

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/278029276>

Memorias encuentro nacional de semilleros de investigación en ingeniería electrónica. Tendencias en Investigación de los semilleros de investigación en ingeniería electrónica

Conference Paper · May 2014

CITATIONS

0

READS

12,173

1 author:



[Diego Alexander Tibaduiza Burgos](#)

National University of Colombia

123 PUBLICATIONS 466 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Design and validation of an arm and leg exoskeleton for the rehabilitation of persons with partial disability in their limbs using the master-slave configuration (Stage I) (Universidad Santo Tomás – MEM Group) [View project](#)



Structural health monitoring [View project](#)

MEMORIAS ENCUESTRO NACIONAL DE SEMILLEROS DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA

TENDENCIAS EN INVESTIGACIÓN DE LOS SEMILLEROS DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA



¡30 años!

electronica.usta.edu.co



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

MEMORIAS ENCUENTRO NACIONAL DE SEMILLEROS DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA

*Tendencias en Investigación de
los Semilleros de Investigación en
Ingeniería Electrónica*

*Universidad Santo Tomás
Bogotá D.C., Colombia
Mayo 14 y 15 de 2014*

ISSN: 2422-4243





UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

MEMORIAS ENCUENTRO NACIONAL DE SEMILLEROS DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Memorias del Primer Encuentro Nacional de Semilleros de Investigación en Ingeniería Electrónica

Tendencias en investigación en los semilleros de investigación en Ingeniería Electrónica

Derechos reservados. Universidad Santo Tomás

Rector General: P. Carlos Mario Alzate Montes, O. P.
Vicerrector Académico General: P. Eduardo González Gil, O. P.
Vicerrector Administrativo General: P. Diego Serna Salazar, O. P.
Decano de División de Ingenierías: P. Pedro José Díaz Camacho, O. P.
Decana Facultad de Ingeniería Electrónica: Ing. Adriana Páez Pino,

Editores: Ing. Adriana Páez Pino
Ing. Diego Alexander Tibaduiza Burgos

Primera edición: Junio de 2014.

Universidad Santo Tomás - Facultad de Ingeniería Electrónica

Cra. 9 No. 51- 11, Bogotá-Colombia

electronica@usantotomas.edu.co

electronica.usta.edu.co

Diseño de arte gráfico: Juan Esteban Gallo

ISSN: 2422-4243

Se prohíbe la reproducción total o parcial de esta obra, por cualquier medio, sin la autorización expresa y por escrito del titular de los derechos.





UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Prefacio

La Universidad Santo Tomás y la facultad de Ingeniería Electrónica desarrolló en la Sede Principal en Bogotá, el Primer Encuentro Nacional de Semilleros de Investigación de Ingeniería Electrónica durante los días 14 y 15 de mayo del 2014, evento que sucedió dentro de la celebración de los 30 años de la Facultad de Ingeniería Electrónica de Bogotá y los 15 años del programa de Tunja. La organización del evento constituyó un reto, ya que esta contó con la participación de las dos sedes, lo cual se encuentra enmarcado dentro de la iniciativa USTA COLOMBIA.

Con este encuentro, se incrementó la visibilidad a nivel nacional de los trabajos desarrollados por los semilleros de investigación en ingeniería electrónica. Como resultado de este evento, se presenta este documento que recopila toda la actividad de estudiantes y trabajos que se presentan a la sociedad, que contribuyen a la consolidación de los semilleros de investigación, la interacción entre las facultades y que dan a conocer los intereses investigativos de los estudiantes en sus respectivas universidades. De esta manera, el evento buscaba fomentar la divulgación de resultados de la investigación formativa de los estudiantes, y brindar un espacio para la presentación de las actividades desarrolladas en sus semilleros, donde se les desarrolla la creatividad e innovación, ya que como todos sabemos, como ingenieros electrónicos somos los encargados del desarrollo tecnológico del futuro de nuestro país.

Para este primer encuentro se contó con la participación de 39 trabajos, de los cuales se presentaron 32 ponencias y 7 posters, los cuales se agruparon en las siguientes áreas:

- Sensores
- Procesamiento digital de señales, de imágenes y Telecomunicaciones
- Robótica y aplicaciones
- Automática y aplicaciones
- Energía
- Aplicaciones





UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Prefacio

En este volumen encontrará los trabajos correspondientes a la participación de las siguientes 15 instituciones del ámbito nacional:

- Universidad los Libertadores
- Universidad Autónoma
- Universidad Manuela Beltrán
- Universidad Tecnológica de Pereira
- Universidad INNCA
- Universidad San Buenaventura
- Universidad Javeriana
- Unidades Tecnológicas de Santander
- Unipanamericana
- UNAD
- UNIMINITO
- Instituto Tecnológico de Soledad Atlántico
- USTA Tunja, VUAD, y Bogotá
- Colegio Técnico José de San Martín
- Colegio Cambridge

Ing. Adriana Páez Pino
Decana Facultad de Ingeniería Electrónica,

Bogotá, Junio 03, 2014





UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Prefacio

Durante el evento de igual manera, se realizó la firma de un Acuerdo de Conformación Red de Semilleros de Investigación en Ingeniería Electrónica con el nombre SEMIELEC- REDIE, que se promovió desde la Red de Programas de Ingeniería Electrónica REDIE, con el fin de crear y consolidar los semilleros en el campo de la electrónica, incentivar la visibilidad a nivel nacional de la profesión, fomentar la investigación formativa de los estudiantes, conformar grupos interinstitucionales, generar anualmente este evento y realizar una publicación con ISBN.

Como REDIE nos queda el compromiso de mantener vivo el evento por años, que perdure la iniciativa dentro de un escenario que nuestros estudiantes sean los protagonistas, mostrando su “Ingenio” e “Innovación”, de lo que son capaces y de lo que pueden soñar para contribuir con avances a la sociedad, conscientes de la importancia de mantener esto, la Universidad Central tiene prevista su organización para el año 2015.

Por último quiero agradecer a las directivas de la Universidad por el apoyo, el hacer posible este sueño, a la Unidad de Investigaciones, al Comité de Investigaciones de la Facultad, a los docentes y estudiantes que han hecho posible este evento.

Ing. Adriana Páez Pino
Decana Facultad de Ingeniería Electrónica,

Bogotá, Junio 03, 2014





CONTENIDO

- 12** Robótica desde dispositivos móviles.
William Amador, Oscar Daza, Arnol Plazas, Diego Diaz.
- 18** Métodos de planeación de rutas y evasión de obstáculos para un robot asistente.
Oswaldo Peña, Carlos León, Eyberth Rojas.
- 23** Robot seguidor de línea, modo solucionador laberinto.
Andrés Delgado, Carlos Esparza.
- 28** Exoesqueleto para control de brazo robótico.
Ángel Henao, Christian Montoya, Robison Moreno.
- 32** Prototipo de dobladora de alambre con control numérico por computadora utilizando un controlador lógico programable.
Didier Parra, Felix Gutierrez, Fabio Delgado.
- 38** Diseño de un robot velocista usando arduino.
I. Ruge, D. Zorro.
- 42** Diseño e Implementación de un prototipo para automatización de vivienda.
Humberto Saavedra, Jesús Aguirre, Alberto Mejía, Kenny Riaño, Claudia Romero.
- 47** Control inalámbrico de encendido y apagado de lámparas incandescentes.
Robert Limas, Yon Torres, Gabriel Silva, Angie Duarte, Jhon Rangel.
- 51** Sistema de administración de batería de ión-litio para vehículo eléctrico gestionado con lógica difusa.
D. A. Martínez, J. D. Poveda, Davis Montenegro.



CONTENIDO

- 57** Diseño de un sistema de transmisión de mediciones de energía aprovechando la infraestructura eléctrica de los sistemas de distribución bajo el enfoque Smart Meters.
Daniel Zuluaga, alexander Molina, Marcelo Bernal.
- 62** Sistema de gestión de consumo de aguas.
Jorge Lozano, Daniel Ramírez, David Otavo, Daniel Woodcock.
- 67** Reconocimiento de patrones por medio redes neuronales artificiales y momentos invariantes.
Diego Sora.
- 76** Diseño e implementación de un transmisor de audio análogo vía láser.
Daniel Mondragon, Juan Rojas, Camila, Urueta, Mónica Rico, Hector Guarnizo.
- 81** Caracterización y análisis de la situación de la logística inversa a los residuos de los teléfonos celulares en Bogotá.
Katherine Roa.
- 87** Algoritmo de Reconocimiento de los Espacios de Parqueo Empleando Tratamiento de Imágenes.
Paola Mateus, Edison Maldonado, Cesar Niño.
- 93** Simulación de Cobertura Radioeléctrica de Antenas MIMO en una Red LTE.
John Amaya, Javier Arévalo.
- 101** Medición de la frecuencia cardiaca instantánea a través de la interfáz gráfica guide.
Johan Nieto, Cristian Velandia, Diego vanegas, Javier Gonzalez.
- 104** Implementación de un Sistema DAS (Distributed Antenna System) Pasivo.
Edgar Romero, David Ruiz, Javier Arévalo.



CONTENIDO

- 109** Sistema de detección sísmica con simulación tridimensional para prevenir y alertar a la comunidad de la universidad santo tomás sede centro de la ciudad de Tunja.
Lina Rojas, Jonathan López.
- 115** Reconocimiento de Fichas Lego Mindstorm Utilizando la Librería de Programación CImg.
Hector Castro, Ismael Mera.
- 122** Dile Solución: Tecnología para discapacitados
Vivianne Niño, Camilo Pardo.
- 128** Monitorización y seguridad en redes de infraestructura crítica mediante el protocolo IPFIX.
Hector Castro.
- 135** Vehículo de vigilancia controlado por joystick y radiofrecuencia.
Andrés Puin, Cristian Vargas, Daniel Mojica.
- 138** Prototipo de un sistema de riego temporizado para la elaboración de forraje hidropónico a tamaño escala.
Leriant Romero.
- 143** Prototipo pastillero electrónico.
Juan D. Suarez, Jimmy Boada.
- 148** Simulación interactiva y educativa de un sistema de posicionamiento global con algoritmo posicionamiento de punto simple.
Hector Castro, José Sánchez, Juan Pablo Sanches



CONTENIDO

- 154** Implementación y caracterización de sensores resistivos para la generación de mapas de distribución de fuerzas para pacientes en posición sedante.
Jevis Caro, Carlos Delgado.
- 160** Estudio y caracterización del algoritmo del filtro extendido de Kalman (EKF) para el mapeo de ambientes con robots móviles.
Juan Giraldo, Eliana Vargas, Laura Valdéz, Manuel Ríos, Camilo Gamarra, Carlos Quintero.
- 166** El efecto piezoeléctrico: Un método de energía renovable para el futuro.
Segio Bastidas, Fabian Pineda, Juan Pedraza, Edwin Forero.
- 172** Interfaz de manipulación de aplicaciones con kinect a procesos industriales.
Milto Medina, Daniel Pardo, Fernando Medina, Camilo Pardo.
- 178** El mundo hablando acerca de las máquinas dispensadoras “vending machines”.
Diana Correa.
- 182** Sistema electrónico para seguridad ganadera: Fase de revisión del estado del arte.
Ilber Ruge, Laura Martínez, Tatiana Torres,.
- 185** “Un can sano”... a través de la robótica.
Maria Forero.
- 191** La innovación: Un hacer social
Juan Carlos Garzón.



Robótica desde dispositivos móviles

William Amador, Oscar Daza, Arnol Plazas and Diego Díaz*

Universidad Manuela Beltrán/Grupo de Investigación Aplicabilidad Tecnológica, Bogotá, Colombia

email: ricardo.diaz@docentes.umb.edu.co*

Abstract—En este documento se presenta la primer etapa del proyecto “Robótica desde Dispositivos Móviles – Colciencias” del Semillero de Investigación en Ingeniería Electrónica SIELEC del grupo de investigación Aplicabilidad Tecnológica de Universidad Manuela Beltrán. Este proyecto propone el desarrollo e implementación de una plataforma hardware tipo Arduino, como base para la construcción de 5 diferentes sistemas robóticos. Dicha plataforma permitirá la gestión de señales de actuación y censado de los diferentes robots, desde un dispositivo móvil Android, contando además con la capacidad de reprogramación en línea de manera inalámbrica. Con esta plataforma el estudiante podrá emplear su dispositivo móvil para diseñar, experimentar y manipular sus propias rutinas y algoritmos de funcionamiento sobre los diferentes robots.

Index Terms—robótica, dispositivos móviles, TICs, Strandbeest.

I. INTRODUCTION

En el marco del proyecto “Robótica desde Dispositivos Móviles – Colciencias” los estudiantes del semillero de investigación Aplicabilidad Tecnológica [1] – [4] desarrollarán un sistema robótico orientado a estudiantes de colegio cuya función es la promover en la población adolescente el gusto por la nuevas tecnologías a través de la enseñanza en robótica y dispositivos móviles.[?]

Dado el auge que han tenido las comunicaciones y los dispositivos móviles tales como teléfonos inteligentes ordenadores portátiles y tabletas, los cuales generan no solo un gusto sino una necesidad para la vida cotidiana, se planteó una plataforma en la cual los estudiantes puedan emplear un dispositivo móvil para diseñar, experimentar y manipular sus propias rutinas y algoritmos de funcionamiento para el robot todo a fin con a fin con el Ministerio de Telecomunicaciones en sus programas en Colombia para TICs.

El proyecto comprende el desarrollo de 5 prototipos robóticos, cada uno con diferentes funciones y habilidades. Cada uno de estos realizará una tarea específica dentro de un proceso global. El estudiante podrá programar la ejecución de dichas tareas y la forma como el robot interacciona con el ambiente a través de un dispositivo móvil (Tablet, Smartphone, etc), mediante una aplicación dedicada. La aplicación móvil para el control y programación de los robots, se plantea como una interfaz gráfica interactiva que promueve el conocimiento básico de estructuración y permite la programación de los robots.

Con este sistema, el estudiante podrá aprender de forma interactiva conceptos básicos de programación, algoritmos, sensores, actuadores mecánicos, procesos, sistemas, entre otros.

Además se tienen los siguientes beneficios adicionales:

Promoción del uso y apropiación de nuevas tecnologías entre

la población juvenil de primaria y secundaria.

Introducción al manejo y desarrollo sobre plataformas TIC.

Fomento del gusto por la tecnología en la población estudiantil de los colegios nacionales con el fin de atraer estudiantes a una futura formación profesional en ingeniería.

Como primera fase del proyecto, los estudiantes del SIELEC de la Universidad Manuela Beltrán, desarrollaron el primer prototipo robótico basado en el insectoide propuesto por el artista Theo Jansen. Este robot basa su movimiento en tracción por 4 patas y recibe comandos básicos de desplazamiento mediante un dispositivo móvil.

II. DESIGN

El desarrollo del proyecto está concebido en varias etapas: La primera comprende el diseño y construcción de los 5 prototipos robóticos. La segunda se centra en el desarrollo de la aplicación móvil. La tercer y última etapa concibe la integración final de la aplicación con los prototipos.

Los prototipos serán conformados por una estación base estática y 4 robots móviles de los cuales 2 tendrán tracción por patas y 2 tendrán tracción por ruedas. Los robots serán parte de un macroproceso común, en el cual la estación base dispersara esferas en un espacio determinado y los robots móviles tendrán que localizarlas, recogerlas y almacenarlas.

Cada robot será elegido con el fin de mostrar a los jóvenes de colegio algunos de los diferentes tipos de robots y los procesos se pueden hacer con ellos. De esta manera se presenta un proceso automatizado similar a los utilizados en fábricas que cuentan con herramientas robóticas.

El proceso de elaboración de cada robot comprende los siguientes pasos.

Diseño CAD.

Simulación sobre el diseño CAD.

Evaluación de desempeño en simulación.

Construcción.

Evaluación física (Pruebas preliminares).

Corrección de robots.

Evaluación de desempeño.

Dentro de la primer etapa se desarrolló un prototipo robótico tipo insectoide con comunicación bluetooth y control por Tablet Android, inspirado en las obras del artista Theo Jansen. Este artista plantea una estructura mecánica basada en esqueletos de animales e insectos, la cual es capaz de generar movimiento a partir de fuentes de energía alternativas.

La estructura mecánica implementada es la llamada Strandbeest [6]. Esta estructura fue seleccionada bajo la premisa de un diseño visualmente atractivo y lleno de movimiento que

capture rápidamente la atención de jóvenes estudiantes. El desarrollo de esta estructura resulta atractivo no solo por su impresión visual sino por el alto contenido matemático en el estudio mecánico detrás de dicha construcción. A continuación se describe el diseño del robot desde su modelado hasta su implementación física y evaluación de desempeño.

A. Trayectoria del movimiento

Basados en los mecanismos construidos por Theo Jansen anteriormente nombrados nos enfocaremos en el diseño que llevo a todas estas posibles estructuras, las cuales radican en el movimiento que se quiere generar. Esta trayectoria de movimiento que se desea generar se construye con base a la curva de movimiento deseada. Estas curvas de movimiento deseadas se han convertido en un motivo de estudios tal como el realizado por Disney Research para construcción de diferentes movimientos de animales animatrónicos en 3D [7]. En este proyecto nos basaremos en el mecanismo de pie eficiente generado por Theo Jansen [6] el cual puede operar con un solo actuador para generar una curva de movimiento muy parecida a una gota. El movimiento de la plataforma se basa en seis enlaces binarios, una articulación terciaria y un enlace de acoplamiento con tres bucles independientes. Los centros de las articulaciones están definidos por los segmentos P1P2, P1P6, P2P3, P3P4, P3P6, y P5P7, y los triángulos que conforman la estructura se definen como $\Delta P1P4P5$, $\Delta P6P7P8$ ver figura1. Teniendo en cuenta que sobre P8 se definirá el movimiento de la estructura, el proceso para saber la posición de P8 en cada instante de tiempo del movimiento se realiza debido a su complejidad y cantidad de piezas entrelazadas en esta estructura por medio de distancias y matrices tipo bilateration.

Para este caso el primer paso es calcular el Angulo θ de θ y la ubicación del centro de la articulación P1 y P3

$$P_{1,3} = Z_{1,2,3} P_{1,2} \quad (1)$$

Con $S_{1,3} = S_{1,2} + S_{2,3} - 2d_{1,2}d_{2,3} \cos \theta$. Ahora con la construcción de $P_{1,2}$ obtenemos

$$P_{1,4} = Z_{1,3,4} P_{1,3} \quad (2)$$

$$P_{1,5} = Z_{1,4,5} P_{1,4} = Z_{1,4,5} Z_{1,3,4} P_{1,3} \quad (3)$$

$$P_{1,6} = Z_{1,3,6} P_{1,3} \quad (4)$$

Por lo tanto,

$$P_{5,6} = -P_{1,5} + P_{1,6} = (-Z_{1,4,5} Z_{1,3,4} + Z_{1,3,6}) P_{1,3} \quad (5)$$

Entonces

$$S_{5,6} = \det(-Z_{1,4,5} Z_{1,3,4} + Z_{1,3,6}) P_{1,3} \quad (6)$$

Finalmente, $P_{5,6}$ para obtenemos

$$P_{6,7} = -Z_{6,5,7} P_{5,6} \quad (7)$$

$$P_{6,8} = -Z_{6,7,8} P_{6,7} \quad (8)$$

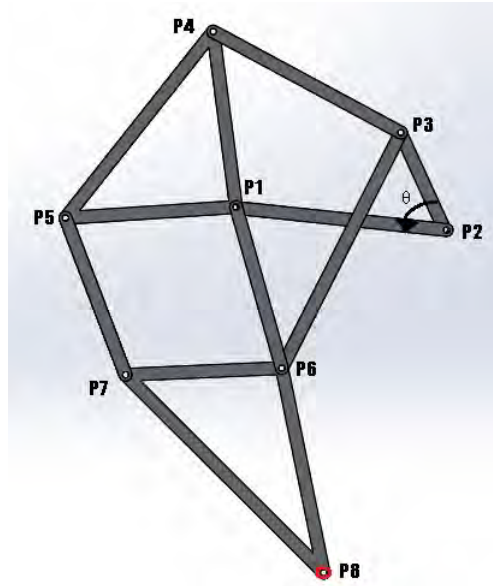


Fig. 1: Estructura de una de las patas del robot insectoide.

Donde obtenemos como resultado

$$P_{6,8} = -Z_{6,7,8} Z_{6,5,7} (-Z_{1,4,5} Z_{1,3,4}) P_{1,3} \quad (9)$$

Definiendo de esta manera la ubicación del punto P8 el cual como ya se había nombrado nos dará la curva de movimiento al evaluarlo en diferentes momentos.

B. Modelo Matematico

El modelado matemático del robot se fundamenta en el análisis de la cinemática estructural de la plataforma. Estudios como [8] tratan la locomoción de robots hexápodos en diferentes terrenos desde una perspectiva particular, sin embargo Theo Jansen genera una propuesta innovadora con su diseño mecánico que se convirtió en fuente de nuevas investigaciones en el estudio de la marcha [9] y en el estudio de la cinemática del movimiento mediante uso de softwares [10]. En el diseño del robot se propone tracción por 4 patas conectadas a 2 actuadores rotacionales. Cada pata tiene la estructura mecánica presentada en la figura 1 en la cual podemos ver la estructura conformada por la pata delantera y trasera que van unidas por el actuador rotacional. Este modelo de marcha del mecanismo se analiza utilizando el método de proyección [11] en las cuales la obtención de las ecuaciones del sistema se realiza desglosando el sistema en partes más pequeñas. Para este caso se modela de forma independiente la dinámica de las patas delantera y trasera para después unir estos dos modelos. Teniendo en cuenta la gráfica, el proceso de modelamiento se hace con base en los parámetros cinemáticos de la misma los cuales se referencian en la siguiente tabla.

Parámetro	Notación,
Momento de inercia [kg.m ²]	J_i ,
Masa[m]	M_i ,
Coefficiente de rozamiento viscoso [Nm.s/rad]	C_{ij} ,
Longitud de (x, y) la coordenada de enlace-1 [m]	(l_o, h_o) ,
Longitud de enlace	Lk ,
Longitud del extremo al centro de gravedad [m]	d_i ,
Longitud del centro de gravedad para al final [m]	l_i ,

Con base en los modelos presentados en [11] y según la figura 1 se obtiene la ecuación (9) y (10) que representan el estudio de la pata delantera y trasera respectivamente.

$$D_f^T M_f D_f \ddot{q}_f + D_f^T M_f \dot{D}_f \dot{q}_f = D_f^T h_f \quad (10)$$

$$D_b^T M_b D_b \ddot{q}_b + D_b^T M_b \dot{D}_b \dot{q}_b = D_b^T h_b \quad (11)$$

Donde el subíndice f y b representa la pata delantera y trasera respectivamente. Los términos M, h y D representan respectivamente la matriz de masa generalizada, la matriz de fuerza generalizada y la matriz complemento ortogonal. Por ultimo la velocidad tangencial del vector está definida por la siguiente ecuación

$$\dot{q} = [\dot{\Theta}_{bf1} \dot{X}_{brf1} \dot{Y}_{rf1} \dot{\Theta}_{rf2}]^T \quad (12)$$

A partir de esta ecuación es posible deducir las ecuaciones de movimiento integrado aplicando técnicas de LaGrange obteniendo como resultado:

$$M \ddot{X} = h + C^T \lambda \quad (13)$$

Cabe aclarar que este modelo no representa en contacto con el plano es decir se considera que el movimiento se realiza libre y sin restricción de fricción o deslizamientos en las patas a la hora de realizar la marcha, caso que se puede dar dependiendo de la estructura y la superficie en la que se realice el movimiento.

C. Diseño del prototipo

Para el diseño del prototipo se tuvo en consideración la estructura conocida como Humble Velocipede [12] principal estructura del artista Theo Jansen.

Inspirado en esta obra se realiza un diseño CAD de la estructura a construir, respetando las restricciones mecánicas del modelo cinemático. Ver figuras 2 y 3.

Este primer prototipo está conformado por 4 puntos de apoyo los cuales generan una curva de movimiento como se muestra en la figura 4. El movimiento de las patas y el desplazamiento del robot dependen de dos motores DC, instalados en configuración de tracción diferencial.

Una innovación del prototipo realizado, frente al diseño propuesto por Theo Jansen radica en el sistema de tracción diferencial. Por medio de este es posible generar no solo desplazamiento hacia adelante o atrás, sino realizar giros inclusive sobre su propio eje.

Esta innovación trae consigo una restricción adicional ya que las patas deben estar sincronizadas para poder generar el desplazamiento adecuadamente (dependiendo de la sincronía

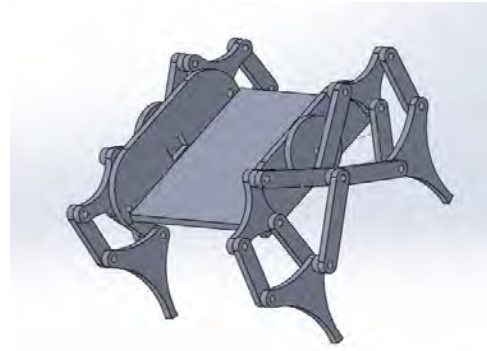


Fig. 2: Diseño CAD estructural del prototipo.

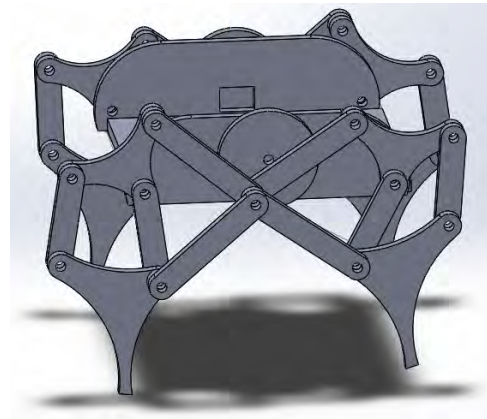


Fig. 3: Vista lateral. Estructura Final de las Patas.

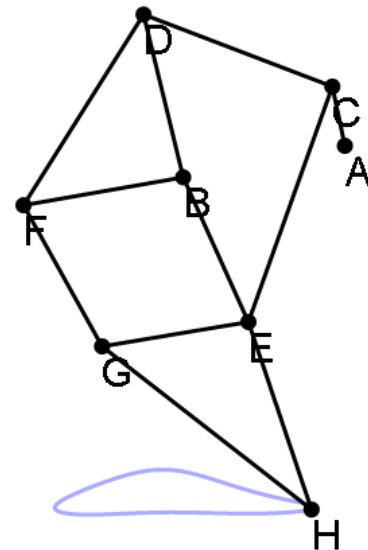


Fig. 4: Simulación de curva de movimiento. Realizada con la herramienta de simulación en línea [13].

en las patas se podrían tener diferentes modos de desplazamiento).

La locomoción del prototipo se regula a través del voltaje aplicado a cada uno de los motores. Se emplea una tarjeta Arduino con una interfaz de comunicación bluetooth para tal cometido. Los comandos de movimiento básicos (adelante, atrás, giro derecha y giro izquierda) son enviados desde un dispositivo móvil con plataforma Android. A continuación se describe la implementación electrónica del prototipo.

D. Implementación electrónica

Dada la orientación de este proyecto (desarrollo de kits de robótica para jóvenes de colegio), el diseño electrónico está enfocado a ser uno modular de rápido y fácil ensamble. Bajo esta filosofía se emplean componentes Arduino los cuales se caracterizan por su construcción modular, fácil manejo (no es necesario conocimiento altamente especializado) y por su fácil adquisición dada su amplia penetración en el mercado. Para el procesamiento se emplea un microprocesador Arduino UNO, la comunicación bluetooth se realiza mediante un módulo Shield para Arduino SLD63030P y la actuación sobre los motores de tracción diferencial se realiza a través de un Arduino Shield L298P. El esquema de conexión se presenta en el siguiente diagrama.

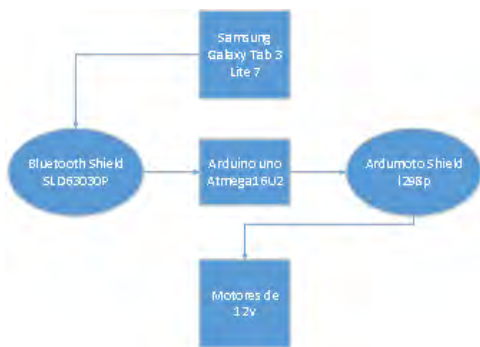


Fig. 5: Descripción del sistema electrónico.

Los comandos de movimiento son originados desde un dispositivo móvil Samsung Galaxy Tab 7, que ofrece una interfaz gráfica básica al usuario. Ver figura 5.

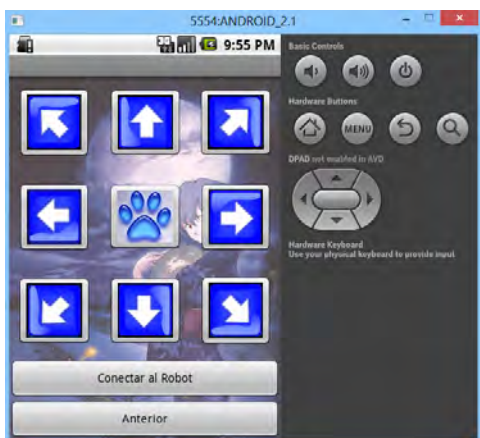


Fig. 6: Imagen de la interfaz gráfica de comando.

III. RESULTS

Para este proyecto los resultados están delimitados a la construcción de 5 sistemas robóticos y la creación de una aplicación móvil que nos permita reprogramar la plataforma.

Estos productos finales serán evaluados en dos ámbitos. El primero correspondiente a la medición física de tiempo de respuesta de los prototipos y a la medición de la velocidad de procesamiento tanto del hardware como del software. Estos ítems permitirán cuantificar la velocidad de respuesta de los robots y el grado de fluidez con el cual el robot ejecuta su tarea.

El segundo, que comprende un estudio en la cual se someterá a estudiantes de un colegio a la manipulación de los kits y así evaluar de forma cualitativa el grado de aceptación de los sistemas robóticos y la aplicación móvil.

Estos ítems serán fundamento para realizar una evaluación comparativa con otros kits robóticos disponibles en el mercado (Lego Mindstorms por ejemplo) [14].

Dentro del desarrollo del primer prototipo robótico se obtuvieron los resultados descritos a continuación.

EL robot fue construido según las especificaciones del diseño CAD presentadas en la sección anterior. La construcción fue realizada en acrílico por su versatilidad y presentación.

La estructura final construida es liviana y robusta. Por pruebas preliminares, se observa que la curvatura descrita por las patas coincide con la simulada.



Fig. 7: Prototipo estructural final.

La estructura fue sometida a una prueba preliminar de funcionamiento evaluando desplazamientos básicos sobre diferentes superficies (adelante, atrás, giro izquierda y giro

derecha). Bajo estas condiciones, se detectaron dos diferentes modos de desplazamiento.

Modo sincrónico: En este modo ambos grupos de patas (izquierda y derecha) inician en el mismo punto y se mueven a la misma velocidad. Esto permite únicamente desplazamiento hacia adelante y hacia atrás. En este modo el cuerpo del robot tiene un giro constante o cabeceo sobre el eje x (ver figura 7).

Modo asincrónico: En este modo ambos grupos de patas (izquierda y derecha) inician en puntos diferentes y pueden moverse a diferente o a la misma velocidad. Esto permite desplazamiento hacia adelante, hacia atrás y giros en ambas direcciones. En este modo el cuerpo del robot tiene un giro constante o cabeceo sobre los ejes X e Y (ver figura 7).

De acuerdo con las pruebas realizadas el dispositivo es capaz de desplazarse en la dirección comandada. Sin embargo, una pequeña asincronía o desfase en el movimiento ejecutado por las patas laterales ocasiona un cambio en el modo de desplazamiento y origina cabeceos del cuerpo del robot en los ejes X y Y.

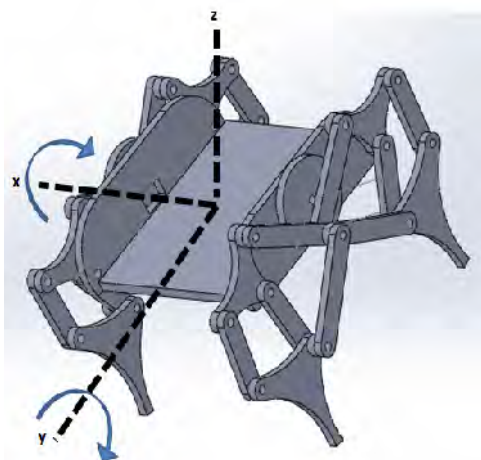


Fig. 8: Cabeceo en el desplazamiento del robot (modos sincrónico y asincrónico).

Las pruebas de funcionamiento revelaron además que el robot tiene una mayor tracción sobre superficies rugosas o irregulares. Sobre superficies lisas, el robot tiene a deslizar perdiendo tracción. Este fenómeno se atribuye a la poca área de contacto de las patas con el suelo (pata terminada en punta) y, de forma preliminar, a los constantes cabeceos del cuerpo del robot que ocasionan una distribución no uniforme de la presión sobre las patas.

Observando este problema de tracción se planteó como solución inicial, la inclusión de complementos en goma en los puntos de apoyo para aumentar la fricción y superar estos problemas en terrenos lisos.

IV. CONCLUSION

En esta primer etapa del proyecto “Robótica desde Dispositivos Móviles – Colciencias” se construyó la primer versión del prototipo robótico No1. Este fue construido bajo la premisa de ser visualmente atractivo y lleno de movimiento con el fin de capturar y retener la atención de los jóvenes estudiantes de

colegio, aspecto fundamental en la promoción del gusto por la tecnología.

El prototipo robótico se construyó inspirado en la estructura insectoide propuesta por Theo Jansen, emulando de forma electromecánica movimientos y características de animales e insectos. Esto resulta de gran atractivo para los niños y jóvenes, generando disponibilidad por el aprendizaje en áreas como la matemática, geometría, mecánica y física entre otros.

El prototipo insectoide desarrollado presenta dos modos de operación para el desplazamiento: sincrónico y asincrónico. A pesar que ambos permiten el desplazamiento del prototipo, la forma como lo se ejecuta esta tarea influye en la estabilidad del cuerpo y en su tracción. Este fenómeno es interesante y se presenta como un tema futuro por estudiar.

A. TRABAJOS FUTUROS

Se plantea la culminación de la propuesta de semillero generando como productos 5 sistemas robóticos controlados y programados mediante dispositivos móviles (celulares o tabletas).

De igual manera se continuará con el desarrollo de una aplicación móvil para el control de los sistemas robóticos mediante Bluetooth orientado a la enseñanza de temas como procesos, algoritmos, sensores, actuadores, entre otros. Se desarrollarán 2 kits educativos para la enseñanza de robótica básica haciendo uso de dispositivos móviles TICs.

Se plantea profundizar en el estudio mecánico del prototipo robótico desarrollado, explorando las implicaciones en el movimiento efectuado en cada uno de los modos detectados.

V. REFERENCES

- [1] Rodriguez, E. “Diseño de un sistema de control de evasión de obstáculos para un robot móvil por medio de lógica borrosa”. Universidad Manuela Beltrán, Tesis de grado.
- [2] Alvarado, F. “Robot movil detector de minas antipersonales”. Universidad Manuela Beltrán, Tesis de grado. 2009
- [3] Arévalo, H. “Sistema autonomo de un robot aspiradora”. Universidad Manuela Beltrán, Tesis de grado. 2010
- [4] Escobar, S. “Robot limpiador de ventanas omnidireccional”. Universidad Manuela Beltrán, Tesis de grado. 2010
- [5] Valencia, W. “Robot autonomo podador de cesped”. Universidad Manuela Beltrán, Tesis de grado. 2012.
- [6] Jansen, Theo. “StrandBeest” En línea: <http://www.strandbeest.com/> Visto el: 10/04/2014.
- [7] Coros, Stelian. Thomaszewski, Bernhard. Summer, Robert. Noris, Gioacchino. Matusik, Wojciech. Sueda, Shinjiro. Bickel, Bernd. Foberg, Moira. “Computational Design of Mechanical Characters”. Disney Research Science at Play. 2012
- [8] Jansen, Theo. The great pretender. Nai010 Publishers, 2007.
- [9] Komoda, Kazuma, and Hiroaki Wagatsuma. “A proposal of the extended mechanism for Theo Jansen linkage to modify the walking elliptic orbit and a study of cyclic base function.”
- [10] Moldovan, Florina, and Valer Dolga. “Analysis of Jansen walking mechanism using CAD.” Solid State Phenomena 166 (2010):297-302

[11] S. Nansai, M. R. Elara and M. Iwase, "Dynamic Analysis and Modeling of Jansen Mechanism," International Conference On design and Manufacturing, IConDM2013, 2013

[12] Small Wonder Toys. "The Humble Velocipede". En línea: <https://www.kickstarter.com/projects/thehumblevelocipede/the-humble-velocipede> Visto el: 10/04/2014.

[13] Robotee. "Complex Linkage Mechanism – Theo Jansen Mechanism". En línea: <http://www.robotee.com/index.php/complex-linkage-mechanisms-theo-jansen-mechanism-2-51018/> Visto el: 10/04/2014

[14] NXTway Ballbot Model-Based Design- Control of self-balancing two-wheeled robot on built with LEGO Mindstorms NXT. Investigación Empresarial, CYBERNET SYSTEMS CO. LTD., TokioYamamoto, Y. (2009).

Métodos de Planeación de Rutas y Evasión de Obstáculos para un Robot Asistente

Oswaldo Andrés Peña Rojas, Carlos Andrés León León, Eyberth Rolando Rojas Martínez

Facultad de Ingeniería Electrónica

Universidad Santo Tomás

Bogotá, Colombia

oswaldopena@usantotomas.edu.co

carlos.leon@usantotomas.edu.co

eyberthrojas@usantotomas.edu.co

Resumen— Este trabajo presenta el estudio y análisis de la planeación de rutas como una de las funciones principales que deben realizar los robots para asistencia doméstica. Inicialmente, se revisan algunos proyectos desarrollados previamente por diversos investigadores entorno a la planeación de rutas y evasión de obstáculos, luego se realiza el análisis de los resultados que estos algoritmos presentan y de acuerdo a dichos resultados se selecciona e implementa el algoritmo RRT, realizando simulaciones en entornos con características similares a los entornos reales de los robots asistentes para el hogar. Finalmente se analizan los resultados obtenidos con el algoritmo de planeación RRT a partir del tiempo de cómputo necesario para obtener la ruta.

Palabras Clave— Robot de asistencia doméstica, planeación de rutas, evasión de obstáculos, RRT, interacción robot humano.

I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, las personas viven en un ambiente laboral altamente dinámico y complejo que minimiza el tiempo que puede dedicarse a la realización de labores domésticas. Es así como en diversos países se han adelantado iniciativas para la aplicación de los desarrollos tecnológicos que faciliten el desempeño de dichas tareas, siendo los robots de asistencia doméstica uno de los proyectos que mayor acogida han tenido al respecto. En este sentido, la iniciativa mundial RoboCup [1] se ha convertido en un escenario propicio para el desarrollo de tecnología y en el caso específico de la asistencia doméstica, la liga @Home [2] presenta un escenario ideal para el desarrollo de las funciones que deben realizar los robots que buscan colaborar a la sociedad con las tareas domésticas. En general los robots de asistencia doméstica cuentan con tres partes fundamentales: el módulo de movimiento, que incluye acciones de desplazamiento en entornos cerrados; el módulo de manipulación, en el cual se consideran los actuadores y procesos necesarios para seleccionar y manipular objetos del entorno y finalmente el módulo de interacción con las personas, para el cual es fundamental realizar el reconocimiento mediante voz o gestos [3].

La implementación de todos los módulos es fundamental para el correcto desempeño de las tareas, sin embargo el módulo de movimiento constituye la tarea inicial que debe resolverse para la implementación de un robot de asistencia doméstica. Es así como en este caso es necesario contar con un sistema que permita realizar una planeación y generación de trayectorias a partir de las cuales el robot pueda desplazarse de un punto a otro evadiendo los posibles obstáculos que encuentra en su entorno [3].

Teniendo en cuenta la importancia de este proceso de planeación de rutas, en este artículo se presenta la implementación del algoritmo RRT como herramienta para la evasión de obstáculos y planeación de rutas, partiendo de la revisión de algunos algoritmos propuestos por investigadores de diversos países y del análisis de los resultados que dichos algoritmos tienen en escenarios similares a los entornos reales de los robots asistentes para el hogar.

II. TRABAJOS RELACIONADOS

Luego de realizar la revisión de algunos artículos relacionados con el objetivo principal de planeación de rutas, se seleccionaron los que constituyen un mayor aporte para entender el funcionamiento e implementación en escenarios cerrados. Sin embargo, es necesario mencionar que en esta temática existe una gran variedad de aplicaciones y algoritmos dedicados a este objetivo, por lo cual es un tema de bastante interés y acogida. El primer trabajo relacionado en este artículo es [4], en el cual se muestra la implementación de un algoritmo genético para la planificación de una ruta dinámica y fundamentalmente el algoritmo realiza el cálculo de las distancias de los obstáculos al robot y a partir de la detección de los obstáculos se toma la decisión de plantear una nueva ruta que esté libre de objetos intermedios entre el punto inicial y el punto objetivo al cual se quiere llegar.

Por otra parte, en el trabajo [5] se muestra un algoritmo realizado a partir de la construcción de un entorno virtual y se mencionan las características esenciales de los ambientes

virtuales que se pueden utilizar para la navegación. Por ejemplo, muestra un ambiente llamado “Grid-Based” que consiste en la división del espacio de trabajo en grillas, es decir, divisiones por cuadros de igual tamaño; luego de realizar la división se determina si los obstáculos son redondos y ocupan una pequeña parte de una grilla, de ser así toda esa grilla se va a considerar obstáculo. Con esta información es posible reconocer si puede o no plantear una ruta por determinada grilla, para esto se utiliza un sistema binario: 0 cuando en el cuadro no se puede generar un punto de la trayectoria y 1 cuando el cuadro no representa ningún obstáculo y si se puede generar trayectoria a través de él.

Otra técnica para distribuir el entorno en donde se va a desempeñar el robot se denomina “Simple Avoidance and Potential Fields”. Se basa en el anterior método, división por grillas, pero ahora los obstáculos forman sus límites a través de unos Campos potenciales como se muestra en la Fig. 1.

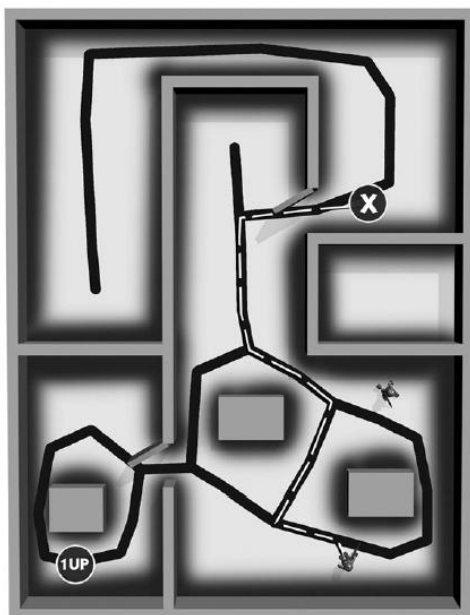


Fig.1. Entorno con campos potenciales. [5]

El siguiente método que mencionan es el “Map Node Networks” que fundamentalmente funciona por medio del planteamiento de puntos de referencia y con dichos puntos se desarrolla un algoritmo que determina los puntos más cercanos a la posición del objetivo final, tal como se observa en la Fig. 2.

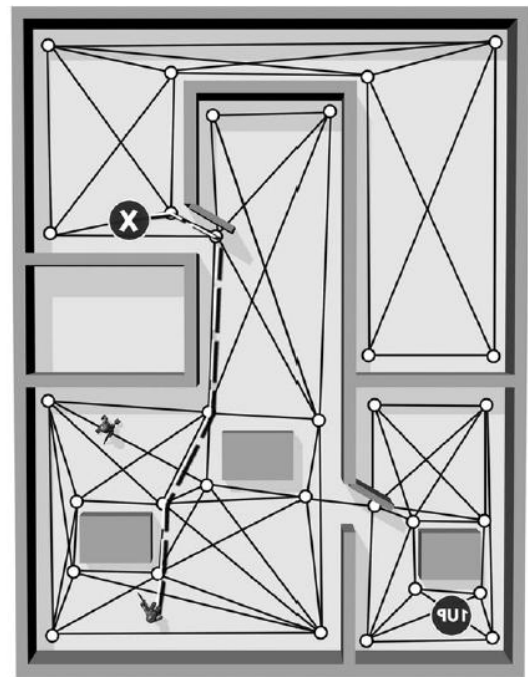


Fig. 2. Entorno con puntos de referencia. [5]

Finalmente la última técnica que se describe en [5] se llama “Navigation Mesh”, ésta consiste en evadir los obstáculos por medio de figuras en forma de polígonos, utilizando adicionalmente puntos de referencia, de manera similar al método anterior, pero con la diferencia que se recorre menor distancia. La desventaja que tiene este tipo de planeación y evasión de obstáculos básicamente es que presenta un funcionamiento adecuado para entornos fáciles que no presentan muchos obstáculos, pero frente a escenarios con mayor complejidad las rutas que se generan son bastante ineficientes como se puede observar en la Fig.3.

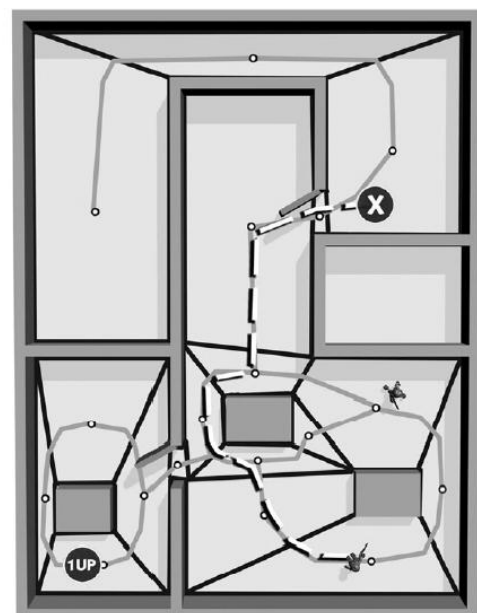


Fig. 3. Entorno con el método “Navigation Mesh”. [5]

Debido a la desventaja mencionada, el método que se seleccionó para la implementación de este artículo combina varias técnicas. Primero se basa en el método de división por grillas para la generación de los obstáculos y de los elementos que representan el robot y el objetivo, incluyendo adicionalmente puntos de referencia, dado que cuando se genera la ruta el algoritmo lo hace a partir de puntos que finalmente se unen para graficar la ruta final del robot.

III. ALGORITMO DE PLANEACIÓN Y EVASIÓN BASADO EN RRT

El algoritmo implementado está basado en el método de planeación y evasión de obstáculos llamado RRT (Rapidly-Exploring Random Trees)[6]. Consiste en generar un árbol donde alguna de sus ramas llega al objetivo final. Primero que todo, se sabe que el punto inicial del árbol es donde se encuentra el robot. Para la generación de los siguientes puntos el algoritmo asigna puntos dentro del entorno para definir la dirección del movimiento. Estos puntos son generados de dos formas, la primera consiste en generar un punto totalmente aleatorio dentro del escenario y la segunda consiste en asignar el objetivo final. Luego se selecciona según una probabilidad de ocurrencia que se desee.

El siguiente paso es encontrar el punto más cercano de la trayectoria al generado anteriormente y generar un nuevo punto en la misma dirección a una distancia constante. En este nuevo punto se debe asegurar que no haya obstáculo, de no haberlo se asigna como un nuevo punto de la trayectoria; este procedimiento se hace ciclicamente hasta que el punto generado sea muy cercano al objetivo final. Por ultimo para seleccionar la trayectoria que va desde el punto inicial al final se utiliza el algoritmo BFS [7].

La principal característica de este algoritmo es la capacidad de poder utilizarse en tiempo real, gracias a esto se seleccionó e implementó, para hacer diferentes pruebas con distintos escenarios y poder determinar tiempos de proceso, de tal forma que muestre un buen indicador para su implementación en el robot asistente.

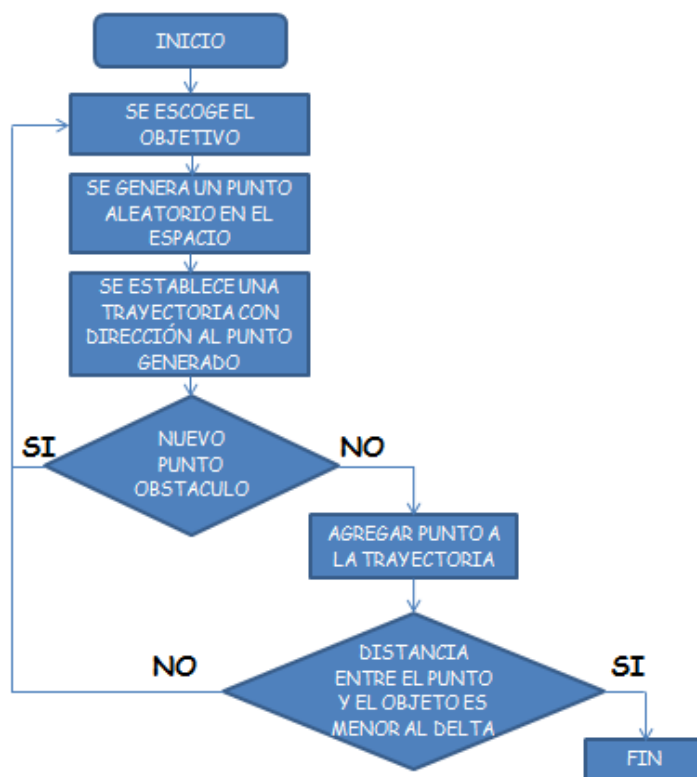


Fig.4. Diagrama de flujo de la RRT.

La Fig.5. Muestra la solución del algoritmo con un escenario tomado al azar, y la Fig.6. Visualiza la convención de los colores utilizados.

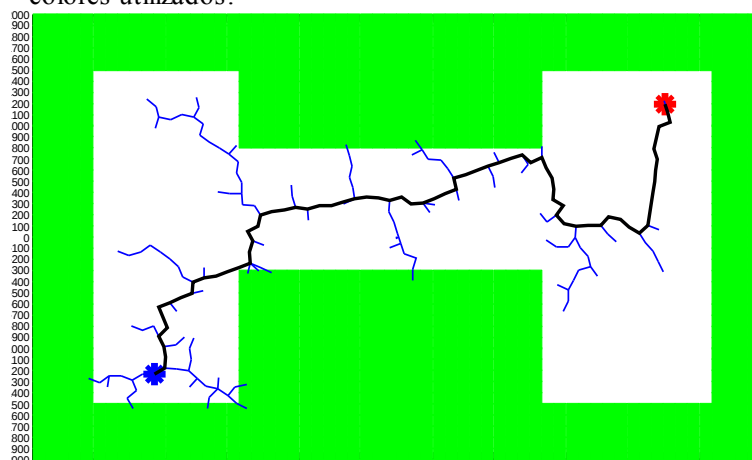


Fig.5. Solución del algoritmo.

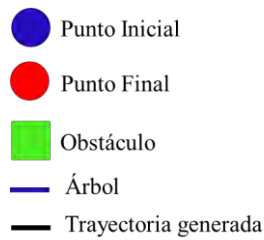


Fig. 6. Convenciones algoritmo RRT.

IV. RESULTADOS

Para analizar la eficiencia del algoritmo basado en el método RRT se debió hacer tomando el tiempo de ejecución que se gastaba en 5 ciclos diferentes. Como la técnica se basa en puntos aleatorios, cada vez que se vuelve a generar la ruta, lo hace de manera distinta haciendo que los tiempos cambien igualmente. Por ejemplo para el entorno de la Fig. 5 los 5 tiempos que generó se muestran en la Tabla I.

TABLA I
TIEMPO DE PROCESAMIENTO PARA EL PLANEAIENTO DE LA TRAYECTORIA

Nº Ciclo	1	2	3	4	5
Tiempo gastado(ms)	9.143	10.562	5.883	9.925	10.653

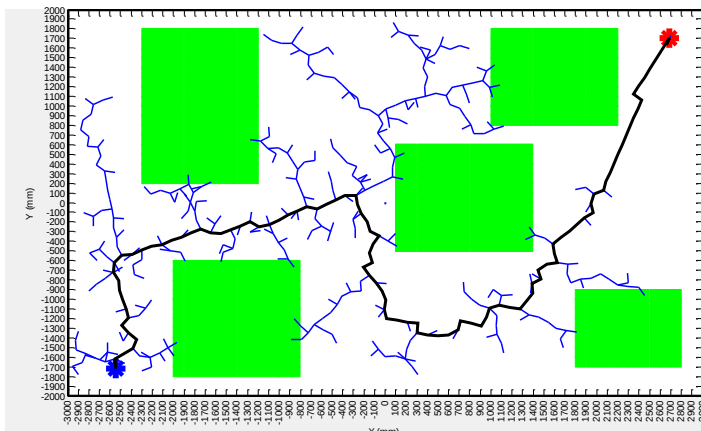


Fig. 7. Entorno prueba con obstáculos y posible ruta generada.

Según la Tabla I, se puede evidenciar que a medida que se ejecuta sucesivamente el programa, los tiempos que gasta son diferentes. Por ejemplo, en la Fig. 7. las ramas de azul, son trayectorias generadas con los puntos aleatorios que no funcionaron debido a que no encontraron algún camino despejado. En esa ejecución, el tiempo de ejecución no es tan prolongado. En cambio como se puede observar en la Fig. 8, la planeación de la ruta en ese entorno fue compleja, ya que se crearon varios caminos aleatorios que recorrieron la totalidad del espacio navegable. Por consiguiente, en este último caso es donde el programa tiene una duración más extensa debido a que surgieron varias posibilidades de camino que no funcionaron haciendo perder tiempo en ejecución del algoritmo.

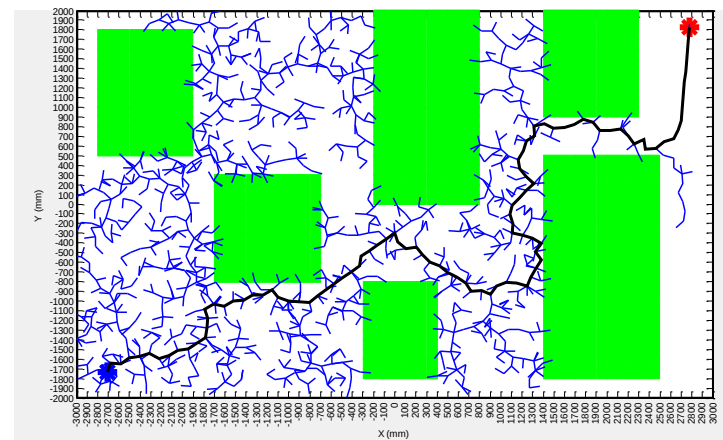


Fig. 8. Creación de posible ruta con ramas generadas en cantidad.

