz gráfica lo que se encuentra en cada puesto de la bodega, así mismo el operario está en la capacidad de ordenarle al prototipo que le sea traída las cargas que se necesitan, es importante resaltar que el carro grúa puede desplazarse

por zonas consideradas de riesgo sin poner en peligro la vida de personas durante el transporte de mercancía. [8]

Las aplicaciones de RFID en procesos de automatización son muy amplias, encontrando un gran campo de acción en los sistemas bibliotecarios, que van desde software para la administración de bibliotecas académicas [9], en el que se desarrolló de una aplicación fácil de usar, que permite una gestión totalmente automática de la biblioteca, hasta el uso de sistemas robóticos inteligentes para sacar y devolver libros, sin pasar por un bibliotecario humano [10]. Otro campo es la administración de personal, como se muestra en [11], donde se trabajó en el desarrollo de un sistema integral que puede ayudar en la automatización de la administración de los estudiantes en una institución. En el campo de la medicina, se han realizado implementaciones de sistemas que utilizan etiquetas RFID adheridas a los recipientes que contienen las muestras recogidas del paciente, para la correcta identificación de la persona que entregó las muestras [12].

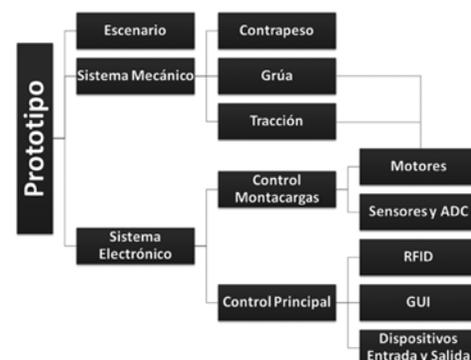
Actualmente, múltiples empresas en el medio local utilizan la tecnología RFID para la gestión de sus inventarios, aunque la mercancía sigue siendo manipulada de forma manual por operarios de montacargas.

Mediante la integración de estas dos ideas surge el prototipo, que logra automatizar un proceso que se convertía en un verdadero dolor de cabeza para los administradores de estos centros de almacenamiento, sin tener que incurrir en grandes gastos y contando con veracidad en la información obtenida.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El prototipo de carro grúa o montacargas para el control y ubicación es un vehículo seguidor de línea, encargado de ejecutar diversas tareas para el control de inventarios, además posee un kit RFID acoplado en las horquillas del montacargas, el cual lee o escribe sobre la mercancía diferentes tipos de información. La figura siguiente presenta el diagrama de los bloques que componen el prototipo.

Figura 1 Diagrama de bloques
Figure 1 Block diagram

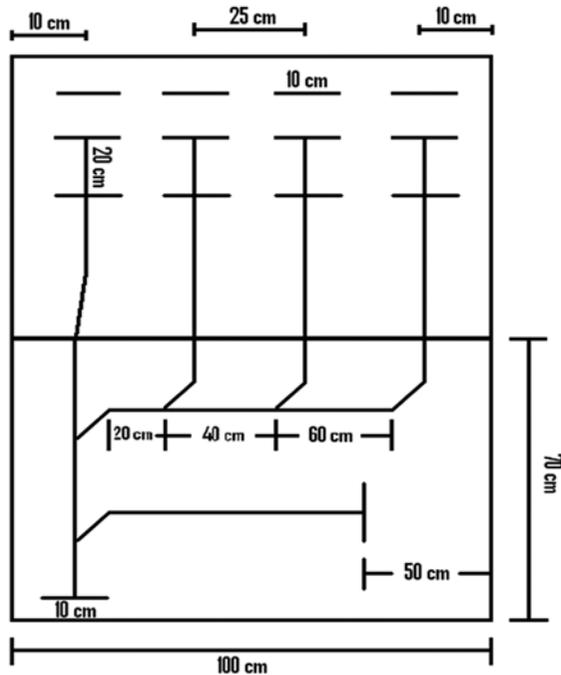


2.1 Ambiente de simulación

El escenario que se planteó tiene como función recrear el ejercicio de una bodega a escala pequeña, con todas las tareas necesarias para un óptimo control de entrada y salida de mercancías.

La siguiente imagen ilustra las dimensiones de la pista diseñada:

Figura 2. Ambiente de simulación
Figure 2. Simulation environment



El stand para proporcionar el soporte a las cargas recreadas en un segundo nivel se diseñó de acuerdo a la altura máxima de las horquillas del prototipo, además se tuvo en cuenta la altura del lector RFID para no interferir en la operación de retiro de cargas en el primer nivel.

En cuanto a las estibas que soportan la mercancía, se tuvo en cuenta que ellas brindan soporte al módulo de RFID, por lo cual se dividió en dos zonas, la zona de lectura o RFID y la zona de carga.