Además, la eficiencia del programa depende también del nivel de dificultad que tiene el espacio en donde se va a desplazar el robot. En las Fig. 7 y 8, se crea un ambiente de nivel medio causando que el algoritmo actué con un tiempo considerable. Pero si se ve la Fig. 9, la dificultad cambia, es menor y por lo tanto, el tiempo que invertirá en la búsqueda de una ruta es más rápido según la Tabla II.

TABLA II
TIEMPOS GASTADOS DEL ALGORITMO PARA PLANEAR LA RUTA EN UN ESPACIO SENCILLO

Nº Iteración	1	2	3	4	5
Tiempo gastado	0.368	0.916	1.535	0.880	3.493

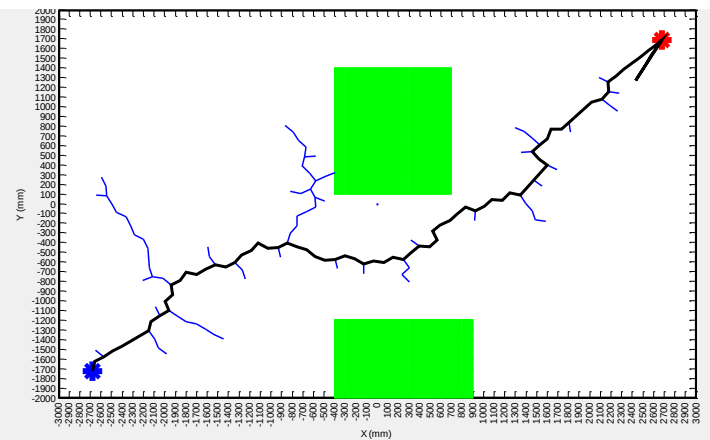


Fig. 9. Creación de posible ruta con dificultad menor.

Como se puede evidenciar en la Tabla II, la diferencia en tiempo que se gastó de un espacio complejo a unos menos complejos es grande. Por lo tanto, si el ambiente en donde se va a movilizar el robot presenta varios obstáculos, su ejecución aumentará de tiempo.

V. CONCLUSIONES

El estudio del estado de arte que se basaba en la metodología de planeación y evasión de obstáculos arrojó muchos caminos para trabajar, pero luego de muchos estudios

se escogió el método de la RRT el cual brindaba ciertas ventajas con respecto a los otros algoritmos trabajados. A lo largo del estudio del estado del arte, se pudo observar que este es un tema que ha sido abordado por muchas personas, se puede encontrar bastante documentación acerca planeación y evasión ya que tiene muchos campos de acción en la robótica.

La caracterización brindada por el estudio del estado de arte, muestra que la eficiencia de un algoritmo basado en grillas, se determina por la relación que hay entre el número total de grillas del ambiente y el número de grillas utilizadas en la ruta. Esta apreciación permite conocer la efectividad del algoritmo si se va a utilizar en una situación real.

De la verificación de los tiempos de procesamiento, se demostró que el algoritmo puede ser usado en aplicaciones de tiempo real. Tiene la característica principal de ser rápido al momento de planear una ruta y evadir obstáculos con destino a su objetivo. La desventaja del algoritmo es que no tiene la capacidad de escoger la mejor ruta para llegar a su punto final. Esto hace que cada vez que calcule una ruta lo haga de manera diferente y en tiempos distintos, aun así sea el mismo entorno.

REFERENCES

- [1] Kitano, H., Asada, M., Kuniyoshi, Y., Noda, I., & Osawa, E. (1997, February). Robocup: The robot world cup initiative. In *Proceedings of the first international conference on Autonomous agents* (pp. 340-347). ACM.
- [2] Wisspeintner, T., Van Der Zant, T., Iocchi, L., & Schiffer, S. (2009). RoboCup@ Home: Scientific competition and benchmarking for domestic service robots. *Interaction Studies*, 10(3), 392-426.
- [3] Stuckler, J., & Behnke, S. (2009, December). Integrating indoor mobility, object manipulation, and intuitive interaction for domestic service tasks. In *Humanoid Robots, 2009. Humanoids 2009. 9th IEEE-RAS International Conference on* (pp. 506-513). IEEE.
- [4] Elshamli, A., Abdullah, H. A., & Areibi, S. (2004, May). Genetic algorithm for dynamic path planning. In *Electrical and Computer Engineering, 2004. Canadian Conference on* (Vol. 2, pp. 677-680). IEEE.
- [5] Brian Schwab. (2009). *AI game engine programming*. Cengage Learning.
- [6] Bruce, J., & Veloso, M. (2002). Real-time randomized path planning for robot navigation. In *Intelligent Robots and Systems, 2002. IEEE/RSJ International Conference on* (Vol. 3, pp. 2383-2388). IEEE.
- [7] Awerbuch, B., & Gallager, R. G. (1987). A new distributed algorithm to find breadth first search trees. *Information Theory, IEEE Transactions on*, 33(3), 315-322.
- [8] Hachour, O. (2008). Path planning of Autonomous Mobile robot. *International journal of systems applications, engineering & development*, 2(4), 178-190.
- [9] Avadhanula, V. K., Lingala, N. M., Chandrasekaran, P., Mada, V., Luo, R., & Namireddy, H. R. Navigation and path planning for robotics.

ROBOT SEGUIDOR DE LINEA, MODO SOLUCIONADOR LABERINTO

Andrés Delgado Díaz, Carlos Humberto Esparza.

Semillero de Robótica ROBUTS, Unidades Tecnológicas de Santander – UTS

Resumen— Este trabajo plantea la elaboración de un prototipo de robot seguidor de línea en modo solucionador de laberinto basado en un microcontrolador de 8 bits PIC 18F47J53. Para resolver el laberinto se implementa el algoritmo de búsqueda Tremaux empleando el giro siempre a la izquierda y un método de almacenamiento vectorial en forma de pila, el cual demostró que presenta buenos resultados al encontrar la ruta de salida en todas las pruebas realizadas. Este robot se construye como primer modelo del semillero de Robótica ROBUTS de la UTS, con el objetivo de disponer de una plataforma actualizable para proyectos futuros.

Palabras clave— Robot seguidor de línea, Algoritmo de Tremaux, Almacenamiento vectorial, microcontrolador 8 bits, sensor infrarrojo.

I. INTRODUCCIÓN

EN este documento se expone la elaboración de un prototipo seguidor de línea modo solucionador de laberintos donde se analiza paso a paso los componentes que este diseño debe llevar para su implementación tanto lo físico como en lo digital, partiendo de factores claves que se deben tener en cuenta cuando se entra en un laberinto con la seguridad de poder salir de este. Para esto se evaluaron factores que puedan ser una ventaja al elaborar este prototipo, partiendo de que se busca no solo que sea eficiente sino también que sea de bajo costo.

Como factor principal en el desarrollo del proyecto se planteó la evaluación de un algoritmo para llevar a cabo la solución del laberinto, seleccionando la técnica planteada por Tremaux en [1], empleando el giro siempre a la izquierda.

Este artículo se presenta en diferentes secciones. En la primera parte se describe en qué consisten los robots solucionadores de laberintos. La segunda parte presenta el diseño mecánico y la elaboración del robot. La tercera sección muestra en detalle el diseño electrónico, los diagramas esquemáticos y la ubicación de los componentes en el diseño PCB final. La cuarta parte presenta la descripción del desarrollo de los algoritmos empleados y por último en las secciones cinco y seis se detallan los resultados y las conclusiones del trabajo.

II. ROBOTS Y LABERINTOS

Los robots son entidades virtuales o mecánicas artificiales, que se encargan de cumplir una tarea programada previa y adecuadamente. En el caso de los robots seguidores de línea, estos son generalmente carros, los cuales con un sistema de sensores adecuado cumplen la función básica de seguir una línea, blanca o negra, dentro de una pista. Adicional al seguimiento de la línea, a estos robots se les pueden incluir funciones adicionales mientras ejecutan la primera, es el caso de los robots seguidores de línea que evitan obstáculos [2], [3] o que recogen objetos etc. En este caso la función secundaria sería la de recorrer un laberinto y posteriormente resolverlo, razón por la que se debe implementar un algoritmo que le permita memorizar las rutas y tomar decisiones mientras se mueve a través del laberinto.

Para poder desplazarse por el laberinto con la seguridad de poder salir de este existen muchos métodos [1], [4]–[6], pero el más común y uno de los más confiables es conocido como el algoritmo de Tremaux, que básicamente especifica que al entrar en un laberinto si se permanece junto a una pared (izquierda o derecha), sin despegarse de ella sin importar los cruces o intercepciones que puedan haber, se terminará encontrando la salida de dicho laberinto.

De esta manera, al lograr realizar este proceso con éxito, se aprovecha el planteamiento de Tremaux para que el robot puede recordar el camino definitivo eliminando los cruces o intercepciones innecesarias mediante estados de memoria. Parte del éxito de esta labor depende de una buena interpretación del camino recorrido, pues un laberinto común cuenta como varios tipos de cruces, giros, o trayectorias, como se muestra en la Fig. 1, luego para una buena lectura de la pista o de los caminos se requerirá un buen sistema de sensores y una buena interpretación de los mismos.

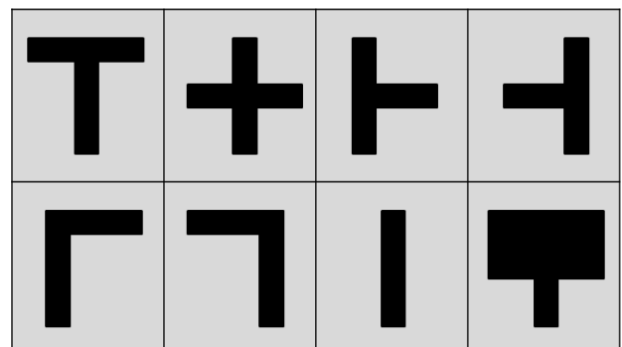


Fig. 1. Combinaciones y bifurcaciones de laberintos.

Este proyecto se desarrolla al interior del semillero de robótica ROBUTS de las Unidades Tecnológicas de Santander UTS, en la modalidad de proyecto de grado de Tecnología en Electrónica y orientado por el docente Carlos Esparza.

e-mail: andres__delgado@hotmail.com

III. DISEÑO MECÁNICO

Cuando se hace el diseño mecánico o físico del prototipo se busca que sea robusto tanto en lo físico como en lo digital. Para esto se deben tener en cuenta factores como programabilidad, autonomía y habilidad [7]. Conociendo esto, el diseño comenzó por una estructura hecha en acrílico el cual es un material ligero, resistente, económico y trabajable; se utilizaron un par de motores con caja reductora los cuales le dan suficiente fuerza al vehículo para moverse sin ningún problema acompañados de una rueda loca la cual le permitirá realizar giros sobre sí mismo. Como se observa en la Fig. 2, se decidió por un diseño de dos niveles, debido a que se puede aprovechar mejor el espacio sin que unas piezas afecten a las otras, siendo el primer piso la base para los sensores, los motores, la rueda loca y la batería; y el segundo nivel únicamente para el circuito del control donde se encuentra el microcontrolador, las etapas de regulación de voltaje y la digitalización de los sensores. Esto con el objetivo de aprovechar el espacio y sin importar que tenga tantos elementos quede que un tamaño y diseño compacto.



Fig. 2. Seguidor.

IV. DISEÑO ELECTRÓNICO

A. SENSORES

En esta clase de robots los sensores detectan la línea a seguir por medio de tecnología óptica. Los más comunes a usar son los sensores de luz infrarroja, compuestos de un LED infrarrojo y un fototransistor.

Para este proyecto se decidió implementar los sensores ópticos de referencia QRD1114, los cuales no solo son simples en su manejo, también su encapsulado incluye ambos elementos (emisor y receptor), además de ser más pequeño en comparación con otros sensores comúnmente usados en la robótica como el CNY70, cuyo costo de compra es muy accesible.

El diseño para la implementación de los sensores se puede observar en la Fig. 3, el cual consiste en el uso del sensor en configuración *lógica activa*, es decir, si el sensor está en presencia de blanco su salida será baja y si está en presencia de negro su salida será alta, y acompañando al sensor se presenta un amplificador operacional en configuración *detector de nivel inversor*, el cual se encargará no solo de digitalizar la señal emitida por el fototransistor, ya que este emite una señal con una componente analógica, sino que

también se encarga de una calibración que estará relacionada con la distancia entre el sensor y la superficie de trabajo.

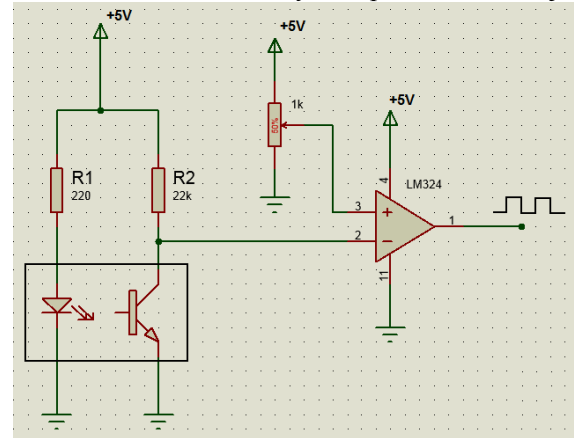


Fig. 3. Circuito de implementación óptico.

Para el uso de los sensores en conjunto, se optó por un diseño de posicionamiento basado en las posibles combinaciones que pudiera tener el laberinto y así los sensores pudieran leer e interpretar fácilmente dichas combinaciones. En la Fig. 4, se aprecia el posicionamiento de los sensores. Cada uno de ellos cumple una función específica, donde los sensores SL se encargan del posicionamiento del móvil en la línea; Sm, se encargan de corroborar la llegada a la salida del laberinto; Sb se encargan de detectar las bifurcaciones o giros en la pista y con Sc puede determinar qué tipo de bifurcación es entre las cuatro posibilidades mencionadas en la Fig. 1.

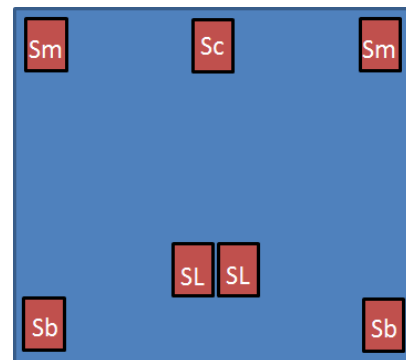


Fig. 4. Posicionamiento de los sensores.

B. MICROCONTROLADOR

Un microcontrolador es un circuito integrado, capaz de realizar una función lógica que se le programe. Está compuesto de varios bloques funcionales, los cuales realizan diferentes tareas específicas. Los microcontroladores incluyen en su interior las tres principales unidades funcionales de una computadora: unidad central de procesamiento (CPU), memoria (datos y programa) y periféricos de entrada/salida.

Para la ejecución del algoritmo de solución del laberinto se usó el módulo EMm47j53, que es el sistema de desarrollo más pequeño que existe para el microcontrolador PIC18F47J53 de la empresa Microchip. Algunas características de este microcontrolador que servirán para la ejecución del prototipo, son:

- Velocidad de oscilador máxima de 48MHz con bus interno de 12MHz.
- Puerto USB Full-Speed 2.0.

- 128KB de memoria Flash, 4KB de memoria RAM.
- 4 temporizadores de 8 bits y 4 temporizadores de 16 bits.
- 7 Canales PWM
- Puertos paralelos de entrada y salida de 8 bits
- 4 interrupciones externas programables

Para la ejecución de la aplicación planteada para el robot seguidor de línea se utiliza el módulo EMm47j53 porque proporciona una facilidad de conectividad al momento de programar el microcontrolador, pues tiene conexión directa al ordenador mediante un cable USB-mini USB.

Mediante la utilización del software *MPLAB IDE* junto a *Microchip C18 Toolsuite*, permite realizar el programa para el microcontrolador en lenguaje C++, lo cual hace al programa fácil para su comprensión. Para la programación del módulo se utiliza la aplicación *HIDBootLoader*, el cual es fácil de manejar y no requiere mucha memoria del procesamiento del ordenador.

C. ALIMENTACION

El robot obtiene la energía que necesita para su funcionamiento de baterías de las cuales se busca siempre que sean lo más eficientes (duraderas) posibles. En el campo de la robótica, las fuentes de energía más usadas son las baterías de polímero de litio o Lipo, debido a alta capacidad de carga [8]. Dentro de las ventajas en el uso de este tipo de baterías esta: el grosor se reduce en milímetros comparada con otras baterías; tienen diferentes empaquetados; su bajo peso; no necesitan mantenimiento; bajo índice de autodescarga. Adema a estas baterías se les dan ciertas recomendaciones en su cuidado para la prolongación de vida útil, como lo es no descargarlas totalmente, recargarlas con el cargador adecuado, no perforarlas y, desecharlas adecuadamente e inmediatamente después de notar anomalías tanto en su funcionamiento como en su apariencia.

D. POTENCIA

La potencia es la sección encargada de apoyar al microcontrolador en la manipulación de los motores ya que este no puede controlarlos directamente, pues no está diseñado para manejar potencia (corrientes mayores a 20 mA), para lo cual se emplea un puente H, que es un dispositivo eléctrico de potencia el cual depende de algunos estímulos para controlar la dirección de giro o estado de los motores (activado, desactivado, adelante, atrás). Dichos estímulos son proporcionados por el microcontrolador. Como se muestra en la Fig. 5, idealmente un puente H tiene 4 interruptores que dependiendo de sus posiciones le darán una dirección o un estado al motor.

E. CIRCUITO IMPRESO

El desarrollo de placas de circuito impreso [9], [10], también conocidos como PCB (*Printed Circuit Board*), se utilizan en las universidades, empresas y grupos de investigación para la fabricación y/o modificación de equipos con funciones específicas. Para el caso de este seguidor de línea, se diseñaron e implementaron dos circuitos en específico como se observa en la Fig. 6.

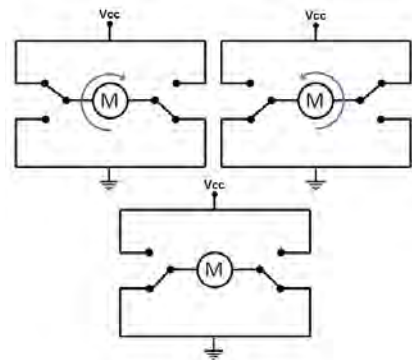


Fig. 5. Funcionamiento de un puente H.

La primera placa es de control, donde se ubica el módulo del microcontrolador y se integra toda la electrónica de digitalización, potencia y alimentación; la segunda placa corresponde al circuito de censado donde se ubican los sensores QRD1114 con sus respectivas resistencias limitadores siendo la primera etapa de la Fig. 3.

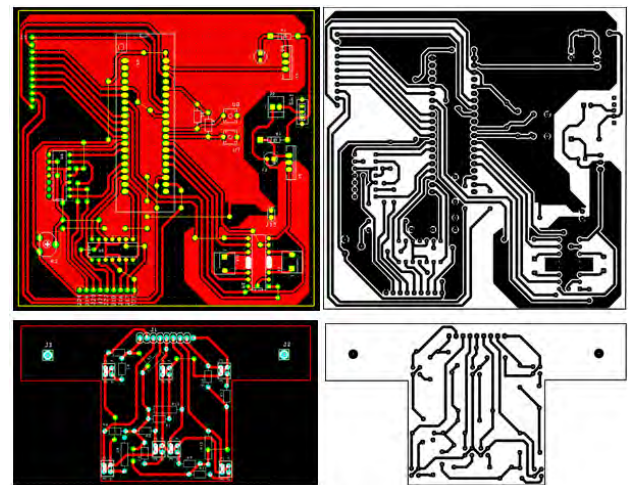


Fig. 6. PCB implementados.

V. SOFTWARE

El algoritmo Tremaux diseñado para solucionar el laberinto se basa en tres etapas representadas por los diagramas de flujo presentados en la Fig. 7, las cuales consisten en reconocimiento, almacenamiento y ejecución. En el reconocimiento el programa se inicia y determina qué dirección y sentido debe tomar a medida que avanza por el laberinto, siguiendo el principio de Tremaux, donde siempre que pueda girar con respecto a la izquierda a menos que solo pueda girar a la derecha.

La etapa almacenamiento consiste en guardar las decisiones que se toman a través del laberinto. Este almacenamiento se realiza en un vector empleado como una pila de memoria la cual recordara si a cruzado más de una vez por la misma bifurcación y en qué dirección lo va haciendo. Esto con el fin de eliminar caminos innecesarios. La tercera etapa, ejecución, se activa una vez el robot ha llegado a la salida del laberinto, para lo cual requiere presionar un pulsador para continuar con la ejecución. Esta etapa leerá la posición de memoria almacenada en el vector cada vez que se llegue a una bifurcación, incrementando el puntero y de esta

manera ejecutando correctamente la solución encontrada al laberinto.

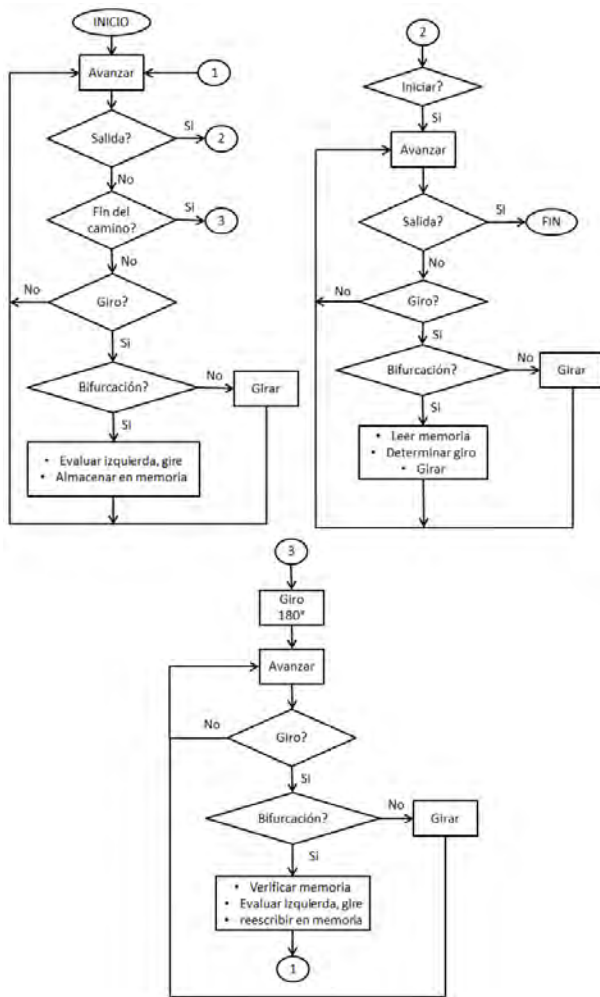


Fig. 7. Diagramas de flujo. Superior izquierda corresponde al reconocimiento, superior derecha a la ejecución, Inferior almacenamiento.

VI. RESULTADOS

Para verificar el funcionamiento del algoritmo se construyó el laberinto de la Fig. 8 en una lona de 150 x 190 cm. En este laberinto el ancho de cada línea negra es de 2 cm y la separación entre cada línea es de 4cm.

Para la validación del algoritmo de solución del laberinto se realizaron 5 pruebas en 5 diferentes posiciones de salida. Las primeras pruebas arrojaron información adecuada cuando se generaban problemas en la solución del laberinto debido a que los giros de 90° no se realizaban correctamente y en algunos casos ocasionaba error en el posicionamiento de la trayectoria ubicándose en otra línea que fuera del trayecto que estaba realizando.

Para eliminar este problema se implementó una modificación a la ubicación de los sensores, de manera que estos quedaran en la misma línea de eje del carro seguidor. A su vez que se modeló estadísticamente el comportamiento en tiempo de los giros del robot para establecer cuando se ha realizado un giro de 90° en cualquier dirección o un giro de 180°, necesario cuando se llega a un camino sin retorno.

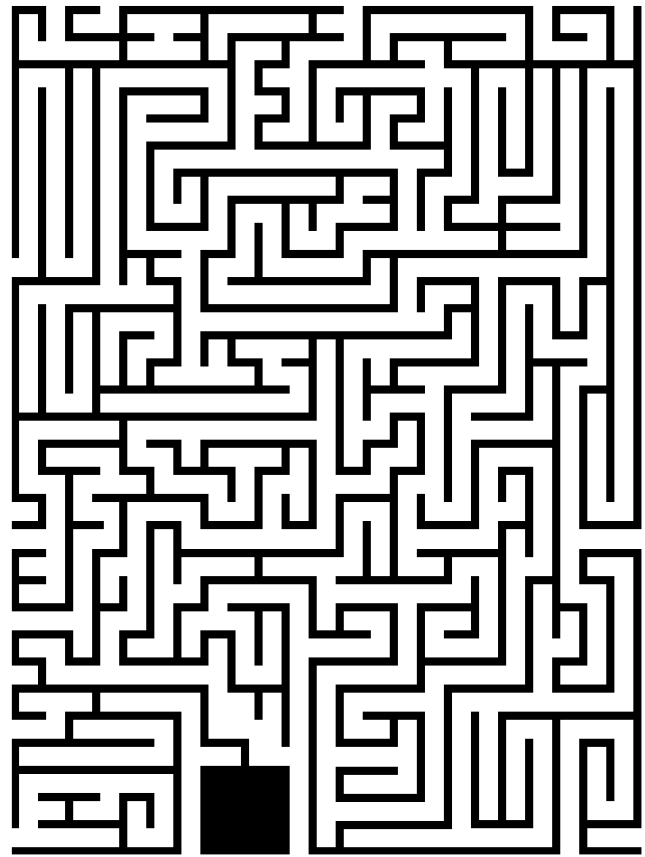


Fig. 8. Laberinto usado para las pruebas

Una vez se realizaron los ajustes, el algoritmo empleado demostró ser robusto en el almacenamiento de las trayectorias correctas del laberinto, realizando la solución en todas las 25 pruebas finales.

En las pruebas se encontró que debido al laberinto, en algunas ocasiones el robot puede almacenar rutas que no son óptimas, tal como se muestra en la Fig. 9, en la que al lado izquierdo se muestra en color rojo el recorrido que hace el robot en la búsqueda de la salida, saliendo desde la parte inferior izquierda del laberinto, y al lado derecho se muestra en color azul la ruta que se almacenó. En esta última se aprecia como la ruta más corta era girando hacia la derecha, pero al emplear un giro siempre a la izquierda, partiendo del planteamiento de Tremaux, el recorrido almacenado es extenso y en varias ocasiones la ruta almacenada traza bucles. Sin embargo, a pesar de estos resultados, se comprobó que el planteamiento de Tremaux funciona correctamente en esta aplicación.

Teniendo en cuenta que este trabajo es la primera plataforma de robot seguidor en modo solución de laberintos de la UTS, se plantean nuevos proyectos relacionados que incluyan plataformas hardware con mayor capacidad de procesamiento basadas en dsPICs, en las cuales se puede llevar a cabo el procesamiento avanzado de datos, en el caso de incluir señales de ultrasonido para realizar un sonar y de esta manera reconstruir un laberinto tridimensional.

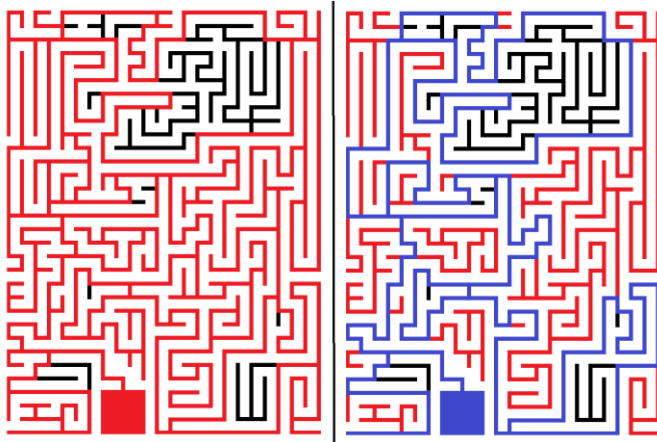


Fig. 9. Resultado de la ruta realizada saliendo de la esquina inferior izquierda. A la izquierda la ruta de aprendizaje y a la derecha la ruta almacenada.

Otro posible trabajo futuro en este campo se puede realizar con sistemas embebidos completos como las plataformas BeagleBoard, las cuales son computadores de pequeño tamaño a los cuales se les puede instalar un sistema operativo e instalar las librerías de visión por computador OpenCV para realizar un análisis similar al de los ultrasonidos pero con cámaras conectadas al robot móvil.

En un corto plazo se obtendrá un modelo matemático del comportamiento cinemático del robot, con el fin de implementar algoritmos de control, como controlador PID o adaptativo, con la finalidad de minimizar los errores en el desplazamiento, como cuando el robot pierde tracción en una de sus llantas y se desvía de la línea, o no realiza a la perfección las curvas de 90°. Así mismo, se espera poder participar en concursos de robótica en la modalidad de solucionador de laberintos para poner a prueba el robot.

VII. CONCLUSIONES

Con el desarrollo de este trabajo se validó que la técnica de Tremaux para la solución de laberintos puede ser aplicada al área de la robótica, mediante la implementación de un algoritmo que siempre gira a la izquierda. Esta técnica al ser complementada con el almacenamiento de las trayectorias en un vector, de la forma que se describe en los diagramas de flujo, permite resolver un laberinto y posteriormente ejecutar la ruta almacenada para llegar a la salida del mismo.

Aunque inicialmente se planteó que se almacenara cada curva que se realizaba sin importar si era una bifurcación en la trayectoria, se eliminó este almacenamiento ya que guardaba información redundante y llenaba rápidamente el vector de memoria. A su vez, debido a este inconveniente se estableció un vector de tamaño 200 que además de almacenar el giro realizado en una bifurcación (izquierda, derecha, adelante), almacena la información de si va o viene por la trayectoria, de manera que cuando llega a un camino sin retorno hace el giro de 180° y al llegar a una bifurcación puede determinar por cual ruta es por la que venía antes de entrar al camino sin salida. Con esto se aprovecha mejor el tamaño de 8 bits de cada posición del vector.

VIII. REFERENCIAS

- [1] J. A. Gómez Cánovas, "Robotica movil. estudio y caracterizacion del robot movil KJUNIOR desarrollo de aplicacion de robot laberinto." 2011.
- [2] V. J. Lumelsky, "A comparative study on the path length performance of maze-searching and robot motion planning algorithms," *Robot. Autom. IEEE Trans.*, vol. 7, no. 1, pp. 57–66, 1991.
- [3] E. F. Salinas González, "Desarrollo de algoritmos para la planeación y optimización de rutas de un robot móvil en ambientes con obstáculos," 2013.
- [4] M. O. Schneider and J. L. García Rosa, "Neural Labyrinth Robot—Finding the Best Way in a Connectionist Fashion," in *IV Encontro Nacional de Inteligência Artificial (ENIA'03), Campinas, Brazil*, 2003, pp. 1751–1760.
- [5] Q.-H. Wyard-Scott, L. and Meng, "A potential maze solving algorithm for a micromouse robot," in *Communications, Computers, and Signal Processing, 1995. Proceedings., IEEE Pacific Rim Conference on*, 1995, pp. 614–618.
- [6] R. A. Sobrevilla Figueroa, "Diseño y construcción de un Robot móvil para resolver laberintos," Universidad Nacional Autónoma de México, 2009.
- [7] S. P. Osorio, L. A. Alvanez, and M. J. Betancur, "Diseno e Implementacion de un Robot Didactico para Resolucion de Laberintos." Medellin, Colombia, pp. 1–12, 2013.
- [8] C. P. Ordóñez, "Estudio de baterías para vehículos eléctricos," *enterprise.uc3m.es*. Leganes, Madrid, pp. 1–105, 2011.
- [9] J. M. García, "Fabricación de circuitos impresos," *garcia-cuervo.net*.
- [10] J. F. Pérez, R. Salas, and J. Ramírez, "Técnicas de diseño, desarrollo y montaje de circuitos impresos." Merida, Venezuela.

IX. BIOGRAFÍAS



Andrés Delgado Díaz, nació en Floridablanca, Santander, Colombia el 3 de Junio de 1993. Recibió su título de Bachiller Tecnico Ambiental, en el Colegio Metropolitano del Sur de Floridablanca en el año 2010. En 2011 ingresa a las Unidades Tecnológicas de Santander a estudiar Tecnología en Electrónica. En segundo semestre ingresa al semillero ROBUTS, pero debido a sucesos personales toma la decisión de retirarse del semillero el mismo semestre. En 2014 retoma su actividades dentro del semillero. Actualmente se encuentra finalizando su carrera de Tecnología en electrónica. Sus metas dentro del área de la electrónica consisten en aprender e implementar sistemas y técnicas de robótica, sonido e iluminación. (andres_delgado@hotmail.com).



Carlos Humberto Esparza Franco Nació en Bucaramanga, Colombia, en 1980. Se graduó como ingeniero Electrónico en la Universidad Industrial de Santander en 2003. Sus áreas de interés son el procesamiento digital de imágenes, sistemas de control, reconocimiento de patrones, síntesis de las expresiones faciales, y aprendizaje de máquina. Ha trabajado durante cinco años como docente investigador en las Unidades Tecnológicas de Santander y es líder del Grupo de Investigación en Control Avanzado – GICAV, registrado y reconocido por Colciencias. Actualmente se encuentra realizando una maestría en Ingeniería Electrónica en la Universidad Industrial de Santander en el área de investigación de síntesis de las expresiones faciales, trabajando en el grupo de Óptica y Tratamiento de Señales – GOTS.

Exoesqueleto para control de brazo robótico

Ángel Yecid Henao B., Christian Stiven Montoya C., Robinson Jiménez Moreno

GRITEL – Fundación Universidad Autónoma de Colombia

Calle 12B No 4-31, Bogotá, Colombia

angel.henaobedoya.co@ieee.org, nevits.mo@ieee.org, jimenez.robinson@fuac.edu.co

Resumen—El presente artículo expone el desarrollo de un sistema tipo exoesqueleto, que permite por medio de los movimientos naturales de una persona, controlar un brazo robótico. Se utiliza la captura de señales por medio de un sistema de sujeción con correas de velcro, las cuales por medio de un potenciómetro acoplado llevan una señal del movimiento del operario al robot. Se lograron manipular dos grados de libertad mediante señales PWM, con sistemas embebidos por medio del microcontrolador M430G2553 de Texas Instruments.

Abstract—This paper presents the development of an exoskeleton type system, which allows through natural movements of a person to control a robotic arm. Capturing signals are used by a fasteningsystem with Velcro straps, which by means of a potentiometer coupled to carry a signal to the robot operator movement. It was possible to manipulate two degrees of freedom by means of PWM signals, with embedded systems via the microcontroller by Texas Instruments M430G2553.

Keywords—control, exoesqueleto, brazo robótico

I. INTRODUCCION

La robótica industrial hoy día ayuda a la manipulación automática, mediante sistemas servo-controlados, reprogramables, capaces de posicionar y orientar piezas, materiales o dispositivos especiales, en la mayoría de los casos siguiendo trayectoria variables y reprogramables. En este trabajo se busca desarrollar un prototipo de exoesqueleto que comande a nivel industrial o no, un brazo robótico que facilite la tarea de realización de esfuerzos por parte de un trabajador o persona con alguna falencia o discapacidad física, le brinde de igual forma protección frente a labores de riesgo como puede ser un proceso de soldadura de puestas a tierra, puesto que al soldar los operarios podrían verse afectados por quemaduras.

Los brazos robóticos tienen campo de aplicación en diferentes áreas [1] y para su control se utilizan diferentes técnicas [2]. En [3] se utilizan técnicas de visión de máquina para controlar un brazo robótico en tareas de operación superficial, en [4] se utiliza un sensor Kinect para identificar un brazo robótico en un escenario y los posibles obstáculos presentes en el espacio de trabajo del mismo.

De igual forma los sistemas basados en exoesqueleto han sido ampliamente usados y existen varios desarrollos [5], la mayoría de ellos en función a incrementar la capacidad de una persona en realizar cierta tarea, por ejemplo fuerza. En [6] se presenta una forma de escoger sensores para ser implementados en un exoesqueleto.

En este trabajo se proyecta el diseño gradual de un exoesqueleto de miembro superior. La primera fase de este trabajo consiste en diseñar e implementar una interfaz que por medio de un sistema de sujeción al brazo de una persona permita determinar y transmitir los movimientos a un brazo robótico tele comandado. En adelante el documento está organizado de la siguiente forma: la Sección 2 describe los algoritmos de captura de movimiento, la Sección 3 presenta el análisis de resultados y finalmente en la Sección 4 las conclusiones.

II. REPLICA DEL MOVIMIENTO

El robot utilizado corresponde a un robot angular tipo antropomórfico de 5 grados de libertad, donde cada grado de libertad es controlado por un servomotor. Inicialmente se opera solo dos grados de libertad correspondientes al codo del robot, el cual replicará el movimiento del codo del operario y de igual forma el gripper del robot, controlado por medio de los dedos índice y pulgar del operario, en un movimiento tipo pinza. La Fig.1 ilustra el brazo robótico de prueba.

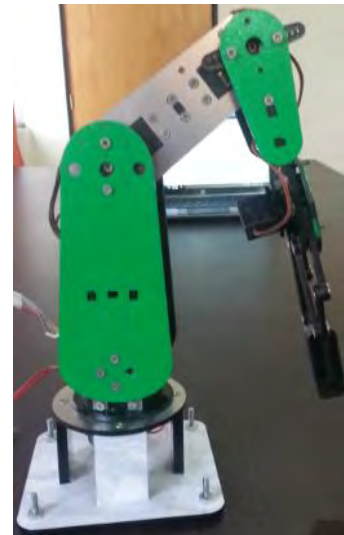


Fig 1. Brazo robótico empleado.

El sistema de control se basa en un microcontrolador, del cual se emplean dos canales de conversión analógica a digital. Estos leen dos potenciómetros que relacionan el movimiento angular del codo y de la apertura de los dedos del operario, entregando un voltaje proporcional a dicho movimiento. La posición del servomotor correspondiente a cada grado de libertad utilizado, se basa en el código resultante de la conversión analógica, el cual se obtiene mediante la ecuación Eq. (1)

$$codigo = \frac{volt_medido}{resol_convAD} \quad (1)$$

Debido a que los servomotores se controlan mediante el módulo de PWM que trae el microcontrolador utilizado, se asigna un ancho de pulso en el rango de operación del servo, según el código de la conversión obtenida. La Fig 2 ilustra la relación entre el ancho de pulso y el ángulo de posición resultante, según la operación típica de un servomotor mediante PWM.

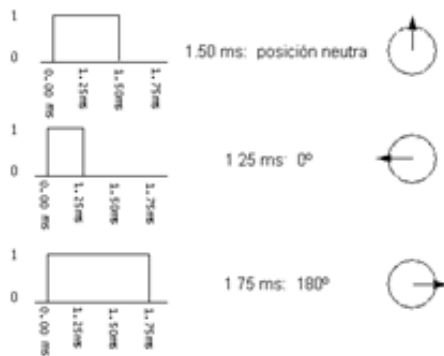


Fig 2. Operación del servomotor.

El sistema se simula mediante el esquema general del circuito que se ilustra en la Fig.3, en donde se aprecian los dos potenciómetros utilizados, uno para representar la captura del movimiento angular del codo del humano (CODO_H) y el otro para el control del movimiento de la pinza (PINZA_H). Como se mencionó, el microcontrolador opera la lectura de los potenciómetros sobre el servomotor del codo del brazo robótico (CODO_R) y de la pinza del mismo (PINZA_R).

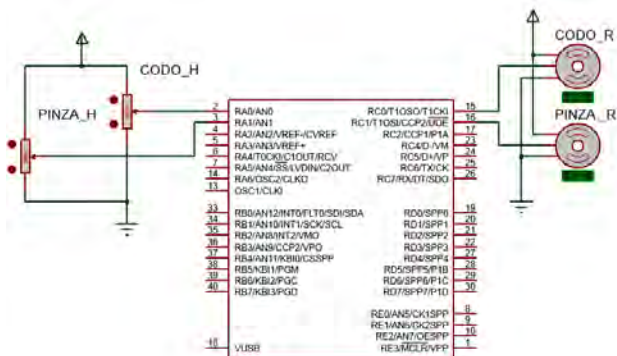


Fig 3. Circuito general.

La Fig. 4 ilustra el dispositivo de sujeción del codo, en ésta se puede apreciar el velcro del brazo y del antebrazo del operario.



Fig 4. Dispositivo de sujeción codo.

La Fig. 5 ilustra el dispositivo de sujeción para control de la pinza, en ésta se puede apreciar el velcro del dedo índice y del meñique del operario.

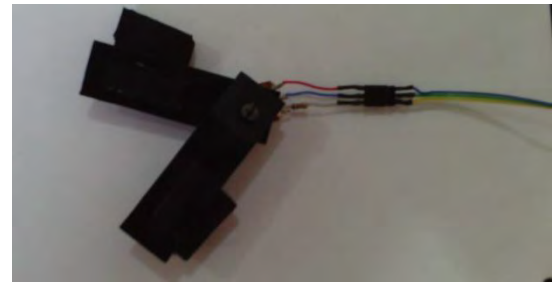


Fig 5. Dispositivo de sujeción pinza.

La Fig. 6 ilustra la tarjeta Launchpad MSP430 de Texas Instruments utilizada, la cual opera en función con el microcontrolador M430G2553.

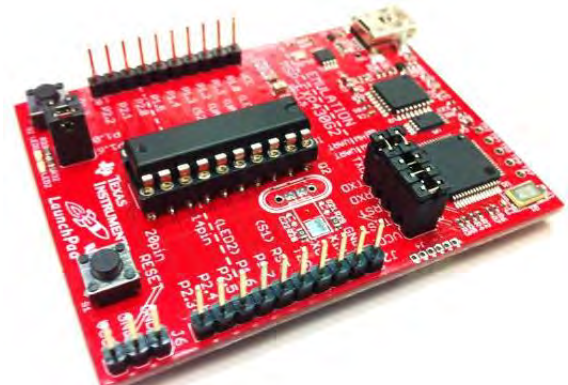


Fig 6. Launchpad MSP430 de Texas Instruments.

La Fig. 7 ilustra el diagrama de flujo del algoritmo implementado.



Fig 7. Diagrama de flujo.

III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El marco experimental se caracteriza por el uso de un brazo robótico de cinco grados de libertad, basado en servomotores. El equipo de procesamiento se basa en un launchpad MSP430 el cual contiene un microcontrolador M430G2553. Se logró obtener el control del brazo robótico, observando una variación mínima en la respuesta del movimiento. La conversión análoga/digital de la señal obtenida mediante el sistema de senseo basado en potenciómetro, es integrada en el microcontrolador M430G2553, el cual genera la señal PWM que controla el movimiento de los dos servomotores instalados en el brazo de prueba.

En la Fig 8, se ilustra el dispositivo final de control del brazo robótico, el cual se adhiere al brazo del operario, como lo hace un exoesqueleto, para dar rigidez a la estructura se utilizan guías de acrílico, una para el brazo, una para el antebrazo, una para el dedo índice y otra para el pulgar.



Fig 8. Control final del brazo

En la Fig. 9 y la Fig. 10, se ilustran pruebas para el control de la pinza del brazo, obteniendo una réplica del movimiento tanto para apertura como para cierre.

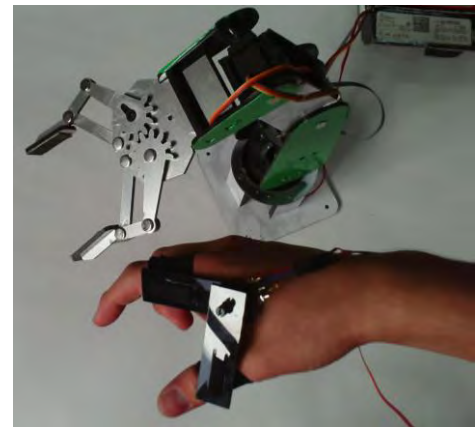


Fig 9. Apertura de la pinza

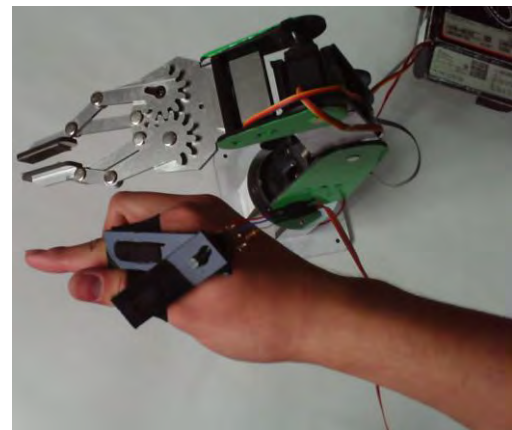


Fig 10. Cierre de la pinza

En la Fig. 11 y la Fig. 12, se ilustran pruebas para el control del brazo, obteniendo un movimiento conjunto tanto del codo como de la pinza.

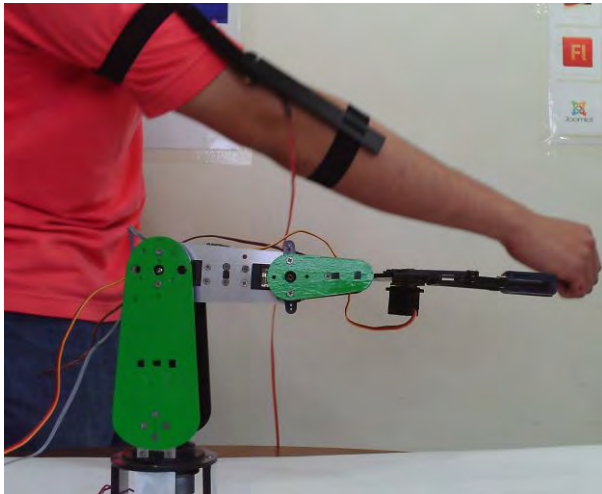


Fig 11. Control final del brazo



Fig 12. Control final del brazo

IV. CONCLUSIONES

Se logró obtener un brazo robótico teleoperado en función a los movimientos del operador, el tiempo de respuesta conseguido permite concluir que los retardos de procesamiento y comunicación son mínimos y el sistema en general opera en tiempo real.

La precisión obtenida permite replicar los movimientos del usuario con un margen de error incremental según la magnitud del movimiento deseado, se concluye que esto se debe a la inercia del movimiento, que aumenta al requerir un mayor ángulo de desplazamiento.

El sistema de sujeción utilizado para capturar los movimientos del usuario no ofrece incomodidad ni resistencia al movimiento, es adaptable al usuario, por lo cual es un medio adecuado que se puede utilizar en otras aplicaciones derivadas de este tipo de interfaz humano máquina.

REFERENCIAS

- [1] Bauzano, E.; Estebanez, B.; Garcia-Morales, I.; Munoz, V.F., "Collaborative Human-Robot System for HALS Suture Procedures," *Systems Journal*, IEEE, vol. PP, no. 99, pp. 1, 10. Jan. 2014.
- [2] Jimenez Moreno Robinson, Pineda Cely Cristhian, Pinzón Arenas Javier. "Diseño de un guante háptico de control para manipulador robótico teleoperado", *Revista: Ingenium, Ciencia y Tecnología*, vol 7, no 17, pp. 19-28. Agosto 2013.
- [3] Koch, H.; König, A.; Weigl-Seitz, A.; Kleinmann, K.; Suchy, J., "Multisensor Contour Following With Vision, Force, and Acceleration Sensors for an Industrial Robot," *Instrumentation and Measurement*, *IEEE Transactions on*, vol. 62, no. 2, pp. 268, 280, Feb. 2013. doi: 10.1109/TIM.2012.2214934.
- [4] Rakprayoon, P.; Ruchanurucks, M.; Coundoul, A.; "Kinect-based obstacle detection for manipulator," *System Integration (SII)*, 2011 *IEEE/SICE International Symposium on*, vol., no., pp. 68-73, 20-22 Dec. 2011.
- [5] Kiguchi, K.; Hayashi, Y., "Upper-limb tremor suppression with a 7DOF exoskeleton power-assist robot," *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, 2013 *35th Annual International Conference of the IEEE*, vol., no., pp. 6679, 6682, 3-7 July 2013.
- [6] Eduardo Oliveros A., Virgilio Quintero, Nelson Velasco T. "Selección de actuadores y sensores para el tobillo y la rodilla de emi-UMNG". *Ciencia E Ingeniería Neogranadina* ISSN: 0124-8170, v.23 fasc.1 p.61 - 75, 2013

Prototipo de dobladora de alambre con control numérico por computadora utilizando un controlador lógico programable

Parra Didier, Gutiérrez Félix, Delgado Fabio
Ingeniería Electrónica, Universidad INCCA de Colombia
Bogotá, Colombia
cristianparra8511@gmail.com
fjgutierrezb@unal.edu.co
ingfaderi@yahoo.com

Resumen— El presente artículo tiene como propósito el diseño, implementación y puesta en marcha de un prototipo de dobladora mediante control numérico por computadora (CNC) en tres (3) dimensiones, conformada por el ensamble mecánico de tres (3) servomotores que a través de los encoders que permiten el control en lazo cerrado del sistema, usando un controlador lógico programable (PLC) marca Siemens, que es el encargado de ejecutar el programa de control del proceso, en este caso para doblar el alambre de diámetro 1/8 de pulgada de acuerdo con la aplicación generada. Para ello, fue necesario diseñar programas que cumplieran con una secuencia o rutina en tiempo real y acciones autónomas para realizar el doblado del alambre utilizando las tres (3) dimensiones de acuerdo con el plano respectivo. Cabe resaltar, que se utilizó diagramas de contactos (Ladder) para el funcionamiento de cada uno de los dispositivos que conforman el sistema y cumplir con el objetivo propuesto. Además, se busca que se pueda implementar a nivel industrial en el doblado de tubería de diferentes diámetros. Finalmente, el PLC es un elemento capaz de controlar un proceso industrial, ya que su procesador y diseño robusto hacen que pueda soportar varios módulos para ejecutar una labor específica con un tiempo de respuesta de 0,04 μ s. Asimismo, se evidencia que mediante las pruebas realizadas el trabajo con servos con encoder comandados por PLC resulta ser una muy buena opción a la hora de seleccionar sistemas de control para los requerimientos indicados.

Palabras claves— Controlador Lógico Programable (PLC), lenguaje escalera, Control Numérico por Computadora (CNC), proceso.

Abstract— This article presents the design, implementation and commissioning of a prototype bender by computer numerical control (CNC) in three (3) dimensions, mechanical assembly comprised of three (3) servomotors through their encoders allow closed loop control system using a programmable logic controller (PLC) brand Simens, which is responsible for implementing the program of process control, in this case to bend the wire diameter 1/8 inch in accordance with the application generated. For this, it was necessary to design programs that met a sequence or routine in real time and autonomous actions to perform wire bending using three (3) dimensions according to the respective plane. It should be noted that contact diagrams (Ladder) was used for the operation of each of the devices that make up the system and meet the objective. Furthermore, it is intended that can be implemented on an industrial level in the bent pipe of different diameters. Finally, the PLC is an element capable of controlling an industrial process, as your processor and robust design make it can support multiple modules to perform a specific task with a response time of 0.04 μ s. Additional evidence that the tests performed by working with servos with encoder PLC led by being a very good choice when selecting a

control system for the requirements indicated.

Keywords- Programmable Logic Controller (PLC), ladder language, Computer Numerical Control (CNC), process.

I. INTRODUCCION:

A finales del siglo XX con la invención de los transistores, y circuitos integrados, se han llegado a hacer desarrollos de CNC's de diferentes tipos, en 1952 bajo el mando de John C Parson, en el MIT, se desarrolló la primera máquina fresadora de control numérico, construida con bulbos, y usando código binario con cinta perforada. En 1954 Goertz uso la Tecnología electrónica y el servo control para remplazar partes mecánicas de un Manipulador Teleoperado desarrollando el primer sistema de telemanipulación con servo control bilateral, creado para la industria nuclear reduciendo así un alto riesgo para los operadores. En 1972 se desarrolló la primera máquina dobladora de 4 rodillos (Haeusler) y en 1994 la compañía italiana Salvagnini's introduce su cortadora laser (CNC).

En el 2002 Salvagnini introducen el ROBO former, el primer robot doblador avanzado que utiliza un software intuitivo capaz de dirigir movimientos de carga del robot, y acciones complejas de doblaje y carga. Estas son tan solo algunas citaciones de muchas que han abierto camino al siglo XXI con robots CNC que suelen hacer tareas que demandan una gran precisión [1].

Mediante el presente informe se diseñara y construirá una dobladora de Tubería CNC tomando como base las existentes y asequibles para el mercado en Colombia. Para ello, es necesario tener un programa robusto que supla las necesidades de recopilación de datos en tiempo real, acciones autónomas y dinámicas, junto con órdenes establecidas por el usuario.

En el prototipo se utiliza como elemento único de control un PLC (Control lógico Programable), con tres motores que en conjunto con los Encoders se usaran para cerrar el lazo de control. Como interface humano máquina se utilizara una Tablet con comunicación Wi-fi y protocolo de Datagrama del Usuario (UDP) para que la máquina siga las coordenadas que digita el usuario.

II. MARCO CONCEPTUAL

En todo sistema de control, el objetivo es mantener la variable a controlar dentro de ciertos límites permisibles por el sistema, por ejemplo en el control de ejes la variable típica de mando es la posición. Por tal razón, el objetivo es que el servomotor realice el movimiento programado con precisión, controlando su posición y en consecuencia su velocidad y aceleración.

El término control de ejes aparece en el momento en que se debe realizar un movimiento controlado. Este puede ser controlando la velocidad y corriente en lazo cerrado e incluso la posición en lazo cerrado.

Los componentes básicos que forman un sistema de control de ejes son:

- HMI (Interface Humano Máquina).
- PLC.
- Sistema Motion Control.
- Accionamiento.
- Servomotores

Con todos estos componentes se realiza la automatización de un control de ejes. La mayoría de las máquinas disponen de una interfaz humano máquina mediante la cual un operario puede introducir valores de parámetros, estar informado del estado de la máquina (alarmas, avisos), dar órdenes de mando, entre otras [2], en nuestro prototipo se utiliza una Tablet con sistema operativo Android, plataforma en la cual se ha diseñado una aplicación para controlar el prototipo.

III. MARCO TEÓRICO

Se realiza una pequeña descripción de algunos elementos de vital importancia para el desarrollo de esta propuesta de investigación:

a) *Plc's*

Un PLC (Controlador Lógico Programable) es un dispositivo electrónico de estado sólido que puede controlar un proceso o una máquina y que tiene la capacidad de ser programado o reprogramado rápidamente según la demanda de la aplicación. Fue inventado para remplazar los circuitos secuenciales basados en relés que eran necesarios para el control de las máquinas. El PLC funciona monitoreando sus entradas, y dependiendo de su estado, activando y desactivando sus salidas. [3].



Fig.1. Imagen física y diagrama de bloques de un PLC

b) *CNC*

Las máquinas / Computadora de Control Numérico (CNC) tiene docenas de aplicaciones en los negocios y manufactureras. Son usadas en aplicaciones que van desde máquinas de bordado hasta brazos robóticos en las plantas de ensamblaje. Cualquier máquina operada por un programa de computadora es considerada una máquina CNC. La mayoría de máquinas CNC son programadas usando software CAD/CAM. [4].

c) *Encoders*

El encoder es un transductor rotativo, que mediante una señal eléctrica (normalmente un pulso o una señal sinodal) nos indica el ángulo girado. Si este sensor rotatorio se conectara mecánicamente

con una rueda o un husillo, también nos permitiría medir distancias lineales. Una clasificación de los encoder según el tipo de información sobre la posición que generan sería:

- Encoder incremental: la señal de salida se transmite por un hilo en el que se transmite un pulso por cada ángulo girado, de tal forma que si se tiene un encoder de 1000 ppr, da como resultado un pulso por cada $360^\circ/1000 = 0,360^\circ$. El inconveniente es que no se dispone de una referencia absoluta de la posición en la que se encuentra el eje.
- Encoder absoluto: la posición se da en valor absoluto mediante un bus paralelo. Es decir, que con un encoder de 256 posiciones, se tiene un bus de 8 líneas que nos indica en binario cuál es su posición (normalmente estos transductores codifican la posición en código Gray para evitar errores)[5].
- Encoders incrementales ópticos, los cuales son los seleccionados para esta aplicación. Las características básicas de estos sensores son: tensión de alimentación dada por el fabricante que para la aplicación es de 5V, la resolución que es el número de pulsos que da por revolución (ppr), el tipo de salida de los canales que pueden ser: TTL, colector abierto, tótem-pole, entre otras por lo que habrá que utilizar el circuito adecuado para adaptar estas salidas, número de canales que suelen ser uno (1) o dos (2), más un canal adicional de index (I) que da un pulso por vuelta. Con los encoders de un solo canal se puede saber el ángulo girado pero no la dirección de giro, por lo que la mayoría de los encoders llevan dos canales que generan señales cuadradas desplazadas 90° . [6]

d) *Wireless (UDP)*

Se utilizó un modem wireless que utiliza la norma 802.11b para comunicar el modem (ZTE ZXV10 W300) con el PLC siemens s7-1200 mediante protocolo UDP, y asignar las IP's estáticas (dentro del modem, el PLC, el dispositivo móvil o Tablet, y el computador).

El protocolo UDP tiene una mayor velocidad de transferencia de información, no se requiere usar el TCP/IP debido a que por el momento no se está al tanto de las tramas de los paquetes ya que no se hará un streaming de video y audio. Además de que UDP es un protocolo que no está orientado a la conexión y su simplicidad hace que sea ideal para esta aplicación ya que se puede monitorear lo que está pasando en el PLC en tiempo real, verificando la trama de datos que se están enviando desde el dispositivo Smartphone al PLC., también puede ser aprovechado para aplicaciones en dispositivos que no pueden implementar el protocolo TCP. [7]

IV. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROTOTIPO

En el siguiente diagrama de flujo se muestra y explica el proceso operación del prototipo CNC controlada en lazo cerrado por el PLC.

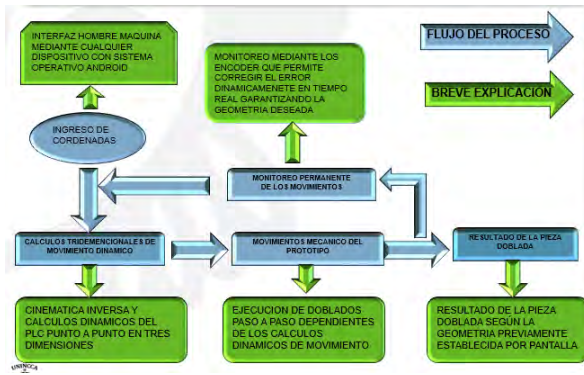


Fig. 2. Diagrama de flujo

V. CÁLCULOS MECÁNICOS PARA LA TRANSMISIÓN DE VELOCIDAD Y POLEAS

El diseño de elementos mecánicos comprenden gran parte del movimiento dinámico de las máquinas. Los sistemas de transmisión de poleas y correas se emplean para transmitir la potencia mecánica proporcionada por el eje del motor entre dos ejes separados entre sí por una cierta distancia. La transmisión del movimiento por correas se debe al rozamiento de éstas sobre las poleas, de manera que ello sólo será posible cuando el movimiento rotacional y de torsión que se ha de transmitir entre ejes sea inferior a la fuerza de rozamiento. El valor del rozamiento depende, sobre todo, de la tensión de la correa y de la resistencia de ésta a la tracción; es decir, del tipo de material con el que está construida (cuero, fibras, hilos metálicos recubiertos de goma, entre otras) y de sus dimensiones. [8]

Para el cálculo mecánico del doblador de tubos se encuentran diferentes elementos, como el peso de las partes del doblador, la velocidad de transmisión, torques de las poleas que se ven en la ecuación (8), y el peso de la varilla a doblar que en este caso será una vara de estañó.

Cálculos de las poleas:

- D= Diámetro de la polea motriz. (1)
d= Diámetro de la polea conducida. (2)
N= Velocidad de la polea motriz (rpm). (3)
n=Velocidad de la polea conducida. (4)

$$D = \frac{dn}{N} \quad (1)$$

$$d = \frac{DN}{n} \quad (2)$$

$$n = \frac{DN}{d} \quad (3)$$

$$N = \frac{dn}{d} \quad (4)$$

Ecuación para transmisión de velocidad:

$$(D * N) = (d * n) \quad (5)$$

Por lo tanto, para la transmisión de velocidad reemplazando los valores de las poleas que se tiene, que son D=13mm; N=3000rpm; d=26mm; n=rpm; en la ecuación (5) y despejando n se halla la velocidad de transmisión de la polea conducida y da como resultado la ecuación (6) y (7).

$$\frac{(D*N)}{d} = n \quad (6)$$

$$\frac{(13mm*3000Rpm)}{26mm} = 1500Rpm \quad (7)$$

Ecuación para el cálculo de torques:

$$(71 * d1) = (72 * d2) \quad (8)$$

Fuerza del motor:

Se hallaron valores aproximados a la fuerza del motor en la página web del fabricante (Hitachi) [9].

$$(0,3352 = HP) \quad (9)$$

En las fig. 3, 4, 5 se puede apreciar el diseño en Solid Egde del prototipo de dobladora.

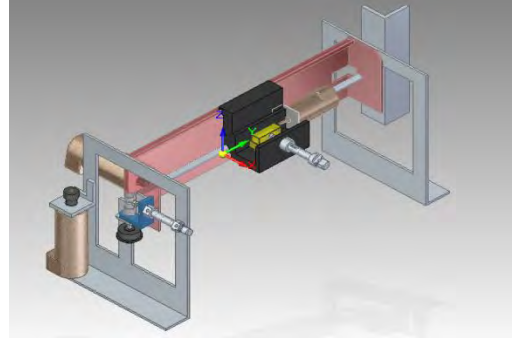


Fig. 3. Vista general del diseño

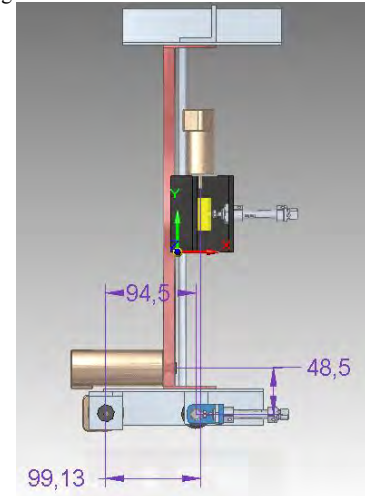


Fig. 4. Distancias entre ejes horizontales

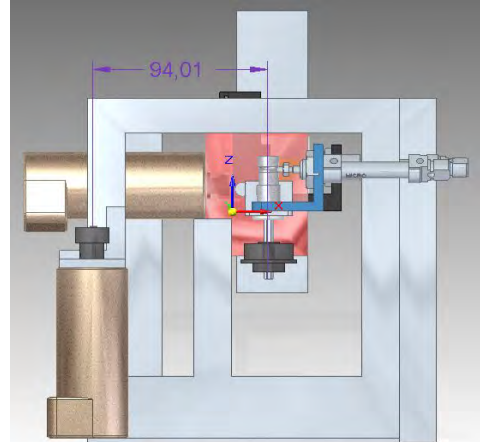


Fig. 5. Distancia entre ejes vertical

VI. ENSAMBLE MECÁNICO

Se realizó el acople mecánico de tres motores DC con encoder incremental óptico uno para el sistema de doblado rotacional, para el cual fue imprescindible la adecuación de la fuerza del motor mediante dos poleas y una correa dentada calculados en la ecuación (8).

El sistema de avance lineal se implementó con un motor DC similar al de doblado a 24 volt, con un Encoder incremental óptico de resolución de 98 ppr que está integrado por un optoacoplador con indicador a 5 vol.

El sistema de rotación que permite ubicar el dobles en el vector Z se implementó con un motor más pequeño, que por su masa exige menos esfuerzo del motor del eje X ya que se acoplo al carro de la prensa del alambre; este motor utiliza el mismo tipo de encoder de los anteriormente mencionados pero tiene una menor potencia.

Se implementaron dos actuadores neumáticos simple efecto de diámetro 12mm que realizarán la función de mordazas para prensar el alambre tanto en el sistema de avance como en el de doblado, los cuales actúan con dos electroválvulas monoestables 3/2 a 120 V.

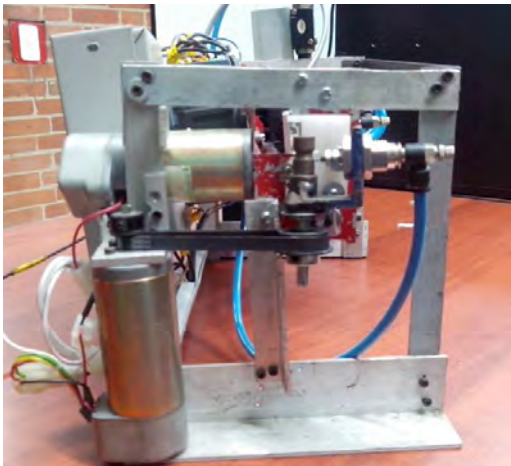


Fig. 6. Ensamble mecánico No.1

Como se evidencia (Fig.6) el prototipo muestra algunas mangueras neumáticas de conexión y otros elementos como los reguladores de caudal neumático que regulan la velocidad de entrada de lo actuadores y previenen la deformación del alambre por un golpe de presión de aire.

Ya que necesitamos calcular la fuerza de las mordazas encontramos que dicha fuerza está dada por la ecuación: $(P * D^2 * 7,85)$, donde P es la presión de entrada del aire en Bar, D es el diámetro el actuador en centímetros y la constante 7,85 dada por el fabricante [9]; lo cual indica que de no haber adecuada fijación de las mordazas se debe variar la presión del aire de la variable a controlar.

VII. CABLEADO E INSTALACIÓN DE ELEMENTOS ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICOS

Posterior a concluir el ensamble mecánico y estructural se instalaron los finales de carrea para protección del sistema de avance, la alimentación de los motores y de los encoder que permitirán conocer con precisión la posición de los motores convirtiéndose así en Servomotores.

Se realizó posteriormente el cableado de control de los elementos con el PLC que realizará la recopilación de datos en tiempo real, en dicho montaje se encuentra diferentes circunstancias que colocan en prueba el diseño ya que se requiere un circuito que adecue la tensión de la fuente (24 V) a una tensión de 5V para los optoacopladores de los encoders y a su vez generara un voltaje dual (+12V y -12 V) mediante un divisor de voltaje para el movimiento bidireccional de los motores, como se aprecia en fig.7.



Fig. 7. Circuito físico del regulador de tensiones y fuente dual.

Se ve la simulación 3D (Fig.8) la tarjeta encargada de la regulación de tensión, para el producto final se utilizaron:

- 2 resistencias de $1k \Omega$ a 10 W.
- 5 borneras.
- 1 regulador LM7805.
- 4 conectores.
- 2 condensadores (0,1 y 0,33) μF .

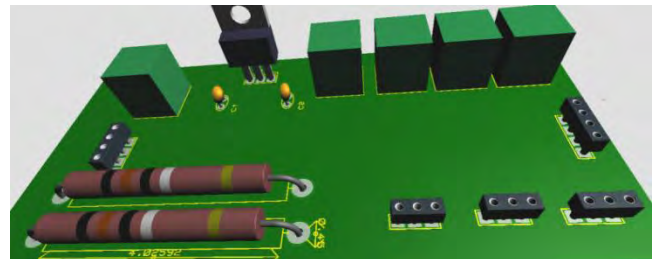


Fig. 8. Regulador de tensiones y fuente dual.

De igual manera fue necesario el diseño de un circuito de adecuación de los encoders ya que los optoacopladores de funcionamiento generan una señal escalón de amplitud 5 V, y las entradas rápidas del PLC requieren como mínimo 18 V, para lo cual se usó un regulador de voltaje LM7818.

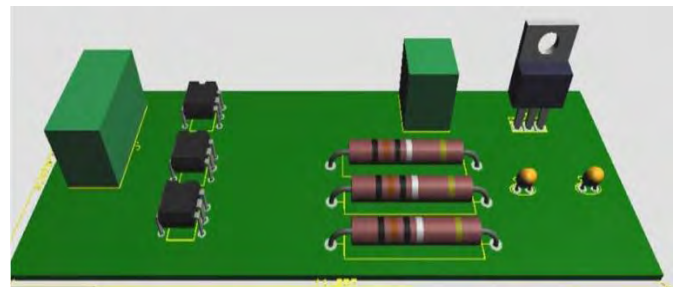


Fig. 9. Acoplador de encoders.

Se ve la simulación 3D (Fig.9) los elementos que se utilizaron fueron los siguientes:

- 3 resistencias de $2k\ \Omega$ a 5 W.
- 2 borneras.
- 1 regulador LM7818.
- 3 Integrados NTE 3043.
- 2 condensadores (0,1 y 0,33) μF .

El circuito implementado del acoplador de encoders se aprecia en Fig.10.



Fig. 10. Acoplador de encoders.

Al concluir la instalación se evidencia el adecuado funcionamiento del sistema implementado (Fig. 11).

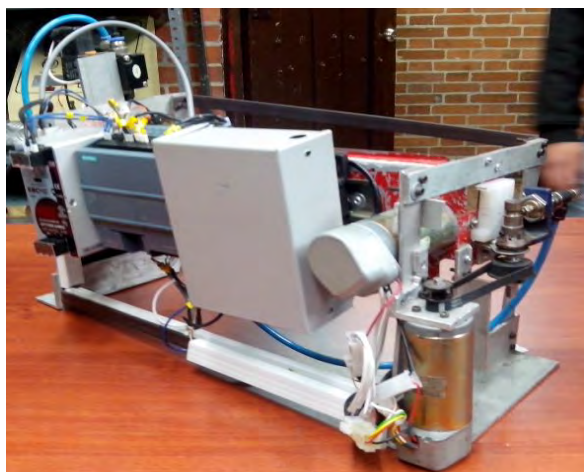


Fig. 11. Ensamble eléctrico final.

VIII. PRUEBAS DE LABORATORIO

Lo primero a considerar para iniciar la programación fue la caracterización del encoder que con la experiencia adquirida en la academia y sus laboratorios nos soportó para identificar el método más apropiado para obtener con certeza la cantidad de pulsos que enviaba el encoder por una vuelta de 360 grados .

Para ello, se utilizó un potenciómetro de vuelta infinita haciendo parte de un divisor de voltaje para obtener 24 pulsos en una vuelta de 360 grados. Se procedió a diseñar un programa que contara los pulsos del potenciómetro en un canal y el encoder en otro, durante un tiempo de 2 segundos y se obtuvo que los pulso del potenciómetro eran 36 y del encoder 147, con estos datos y conociendo que el potenciómetro daba 24 pulsos por vuelta por regla de tres se determinó que el encoder daba 98 pulsos por vuelta. [11]

Posteriormente, se trabajó en el programa del PLC que realizaría las secuencias de doblado, pero antes se encuentra que las velocidades nominales de los motor de 10 V eran muy altas por lo cual se desarrollaron tres programas por PWM con un ciclo útil de trabajo de 10 ms y una frecuencia de 5 Hz, disminuyendo la velocidad del motor sin disminuir el Torque. [12]

IX. ALGORITMO DE DOBLADO

En lo referente al algoritmo se parte de un diseño matemático a través de vectores y matrices el cual es implementado en Matlab [13] para su simulación y la obtención de datos del doblado del alambre en tres las dimensiones, como se aprecia en la TABLA I.

Gracias al algoritmo que se basa en la teoría de producto escalar y define una proyección vectorial con relación a dos grupos de coordenadas, se procedió a determinar el ángulo equivalente de dicha operación y mediante el coseno del mismo hallar el rotacional para el vector Z y el ángulo para el eje Y. [14]

TABLA I
Coordenadas de Doblado

No Coordenada	X	Y	Z
1	0	0	0
2	19,69	-55,51	42,22
3	-24,03	-94,49	-54,49
4	-24,02	-91,96	-109,65
5	24,58	-50,98	-189,58
6	24,58	-105,18	-189,58
7	-7,24	-116,99	-240,6
8	-56,66	-124,58	-240,6

Con base a las coordenadas de la TABLA I y de acuerdo al algoritmo diseñado se obtuvo la siguiente gráfica:

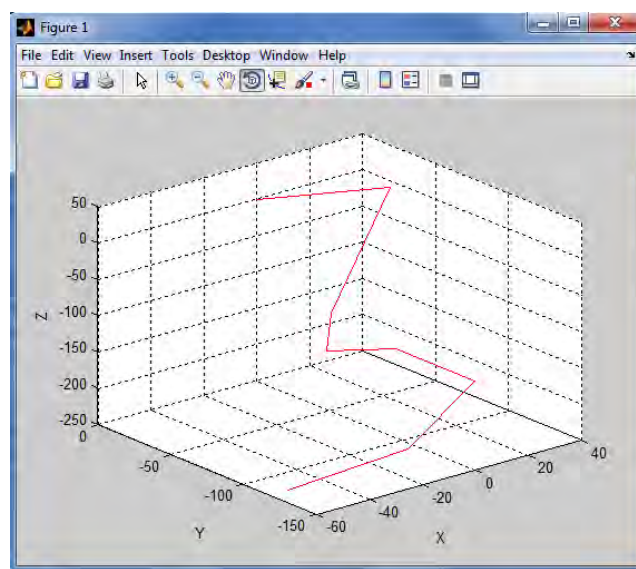


Fig. 12. Visualización de doblado del alambre.

X. CONCLUSIONES

Es de resaltar que aunque no se ha terminado el proyecto la experiencia de aprendizaje es bastante y el estado actual del proyecto es de un 80% aunque se ha comprobado que el prototipo funciona, es necesario generar un algoritmo basado en matrices de rotación y traslación el cual identificara la posición vectorial del alambre impidiendo que se deforme al chocar con la estructura.

La posibilidad de entender y comprender el diseño matemático y la aplicación de los conocimientos adquiridos en diferentes asignaturas son de vital importancia para la ejecución de proyectos de alta complejidad, ya que al realizar el presente proyecto nos exigió repasar y retomar conocimientos de matemáticas, diseño y análisis de circuitos, robótica, entre otros.

Se puede concluir que al doblar el alambre en tres dimensiones utilizando como elemento único de control un PLC es viable y que aunque ha exigido un gran esfuerzo académico se ha demostrado que los conocimientos adquiridos y aplicados son los suficientes para la ejecución de este tipo de proyectos.

También se concluye que se han despreciado variables que se pueden encontrar en la industria, pero a nivel de prototipo ha superado nuestras expectativas ya que nos permitió comprobar tanto el algoritmo matemático como los conocimientos de ingeniería adquiridos en nuestra carrera y la posibilidad de mejorar algunos procesos de manufactura en este campo de aplicación.

REFERENCIAS

- [1] A. Barreros, L. Penin, C. Balaguer, R. Rafael, *Fundamentos de Robótica, Segunda Edición*, Mac Graw Hill, 1997.
- [2] D. Navarro, "Controlador Lógico Programable (PLC). Curso Tutorial", Puerto de la cruz, Julio de 2001. Trabajo Presentado Como Requisito Parcial Para Ascender a la Categoría de Profesor Agregado. Universidad De Oriente. Departamento de Electricidad. [Online]. Available: <http://es.scribd.com/doc/12944471/plc-teoria>
- [3] (2014) PLC [Online]. Available: <http://www.automation.siemens.com/mcms/programmable-logic-controller/en/simatic-s7-controller/Pages/Default.aspx>
- [4] Bayne, G.K. How Do CNC Machines Work?, Tennessee, University of Tennessee. History Department. Disponible en: http://www.ehow.com/how-does_5007907_cnc-machines-work.html
- [5] [6] MCBTec, compañía española de desarrollo tecnológico. [Online]. Available: http://www.mcbtec.com/Funcionamiento_Encoder.pdf
- [7] J. Ordinas, Protocolo y aplicaciones internet. [Editorial UOC]
- [8] R. Robert, *Diseño de elementos y maquinas Cuarta Edición*, Pearson, Mexico 2006.
- [9] (2002 - 2014) Hitachi [Online]. Available: <http://www.hitachi-ies.co.jp/english/appli/index.htm>
- [10] C. Ridolfi, H. Ridolfi, *Catalogo micro pneumatic. 2010*
- [11] F. Gutierrez, *Guía de Laboratorio 1 Asignatura Electiva Técnica I*, Universidad INCCA de Colombia, Programa de Ingeniería Electrónica.
- [12] J. León Aguirre, V. Tapia, escuela politécnica del ejército sede – la tacunga, Tesis de grado, ecuador, *Sincronismo y supervisión de posición y velocidad de un motor trifásico asíncrono con un sistema de encoders maestro-esclavo para aplicaciones de control de ejes*. 2007
- [13] MathWorks. (2012, February). Documentation Center. [Online]. Available: <http://www.mathworks.com/help/nnet/index.html>.
- [14] I. Stanley, J. Grossman, *Algebra Lineal, 7 Edición*, Mac Graw Hill, 2012.

Diseño De Un Robot Velocista Basado En Arduino

I. Ruge, D. Zorro

Resumen—El presente artículo muestra el diseño de un robot seguir de línea tipo velocista, producto del trabajo realizado en el semillero de investigación Robótica UPTC adscrito al Programa de Ingeniería Electrónica de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. El propósito de este proyecto es aplicar y adquirir conocimientos de electrónica enfocados en robótica para lograr un diseño óptimo y eficiente en competencias de seguimiento de línea o velocista. Como plataforma de control se utiliza un Arduino UNO R3, y se utilizan sensores infrarrojos QRD1114 para la detección de la línea negra.

Palabras Claves—Seguidor de línea, Robot velocista, Arduino UNO.

I. INTRODUCCIÓN

La robótica es una nueva tecnología multidisciplinar que aplica bastante ciencias afines como la informática, la cinemática, la mecánica, entre otras; desde su aparición ha tenido un gran impacto en nuestra sociedad, pues ha tenido diversas aplicaciones pasando desde las industrias, hasta sistemas aplicados en entornos domésticos, de salud y de entretenimiento para mejorar la calidad de vida de cada persona [1].

Una rama importante de la robótica es la robótica móvil, enfocada a robots dotados de un sistema de locomotor rodante. Un particular tipo de robot móvil es el robot velocista, pues se caracteriza por seguir una línea negra en un fondo blanco de manera tan eficaz que puede alcanzar velocidades altas sin perder el control; para esto es necesario tener conocimientos de acondicionamientos de señales, programación en arduino y mecánica, siendo más profundos estos conocimientos se pueden detectar problemas más específicos y lograr un mejor robot.

I. Ruge, Docente Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Electrónica, Grupo de Investigación GIRA – Semillero Robótica UPTC, Tunja, Colombia.

Ilber.ruge@uptc.edu.co

D. Zorro, Estudiante Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Colombia.

jedafox@gmail.com, jedafox@hotmail.com

II. ESTRUCTURA DEL ROBOT VELOCISTA

La función a realizar de robot es determinar la posición de la línea y la intensidad de la curva de esta a través de los sensores infrarrojos QRD1114 (SI3, SI2, SI1, SD1, SD2, SD3). La cantidad de sensores usados es a razón de contar con la mejor información de la ubicación de la línea negra; a mas cantidad de sensores, más información pero la complejidad del algoritmo de control aumenta. El sistema de control propuesto para el robot es el microcontrolador ATMEGA328P [2], la locomoción del robot está determinada por el conjunto de tres motores DC (Motor G, Motor D, Motor I) controlados con un puente H integrado L293D [3].

En la Fig.1 se muestra la estructura general del robot velocista diseñado.

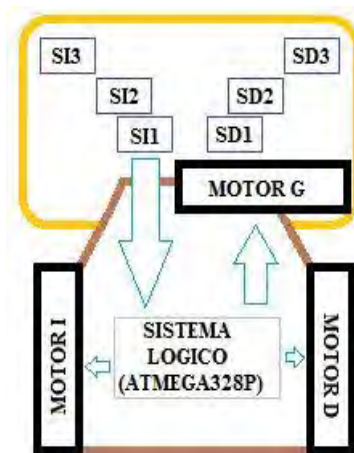


Fig. 1. Estructura del robot móvil velocista.

Para determinar el radio mínimo de giro del robot (R3) se precede a medir la distancia entre el borde delantero de la estructura y el motor G (R2), y entre el motor G con respecto al centro de la estructura principal (R1), para posteriormente sumarlos. De acuerdo a lo anterior los valores de R2 Y R1 son de 8.6 cm y 4 cm respectivamente; dando como resultado un radio de giro de 12.6 cm.

La Fig. 2 muestra la obtención del radio de giro.

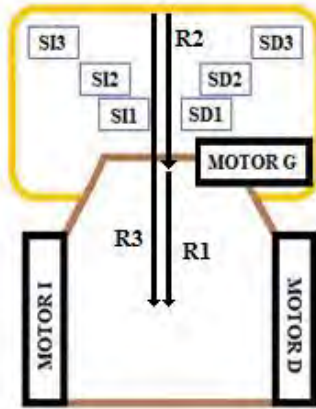


Fig. 2. Radio mínimo de giro del robot.

En la Fig.3 se muestra el diagrama de bloques implementado para el desarrollo de este proyecto.

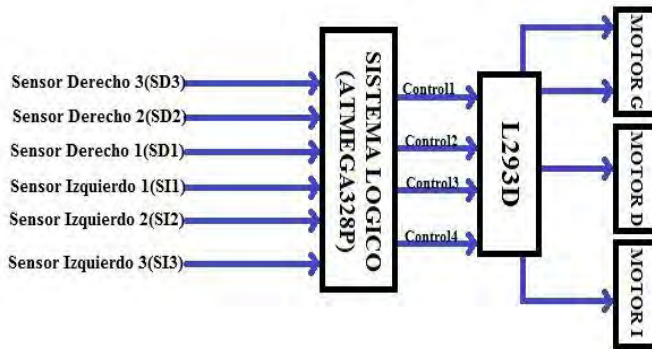


Fig. 3. Diagrama de bloques del robot velocista.

III. ACONDICIONAMIENTO DE LOS SENSORES

La ventaja de utilizar los QRD1114 es que su acondicionamiento no necesita de ningún tipo de amplificador operacional o transistores, con dos resistencias y su correcta polarización, genera los estados lógicos sin ningún problema. Por otro lado, el QRD1114 cuenta con el filtro de luz para evitar interferencia de luz ambiente.

Para lograr los estados lógicos necesarios para el óptimo funcionamiento del robot se hizo el acondicionamiento de la señal mostrado en la Fig. 4.

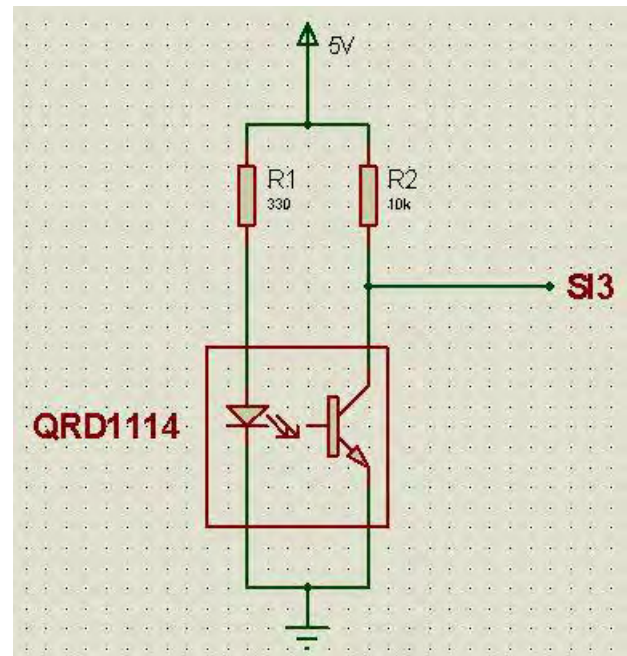


Fig. 4. Acondicionamiento de la señal para SI3.

El circuito mostrado en la Fig. 4 entrega un estado alto cuando detecta el color negro y un estado bajo cuando detecta el color blanco, por último este circuito fue realizado para cada uno de los sensores del sistema.

IV. DISEÑO DEL ALGORITMO CONTROLADOR DEL ROBOT

Con base en el acondicionamiento de las señales anteriormente descrito, se plantea un algoritmo de control con seis entradas (SI3, SI2, SI1, SD1, SD2, SD3) y cuatro salidas (Control1, Control2, Control3, Control4), las cuales se entregan al driver L293D (ver Fig. 2). Control1 y Control2 determinan el sentido de giro de Motor G; Control3 y Control4 son salidas con modulación de ancho de pulso (PWM) que permite controlar la velocidad de Motor D y Motor I respectivamente.

El algoritmo se basa en la detección de la línea y la intensidad de la curva, cuando los sensores SI1 o SD1 detectan la línea sin que ningún otro sensor detecte la línea, el robot deberá activar el Motor G para hacer un giro leve hacia la izquierda o hacia la derecha respectivamente siguiendo con velocidad constante. Si los sensores SI2 o SD2 detectan la línea, significara que tiene una curva más pronunciada comparada con el caso anterior, en consecuencia debe dar orden al Motor G de girar a la izquierda o a la derecha, y adicionalmente bajar la velocidad aproximadamente a dos tercios de la máxima velocidad del Motor I o el Motor D respectivamente. Si los sensores que detectan la línea son SI3 o SD3, se traducirá a que la curva tiene tendencia a ser de noventa grados, con base a esto el robot tendrá que activar el Motor G hacia la izquierda o la derecha, y reducir la velocidad aproximadamente a un tercio de la velocidad máxima del Motor I o Motor D dependiendo el caso.

La Fig. 5 muestra una idea general del algoritmo propuesto para el control del robot velocista, según lo descrito anteriormente.

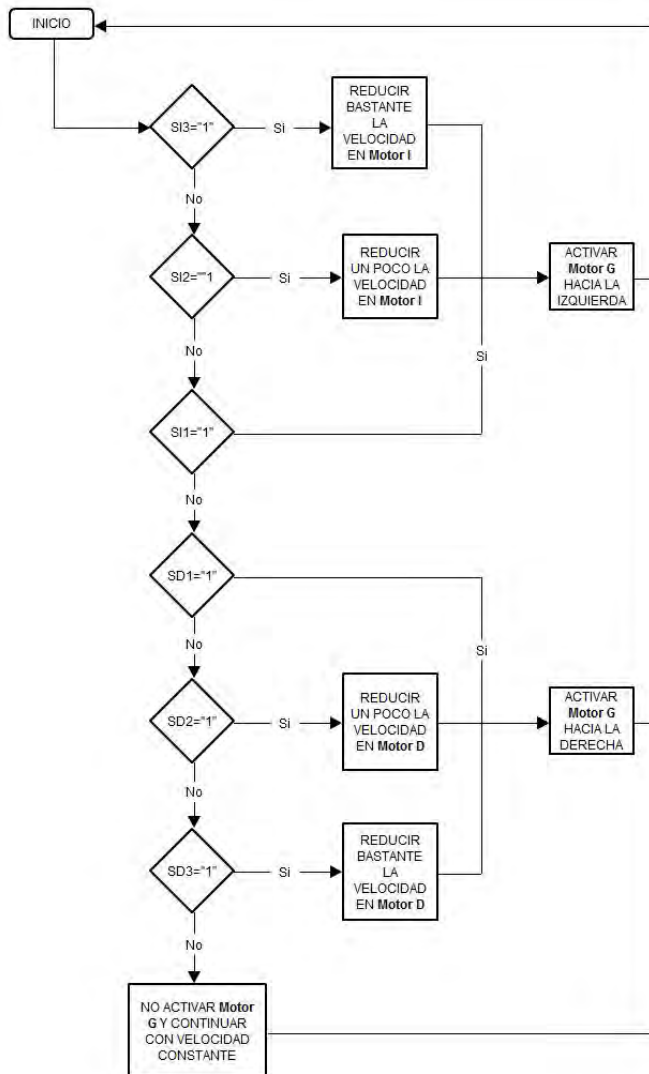


Fig. 5. Diagrama de funcionamiento del algoritmo de control para el robot velocista.

Otros trabajos como [4], muestran que el sistema de control realizado para el velocista es basado en una lógica combinacional implementado en una GAL16V8, pero no muestran resultados del rendimiento del robot. El trabajo [5] muestra la realización de un robot velocista cuyo procesador es un microcontrolador ATmega 128 usando lenguaje C++ basado en CORBA. En cuanto a resultados de desempeño del robot no se muestra algún indicio, pero si hacen un fuerte análisis de la respuesta del controlador ante estímulos en ambiente controlado, mas no del desempeño en competencia.

Para la realización del código del robot velocista propuesto en este artículo, se utilizó el software de desarrollo Arduino IDE [6].

V. ANALISIS DE RESULTADOS

Al realizar la implementación del velocista y al hacer pruebas de funcionamiento se obtuvo que el sistema lógico propuesto funciona correctamente y es óptimo para competencias; sin embargo, al implementarse con una estructura considerablemente larga y ancha, el robot no logra seguir la línea en curvas muy cerradas.

Por otra parte, la mecánica propuesta para la función de giro de **Motor G** crea retardos en su respuesta al ser bastante lenta, lo cual influye en el mal funcionamiento del robot.

La Fig. 6 muestra el aspecto final del prototipo de robot velocista.

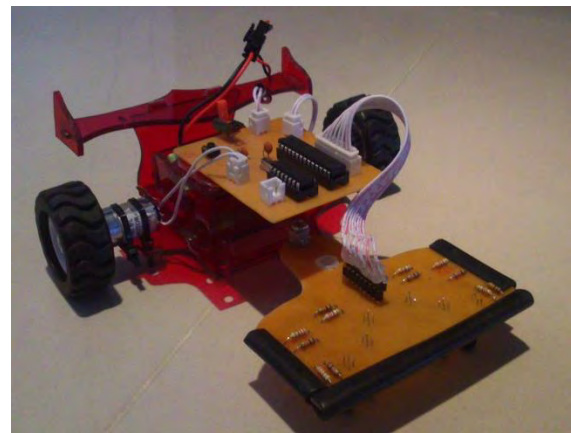


Fig. 6. Robot velocista

Para solucionar los anteriores problemas se propone acortar la estructura de tal forma que los sensores se encuentren más cerca de **Motor D** y **Motor I**. Por último, colocar engranajes de menor tamaño que se comunican con **Motor G** para mejorar la respuesta en curvas cerradas.

El robot velocista estuvo en la competencia RUNIBOT 2014 realizada en la Universidad del Bosque en la ciudad d Bgota DC, y se observó un buen desempeño, pero se evidenciaron algunos errores en curvas cerradas. La propuesta para mejorar el desempeño en competencias de acuerdo a lo visto, está en eliminar el motor G, pues no se vio que cumpliera una labor fundamental en el rendimiento del robot, además de disminuir la altura del robot para generar más estabilidad a este y pueda tomar mejor las curvas. Estas mejoras están en proceso de construcción para futuras competencias.

VI. CONCLUSIONES

El sistema lógico basado en Arduino es una manera sencilla y eficiente para realizar el algoritmo de control de robot velocista, ya que permite controlar fácilmente aspectos como la modulación de ancho de pulso (PWM) de la señal recibida por los motores usando instrucciones simples como

AnalogWrite() y sentencias de control condicionales IF..THEN...ELSE. También nos permite hacer correcciones y configuraciones rápidas a la hora de hacer pruebas de funcionamiento.

Para el desarrollo de la estructura del robot velocista es necesario tener en cuenta una distancia corta entre los motores y los sensores; puesto que en curvas cerradas, mientras más pequeña es la distancia entre estos elementos va a seguir la línea mejor.

REFERENCIAS

- [1] Barea, R., Introducción a la Robótica, Departamento de Electrónica Universidad de Alcalá, España. Consultado en 4 abril de 2014. Presentación PPT disponible en: <http://es.scribd.com/doc/177854617/L1-IntroduccionRobotica-UAAlcala-RaraelBarea>
- [2] ATmega328P DataSheet, Atmel Corporation, disponible en: http://www.atmel.com/images/atmel-8271-8-bit-avr-microcontroller-atmega48a-48pa-88a-88pa-168a-168pa-328-328p_datasheet.pdf
- [3] L293D DataSheet, Texas Instruments Incorporated, disponible en: <http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/texasinstruments/l293d.pdf>
- [4] I. Ruge, I. Betancourt, D. García, P. Hurtado, Diseño e implementación de un circuito combinacional basado en lenguaje de descripción de hardware VHDL para un robot móvil multifuncional, Universidad de Cundinamarca.
- [5] L. Jiménez, Robot velocista de competición basado en CORBA, consultado el 4 de abril de 2014. Presentación PDF disponible en: http://tierra.aslab.upm.es/documents/PFC/PFC_LJimenez.pdf
- [6] Arduino IDE, guía de uso disponible en: <http://arduino.cc/en/Reference/HomePage>

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA AUTOMATIZACIÓN DE VIVIENDA

Saavedra C. Humberto, Aguirre M. Jesús, Mejía G. Alberto, Riaño M. Kenny, Romero L. Claudia,
Sierra S. Cesar, *Estudiantes, Instituto Tecnológico de Soledad Atlántico – ITSA*
Angulo B. Fernando, Márquez C. Luz, *Tutores, Instituto Tecnológico de Soledad Atlántico-ITSA*

Resumen— Este proyecto trata del desarrollo de un sistema domótico prototipo con la finalidad de lograr la automatización de una vivienda, tal que se pueda controlar remotamente y realizar ciertas actividades sin la supervisión u operación del usuario. Se emplean dispositivos Xbee, que operan bajo el estándar de tecnología inalámbrica Zigbee, para la interconexión de los distintos elementos del sistema, entre los que se resaltan los sensores (de luz, temperatura, u otros), el controlador central y los actuadores (iluminación, calefacción, motores, entre otros). Adicionalmente, el usuario puede controlar la vivienda mediante un dispositivo telefónico, a larga distancia, incluso fuera del país.

Palabras Claves— Domótica, Xbee, Automatización, Sensores

I. INTRODUCCIÓN

La domótica es una rama de la electrónica orientada a brindar al usuario una vida más confortable y segura, además de ahorro energético, mediante el control global sobre la iluminación, persianas, puertas, ventanas, climatización y sistemas de seguridad de una vivienda.

El propósito principal del presente proyecto es comprobar la aplicabilidad de las telecomunicaciones y la automatización en el diseño de una instalación domótica, de manera que se puedan integrar elementos de ambas áreas de la electrónica y así proponer una solución eficiente de casa inteligente.

En el mundo de hoy la comodidad y modernización de las viviendas aún es considerada por muchos como un lujo que solo pocos se pueden costear. No obstante, día a día se va cerrando esta brecha tecnológica, pues las personas terminan acostumbrándose a las comodidades y automatización, tal que después de un tiempo se convierte en imprescindible lo que unos años atrás se consideraba ficción.

Las construcciones que desean sobresalir entre las convencionales, deben poseer un elemento diferenciador de manera que ofrezcan a sus usuarios mayor comodidad y seguridad. Con el tiempo, una vivienda moderna deberá contar con elementos innovadores tales como sensores de movimiento, sistemas de alarmas, controles automáticos de temperatura, entre otros.

La importancia de este proyecto radica en que la demanda de sistemas domóticos de bajo costo y alto impacto socio-ambiental se encuentra en aumento, por lo cual se propone, a través de éste, desarrollar una solución eficiente, confiable, flexible y asequibilidad.

Por otra parte, se piensa en el beneficio que éste tipo de sistemas puede brindar a las personas de la tercera edad o con discapacidades físicas, pues el sistema domótico propuesto puede contribuir al mejoramiento de su calidad de vida, de modo que puedan realizar actividades básicas dentro del hogar de forma práctica y segura.

Un aspecto importante que se tuvo en cuenta en la elección de la tecnología a emplear es el hecho de que la comunicación del sistema requiere ser de corto alcance, baja tasa de transmisión de datos y bajo consumo, representando a su vez economía en los dispositivos empleados.

Adicionalmente, se debe tener en cuenta que no se requiere una constante atención del usuario, de manera que la vivienda pueda llevar a cabo procesos de control y regulación autónomamente, y a su vez pueda ser monitoreada y controlada remotamente.

II. CONCEPTOS Y ANTECEDENTES

A. Domótica

La domótica se refiere a los sistemas destinados a automatizar una vivienda, aportando servicios de gestión energética, seguridad, confort y comunicación, que pueden estar soportados por medio de redes interiores y exteriores

de comunicación, cableadas o inalámbricas, y cuyo control goza de cierta ubicuidad, desde dentro y fuera del hogar.

Se podría definir como la integración de la tecnología en el diseño inteligente de un recinto cerrado. Algunos autores definen la domótica como el uso simultáneo de electricidad, electrónica, informática y comunicaciones aplicadas a la gestión de las viviendas [1].

Los componentes generales de un sistema domótico son:

- **Controlador:** Elemento sobre el cual recae las tomas de decisiones de acuerdo con los parámetros establecidos en el sistema.
- **Sensor:** Dispositivo que capta una señal física y la convierte en una eléctrica. Existe una gran variedad de sensores aplicados en domótica tales como los detectores de humedad, presencia, luminosidad, humo y temperatura, entre otros.
- **Actuador:** Elemento gobernado por una señal de activación para la ejecución de una tarea dentro de un proceso. Algunos tipos de actuadores pueden ser las lámparas, electroválvulas para control de agua, motores para apertura y cierre de puertas y ventanas, entre otros.
- **Interfaces:** Dispositivos a través de los cuales el usuario puede recibir la información del sistema e interactuar con éste. Algunas de estas interfaces pueden ser pantallas, teléfonos móviles, internet – sitio web, entre otros.

Se puede observar ejemplos de los dispositivos y elementos que componen un sistema domótico y la interacción entre ellos en la figura 1.

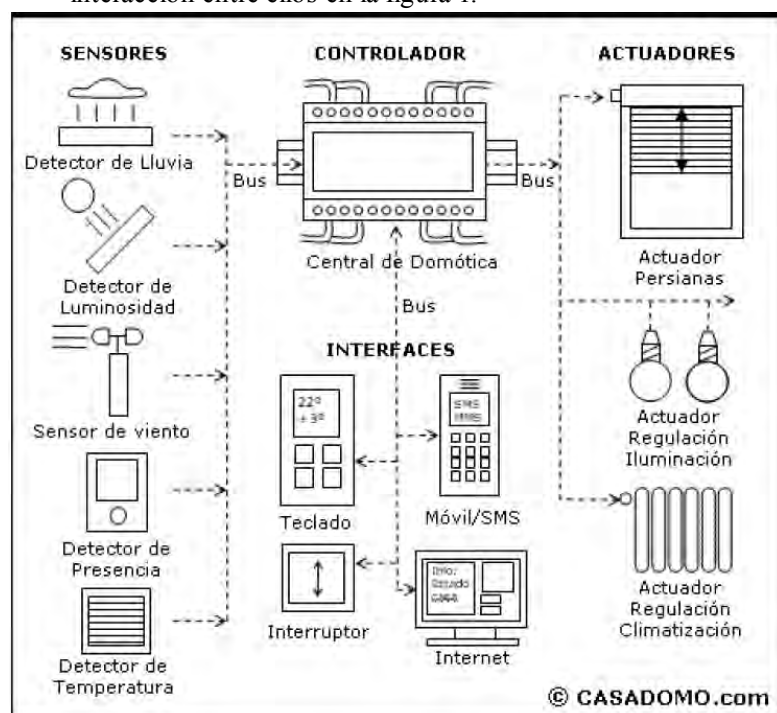


Figura 1. Ejemplo de componentes de un sistema domótico [1]

Los antecedentes de los sistemas domóticos se remontan al siglo XIX, cuando el avance tecnológico genera que en las industrias se emplean cada vez más máquinas y menos recurso humano, naciendo así la automatización. No obstante, el empleo de sistemas automáticos además de ser adoptado por la industria, se empieza a emplear en tareas cotidianas. De allí que a finales de la década de los 60 se mencionan por primera vez la construcción de edificios “inteligentes”, con control automático de iluminación y ventilación.

Los líderes en el desarrollo de la domótica, como en otras áreas, han sido Estados Unidos y Japón, siendo los primeros en tratar recintos inteligentes a finales de la década de los 70. Luego aparecen los subsistemas de automatización de intrusión, seguridad e iluminación, en la década de los 80, por lo que se evidencia la integración entre dichos componentes. En el año 1984 nace el proyecto “Smart House” en Estados Unidos por la NAHB (National Association of Home Builders), buscando integrar sistemas de electricidad, informática, etc., en una vivienda, para dar el primer avance en la consecución de un hogar digital y la domótica. [14]

La evolución en este tema ha sido cada vez mayor con la incorporación del internet y la telefonía móvil en los sistemas domóticos, provocando la funcionalidad de control remoto, entre otras novedades.

La masificación de la domótica no ha sido la esperada, debido a los altos costos que representaba. Sin embargo, en la actualidad esos sistemas se encuentran en auge, dada las facilidades que ofrecen los avances tecnológicos en los temas de automatización y telecomunicaciones, reduciendo cada vez más los precios de los dispositivos que integran el sistema y por lo cual se hace cada día más asequible al público.

B. Xbee

Los módulos Xbee son dispositivos de comunicación inalámbrica basados en el protocolo Zigbee que proveen comunicación serial inalámbrica punto a punto o punto multipunto destinada a aplicaciones como: Sistemas de seguridad; Controles de iluminación; Automatización de casas (domótica); Aparatos domésticos y Alarmas de Incendio; Monitorización de sistemas remotos; Colección de datos de un sensor en sistemas embebidos.

Estos módulos trabajan en la banda de 2,4 GHz y tienen alcances desde 100 mts hasta 1600 mts según el modelo utilizado, también poseen una serie de pines que pueden ser configurados como entradas o salidas analógicas o digitales. En la figura 2 se ilustra un módulo

Xbee:



Figura 2. Módulo Xbee [7]

Zigbee es un protocolo de comunicaciones cuyo nombre se origina en los patrones de comunicación que emplean las abejas entre las flores cuando recogen el polen, cuyos zumbidos evocan en redes inalámbricas invisibles. [8]

Este protocolo nace debido a la demanda creciente de tecnologías inalámbricas para dispositivos de baja potencia, fiables y que no requieren una alta transferencia de datos. Para ello, ZigBee Alliance, grupo de trabajo creado en octubre del 2012, formado por varias industrias entre las que se destacan Mitsubishi, Philips y Motorola, desarrollaron el estándar, el cual fue terminado y publicado por IEEE en Mayo de 2003. [9]

ZigBee se encuentra basado en el estándar IEEE 802.15.4, el cual define el nivel físico y el control de acceso al medio para redes inalámbricas de área personal con bajas tasas de transmisión de datos. El objetivo principal fue crear un sistema estándar de comunicaciones vía radio y bidireccional, con aplicación en dispositivos de automatización en el hogar (domótica), de edificios (inmótica), control industrial, periféricos de PC y sensores médicos. Con esto se pretende cubrir el vacío que arrastra el Bluetooth.

La primera versión de ZigBee se libera en Diciembre de 2004, ZigBee 1.0. Luego se hicieron revisiones al estándar 802.15.4 en el año 2006 y al protocolo ZigBee en el 2007. [13]

III. DESARROLLO DEL PROYECTO

El proyecto se basa en una investigación aplicada, en la cual se busca desarrollar un sistema completo en el que se integran la electrónica y las telecomunicaciones, mediante el empleo de redes de sensores inalámbricos en la automatización de una casa. Este proyecto se encuentra en la fase de diseño, por lo cual se presentan los esquemas y diagramas propuestos.

El desarrollo del proyecto se lleva a cabo en las siguientes etapas:

- Diseño del esquema funcional del sistema domótico prototipo.
- Diseño y montaje del circuito electrónico de

interacción con el usuario.

- Diseño y desarrollo de la red inalámbrica de control mediante Zigbee.
- Integración de los dispositivos sensores y actuadores a la red inalámbrica y el circuito de activación.
- Ejecución de pruebas del prototipo y generación de resultados.

La investigación se inicia recopilando información sobre la domótica y la tecnología Zigbee, características, aplicaciones, ventajas, desventajas, formas de funcionamiento entre otros. De una serie de ideas de proyectos se elige como propuesta formal para el semillero el prototipo de sistema domótico a partir de lo cual se asignan tareas de consulta para el diseño del esquema funcional del sistema.

Esquema General de Funcionamiento del Sistema: Se ha definido una arquitectura para el sistema, como se puede observar en el diagrama de bloques de la figura 3, que consiste en un controlador central que se encarga de coordinar el sistema domótico vía inalámbrica y permite la interacción entre el usuario y el sistema.

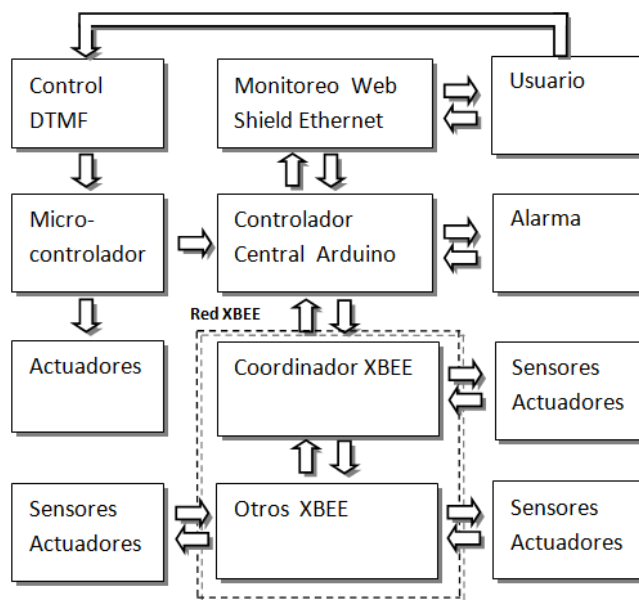


Figura 3. Diagrama de bloques del sistema propuesto. Fuente: Elaboración propia

El esquema general de funcionamiento se basa en un controlador central el que se emplea una placa Arduino, la cual sirve de puente entre el sistema y el usuario, ya que permite el monitoreo vía web y el control vía señal telefónica por parte del cliente desde cualquier lugar, dentro y fuera de la casa. A su vez, el controlador gestiona las acciones a seguir al detectar un evento en el sistema, coordinando así el accionamiento de actuadores y de la alarma según el evento detectado. Un módulo Xbee actúa como Coordinador de la red inalámbrica, y es el que se

encarga de comunicar al Arduino las señales enviadas por los otros módulos XBee desde cualquier punto de la casa. A cada uno de los módulos XBee se encuentran conectados sensores que estarían monitoreando estado de luminarias, luz día/noche del exterior de la casa, nivel de temperatura, humedad y humo en puntos claves, intrusión por puertas y ventanas, entre otros. Adicionalmente, a dichos módulos también se conectarían los actuadores con los cuales se controla el encendido y apagado de las luces, calefacción o aire acondicionado, aperturas de puertas y ventanas, electroválvula de agua para el control de inundación, entre otros.

Etapas de diseño del circuito electrónico de control DTMF, como interfaz con el usuario: En esta fase se diseña un circuito electrónico capaz de activar cargas mediante una señal telefónica. Inicialmente se realiza una simulación del circuito en el software Proteus para su comprobación, obteniéndose el funcionamiento esperado.

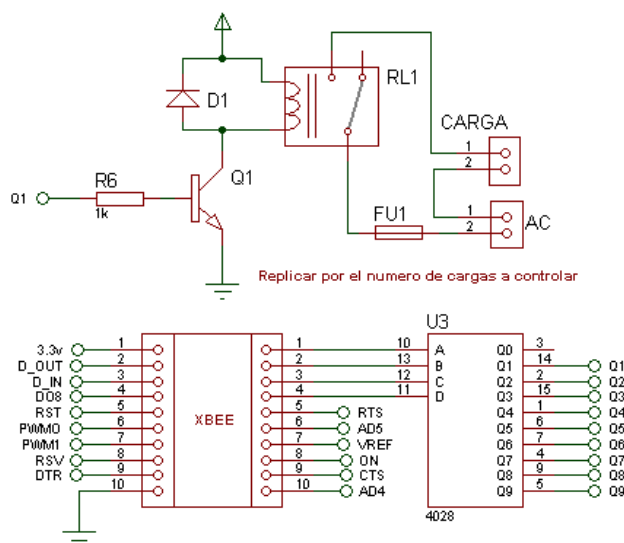
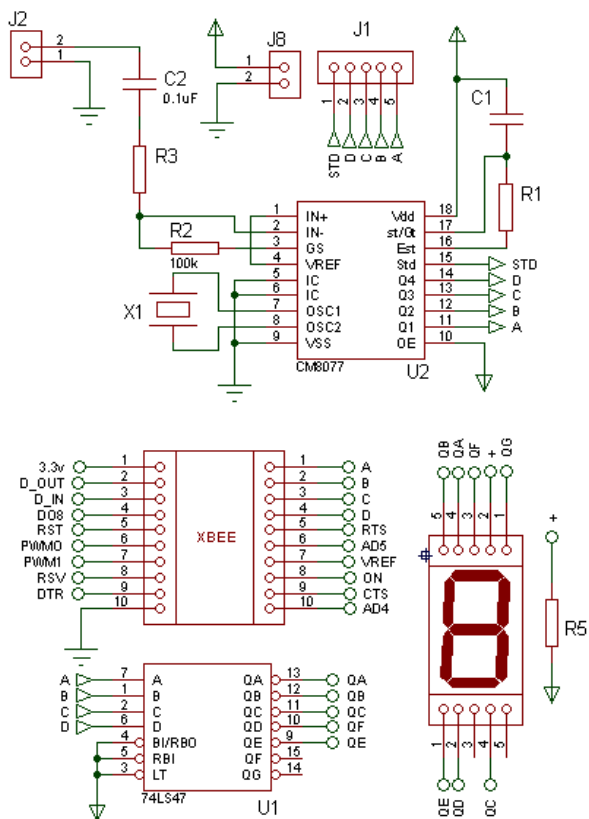


Figura 4. Diagrama Esquemático del circuito de control por DTMF. Fuente: Elaboración propia

Luego se realiza el montaje del circuito físico en protoboard con las respectivas pruebas parciales. Adicionalmente se diseña el circuito electrónico de control remoto, de manera que el sistema puede interactuar con el usuario dentro de la casa mediante el telemando y por fuera de ésta mediante el dispositivo móvil o un teléfono fijo.