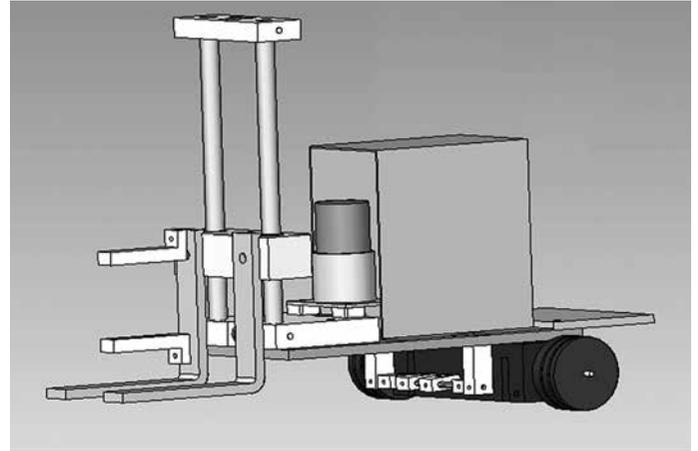
La zona de lectura es donde el lector ocupara espacio para realizar la identificación de la carga presente en la estiba y la zona de carga es la base de apoyo donde reposa la mercancía.

2.2 SISTEMA MECÁNICO

El sistema mecánico está modelado con el programa Solid Edge, con materiales ligeros como plástico, nailon de pro-

pósito general y en las piezas donde más se ejerce fuerza como en el mástil se usaron elementos metálicos, además todas las partes se ajustaron a la estructura principal por tornillos bristol, se puede apreciar el modelo final en la siguiente figura:

Figura 3. Modelo virtual del montacargas
Figure 3. Virtual model of the forklift



2.2.1 Grúa

La estructura del mástil como se muestra en la siguiente figura, se elaboró con dos barras paralelas de acero unidas por dos piezas de nailon propósito general, una de éstas a su vez soporta el sistema del motor encargado de subir y bajar la carga. También se utilizaron dos rodamientos lineales para reducir la fricción entre la base de las horquillas y las dos barras paralelas del mástil del montacargas.

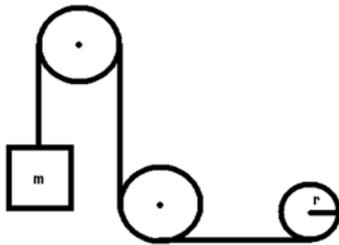
Figura 4. Mástil Montacargas
Figure 4. Forklift mast



El mecanismo de elevación o grúa que usa el prototipo consta de dos poleas fijas simples que para modelarlo se consideraron ideales sin fricción y masa, las cuales simplemente proporcionan un cambio de dirección de la fuerza aplicada por el motor.

Este sistema se representa por la figura 8, tomando datos del radio de la polea motriz de 4mm y la carga máxima permitida para levantar de 0.5Kg, cabe resaltar que el mecanismo debe incluir el peso de las horquillas y de la pieza que fija esta al prototipo, representando su valor total en la ecuación (1).

Figura 5. Mecanismo Grúa Elevadora
Figure 5. Forklift Mechanism



$$m_{total} = 0.5 \text{ Kg} + 0.162 \text{ Kg} + 2 \times 0.136 \text{ Kg}$$

$$m_{total} = 0.934 \text{ Kg} \quad (1)$$

De acuerdo con los resultados obtenidos anteriormente, el par del motor de la grúa elevadora está dado por la ecuación 2.

$$T = 0.934 \text{ Kg} \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0.004 \text{ m} \quad (2)$$

$$T = 0.0366 \text{ Nm o } 36.61 \text{ mNm}$$

Por razones de disponibilidad en el mercado nacional y para tener una óptima velocidad se escoge un motor que ofrece un par máximo de 2Nm y una velocidad de salida de 20rpm fundamentales en el trabajo del prototipo.

Para hallar la velocidad de transporte o elevación V_t , se tuvieron en cuenta datos como la velocidad de salida V_s en rpm del motor y el diámetro D de la polea motriz para así tener una velocidad adecuada (observar ecuación 3):

$$V_t = \frac{V_s \times \pi \times D}{60} \quad (3)$$

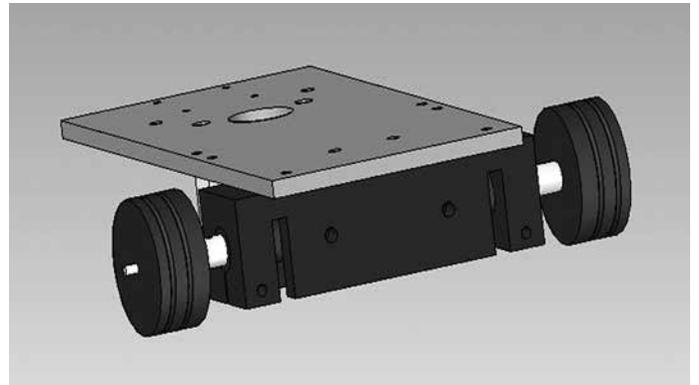
$$V_t = \frac{20 \text{ rpm} \times \pi \times 0.008 \text{ m}}{60}$$

$$V_t = 8.37 \times 10^{-3} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

2.2.2 Tracción y soporte

Esta parte del sistema mecánico como se aprecia en la siguiente figura, es el encargado de darle movimiento al montacargas por medio de dos moto reductores, a su vez tiene la función de integrar todas las partes del sistema mecánico y dar un soporte rígido a los componentes electrónicos de control.

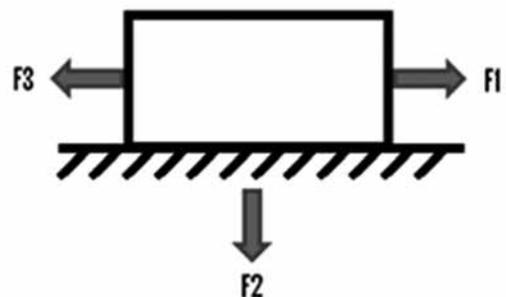
Figura 6. Estructura de Tracción y Soporte
Figure 6. Traction and mounting structure



El movimiento que realiza el prototipo ya que es un seguidor de línea se produce cuando los sensores leen en blanco y el control actúa sobre los motores. El problema más recurrente se presenta cuando éste toma una curva o cuando se está ajustando su trayectoria, ya que un solo motor debe tener la capacidad de iniciar movimiento con la carga y vencer la inercia del prototipo.

Para analizar las fuerzas que intervienen en el montacargas al iniciar un movimiento, se plantea la siguiente imagen:

Figura 7. Fuerzas Tracción
Figure 7. Traction forces



Observando la figura anterior, al ser un cuerpo rígido se ve afectado por la gravedad F_2 y al iniciar un movimiento el cuerpo ejerce una oposición F_3 directamente proporcional a la aceleración de la fuerza ejercida por el motor F_1 .

Teniendo en cuenta una velocidad de 1cm/s, se puede determinar la aceleración mediante la ecuación 4, con un tiempo no mayor a 0.5s para llegar a velocidad constante:

$$a = \frac{\Delta vel}{\Delta t} \quad (4)$$

$$= \frac{Vf - Vi}{tf - ti} = \frac{0.01 \frac{m}{s} - 0 \frac{m}{s}}{0.5s - 0s} = 0.02 \frac{m}{s^2}$$

Pero al ser un movimiento de una rueda, se ve también afectado como se aprecia en la siguiente figura por un coeficiente de fricción Fr, que junto con la normal crean una fuerza en sentido contrario a F1.

Figura 8. Rozamiento
Figure 8. Friction



Para tener el sistema en equilibrio y establecer F1 (ver Figura 8), la sumatoria de fuerzas respecto al eje horizontal debe ser igual a cero, (observar el desarrollo de la ecuación 5).

$$\sum Fx = 0 \quad (5)$$

$$F3 + Fr - F1 = 0$$

$$(m \times a) + (m \times g \times \mu) - F1 = 0$$

$$F1 = (m \times a) + (m \times g \times \mu)$$

$$F1 = (3.635 \times 0.02 \frac{m}{s^2}) + (1.817 \times 9,8 \frac{m}{s^2} \times 0.6)$$

$$F1 = 10.756 N$$

La masa empleada para la inercia de 3.635Kg, que es la masa del montacargas con batería y carga máxima permitida, además el coeficiente de rozamiento μ de acuerdo a las superficies de 0.6. Además se considera que el montacargas es simétrico, por lo tanto el peso de éste se divide en cada rueda siendo de 1.817Kg para efectos de rozamiento.

Ya que el motor debe ejercer más de 10.756 newton fuerza para moverse, este dato debe relacionarse con el brazo o radio de la rueda del prototipo, en la cual se ejercerá dicha fuerza para establecer el par como lo presenta la ecuación 6.

$$T = F1 \times r \quad (6)$$

$$T = 11 N \times 0.0225m$$

$$T = 0.247 Nm \text{ o } 247 mNm$$

Con este valor se escoge el motor ESCAP 210E, que proporciona un par máximo de 300mNm, dejando un margen del 18% para no sobre esforzar los motores.