Etapas de desarrollo de la red inalámbrica: De acuerdo a las consultas sobre Zigbee, en especial sobre el funcionamiento de los dispositivos Xbee, se procede a diseñar la red inalámbrica a emplear para la interconexión de los elementos principales del sistema. Se proyecta crear una red Mesh, punto a multipunto, en el cual más de dos dispositivos Xbee se comunican bilateralmente, expandible a medida que el sistema lo requiera.

Etapas de Integración: En esta etapa se pretende vincular los dispositivos sensores y actuadores de cada una de las partes del sistema domótico (luces, temperatura, alarmas, etc.) a la red inalámbrica Mesh con Xbee, y a su vez al circuito de activación de cargas mediante señal telefónica.

Etapas de ejecución de pruebas: Al finalizar la integración de los dispositivos y circuitos desarrollados se deberá ejecutar las pruebas pertinentes del sistema prototipo con el fin de realizar los ajustes que se consideren necesarios y generar resultados que puedan servir de referencia para proyectos similares.

IV. RESULTADOS

En esta propuesta de investigación inclinada al área de la domótica se planea alcanzar los estándares de comodidad y sobre todo de seguridad en una vivienda, aplicando la tecnología Zigbee.

Puesto que el proyecto de investigación se encuentra en la fase de diseño, dentro de los resultados esperados se encuentra un óptimo funcionamiento del sistema completo, incluyendo tanto la parte electrónica como la comunicación de los dispositivos inalámbricos; gran flexibilidad en el empleo de variados tipos de sensores y actuadores para el control domótico; bajo consumo de energía; operatividad las 24 horas; sincronía total con el equipo móvil del usuario; rápida respuesta.

El resultado parcial obtenido en el desarrollo de este proyecto consiste en el diseño y montaje de un circuito electrónico capaz de activar hasta nueve cargas de salida (actuadores aplicables a la vivienda tales como luces, persianas, etc.) a través de una señal de celular o llamada telefónica convencional. Con esta prueba se logró establecer una interacción entre el usuario y la vivienda, empleando un decodificador DTMF (Dual Tone MultiFrequency) que recibe la señal multifrecuencial del teléfono, la reconoce, la envía a un decodificador que convierte la señal binaria en decimal y de ésta se representa en un display siete segmentos que muestra la salida que se está seleccionando. Paralelamente a la salida del display se ubican las distintas cargas de manera que la señal que corresponda a cada una logre activar la carga seleccionada.

V. CONCLUSIONES

Con el desarrollo de este proyecto se obtiene un prototipo básico de sistema domótico, con el fin de automatizar la iluminación, temperatura, alarmas, entre otros, de tal manera que se pueda controlar la vivienda remotamente e incluso, tener la tranquilidad de que ciertas actividades se realizarán periódicamente sin la acción directa del usuario.

Los aspectos más relevantes dentro del desarrollo del proyecto son el aprovechamiento de la infraestructura existente y el empleo de una tecnología de bajo costo y fácil implementación con lo cual se podría obtener sistemas domóticos económicamente accesibles para gran parte de la sociedad, al tiempo que se contribuye al fomento de desarrollo tecnológico.

Como trabajo adicional se prevé incluir un subsistema de gestión de energía de manera que se realice un uso racional de energía eléctrica aportando a la conservación de medio ambiente.

REFERENCIAS

- [1] Hernández Balibrea, Ramón. "Tecnología domótica para el control de una vivienda". Universidad Politécnica de Cartagena. Cartagena - España, Septiembre 2012 [Online]. Available: <http://repositorio.bib.upct.es/dspace/bitstream/10317/2793/1/pfc4381.pdf>
- [2] Egido, Ricardo. "Instalación Domótica de una Vivienda Unifamiliar con el Sistema EIB". Universidad Carlos III De Madrid. Leganés, 24 de Abril de 2009 [Online]. Available: http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/6049/PFC_Ricardo_Egido_Garcia.pdf
- [3] Hijano Badillo, Albert. "Proyecto De Instalación Eléctrica Y Domótica En Una Vivienda Unifamiliar". Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona, 12 de Enero de 2011 [Online]. Available: <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099/1/11132/1/PFC.pdf>
- [4] Marcos Peirotén, Rodrigo Alejandro de. "Sistema Domótico Para Una Casa Inteligente". ICAI – Universidad Pontificia Comillas. [Online]. Available: <http://www.iit.upcomillas.es/pfc/resumenes/51b1a51100330.pdf>
- [5] Artículo web: INTELHOME tecnología y diseño. "Domótica - Inteligencias para tu hogar". [Online]. Available: <http://www.intelhome.com.ar/domotica/>
- [6] Artículo web: Wikipedia. "Domótica". [Online]. Available: <http://es.wikipedia.org/wiki/Dom%C3%B3tica>
- [7] Artículo web: Ingeniería MCI. "Aplicaciones Xbee". [Online]. Available: <http://www.xbee.cl/aplicaciones.html>
- [8] Ortega H. Carlos, Roque Deyanira, Úbeda S. Leslie. "Zigbee: El nuevo estándar global para la Domótica e Inmótica". Universidad Nacional de Ingeniería. Julio 2008 [Online]. Available: <http://es.scribd.com/doc/4559979/Zigbee>
- [9] Girón F. Antón. "Desarrollo e implementación de una red de sensores Zigbee mediante el dispositivo Xbee de Digi". Escola Tecnica Superior Enginyeria – Universitat Rovira I Virgili. Mayo del 2012. [Online]. Available: <http://decea.urv.cat/public/PROPOSTES/pub/pdf/1957pub.pdf>
- [10] Fuentes V. Asbel, Velasco L. Sergio. "Sistema de seguridad, control y monitoreo a distancia de un recinto aplicando un sistema inmerso de 32 bits e interfaces de comunicación Ethernet y ZigBee". Instituto Politécnico Nacional. México. Mayo del 2013. [Online]. Available: <http://tesis.ipn.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/12218/Sistema%20seguridad.pdf?sequence=1>
- [11] Castillo B. Braulio. "Implementación de un protocolo de comunicación inalámbrica para el control de dispositivos en forma remota de una casa domótica". Instituto Politécnico Nacional. México. 2009. [Online]. Available: <http://itzamna.bnct.ipn.mx/dspace/bitstream/123456789/7763/1/IMPLEMENTACION.pdf>
- [12] Castillo C. Darwin, Osorio S. Richard. "Análisis, diseño e implementación de un prototipo para la supervisión de señores aplicados a la domótica con comunicaciones en redes de área personal entre dispositivos móviles con control en tiempo real mediante FPGA". Universidad Politécnica Salesiana. Quito, Junio 2011. [Online]. Available: <http://www.dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1692/9/UPS-ST000120.pdf>
- [13] Cruz V. Enrique, Sánchez G. Carlos. "Comunicación entre microcontroladores bajo el protocolo Zigbee". Instituto Politécnico Nacional. México, Septiembre 2009. [Online]. Available: <http://www.dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1692/9/UPS-ST000120.pdf>
- [14] Quintana O. Enver. "Diseño y Simulación de un Sistema Domótico mediante un control PDA para una pasarela domótica utilizando el software LabView". Universidad de Pinar del Río. Cuba, Marzo 2010. [Online]. Available: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/1061/1/T-UTC-1278.pdf>
- [15]

[1] Hernández Balibrea, Ramón. "Tecnología domótica para el control de una vivienda". Universidad Politécnica de Cartagena. Cartagena -

Control Inalámbrico de Encendido y Apagado de lámparas incandescentes

Robert Alexander Limas Sierra – Yon Ali Torres Torres – Gabriel Felipe Silva Espejo – Angie

Manuela Duarte Díaz – Jhon Cristopher Rangel Hernández

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia – Escuela de Ingeniería Electrónica Tunja

Semillero de Investigación MATRIS² – UPTC

I. INTRODUCCIÓN

Desde tiempo atrás, siempre se ha querido realizar un hogar que sea cada vez más confortable, acogedor y que permita la realización de las actividades cotidianas más fácilmente, permitiendo a la familia gozar de más tiempo para compartir con los seres queridos. Con el tiempo, la tecnología ha permitido el acercamiento a esa meta, haciendo lo que parecía ciencia ficción en una realidad.

Con esta asistencia, también ha aumentado la seguridad de las viviendas pues, se ha llegado a la automatización de la infra-estructura asegurando de una mejor manera el control eficaz de electrodomésticos dentro de la misma. El control se ha realizado por medio de diferentes métodos entre los que se destacan los medios por transmisión remota a través del uso de teléfonos móviles o computadores personales que permiten una conexión rápida y eficaz con el receptor.

El equipo de trabajo conformado por cinco estudiantes de tercer semestre de la Escuela de Ingeniería Electrónica de la Uptc Tunja, ha tenido la iniciativa de plantear el desarrollo un proyecto enfocado hacia el control inalámbrico de encendido y apagado de lámparas para aplicaciones domóticas. Este grupo de estudiantes están vinculados al semillero de investigación MATRIS² (Modelamiento Análisis Tratamiento e Investigación de Señales y Sistemas), adscrito al grupo de investigación en procesamiento de señales DSP-Uptc.

En este proyecto, se propone plantear una aplicación como trabajo académico que aplique un aspecto particular de la domótica en general, el cual consiste en la energización de una lámpara por medio de un celular móvil, para así dar los primeros pasos hacia el diseño e implementación de estas tecnologías en proyectos de investigación formativa.

A partir del planteamiento de este proyecto los integrantes buscan aprender nuevos conocimientos, utilizar

metodologías de investigación y abrir nuevas oportunidades desde el ámbito académico para el continuo desarrollo y mejoramiento de tecnologías electrónicas para solucionar problemas cotidianos del ser humano.

Con este desarrollo también se desea dar una nueva alternativa de la aplicación domótica, de fácil acceso y cómodo uso a las personas del común.

En este artículo se presenta el estado del arte de las tecnologías disponibles en la actualidad para el control remoto de aparatos en los hogares, a continuación se referencia un marco teórico de los conceptos y fundamentos de las tecnologías y elementos requeridos para el desarrollo de la aplicación, en seguida se define la estructura y diseño preliminar del proyecto de control inalámbrico de lámparas y finalmente se establecen las conclusiones del trabajo que se ha venido realizando.

II. ANTECEDENTES

A. A Nivel Nacional

Realizando una búsqueda de empresas o proyectos enfocados hacia el desarrollo de tecnologías para el control domótica se encontró que en la Universidad Cooperativa de Colombia, Neiva, Huila se desarrolló un proyecto de tesis de pregrado que utilizó Arduino y Android en el año 2013 cuyo trabajo titulado: “Arduino y Android una Pareja para Aplicaciones de Ubicuidad” cuyo objetivo fue prender y apagar las luces de una casa de condiciones mínimas desde un dispositivo móvil; también se referenció en Junio de 2012 en la Revista “Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia” el proyecto titulado: “Análisis y diseño de un prototipo de sistema domótica de bajo costo”. [1]

B. A nivel Internacional

“Encendido y apagado de luminarias por medio de un celular”

Es en nombre dado actualmente al estudio y trabajo de dispositivos enfocados en el área de DOMÓTICA en el ciclo 2011 de la Universidad Tecnológica de El Salvador, estructurando como objetivo el diseño de un circuito electrónico de control basado en la plataforma Arduino, que sea capaz de controlar la conmutación de dispositivos externos de iluminación a partir de comando recibidos por un dispositivo móvil. [2]

Ya el 16 de Abril de 2013 en la Universidad Tecnológica de El Salvador, se desarrolla el proyecto nombrado: “Sistema de domótica para control de dispositivos de una habitación por medio de un teléfono móvil con sistema operativo Android”. [3]

C. Tecnologías presentes en el mercado

-Mercado Nacional

Tecnoimport es una empresa 100% Colombiana, fundada en el año 2004, líder en el mercado de tecnología para empresas y hogares, A diciembre de 2011 había realizado más de 800 instalaciones para usuarios finales, comunes y constructoras, promocionando a todo público, mercancías desde Dimmer lámpara y control pico Atenuador para lámparas disponible en modelos análogos y digitales, que permiten controlar el nivel de luz de las lámparas; recientemente innovando en un nuevo modelo que permite el control total usando un control remoto "pico" facilitando el manejo de lámparas de difícil acceso.

Este tipo de atenuadores para lámpara también está disponible para sistemas de control de todo el hogar y pueden ser programados para encendidos y apagados de acuerdo con un horario. [4]

-Mercado Internacional

Lo último de Silicon Valley: encender y apagar las luces... ¡sin moverte del sofá!, gracias a LIFX, una bombilla muy especial creada por la empresa Kickstarter que no solo es de lo más original, sino que también incluye multitud de beneficios para los usuarios. Es posible cambiar su brillo, su contraste y su color a través del teléfono móvil, e incluso programar las bombillas para que se enciendan o se apaguen en un momento determinado. [5]

La compañía holandesa presenta "hue", una lamparita LED conectada a Internet la cual puede ser programada vía wireless.

La compañía con sede central en Amsterdam presentó "hue", una lamparita LED que se conecta a Internet a través

de un router y puede ser controlada mediante una aplicación instalada en nuestro teléfono móvil o tableta, desde cualquier sitio en donde nos encontremos.

III. MARCO TEORICO

TARGETAS DE ARDUINO: Las board Arduino son sistemas de desarrollo de plataforma OPEN- SOURCE basados en micro controladores Atmel los cuales se integran en diferentes board de propósito general que pueden ser programadas por medio del software Arduino, el cual permite hacer una programación en C en un ambiente fácil de usar y con gran variedad de librerías que están listas para ser utilizadas y facilitaran el trabajo de programación, permitiendo que los usuarios se concentren en el programa como tal sin tener que preocuparse por registros y otras cosas. [6]



<http://www.electronicaestudio.com/i/f/ArduinoUnoR3Front.jpg>

TELEFONO CELULAR: Dispositivo inalámbrico electrónico que permite tener acceso a la red de telefonía celular o móvil. Se denomina celular debido a las antenas repetidoras que conforman la red, cada una de las cuales es una célula, si bien existen redes telefónicas móviles satelitales. Su principal característica es su portabilidad, que permite comunicarse desde casi cualquier lugar. [7]



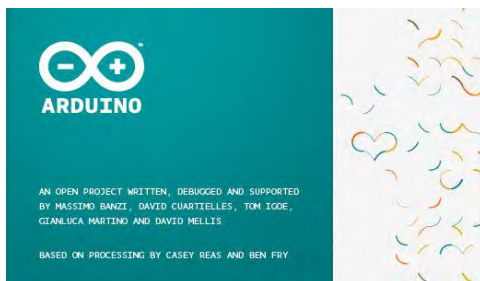
<http://cibergeek.com/wp-content/uploads/2007/04/rastrear-celular.jpg>

LÁMPARA INCANDESCENTE: Se denomina lámpara incandescente, bombilla, lamparita o bombita de luz al dispositivo que produce luz mediante el calentamiento por Efecto Joule de un filamento metálico, hasta ponerlo al rojo blanco, mediante el paso de corriente eléctrica. Las lámparas incandescentes fueron la primera forma de generar luz a partir de la energía eléctrica. Desde que fueran inventadas, la tecnología ha cambiado mucho produciéndose sustanciosos avances en la cantidad de luz producida, el consumo y la duración de las lámparas. Su principio de funcionamiento es simple, se pasa una corriente eléctrica por un filamento hasta que este alcanza una temperatura tan alta que emite radiaciones visibles por el ojo humano. [8]



http://www.la-razon.com/sociedad/asi_va_la_vida/Ejemplo-lampara-incandescente_LRZIMA20121226_0013_11.jpg

SOFTWARE ARDUINO: El entorno de código abierto Arduino hace fácil escribir código. El entorno está escrito en Java y basado en Processing, avr-gcc y otros programas también de código abierto [9]



<http://www.arduino.cc/es/>

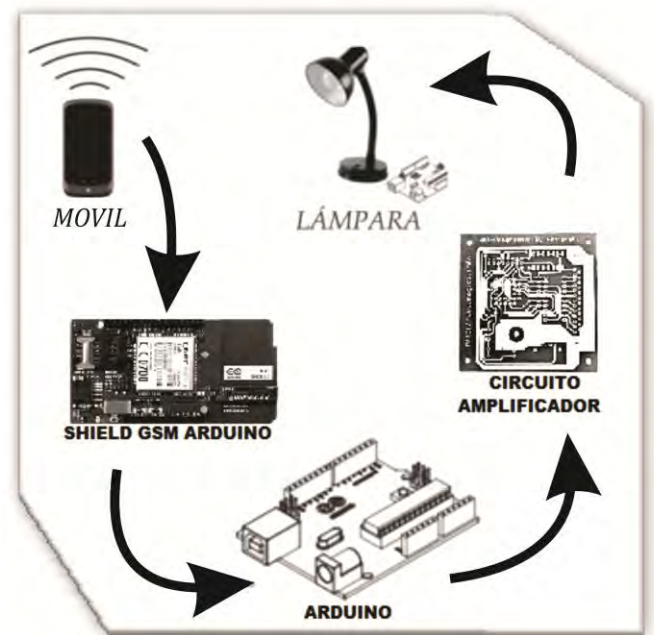
MICROCONTROLADOR: Un micro controlador es un circuito integrado que en su interior contiene una unidad central de procesamiento (CPU), unidades de memoria

(RAM y ROM), puertos de entrada y salida y periféricos. Estas partes están interconectadas dentro del micro controlador, y en conjunto forman lo que se le conoce como microcomputadora. Se puede decir con toda propiedad que un micro controlador es una microcomputadora completa encapsulada en un circuito integrado. [10]



http://images01.olx-st.com/ui/14/05/97/1388786956_584199897_5-microcontrolador-pic-18f4550-18f2550-16f877a-micro-Lara.jpg

IV. SEÑO PRELIMINAR



El modo de funcionamiento de este artefacto, es realizar un tipo de señal o impulso desde un teléfono móvil en un lugar cualquiera (sin importar la distancia), el complemento de Arduino llamado Shield GSM recibe la señal, mientras que la base Arduino la cual activará la programación de un controlador de arduino y la re-envía al circuito de potencia de la lámpara para darle la orden de encendido y apagado.

En este caso queremos usar la frecuencia usada en los

teléfonos móviles para así intensificar y tener una señal mucha más amplia, para la activación del controlador del complemento Shield GSM.

El diagrama muestra el proceso que sigue la señal para el estímulo y activación del controlador arduino y así poder realizar la acción programada.

V. CONCLUSIONES

Referente al trabajo realizado, logro deducir que resulta eficaz, realizar proyectos con ARDUINO ya que disponen de un sencillo software y mecanismo de uso, no solo para los experimentados sino también para los amateurs en el rango.

Este trabajo vamos a aplicar conocimientos y también aprender muchas cosas enriquecer más nuestro saber en el área de estudio y ponerlo al servicio de la comunidad. Tratando de solucionar problemas cotidianos con nuestros conocimientos y tecnología que está al alcance de todos.

De lo estudiado anteriormente, se puede observar que en el mercado actual existen compañías que están dedicadas específicamente al desarrollo de este tipo de aplicación de la tecnología, pero ninguna de ellas utiliza la tarjeta Arduino como base central del sistema y lo que nosotros proponemos es desarrollarlo en base central con esta tarjeta.

REFERENCIAS

- [1] Ferley Rojas, Yhon Puentes (2013, Agosto 14) Arduino y Android una Pareja para Aplicaciones de Ubicuidad. Disponible: <http://www.laccei.org/LACCEI2013-Cancun/RefereedPapers/RP060.pdf>
- [2] Carmen Bonilla, Jesus Barahona (2011, Septiembre 16) Encendido y apagado de luminarias por medio de un celular. Disponible: <http://relojdigitalavr.wordpress.com/2011/09/16/proyecto-de-domotica-en-construccion/>
- [3] Omar Flores (2013, Abril 16) Sistema de domótica para control de dispositivos de una habitación por medio de un teléfono móvil con sistema operativo Android. Disponible: <http://tecno-logica.utec.edu.sv/index.php/actualidad/35-new-home/84-sistema-de-domotica-para-control-de-dispositivos-en-una-habitacion>
- [4] Fernando Castro, Denise Arciniegas (2011, mayo 22) Novedades Technoimport para el 2012 en Mobiliari. Disponible: <http://www.technoimport.com.co>
- [5] Oscar Sanchez (2012, Noviembre 22) Lo último de Silicon. Disponible: <https://www.eleconomista.es/blogs/emprendedores/?p=3868>
- [6] Jose Salomon (2013, Diciembre 14) TARJETA ARDUINO. Disponible: http://www.dynamoelectronics.com/dynamo-tienda-virtual.html?page=shop.browse&category_id=82
- [7] Ruslan Unhicch (2013, Mayo 16) Teléfono Celular. Disponible: http://www.ecured.cu/index.php/Tel%C3%A9fono_celular
- [8] Hilda062414 (2013, Octubre 19) Lámpara incandescente. Disponible: http://www.ecured.cu/index.php/L%C3%A1mpara_incandescente
- [9] Página Oficial ARDUINO. Disponible: <http://arduino.cc/es/main/software#U0X6sPl5N1Q>
- [10] Pagina oficial Electronica Estudio.com. Disponible: <http://www.electronicaestudio.com/microcontrolador.htm>

Sistema de administración de batería de Ión-Litio para un Vehículo Eléctrico Gestionado con Lógica Difusa

²D.A. Martínez, ²J. D. Poveda

²Universidad Santo Tomás
Bogotá, Colombia
danielmartinez@usantotomas.edu.co,
juanpoveda@usantotomas.edu.co

D. Montenegro^{1,2}

¹Universidad de los Andes
²Universidad Santo Tomás
Bogotá, Colombia
d.montenegro56@uniandes.edu.co
davismontenegro@usantotomas.edu.co

Resumen— Este trabajo presenta la implementación de un sistema de administración de batería (SAB) de ión-litio para un vehículo eléctrico (EV) gestionado con lógica difusa, para de este modo establecer las posibles metodologías que permitan mejorar la autonomía y el rendimiento energético del EV. A partir de un modelamiento realizado de diferentes EV's donde se tuvo en cuenta la cadena de tracción y Ciclos de Conducción, se acentúan las condiciones de funcionamiento de un vehículo real para determinar bajo un perfil de conducción la capacidad de la batería en un proceso de aceleración y desaceleración afectando el estado de carga de la batería (SOC) con respecto al tiempo. Posteriormente se diseñó un SAB bajo una estrategia de optimización de la autonomía y el rendimiento energético proponiendo una arquitectura basada en lógica difusa donde se desarrolló funciones de pertenencia, estructurando los condicionales que resultarían en el mejor desempeño para minimizar el consumo energético del EV durante su operación. Los resultados obtenidos se determinan utilizando el modelo del EV y comparando el comportamiento de la batería sin aplicar el SAB, luego se utiliza el mismo modelo con SAB por lógica difusa implementado para evaluar la relación costo beneficio para el usuario. La implementación del sistema de administración de batería fue desarrollado en LabVIEW® validando el modelo simulado del vehículo eléctrico en DSSim-PC.

Abstract— This work presents the development of a Battery Management System (SAB) focused on lithium batteries for Electric Vehicles (EV). This SAB was developed using fuzzy logic to model the methodologies for improving the autonomy and performance of the EV. For modeling the EV the powertrain and driving cycles were used, thus reproducing the normal operation conditions for a real EV. With this model, to evaluate the Battery State of Charge (SOC) against the time under different conditions was possible, revealing the adequate strategy for improving its performance. Then, this strategy was implemented using fuzzy logic within the proposed SAB focused in the energy autonomy optimization and the energy performance. This SAB was applied to the EV model and the results reveal that there is a significant improvement of the SOC behavior under normal driving cycles. The SAB was implemented using NI LabVIEW® and the EV model and analysis was performed using DSSim-PC.

Keywords—Sistema de administración de batería (SAB), vehículo eléctrico (EV), control lógico difuso (CLD), eficiencia de

consumo energético, estado de carga (SOC), sistema de almacenamiento de energía (SAE).

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente los EV son una línea de investigación con gran potencial y muchos retos a futuro, dado que estos representan una alternativa al uso de vehículos convencionales operados por combustión interna. Sin duda alguna el EV se establecerá como el transporte del futuro debido a sus notables características solucionando los problemas medioambientales de emisiones cero y del uso de energía no renovable actuales generados por el parque automotriz [1].

Sin embargo, el problema que afronta la fabricación de EV's están referidos a los acumuladores de energía, ya que por su nivel de carga y descarga y su ciclo de vida útil hacen de ellos el mayor paradigma a la hora de evaluar el costo-beneficio de un EV [2].

La literatura señala que la distancia total recorrida por un EV se encuentra alrededor de los 200km debido a las limitaciones de peso y capacidad de las baterías. Esta estadística es solo el 30% del rendimiento esperado comparado con vehículos convencionales de combustión interna [3].

Del mismo modo, la literatura además señala los beneficios en términos del uso de eficiencia energética de un vehículo eléctrico los cuales pueden llegar a ser el 200% frente a un vehículo de combustión interna tradicional, con una menor emisión de gases de efecto invernadero (GEI) por kilómetro, las estimaciones en un EV muestran una eficiencia que alcanza el 77% si la electricidad que carga el Sistema de almacenamiento de energía (SAE) del EV tiene un origen plenamente renovable y un 42% si la generación eléctrica está basada en gas natural [4].

La aceptación clave por parte de los usuarios de las nuevas tecnologías será sin duda alguna la relación de costo y rendimiento de las baterías en los EV. Por lo tanto, el SAE debe entregar la cantidad adecuada de energía en cada recorrido, entregando de este modo la energía necesaria para suplir la potencia requerida por el motor en el proceso de aceleración y desaceleración. Lo que conlleva a la necesidad de desarrollar un sistema de administración de baterías (SAB) para

hacer de la batería un dispositivo seguro, confiable y una solución óptima bajo la perspectiva de costo-beneficio [5].

Para presentar este desarrollo, este trabajo está dividido en cuatro partes: Primero, una descripción del modelo de los EV's definido bajo el perfil de conducción; luego, la implementación del controlador difuso es demostrado y finalmente se presentan los resultados y las conclusiones.

II. MODELO FÍSICO DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO

El análisis y modelamiento de un EV se realiza a través de ciclos de conducción establecidos por estándares internacionales los cuales definen un patrón de conducción estandarizado y está representado por una gráfica de velocidad del vehículo contra el tiempo. El uso de la gráfica que representa un ciclo de conducción determina estadísticas de operación crítica en los vehículos como la demanda de energía por parte del motor al SAE. Esta demanda de carga energética está representada en un gráfico del SOC en función al ciclo de conducción.

Se optó por emplear el Nuevo Ciclo de Conducción Europeo (NEDC) desarrollado por la Comisión Económica de Naciones Unidas por Europa (ECE), el cual consiste en la combinación de 4 ciclos ECE-15 seguido por un ciclo de conducción extra urbano Fig. 1.

El ciclo ECE-15 simula condiciones de conducción en ambiente urbano y se caracteriza principalmente por una velocidad del vehículo baja como también una baja carga del motor y el ciclo EUDC describe una ruta suburbana donde al final del ciclo el vehículo acelera a una velocidad de autopista [6-8]. Las características del ciclo NEDC se evidencian en la Tabla 1.

El modelo físico de las fuerzas que actúan sobre el EV son fuerzas relacionadas a la gravedad, resistencia aerodinámica, resistencia al rodamiento e inercia Fig. 2 [9]. Por lo tanto, es necesario determinar el esfuerzo total de tracción siendo la suma total de las fuerzas que interactúan sobre este en su funcionamiento: [10]

$$F_{te} = F_{rr} + F_{ad} + F_{hc} + F_{la} + F_{wa} \quad (1)$$

Donde

- F_{rr} es la fuerza de rodamiento de los neumáticos y depende de la velocidad del vehículo
- F_{ad} es la resistencia aerodinámica y se debe a la fricción del EV moviéndose a través del aire.
- F_{hc} es la fuerza cuando el EV sube o baja una pendiente.
- F_{la} es la fuerza necesaria para dar una aceleración lineal.
- F_{wa} es la fuerza requerida para dar la aceleración angular de la rotación del motor.

Al haber determinado el esfuerzo total de tracción F_{te} se tiene que:

$$\text{Energía requerida cada segundo} = P_{te} = F_{te} \cdot v \quad (2)$$

TABLA 1. Características del NEDC

Características	Unidad	ECE 15	EUDC
Distancia	Km	4.052	6,955
Duración	s	780	400
Velocidad Promedio	Km/h	18,7	62,6
Velocidad Máxima	Km/h	50	120

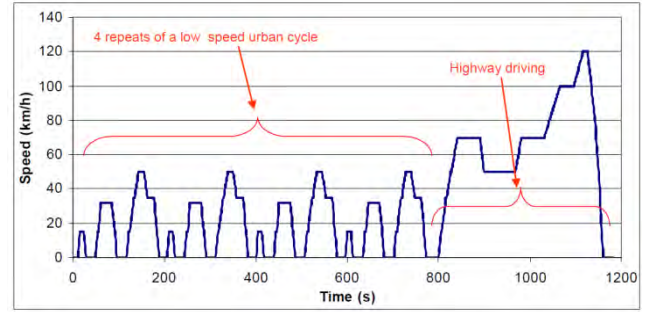


Fig. 1. Fases del ciclo NEDC [8]

Para determinar el torque del EV se determina la velocidad angular del motor eléctrico (ME) que depende de la relación de transmisión G y el radio del neumático r .

$$w = G \frac{v}{r} \quad (3)$$

$$T = IG \frac{a}{r} \quad (4)$$

A partir de w_c la cual es una constante antes de que el motor alcance la velocidad angular crítica, se tiene que:

$$\text{Para } w < w_c \text{ o } v < \frac{r}{G} w_c \text{ entonces, } T = T_{max} \quad (9)$$

$$\text{Para } w \geq w_c \text{ o } v \geq \frac{r}{G} w_c \text{ entonces, } T = \frac{T_{max} w_c}{w} \quad (10)$$

La eficiencia del motor está dado por:

$$\eta_m = \frac{T w}{T w + k_c T^2 + k_i w + k_w w^3 + C} \quad (11)$$

Si la potencia eléctrica requerida por el motor es mayor que la potencia de salida mecánica:

$$P_{mot_in} = \frac{P_{mot_out}}{\eta_m} \quad P_{mot_out} = \frac{P_{te}}{\eta_g} \quad (12)$$

En caso de que el vehículo este siendo conducido la potencia requerida por el motor es:

$$P_{mot_in} = P_{mot_out} \cdot \eta_m \quad P_{mot_out} = P_{te} \cdot \eta_g \quad (13)$$

Sin consideraciones de consumo de potencia por dispositivos de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVA) se tiene que la potencia requerida desde la batería es:

$$P_{bat} = P_{mot_in} \quad (14)$$

El modelo desarrollado del EV junto con los ciclos de conducción se observa en el diagrama de flujo de la Fig. 3. El modelo del SAE usado pertenece a la librería de DSSim-PC [11], este modelo se basa en la entrega de potencia (descarga) o consumo de potencia (carga) a partir de su potencia máxima y capacidad de energía almacenada [12].

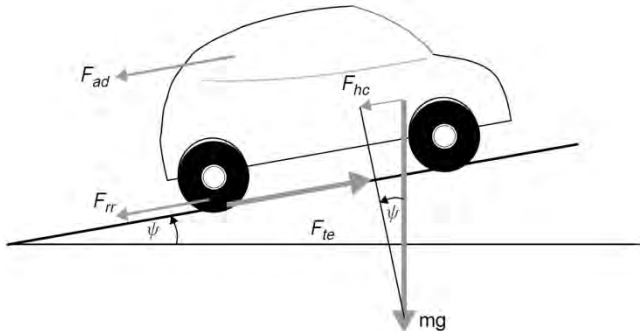


Fig. 2. Diagrama de cuerpo libre de un EV [9]

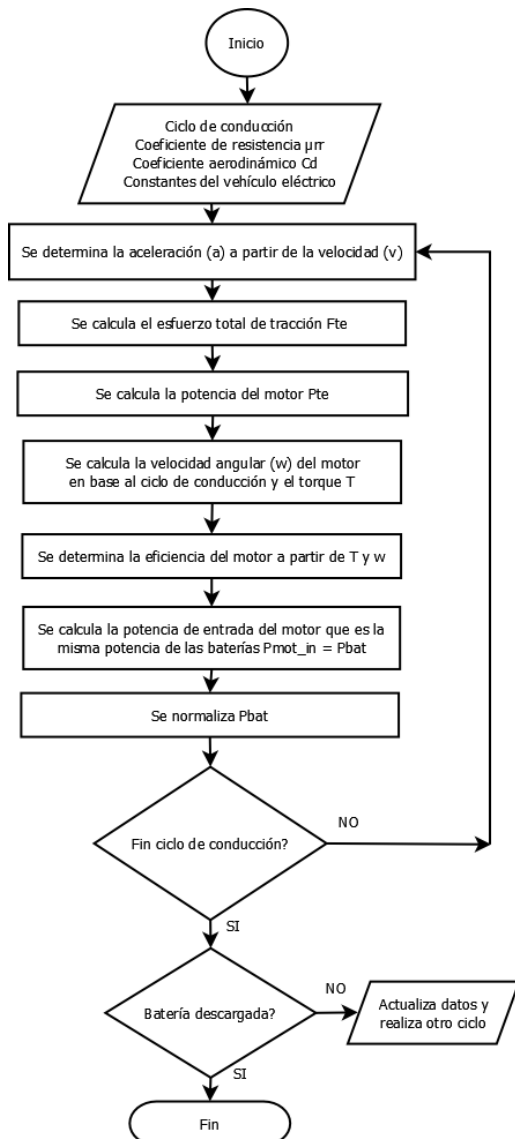


Fig. 3. Diagrama de flujo del modelo desarrollado del EV

El elemento de SAE se ajusta a condiciones reales simulando la conexión en serie de un arreglo de baterías que entregan la potencia requerida por el motor, tomando en consideración el “C-rate” dado por el fabricante del EV el cual determina la velocidad a la que una batería se descarga con respecto a su capacidad máxima [13].

Además, se realiza un cambio dinámico en el comportamiento del voltaje de la batería que depende de la entrada y salida de corriente del SAE. Esta variación es expresada en términos de “resistencia interna” respecto al modelo interno de la batería Fig. 4 [10].

El control de eficiencia de carga y descarga del SAE en DSSim PC está basado en un modo de seguimiento de carga según la curva del perfil de conducción, es decir, según los valores del perfil de conducción la unidad de SAE es descargada, cargada o en reposo a una tasa correspondiente al valor por unidad de la curva correspondiente al perfil [12]. La simulación propuesta empleando DSSim-PC se ve en la Fig. 5.

En este entorno, el algoritmo mide el voltaje sobre la carga (LD_1) la cual representa la demanda del usuario. La inspección de la simulación se realiza a través del SAE en donde se evidencia de forma dinámica la carga y descarga del SOC, estas medidas son hechas a partir de los medidores vinculados a los nodos Fig. 5.

Los vehículos utilizados para este desarrollo corresponden a los EV's Nissan Leaf, Mitsubishi iMiev y Renault Fluence ZE los cuales apoyados bajo la hoja técnica del fabricante se determinó el modelo correspondiente a cada vehículo. [14] - [16].

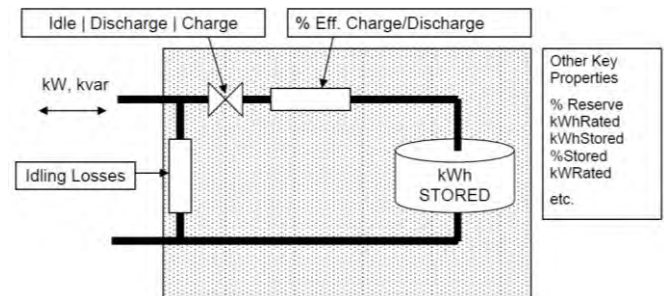


Fig. 4. Modelo interno de un acumulador de Li-ion [12]

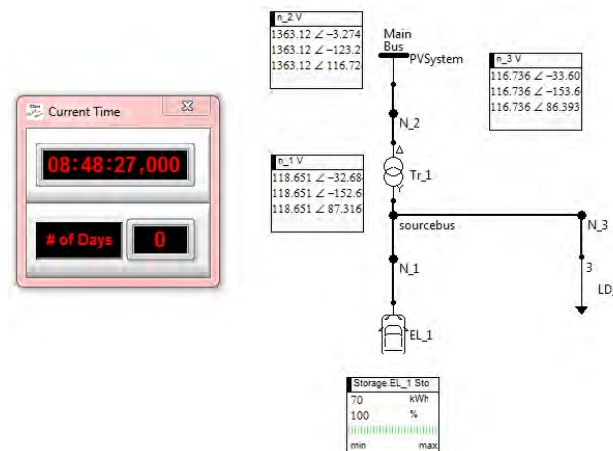


Fig. 5. Simulación dinámica del SAE respecto a la carga

III. CONTROLADOR LÓGICO DIFUSO

Una vez realizado el modelamiento de los tres EV se implementa una estrategia mediante lógica difusa, para permitir un ahorro de batería respecto al comportamiento original de circuito. Se definen así los parámetros de diseño de un sistema difuso correspondientes a entradas, salidas, funciones de pertenencia y reglas.

En primer lugar se parte de que el sistema difuso debe tener en cuenta la totalidad de variables involucradas en el consumo energético del EV para producir un resultado, por lo cual se sugieren dos entradas correspondientes a demanda energética y SOC; dichas entradas presentan la ventaja de permitir una inclusión total de variables y una realimentación.

La salida del sistema difuso debe corresponder a una curva de demanda energética optimizada a partir de las entradas, para lo cual se propone un porcentaje de ahorro (%Ahorro), que indica si la necesidad de ahorrar la energía restante en la batería es baja o si por el contrario debe ser muy alta. Un diagrama simplificado del sistema difuso propuesto se muestra en la Fig. 7.

Una vez determinadas las entradas y salidas del sistema se seleccionan las funciones de pertenencia para cada una de estas. Las funciones seleccionadas para el caso corresponden al tipo sigmoideo, ya que al no tener una entrada simple y una incertidumbre uniforme se recomienda el uso de funciones suaves y no semi-lineales [17].

Las figuras 7, 8 y 9 presentan las funciones de pertenencia para cada una de las entradas y salidas propuestas en el sistema difuso.

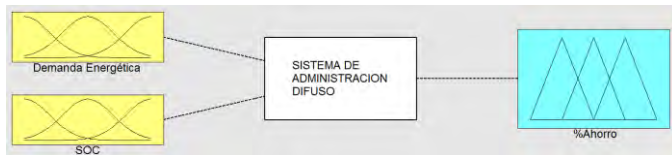


Fig. 6. Sistema propuesto con sus respectivas entradas y salidas

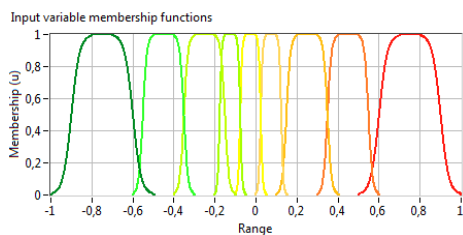


Fig. 7. Funciones de pertenencia para la variable de entrada "Demanda Energética"

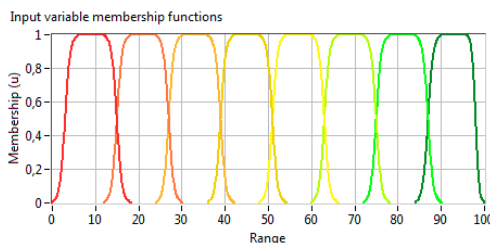


Fig. 8. Funciones de pertenencia para la variable de entrada "SOC"

Se definen posteriormente las reglas del sistema, se opta por realizar cualquier combinación posible de entradas/salida para obtener una mayor robustez en el sistema. Con la definición de los parámetros se genera la gráfica del sistema que relaciona las dos entradas y la salida con base en las reglas de inferencia como lo ilustra la figura 10.

Se realiza la implementación del sistema difuso diseñado en un CLD mediante LabVIEW. La conexión de este se realiza en serie a la simulación física del EV y antes de la simulación de la batería, como lo indica el diagrama de la figura 11.

IV. RESULTADOS

Con el diseño y la implementación del CLD propuesto en el capítulo III, se realizó un programa informático que incluye el modelo físico del EV implementado en NI LabVIEW, el modelo de la batería de Li-Ion implementado en DSSim-PC y el CLD. Como entradas al programa se utilizan: el ciclo de conducción NEDC repetido 8 veces (con efecto de visualizar la descarga total de la batería) y la selección del EV. Se cuenta con una interfaz gráfica que presenta la información obtenida de la simulación en 3 pasos: simulación sin controlador, simulación con controlador y resultados.

A manera de ejemplo se muestra la simulación realizada para un Nissan Leaf. En la figura 12 se observan las gráficas obtenidas para el EV sin controlador, a partir del NEDC se obtiene la curva de demanda energética original que produce la curva de descarga indicada.

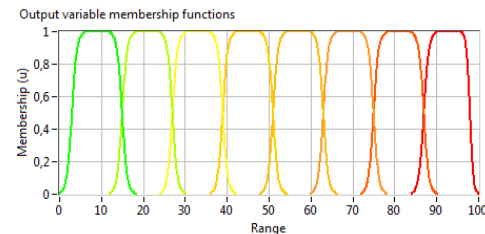


Fig. 9. Funciones de pertenencia para la variable de salida "%Ahorro"

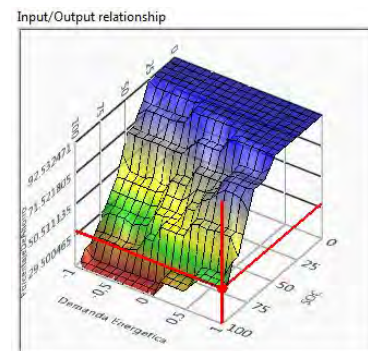


Fig. 10. Gráfica tridimensional de relación entradas/salida para el sistema difuso

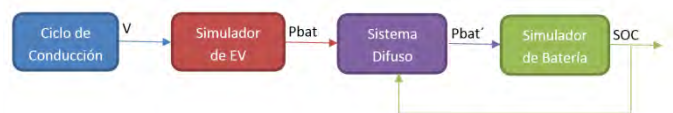


Fig. 11. Diagrama de bloques simplificando la conexión entre EV y CLD

Una vez el programa obtiene las gráficas sin controlador, realiza la misma simulación pero agregando el CLD en serie a la curva de demanda original. El CLD corrige la curva de demanda original para obtener una mayor duración de la batería con base en su salida (%Ahorro). Las gráficas correspondientes a la salida del CLD, la demanda energética corregida y la descarga de la batería con la inclusión del CLD se muestran en la figura 13.

Finalmente, el programa compara los resultados obtenidos en la simulación del EV sin CLD y con CLD, presentando una comparación entre las gráficas de demanda energética y descarga tanto originales como corregidas, además del porcentaje exacto que se logró ahorrar gracias al uso del CLD. Los resultados obtenidos para el Nissan Leaf se muestran en la figura 14.

Dada la naturaleza difusa del CLD utilizada para corregir la curva de demanda energética, los resultados obtenidos en cada simulación presentan variaciones, aun al utilizar el mismo EV y el mismo ciclo de conducción.

La realización de 20 simulaciones para cada uno de los tres EV modelados se resume en la figura 15.

Se obtiene así, para el modelo Fluence Z.E. un ahorro mínimo de 0.354% equivalente a 0.6549 Km con base en el rango oficial presentado por Renault bajo el NEDC, correspondiente a 185 Km por carga. Se aprecia de igual forma un ahorro máximo de 10.08% equivalente a 18.648 Km. Para este EV, el ahorro promedio al utilizar el CLD corresponde a 3.83%, es decir, 7.08 Km.



Fig. 12. Simulación sin controlador para un Nissan Leaf

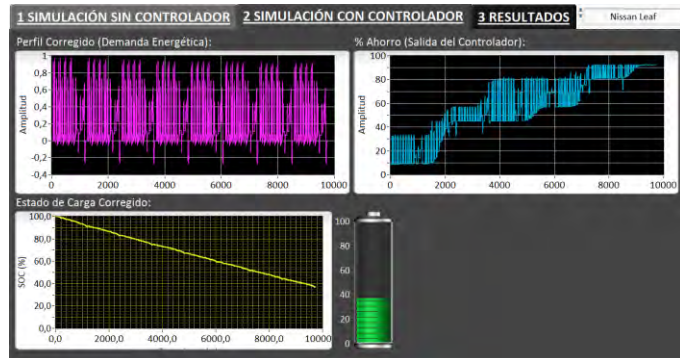


Fig. 13. Simulación con controlador para un Nissan Leaf



Fig. 14. Comparación de resultados en simulación para un Nissan Leaf

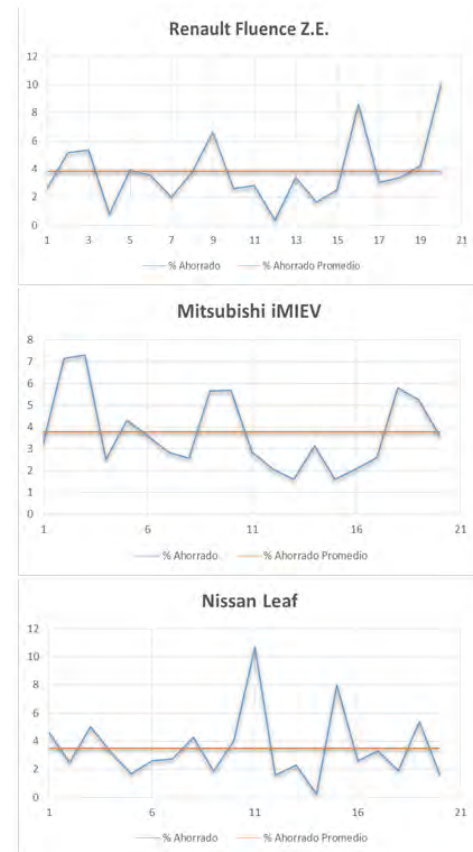


Fig. 15. Resultados de porcentaje ahorrado gracias al controlador obtenidos para 20 simulaciones y cada uno de los EV modelados

En cuanto al iMiEV se obtiene un ahorro mínimo de 1.58% equivalente a 2.93 Km con base en el rango oficial presentado para este modelo bajo el NEDC, correspondiente a 150 Km por carga. Se aprecia de igual forma un ahorro máximo de 7.31% equivalente a 13.52 Km. Para este EV, el ahorro promedio al utilizar el CLD corresponde a 3.76%, es decir, 5.65 Km.

El Leaf logra un ahorro mínimo de 0.2274% equivalente a 0.4206 Km con base en el rango oficial presentado por Nissan bajo el NEDC, correspondiente a 199 Km por carga. Se aprecia de igual forma un ahorro máximo de 10.68% equivalente a 19.75 Km. Para este EV, el ahorro promedio al utilizar el CLD corresponde a 3.51%, es decir, 7.02 Km.

V. TRABAJO FUTURO

De acuerdo con los resultados obtenidos con el uso del CLD, se propone como trabajo futuro la implementación real del sistema en diferentes EV, corroborando de esta manera la validez del diseño en diferentes ámbitos.

Se sugiere además, la posterior modificación de los parámetros del sistema difuso como entradas, salidas, funciones de pertenencia y reglas para encontrar así las diferencias y posibles mejoras al sistema.

Es posible la posterior adición de otros modelos de EV y otros ciclos de conducción, con el fin de obtener una mayor cantidad de resultados y establecer conclusiones más sólidas.

VI. CONCLUSIONES

Se realizó el modelamiento de tres vehículos eléctricos, obteniendo un comportamiento en simulación (mediante la interconexión de NI LabVIEW y DSSim-PC) aproximado al comportamiento real según los datos oficiales de consumo y rango presentados por los respectivos fabricantes para el NEDC.

Con base en la simulación de los EV se propuso un sistema difuso, el cual se implementó posteriormente en un CLD. Se establecieron dos entradas: SOC y demanda energética, debido a que permiten la inclusión de todas las variables relacionadas con la duración de la batería y una realimentación al sistema.

La salida del CLD, correspondiente a un porcentaje de ahorro, permitió una correcta descripción de la necesidad de ahorro energético en cada instante de tiempo. Con base en este porcentaje fue posible realizar la corrección a la curva de demanda energética teniendo en cuenta que en el peor de los casos se limitó la potencia máxima del motor en un 10%, lo cual resulta poco perceptible para el conductor del EV.

Se desarrolló un único programa con interfaz gráfica permitiendo observar el comportamiento de las curvas de demanda y SOC para el EV seleccionado, inicialmente sin la implementación del CLD y posteriormente con la implementación de este. La simulación contempla la repetición del NEDC 8 veces para permitir la observación total de las curvas.

El ahorro de energía gracias al CLD no es constante dada la naturaleza de la lógica difusa implementada, sin embargo con los datos obtenidos en 20 simulaciones para cada uno de los tres EV, se estableció un ahorro promedio del 3.83% (7.08Km) para el Renault Fluence ZE, 3.51% (7.02Km) para el Nissan Leaf y 3.76% (5.65Km) para el Mitsubishi i-MiEV al utilizar el CLD.

Los resultados sugieren la utilización del CLD propuesto para un EV con una potencia máxima de motor alta y un par máximo alto, además de un elevado rendimiento de distancia por carga, ya que estas características afectan directamente al ahorro promedio logrado gracias al CLD.

Se verificó la efectividad y viabilidad al utilizar una lógica difusa como estrategia en la implementación de sistemas de ahorro energético para diferentes EV.

REFERENCIAS

- [1] "Transport at a crossroads. TERM 2008: indicators tracking transport and environment in the European Union," European Environment Agency, <http://www.eea.europa.eu/publications/transport-at-a-crossroads2008>.
- [2] H. Rahimi-Eichi, U. Ojha, F. Baronti and M. Chow, "Battery Management System: An Overview of Its Application in the Smart Grid and Electric Vehicles," *Industrial Electronics Magazine, IEEE*, vol.7, no.2, pp. 4, 16, 2013.
- [3] Z. Yuhe, W. Wenjia, Y. Kobayashi, and K. Shirai, "Remaining driving range estimation of electric vehicle", in *IEEE International Electric Vehicle Conference (IEVC) 2012*, pp. 1-7, 2012.
- [4] Energía y Sociedad (2013, 01-02). *El vehículo eléctrico*. Online. Disponible: energiaysociedad.es/documentos/8/el-vehiculo-electrico.doc
- [5] B. Johnson. (2012, 01-02) *Drive cycles vs. Duty cycles* (1 ed.). [Online]. Disponible: <https://www.ntea.com/content.aspx?id=27297>
- [6] T. J. Barlow, S. Latham, I. S. McCrae, and P. G. Boulter, "A reference book of driving cycles for use in the measurement of road vehicle emissions," PPR354, 2009.
- [7] M. Quarterly, R. Hensley, S. Knupfer y D. Pinner. (2009, 01-02). *Electrifying cars: How three industries will evolve*. [Online]. Disponible: http://www.mckinsey.com/insights/manufacturing/electrifying_cars_how_three_industries_will_evolve.
- [8] E. Comission, "Regulated emissions of a Euro 5 passenger car measured over different driving cycles," 2013, 07-22.
- [9] E. Schalts. (2013, 07-06). *Electrical Vehicle Design and Modeling*. Available: <https://www.intechopen.com/download/get/type/pdfs/id/19571>.
- [10] J. Larminie and J. Lowry, *Electric vehicle technology explained*. West Sussex, England ; Hoboken, N.J.: J. Wiley, 2003.
- [11] D. Montenegro. (2013, 01, 07). *DSSim-PC, Electrical Distribution System Simulator for PC*. Available: <http://sourceforge.net/projects/dssimpc/?source=navbar>.
- [12] E. P. R. I. Inc. (1997). *OpenDSS*. Available: <http://www.smartgrid.epri.com/SimulationTool.aspx>.
- [13] E. V. T. MIT. (2008, 12-02). *A Guide to Understanding Battery Specifications*. Available: http://web.mit.edu/evt/summary_battery_specifications.pdf.
- [14] N. Leaf. (2013, 01-02). *Specifications*. Available: <http://www.nissan.ie/vehicles/leaf/#spec>.
- [15] M. iMiev. (2013, 01-02). *Ficha Técnica*. Available: <http://www.mitsubishi-motors.cl/i-miev/ficha.html>.
- [16] R. F. ZE, "Specifications," 2013, 01-02. <http://www.renault.co.uk/cars/electric-vehicles/fluence-ze/fluence-ze/specifications/index.jsp>
- [17] W. Duch, "Uncertainty of data, fuzzy membership functions, and multilayer perceptrons," *IEEE Trans Neural Netw*, vol. 16, pp. 10-23, Jan 2005.

Diseño de un sistema de transmisión de mediciones de energía aprovechando la infraestructura eléctrica de los sistemas de distribución bajo el enfoque Smart Meters.

Diseño de un sistema de transmisión de mediciones de energía aprovechando la infraestructura eléctrica de los sistemas de distribución bajo el enfoque Smart Meters.

Daniel Zuluaga Arias

*Grupo de Investigación en Campos Electromagnéticos y
Fenómenos Energéticos*
Colciencias, Universidad Tecnológica de Pereira
Pereira, Colombia
daniel_ing2008@utp.edu.co

MSc. Alexander Molina Cabrera

*Grupo de Investigación en Campos Electromagnéticos y
Fenómenos Energéticos*
Colciencias, Universidad Tecnológica de Pereira
Pereira, Colombia
almo@utp.edu.co

Marcelo Bernal Gómez

Grupo de Investigación en Campos Electromagnéticos y Fenómenos Energéticos
Colciencias, Universidad Tecnológica de Pereira
Pereira, Colombia
mabernal@utp.edu.co

Abstract— En este documento se van a presentar los resultados obtenidos a partir una investigación financiada por Colciencias “Jóvenes Investigadores”, gracias a esta investigación se logró desarrollar un prototipo de comunicación inteligente bidireccional basado en tecnología inalámbrica (Tecnología Zigbee), capaz de entregar al centro de control (Un computador) el consumo de potencia activa del medidor de energía del usuario final, hacer corte y reconexión del servicio a larga distancia, permitir la visualización de información al usuario final mediante interfaz en el dispositivo y la administración de la información en un Software.

Keywords— Diseño de Hardware, diseño de Software, pérdidas técnicas, redes inalámbricas, red Eléctrica Inteligente, sistemas de Distribución, Smart Grid, Smart meter, Telemedida.

I. INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas fundamentales de los sistemas de distribución de energía eléctrica en Colombia y Latinoamérica son las pérdidas en los sistemas de distribución. Lo anterior lo refleja que comparativamente Latinoamérica tiene niveles de pérdidas promedio (17%) muy por encima de Europa (8%), Estados Unidos (8%) o Asia (9%). En el caso específico de Colombia se encuentran niveles de 19.5% y de acuerdo con la caracterización del sector eléctrico colombiano cerca del 50% de las mismas, es decir 9.75%, corresponde a pérdidas blancas o pérdidas técnicas (estas pérdidas de energía corresponden al efecto Joule debido a circulación de corriente por los activos del sistema de distribución). Para tal situación problemática la solución emergente estratégica se propone integrar tecnologías electrónicas, informáticas y de la comunicación en procura de

la construcción de Sistemas de Distribución Inteligentes. Para ello el grupo de investigación CAFE de la Universidad Tecnológica de Pereira logra contribuir a tal problemática con el desarrollo tecnológico de un prototipo que involucra el diseño de un sistema (Hardware) de adquisición y transmisión de la señal entregada por el medidor de energía monofásico Scorpion y un sistema de recepción Zigbee conectado a una computadora, para posteriormente administrar la información a través de un Software desarrollado en JAVA que le permite a la empresa de energía visualizar en tiempo real el consumo de potencias activas, hacer corte y reconexión desde la plataforma y visualizar en graficas el estado del consumo mensual. El sistema de Hardware también involucra un módulo de visualización del consumo del acumulado del día y el precio de energía activa consumida hasta la fecha; logrando así que el usuario tenga una interacción más dinámica con el consumo de energía de su hogar.