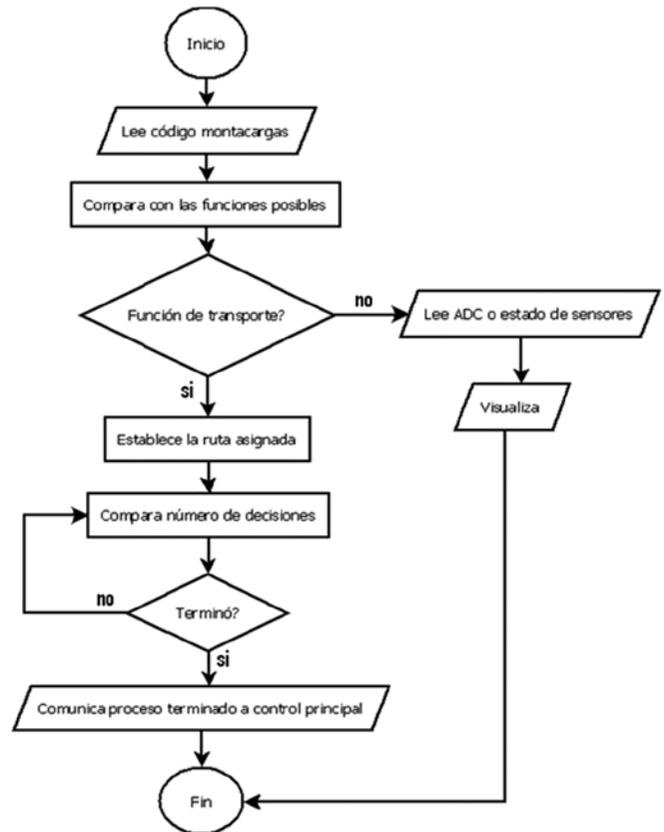
2.3 SISTEMA ELECTRÓNICO

Este sistema tiene como función principal administrar las tareas que ejecuta el montacargas, estableciendo una comunicación directa con un usuario u operario y llevando a cabo los procesos de retiro e ingreso a voluntad de éste. La funcionalidad del sistema ha sido probada mediante [13].

2.3.1 Control Montacargas

El control del montacargas está dado por 19 funciones que el control principal se encarga de designarle al vehículo, estas funciones se dividen en tomar y llevar cargas en las diferentes locaciones de la pista, hacer un recorrido parcial de la pista para leer vía RF y dos posiciones de inactivo. La siguiente imagen presenta el flujo de decisión del programa implementado.

Figura 9. Diagrama de flujo
Figure 9. Flow Diagram



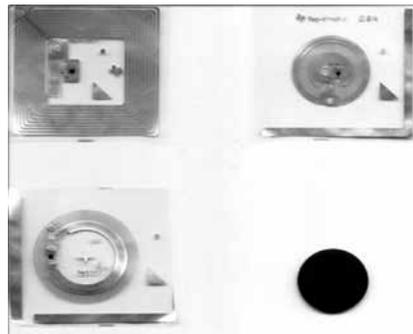
2.3.2 RFID

El kit RFID DTR10 [14] que se acopla al montacargas, es un dispositivo RF capaz de leer y escribir sobre etiquetas a una frecuencia de 13.56 MHz, enviar datos de forma ASK y recibir datos de la etiqueta en FSK. Para controlar todas las funciones de este dispositivo se debe usar una comunicación serial que por defecto para esta aplicación es de 9600bps.

Los tag utilizados con este prototipo deben tener en cuenta varios factores como distancia, frecuencia y modo de operación; teniendo en cuenta estos parámetros los tag usados corresponden a etiquetas pasivas de 13.56MHz, con ISO 15693 anticollisión, que envían datos al lector en FSK. Siempre deben estar de forma paralela al lector y en la zona de carga de las estibas.

La distancia de lectura o escritura máxima para el escenario recreado es de 2cm debido al diseño de las estibas, esta distancia asegura una correcta manipulación de los tag. Los tag usados se pueden apreciar en la siguiente figura:

Figura 10. Etiquetas RFID Módulo DTR10
Figure 10. RFID labels Module DTR10



El módulo DTR10 usa un protocolo que envía y recibe paquetes o tramas de información. Consta de paquetes de pregunta y respuesta que contienen información con controles para validar los datos transmitidos.

Los paquetes de pregunta y respuesta son muy parecidos, están compuestos por 7 partes, cada parte contiene una función en específico como se aprecia en las tablas 1 y 2:

Tabla 1. Paquete Pregunta DTR10
Table 1. Question Pack DTR10

Formato del Paquete Estándar de Pregunta						
Inicio SOF	Longitud del paquete	Dirección de nodo	Banderas de pregunta	Comando	Datos	Sumatoria BCC
1 byte	2 byte	2 byte	byte	1 byte	variable	2 byte

Tabla 2. Paquete Respuesta DTR10
Table 2. Response Packet DTR10

Formato del Paquete Estándar de Respuesta						
Inicio SOF	Longitud del paquete	Dirección de nodo	Banderas de respuesta	Comando	Datos	Sumatoria BCC
1 byte	2 byte	2 byte	byte	1 byte	1 - 23 Byte	2 byte

Inicio SOF (START OF FRAME): Inicio de la trama, siempre se envía el número 02h en hexadecimal, indicando que la transmisión empieza, tanto en paquetes de pregunta como respuesta.

Longitud del paquete: Este dato como máximo de 2 bytes, contiene la longitud del paquete incluyendo el SOF.

Dirección de nodo: Compuesto por dos bytes, indican direcciones en comunicaciones RS485, ya que el montacargas utiliza RS232 este dato siempre estará en 00h en hexadecimal.

Banderas de comando: Estas banderas controlan las acciones específicas y solo ocupan 1 byte, si es el paquete de pregunta, estas banderas controlarán el Tipo de modulación para el enlace RF, Rata de datos, Nivel de modulación ASK (de 10 a 30% ó 100%) del lector al TAG y Dirección única del TAG.

Si está en el paquete de respuesta, estas indican las acciones del lector, el cuarto bit de esta bandera es el más usado, ya que indica si hubo error o no en la comunicación RF.

Comando: Esta sección en un paquete de pregunta consta de un byte, el cual asigna funciones a realizar por el lector o dispositivo, tales como escribir un TAG, leer o leer múltiples bloques, configurar rata de baudios, encender o apagar la portadora o preguntar por el serial del lector. Para los paquetes de respuesta junto con las banderas de comando, especifica la acción realizada por el dispositivo.

Datos: En este espacio, se definen los datos y parámetros para realizar funciones, si se desea escribir sobre un TAG, este espacio ira con la información para escribirlo, si se modificara alguna característica como rata de baudios, este deberá llevar la nueva rata para establecerla.

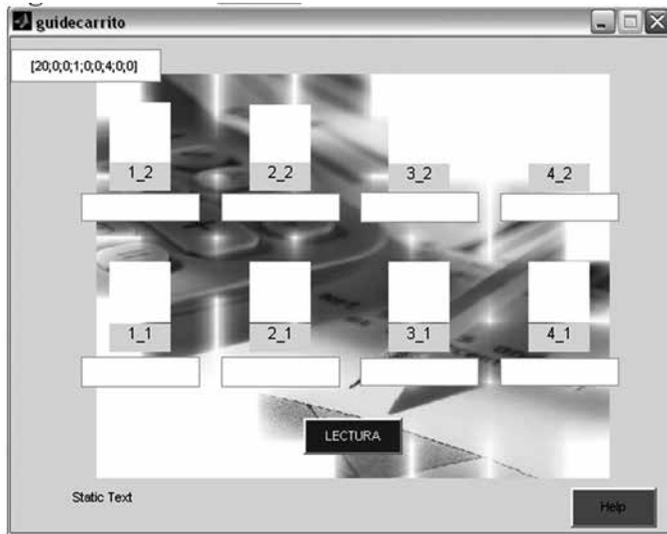
Si es de un paquete de respuesta, este espacio va a contener información como lectura de TAGS, ya que contiene los datos o parámetros de los comandos ya procesados.

Sumatoria BCC: Esta última parte de la trama para transmitir, es de dos bytes, los cuales están encargados de validar los datos una vez recibidos; es un chequeo de redundancia longitudinal, que es una operación de una o lógica exclusiva de todos los bytes del paquete.

2.4 INTERFAZ GRÁFICA

La interfaz gráfica o GUI elaborada en Matlab, tiene como función mostrar claramente al operario del prototipo del montacargas el estado del escenario en cuanto a mercancías, la interfaz vista por el usuario se puede apreciar en la siguiente imagen:

Figura. 11 GUI en Matlab
Figure. 11 GUI in Matlab



Cada vez que el montacargas realiza una tarea de ingresar, retirar o leer las cargas, se puede descargar la información de ésta para visualizarla en el GUI, teniendo cuadros numerados con cada posición del escenario y exponiendo que mercancía se tiene.

El programa funciona a través de comunicación serial por el puerto COM1 de cualquier computador, con una velocidad de transmisión a 9600 bits por segundo. Los datos enviados del prototipo al PC son una trama de 9 bytes, donde el primer byte revela la información de las cargas existentes y los 8 restantes contienen la información de cuál es la mercancía existente.