II. DESARROLLO DE LA PLATAFORMA DE HARDWARE SMART GRID

Si se introduce un poco más sobre los sistemas Smart Grid, es posible decir que permite la comunicación bidireccional en casi tiempo real entre el consumidor final residencial y la compañía eléctrica, de forma que la información proporcionada por los consumidores se utiliza por las compañías para permitir una operación más eficiente de la red eléctrica. Además, toda esa información permitirá ofrecer servicios a los clientes de forma complementaria y a la propia red de Energía Eléctrica. En este informe se encuentra

plasmado el trabajo que se ha estado desarrollando al interior del grupo de investigación CAFE, dividido en dos partes, desarrollo Hardware y desarrollo de Software las cuales vamos a explicar a continuación:

La construcción de este prototipo de Hardware para la lectura del consumo de potencia activa de Energía Eléctrica se compone de cinco grandes partes como se aprecia en la Figura 1, el medidor de energía, la etapa de acondicionamiento de la señal, sistema de control, sistema de transmisión y sistema de recepción (Software).



Figura 1. Diagrama de módulos del dispositivo.

A. Medidor de energía Scorpion

El medidor Scorpion es un medidor monofásico de bajo costo para la medición de energía activa en uso domiciliario. Posee un circuito integrado estándar de medición de energía. Cuenta con una fuente de alimentación de divisor capacitivo protegida frente a pulsos de alta tensión. Además, el medidor es muy estable frente a las variaciones de temperatura, tensión y frecuencia. En la parte frontal del medidor se encuentra un Led rojo de testeo para poder ser controlado por medio de cualquier equipo de contraste y otro Led para indicar el flujo inverso de energía. La medición de energía activa es en KWh, la constante de salida de pulso es de 3200 pulsos/KWh.

El medidor trabaja con un integrado BL0930, cuya función es medir y entregar la señal de consumo de energía eléctrica. En la Figura 2, se encuentra el diagrama del sistema de adquisición de datos digitales, tales como: manipulación de señales analógicas, medición, conversión, manejo de datos digitales, y programación y control interno.

B. Sistema de adquisición de la señal del medidor



Figura 2. Diagrama de Adquisición de la señal digital del medidor.

El integrado PS2501 entrega por el pin de salida correspondiente una señal Optoacoplada, es decir que la señal de salida del medidor está aislada del resto del circuito; el integrado transmite la información del consumo energético a

través de un diodo LED infrarrojo, que se enlaza de forma óptica con un fototransistor que entra en saturación entre emisor y colector cuando existe una excitación en la base del transistor (Presencia de consumo de energía), por lo tanto, es el encargado de capturar esa información luminosa y transformarla en una señal eléctrica idéntica, en su composición de niveles, a la que el LED emite. Según el circuito, se establece un voltaje alto cuando hay un pulso o una lectura de consumo de energía de potencia activa y un voltaje bajo cuando no hay lectura. Estos voltajes varían mucho en el tiempo, por este motivo es importante acondicionar o caracterizar la señal.

Al dejar claro el concepto anterior, se implementó un circuito que ayude a estabilizar la señal de salida del optoacoplador con una resistencia de PULL DOWN como se observa en la Figura 3.

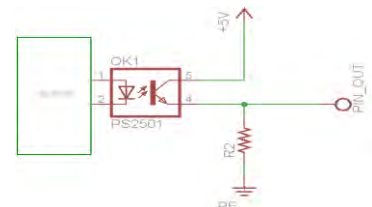


Figura 3. Circuito de PULL DOWN.

Una vez estabilizada la señal de respuesta con el circuito anterior, se diseñó un módulo para el acondicionamiento de la señal de salida con un amplificador de instrumentación AD6020, con el fin de conseguir una señal de entrada al microcontrolador con niveles de tensión adecuados.

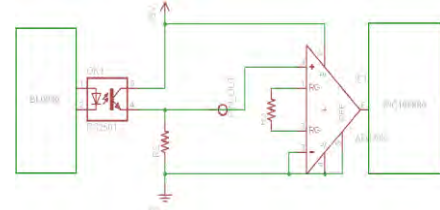


Figura 4. Circuito de acondicionamiento de señal.

Este amplificador viene definido por la siguiente ecuación:

$$V_o = AV(V_{+IN} - V_{-IN}) \quad (1)$$

Y la ganancia está dada por

$$RG = \frac{49,4 \text{ K}\Omega}{G - 1} \quad (2)$$

Para el desarrollo de este módulo se recomienda usar una ganancia igual a 3, debido a que si se sobrepasa este valor aumenta los niveles de tensión, valores no soportados por el PIC, por tanto la resistencia de realimentación equivalente es:

$$RG = \frac{49,4 \text{ K}\Omega}{3 - 1} \approx 24,7 \text{ K}\Omega \quad (3)$$

C. Módulo de adquisición de datos y de control

La señal entregada por el sistema de acondicionamiento, es recibida por uno de los pines de entrada analógica-digitales del microcontrolador PIC16F886, este permite transformar la señal analógica (un voltaje), en una representación digital (Datos Binarios “0” y “1”) del valor correspondiente a la tensión de entrada en el pin, en un rango predefinido, a través de una palabra de 10 bits (1024).

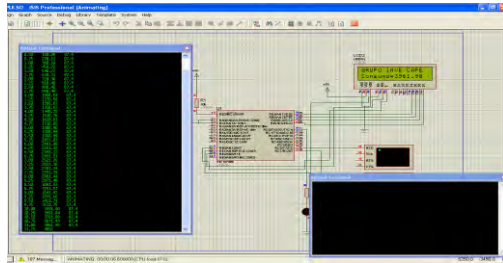


Figura 5. Probando el sistema de adquisición de datos.

D. Sistema de transmisión RF de la señal

Un sistema de transmisión inalámbrico o sin cable, es aquel en la que la comunicación (emisor/receptor) no se encuentra unida por un medio de propagación físico, sino que se utiliza la modulación de ondas electromagnéticas a través del espacio. En este orden de ideas, los dispositivos físicos sólo están presentes en los emisores y receptores de la señal. Para poder escoger los dispositivos que se implementarán para el desarrollo del proyecto, se realizó una pequeña tabla con 3 posibles actores que se describirán a continuación:

Se analizaron 3 tecnologías disponibles en el mercado para el sistema de transmisión de datos: GPRS, PLC y RF. Para el caso de la tecnología GPRS, la ventaja es un mínimo mantenimiento, pero se está sujeto a tarifas de la compañía de celular; en cuanto al PLC como ventaja se utiliza sobre la infraestructura existente de redes de potencia, pero como desventaja es que es compartido entre los clientes conectados a esa red; y en cuanto a la tecnología RF es una de las más utilizadas desde hace muchos años para diferentes formas de comunicación, pero está limitada por la geografía.

Se llegó a la conclusión de escoger como sistema de comunicación inalámbrica los módulos RF Xbee con una distancia en línea de vista de 10km, por su flexibilidad en cuanto a expansión, viabilidad en la comunicación e interoperabilidad con otros tipos de tecnologías.

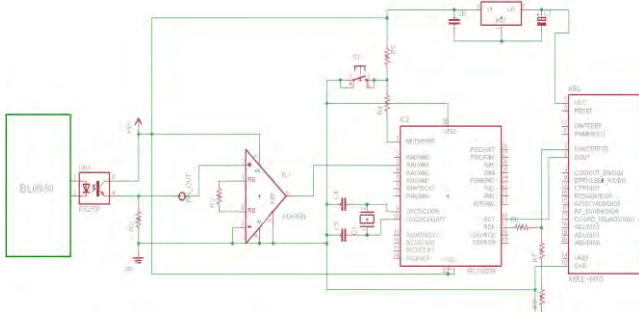


Figura 6. Sistema de comunicación inalámbrico.

En la Figura 6 se visualiza el sistema de Hardware desarrollado para transmitir la señal capturada del medidor de energía. A nivel de software, se deben programar los dispositivos transceptores Xbee PRO DIGIMESH de 900Mhz, mediante comandos AT. Estos dispositivos permiten un largo alcance gracias a la incorporación de antenas RPSMA de alta ganancia, obteniendo una distancia de 14Km (9 Millas) en línea de vista con la antena Dipolo.

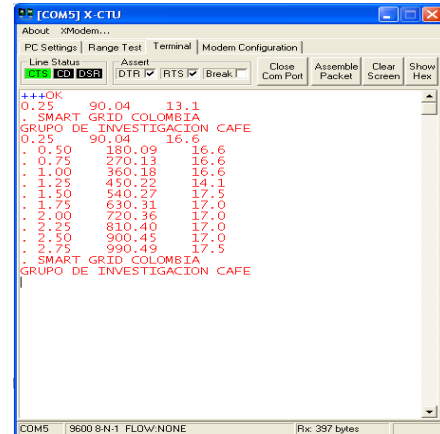


Figura 7. Envío de datos del sistema de Telemetria hacia la plataforma X-CTU.

E. Sistema de recepción Xbee

El sistema de recepción está compuesto por un módulo Xbee con una antena RPSMA, igual al transmisor para la recepción efectiva de los datos provenientes del sistema de Telemetria. Con fines de seguir los estándares ya establecidos por la empresa de energía sobre la lectura de datos residenciales, los datos de consumo energético se leerán cada 15 minutos en la central de control, ya con la cantidad de datos almacenados se procede a realizar las estadísticas y graficas de consumo mensual por usuario.



Figura 8. Receptor inalámbrico conectado al centro de control.

F. Etapa de potencia para corte y reconexión

El componente principal de esta etapa es un relé, como se observa en la Figura 9, el cual es un dispositivo mecánico capaz de comandar cargas pesadas a partir de una pequeña tensión aplicada a su bobina. Básicamente la bobina contenida en su interior genera un campo magnético que acciona el interruptor mecánico. El accionamiento de la bobina del relé se realiza mediante la aplicación de una pequeña corriente de excitación a la base del transistor TIP41 entregada por el sistema de control PIC16F886, la señal de activación es

enviada desde el PC de forma inalámbrica. Para ello se desarrolló el Firmware para el microcontrolador.

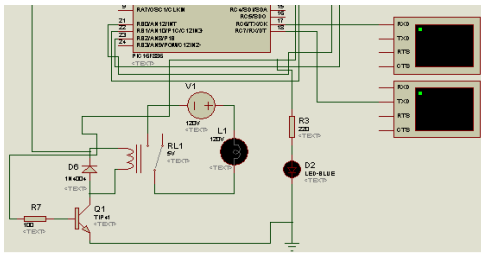


Figura 9. Etapa de potencia con relevo.

G. Etapa de visualización en LCD

Un sistema de medida inteligente no se trata solo de disponer de datos de consumo del cliente residencial ni perseguir como único fin las pérdidas no técnicas en la red de distribución, sino, la implementación de un sistema de medida inteligente donde se pueda modificar el modelo de negocio actual, permitiendo una sinergia o interacción por parte del cliente basada en la información disponible entregada por el medidor electrónico casi en tiempo real, por tal razón en este proyecto se desarrolló tanto desde la parte de software como de hardware un módulo de visualización LCD para que el usuario final pueda observar cada vez que desee el consumo de energía activa de su hogar.

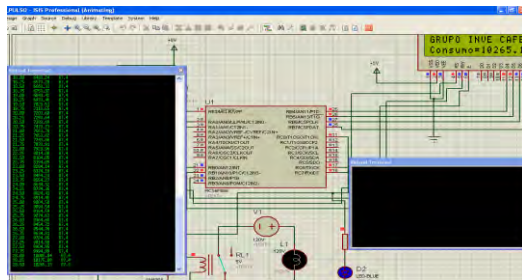


Figura 10. Visualización en LCD del consumo de potencia.

H. Prototipo del sistema TelemetterHome

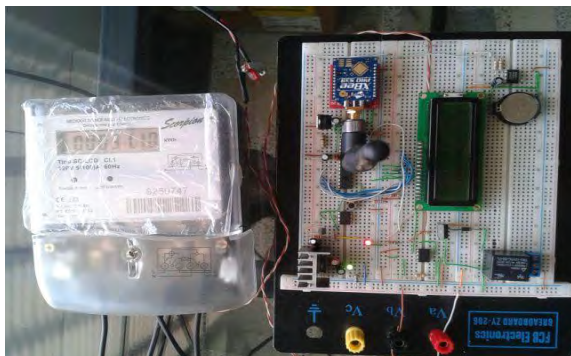


Figura 12. Prototipo de Telemedida Inteligente.

III. DESARROLLO DE LA PLATAFORMA DE SOFTWARE SMARTGRID

Las redes inteligentes de energía (SmartGrid) requieren el uso de tecnologías de la información (TIC's), que permitan recopilar, clasificar y analizar el comportamiento tanto de los proveedores, como del servicio a los consumidores; esto con

el fin de garantizar la fiabilidad, la eficiencia y la sostenibilidad de la prestación del servicio. Adicionalmente se requiere la construcción de sistemas integrados de comunicación que permitan el control y gestión en tiempo real, respondiendo al intercambio de datos reales de la red eléctrica cuyo objetivo sea evaluar la estabilidad de la red, el estado de los equipos, el corte y reconexión del servicio y la prevención de robo de energía (seguridad). Debido a que es mucha cantidad de información la que se recopila de una red inteligente de energía, la tecnología que permita sintetizar al máximo dicha información en datos específicos de tal forma que sea intuitiva y de fácil comprensión visual al usuario final, pero que a su vez proporcione múltiples herramientas de análisis de datos; será la que se destaque dentro de los principales software de gestión.

Actualmente existen diversas arquitecturas del software, las cuales permiten el desarrollo de plataformas confiables según las necesidades del usuario. Sin embargo la que más se ajusta a los sistemas de gestión de datos en SmartGrid es llamada arquitectura de tres o más niveles (multi nivel), en donde se tiene una capa para el procesamiento de datos, otra para el almacenamiento de los mismos y finalmente otra para la interfaz con el usuario; este tipo de arquitectura permite solo una conexión con cada una de las capas garantizando la seguridad de las mismas.

Para desarrollar la primera versión del software SmartGrid se utilizó la plataforma JAVA EE, la cual es una plataforma PC que permite al usuario del servicio de energía llevar un control diario del consumo de energía; integrando a su vez funcionalidades básicas para el proveedor del servicio. La plataforma se basa en una interfaz muy intuitiva que permite: estimar el consumo real de potencia activa (kW/h), visualizar el costo que tiene esa energía consumida según la tasa de costos del operador, visualizar la temperatura real en °C a la cual trabaja el equipo, realizar corte y reconexión del servicio con tan solo un click y finalmente permite visualizar un historial de los últimos 8 meses de consumo y su promedio durante esos meses.

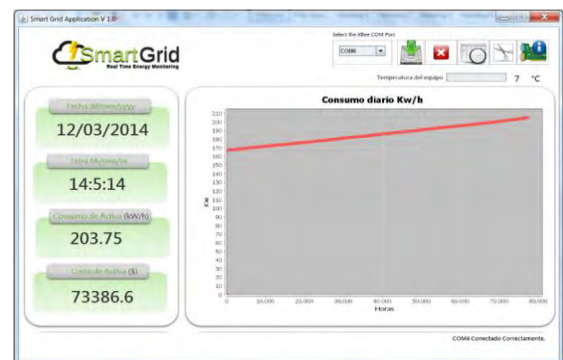


Figura 14. Interfaz Gráfica SmartGrid V. 1.0

Cuando el dispositivo inicia su adquisición, los datos son adquiridos como una cadena de caracteres tipo string, cada vez que el puerto serial detecte una nueva interrupción por captura

de datos. Luego de la captura, los datos son discriminados y almacenados en una base de datos cada uno por separado (información del equipo, temperatura, valor en pesos y consumo). La gráfica del consumo se va actualizando cada 5 segundos lo que permite tener una muy buena resolución de la gráfica de consumo actual. Adicionalmente el software permite visualizar el consumo total que se tuvo en los últimos 8 meses a partir del actual.



Figura 17. Consumo mensual totalizado con promedio

Como servicio adicional, se realizó una función que estará solo disponible para el proveedor del servicio, esta permite realizar el corte y/ reconexión del servicio a través de un solo click y/o automáticamente si el cliente ha sobrepasado el límite de pago de su factura. Como valor agregado, la plataforma permite conocer los datos del equipo, es decir el nombre del propietario, el número del contrato, el ID del equipo, la localización, el estado del servicio y la fecha límite de pago, esta información es editable únicamente por el proveedor del servicio.

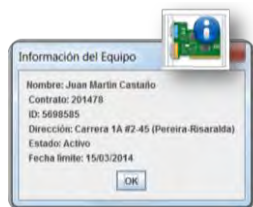


Figura 19. Información del equipo

IV. CONCLUSIONES

Cabe destacar que la realización de esta plataforma en JAVA EE (Platform Enterprise Edition), permite realizar software en N capas y es complementada en componentes de software modulares que se ejecutan sobre un servidor de aplicaciones, lo que permitirá a futuro una gran escalabilidad, como la realización de una plataforma WEB que permita integrar nuevas funcionalidades tanto al usuario como al proveedor de servicio, tales como herramientas de análisis de datos estadísticos de consumo, nombres de usuario y contraseñas para login, recordatorios de pago, entre otros. A su vez la realización del software mediante capas permite la integración de nuevas funcionalidades sin tener que modificar o cambiar el código fuente.

Así mismo la plataforma diseñada es sencilla pero intuitiva para el usuario, lo que proporciona una fácil adaptación y operatividad con los datos obtenidos, ya que actualmente los

datos de mayor importancia para el usuario final de energía eléctrica son el consumo y costo de la misma.

Se consiguió implementar un prototipo inteligente de lectura del consumo de energía activa bidireccional con ayuda de un medidor electrónico Scorpion. Asimismo, se desarrolló una plataforma de Software que permite capturar los datos de forma inalámbrica desde el medidor, logrando realizar corte y reconexión del consumo, visualización de datos en LCD del consumo al día para el usuario y estadísticas de los datos.

La lectura de forma inalámbrica y real del consumo energético de los hogares hoy en día es una realidad gracias a este tipo de sistema de comunicación avanzada y eficiente, acabando de forma casi inmediata con las temidas lecturas estimadas, para pasar a lecturas reales mes a mes, hora a hora y hasta minuto a minuto, si así, lo desea.

El prototipo desarrollado por el grupo CAFE desea brindar a futuro los mayores beneficios a la red de distribución, a la empresa de energía y a los usuarios como tal de nuestro país, reduciendo las pérdidas no técnicas a través de la detección de fraude y/o del desbalanceo energético, velocidad en la optimización de la información, alternativas de energía prepagada para estratos bajos, entre otras.

REFERENCIAS

- [1] "Redes inteligentes de energía (smart grids) en america latina y el caribe: viabilidad y desafíos", Documento desarrollado a partir de la Conferencia organizada por la CEPAL en Santiago de Chile, 12-13 octubre 2010. E. H. Miller, "A note on reflector arrays," IEEE Trans. Antennas Propagat., to be published.
- [2] Technology Action Plan Smart Grids, Major Economies Forum on Energy and Climate, Diciembre de 2009.
- [3] Las redes inteligentes son indispensables para el desarrollo del sector energético en Colombia, Ministerio de minas y Energía de Colombia, Revista Mundo Eléctrico, edición Smart Grids, Diciembre de 2012, pg 8-9.
- [4] Cespedes Renato, Parra Estrella, Ruiz María Elena, Cruz Rubén Dario, Construyendo una Colombia Inteligente, Revista Mundo Eléctrico, edición Smart Grids, Diciembre de 2012, pg. 48-53.
- [5] Bolton, W. "MECATRONICA: sistemas de Control Electrónico en Ingeniería Mecánica y Eléctrica". Segunda edición. Editorial Alfaomega, 2001, México.
- [6] Developments in Power Generation and Transmission — Infrastructures in China, IEEE 2007 General Meeting, Tampa, FL, USA, 24–28 June 2007 Electric Power, ABB Power T&D Company, and Tennessee Valley Authority (Institute of Electrical and Electronics Engineers). Retrieved 2008.
- [7] IT GRC. Smart Grid Software Solution. Benefits of the Solution. © 2014 MetricStream, Inc. All Rights Reserved. En línea: <http://www.metricstream.com/solutions/smart-grid-software-solutions.htm> IT GRC. Smart Grid Software Solution. Benefits of the Solution. © 2014 MetricStream, Inc. All Rights Reserved. En línea: <http://www.metricstream.com/solutions/smart-grid-software-solutions.htm>.
- [8] Smart Grids. Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future. European Technology
- [9] Electricity Sector Framework for the Future. Volume I: Achieving the 21st Century Transformation, Electric.

Sistema de Gestión en Consumo de Aguas

Semillero de Eficiencia Energética

Jorge Andres Lozano Bayona

USTA
Bogotá, Colombia
jorge14andres@hotmail.com

David Felipe Otavo Ricaurte

USTA
Bogotá, Colombia
davidotavo@hotmail.com

Daniel Eduardo Ramirez Mosquera

USTA
Bogotá, Colombia
danielramml@hotmail.com

Daniel Woodcock Guerrero

USTA
Bogotá, Colombia
danielwg-14@hotmail.com

Abstract—In order to improve the quality of life in our homes, is to make the implementation of optimal water management system. We will use water flow sensors located at points with frequent passage of flow accompanied by solenoid valves. From the reading of the sensors; which serve as an indicator, there is a microcontroller (PIC) to interpret the information received in real time. This device in turn enables USB communication with a computer type where the status of the points defined flow is visualized in addition to a database with the information needed to know the performance that is each of the sensors.

Depending on the user's need to control the passage of water flow in your home, you have a mobile application that presents current information on the state of the sensors are , that through this man machine interface do so quick and easy manipulation and control valves for dosing or opening the water supply as provided.

Palabras claves—Caudal, flujo, adquisición de datos

I. INTRODUCCIÓN

Teniendo en cuenta la importancia que tiene el agua desde tiempos inmemorables y su vital participación en la existencia de la vida. Implicatener un control óptimo de dicho recurso natural.

El ser humano cuenta con un alto porcentaje de agua al igual que la tierra, para lo cual se debe hacer buen uso de este líquido.

De esta manera se pretende tener un control sobre el caudal que transita a través de un sistema con flujo de agua constante

por medio de cuatro (4) sensores apropiados. Así se podrá determinar el volumen que transcurre, y dependiendo de la necesidad, suspender o reanudar el suministro por medio de electroválvulas.

En el desarrollo del artículo, se encontrara la descripción del porqué de la necesidad de hacer un control de flujo de agua, las herramientas de software y hardware necesitadas para la realización del diseño y posterior elaboración del sistema físico. La caracterización correspondiente de los sensores y la interfaz gráfica.

El Sistema de Gestión de Aguas, en su interfaz hombre-máquina, permite al usuario tener un fácil acceso a la información sobre el consumo de agua en puntos deseados, y de igual manera tener control sobre estos permitiendo o no el paso de agua.

II. DESCRIPCION DEL SISTEMA PLANTEADO

La necesidad permanente del mundo en que vivimos, ha hecho que por medio de un simple “click” demos solución a cualquier tipo de problema. Es allí donde por medio de nuestro ***Sistema de Gestión en consumo de Aguas*** informamos al usuario el estado actual del caudal presente en su vivienda; dándole a su vez la facilidad de controlar el flujo a través de la manipulación de electroválvulas.

Estamos de esta manera dando soluciones a problemas de control de flujo de agua, a un bajo costo y con la ventaja de contar con un sistema eficiente que opera con una mínima cantidad de energía eléctrica.

III. METODOLOGIA

A. Selección de elementos de control y monitoreo

➤ Sensor de flujo de agua YF-S201:



Fig 1. Sensor de flujo de agua YF-S201[1]

Se utilizó este sensor para el diseño del sistema puesto que a través de su correcta caracterización, arroja resultados con gran exactitud. Dichos valores se representan en términos de Litros/ Minuto.

El sensor consta de una válvula de plástico, un rotor, y un sensor de efecto de campo. Su modo de operación consiste en la lectura que hace el sensor de efecto de campo en el momento que el rotor se encuentra girando a causa del flujo de agua que lo atraviesa. La señal arrojada por el sensor es un tren de pulsos directamente proporcional al flujo de agua que pasa a través del rotor. Dicha información es por medio de la tarjeta de adquisición de datos.

Su implementación en lugares de humedad no tiene inconvenientes; mientras que su tamaño versátil permite una ubicación libre dependiendo de la necesidad del usuario.

➤ PIC 18f2550

Para la selección del micro controlador se tuvo en cuenta la capacidad de soportar variaciones de alta tensión que se pueden presentar en el transcurso de su funcionamiento alterando su rendimiento y por ende la eficiencia del sistema.

Su principal ventaja es la opción que ofrece para la comunicación con un ordenador externo (PC).

La comunicación que se establece es de tipo USB, un transporte de datos práctico, seguro y eficiente a su vez. El

PIC 18F2550 se ajusta a las necesidades del sistema a implementar.

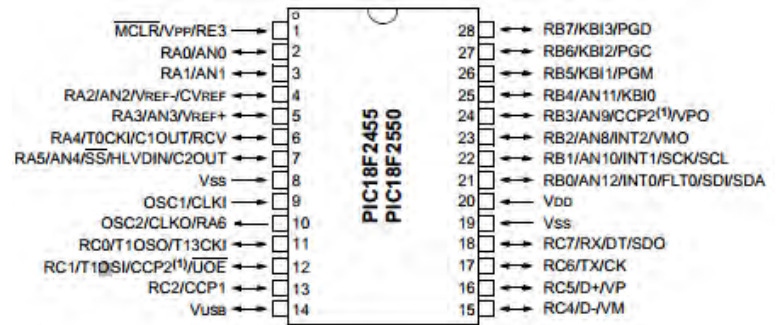


Fig 2. Diagrama de pines PIC 18F2550 [2]

➤ Características de Operación del sensor:

TABLA I. Características de operación del sensor [3]

ÍTEM	ESPECIFICACIÓN
Marca	N/A
Modelo	YF-S201
Color	Negro
Material	PVC
Corriente	Max.15 mA,
Resistencia a la presión del agua	1.75MPa>
Tensión de funcionamiento	DC 5 ~ 24V
Resistencia de aislamiento	Ohmio del 100M>
Precisión	1 ~ 60L / min + / - 3%
Características del pulso de flujo	4,8 x Q (Q es L / Min)
Cableado	VCC- Rojo, -GND-Negro, Señal de pulso de salida de pulso-Amarillo.

B. Caracterización del sensor

Determinando el modo de operación del sensor de flujo de agua se procedió a realizar su caracterización correspondiente; ello con el propósito de tener por parte del dispositivo la información más precisa y exacta posible, con tal de no dar cabida a un porcentaje considerable de error.

El procedimiento que se realizó fue el de determinar la cantidad de pulsos presentes en un litro de agua. Para ello se hizo la lectura a través del micro controlador del tren de pulsos arrojado por el sensor. Se tomaron varias muestras y con los datos obtenidos se obtuvo la media de los mismos.

TABLA II. Datos obtenidos con un caudal de 1L(1000cm³). Para la toma de datos se hizo uso del laboratorio de Mecánica de la Universidad Santo Tomas Bogotá

DATO	NUMERO DE PULSOS
1	429
2	420
3	422
4	430
5	428
6	431
7	429
8	424
9	426
10	428
11	427
12	432
13	427
14	428
15	430
16	425
17	431
18	425
19	427
20	427
21	425
22	426
23	429
24	425
25	430

De esta manera se determinó el valor de la constante “K” que representa la cantidad de litros a la que corresponde un (1) pulso:

$$K = \frac{1}{427.24} \quad (4)$$

$$K = 0.002340604 \quad (5)$$

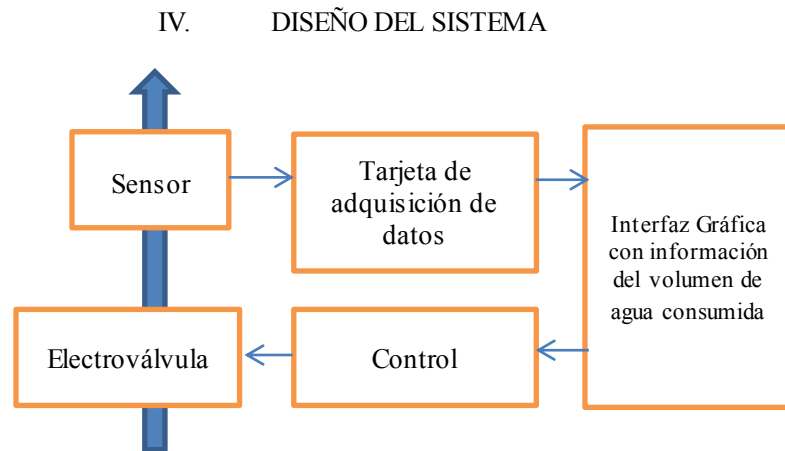


Fig 3. Diagrama de bloques diseñado del sistema

Se hizo la programación de lectura del sensor sobre el micro-controlador, por medio del software PIC-C, este dispositivo ofrece una lectura rápida de la información suministrada por el sensor de flujo de agua, gracias a la incorporación de un cristal de 20MHz que le permite tomar los datos sin dar cabida a pérdida de información.

$$Promedio = \frac{\sum(Numero\ de\ pulsos)}{n_{datos}} \quad (1)$$

$$Promedio = \frac{10681}{25} \quad (2)$$

$$Promedio = 427.24\ pulsos/litro \quad (3)$$

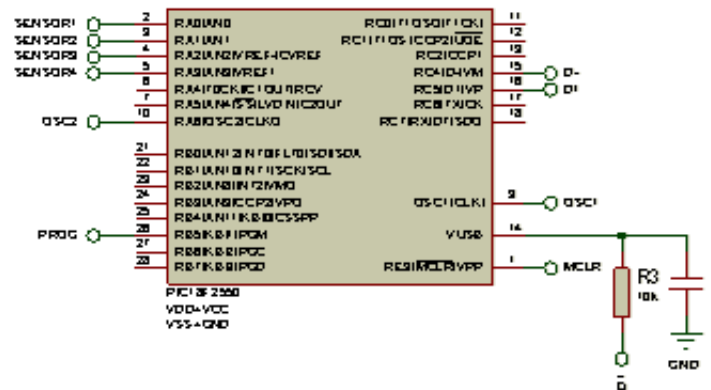


Fig 4. Esquemático conexión PIC18f2550. Imagen tomada Software Proteus

- *Montaje físico del sistema:* Para realizar la prueba del censado, se ensambló un sistema de distribución de caudal con cuatro ramificaciones, en las cuales se acopla un sensor para determinar el caudal que fluye por cada rama.



Fig 5. Sistema implementado. Imagen tomada cámara personal

- *Interfaz gráfica:* Se diseñó una interfaz gráfica, en el GUI de MatLab, en la cual se puede observar el caudal que pasa a través de cada sensor y el volumen total que ha pasado por este.

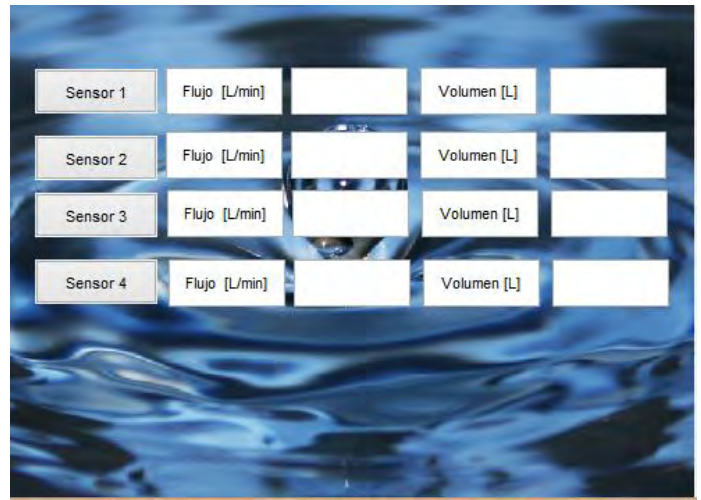


Fig 7. Interfaz gráfica. Imagen tomada Software MatLab



Fig 6. Sistema implementado. Imagen tomada cámara personal

V. CONCLUSIONES

Al realizar la prueba de caracterización del sensor se vio que independientemente de la velocidad con que fluya el caudal de agua dentro del sensor, la información de número de pulsos arrojada por el sensor no presentaba diferencias significativas. Por lo cual para su caracterización se hizo un promedio con los datos tomados.

Con el problema de hoy día, relacionado con el mal uso del agua. Se da una solución innovadora que ayuda a tener un registro fiable de información del consumo de agua existente en puntos específicos. De esta manera se tiene una base de trabajo para elaborar un sistema de control óptimo de agua con posibilidad de manejo desde un dispositivo móvil.

Con el desarrollo de este trabajo se cuenta con un prototipo herramienta para el control y la estimación del volumen de agua consumido en una unidad domiciliaría o comercial, que permitirá cuantificar y discriminar los flujos en cada una de las salidas disponibles.

Se realiza una aplicación de los conocimientos y habilidades adquiridas en diferentes asignaturas tales como: Digitales, Electrónica e Instrumentación Industrial en un sistema que permite la gestión de flujos y volúmenes de agua utilizando la Ingeniería Electrónica.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Alibaba.com. AliExpress. [Online].
<http://es.aliexpress.com/item/1-Pc-Water-Flow-Sensor-Flowmeter-Hall-Flow-Sensor-Water-Control-1-30L-min-2-0MPa/1442130405.html>

- [2] dealextreme. dx.com. [Online].
<http://www.dx.com/es/p/dn32-hall-effect-water-flow-counter-sensor-black-dc-5-24v-233731#.U08ajqLYAgg>

- [3] Microchip Technology Inc, PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet, 2006.

RECONOCIMIENTO DE PATRONES POR MEDIO REDES NEURONALES ARTIFICIALES Y MOMENTOS INVARIANTES

DIEGO FELIPE SORA VARGAS
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES
dfsorav@libertadores.edu.co

RESUMEN: *El constante interés del ser humano por desarrollar tecnologías y dispositivos con altas capacidades de procesamiento y entendimiento de la realidad donde habitamos, ha llevado a que diseñe tecnologías capaces de simular el comportamiento celular de sus propios cuerpos, siendo en este caso las redes neuronales. Las redes neuronales artificiales tienen una característica atractiva, que es la de aprender a clasificar información suministrada de manera precisa, esto bien, después de un adecuado entrenamiento. En este artículo se muestra el desarrollo y aplicación de una red neuronal artificial para el reconocimiento de patrones (gestos estáticos del alfabeto del lenguaje de señas americano).*

PALABRAS CLAVE: *Algoritmos de entrenamiento de redes neuronales artificiales, Descriptores de imágenes, Reconocimiento de patrones, Redes neuronales artificiales.*

ABSTRAC: The constant interest of humankind to develop technologies and devices with high processing capabilities and understanding of the reality in which we live, has led to design technologies to simulate cell behavior of their own bodies, and in this case neural networks. Artificial neural networks have an attractive feature, which is to learn to classify information provided accurately, this right, after proper training. This article describes the development and application of an artificial neural network for pattern recognition (static gestures Alphabet American Sign Language).

KEY WORDS: Training algorithms of artificial neural networks, image descriptors, Pattern Recognition, Artificial Neural Networks.

I. INTRODUCCIÓN

El reconocimiento de patrones es una aplicación de la inteligencia artificial (IA), y esta es definida según Marvin Minsky (uno de los pioneros de la IA), como la ciencia de construir máquinas para que hagan cosas que, si las hicieran los humanos, requerirían inteligencia.

Esta área es de gran interés, gracias a que por medio del reconocimiento de patrones podremos automatizar tareas en procesos industriales, hacer reconocimiento de rostros, inspeccionar piezas sin el uso del contacto físico, análisis de imágenes diagnósticas (medicina), reconocimiento de matrículas para control de tráfico, entre otras aplicaciones.

En este artículo veremos algunos conceptos y características importantes a tener en cuenta, a la hora de sumergirnos en el reconocimiento de patrones.

II. ÁREAS DE APLICACIÓN DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

La IA es aplicada en diversas áreas, de manera que pueda ayudar a solucionar problemas en la cotidianidad de los seres humano. A continuación se presentan algunas de ellas:

- **Tratamiento de lenguajes naturales** En este campo se puede englobar aplicaciones que realicen traducciones entre idiomas, interfaces hombre-máquina que permita interrogar una base de datos o dar órdenes a un sistema operativo, etc..., de manera que la comunicación sea más amigable al usuario.
- **Sistemas expertos** En esta área están englobados aquellos sistemas donde la experiencia de personal cualificado se incorpora a dichos sistemas para conseguir deducciones más cercanas a la realidad.
- **Robótica** Navegación de robots móviles, control de brazos de robots, ensamblaje de piezas, etc.
- **Problemas de percepción: visión y habla** Reconocimiento de objetos y del habla, detección de defectos en piezas por medio de visión, apoyo en diagnósticos médicos, etc.
- **Aprendizaje** Modelización de conductas para su posterior implantación en computadoras.

III. SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL

La visión artificial (VA) es un campo de la inteligencia artificial, que con la ayuda de una serie de elementos y técnicas permite la obtención de imágenes, las cuales pueden ser manipuladas y analizadas con el fin de extraer información relevante para la toma de decisiones.

Definición técnica de visión artificial

La visión artificial consiste en la captación de imágenes en línea mediante cámaras y su posterior tratamiento a través de técnicas de procesamiento avanzadas, permitiendo así poder intervenir sobre un proceso (modificación de variables del mismo) o producto (detección de unidades defectuosas), para el control de calidad y seguridad de toda la producción.



Fig. 1 Diagrama de bloque de un sistema de visión artificial

Como vemos en la figura anterior, el reconocimiento de patrones está sujeto a un grupo de actividades, las cuales deben seguirse de manera ordenada para poder obtener resultados satisfactorios.

IV. DESCRIPTORES DE IMAGEN

Describir una imagen, es un paso fundamental en el reconocimiento de patrones, estos descriptores se encargan de extraer características relevantes de un objeto con las cuales podemos caracterizarlos.

Los descriptores se basan en la evaluación de alguna característica del objeto, por ejemplo:

Descriptores unidimensionales: códigos de cadena, perímetro, forma del perímetro.

Descriptores bidimensionales: área, momentos de inercia, etc.

Descriptores específicos: número de agujeros, área de agujeros, posición relativa de agujeros, rasgos diferenciadores de un objeto, etc.

En este caso el descriptor usado es el momento.

Momentos generales de imagen

La geometría de una región plana se basa en el tamaño, la posición, la orientación y la forma. Todas estas medidas están relacionadas con una familia de parámetros llamadas momentos.

Los momentos son propiedades numéricas que se pueden obtener de una determinada imagen.

El momento de una imagen discreta de orden $p + q$ se define como:

$$m_{pq} = \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} x^p y^q I_o(x, y) \quad p, q = 0, 1, \dots, \infty$$

Donde los píxeles que forman parte del objeto tendrán un peso de uno y los demás será de cero.

$$I_o(x, y) = 1 \quad \text{Si forma parte del objeto}$$

$$I_o(x, y) = 0 \quad \text{Si no forma parte del objeto}$$

Un momento de gran interés es el de orden cero (el orden de un momento viene dado por la suma de los índices p y q):

$$m_{00} = \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} I_o(x, y)$$

Este momento nos da como resultado el área del objeto.

Los momentos de orden uno, m_{01} y m_{10} junto con m_{00} determinan el llamado centro de gravedad del objeto:

$$\bar{x} = \frac{m_{10}}{m_{00}} = \frac{\sum \sum x I(x, y)}{\sum \sum I(x, y)}$$

$$\bar{y} = \frac{m_{01}}{m_{00}} = \frac{\sum \sum y I(x, y)}{\sum \sum I(x, y)}$$



Fig. 2 Centro de masa de una imagen

El principal inconveniente que tienen los momentos generales es que sus valores dependerán de la posición, escala y rotación del objeto.

Es por esto, que se han desarrollado modelos matemáticos que permiten corregir estas variaciones, entre los cuales tenemos los momentos invariantes a traslaciones, momentos invariantes a su escala y los momentos invariantes a traslaciones, rotaciones y escalas.

Momentos de imagen centralizados

Estos momentos son llamados momentos centrales, ya que referencian los momentos generales al centro de gravedad del objeto para poder hacer una descripción invariante a la posición.

$$u_{pq} = \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q I_o(x, y)$$

Momentos centralizados normalizados

Debido a que u_{00} es el área del objeto, se pueden normalizar los momentos centrales para obtener una descripción invariante al tamaño.

$$\eta_{pq} = \frac{u_{pq}}{u_{00}^\alpha}$$

Donde:

$$\alpha = \frac{p+q}{2} + 1$$

Momentos invariantes a Traslaciones, Rotaciones y Escalas

MING KUEI HU describió el método de momentos invariantes absolutos. Estas se componen de grupos de expresiones de momentos centralizados no lineales. El resultado es un conjunto de momentos invariantes ortogonales absolutos, que pueden ser utilizados para la identificación de patrones independientemente de la escala, posición, y la rotación. Se calculan a partir de los momentos centrales normalizados hasta el orden tres.

Momentos invariantes de HU:

$$I_1 = \eta_{20} + \eta_{02}$$

$$I_2 = (\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2$$

$$I_3 = (\eta_{30} - 3\eta_{12})^2 + (3\eta_{21} - \eta_{03})^2$$

$$I_4 = (\eta_{30} + \eta_{12})^2 + (\eta_{21} + \eta_{03})^2$$

$$I_5 = (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2]$$

$$I_6 = (\eta_{20} - \eta_{02})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2 + 4\eta_{11}(\eta_{30} + \eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03})]$$

$$I_7 = (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2]$$

V. REDES NEURONALES ARTIFICIALES

El uso de las redes neuronales artificiales en el reconocimiento de patrones, es uno de los métodos más usados gracias a su efectividad, ya que por medio de variados modelos de entrenamiento se puede lograr que una red aprenda valores específicos, correspondientes a los elementos que se desean reconocer.

Las Redes Neuronales Artificiales, RNA (o en inglés Artificial Neural Networks ANN) fueron originalmente una simulación abstracta de los sistemas nerviosos biológicos, formados por un conjunto de unidades llamadas "neuronas" o "nodos" conectadas unas con otras. Estas conexiones tienen una gran semejanza con las dendritas y los axones en los sistemas nerviosos biológicos.

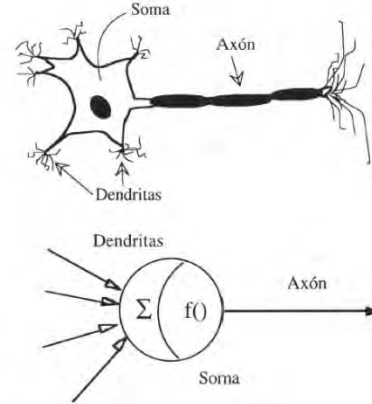


Fig. 3 Neurona biológica y neurona artificial

Perceptrón

El perceptrón fue la primera red neural que causó un impacto significativo sobre una gran comunidad, particularmente entre los ingenieros, quienes se excitaron e intrigaron con las aplicaciones prácticas posibles de una máquina aprendiz real. El perceptrón fue propuesto por Frank Rosenblatt en 1958 en un reporte técnico ampliamente distribuido por el Laboratorio Aeronáutico de Cornell.

Este modelo neuronal consiste en una combinación lineal seguida por un umbral, descrita por la figura 4.

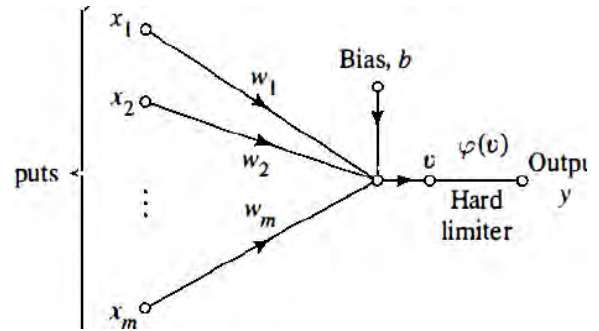


Fig. 4 Flujo de señales del perceptrón

El nodo sumador del modelo neuronal calcula la combinación lineal de las entradas, incorporando también un sesgo (bias) de manera externa. El resultado de la suma es comparado con el umbral, siendo la respuesta de la neurona igual a +1 si el umbral de entrada es superado, y -1 si no lo logra.

En el modelo gráfico de la neurona, los pesos sinápticos del perceptrón son expresados por $w_1, w_2, \dots, w_m$. Las entradas del perceptrón son expresadas por $x_1, x_2, \dots, x_m$. El sesgo aplicado externamente es expresado por b . En el modelo neuronal se encuentra que el hard limiter o el campo local inducido de la neurona es:

$$v = \sum_{i=1}^m w_i x_i + b$$

El objetivo del perceptrón es clasificar correctamente el conjunto de estímulos aplicados a la entrada ($x_1, x_2, \dots, x_m$) en una de dos clases C_1 o C_2 . Las entradas se clasificarán como C_1 si la salida y del perceptrón es +1 y C_2 si la salida es -1.

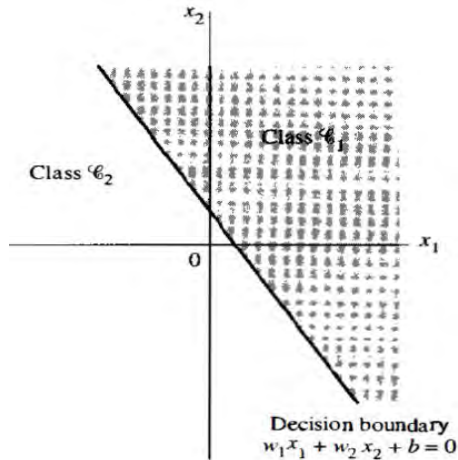


Fig. 5 Clasificación de un perceptrón ilustrada en un plano

Las principales funciones de activación usadas en las neuronas artificiales son: la lineal, escalón, lineal a tramos y la sigmoidea.

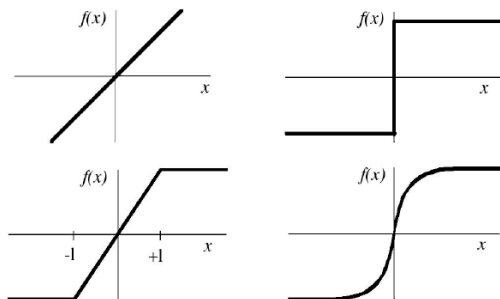


Fig. 6 Funciones de activación más habituales

Redes artificiales Feedforward multicapa

Las redes neuronales tipo feedforward son fácilmente reconocidas por tener una o más capas ocultas, cuyos nodos de cálculo son llamados neuronas ocultas o unidades ocultas. La función de las neuronas ocultas es la de intervenir entre los nodos de entrada y las neuronas de salida de una manera útil.

Los nodos fuente de la capa de entrada de la red suministran los respectivos elementos de los patrones de activación

(vector de entrada), que son las señales de entrada a las neuronas de la segunda capa. Las señales de salida de esta segunda capa son usadas como entradas de la capa siguiente, y así sucesivamente para el resto de la red.

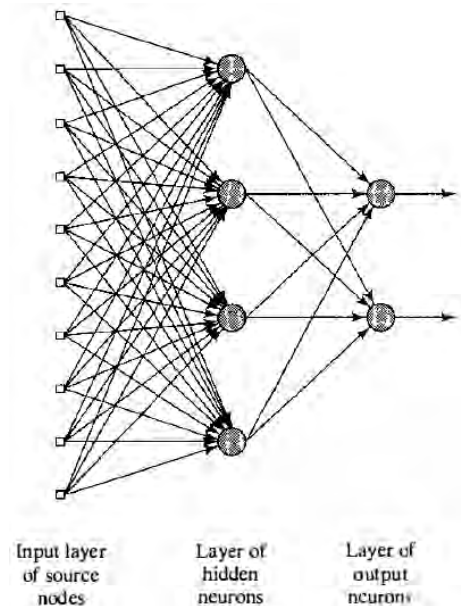


Fig. 7 Conexión de una red feedforward o acíclica con una capa oculta y una capa de salida

Entrenamiento de redes neuronales artificiales

Para el correcto funcionamiento de una RNA, hay que tener una buena función de activación en cada uno de los perceptrones que la componen, uno de los más recomendados es la función sigmoidea.

$$f(x) = \frac{1}{1 + \exp(-ax)}$$

Donde a es el parámetro de pendiente de la función.

La función sigmoidea es de gran relevancia en el comportamiento de las RNA, debido a su semejanza con los comportamientos excitatorios de la neurona biológica. A menudo, se realiza una variación a la función sigmoidea original con el fin de ampliar su rango de trabajo y mejorar la respuesta de la red. En este caso se usará una función sigmoidea bipolar de modo que:

$$f(x) = \frac{2}{1 + \exp(-ax)} - 1$$

Donde la función variará entre los valores de 1 y -1.

Algoritmo de propagación hacia atrás (Backpropagation)

El algoritmo de entrenamiento de propagación hacia atrás o backpropagation está compuesto de los siguientes pasos:

- Inicialización: se inicia poniendo valores pequeños (entre -1 y 1) a todos pesos de la red de manera aleatoria.
- Cálculo hacia adelante: teniendo los patrones de entrada a la red y todos los valores de pesos asignados a las conexiones entre neuronas, se procede a calcular cada una de las salidas de estas, haciendo la ponderación de los valores de entrada.
- Cálculo hacia atrás: después de obtener el resultado final de la red, se compara con la salida deseada, y el error producto de esta comparación es propagado hacia atrás, con un valor directamente proporcional a los pesos de las conexiones neuronales hasta llegar a la primera capa de neuronas.
- Actualización de pesos: en este paso se actualizan los valores de los pesos sinápticos, teniendo en cuenta los valores de peso actuales, el valor de error y las respuestas neuronales.

La actualización de pesos sinápticos viene dada por la siguiente ecuación:

$$w'_{xi} = w_{xi} + \eta \delta_i \frac{df_i(e)}{de} x_i$$

Donde η es la razón de aprendizaje de la red, $\frac{df_i(e)}{de}$ es la derivada de la función de activación de la neurona, w es el peso actual de la conexión sináptica y w' es el peso actualizado para dicha conexión.

VI. RESULTADOS

Para comprobar la efectividad de los momentos invariantes de HU, se realizaron pruebas con la imagen de la seña "L" del ASL en diferentes ángulos y escalas.

A continuación presentamos los resultados:



Fig. 8 Letra "L" expresada en el Lenguaje de Señas Americano

Tabla 1.

Momentos invariantes de HU para las versiones de 0°, Escalado y 180° de la letra "L"

Momentos	0°	Escalado	180°
I_1	0,1952657	0,1951134	0,1952657
I_2	$59,23 \times 10^{-4}$	$59,12 \times 10^{-4}$	$59,23 \times 10^{-4}$
I_3	$26,81 \times 10^{-5}$	$26,68 \times 10^{-5}$	$26,81 \times 10^{-5}$
I_4	$45,23 \times 10^{-6}$	$42,65 \times 10^{-6}$	$45,23 \times 10^{-6}$
I_5	$-4,21 \times 10^{-9}$	$-3,95 \times 10^{-9}$	$-4,21 \times 10^{-9}$
I_6	$18,25 \times 10^{-7}$	$17,14 \times 10^{-7}$	$18,25 \times 10^{-7}$
I_7	$-2,64 \times 10^{-9}$	$-2,25 \times 10^{-9}$	$-2,64 \times 10^{-9}$

Tabla 2.

Momentos invariantes de HU para las versiones de 15°, Espejo y 90° de la letra "L"

Momentos	15°	Espejo	90°
I_1	0,1954117	0,1948309	0,1952657
I_2	$60,03 \times 10^{-4}$	$58,202 \times 10^{-4}$	$59,23 \times 10^{-4}$
I_3	$26,13 \times 10^{-5}$	$26,81 \times 10^{-5}$	$26,81 \times 10^{-5}$
I_4	$43,89 \times 10^{-6}$	$42,91 \times 10^{-6}$	$45,23 \times 10^{-6}$
I_5	$-4,073 \times 10^{-9}$	$-3,992 \times 10^{-9}$	$-4,21 \times 10^{-9}$
I_6	$17,81 \times 10^{-7}$	$16,808 \times 10^{-7}$	$18,25 \times 10^{-7}$
I_7	$-2,34 \times 10^{-9}$	$-2,29 \times 10^{-9}$	$-2,64 \times 10^{-9}$

Podemos comprobar que los momentos invariantes de HU son efectivos a la hora de caracterizar las mismas imágenes en diferentes posiciones. Sabiendo esto, se obtendrán todos los momentos del alfabeto de señas estático, y se transportarán a un plano de dos dimensiones para un mejor análisis de resultados.

Para poder graficar los patrones en un plano de dos dimensiones se usa.

$$X = \eta_{20} + \eta_{02}$$

$$Y = \sqrt{(\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2}$$

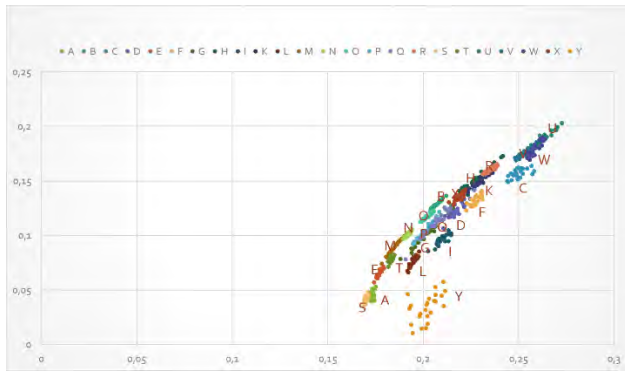


Fig. 9 Dispersión de los patrones alfabéticos

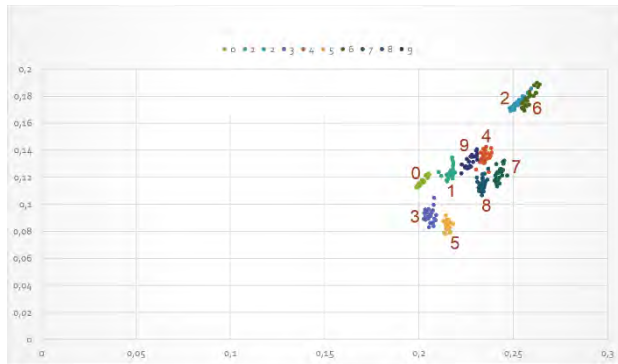


Fig. 10 Dispersión de los patrones numéricos

Al observar que muchos de los patrones convergen hacia los mismos puntos, se toma la decisión de escoger para el reconocimiento solamente los patrones que puedan ser separados linealmente y que estén más separados entre sí, siendo estos los patrones de las letras A, C, E, L, S, T, W, 3, 5, 7 y 8.

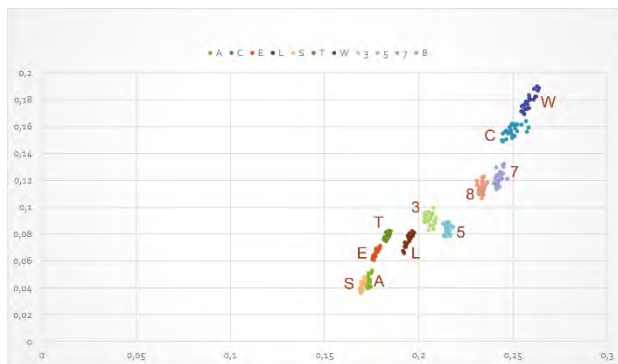


Fig. 11 Dispersión de los patrones alfabéticos escogidos

Partiendo de un grupo limitado de patrones, se empieza con el diseño y entrenamiento de una red neuronal artificial (RNA), que reconozca dichos patrones.

La siguiente imagen muestra la RNA definitiva, empleada para el reconocimiento de patrones.

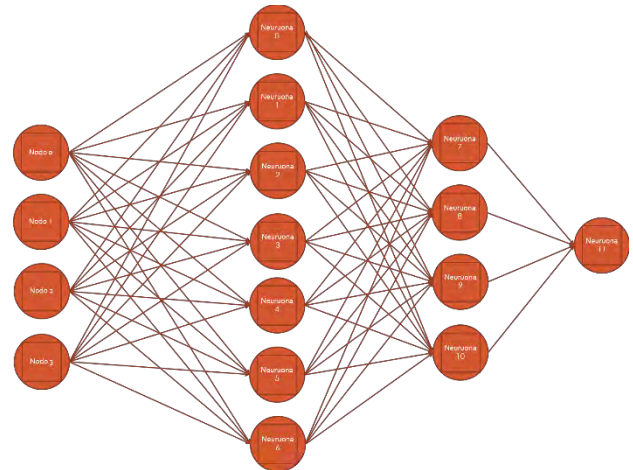


Fig. 12 RNA empleada

Esta RNA consta de 12 neuronas y cuatro nodos, ordenados de la siguiente manera:

Cuatro nodos de entrada, los cuales corresponden a los primeros cuatro momentos invariantes de HU, escogidos por poseer la mayor cantidad de información entre los siete momentos invariantes.

Dos capas ocultas de neuronas, la primera con siete neuronas y la segunda con cuatro, las cuales ayudaran de manera eficiente a la división y reconocimiento de cada uno de los patrones en el plano.

Y finalmente una neurona de salida, la cual será la encargada de decidir a qué clase corresponde el patrón presentado en la entrada de la RNA.

Las siguientes imágenes resumen el resultado del entrenamiento neuronal:

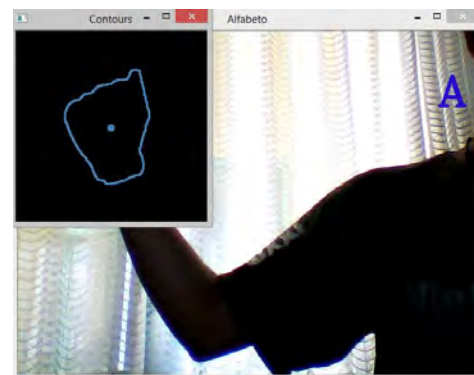


Fig. 13 Reconocimiento gestual letra A

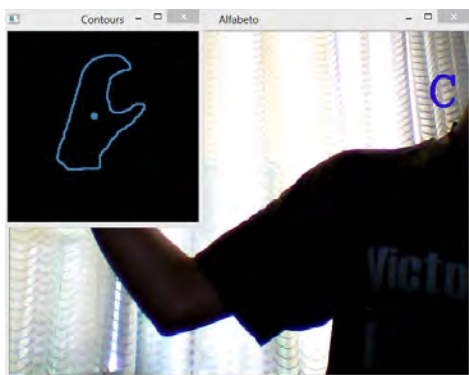


Fig. 14 Reconocimiento gestual letra C

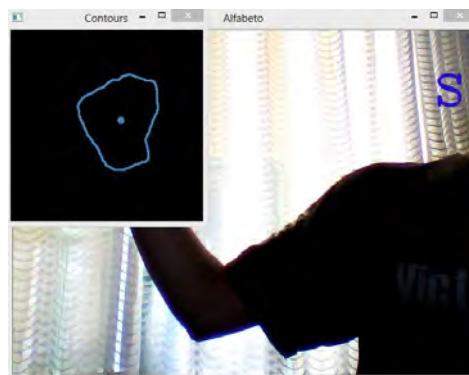


Fig. 17 Reconocimiento gestual letra S

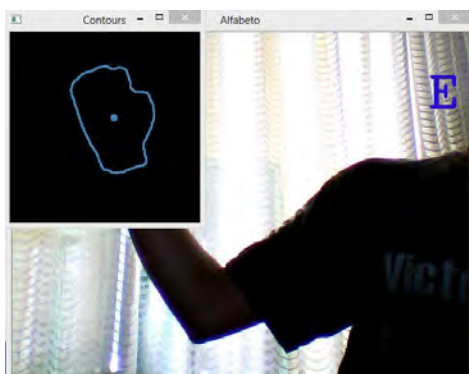


Fig. 15 Reconocimiento gestual letra E

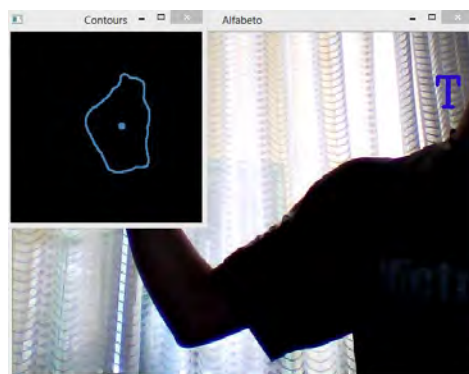


Fig. 18 Reconocimiento gestual letra T

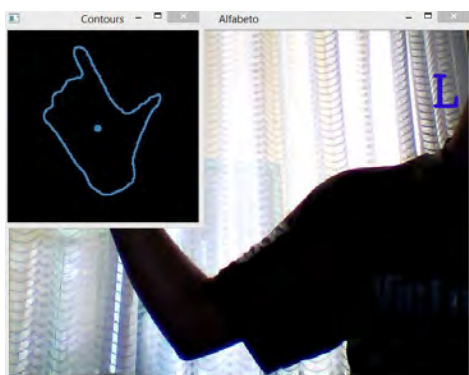


Fig. 16 Reconocimiento gestual letra L

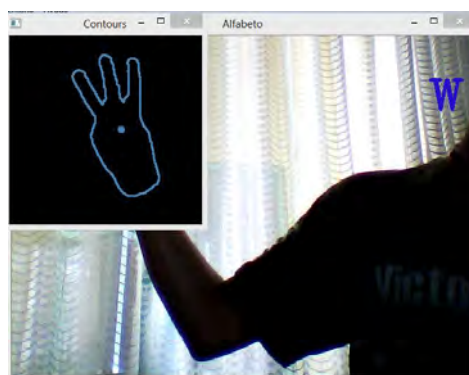


Fig. 19 Reconocimiento gestual letra W

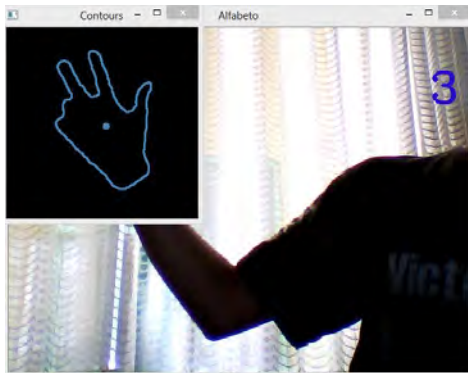


Fig. 20 Reconocimiento gestual número 3

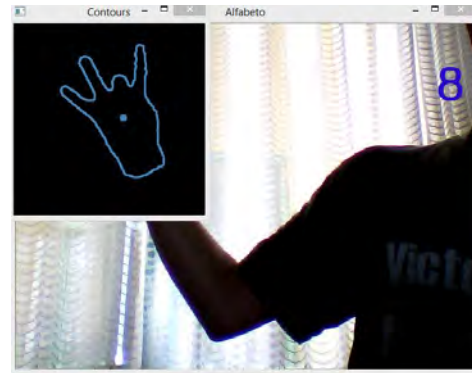


Fig. 23 Reconocimiento gestual número 8

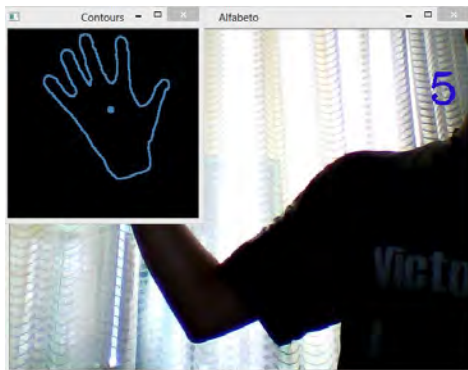


Fig. 21 Reconocimiento gestual número 5

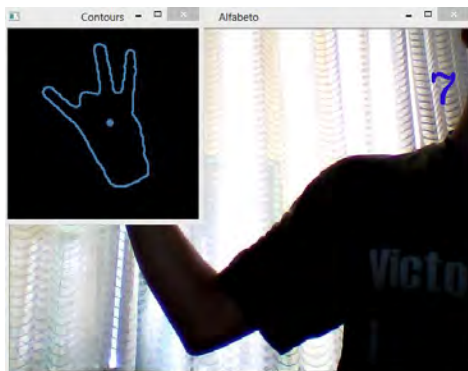


Fig. 22 Reconocimiento gestual número 7

VII. CONCLUSIONES

Los momentos invariantes de HU como descriptores de imagen, son un muy buen método de caracterización de imágenes, ya que estos nos ofrecen cantidades numéricas de mínima variación convenientes para la discriminación entre patrones.

La organización de datos en un plano es una ayuda visual de gran importancia, ya que gracias a esta podemos definir los alcances a los cuales podemos llegar. En este proyecto se encontró que muchos de los patrones de diferentes clases convergía en los mismos puntos o puntos muy cercanos, situación que advirtió la poca probabilidad de llegar a reconocer dichos patrones.

La complejidad de la estructura de una RNA depende de la cantidad de patrones que debe aprender, y de que tan dispersos están los patrones entre sí. La cantidad de neuronas y capas ocultas en una RNA ayudarán a reconocer más patrones, una buena práctica es empezar diseñando y entrenando RNA con pocas neuronas, y según su comportamiento y eficiencia ir agregando neuronas y capas de neuronas hasta llegar a una red que cumpla con todas las características pedidas por el proyecto. Este proceso es experimental y hay que tener mucha paciencia en su desarrollo.

El aprendizaje de patrones por parte de una RNA es lento y complejo, pero tiene grandes ventajas al ser finalizado, ya que puede ser muy preciso en el reconocimiento. El tiempo que tardará la RNA en aprender cierta cantidad de patrones es proporcional a la complejidad de la red, y mientras más compleja sea más tiempo tardará, esto puede llevar desde días hasta semanas de entrenamiento.

REFERENCIAS

- [1] ANDERSON, James A. *Redes neurales*. México: Alfaomega, 2007.
- [2] BERNACKI, Mariusz y WŁODARCZYK, Przemysław. *Principles of training multi-layer neural network using backpropagation* [en línea]. Cracovia: Universidad AGH. Departamento de electrónica, 2005 [citado 17 diciembre, 2013]. Disponible en internet: http://home.agh.edu.pl/~vlsi/AI/backp_t_en/backprop.html.
- [3] DEL BRÍO, Bonifacio Martín; SERRANO CINCA, Carlos. *Fundamentos de las redes neuronales artificiales: hardware y software*. España: Universidad de Zaragoza, 1995.
- [4] ESCOLANO RUIZ, Francisco, *et al.* *Inteligencia artificial Modelos, Técnicas y Áreas de Aplicación*. Madrid (España): Thomson, 2003.
- [5] GONZÁLEZ MANCOS, Ana, *et al.* *Técnicas y algoritmos básicos de visión artificial*. Logroño (España): Universidad de la rioja, 2006.
- [6] HAYKIN, Simon S. *Neural networks. A comprehensive Foundation*. 2ed. Upper Saddle River (New Jersey): Prentice Hall International, Inc. 1999.
- [7] MARTÍN, Marcos. *Descriptores de Imagen* [en línea]. España, mayo 2002 [citado 15 diciembre, 2013]. Disponible en internet: <http://poseidon.tel.uva.es/~carlos/tif10001/descriptores.pdf>
- [8] MING KUEI, Hu. *Visual pattern recognition by moment invariants*. 1962 Journal IEEE Transactions on information theory vol.8 [base de datos en línea]. [Citado en 15 noviembre de 2013]. Disponible en biblioteca digital IEEE Xplore®.
- [9] SHUTLER, Jaime. *Statistical Moments* [en línea]. Universidad de Southampton (Inglaterra) [Citado en 15 noviembre de 2013]. Disponible en internet: http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline/LOCAL_COPIES/SHUTLER3/CVonline_moments.html.
- [10] SOBRADO MALPARTIDA, Eddie Ángel. *Sistema de Visión Artificial para el Reconocimiento y Manipulación de Objetos utilizando un Brazo Robot*. Tesis Magister en Ingeniería de Control y Automatización. Lima (Perú). Pontificia Universidad Católica del Perú, 2003. 39,42-44 p.
- [11] THEODORIDIS, Sergios y KONSTANTINOS, Koutroumbas. *Pattern Recognition*. 4 ed. EE.UU: Academic Press, 2009.

Diseño e implementación de un transmisor de audio analógico vía láser

Mondragón, Daniel., Rojas, Juan Manuel y Urueta, Camila.
Facultad de Ingeniería Electrónica
Universidad de San Buenaventura

Resumen— En este documento se muestra el diseño e implementación de un transmisor de audio analógico por medio de un láser, donde la señal de audio modula la intensidad de luz en el láser. Para recibir la señal consta de un fotodiodo PIN, filtrado para ruido y una posterior amplificación

Índice de Términos— Transmisión análoga, láser, audio

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad debido a los avances tecnológicos surge la necesidad de obtener la información transmitida de manera instantánea, esta necesidad tendrá un gran incremento con el transcurso de los años. Actualmente distintos sistemas alámbricos e inalámbricos basados en radioondas y diferentes tipos de cable solventan las necesidades de telecomunicaciones. Sin embargo en la última década ha aumentado en gran medida el uso de la óptica como una alternativa, planteando un nuevo medio de transmisión de mayor capacidad y velocidad.

Los actuales medios de transmisión poseen limitantes y desventajas como grandes atenuaciones, poca seguridad de la información y altos costos, entre otros que no permiten adaptarse a las nuevas aplicaciones dentro las que se encuentran el transporte, el monitoreo de cámaras más cerca del tiempo real y redes LAN. Para dar solución a estas nuevas aplicaciones de uso, la tecnología óptica debido a su mayor capacidad y velocidad ha teniendo un creciente interés. Dentro de las características de esta tecnología encontramos un gran ancho de banda el cual depende la longitud de onda de trabajo e inmunidad a la interferencia electromagnética entre otras.

Igualmente el desarrollo de la transmisión FSO (Free Space Optical) ha permitido el envío de datos a altas velocidades, alcanzando tasas de transmisión de hasta 2.5Gbps. La transmisión FSO es un sistema bidireccional para transmisiones de voz, datos y video, trabajando en longitudes de onda de la primera y tercera ventana.

Dentro de este documento teniendo en cuenta las características anteriormente mencionadas es diseñado e implementado un sistema de transmisión analógico de audio.

El objetivo de este trabajo es proponer un sistema de transmisión que dé solución a las diferentes falencias que tienen los sistemas alámbricos e inalámbricos actualmente usados. Aunque el diseño e implementación es llevado a cabo en base a una señal análoga, es usada como fuente un reproductor de música, su propósito es demostrar la viabilidad de esta tecnología en aspectos de seguridad, tasa de transmisión, calidad, ancho de banda, costo y la alta fidelidad en la recepción de la señal.

Como este sistema es inalámbrico puede haber ciertos factores que afecten la transmisión. Si es usado en un ambiente exterior puede verse afectado por el clima, más exactamente por neblina y lluvia, debido a la interferencia que pueden causar las partículas de agua con el haz del láser [1].

II. ANTECEDENTES

Diferentes proyectos han sido llevados a cabo aprovechando las características y ventajas que ofrece la transmisión vía láser. Por ejemplo, en [2] es presentado un fotodetector basado en un dispositivo pin y un amplificador de transimpedancia. En este documento son tratados los conceptos de los fotodiodos PIN y los amplificadores de transimpedancia. Estos dos elementos son de vital importancia para determinar cuáles son los mejores elementos para el dispositivo que se quiere implementar.

En [4], la transmisión de audio y video a través de fibra óptica con modulación PCM y utilizando la multiplexación por división de longitud de onda (WDM) es llevada a cabo. Aunque la fibra óptica es un medio guiado la transmisión tiene como principio el envío de datos por luz, lo cual es similar a la transmisión por láser.

De otro lado, en el contexto de la transmisión láser, en [3] se presenta la implementación de un transmisor de datos por FSO usando un láser comercial de bajo costo. En este trabajo

es descrito el montaje de dos módulos de recepción y transmisión. Igualmente es presentada la transmisión de datos por FSO (Free Space Optics). Los beneficios de hacer una transmisión de este tipo son la habilidad de operar en bandas de frecuencias sin licencia, al igual que la velocidad y distancia que se puede alcanzar con este sistema, las cuales son considerablemente mayores a las obtenidas con los sistemas convencionales [3].

III. MARCO TEÓRICO

Para implementar el sistema de transmisor análogo vía láser los componentes electrónicos son de gran importancia. El diseño de la circuitería e integración de dichos dispositivos definen el correcto funcionamiento del sistema. Dentro de este documento el sistema es dividido en dos partes, el transmisor y receptor. Cada parte es analizada por separado, al igual que los componentes que lo integran. El diagrama de bloques transmisor y receptor es presentado en la figura 1.

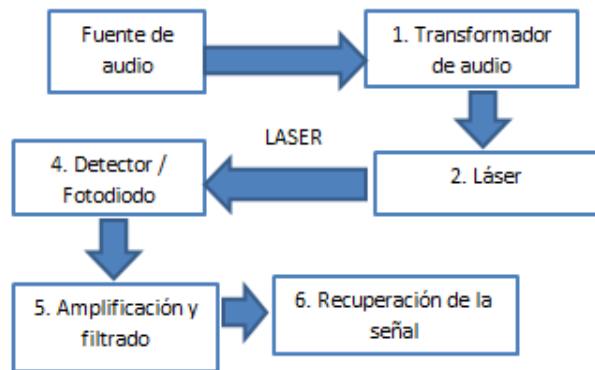


Figura 1. Diagrama de bloques transmisor y receptor [Fuente: los autores].

A. Transmisor

El circuito transmisor está basado en el acople de una señal analógica de audio y el láser. El acople es llevado a cabo por medio de un transformador para salida de audio y un diodo láser que son descritos a continuación.

1. Transformador para salida de audio.

Este tipo de transformador está formado por dos embobinados, donde el primero con toma central de 1000 ohmios y el secundario de 8 ohmios. La respuesta a la frecuencia se encuentra dentro de 300Hz a 10kHz. Es conectado al embobinado secundario con un plug monofónico de audio y al otro extremo se conecta en serie con un diodo láser y su alimentación [5].

2. Emisores

Uno de los componentes clave en las comunicaciones ópticas son las fuentes de luz generalmente monocromática. Estas fuentes deben tener prestaciones de estabilidad y larga

duración.

La tecnología de estado sólido hizo posible tener diferentes fuentes de luz. Hay dos diferentes grupos de fuentes de luz los cuales son láser de emisión continua y diodos LED. Dentro del otro grupo se encuentran las fuentes de luz transmiten luz modulada.

a. Diodo LED

Los diodos luminiscentes están basados según el principio de luminiscencia de inyección. En ciertos semiconductores, durante el proceso de recombinación de los electrones con los huecos en la región de unión que se encuentran dopadas con electrones (N) y con huecos (P), se emite energía en forma de luz [6].

Características de los diodos LED

- El ancho de banda del LED depende del material del componente.
- La amplitud del LED depende de la densidad de la corriente.
- El funcionamiento del Led está ligado a la temperatura.
- Los LEDs son componentes de relativa lentitud (menos a 1Gb/s).
- Los LEDs poseen un rango espectral ancho.

b. Diodo Láser

El proceso de generación de luz en un diodo láser es similar al LED, pero con un volumen de generación menor y una alta concentración de portadores inyectados permitiendo la emisión del menor número de modos de información.

La luz de este tipo de láser puede acoplarse fácilmente a fibra multimodo y monomodo [6].

Características

- Debido a su patrón de radiación de luz, el cual es más directivo que el de un LED, es más sencillo acoplar la luz dentro de la fibra óptica. Esto reduce las pérdidas por acoplamiento y permite utilizar fibras más de diámetro menor.
- La potencia radiada que entrega el láser es típicamente de 5mW, mientras que la de un LED es de 0.5mW en promedio. Esto hace que láser para transmisiones a largas distancias.
- Tasa de transmisión de 8 bits.

B. Receptor

1. Detectores

Los detectores ópticos se dividen en varias clases, este proyecto utiliza fotodetectores, estos son “transductores que alteran una de sus características cuando la energía de la luz los afecta, alterando el flujo de corriente eléctrica o la diferencia de potencial entre sus terminales” [6]. Su principio

de funcionamiento consiste en la unión de dos materiales semiconductores P-N polarizados inversamente. Por otro lado se tienen los fotodetectores del tipo PIN, que “consisten en una unión P-N a la cual se le inserta en el medio un material semiconductor intrínseco (poco dopado) con la finalidad de aumentar la región de transición” [7]. También se encuentran los fotodetectores de avalancha, estos “utilizan polarizaciones inversas altas (50-100 V). Produciendo un campo eléctrico tan intenso que los electrones generados, en su tránsito producen un efecto avalancha” [7] A continuación se muestra una tabla que compara las diferentes características entre los fotodetectores P-N, PIN y de avalancha.

Tabla 1. Características de los fotodetectores [6]

Fotodetector	Longitud de onda (nm)	Fotosensitividad (W/A)
Silicon p-N	550-850	0.4 -0.7
Silicon PIN	850- 950	0.6- 0.8
InGaAs PIN	300-1500	0.8
Silicon ADP	650- 900	74-100

Dos factores principales de los fotodetectores son la longitud de onda y la fotosensitividad. La longitud de onda o respuesta espectral determina para qué rangos de longitud de onda el fotodetector absorbe la mayor cantidad de energía de una fuente luminosa; la fotosensitividad es la relación entre la potencia de la fuente luminosa y la corriente entregada por el fotodetector [6].

2. Etapas de amplificación

La etapa de amplificación está compuesta por dos partes. La primera compuesta por el integrado LM 833 este es un “amplificador dual de audio de propósito general diseñado con especial énfasis en el rendimiento en sistemas de audio” [8]. Para este se usa una configuración de amplificador no inversor [9].

Para este la ganancia está dada por

$$Av = 1 + \frac{R2}{R1}$$

En la segunda etapa de amplificación se usa el integrado LM 386, este al igual que el anterior es un amplificador de audio, el cual está diseñado para aplicaciones de bajo consumo de voltaje. Entre las principales aplicaciones de este están amplificadores de AM-FM, drivers ultrasónicos, sistemas de sonido para TV, etc. [10]

IV. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de este proyecto se tienen en cuenta diferentes etapas especialmente en la parte práctica para el

diseño y montaje de los circuitos implementados. En primer lugar se realiza el diseño para el transmisor y receptor, cada uno de estos cuenta con su respectivo circuito de amplificación, así como el acoplamiento para el láser. El enfoque de este proyecto es empírico-analítico, ya que es un proyecto que enmarca un proceso de investigación y verificación experimental del diseño teórico del dispositivo a implementar.

V. IMPLEMENTACIÓN

Para el desarrollo del proyecto como etapa inicial se implementa el transmisor, el cual consta de una fuente de audio, un transformado de audio y el láser emisor (figura 2).



Figura 2. Laser emisor [Fuente: los autores]

Como segunda etapa se implementa el receptor, para el cual fue realizado el diseño de cada etapa. Para la primera etapa se diseñó un amplificador no inversor con el integrado LM 833, para el cual tenemos

$$Av = 1 + \frac{R2}{R1}$$

Se asume una ganancia de 10 y la resistencia de retroalimentación, para este caso 100kΩ

$$10 = 1 + \frac{100k\Omega}{R1}$$

Despejando R1 se obtiene

$$R1 = \frac{100k\Omega}{10 - 1} \approx 11k\Omega$$

Para última etapa de transmisión se toma como referencia el circuito de amplificación propuesto en el datasheet del integrado LM386. Este es para el control del volumen del audio [10].

El montaje final integrando las etapas de amplificación es presentado en la figura 3.

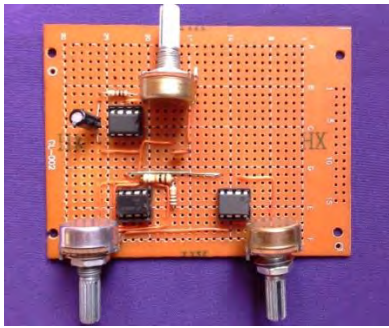


Figura 3. Montaje receptor [Fuente: los autores]

Las pruebas de transmisión se realizaron con un generador de onda. La señal de entrada es una onda seno a 1KHz. Para la cual se obtuvieron los siguientes resultados.

Debido a la ganancia de los amplificadores, la señal es recortada, para ello las resistencias de retroalimentación en ambas etapas son variables (Figura 4.).

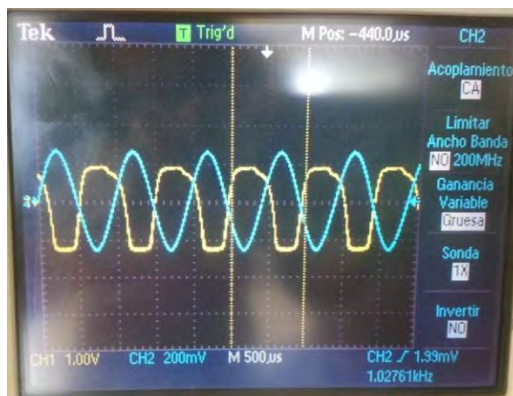


Figura 4. Señal seno original (azul), señal en el receptor (amarillo) [Fuente: los autores].

En la Figura 5. la señal recibida es de mayor fidelidad con respecto a la señal original, ajustando las ganancias de los amplificadores y la sensibilidad del fotodiodo.

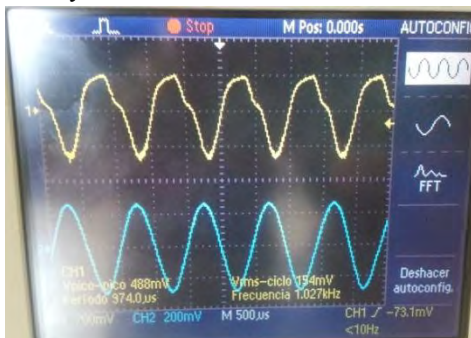


Figura 5. Señal seno original (azul), señal en el receptor (amarillo) [Fuente: los autores].

VI. CONCLUSIONES

- La señal recibida es necesario amplificarla de acuerdo a la distancia que se encuentre el transmisor.
- Se pudo observar una transmisión exitosa con pocas perdidas y calidad aceptable de audio recibido.
- Se obtiene una mejor respuesta construyendo una fuente de alimentación dual para el receptor ya que en condiciones de laboratorio se presenta ruido debido a no linealidad de la fuente.
- El fotodiodo PIN usado presenta características de sensibilidad mayor en áreas específicas de su superficie, lo que conlleva a que el transmisor debe estar línea vista al punto más sensible de este.
- Como trabajo futuro se llevará a cabo el diseño e implementación de una transmisión digital de audio.

REFERENCIAS

- [1] LightPointe Wireless. Free SpaceOptics (FSO) BridgingSolutions. Recuperado de <http://www.lightpointe.com/freespaceoptics.html>
- [2] Flores, R.(s. f). *Fotodetector basado en un dispositivo p-i-n y un Amplificador de Transimpedancia*, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México. Recuperado de http://www.acredit.ece.buap.mx/_DOCUMENT%20COMPROBAT%20DE%20AUTOEVALUAC/17_IA%2045%20C.8.1.2/Memorias%20FCE/dcircuit/S5-DC-02.pdf
- [3] Herrera, F., Moyano, J., Bustos, Y. (s. f).*Implementación de un transmisor de datos por FSO usando un láser comercial de bajo costo*. Universidad Manuela Beltrán, Colombia. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/304/30420469008.pdf>
- [4] Rodriguez-Asomoza, J., Báez-López, D., López-Pillot, E. (s. f).*Transmisión de audio y video através de fibra óptica con premodulación PCM*. Universidad de las Américas, Puebla, México.
- [5] Music Over a Laser Beam. Recuperado de <http://www.instructables.com/id/Send-Music-over-a-Laser-Beam/>
- [6] Anónimo. (s. f).*Fuentes y detectores ópticos. Transmisión y recepción de dos canales de voz por fibra óptica con pre modulación digital*. Recuperado de http://caterina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/ledesma_e_ro/capitulo2.pdf
- [7] Bianchi, C. (s. f). *Receptores de Luz*. Recuperado de <http://es.scribd.com/doc/173732062/06-Fotodetectores>
- [8] Texas Instruments. (2012). *Datasheet LM833-N Dual Audio Operational Amplifier*. Recuperado de <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm833-n.pdf>
- [9] Mims, F. (1985). *Engineer's Mini notebook Op-AmpCircuits*. Estados Unidos: Siliconscepts.
- [10] Texas Instruments. (2000). *Datasheet LM386 Low Voltage Audio Power Amplifier*. Recuperado de <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm386.pdf>

CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN DE LA LOGÍSTICA INVERSA A LOS RESIDUOS DE LOS TELÉFONOS CELULARES EN BOGOTÁ

Katherine Roa Banquez
Universidad Santo Tomás – Vicerrectoría Abierta y A Distancia
Colombia, Bogotá
katherinroa@ustadistancia.edu.co

Abstract - The project is based on research and analysis of current processes on the reverse logistics for mobile devices, specifically phones in the city of Bogotá; taking into account that rates around the world regarding the high degree of environmental pollution present these residues as highly dangerous biohazards, mainly when they are thrown away in rubbish from home since they are made up of toxic materials such as lead, chromium or cadmium.

The cornerstone is the characterization of the processes of the reverse logistics in mobile devices in order to determine all operations related to the reuse of such products and materials, specifically in the city of Bogotá aiming at all the logistics activities of collection, disassembly and processing of materials, used products and their parts, all to ensure a sustained ecological recovery.

Keywords- Clean Technology, reverse logistics, disassembly, Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)

I. INTRODUCCIÓN

La importancia de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC's) es relevante para el mundo actual en el que vivimos, debido que a través de ellas recibimos información efectiva e imparcial, podemos tener acceso al conocimiento, a la ciencia, a la destreza, valores de la cultura, entre otros; teniendo repercusiones en nuestra vida personal y laboral.

Pero teniendo en cuenta, que nuestro mundo es cambiante y aún más si hablamos de tecnologías, es

importante analizar las consecuencias que podría generar los residuos tecnológicos a nuestra sociedad y en especial al medio ambiente.

Este documento presenta un avance sobre la caracterización de los procesos que se llevan a cabo en logística inversa a los residuos de teléfonos celulares en Bogotá y de esta forma presentar un avance final con las posibles soluciones desde los sistemas informáticos y telemáticos, los cuales permitan generar un impacto positivo en el medio ambiente.

II. DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

A. Planteamiento del problema de investigación

Cabezas (2012) define el concepto de logística inversa como, “El conjunto de actividades logísticas de recogida, desmontaje y procesamiento de productos usados, partes de productos o materiales con vistas a maximizar el aprovechamiento de su valor y, en general, su uso sostenible”[1]

Teniendo en cuenta lo anterior, y desde el concepto de globalización, donde el uso de equipos tecnológicos es característica fundamental del día a día en labores personales, del hogar o empresariales, y por consiguiente su continua renovación ya sea por actualización de tecnología o porque han alcanzado su vida útil, es prioritario preguntar, ¿sabemos qué hacer con estos aparatos después de alcanzar su ciclo de utilidad?, muchas veces las respuesta a este interrogante es incierta y son desechados a la basura sin tener conciencia del impacto ambiental que se está ocasionando.

Estos residuos comprenden pequeños y grandes electrodomésticos, bombillos, baterías, teléfonos celulares, computadores, equipos de sonido, monitores, aparatos electrónicos de consumo, instrumentos de vigilancia y control y aparatos para alumbrado.

Desde lo anterior, se pretende analizar, caracterizar y diagnosticar los procesos de logística inversa de residuos específicamente de los aparatos de comunicaciones móviles “celulares” en la ciudad de Bogotá; identificando los principales actores y sus interacciones en la cadena de suministro, las prácticas de logística inversa aplicadas con respecto a la selección y recolección de dichos aparatos, y las condiciones que no hacen posible la implementación de cadenas de logística inversa para su retorno a la cadena productiva.

Teniendo como base lo anterior, queremos dar respuesta a los siguientes interrogantes:

¿Cuál es la situación actual de logística inversa de aparatos específicamente los de comunicaciones móviles “celulares” en la ciudad de Bogotá?

¿Existen normativas para el tratamiento de desechos y residuos de celulares en Colombia?

¿Existen en Bogotá empresas encargadas de la recolección y proceso de logística inversa de los dispositivos móviles “celulares”?

¿Qué solución podemos plantear desde los sistemas informáticos y telemáticos al proceso de logística inversa de los dispositivos móviles “celulares” que actualmente se encuentra en la ciudad de Bogotá?

B. Formulación del problema

Según el reporte de ITU ICT Statistics Database¹, en Colombia cada 3 de 4 personas actualizan su equipo cada dos años a uno con mejor tecnología al que actualmente tiene; generando inquietudes con respecto al proceso que se le da a este aparato una vez haya cumplido su vida útil o el simple cambio por el avance tecnológico [2]. Desde la perspectiva anterior, se plantea la pregunta de investigación:

¿Cuáles son los procesos que se adelantan en la ciudad de Bogotá, relacionados con la logística

inversa de los residuos de los dispositivos móviles como lo son los celulares?

C. Objetivos

Objetivo General

Identificar los procesos de logística inversa que se realizan a los aparatos de comunicaciones móviles, específicamente a los teléfonos celulares en la ciudad de Bogotá

Objetivos Específicos

- Caracterizar la situación actual de la logística inversa de los residuos de baterías de los teléfonos celulares en la ciudad de Bogotá.
- Describir la situación actual de la logística inversa de los residuos de los demás residuos de los teléfonos celulares en la ciudad de Bogotá.
- Determinar las diferentes empresas que en Bogotá realizan logística inversa para residuos de teléfonos celulares.

D. Justificación

La importancia de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC's) es relevante para el mundo actual en el que vivimos, debido que a través de ellas recibimos información efectiva e imparcial, podemos tener acceso al conocimiento, a la ciencia, a la destreza, valores de la cultura, entre otros; teniendo repercusiones en nuestra vida personal y laboral.

Pero teniendo en cuenta que nuestro mundo es cambiante y aún más si hablamos de tecnologías, es importante analizar las consecuencias que podría generar los residuos tecnológicos a nuestra sociedad y en especial al medio ambiente.

Desde lo anterior el proyecto propone caracterizar los procesos que se llevan a cabo en logística inversa a los residuos de teléfonos celulares en Bogotá, permitiendo en posteriores investigaciones plantear posibles soluciones desde los sistemas informáticos y telemáticos, los cuales permitan generar un impacto positivo en el medio ambiente.

¹ Organismo especializado en estadísticas de las Naciones Unidas para las telecomunicaciones.

E. Diseño Metodológico

La investigación planteada está fundamentada en una Investigación Documental, expuesta por Montemayor, García & Garza (2002) como:

“... parte esencial de un proceso de investigación científica, constituyéndose en una estrategia donde se observa y reflexiona sistemáticamente sobre realidades (teóricas o no) usando para ello diferentes tipos de documentos. Indaga, interpreta, presenta datos e informaciones sobre un tema determinado de cualquier ciencia, utilizando para ello, una metódica de análisis; teniendo como finalidad obtener resultados que pudiesen ser base para el desarrollo de la creación científica”[3]

En la presente investigación se desea realizar un proceso basado en la indagación, búsqueda, recuperación, análisis, crítica, medición e interpretación de datos obtenidos de forma impresa, electrónica o audiovisual, con el propósito de referenciar los procesos de logística inversa a los aparatos de comunicación móvil.

Según Kerlinger (2002) *“La investigación no experimental es la búsqueda empírica y sistemática en la que el científico no posee control directo de las variables independientes, debido a que sus manifestaciones ya han ocurrido o que son inherentemente no manipulables. Se hacen inferencias sobre las relaciones entre las variables, sin intervención directa sobre la variación simultánea de las variables independiente y dependiente”*

Por lo tanto, teniendo como base lo expuesto por Kerlinger (2002), el estudio es de tipo *No Experimental* porque se va a observar los fenómenos tal y como ocurren naturalmente, sin intervenir en su desarrollo, es decir, no va a ser manipulados.

F. Instrumentos

Teniendo en cuenta que la investigación es de carácter documental, por lo cual se trabajarán instrumentos que nos permitan recolectar información para luego ser interpretados. Es por ello que su utilizaran fichas infográficas, fichas de trabajo, las primeras permitirán llevar un registro de los datos consultados en los diferentes documentos proporcionados a través de la web, Ministerios, empresas, entre otros; el segundo permitirá registrar

la síntesis de los documentos consultados y de mayor interés.

Igualmente, se contará con una encuesta haciendo uso del instrumento creado a partir del marco teórico, el cual permitirá recolectar información sobre los procesos de recolección, asignación y tratamiento de las empresas a los residuos de los aparatos móviles, para así dar solución a las preguntas de investigación.

G. Técnicas de Análisis

La información recopilada a través de la fuente primaria que es la encuesta, se clasificará por categorías, para luego ser analizadas por medio del programa estadístico Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) y finalmente presentar los resultados en tablas, gráficos y/o esquemas junto con su interpretación.

El análisis de los datos que se obtienen de las fuentes secundarias, fichas infográficas y fichas de trabajo, se determinará un análisis descriptivo por medio de una triangulación de la información a través de los documentos proporcionados por los Ministerios de TIC y Medio Ambiente [4]. Igualmente, nos apoyaremos en la herramienta ATLAS TIC, con el fin de codificar (categorías) y analizar los datos recopilados de la investigación.

III. MARCO CONCEPTUAL

A. Residuos de Aparatos Electrónicos y Eléctricos – RAEE

La ley 1672 de Colombia, define a los residuos generados por los aparatos electrónicos y eléctricos como “aquellos componentes y subconjunto de los aparatos eléctricos o electrónicos en el momento en que se desecha, salvo que individualmente sean considerados peligrosos, caso en el cual recibirán el tratamiento previsto para tales residuos” [5].

Estos residuos son comúnmente conocidos como basura electrónica, los cuales son utilizados diariamente y en diversos lugares como en la casa (computadores, monitores, mouse, teléfonos móviles, calculadoras, juguetes, juegos de video, máquinas de escribir, cargadores de teléfonos móviles, entre otros), oficina (equipos de fax, impresoras, fotocopadoras, proyectores, escáner, relojes de control horario, multifuncionales, centrales telefónicas, sumadoras.) e industria (además de todos los anteriores, equipos de

telecomunicaciones, equipos médicos, sistemas microondas y baterías, sistemas de audio y sistemas de seguridad).

La mayoría de estos residuos contiene agentes contaminantes, altamente peligrosos para la salud de las personas y para el medio ambiente. Es por ello que la preocupación del gobierno y comunidades específicas sobre el manejo adecuado y su reutilización a través de procesos de logística inversa.

B. Amenaza al Medio Ambiente y la Salud Humana

Según un estudio desarrollado por el Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (Minambiente) y la secretaria Distrital del Medio Ambiente (SDA), en la ciudad de Bogotá se generan cerca de 21.959 toneladas de residuos electrónicos, de las cuales el 39,8 por ciento (8.748 toneladas) corresponde a neveras y lavadoras; otro 38,7 por ciento (8.511) a equipos de sonido, televisores, hornos y reproductores de DVD, y un 18,5 por ciento (4.068) a computadores y celulares; de esas toneladas, solo se reciclan 1.400. [5]

Y es aún más preocupante, sabiendo que Colombia los 30 millones de personas que usan un celular en nuestro país cambian de equipo cada año y medio en promedio, según las cifras entregadas por la Asociación de la Industria Celular (ASOCEL) [6].

Los aparatos eléctricos y electrónicos pueden estar por años guardados en una bodega sin provocar ningún daño, pero el problema comienza cuando este lugar experimenta condiciones de humedad y/o altas temperaturas. En ese momento, los materiales se comienzan a descomponer y se convierten en sustancias contaminantes perjudiciales para la salud de las personas y para el medio ambiente.

Los aparatos móviles tienen cerca de mil materiales, muchos perjudiciales, entre ellos plomo, mercurio, cadmio, plásticos y gases; los cuales son perjudiciales para el medio ambiente y la salud; y si estas no se desechan de forma adecuada o no se les realiza un proceso de logística inversa, corren el riesgo de que estas sean quemadas y por lo tanto liberen gases tóxicos los cuales se difunden a través de los ciclos de la lluvia.

Por dar un ejemplo, “el cadmio de una sola batería de celular bastaría para contaminar 150 mil galones de agua y la setentava parte de una cucharadita de mercurio podría afectar un lago de ocho hectáreas;

igualmente, estudios han demostrado que la exposición a estos metales causa daños en el cerebro y los riñones, entre otros órganos” (Minambiente).

La revista Recycla de Chile, presenta en su libro “Residuos Electrónicos La Nueva Basura del Siglo XXI” los daños potenciales que pueden generar en la salud humana y al medio ambiente, los componentes de un aparato móvil si se desecha a la basura domiciliaria.

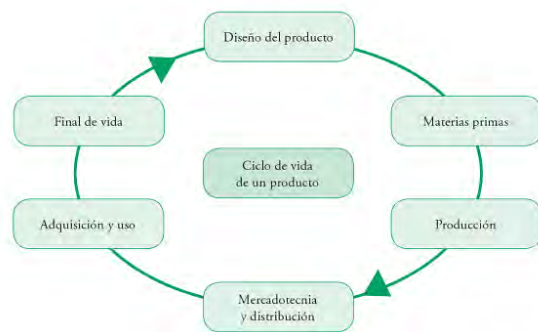
Material	Daños Potenciales Salud Humana	Daños Potenciales Medio Ambiente
Bario (Ba)	Edema cerebral, debilidad muscular, aumento de la presión sanguínea y daño hepático.	Este material permanece en la superficie del suelo o en los sedimentos del agua. Si organismos acuáticos lo absorbe pueden acumularse en sus cuerpos.
Berilio (Be)	Las sales del Berilio son tóxicas y la exposición prolongada podría generar cáncer. La Beriliosis ataca los pulmones.	Algunos de los componentes del Berilio se disuelven en el agua, pero la mayor parte se adhiere al suelo.
Cadmio (ca)	Daños irreversibles en los riñones y en los huesos.	Bioacumulativo, persistente y tóxico para el medio ambiente.
Cromo (Cr)	Reacciones, bronquitis asmáticas y alteraciones en el ADN.	Las células lo absorben fácilmente. Tiene efectos tóxicos.
Mercurio (Hg)	Posibles daños cerebrales y tiene impactos acumulativos.	Disueltos en agua se van acumulando en los organismos vivos.
Níquel (Ni)	Puede afectar a los sistemas endocrinos, inmunológicos y respiratorios.	Puede dañar los microorganismos si estos exceden la cantidad tolerable.
Plomo (pb)	Posibles daños en el sistema nervioso, endocrino y cardiovascular, igualmente en los riñones.	Acumulación en el ecosistema, efectos tóxicos en la flora, la fauna y los microorganismos.

C. Logística Inversa

Cabeza (2012), expone que la logística inversa abarca el conjunto de actividades logísticas de recogida, desmontaje y desmembramiento de productos ya usados o sus componentes, así como materiales de distinto tipo y naturaleza con el objetivo de maximizar el aprovechamiento de su valor, en sentido de su uso sostenible y en su último caso destrucción [8].

Cabe aclarar que todo producto tiene un ciclo de vida, así lo expone Cabeza en su libro “Logística inversa en la gestión de la cadena de suministro”.

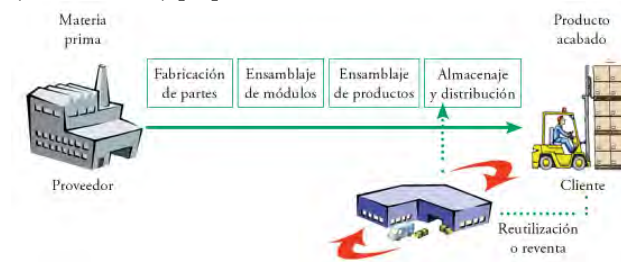
El gráfico anterior visualiza el detalle del ciclo de vida de un producto desde que nace en su diseño, hasta llegar al consumidor final, generando su ciclo final de vida.



Recycla Chile [9]

En el proceso de logística inversa encontramos diferentes caminos una vez finalice el ciclo de vida de un producto.

Reutilización o reventa: consiste en la recuperación del producto para darle un nuevo uso, dado que este mantiene su forma y posee un nulo o escaso deterioro (cabeza, 2012) [10]



Recycla Chile [11]

Reparación: el producto es sometido a reparación

para luego ponerlo en funcionamiento.

Restauración: consiste en devolver el valor al producto usado mediante la utilización de tecnologías que permita ampliar su vida útil.

Refabricación y canibalización: cabeza (2012), expone que los componentes sometidos a refabricación tienen un grado de descomposición medio-alto y ofrecen a las empresas un beneficio, ya que al emplearlos en la remanufactura el coste de fabricación puede alcanzar un 50%. Para el proceso de canibalización, solo se puede recuperar una parte mínima del producto y son utilizados en proceso de fabricación [12].



Recycla Chile [13]

CONCLUSIONES

Se observa que el uso de los celulares después de su vida útil, es que el 55% de los residuos se convierten en basura doméstica, el 31% guardan sus celulares en algún lugar de su vivienda, el 11% reciclan el equipo en lugares destinados para ello, y el 3% le dan otro tipo de uso, lo anterior provocando problemas de salud y daño al medio ambiente.

El gobierno Colombiano preocupado por el tema de residuos eléctricos y electrónicos, decreta la ley 1672, por la cual se establecen los lineamientos para la adopción de una política pública de gestión integral de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), y se dictan otras disposiciones; de allí que se responsabilizara al productor directamente o a través de terceros que actúen en su nombre, un sistema de recolección y gestión ambientalmente segura de los residuos de los productos puestos por él en el mercado, de acuerdo con las disposiciones que para el efecto establezca el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; igualmente, prioriza alternativas de aprovechamiento o valorización de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE).

En Colombia, la empresa Belmont-trading, es la única empresa encargada de recolectar y disponer de los celulares en desuso, los cuales se encargan del desmontaje del producto y la preparación para la exportación, extensión del ciclo de vida de partes y componentes así como de materias primas a través de actividades de reciclaje y refinería de metales, y la destrucción certificada de los residuos que no cumplen con los parámetros de reutilización.

REFERENCIAS

[1] Cabeza, D. *Logística inversa en la gestión de la cadena de suministro*. Barcelona, Margue Books. P 25, 2012.

[2] International Telecommunication Union (ITU). Statistics on Information and Communication Technology penetration, accessibility and use. Consultado el 15 de Octubre de 2013. Tomado de: <http://www.itu.int/ITU-D/ict/statistics/ict/>

[3] Montemayor, García & Garza. *Guía para la investigación documental*. México: Trillas. P 35, 2002.

[4] Ministerio de Tecnologías de la Información y Comunicación (MINTIC). Colombia. Consultado el 17 de octubre de 2013. Tomado de: <http://www.mintic.gov.co/>

[5] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MinAmbiente). Consultado el 17 de octubre de 2013. Tomado de: <http://www.minambiente.gov.co/>

[6] Unesco. Los residuos electrónicos: un desafío para la sociedad del conocimiento en América Latina y el Caribe. Consultado el 15 de octubre de 2013. Tomado de: <http://www.unesco.org.uy/ci/fileadmin/comunicacion-informacion/LibroE-Basura-web.pdf>

[7] Recycla. (2007). Residuos Electrónicos, La Nueva Basura del Siglo XXI. Consultado el 02 de Marzo de 2014. Tomado de: http://www.maydaynetwork.cl/wp-content/uploads/2010/05/Residuos_electronicos-la-nueva-basura-del-siglo-XXI.pdf

[8] Cabeza, D. *Logística inversa en la gestión de la cadena de suministro*. Barcelona, Margue Books. P 26, 2012.

[9] Cabeza, D. *Logística inversa en la gestión de la cadena de suministro*. Barcelona, Margue Books. P 28, 2012.

[10] Cabeza, D. *Logística inversa en la gestión de la cadena de suministro*. Barcelona, Margue Books. P 29, 2012.

[11] Cabeza, D. *Logística inversa en la gestión de la cadena de suministro*. Barcelona, Margue Books. P 30, 2012.

[12] Cabeza, D. *Logística inversa en la gestión de la cadena de suministro*. Barcelona, Margue Books. P 30, 2012.

Algoritmo de Reconocimiento de los Espacios de Parqueo Empleando Tratamiento de Imágenes.

Paola A. Mateus IEEE Member
Facultad de Ingeniería Electrónica
Pontificia Universidad Javeriana
Colombia, Bogotá D.C.
Email: mateusp@javeriana.edu.co

Edisson O. Maldonado IEEE Member
Facultad de Ingeniería Electrónica
Pontificia Universidad Javeriana
Colombia, Bogotá D.C.
Email: maldonado.e@javeriana.edu.co

Cesar L. Niño IEEE Member
Facultad de Ingeniería Electrónica
Pontificia Universidad Javeriana
Colombia, Bogotá D.C.
Email: cesar.nino@javeriana.edu.co

Resumen—En el presente documento se propone un algoritmo de reconocimiento del estado de los espacios útiles para estacionar en zonas al aire libre. El algoritmo se desarrolló teniendo en cuenta dos características fundamentales: la primera es la división en cuatro regiones de cada uno de los espacios, para determinar la desviación estándar de los promedios de grises que se obtienen en cada una de las cuatro regiones y la segunda es el promedio de grises de cada espacio de parqueo. El algoritmo entrega una máscara que contiene el número de estacionamientos, área y posición sobre la cual se procesa cada frame del video. La textura es un factor importante para extraer la información del frame entregando el promedio de grises y la desviación estándar. Con el uso de estas dos características se plantea una máquina de soporte vectorial (SVM), utilizando un kernel lineal con el fin asegurar la detección de los vehículos.

I. INTRODUCCIÓN

Este proyecto implementa un algoritmo que determina el estado de los espacios en un área de parqueo y por medio de procesamiento de imágenes da a conocer de manera eficiente los sitios disponibles para estacionar los vehículos. El algoritmo da solución a los problemas de administración de los parqueaderos, puesto que al agilizar la asignación de espacios de estacionamiento se evitan las congestiones, pérdida de tiempo y de recursos malgastados.

Se han realizado diferentes estudios planteando soluciones para asegurar una administración del parqueadero adecuada. Entre ellas existen soluciones que utilizan tratamiento de imágenes desarrollando diferentes algoritmos basados en formas, colores [1], dispositivos ópticos [2] correlación en 3d [3], por citar algunos, que ofrecen tan solo soluciones parciales y limitadas a este problema. Entre estas no hay una solución común para dar respuesta de forma eficiente a la asignación de espacios disponibles en un parqueadero. Por lo tanto, este proyecto se centró en determinar una solución efectiva, hasta hallar el algoritmo que suministra al usuario la ubicación disponible en el parqueadero cuando desea estacionar, y así responde a las necesidades del parqueadero y usuario.

Mediante el desarrollo de diferentes algoritmos, se implementa un algoritmo que da solución completa al problema descrito. Esto se determina realizando pruebas en Matlab, extrayendo frames de varios videos recolectados y por medio de tratamiento de imágenes se realiza la detección de los

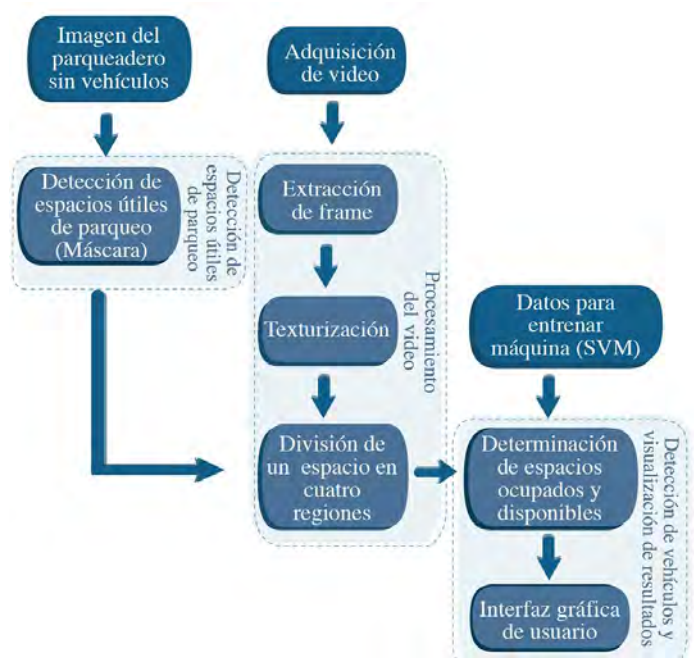


Figura 1: Diagrama general de bloques con tres etapas fundamentales: Detección de espacios útiles de parqueo, procesamiento del video; finalmente detección de vehículos y visualización de resultados

lugares libres para estacionar.

Obteniendo el algoritmo, se diseña una interfaz gráfica de usuario que permite la visualización del resultado y la interacción entre el algoritmo y quien desee conocer el espacio disponible a ocupar.

Para la implementación de este algoritmo se tienen en cuenta factores como: la presencia de luz solar, el lugar de estacionamiento al aire libre y la ubicación de una cámara cuya imagen abarque la totalidad del parqueadero. La imagen a procesar es obtenida por una sola cámara y no es en tiempo real.

En la Figura 1 se muestra un diagrama de bloques con los que se dan a conocer las etapas del desarrollo del algoritmo.

El diagrama de bloques tiene tres etapas fundamentales:

- Detección de espacios útiles de parqueo: se utiliza un

algoritmo para la delimitación de las plazas de parqueo, que demanda la intervención del usuario; estas plazas son aquellas que contienen un número de espacios de parqueo contiguos (ver Figura 2b). El algoritmo extrae bordes, realiza funciones morfológicas y finalmente arroja una imagen binaria (máscara) que corresponde al esqueleto del parqueadero.