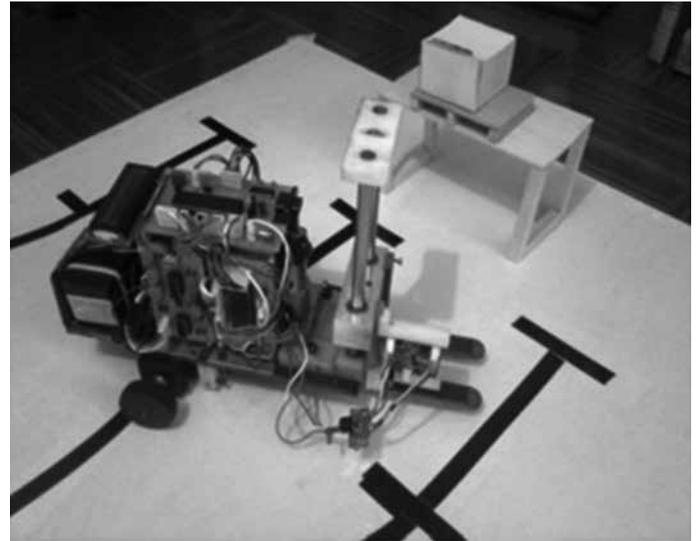
3. RESULTADOS

3.1 Diseño experimental

Se diseñó un conjunto de pruebas para analizar el comportamiento del prototipo, ejecutando 20 veces las funciones de transporte de mercancías y evaluando la comunicación con el computador y el usuario, otorgando condiciones iniciales de horquillas con altura respecto al suelo de 5mm, y una carga de batería [15] de 100% hasta que el indicador pulsando la tecla 0 dijera baja.

La importancia de estas pruebas radica en medir la capacidad del prototipo final (Figura 16) para realizar todas las funciones de éste, transportando la mercancía y realizando la lectura de las cargas y a su vez tomando el tiempo que transcurre para que él realice la función.

Figura 12. Prototipo Final
Figure 12. Final Prototype



3.2 Retirar una carga específica

Luego de observar las cargas que se encuentran en la bodega, el usuario ordena al montacargas retirar una carga en particular presentando una eficiencia de 92% en finalizar la instrucción partida, con un promedio de ejecución de 156.92 segundos.

Las siguientes gráficas resumen los datos recolectados, teniendo en cuenta que cada ejecución en el que el prototipo falló, la toma de tiempo es igual a cero, generando picos hacia abajo:

Figura 13. Retiro de Cargas 1-1 a 2-2
Figure 13. Taking Loads 1-1 to 2-2

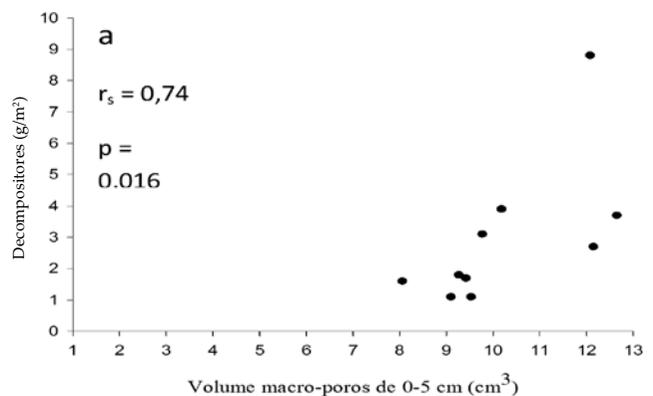
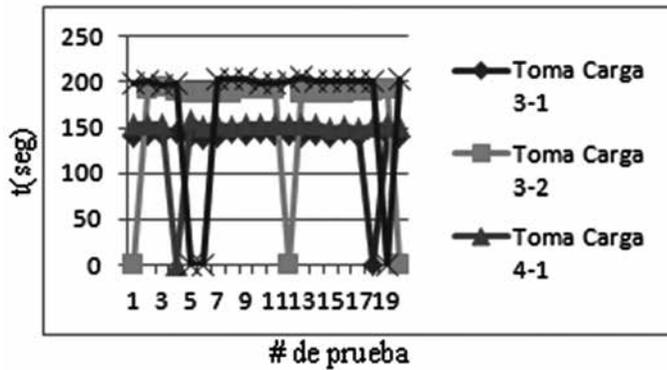


Figura 14. Retiro de Cargas 3-1 a 4-2
Figure 14. Taking Loads 3-1 to 4-2



3.3 Ingreso de una carga

En este caso llega una nueva carga, para ser ingresada en la bodega, para este caso el operario programa el tag según la carga e ingresa la instrucción al montacargas de colocarla en el lugar apropiado.

Siguiendo en la recolección de datos se dispone de las siguientes gráficas, teniendo en cuenta que se tuvo un correcto desempeño del 94% y un promedio de ejecución en ingresar cargas de 164.45 segundos.