- Procesamiento del video: se realiza por medio de la extracción de un frame. El procesamiento de este frame arroja la textura de la imagen, donde se resaltan los espacios de parqueo que contienen vehículos estacionados. Cada espacio de parqueo en el esqueleto del parqueadero se divide en cuatro regiones y se combinan con la textura obtenida, para determinar el promedio de grises de cada espacio y la desviación estándar de los promedios que se obtienen de cada una de las cuatro regiones.
- Detección de vehículos y visualización de resultados: finalmente se hace necesaria la implementación de una maquina de soporte vectorial (SVM), para una determinación óptima del estado de los espacios de parqueo. Esta máquina utiliza un kernel lineal que divide dos clases con dos características fundamentales: el valor promedio y la desviación estándar.

El resultado de estas tres etapas se observa por medio de una interfaz gráfica de usuario, que permite la visualización de imágenes. Este resultado contiene la imagen de referencia con los espacios resaltados en color rojo como ocupados y en verde como disponibles.

II. DETECCIÓN DE ESPACIOS ÚTILES DE PARQUEO.

Las características principales del algoritmo son: el promedio de grises de cada espacio de parqueo y la división en cuatro regiones de cada espacio para determinar la desviación estándar entre ellas; otro ítem importante es el entrenamiento de una máquina de soporte vectorial para la determinación precisa del estado actual de los espacios.

Para obtener el promedio de cada espacio útil de estacionamiento es necesario contar con el esqueleto del parqueadero (máscara) y la textura del frame a procesar.

El esqueleto de la Figura 2f se obtiene mediante el uso de un algoritmo que determina las plazas de parqueo con intervención del usuario, se extraen los bordes por medio de un filtro S6bel[4], una binarización local utilizando el método de Otsu y el uso de funciones morfol6gicas como dilataci6n[5] y erosi6n[6] para obtener la forma del espacio de parqueo.

La binarizaci6n se desarroll6 de forma local, ya que la imagen tiene una perspectiva que evita una adecuada binarizaci6n de los espacios de parqueo alejados de la c6mara. Estos espacios tienen menos p6xeles en comparaci6n con los espacios m6s cercanos, lo cual hace que una binarizaci6n global no sea 6til, ya que elimina esta informaci6n.

Esta binarizaci6n local se lleva a cabo por medio del m6todo de Bernsen y una varianza 6ptima[7] del m6todo de Otsu (Ver Ap6ndice).

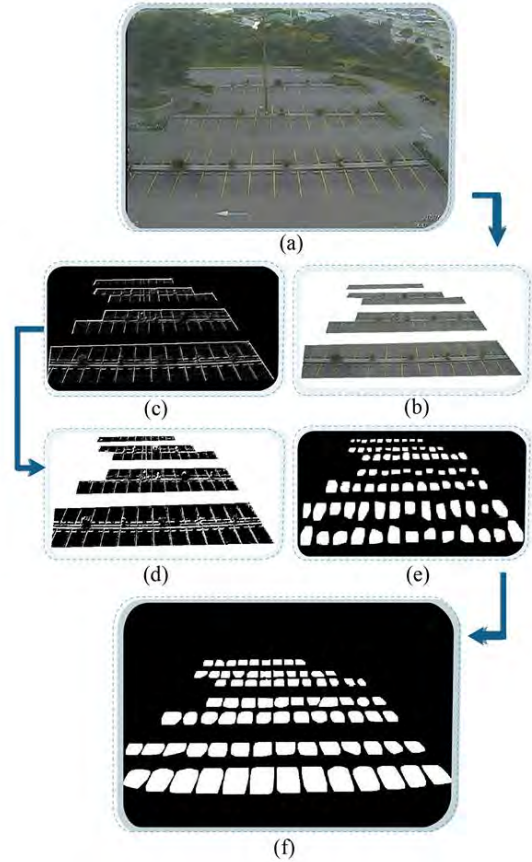


Figura 2: (a) Imagen real del parqueadero. (b) Delimitaci6n de las plazas de parqueo. (c) Bordes mediante un filtro Sobel. (d) Binarizaci6n local. (e) Funciones morfol6gicas. (f) Esqueleto del parqueadero (m6scara).

III. PROCESAMIENTO DEL VIDEO.

Es necesario determinar la textura[8] en cada frame a procesar (ver Figura 3c), para ello se utiliz6 la entropía que consiste en determinar la medida de dispersi6n del histograma:

Se tiene una m6scara:

$$A_{3 \times 3} = \quad (1)$$

$$\begin{pmatrix} P(m-3, n-3) & P(m-3, n) & P(m-3, n+3) \\ P(m, n-3) & P(m, n) & P(m, n+3) \\ P(m+3, n-3) & P(m+3, n) & P(m+3, n+3) \end{pmatrix}$$

donde $P(m, n)$ es el valor del p6xel que se evalúa en cada cara de RGB.

Por medio de la m6scara $A_{3 \times 3}$ se asegura una textura de forma local. Cuando la m6scara se superpone en la imagen original se extraen estos valores para hallar el histograma. Luego se divide la matriz del histograma en 9 que corresponde al n6mero de p6xeles de la m6scara.

$$xh = \frac{Jh}{9} \quad (2)$$

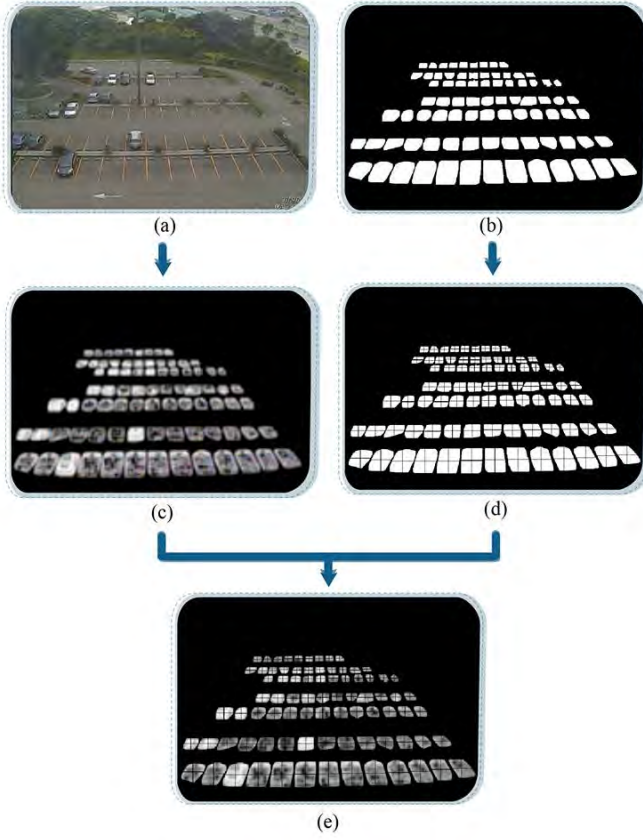


Figura 3: (a) Imagen real del parqueadero. (b) Esqueleto del parqueadero (máscara). (c) Imagen texturizada. (d) División de cada espacio en cuatro regiones. (e) Combinación de la textura con la división.

donde Jh corresponde a la matriz del histograma y xh a la matriz normalizada del histograma.

Posteriormente se eliminan las posiciones donde no existen valores del histograma que son almacenados en una matriz xc .

Por último se realiza la entropía cuya funcionalidad es:

$$H(m, n) = \sum_{a=1}^b xh(a) * \log_2 xh(a) \quad (3)$$

siendo $H(m, n)$ la entropía y b el valor de la longitud de la matriz xc .

Al realizar este procedimiento en todos los píxeles de la imagen se genera una nueva imagen, la cual corresponde a la textura de la imagen original (ver figura 3c).

Finalmente, se transforma esta imagen en grises y se multiplica con el esqueleto (máscara) para obtener las dos características fundamentales que utiliza la máquina de soporte vectorial y así determinar el estado de cada espacio; una de ellas es el promedio de grises y la otra es la desviación estándar del promedio de grises en cada división de las cuatro regiones.

III-A. Promedio de cada espacio de parqueo

Para hallar el promedio de grises de cada espacio de parqueo se requiere definir cada espacio de forma independiente

realizando una etiqueta[9] con números consecutivos.

Siendo O_j el j -ésimo espacio de parqueo, se tiene:

$$P_{O_j} = \sum_{i=1}^M \frac{V(i)}{M} \quad (4)$$

donde: P_{O_j} es el promedio de grises en el espacio j , $V(i)$ es el valor de grises del píxel i y M el número de píxeles del espacio O_j .

III-B. Desviación estándar del promedio de grises en cada división de las cuatro regiones

La desviación estándar se obtiene mediante la división de cada espacio O_j en cuatro regiones (Ver figura 3d), con el fin de incrementar la precisión del estado de cada espacio. La división evita que al ocurrir oclusión por un automóvil vecino el algoritmo indique el espacio como ocupado, porque si hay oclusión solo dos de las cuatro regiones están ocupadas.

Cuando dos de las cuatro regiones han sido ocupadas por un vehículo vecino, la desviación estándar del promedio de grises de las cuatro regiones es más grande, comparada con la desviación estándar en el caso en que el vehículo se encuentra estacionado. Para obtener la desviación estándar se desarrolla lo siguiente:

Ubicando el centroide del área de espacio O_j , se divide el espacio en el eje x y en el eje y , obteniendo las cuatro regiones del espacio O_j . Cada región se denota de la forma R_k estando $1 \leq k \leq 4$.

$$P_{R_k} = \sum_{i=1}^N \frac{V(i)}{N} \quad (5)$$

donde: P_{R_k} es el promedio de grises en la región k , $V(i)$ es el valor de grises del píxel i y N el número de píxeles de la región R_k .

La desviación estándar del espacio O_j está dada por:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{k=1}^4 (P_{R_k} - P_{O_j})^2}{K - 1} \quad (6)$$

siendo $K = 4$ el número de divisiones en un espacio de parqueo.

IV. DETECCIÓN DE VEHÍCULOS Y VISUALIZACIÓN DE RESULTADOS.

Al tener el promedio de grises de cada espacio de parqueo y la desviación estándar del promedio de grises de las cuatro regiones, se procede a entrenar una máquina de soporte vectorial con estas dos características.

Se entrena la máquina con los promedios y desviaciones estándar de varios frames a lo largo del video y se utilizan diferentes kernels, como: lineal, no lineal, radial y cuadrático. Para evaluar cuál kernel ofrece una mayor precisión y exactitud de la detección de vehículos, se efectúa una validación cruzada con diez iteraciones, con lo cual se determina la eficiencia de cada kernel. Los resultados se observan en el Cuadro I.

	Lineal	Cuadrática	No Lineal	Radial
Iteración 1	97,83 %	97,95 %	98,03 %	97,82 %
Iteración 2	97,57 %	97,58 %	98,68 %	97,69 %
Iteración 3	98,32 %	98,54 %	98,55 %	97,69 %
Iteración 4	98,31 %	98,58 %	98,58 %	97,49 %
Iteración 5	97,83 %	97,77 %	98,93 %	97,90 %
Iteración 6	97,99 %	98,03 %	98,20 %	98,04 %
Iteración 7	98,15 %	98,18 %	98,30 %	98,16 %
Iteración 8	98,32 %	98,33 %	98,41 %	98,34 %
Iteración 9	98,33 %	98,34 %	98,07 %	98,33 %
Iteración 10	97,83 %	97,70 %	97,65 %	97,52 %

Cuadro I: Resultados obtenidos para cada kernel en diez iteraciones

	Lineal	Cuadrática	No Lineal	Radial
Precisión	98,05 %	98,10 %	98,14 %	98,06 %
Exactitud	99,73 %	99,65 %	99,67 %	99,68 %

Cuadro II: Precisión y exactitud de cada uno de los kernels

Con las iteraciones anteriores se procede a establecer la precisión y la exactitud de los kernels correspondientes, obteniendo el Cuadro II.

Dado que el kernel lineal presenta mayor exactitud en la detección de vehículos, con un 99,73 % y una precisión del 98,05 % no tan distante de los demás kernels, se elige este kernel para el entrenamiento de la máquina.

En la Figura 4 se observan las muestras que se tomaron para el entrenamiento de la máquina y el comportamiento del kernel lineal.

V. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se evaluó el algoritmo de reconocimiento de los espacios de parqueo en cuatro parqueaderos ubicados al aire libre. Con las cámaras de seguridad, se obtuvieron videos que proporcionaron la información necesaria de cada frame para el procesamiento adecuado y la detección de espacios ocupados o disponibles. Los cuatro parqueaderos contienen un total de

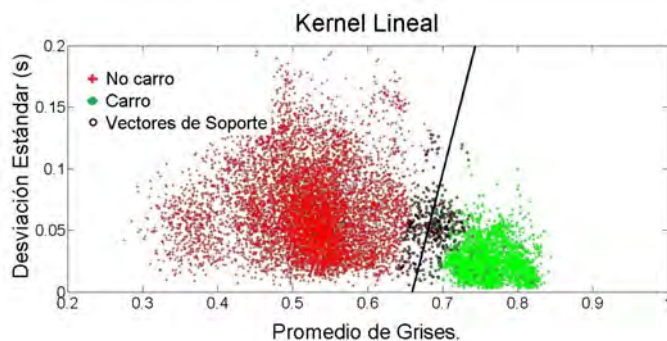


Figura 4: Comportamiento de la máquina de soporte vectorial usando un kernel Lineal con las muestras tomadas a lo largo del vídeo.

14 zonas de parqueo, con un total de 168 espacios disponibles para estacionar.

En la Figura 5g se observan los frames originales de cada uno de los cuatro parqueaderos y los resultados procesados en un momento determinado del video, indicando con el color rojo los espacios ocupados y con el color verde los vacíos.

Para evaluar el desempeño del algoritmo de reconocimiento de espacios de parqueo, se propuso una validación cruzada con diez iteraciones para cada video, por lo tanto se calculó la sensibilidad (VPR), especificidad (SPC), tasa de falsos positivos (FRP), tasa de falsos negativos (FNR) y precisión (ACC).

Teniendo oclusiones por la perspectiva de la cámara, sombras y condiciones de iluminación, se propuso evaluar el desempeño para parqueaderos que presentan estos problemas. Los resultados se obtuvieron al evaluar diferentes frames a lo largo del video cuando se presentaron cambios en los espacios, es decir, cuando un vehículo se estacionaba o salía del parqueadero.

En el primer parqueadero, con 82 espacios, se tomaron 147 frames, para un total de 12,054 muestras de los espacios de parqueo; en el segundo parqueadero, con 51 espacios, se tomaron 76 frames, para un total de 3,876 muestras de los espacios de parqueo; en el tercer parqueadero, con 19 espacios, se tomaron 35 frames, para un total de 665 muestras de los espacios de parqueo; y en el cuarto parqueadero, con 16 espacios, se tomaron 55 frames, para un total de 879 muestras de los espacios de parqueo. Con las muestras de los cuatro parqueaderos se obtuvieron un total de 17,474 muestras de espacios útiles de parqueo.

En el Cuadro III se observan los resultados obtenidos por cada parqueadero.

	Desocupados	Ocupados	VPR	FPR	SPC	FNR	ACC
Parqueadero 1	8,160	2,423	98,9 %	1,5 %	98,5 %	1,1 %	98,6 %
Parqueadero 2	1,749	1,740	99,6 %	1,7 %	98,3 %	0,4 %	99,0 %
Parqueadero 3	339	373	99,6 %	0,3 %	99,7 %	0,4 %	99,7 %
Parqueadero 4	417	373	98,4 %	1,0 %	99,0 %	1,6 %	98,7 %

Cuadro III: Sensibilidad, especificidad, tasa de falsos positivos, tasa de falsos negativos y precisión para los cuatro parqueaderos.

Según el Cuadro III, el algoritmo presenta mayor precisión del estado de los espacios de parqueo cuando la imagen obtenida del parqueadero ofrece mayor y mejor información de cada lugar útil para estacionar, como espacios no ocluidos, mayor cantidad de píxeles por espacio y una perspectiva que abarca en su totalidad el vehículo; cumpliendo estas características, se aprecia la confiabilidad que proporciona el parqueadero 3 con una precisión del 99,7 %.

Los parqueaderos que presentan mayor error son: el 1 y el 4. El parqueadero 1 tiene obstáculos en dos espacios de parqueo, los cuales ocluyen un 90 % de ellos, por lo tanto se presenta un error continuo cuando están vacíos ya que los indica como ocupados. Por otro lado, aunque el parqueadero 2 tiene una toma similar al parqueadero 1, presenta mayor precisión porque no contiene obstáculos de este tipo.

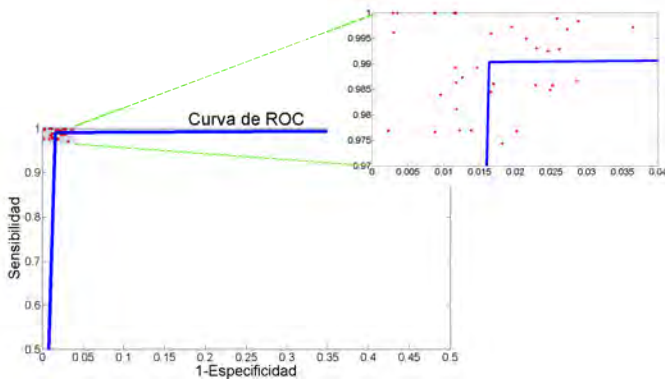


Figura 6: Característica operativa del receptor (ROC) que indica el promedio de las diez iteraciones en los cuatro parqueaderos

Basándonos en que el algoritmo analiza la textura de la imagen para proceder al análisis de los estados de los espacios, si el suelo del parqueadero obtenido no es una superficie lisa encuentra con dificultad el estado del espacio, es por ello que se presenta el error en el parqueadero 4.

En la Figura 6, se trazó la característica operativa del receptor (ROC) por medio de la sensibilidad y la especificidad, donde se pueden visualizar los datos obtenidos por las iteraciones de cada parqueadero. En la curva de ROC se observa que el promedio de precisión de los cuatro parqueaderos es del 99%.

VI. CONCLUSION

El algoritmo determinó el estado de los espacios de parqueo de modo eficiente, con un error menor al 1,4%, en el peor de los casos. Este error se presenta en el parqueadero 1(ver cuadroIII). Se recolectó la base de datos en la que se implementó con éxito el algoritmo. Esta base de datos contiene 168 parqueaderos, además de 17,474 muestras a lo largo de los cuatro videos. Se realizó una interfaz gráfica que permitió la interacción del algoritmo con el usuario. El usuario visualiza el resultado del algoritmo identificando los espacios ocupados con el color rojo y los desocupados con el color verde, lo cual asegura que pueda dirigirse confiado al estacionamiento a ocupar. El uso de una máquina de soporte vectorial (SVM) hace el algoritmo más robusto para la detección del estado de los espacios, utilizando un kernel lineal. Se determinó que la información obtenida con el uso del promedio de grises de cada espacio de parqueo y la desviación estándar del promedio de grises de las cuatro regiones que componen un espacio, es suficiente para determinar qué espacio de parqueo está ocupado o vacío. Al desarrollar la división de las cuatro regiones en cada espacio de parqueo, se eliminan de forma óptima las oclusiones ocasionadas por automóviles, personas o sombras presentes los espacios. El algoritmo solo presentó fallas en parqueaderos donde el suelo tiene cambios fuertes en la textura, dado que una de las etapas fundamentales detecta la presencia de vehículos por medio de este factor.

APÉNDICE

Esta binarización local se lleva a cabo de la siguiente manera:

Por medio del método de Bernsen, sobre los pixeles del vecindario se determina el umbral para cada grupo de pixeles.

Se tiene una máscara:

$$N_{(2w+1)x(2w+1)} = \quad (7)$$

$$\begin{pmatrix} I(m-w, n-w) & I(m-w, n) & I(m-w, n+w) \\ I(m, n-w) & I(m, n) & I(m, n+w) \\ I(m+w, n-w) & I(m+w, n) & I(m+w, n+w) \end{pmatrix}$$

Siendo $I(m, n)$ el pixel donde se evalúa el promedio entre los vecinos. El promedio está dado por:

$$p(m, n) = \frac{f_{max}(m, n) + f_{min}(m, n)}{2} \quad (8)$$

donde

$$f_{max} = \text{máx}\{N_{(2w+1)x(2w+1)}\} \quad (9)$$

$$f_{min} = \text{mín}\{N_{(2w+1)x(2w+1)}\} \quad (10)$$

Por lo tanto, la umbralización se realiza así:

$$I_{bin}(m, n) = \quad (11)$$

$$\begin{pmatrix} 1 & \text{si } I(m, n) < p(m, n) \text{ y } V(m, n) > V^* \\ 0 & \text{en otro caso} \end{pmatrix}$$

donde $V(m, n)$ es la varianza y está dada por:

$$V(m, n) = f_{max}(m, n) - f_{min}(m, n) \quad (12)$$

V^* Es la varianza óptima del método de Otsu[7] que se obtiene con los siguientes pasos:

$$p_i = \frac{f_i}{N} \quad (13)$$

siendo p_i la probabilidad de ocurrencia de nivel gris en la imagen, N el número de pixeles, f_i la frecuencia de repetición del nivel de gris, L son los posibles niveles de grises e i es un valor $i = 1, 2, \dots, L$

Para el umbral se tienen dos clases, siendo la clase uno el color negro y la clase dos el color blanco :

$$C_1 = \frac{p_1}{W_1(\delta)}, \frac{p_2}{W_1(\delta)} \dots \frac{p_\delta}{W_1(\delta)} \quad (14)$$

$$C_2 = \frac{p_{\delta+1}}{W_2(\delta)}, \frac{p_{\delta+2}}{W_2(\delta)} \dots \frac{p_L}{W_2(\delta)} \quad (15)$$

donde

$$W_1(\delta) = \sum_{i=1}^{\delta} p_i \quad (16)$$

$$W_2(\delta) = \sum_{i=\delta+1}^L p_i \quad (17)$$

y $1 \leq \delta \leq L$

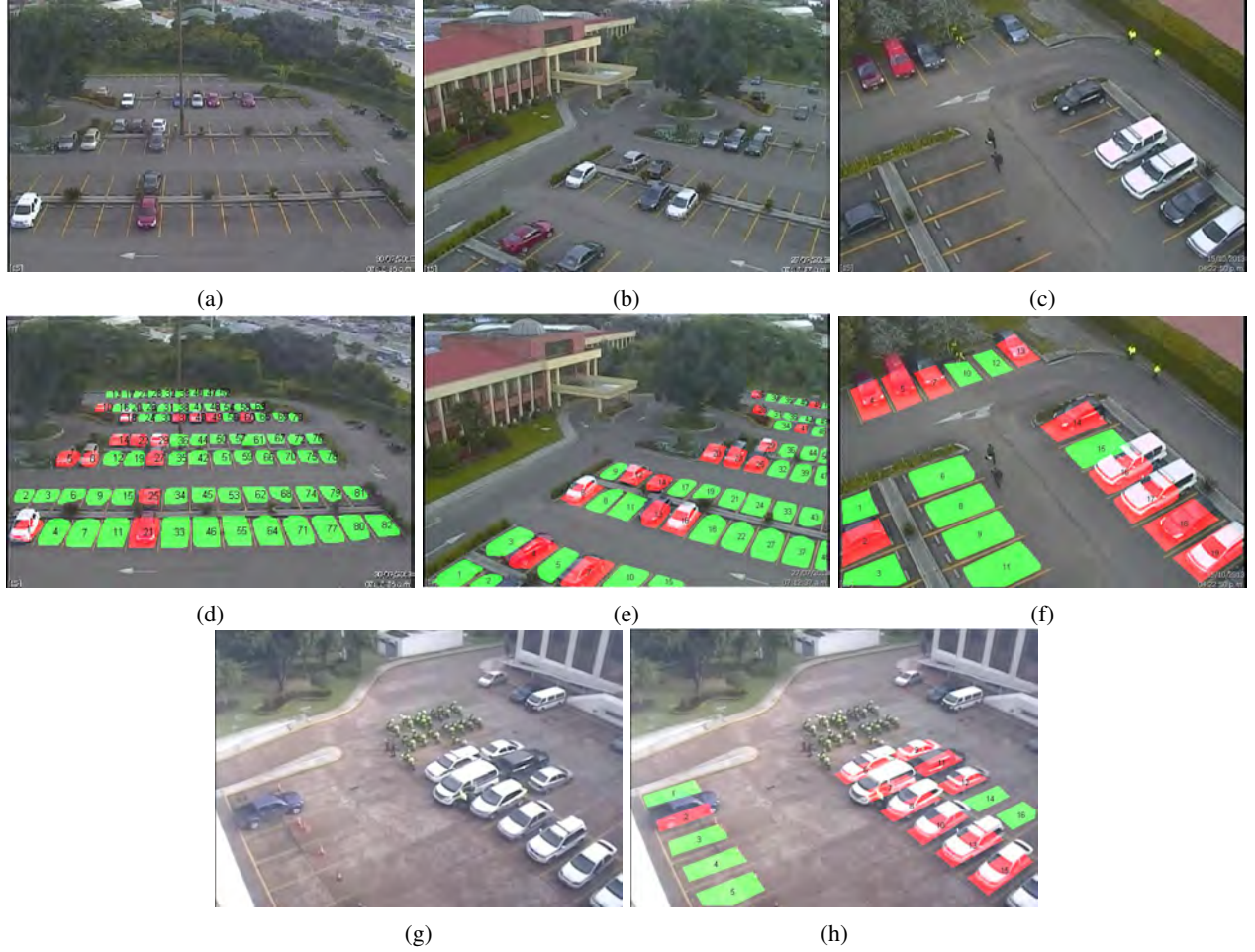


Figura 5: Imágenes reales de los cuatro parqueaderos e imágenes procesadas de cada uno de los parqueaderos indicando espacios ocupados con el color rojo y en verde los vacíos.

La media del umbral es:

$$\mu_1 = \sum_{i=1}^{\delta} \frac{i * p_i}{W_1(\delta)} \quad (18)$$

$$\mu_2 = \sum_{i=\delta+1}^L \frac{i * p_i}{W_2(\delta)} \quad (19)$$

μ_r es la intensidad media de toda la imagen, por lo tanto

$$\mu_r = W_1 * \mu_1 + W_2 * \mu_2 \quad (20)$$

$$W_1 + W_2 = 1 \quad (21)$$

Por medio del análisis anterior, la varianza entre las clases de una imagen umbralizada es:

$$\sigma^2 = W_1 * (\mu_1 - \mu_r)^2 + W_2 * (\mu_2 - \mu_r)^2 \quad (22)$$

Por lo tanto, la varianza óptima V^* es:

$$V^* = \max\{\sigma^2(\delta)\} \quad (23)$$

REFERENCIAS

- [1] CHIH CHEN L., WEI HSIEH J., RU LAI W., XUAN WU C. y YU CHEN S. «Vision-Based Vehicle Surveillance and Parking Lot Management Using Multiple Cameras.», *Sixth International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing*. Taiwan, 2010.
- [2] GURU PRASAD A. S., SHARATH U., AMITH B., SUPRITHA B. R., ASOKAN S. «Fiber Bragg Grating Sensor Instrumentation for Parking Space Occupancy Management.», *International Conference on Optical Engineering (ICOE)*, India, 2012.
- [3] CHUN HUANG C., SHU DAI Y. y JYH WANG .C «A Surface-based Vacant Space Detection for an Intelligent Parking Lot.», *12th International Conference on ITS Telecommunications*. Taiwan., 2012.
- [4] LIM, JAE S. «Two-Dimensional Signal and Image Processing», *Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall*.1990, pp. 478-488.
- [5] VAN DEN BOOMGARD, R. AND R. VAN BALEN. «Methods for Fast Morphological Image Transforms Using Bitmapped Images.», *Computer Vision, Graphics, and Image Processing: Graphical Models and Image Processing*. Vol. 54, Number 3, pp. 254-258, May 1992.
- [6] HARALICK, ROBERT M., AND LINDA G. SHAPIRO. «Computer and Robot Vision.», *Vol. I, Addison-Wesley*.1992, pp. 158-205.
- [7] OTSU, N. «A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms.», *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*. Vol. 9, No. 1, 1979, pp. 62-66.
- [8] GONZALEZ, R.C., R.E. WOODS, S.L. EDDINS «Digital Image Processing Using MATLAB.», *New Jersey, Prentice Hall*, 2003, Chapter 11.
- [9] HARALICK, ROBERT M., AND LINDA G. SHAPIRO «Computer and Robot Vision.», *Volume I, Addison-Wesley*.1992, pp. 28-48.

Simulación de Cobertura Radioeléctrica de Antenas MIMO en una Red LTE

John Heyller Amaya Valencia

Integrante Semillero de Investigación en
Telecomunicaciones y Electrónica – SITEL,
Grupo de Investigaciones en Electrónica y
Telecomunicaciones – GRITEL
Programa de Ingeniería Electrónica, Fundación
Universidad Autónoma de Colombia
Bogotá D. C, Colombia
amaya.john@fuac.edu.co

Javier Enrique Arévalo Peña

Coordinador Semillero de Investigación en
Telecomunicaciones y
Electrónica – SITEL,
Grupo de Investigaciones en
Electrónica y Telecomunicaciones – GRITEL
Programa de Ingeniería Electrónica, Fundación
Universidad Autónoma de Colombia
Bogotá D. C, Colombia
javier.arevalo@fuac.edu.co, jarevalop@gmail.com

Abstract— Este artículo realiza una breve descripción de los sistemas multiantena MIMO (Multiple Input Multiple Output), acompañado de una serie de simulaciones de estos sistemas en el sector de La Candelaria en Bogotá D.C. con ICS Designer, un software especializado en diseño de redes inalámbricas apoyado de cartografía digital. Se realiza una comparación entre los tipos de sistemas multiantena MU-MIMO (Multi User MIMO), SU-MIMO-SD (Single User MIMO Spatial Diversity) y SU-MIMO-SM (Single User MIMO Spatial Multiplexing) en una red de LTE (Long Term Evolution). Los resultados obtenidos permiten tener consideraciones para caracterizar estos sistemas multiantena en LTE, dado que esta tecnología se establecerá en Colombia como el sistema de telecomunicaciones móviles de cuarta generación (4G).

Keywords— Antenas MIMO, tecnología LTE, sistemas multiantena, sistema móvil celular 4G.

I. INTRODUCCIÓN

La investigación en sistemas multiantena y su mejoramiento ha aumentado en los últimos años, debido al incremento de usuarios y a la demanda de servicios. Con el auge de teléfonos inteligentes y el tráfico de datos inalámbrico, es necesario aumentar la capacidad [1].

Tradicionalmente, se han utilizado antenas omnidireccionales y sectorizadas para la transmisión y recepción de tráfico, emitiendo señales a usuarios no deseados y recibiendo señales de diferentes fuentes, lo que causa una interferencia que limita la capacidad del canal y por ende un menor aprovechamiento del recurso radioeléctrico [2], [3].

La necesidad de aprovechar los recursos del espectro radioeléctrico con la futura red móvil de cuarta generación (4G), requiere estudiar estas redes con sistemas multiantena. Con los resultados de investigaciones en esta área se obtendrán consideraciones para obtener desarrollos y diseños en sistemas multiantena y redes celulares.

La mayoría de sistemas MIMO (Multiple Input Multiple Output) se encuentran en estas dos categorías: MU – MIMO

(Multi User – MIMO), que permite múltiples usuarios con el uso de multiplexación espacial y SU-MIMO (Single User – MIMO), que se utiliza para mejorar el rendimiento hacia un usuario [4].

Dentro de los sistemas SU-MIMO existen dos tipos: SU – MIMO – SD (Single User – MIMO – Spatial Diversity) y SU – MIMO – SM (Single User – MIMO – Spatial Multiplexing). En SU-MIMO se utilizan múltiples antenas para transmitir la misma información, pero la información en cada antena esta codificados y reordenados en el tiempo. De manera que cuando la información se ve comprometida se puede recuperar. La multiplexación espacial sigue el mismo principio, solo que la información transmitida es diferente [5].

En el artículo se describe el proceso de simulación de las antenas en estudio, se analizan los resultados obtenidos y se presentan las conclusiones.

II. PROCESO DE SIMULACIÓN

Con el software ICS Designer de la empresa ATDI se llevó a cabo el proceso de simulación. Para ello se definió un sector de La Candelaria en Bogotá D.C., Colombia. Para lograr un mejor análisis de resultados se ha definido una máscara de 4.4777 Km^2 donde se ubicaron catorce estaciones de una red móvil celular. Cabe notar que las simulaciones se llevaron a cabo con los sistemas MU – MIMO, SU – MIMO – SD y SU – MIMO – SM con arreglos de antena de cuatro elementos.

En la Tabla 1, se muestra los parámetros para las estaciones base LTE (eNodoB) [6].

Para las simulaciones de cobertura se emplea el modelo de radio propagación determinístico ITU 525/526 Bullington adecuado para la cartografía de alta resolución de 5 m. [7]. En la Fig. 1, se muestra la simulación de cobertura básica obtenida para los tres sistemas. Es importante anotar que los tres sistemas tienen un comportamiento similar. Cada una de

las gráficas representa los diferentes niveles de campo basados en un porcentaje de referencia de señal, a la izquierda de cada grafica se encuentra su respectiva paleta de colores, la cual identifica a cada punto del mapa el valor que le corresponde.

TABLA I. PARÁMETROS ESTACIONES BASE LTE [9]

Parámetros de estación	Valor
Potencia Nominal	9.86 W
Ganancia Transmisor	15 dB
Ganancia Receptor	15 dB
Perdidas Transmisor	0
Perdidas Receptor	0
Potencia Radiada	311.8 W
Frecuencia General	2000 MHz
Ancho de Banda Canal	5 MHz
Altura Antena	4 m
Apertura de antena	1
Discriminación de Polarización	0 dB
Nivel de Interferencia de Umbral	-137 dBW
Umbral	37 dBuV/m
Actividad Up-Link	100%
Actividad Down-Link	100%
Tipo de señal	LTE FDD

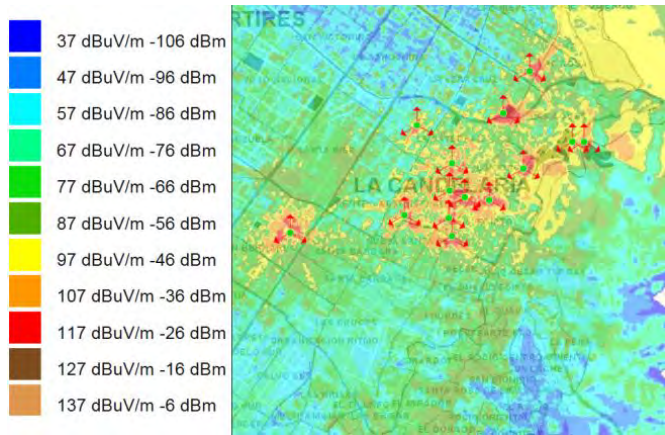


Fig. 1. Simulación de cobertura LTE con ICS Designer.

La Tabla II, presenta los resultados de cobertura en términos de porcentaje para cada antena.

TABLA II. RESULTADOS DE COBERTURA CON UNA SEÑAL LTE.

Potencia recibida (dBuV/m)	Antena MU – MIMO (%)	Antena SU-MIMO-SD (%)	Antena SU-MIMO-SM (%)
37	0,0301	0,0301	0,0301
47	5,2309	5,2309	5,2309
57	12,2356	12,2356	12,2356
67	17,18	17,18	17,18
77	18,3006	18,3006	18,3006
87	17,9187	17,9187	17,9187
97	16,8986	16,8986	16,8986
107	8,4569	8,4569	8,4569
117	3,3415	3,3415	3,3415
127	0,4070	0,4070	0,4070
137	0	0	0

En la Fig. 2, se muestra la simulación de cobertura

compuesta, la cual computa la cobertura de la señal RSRP (Reference Signal Received Power) [8].

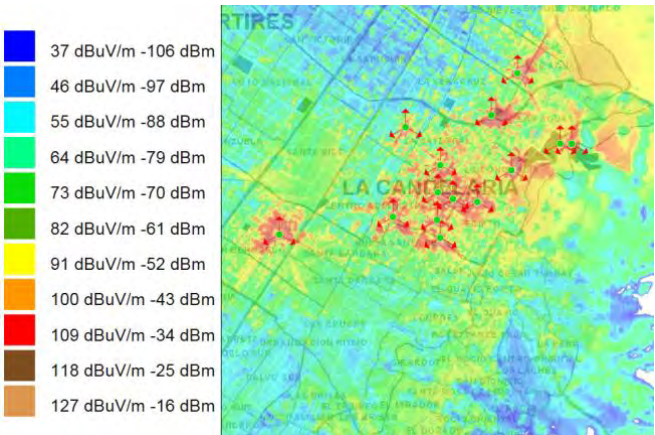


Fig. 2. Simulación de cobertura compuesta LTE con ICS Designer.

La Tabla III, presenta los resultados de cobertura compuesta en términos de porcentaje para cada antena.

TABLA III. RESULTADOS DE COBERTURA COMPUESTA CON UNA SEÑAL LTE.

Potencia recibida (dBuV/m)	Antena MU-MIMO (%)	Antena SU-MIMO-SD (%)	Antena SU-MIMO-SM (%)
37	2,2361	2,2361	2,2361
46	10,3663	10,3663	10,3663
55	13,1049	13,1049	13,1049
64	15,6475	15,6475	15,6475
73	16,4414	16,4414	16,4414
82	17,1348	17,1348	17,1348
91	13,9440	13,9440	13,9440
100	7,3765	7,3765	7,3765
109	3,2410	3,2410	3,2410
118	0,5075	0,5075	0,5075
127	0	0	0

La Fig.3, muestra la cobertura del mejor servidor, que establece el mejor servidor de la señal de referencia [8].

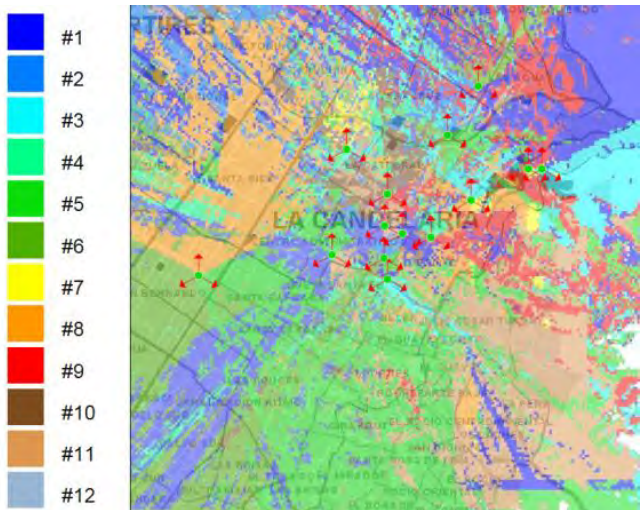


Fig. 3. Simulación de cobertura mejor servidor en LTE con ICS Designer.

La Tabla IV, muestra los resultados de cobertura del servidor en términos de porcentaje para cada antena.

TABLA IV. RESULTADOS DE COBERTURA MEJOR SERVIDOR EN LTE.

Emplazamiento	Antena MU-MIMO (%)	Antena SU-MIMO-SD (%)	Antena SU-MIMO-SM (%)
1	6,8992	6,8992	6,8992
2	0,6985	0,6985	0,6985
3	2,8441	2,8441	2,8441
4	2,0853	2,0853	2,0853
5	2,4622	2,4622	2,4622
6	0,9999	0,9999	0,9999
7	0,8291	0,8291	0,8291
8	11,2105	11,2105	11,2105
9	4,7284	4,7284	4,7284
10	3,5375	3,5375	3,5375
11	3,2159	3,2159	3,2159
12	2,5979	2,5979	2,5979

La Fig. 4, muestra la cobertura simultánea de los servidores, la cual presenta la cobertura de todos los servidores [8].

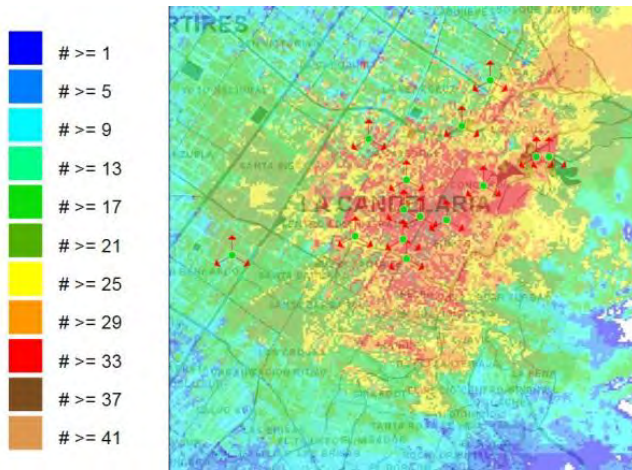


Fig. 4. Simulación de cobertura simultánea en LTE con ICS Designer.

La Tabla V, presenta los resultados de cobertura simultánea de los servidores en términos de porcentaje para cada antena.

TABLA V. RESULTADOS DE COBERTURA SIMULTÁNEA CON UNA SEÑAL LTE.

Emplazamiento	Antena MU-MIMO (%)	Antena SU-MIMO-SD (%)	Antena SU-MIMO-SM (%)
1	0,4824	0,4824	0,4824
5	2,5627	2,5627	2,5627
9	4,6983	4,6983	4,6983
13	8,8337	8,8337	8,8337
17	14,6827	14,6827	14,6827
21	23,0290	23,0290	23,0290
25	15,2806	15,2806	15,2806
29	15,0344	15,0344	15,0344
33	13,4365	13,4365	13,4365
37	1,9597	1,9597	1,9597
41	0	0	0

La Fig. 5 muestra la simulación de RSRQ del servidor 1

para MU – MIMO, que es la misma para SU – MIMO - SM. El RSRQ (Reference Signal Receive Quality) es un parámetro de calidad de servicio LTE [8].

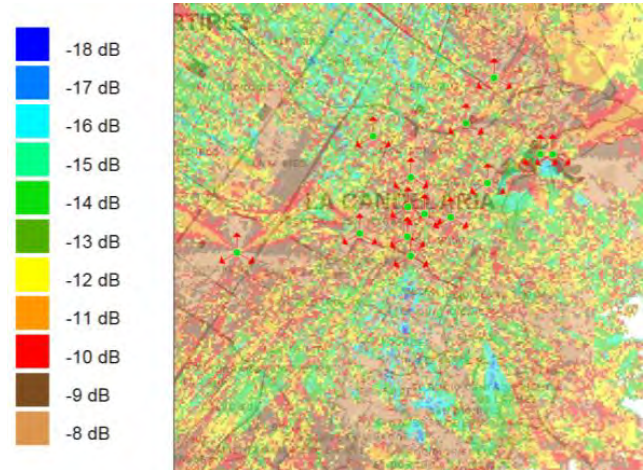


Fig. 5. Simulación RSRQ Servidor 1 para MU-MIMO y SU – MIMO – SM.

La Fig. 6 muestra el mapa RSRQ del servidor 1 para SU-MIMO-SD [8].

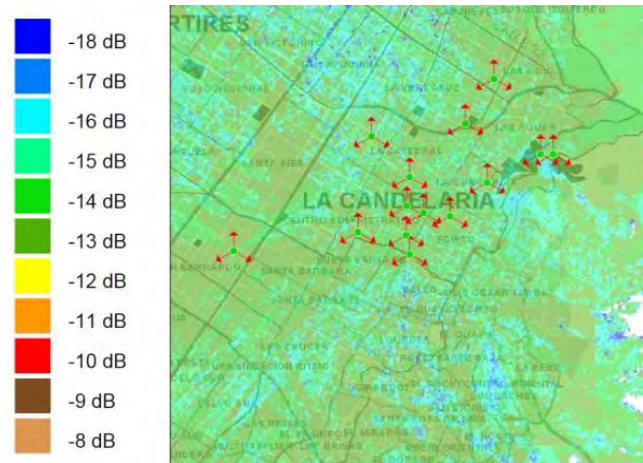


Fig. 6. Simulación RSRQ Servidor 1 para SU – MIMO – SD.

La Tabla VI presenta los resultados de RSRQ servidor 1.

TABLA VI. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN DE RSRQ DEL SERVIDOR 1.

Valor C/I ^A	Antena MU-MIMO (%)	Antena SU-MIMO-SD (%)	Antena SU-MIMO-SM (%)
-18	0,1306	0	0,1306
-17	0,6934	0	0,6934
-16	2,5024	0	2,5024
-15	5,1907	0	5,1907
-14	8,7684	0	8,7684
-13	10,1703	0,1809	10,1703
-12	11,9290	1,4673	11,9290
-11	14,9389	7,2308	14,9389
-10	15,5721	16,5821	15,5721
-9	16,6977	31,4105	16,6977
-8	13,4064	43,1285	13,4064

^A Relación Portadora / Interferencia.

La Fig. 7 muestra la simulación de RSRQ del servidor 2 para MU-MIMO que es la misma para SU-MIMO-SM.

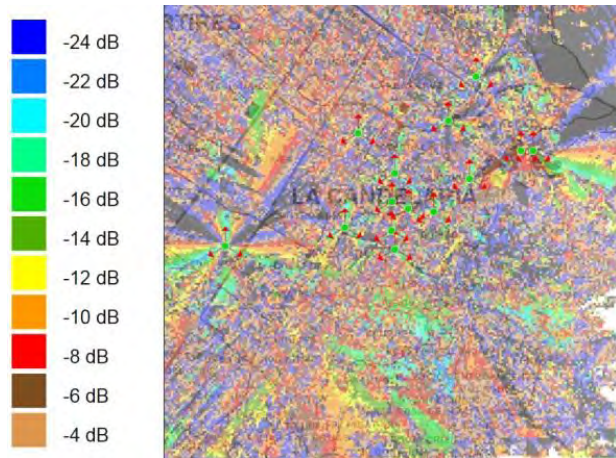


Fig. 7. Simulación RSRQ Servidor 2 para MU-MIMO y SU-MIMO-SM.

La Fig. 8 presenta RSRQ del servidor 2 para SU-MIMO-SD.

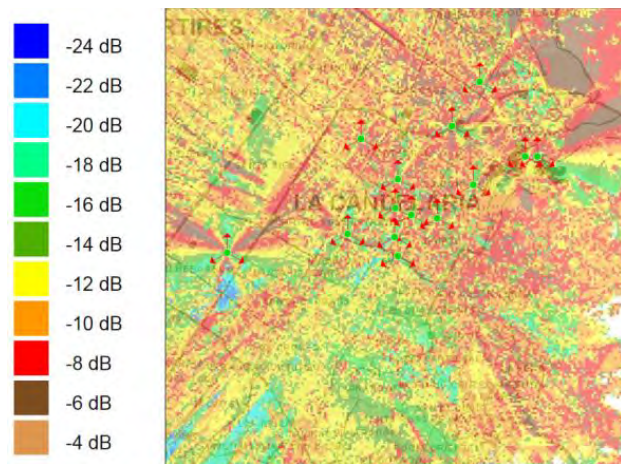


Fig. 8. Simulación RSRQ Servidor 2 para SU-MIMO-SD.

La Tabla VII presenta los resultados de RSRQ servidor 2.

TABLA VII. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN DE RSRQ DEL SERVIDOR 2 CON SEÑAL LTE.

Valor C/I	Antena MU-MIMO (%)	Antena SU-MIMO-SD (%)	Antena SU-MIMO-SM (%)
-24	2,1406	0,015	2,1406
-22	5,3867	0,3065	5,3867
-20	6,9545	0,4472	6,9545
-18	20,4261	2,5526	20,4261
-16	30,8326	5,8339	30,8326
-14	26,3354	10,0748	26,3354
-12	7,8991	25,0591	7,8991
-10	0	31,6669	0
-8	0	21,0693	0
-6	0	6,9645	0
-4	0	0	0

La Fig. 9 muestra la simulación de RSRQ de los servidores simultáneos para MU-MIMO que es la misma para SU-MIMO-SM.

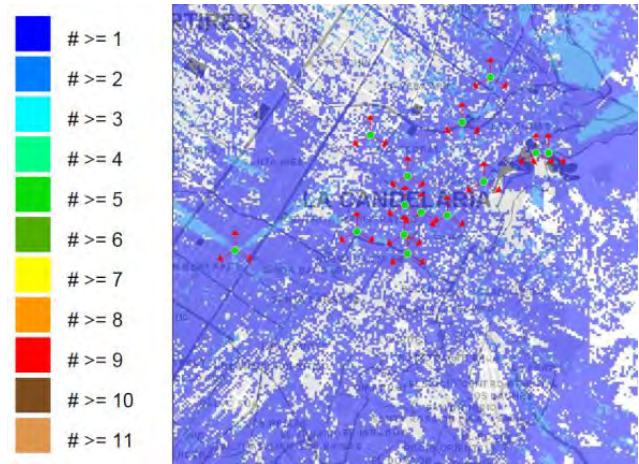


Fig. 9. RSRQ servidores simultáneos para MU-MIMO y SU-MIMO-SM.

La Fig. 10 muestra la simulación de RSRQ de servidores simultáneos para SU-MIMO-SD.

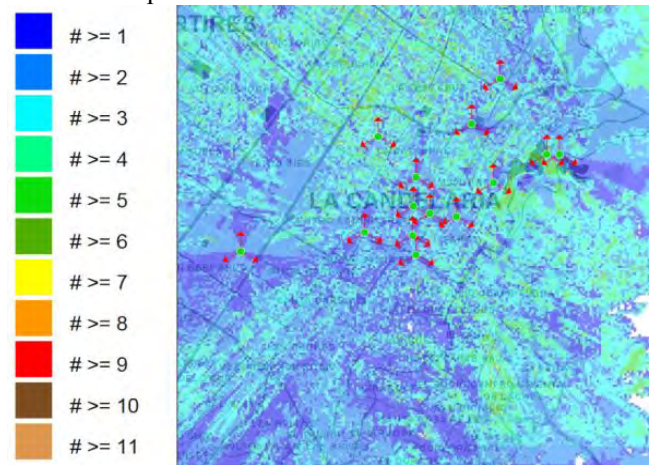


Fig. 10. Simulación RSRQ servidor simultáneos para SU-MIMO-SD.

La Tabla VIII muestra los resultados de la simulación RSRQ.

TABLA VIII. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN DE RSRQ DE SERVIDORES SIMULTÁNEOS.

Emplazamiento	Antena MU-MIMO (%)	Antena SU-MIMO-SD (%)	Antena SU-MIMO-SM (%)
1	64,6450	19,1096	64,6450
2	7,8991	39,6211	7,8991
3	0	22,5366	0
4	0	13,3863	0
5	0	4,2611	0
6	0	0,8593	0
7	0	0,0804	0
8	0	0,0151	0
9	0	0	0
10	0	0	0
11	0	0	0

III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con los resultados de las tablas presentadas anteriormente se pueden obtener diagramas para facilitar el análisis de los resultados. La Fig. 11 muestra el diagrama de cobertura. Las tres antenas poseen el mismo comportamiento y la sumatoria de cobertura es de 99.99%.

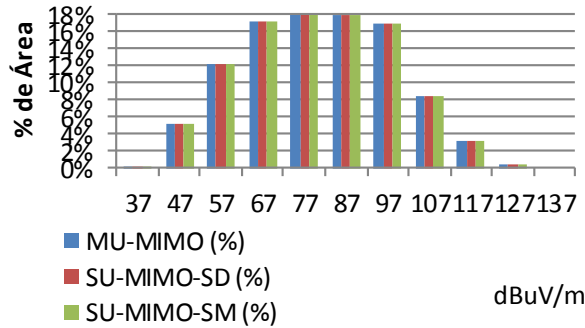


Fig. 11. Diagrama de barras de cobertura.

La Fig.12 muestra los resultados. Las antenas vuelven a tener un comportamiento idéntico, la sumatoria total de cobertura es de 100%.

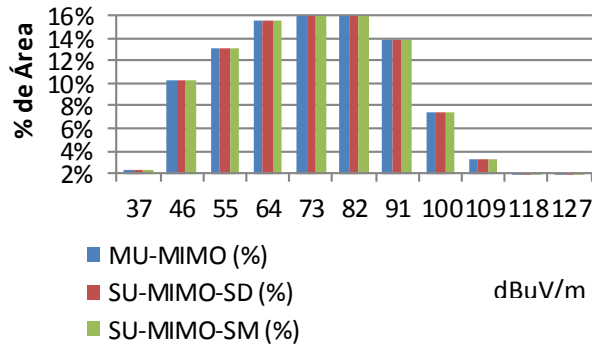


Fig. 12. Diagrama de barras de cobertura compuesta.

Se puede ver una alta área de cobertura y cobertura compuesta en los campos eléctricos medios. La sumatoria de la cobertura del mejor servidor para las tres antenas es de 42.1085%. La Fig. 13 muestra los resultados.

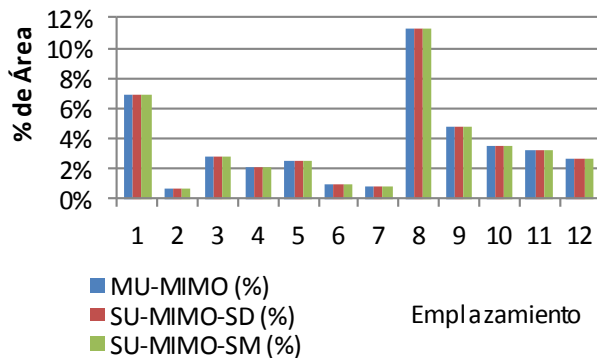


Fig. 13. Diagrama de barras de cobertura de mejor servidor.

El mejor servidor tiene su área más grande de cobertura en el emplazamiento 8. La sumatoria de cobertura de los servidores simultáneos es de 100% para los tres tipos de antena. La Fig.14 muestra los resultados.

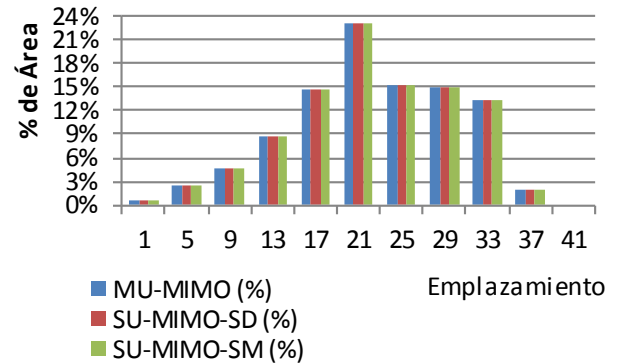


Fig. 14. Diagrama de barras de cobertura simultánea.

Los servidores simultáneos tienen un área grande de cobertura en el emplazamiento 21. En cuanto a cobertura las antenas tienen un comportamiento bastante similar, como pudo verse a través de las tablas y diagramas. Sin embargo se puede ver el alto rendimiento de los sistemas multiantena en el sector de la candelaria. El siguiente diagrama es para el RSRQ del servidor 1, el cual produce un total de 99.99% para MU - MIMO y SU - MIMO - SM, y 100% para SU - MIMO - SD. La Fig. 13 muestra los resultados.

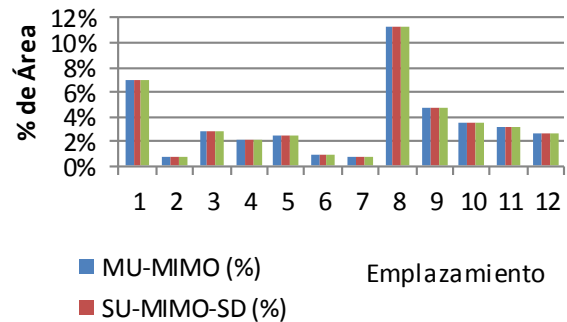


Fig. 13. Diagrama de barras de cobertura de mejor servidor.