Figura 15. Ingreso de Cargas 1-1 a 2-2
Figure 15. Input of Loads 1-1 to 2-2

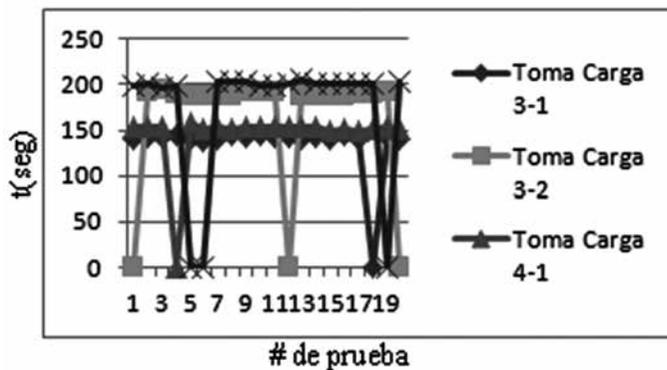
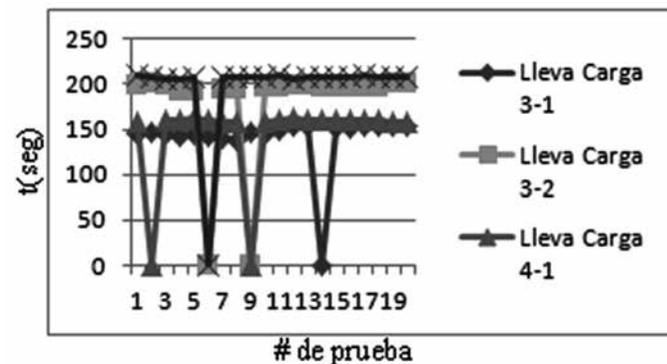


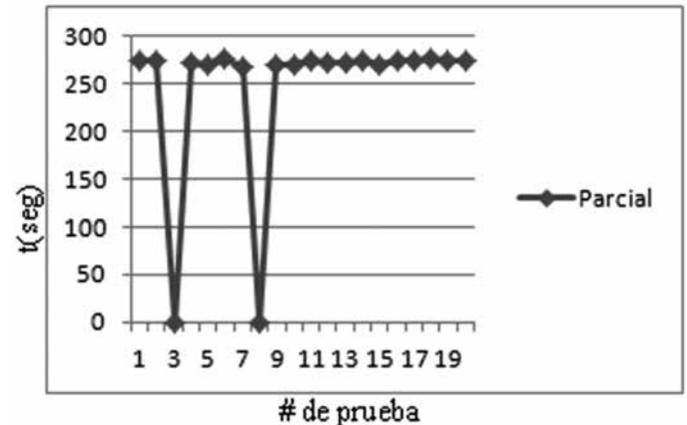
Figura 16. Ingreso de Cargas 3-1 a 4-2
Figure 16. Input of Loads 3-1 to 4-2



3.4 Recorrido parcial de la pista

Se da la instrucción de hacer el recorrido parcial de la pista al prototipo identificando que se encuentran en las cargas 4-1, 3-1, 2-2 y 1-2, presentando un 90% de efectividad en el recorrido y lectura de cada producto con un promedio de 273.16 segundos, la siguiente gráfica representa los datos obtenidos en esta prueba:

Figura 17. Recorrido Parcial
Figure 17. Partial path



4. DISCUSIÓN

Este prototipo surgió de la mezcla de tecnologías existentes y la necesidad que se presentaba actualmente en las grandes superficies con la organización de sus productos. De acuerdo a los resultados de las pruebas, el prototipo cumple con su función principal de recrear el control y ubicación de artículos dentro de un escenario.

Durante las pruebas de ingreso y retiro de cargas, el prototipo montacargas no presenta gran velocidad, lo cual es compensado con la precisión que tiene en el ingreso y retiro de las mismas, evidenciando una efectividad promedio del 95% en el desarrollo de estas tareas; una de las causas de los errores presentados es el nivel de carga de la batería, hay que tener en cuenta que ésta alimenta cada uno de los módulos que componen el diseño. Cuando la batería presenta un buen nivel de carga las pruebas fueron exitosas.

Durante el recorrido total de la pista presentó una eficacia del 90%, producto de errores como el mencionado anteriormente de la batería y además en la lectura de los sensores ópticos sobre la pista, con lo cual se afectó el recorrido y la secuencia en la lectura.

La idea del programa o GUI, se hace presente en el momento en que se identifican las cargas, pero no es claro entender la posición ni el contenido de las mismas, por lo que

se desarrolla un Guide en Matlab, donde el usuario final puede identificar gráficamente dentro de la bodega cuales stands se encuentran ocupados y con qué producto, en las pruebas realizadas se observó que su funcionamiento es correcto, los posibles errores en la lectura se presentan cuando el usuario no permite un tiempo de espera para sincronizar correctamente el Pc con el micro controlador mediante la interfaz RS232.

5. CONCLUSIONES

- El prototipo desarrollado cumple a cabalidad con las funciones requeridas en la labores de control y ubicación de mercancía dentro de una bodega.
 - La automatización de estos procesos permite economizar costos en cuanto a la manipulación de la mercancía y la contratación de personal adicional para labores repetitivas, de la misma forma abre campo dentro de la logística para la implementación de nuevas tecnologías.
 - Con la elaboración de los diagramas de bloque se logró el diseño y el control de la estructura final del montacargas de acuerdo a los requerimientos del proyecto y el propósito que este cumpliría, dando como resultado un diseño sencillo y a la vez útil.
 - Para este prototipo no es necesario implementar un contrapeso para transportar cargas máximas de 0.5Kg, ya que la misma masa del vehículo de acuerdo al punto de apoyo es suficiente para tener el sistema en equilibrio.
 - La eficiencia podría ser mejorada adecuando baterías para los diferentes módulos del prototipo y de esta forma el consumo sea dividido y no a través de una sola batería.
 - La carga máxima permitida para transportar es de 0.5Kg ya que la fuerza requerida de los motores de tracción para iniciar movimiento es de 247mNm, dando un margen del 18% para no exceder los valores máximos de los motores.
 - Los módulos de identificación por radiofrecuencia que incluyen antenas para lograr diversas distancias de lectura y escritura que se encuentran actualmente en el mercado, son fácilmente adaptables a este tipo de solución planteada, ya que pueden usar protocolos de comunicación industriales con un fácil manejo y bajo costo en su mantenimiento.
 - Para lograr la implementación del módulo de identificación por radiofrecuencia o RFID, se tomaron en cuenta características necesarias para el prototipo como dimensiones y la alimentación requerida, seguido por el tipo de comunicación serial con niveles TTL y la lectura de etiquetas en una frecuencia de operación a 13.56MHz.
- Se elaboraron estibas que contienen dos zonas, una zona de carga y una zona de lectura donde esta última recrea el espacio que ocupara el lector en el momento de leer o escribir información sobre el producto en la etiqueta RFID.
 - El escenario diseñado se puede implementar en las industrias que requieran un control óptimo de sus inventarios, adaptando la tecnología usada en sensores a un nivel industrial para dar mayor precisión

REFERENCIAS

- [1] Meek, R. B., Jones, T., Sethi, A., Hart, G., y Ganow, B., Inventory Management And Replenishment System, U.S. Patent Publication number: US 2004/0158507 A1 U.S. Classification: 705/28 International Classification: G06F017/60, 2004
- [2] Mountz, M. C., y Wurman, P. R., System and Method for Filling an Order, U.S. Patent Publication number: US 2008/0167884 A1 U.S. Classification: 705/29, 2007
- [3] Zimmerman, T. G., System and Method for Performing Inventory Using a Mobile Inventory Robot, U.S. Patent Publication number: US 2008/0077511 A1 U.S. Classification: 705/28, 2010
- [4] Dobkin, D., The RF in RFID: passive UHF RFID in practice, Newnes, Estados Unidos, 2008
- [5] Stern, M. y Bekritsky, B. J., Real-Time Automatic RFID Inventory Control System, U.S. Patent Publication number: US 2010/0156597 A1 U.S. Classification: 340/5.92, 2008
- [6] Oberle, R., RFID Inventory Monitor, U.S. Patent Publication number: 791602829 U.S. Classification: 340/572.1, 2008
- [7] Hause, C. B., Rothermel, S. J., Gregg, J. L., Rambosek, G. P., Yip, Y., Martin, R. C. y Battles, K. G., Traceable Rfid Enable Data Storage Device, U.S. Patent Publication number: US 2008/0061979 A1 U.S. Classification: 340/572.1, 2007
- [8] Ollero, A., Robótica manipuladores y robots móviles. Editorial Marcombo, España, 2001.
- [9] Fennani, A., Hamam, H., An Optimized RFID-Based Academic Library, Sensor Technologies and Applications, 2008. SENSORCOMM '08. Second International Conference on, 44 -48, 2008.
- [10] Yuan, H., Hong, A. C., Ang, M., Peng, G. S., Unmanned Library: An Intelligent Robotic Books Retrieval & Return System Utilizing Rfid Tags, Systems, Man and Cybernetics, 2002 IEEE International Conference on, 5-11, 2002.
- [11] Qaiser, A., Fatima, J. Khan, S. A., Automation of Time and Attendance using RFID Systems, Emerging Technologies, 2006. ICET '06. International Conference on, 60 -63, 2006.
- [12] Florentino, G., Paz de Araujo, C., Bezerra, H., Junior, H., Xavier, M., De Souza, V., Valentim, R., Morais, A., Guerreiro, A., Brandao, G., Hospital automation system RFID-based: Technology embedded in smart

- devices (cards, tags and bracelets), *Engineering in Medicine and Biology Society*, 2008. EMBS 2008. 30th Annual International Conference of the IEEE, 1455-1458, 2008
- [13] García, E., *Compilador C CCS y simulador Proteus para Microcontroladores Pic*, Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V., Mexico, 2008.
- [14] Ericel & Detec Ingenieria. (2009), *Lector DTR10 Guía de referencia* [on line], 1 (1), p. 1-55, Disponible desde <http://www.angelfire.com/co3/bog/pdf/Guia_de_Referencia_DTR10.pdf> [Acceso 10 de agosto de 2010].
- [15] Dahua. (2010), *Sealed Lead-Acid Batteries* [on line], 1 (1), p. 1-2, Disponible desde <<http://www.dahua-battery.com/pdf/38.pdf>> [Acceso 10 de agosto de 2010].