El mejor servidor tiene su área más grande de cobertura en el emplazamiento 8. La cobertura de los servidores simultáneos es de 100% para los tres tipos de antena. La Fig.14 muestra los resultados.

Los servidores simultáneos tienen un área grande de cobertura en el emplazamiento 21.

En cuanto a cobertura las antenas tienen un comportamiento bastante similar, como pudo verse a través de las tablas y diagramas. Sin embargo se puede ver el alto rendimiento de los sistemas multiantena en el sector de la candelaria.

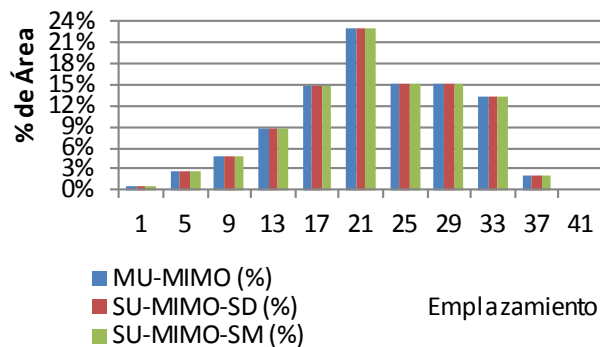


Fig. 14. Diagrama de barras de cobertura simultánea.

El siguiente diagrama es para el RSRQ del servidor 1, el cual produce una sumatoria total de 99.99% para MU - MIMO y SU - MIMO - SM, y 100% para SU - MIMO - SD. La Fig. 15 muestra los resultados.

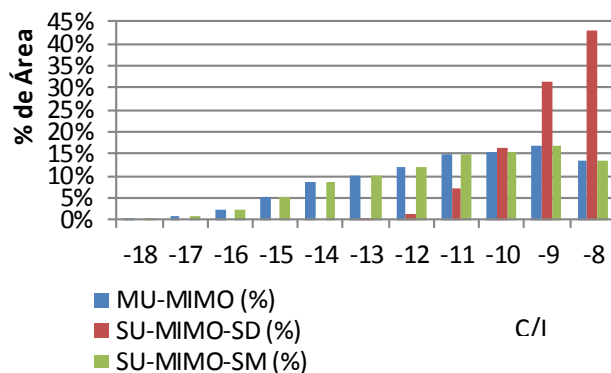


Fig. 15. Diagrama de barras de RSRQ servidor 1.

La relación entre la portadora y la interferencia (C/I) total para los sistemas es prácticamente la misma, sin embargo MU - MIMO y SU - MIMO - SM se eleva gradualmente a medida que aumenta (C/I), mientras que SU - MIMO - SD se intensifica rápidamente a partir de C/I = - 12 proporcionando baja calidad con valores altos de C/I.

El siguiente diagrama es para el RSRQ del servidor 2, el cual produce un total de 99.97% para MU - MIMO y SU - MIMO - SM, y 100% para SU - MIMO - SD. La Fig. 16 muestra los resultados.

Las antenas tienen un comportamiento similar pero SU-MIMO - SD es más susceptible a valores un poco altos como en C/I = - 10 y los demás sistemas son más susceptibles a valores un poco más bajos como C/I = - 16.

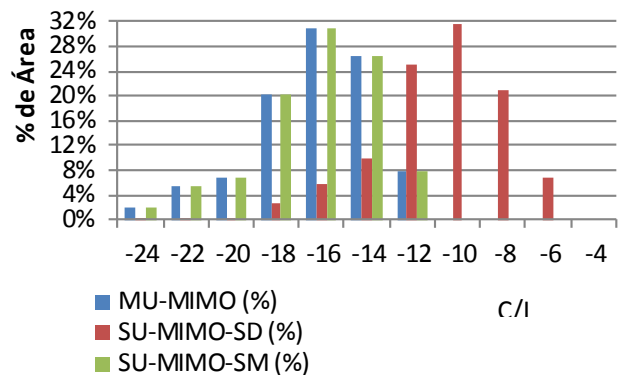


Fig. 16. Diagrama de barras de RSRQ servidor 2.

El siguiente diagrama es para el RSRQ para servidores simultáneos, el cual produce un total de 72.54% para MU - MIMO y SU - MIMO - SM, y 99.86% para SU - MIMO - SD. La Fig. 17 muestra los resultados.

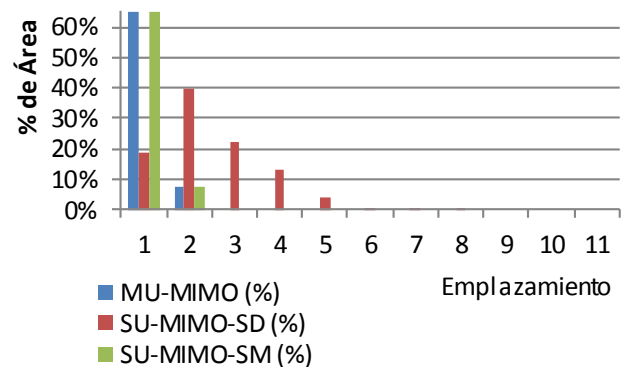


Fig. 17. Diagrama de barras de RSRQ simultáneo.

El área abarcada por SU - MIMO - SD supera notablemente a la de los demás sistemas, sin embargo SU - MIMO - SM y MU - MIMO poseen un área bastante grande en el emplazamiento 1.

CONCLUSIONES

Los tres tipos de sistema multiantena MU - MIMO, SU - MIMO - SD y SU - MIMO - SM tienen el mismo comportamiento en cuanto a cobertura, dentro del sector estudiado. Lo que diferencia, a los tres tipos de sistemas fue el parámetro de calidad de servicio.

En calidad de servicio el servidor 1 de los sistemas MU - MIMO y SU - MIMO - SM, tiene un área grande de cobertura en el sector analizado. No obstante en términos generales, con todos los servidores simultáneos SU - MIMO - SD excede notablemente el área de calidad comparado con los demás sistemas, al aumentar la calidad de la señal usando

la antena SU – MIMO – SD entonces aumenta la capacidad de transmisión del sistema al implementarse con la antena SU – MIMO – SD.

En próximos trabajos se podría añadir al estudio el uso de antenas convencionales y de tecnología 3G. Para el caso de La Candelaria y tomando en cuenta los parámetros analizados, SU – MIMO – SD sería una opción para la implementación de la tecnología LTE.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar sus agradecimientos al Sistema Unificado de Investigaciones – SUI y a la Dirección del Programa de Ingeniería Electrónica de la Fundación Universidad Autónoma de Colombia, por el apoyo a los proyectos de investigación en el área de telecomunicaciones y a los diferentes semilleros de investigación del programa académico.

REFERENCIAS

- [1] S. Sesia, I. Toufik, M. Baker, *LTE – The UMTS Evolution: From Theory to Practice*, New Jersey: John Wiley & Sons, 2011.
- [2] C. A. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*, New York: John Wiley & Sons, 2005.
- [3] W. L. Stutzman y G. A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, New York: John Wiley & Sons, 1998.
- [4] A. Sibille, C. Oestges y A. Zanella, *MIMO: From Theory to Implementation*, Elsevier, 2011.
- [5] M. Sauter, *From GSM to LTE: An Introduction to Mobile Network and Mobile Broadband*, Chichester: John Wiley & Sons, 2011.
- [6] 3GPP, *Technical Report 3GPP TR 36.942*, Francia: 3GPP Organizational Partners, 2010.
- [7] Advanced Topographic Development & Images, *LTE features – ICS designer v2*, Francia: ATDI, 2013.
- [8] Advanced Topographic Development & Images, *Tutorial LTE network design with ICS telecom*, Francia: ATDI, 2012.
- [9] ATDI, *Tutorial LTE network design with ICS telecom*, ATDI, 2012.

MEDICIÓN DE LA FRECUENCIA CARDIACA INSTANTANEA A TRAVÉS DE LA INTERFAZ GRÁFICA CREADA EN IDE GUIDE.

Johann A. Nieto
Facultad de Ingeniería Electrónica
Universidad Santo Tomás
Bogotá, Colombia
johannnieto@usantotomas.edu.co

Cristian C. Velandia
Facultad de Ingeniería Electrónica
Universidad Santo Tomás
Bogotá, Colombia
cristianvelandia@usantotomas.edu.co

Diego Andrés Vanegas cortes
Facultad de Ingeniería Electrónica
Universidad Santo Tomás
Bogotá, Colombia
diegovanegas@usantotomas.edu.co

Javier González Barajas
Facultad de Ingeniería Electrónica
Universidad Santo Tomás
Bogotá, Colombia
javiergonzalezb@usantotomas.edu.co

Resumen— La frecuencia cardíaca es un parámetro calculado a través de la adquisición en formato digital de una señal electrocardiográfica (ECG). Este parámetro contiene información que puede ser utilizada para el diagnóstico de enfermedades del sistema cardiovascular y nervioso como la esquizofrenia, arritmia cardíaca y otras generadas por el mal funcionamiento del corazón. Este trabajo presenta los resultados del diseño e implementación de una herramienta informática desarrollada bajo el IDE (Integrated Development Enviroment) GUIDE de Matlab, haciendo uso del mismo para la adquisición, filtrado y detección de la onda R de la señal ECG para la medición de la frecuencia cardíaca instantánea.

Palabras claves— Electrocardiograma, onda R, filtrado digital, Interfaz gráfica.

Abstract— Heart rate is a calculated parameter through the acquisition of digital electrocardiographic (ECG) signal. This parameter contains information that can be used for diagnosis of diseases of the cardiovascular and nervous system, such as schizophrenia, cardiac arrhythmia, and other generated by the heart malfunction. This paper presents the results of the design and implementation of a computer tool developed under the IDE (Integrated Development Environment) Matlab GUIDE thereof for the acquisition, filtering and detection of the R wave of the ECG signal for measuring the instantaneous heart rate.

Index terms— Electrocardiogram, digital filtering, graphical interface, R wave.

I. INTRODUCCIÓN

La Frecuencia cardíaca instantánea es una variable extraída, principalmente de la señal electrocardiográfica (ECG) y depende del tiempo transcurrido entre dos eventos de esta misma señal [1]. Como se puede apreciar en la figura 1, la señal ECG está compuesta por diferentes formas de onda. La onda positiva de mayor amplitud es denominada como onda R [2]. El tiempo transcurrido entre cada onda R de la señal ECG es llamado tiempo RR (t_{RR}) y su inverso matemático corresponde a la frecuencia cardíaca instantánea [3].

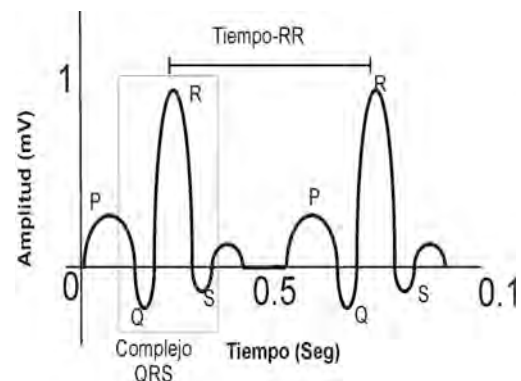


Fig. 1. Señal ECG y sus diferentes formas de ondas. Se destaca la onda R que corresponde a la de valor positivo que posee mayor amplitud (Autor, 2014).

Para la medición de la frecuencia cardíaca se propone una metodología descrita en la figura 2, en la cual se debe contar con un sistema de acondicionamiento de señales para la adquisición de la señal ECG. Posteriormente se incluye una

etapa de digitalización y conexión a un computador personal. La etapa para el tratamiento digital de la señal ECG está contenida en una interfaz gráfica.



Fig. 2. Metodología para la medición de la Frecuencia Cardiaca Instantánea (Autor, 2014).

Los sistemas de acondicionamiento de señales ECG tienen por lo general diferentes componentes electrónicos con la capacidad de amplificar con un valor de ganancia aproximado de 150. Entre los dispositivos más utilizados está el amplificador de instrumentación [4]. El sistema de acondicionamiento debe contar con una etapa de filtrado que cumpla características de pasa altas con una frecuencia de corte aproximada de $f_{ch}=0.5$ Hz, con la finalidad de eliminar componentes de continua que pueden alterar la señal [5]. Para poder garantizar que la señal ECG no sea distorsionada por componentes de altas frecuencias, se recomienda el uso de filtros pasa bajas con frecuencia de corte en un rango de $f_{ci}=40-100$ Hz [6].

La etapa de digitalización de señales se debe contar con un adecuado valor de frecuencia de muestreo. Para el caso de la señal ECG se ha recomendado el uso de un valor defrecuencia de muestreo entre 250 y 1000 Muestras por segundo [7,8].

Para el tratamiento digital de la señal ECG se han propuesto soluciones basadas en dispositivos portátiles que permiten la adquisición y almacenamiento en formato digital [9,10]. Estos dispositivos están acompañados de estrategias para la exportación a computadores personales por el puerto USB de arreglos de datos con la señal ECG [11] y la visualización de parámetros para analizar los cambios de la frecuencia instantánea [12,13].

Dentro de los procesos llevados a cabos en el tratamiento digital de la señal ECG, se destaca la implementación de filtros digitales para detección del complejo QRS que contiene la onda R [14]. Los filtros digitales permiten la atenuación de componentes espectrales del ECG que no pertenecen al complejo QRS y como consecuencia producen un realce en la onda R. Posteriormente se procede a umbralizar las ondas R detectadas [15]. Posteriormente se procede a construir un arreglo de datos con los valores de tiempo calculado entre cada onda R detectada y se construye la serie de tiempo denominada Señal de Ritmo Cardiaco [3].

Con base a la metodología expuesta anteriormente, este trabajo contiene los resultados obtenidos al proponer una estrategia basada en la herramienta GUIDE de Matlab® para la medición de los valores de frecuencia cardiaca a través de la adquisición de la señal ECG, detección y cuantificación de tiempos de las ondas R contenidas en esta señal. El uso de interfaces gráficas ha mostrado utilidades ya que permiten al usuario visualizar los resultados de mediciones de las variaciones de la frecuencia cardiaca instantánea [16].

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Generación de señales ECG.

Para evitar el contacto con seres humanos, se ha usado el generador de señales electrocardiográficas artificiales *ProSim2* del fabricante *Fluke*. Este dispositivo permite generar con un amplitud de 1mV señales electrocardiográficas de pacientes normales con valores de frecuencia variable [17].

B. Acondicionamiento de la señal ECG

Con la finalidad de amplificar y filtrar la señal ECG tomada del simulador de paciente *ProSim2*, se ha utilizado una tarjeta tipo “plataforma de uso libre”. Esta tarjeta contiene una etapa de protección de sobre voltajes para evitar daños en la entrada de la amplificación. Adicionalmente, se encuentra una etapa primaria de amplificación con una ganancia $G=10$, seguida de un filtro pasa altos con frecuencia de corte $f_{ch}=10.16$ Hz. La tarjeta cuenta con una etapa secundaria de amplificación con ganancia $G=5.16$ y un filtro pasa bajos con frecuencia de corte $f_{ci}=41$.Hz. La tarjeta utilizada es del fabricante Olimex [18].

C. Digitalización y conexión con computadores de uso personal a través del puerto USB

La digitalización del electrocardiograma fue realizada por medio del uso de la plataforma *OLIMEXINO- STM32*, del fabricante Olimex [19]. Esta es una plataforma de uso libre que está compuesta por un dispositivo programable tipo ARM de referencia STM32F103RBT6 y una unidad lógica de 32 bits. Posee una interfaz USB que permite una comunicación serial con una velocidad de 19.000 baudios. Posee un conjunto de 5 conversores análogo a digital con 12 bits de resolución.

D. Tratamiento Digital del Electrocardiograma.

La implementación de la interfaz gráfica permitió obtener un ambiente para el tratamiento digital de la señal ECG. En primera instancia se somete la señal ECG a un filtro pasa banda con frecuencias de corte entre 10 y 20 Hz. Este valor de ancho de banda es escogido por contener en su interior las componentes espectrales asociadas a la forma de onda del complejo QRS [15]. El filtro pasa banda logra realizar un realce de la onda R y permite su fácil detección.

La detección de la onda R permite generar un arreglo de datos binario. En las muestras donde ocurre la aparición de una onda R asigna un valor de uno y cero para el resto de las muestras. Tomando el arreglo binario, se procede al uso de un algoritmo para contar la cantidad de ceros entre cada valor unitario. La cantidad de ceros permite obtener el número de muestras entre cada onda R de la señal ECG. Al multiplicar la

cantidad de ceros por el periodo de muestreo, se obtiene el valor de t_{RR} .

III. RESULTADOS

La señal electrocardiográfica adquirida por el sistema Olimexino - STM32 fue almacenada en el computador personal gracias a la opción de adquisición implementada dentro de la interfaz gráfica construida. Una muestra de la señal ECG almacenada y visualizada en la interfaz gráfica puede ser observada en la figura 3.

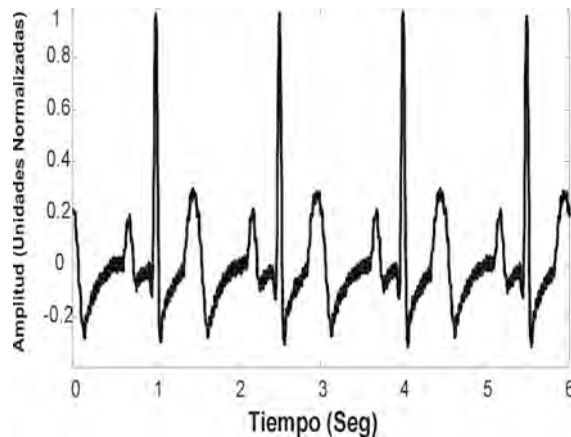


Fig. 3. Opción de la interfaz gráfica para visualizar una señal Electrocardiográfica adquirida con la plataforma olimexino - STM32 y almacenada en el computador personal (Autor, 2014).

Para poder obtener un realce de la onda R se ha procedido a implementar un filtro pasa banda con frecuencias de corte entre 10 y 20 Hz. El resultado obtenido se puede observar en la figura 4.

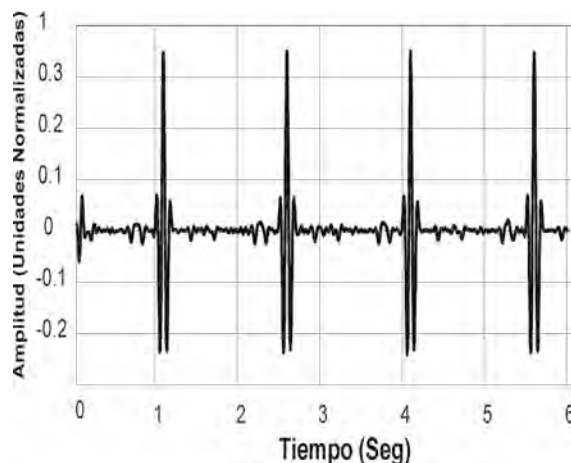


Fig. 4. Señal ECG con realce de la onda R a través de un filtro pasa banda con frecuencias de corte entre 10 y 20 Hz (Autor, 2014).

El resultado contenido en la figura 4 permite observar una señal ECG en una escala de amplitud con valores

normalizados. En esta nueva versión se tiene una señal ECG con una destacada onda R y las demás ondas del complejo cardiaco han perdido valor de amplitud.

Como siguiente paso se tiene la aplicación del proceso de umbralización, cuyo resultado se puede observar en la figura 5.

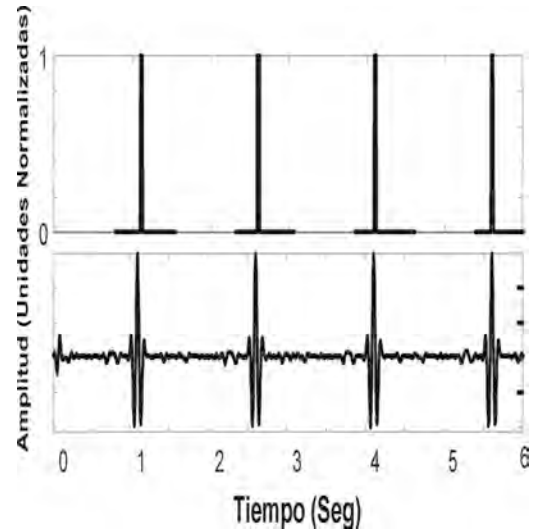


Fig. 5. Señal ECG umbralizada. Se obtiene una señal binaria que toma el valor de 1 en las muestras donde existe una onda R y valor de cero en las demás (Autor, 2014).

El proceso de umbralización permite obtener un arreglo de datos que facilita la ubicación de las ondas R que aparecen en la señal ECG adquirida. Se pone una marca (valor=1) en las muestras donde existe la ocurrencia de una onda R.

Con el arreglo de datos binario se procede a obtener la señal de ritmo cardiaco que contiene los diferentes t_{RR} calculados a partir del conteo de muestras entre cada onda R. El resultado es mostrado en la interfaz gráfica como se puede ver en la figura 6.

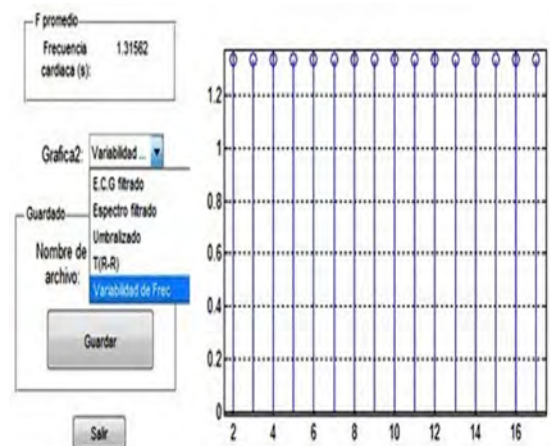


Fig. 6. Interfaz gráfica con los resultados de visualización de tiempos RR calculados a partir de una señal ECG tomada de un simulador de paciente (Autor, 2014).

IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Dados los resultados se puede afirmar que los métodos e instrumentos utilizados durante el desarrollo de las pruebas realizadas son lo suficientemente precisos para llevar a cabo la tarea que se pretende realizar, es decir, la medición eficaz de la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC). Aunque fue un buen resultado, si se mejoran los métodos y algoritmos de filtrado, se llegará a un mejor nivel de funcionamiento y se mejorará la precisión del sistema.

V. CONCLUSIONES

Esta interfaz gráfica pudo integrar tres dispositivos un sistema de acondicionamiento de señales, un sistema de digitalización y un computador personal. Esto permite la automatización del proceso de extracción de mediciones de la señal electrocardiográfica y minimizar el error que es introducido por el factor humano.

Los datos que son recolectados por la interfaz gráfica son de gran de utilidad en el análisis del desempeño de los sistemas fisiológicos del ser humano.

El desarrollo de este tipo de herramientas también crea nuevos espacios de aplicación de las competencias de la ingeniería electrónica en diferentes campos como la medicina. Permitiendo la generación de escenarios interdisciplinarios.

RECONOCIMIENTOS

Los resultados obtenidos en este trabajo fueron logrados dentro del proyecto de investigación “SISTEMA DIGITAL PARA LA CUANTIFICACIÓN EFICAZ DE LA FRECUENCIA CARDIACA INSTANTÁNEA”. Este proyecto cuenta con fondos patrocinados por el programa Jóvenes Investigadores de la Universidad Santo Tomás, Colombia. Los fondos fueron aprobados en la convocatoria FODEIN 2014, capítulo 4, semilleros de investigación.

REFERENCIAS

- [1] Koeppen, B.; Stanton, B. "Fisiología". Elsevier Mosby, España 2009, 833:pp370- 375.
- [2] Yongting Li; Xiaoyan Chen, "A robust R-Wave detection algorithm in ECG signal," *Transportation, Mechanical, and Electrical Engineering (TMEE), 2011 International Conference on*, vol., no., pp.2433,2436, 16-18 Dec. 2011.
- [3] García-González, M.A.; Ramos-Castro, J.; Fernandez-Chimeno, M., "The effect of electrocardiographic lead choice on RR time series," *Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC, 2011 Annual International Conference of the IEEE*, vol., no., pp.1933,1936, Aug. 30 2011-Sept. 3 2011.
- [4] Rowlands, D.; James, D.A.; Vanegas, C., "Design and fabrication of an ECG amplifier on silicon using standard CMOS process," *Sensors, 2003. Proceedings of IEEE*, vol.2, no., pp.1348,1352 Vol.2, 22-24 Oct. 2003.
- [5] Jeyarani, A.D.; Singh, T.J., "Analysis of noise reduction techniques on QRS ECG waveform - by applying different filters," *Recent Advances in Space Technology Services and Climate Change (RSTSCC), 2010*, vol., no., pp.149,152, 13-15 Nov. 2010.
- [6] Bo-Yu Shiu; Shuo-Wei Wang; Yuan-Sun Chu; Tsung-Heng Tsai, "Low-power low-noise ECG acquisition system with dsp for heart disease identification," *Biomedical Circuits and Systems Conference (BioCAS), 2013 IEEE*, vol., no., pp.21,24, Oct. 31 2013-Nov. 2 2013.
- [7] Kania, M.; Fereniec, M.; Maniewski, R., "Evaluation of T-wave morphology dispersion in high-resolution ECG for risk stratification of sudden cardiac death," *Computing in Cardiology (CinC), 2012*, vol., no., pp.785,788, 9-12 Sept. 2012.
- [8] Neycheva, T.; Stoyanov, T.; Abacherli, R.; Christov, I., "High resolution 16-channel ECG tester simulator for online digital-to-analogue conversion of data from PC," *Computing in Cardiology Conference (CinC), 2013*, vol., no., pp.457,460, 22-25 Sept. 2013.
- [9] Hongli Yang; Jihong Chai, "A Portable Wireless ECG Monitor Based on MSP430FG439," *Intelligent Computation and Bio-Medical Instrumentation (ICBBI), 2011 International Conference on*, vol., no., pp.148,151, 14-17 Dec. 2011.
- [10] Lihuang She; Jinshuan Zhao; Shi Zhang; Guohua Wang; Gang Wang, "A novel portable one lead ECG monitor with low-cost and long-time recording based on NUC501," *Control and Decision Conference (CCDC), 2010 Chinese*, vol., no., pp.276,279, 26-28 May 2010.
- [11] Salto-Mendoza, J.; Reyna-Carranza, M.A.; Lopez-Avitia, R.; Bravo-Zanoguera, M.E.; Arriola-Zorrilla, H. G., "Graphical interface with USB port for analysis of high resolution ECG," *Health Care Exchange (PAHCE), 2010 Pan American*, vol., no., pp.9,9, 15-19 March 2010.
- [12] Naiyanetr, P.; Charoentong, P.; Charoensuk, W., "ECG system with heart rate variability application," *TENCON 2004. 2004 IEEE Region 10 Conference*, vol.B, no., pp.435,437 Vol. 2, 21-24 Nov. 2004.
- [13] Weifeng Liu; Zhiling Dai; Xinfen Hu; Xiaoying Tang, "Design of User Interface in Portable Health Monitoring System," *Bioinformatics and Biomedical Engineering*, 2009. ICBBE 2009. 3rd International Conference on, vol., no., pp.1,3, 11-13 June 2009.
- [14] Lakhwani, R.; Singh, A.; Ayub, S.; Saini, J.P., "Comparison of Different Digital Filters for QRS Complex Extraction from Electrocardiogram," *Computational Intelligence and Communication Networks (CICN), 2012 Fourth International Conference on*, vol., no., pp.276,282, 3-5 Nov. 2012.
- [15] Gonzalez, B., "Cálculo del umbral para detección de la onda R del Complejo Cardíaco". *Revista Tecno Lógicas ITM*. Vol. 17, no.32, pp 47 – 55. Enero 2014.
- [16] Naiyanetr, P.; Charoentong, P.; Charoensuk, W., "ECG system with heart rate variability application," *TENCON 2004. 2004 IEEE Region 10 Conference*, vol.B, no., pp.435,437 Vol. 2, 21-24 Nov. 2004.
- [17] Fluke. Simulador de paciente ProSim2. In <http://www.flukebiomedical.com/biomedical/usen/home/>. Consultada en abril de 2014.
- [18] Olimex ; "Shiel- EKG- EMG- Open Source Hardwae Board". In <http://www.olimex.com>. Consultado en Feb 12 de 2014.
- [19] Olimex ; "Olimexino STM 32". In <http://www.olimex.com>. Consultado en Feb 12 de 2014.

Implementación de un Sistema DAS (Distributed Antenna System) Pasivo

Edgar Fernando Romero Silva

Integrante Semillero de Investigación en
Telecomunicaciones y Electrónica – SITEL
Grupo de Investigaciones en Electrónica y
Telecomunicaciones – GRITEL
Programa de Ingeniería Electrónica, Fundación
Universidad Autónoma de Colombia
Bogotá D. C, Colombia
edgar.romero@fuac.edu.co

David Alejandro Ruiz Amortegui

Integrante Semillero de Investigación en
Telecomunicaciones y Electrónica – SITEL
Grupo de Investigaciones en Electrónica y
Telecomunicaciones – GRITEL
Programa de Ingeniería Electrónica, Fundación
Universidad Autónoma de Colombia
Bogotá D. C, Colombia
david.ruiz@fuac.edu.co

Javier Enrique Arévalo Peña

Coordinador Semillero de Investigación en
Telecomunicaciones y Electrónica – SITEL
Grupo de Investigaciones en
Electrónica y Telecomunicaciones – GRITEL
Programa de Ingeniería Electrónica, Fundación
Universidad Autónoma de Colombia
Bogotá D. C, Colombia
javier.arevalo@fuac.edu.co, jarevalop@gmail.com

Abstract— Las exigencias que hoy en día presentan los clientes de telefonía móvil implican una responsabilidad del operador con la calidad del servicio y por consiguiente con su estabilidad económica. Grandes compañías requieren de un servicio óptimo y estable que garantice la posibilidad de realizar sus llamadas sin inconvenientes como pérdida de señal, comunicación entre cortada o caída de información y de tráfico de datos. En el presente artículo se muestra que a través del empleo de sistemas DAS (Distributed Antenna Systems) en interiores de edificios, túneles, centros comerciales y parqueaderos, entre otros, se mejora la calidad del servicio de la comunicación móvil con una solución de equipos y antenas pequeñas.

Keywords—Sistema DAS; tecnología UMTS; medidas de RF.

I. INTRODUCCION

Todo el proceso comienza desde la inconformidad presentada del cliente respecto al mal servicio del operador en su recinto de trabajo, debido al contrato de planes de minutos necesarios para las labores respectivas de cada uno de los usuarios. La terminación de contratos y servicios, traería para el operador, pérdidas económicas, desprestigio y desventaja frente a otros operadores que se mantienen en el mercado. Un operador como Comcel – Claro buscara convencer al cliente de desistir de la cancelación del servicio ofreciéndole una solución interna de antenas pequeñas con el fin de mejorar la calidad de señal y tráfico de datos.

Para comenzar con el estudio de RF requerido, es necesario realizar una visita al sitio, en esta se deberá tener en cuenta

ciertos aspectos que facilitaran la realización del diseño de ingeniería como: 1) Verificar la arquitectura del sitio. Esto con el fin de analizar los diferentes materiales que se puedan interponer en la propagación de la señal generando pérdidas indeseables; 2) definir la cantidad de usuarios necesarios para analizar aspectos de tráfico o capacidad de llamadas simultáneas; 3) analizar las posibles rutas o lugares por donde se pueda tender el cableado como escalerillas o canaletas existentes; 4) verificar el lugar donde quedará instalada la micro BTS con cada uno de sus módulos ya sea en rack o apilados sobre rieles omega.

La implementación del sistema DAS deberá garantizar el mejoramiento del servicio de telefonía móvil en cuanto a cobertura de señal, tráfico de llamadas y datos. En este artículo se describen unas condiciones iniciales de implementación, luego se muestran resultados de pruebas iniciales y finales de la implementación, el análisis de la implementación de un sistema DAS y finalmente se presentan las conclusiones.

II. CONSIDERACIONES DE IMPLEMENTACIÓN

Para observar los aspectos de implementación de un sistema DAS se deberá realizar diferentes pruebas de diseño preliminar o un Site Survey sobre los planos del sitio, esto con el fin de tener un dimensionamiento más preciso sobre las posibles ubicaciones de las antenas, identificación de materiales, y mediciones de Radio Frecuencia (RF) que se realizan con instrumentos profesionales Walk Test, midiendo parámetros como RSCP (Received Signal Code Power) (dBm), Ec/Io (Carrier to Interference Ratio) (dB), BLER

(Block Error Rate) y PSC (Primary Synchronisation Code), que se utilizan en la tecnología UMTS (Universal Mobile Telecommunications Systems) [1]. El Walk Test inicial será de vital importancia para analizar los parámetros expuestos anteriormente con el fin de analizar ítems como la potencia inicial del sitio dado que ayudará bastante en el diseño y simulación de ingeniería [1].

A. Prueba RSCP

Como primera medida se realizará una prueba RSCP que denota la potencia medida por un receptor en un canal de comunicación física particular. Se utiliza como una indicación de la intensidad de la señal, como un criterio de traspaso, en el downlink del control de potencia, y para calcular la pérdida en el trayecto. En los sistemas CDMA, un canal físico corresponde a un determinado código de ensanchamiento, de ahí el nombre RSRP [2].

Mientras el RSCP se puede definir generalmente para cualquier sistema CDMA, se utiliza más específicamente en UMTS. También, mientras que RSCP se puede medir, en principio, en el downlink, así como en el uplink, sólo se define para el enlace descendente y por lo tanto presume que ser medido por el equipo de usuario (UE) e informa al Nodo B. Al hablar de RSCP es necesario hablar de calidad de cobertura ya que esta prueba permite determinar si la zona analizada posee buena calidad de cobertura [2].

B. Prueba Ec/Io

Al tener claro la calidad de cobertura observada en la prueba de RSCP se realiza la prueba de E_c/I_o , en la que en realidad se refiere a $E_c/(I_o + n)$. Lo que pasa es que a efectos prácticos, sólo se tiene E_c/I_o , debido a que la interferencia es mucho más fuerte y el ruido puede ser despreciado. De lo contrario la interferencia CDMA es como un ruido, entonces ambos pueden ser considerados lo mismo [2].

El nivel de señal medido corresponde con el total de potencia de RF, es decir, todas las celdas que el móvil tiene. Así que se tiene otra medida rápida y sencilla que permite evaluar la contribución de cada sector por separado. Se utiliza para medir la señal del canal piloto de cada sector para evaluar la calidad; si el nivel del piloto es bueno, entonces también son buenos niveles de los canales de tráfico de nuestro llamado en este sector. Del mismo modo, si el canal piloto se degrada, por lo que los otros canales (incluido el tráfico) se, y lo mejor es evitar el uso de los canales de tráfico en este sector [2], [3].

El E_c/I_o varía en función de varios factores, tales como la carga de tráfico, de RF y el escenario. Por supuesto, el E_c/I_o es la composición final de todos estos factores al mismo tiempo (compuesto E_c/I_o), pero es más fácil de entender hablando cada uno por separado. El valor de E_c/I_o fluctúa (varía), así como cualquier señal inalámbrica. Si el valor comienza a ser demasiado baja, se comienza a tener llamadas perdidas o no se puede conectar [3].

En términos prácticos, los valores de E_c/I_o para una buena evaluación de la red pueden encontrarse entre 0 dB y - 20 dB. Un compuesto $E_c/I_o = -10$ dB es un valor razonable considerar como bueno. Luego de esto es necesario realizar una la medición de la tasa de error en la extracción de tramas

de datos, en UMTS los requisitos de las pruebas de rendimiento o prueba de BLER, se mide después de canal de des entrelazado y decodificación mediante la evaluación de la verificación por redundancia cíclica (CRC) en cada bloque de transporte [3].

C. Prueba BLER

La tasa de error de bloque (BLER) es un análisis de los errores de transmisión sobre la interfaz de radio. Se basa en el análisis de cíclico comprobación de redundancia (CRC), los resultados de control de enlace de radio (RLC), bloques de transporte y calculados mediante la definición de la relación entre el número de bloques de transporte de RLC con indicación de error CRC y el número total de bloques de transporte de transmisión [4], [5].

La BLER se mide por separado en la dirección de enlace ascendente y de enlace descendente, que es obligatoria, ya que en UTRAN dúplex por división de frecuencia (FDD), el modo de enlace ascendente y de enlace descendente se transmiten los datos utilizando diferentes bandas de frecuencia. No hay informe de medición en la UTRAN que contiene los valores de enlace ascendente BLER, aunque la BLER es un criterio importante para el controlador de red de radio (RNC) para hacer decisiones de traspaso basado en la calidad de transmisión de enlace ascendente. Debido al hecho de que la BLER sólo se calcula y se utiliza en el RNC internamente también sólo está disponible dentro de software de RNC y como regla no se muestra en las estadísticas de medición del desempeño. Por lo tanto, es un ejemplo típico para la medición del rendimiento basado en el análisis de protocolo. La BLER es especialmente un parámetro muy importante para medir la calidad percibida por el usuario de los servicios mediante el modo transparente RLC.

La BLER también se puede utilizar para estimar la calidad de transmisión de enlace ascendente de una llamada. En este caso no es necesario diferenciar entre canales de transporte que transportan la información del plano de usuario y plano de control. Simplemente contar bloques de transporte y sus indicadores CRC según la fórmula estándar, no importa en que un solo canal bloques de transporte de transporte pertenecen. Comparado con uplink bloque tasa descendente (DL) BLER error no tiene que ser calculado por cualquier equipo de medición del desempeño basado en contadores de bloque de transporte. El trabajo para calcular y reportar DL BLER se asigna al UE utilizando el mensaje de control de medida de RRC. La medición se puede informar periódicamente o si se supera un umbral predefinido de errores de CRC en los canales de transporte de enlace descendente [5], [6].

D. Prueba PSC

Para finalizar las mediciones se realizan pruebas de PSC, que son utilizadas para distinguir celdas en el enlace de bajada o usuarios en el enlace de subida. En una red usualmente un móvil está rodeado de varias celdas, si este requiere del servicio del sistema, primero debe diferenciar señales provenientes de diversas celdas. En los sistemas WCDMA la mayoría de las celdas utiliza la misma frecuencia, por lo que el teléfono no puede obtener ningún tipo de información

mediante la frecuencia, aquí es donde los PSC son usados, diferentes celdas tienen asignados diferentes PSC [6], [7].

III. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS PREVIAS Y FINALES DE LA IMPLEMENTACIÓN

A continuación se expone un ejemplo real y análisis de un sitio para observar los aspectos de mejora al implementar un sistema DAS. Se presentan graficas de los parámetros antes y después de la implementación de cada uno de los parámetros de la Fig. 1 a la Fig. 8.

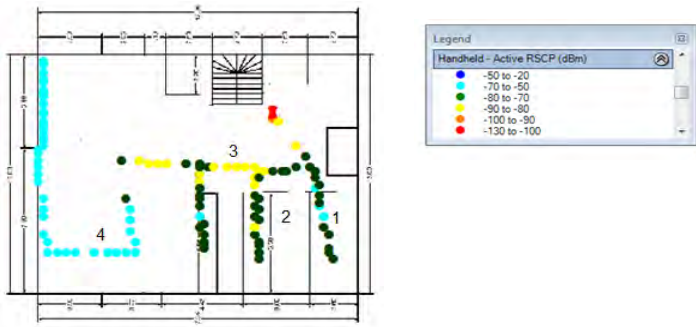


Fig. 1. Walk Test Inicial RSCP.

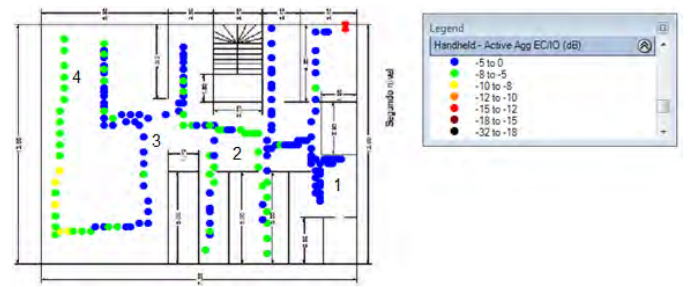


Fig. 4. Walk Test Final Ec/Io.



Fig. 5. Walk Test Inicial BLER.

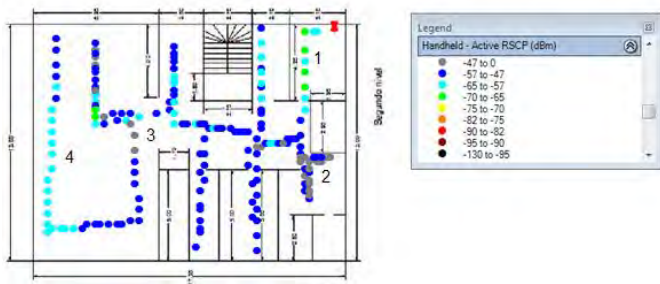


Fig. 2. Walk Test Final RSCP.

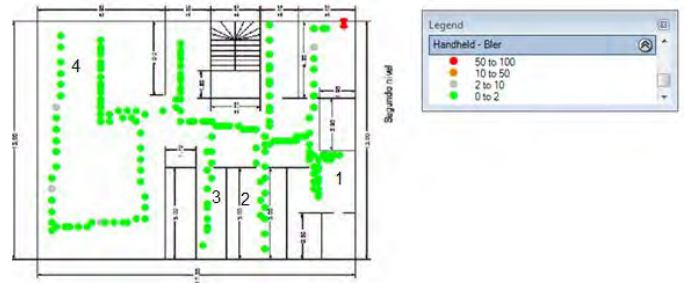


Fig. 6. Walk Test Final BLER.

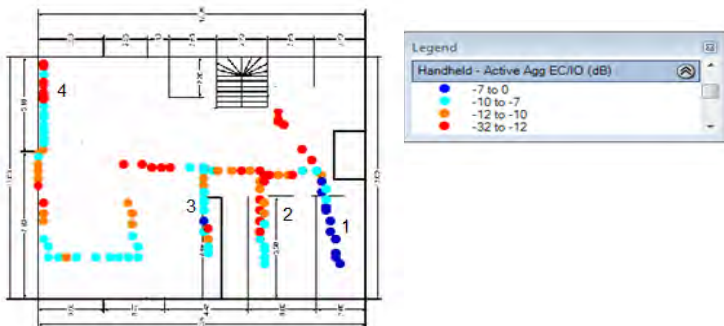


Fig. 3. Walk Test Inicial Ec/Io.

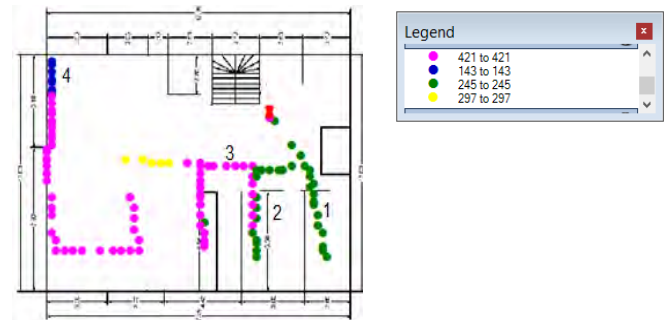


Fig. 7. Walk Test Inicial PSC.

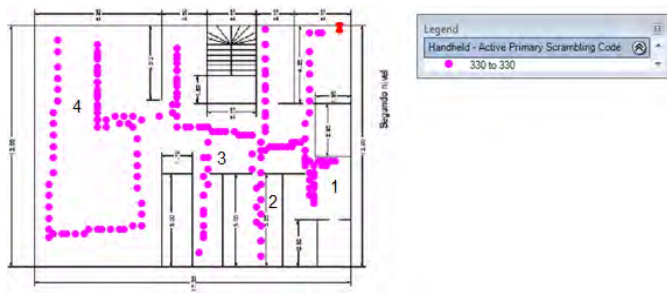


Fig. 8. Walk Test Final PSC.

Según los resultados obtenidos y expuestos en la Tabla 1 se observa que los niveles de potencia se encuentran muy deficientes con respecto a los niveles ideales, el nivel de ruido es alto y existe la presencia de muchos scrambling code celdas adyacentes al sitio.

TABLA I. RESULTADOS INICIALES WALK TEST.

Walk Test Inicial				
Parámetro	RSCP (dBm)	Ec/Io (dB)	BLER	PSC
Posición 1	-80	-7	10	143
Posición 2	-70	-12	10	421
Posición 3	-90	-10	2	421
Posición 4	-70	-32	2	143

Una vez terminada la instalación se comisionará el sitio y se integrará para ponerlo en servicio. Teniendo el sitio en servicio se realiza un Walk Test con el fin de verificar como los parámetros de potencia, señal contra ruido, pérdidas y dominancia de la celda integrada. Si por alguna razón se cuenta con niveles muy altos o muy bajos se deberá quitar atenuadores instalados al inicio de la instalación y finalmente terminada la optimización se realiza un Walk Test final para verificar que estos niveles sean lo ideales. La Tabla 2, muestra los resultados del Walk Test Final.

TABLA I. RESULTADOS FINALES WALK TEST.

Walk Test Final				
Parámetro	RSCP (dBm)	Ec/Io (dB)	BLER	PSC
Posición 1	-65	-5	0	330
Posición 2	-47	-8	0	330
Posición 3	-57	-5	0	330
Posición 4	-65	-8	0	330

Comparando los niveles de RSCP se puede visualizar en las tablas que hay una mejora de un 90%. Teniendo en cuenta que en el Walk Test final hubo recepción de señal con potencias de hasta -65dBm, se considera relevante debido a que fue en

pequeñas zonas y la potencia se sigue considerando ideal siempre y cuando no supere los -70dBm.

La señal contra ruido como se mencionó anteriormente -10dB es un valor razonable y es considerado como bueno, pues existen muchas señales en el medio que pueden intervenir con la señal del servicio de telefonía móvil, como las señales Wifi. Verificando el Walk Test final encontramos el Ec/Io en un promedio de 5dB a 8dB lo cual es un valor bastante ideal en el servicio.

El BLER como se explicó anteriormente se considera como la tasa de error resultante de la técnica de CRC (Código de redundancia cíclica) y como se presenta en los valores tomados en el Walk Test final existe una tasa de 0 a 2 la cual indica un nivel de perdida bastante bajo y de buen funcionamiento del servicio.

El scrambling code se considera como el canal de tráfico de la celda asignada al sitio y en la prueba de Walk Test se verificara la dominancia de este, evitando así la intervención de señales adyacentes o externas al interior del sitio. En este caso el Scrambling Code asignado es el 330 y se puede verificar como dominante en los Walk Test final.

IV. ANÁLISIS DE IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DAS

El sistema distribuido de antenas pasivo es el sistema más común instalado y consta de cables coaxiales de alimentación y componentes, tales como: antenas, tappers, splitters, híbridos, couplers, cargas y atenuadores, entre otros. Las antenas utilizadas en implementaciones In-Building son de tipo omnidireccionales o/y direccionales, estas con características de ser diseñadas a multibanda de frecuencias, con la finalidad de trabajar a varios rangos de frecuencia como los que maneja la tecnología GSM, UMTS y la presente tecnología LTE [8].

El patrón de radiación de la antena omnidireccional es de 360°, implementada en lugares centrales de gran congestión de usuarios, donde logre abarcar pequeños patrones de cobertura y no se salga del lugar definido.

Las antenas direccionales, denominadas comúnmente en el mercado como Panel, presentan un lóbulo de apertura horizontal de 70° y vertical de 60° en su patrón de radiación. Este tipo de antena se instalará en lugares donde hay que cubrir grandes áreas como por ejemplo: pasillos o corredores de largo alcance [9]. Se utilizaran cargas como disipadores de calor en puertos donde no es necesario sacar líneas de transmisión. De igual manera se instalaran atenuadores para disminuir la potencia de la señal según lo requiera el diseño de la implementación.

Los Splitters son dispositivos que dividen la señal de teléfono en varias señales, cada una de ellas en una frecuencia distinta. Este dispositivo se utiliza frecuentemente en la instalación de líneas ADSL (Línea de abonado digital asimétrica), donde es necesario que la señal de datos y de voz convivan en la misma línea telefónica; esto se consigue dividiendo las señales de entrada de baja frecuencia para la transmisión voz y de las de alta frecuencia para datos, permitiendo un uso simultaneo de ambos servicios. Comúnmente se denomina al Splitter como dispositivo de

filtrado centralizado porque una vez instalado, abarca toda la instalación telefónica de nuestro hogar o empresa; de esta forma, tendremos ADSL en cualquier punto donde una toma telefónica [9], [10].

El Tapper al igual que el Splitter tendrá la misma función de transmitir la señal de voz y datos por una misma línea, con la única diferencia de que sus salidas estarán des balanceadas y podrán ser utilizadas dependiendo el diseño de ingeniería. El Splitter Híbrido se utilizara en el caso de que se requiera implementar dos o tres tecnologías o portadoras de una misma tecnología, es decir, si se requiere hacer una implementación de un sistema DAS de la tecnología GSM, UMTS y LTE será necesario combinar las señales de las tres tecnologías con el fin de ser transmitidas por una sola línea de transmisión, ser distribuidas y brindar el servicio de cada una de estas por cada antena instalada en el sitio [10].

El estudio que implementa un ingeniero de RF abarca todas las variables que puedan estar entre el usuario y el servicio suministrado por el sistema DAS. Evaluar aspectos como el tráfico que se efectuó a futuro si por algún motivo se llegase a incrementar el nivel de usuarios, tener estudios previos a los sitios outdoor adyacentes que puedan inferir en la dominancia de cobertura del nuevo sistema y las potencias que se encuentren en un nivel apropiado no perjudicial para la salud de los abonados. Al momento de realizar un Survey (visita inicial de ingeniería) habrá que verificar de igual manera la factibilidad de los equipos a instalar y antenas donde realmente se necesiten, teniendo en cuenta la morfología del sitio y materiales que se interpongan en la propagación de la señal.

CONCLUSIONES

El sistema distribuido de antenas DAS mejora los niveles de señal y problemas de tráfico en sitios como túneles, edificios, estadios o lugares donde la capacidad de cobertura de señal es escasa o el número de usuarios es demasiado alto y genera problemas de tráfico. La solución DAS beneficia clientes de compañías operadoras importantes en el mundo de tal forma que disminuyan las quejas por mal servicio.

El cálculo de potencias previo es de suma importancia ya que en este se verifica la factibilidad de la futura realización del proyecto. El principal objetivo de estos cálculos es lograr un equilibrio en las potencias de todas las antenas del sistema, para que la solución sea homogénea en todos los niveles del lugar.

En el proceso de instalación de la solución se debe tener la mayor precisión al instalar las antenas y equipos que se proyectan en la primera visita para evitar problemas con el

cliente, o desfase en algunos cálculos de ingeniería. Pues la alteración de infraestructura como paredes techos falsos etc. Son temas delicados en la instalación si el cliente no ha permitido su modificación. Así mismo, al momento de implementar una solución DAS con elementos pasivos, se debe tener en cuenta mucho la funcionalidad de cada uno, con el fin de manejar adecuadamente las ganancias y pérdidas.

La optimización será la última actividad que se ejecutara en el sitio para garantizar la estabilidad de potencia de cada una de las antenas, la dominancia de cobertura y la calidad del servicio suministrado finalmente por el sistema, teniendo en cuenta los niveles de potencias adecuados sin alterar la salud de los abonados.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan un especial agradecimiento a la compañía de telefonía celular Leadcom de Colombia SAS, que brindó la disposición y herramientas necesarias para hacer posible este trabajo. Así mismo, agradecen a la Dirección del Programa de Ingeniería Electrónica de la Fundación Universidad Autónoma por su interés en apoyar proyectos en el área de telecomunicaciones y a los diferentes semilleros de investigación del programa académico.

REFERENCIAS

- [1] S. A. Ditzel, "Estudio y análisis del comportamiento de RF en espacios edificados, In – Building". Valdivia: Universidad Austral de Chile Facultad de Ciencias de la Ingeniería Escuela de Electricidad y Electrónica, 2012.
- [2] T. Ojanpera y R. Prasad, "WCDMA: Towards IP Mobility and Mobile Internet". Boston: Artech House Publishers, 2008.
- [3] L. Song y J. Shen, "Evolved Cellular Network Planning and Optimization for UMTS and LTE". USA: CRS Press, 2011.
- [4] C. Chevallier, C. Brunner, A. Garavaglia, K. P. Murray y K. R. Baker, "WCDMA (UMTS) Deployment Handbook: Planning and Optimization Aspects". Chichester: John Wiley & Sons, 2006.
- [5] H. Holma y A. Toskala, "WCDMA for UMTS: HSPA Evolution and LTE". Chichester: John Wiley & Sons, 2010.
- [6] F. Muhammad, "An Introduction to Umts Technology: Testing, Specifications and Standard Bodies for Engineers and Managers". Florida: BrownWalker Press, 2008.
- [7] R. Tanner y J. Woodard, "WCDMA: Requirements and Practical Design". Chichester: John Wiley & Sons, 2005.
- [8] N. Novoa, A. Rojas y J. F. Velásquez, "Telecomunicaciones & enrutamiento: (teoría y práctica)". Bogotá: Editorial Universidad Libre de Colombia, 2009.
- [9] J. D. Kraus, R. J. Marhefka y A. S. Khan, "Antennas and Wave Propagation", Mexico: Ed. McGraw Hill, 2006.
- [10] J. M. Huidobro, "Comunicaciones Móviles: Sistemas GSM, UMTS y LTE". México: Editorial Alfaomega Ra-Ma, 2013.

SISTEMA DE DETECCIÓN SÍSMICA CON SIMULACIÓN TRIDIMENSIONAL PARA ALERTAR A LA COMUNIDAD DE LA UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS SEDE CENTRO DE LA CIUDAD DE TUNJA

Rojas Lina, López Jonathan.
linafermandarq@hotmail.com, guti-tuto@hotmail.com
Universidad Santo Tomas

Abstract—the electronic and computational development have helped to realize and implement different techniques to analyze signals that are apply to processes in vibration signals. As we advanced, the high prices that detection of movement systems have take the investigation of new strategies to obtain this kind of data and how could this be more understandable the catastrophes to the world by many audiovisual and didactic ways.

With the help of systems based on virtual worlds and the acquisition of data, it is possible to open a pathway for the construction of a tool very helpful for the everyday, controlled wireless.

This investigation is made in order to find and implement solutions to problems that happen in the medium like natural catastrophies. The principal objective is implement an seismic alarm that recibes a pulse or signal by an earth movement witch will be identified and recibed to the virtual world were we can visualize the specific place where this movement is damaging in the university.

Index terms— Alarm, (xbee) wireless, earthquakes, Blender, pyhton, .

Resumen—El desarrollo de la electrónica y la computación han ayudado a realizar e implementar diferentes tipos de técnicas de análisis de señales con aplicación a los diferentes procesamiento de señales vibratorias. Con el pasar del tiempo y con los altos costos que se tienen de sistemas de detección de movimiento han llevado a la investigación de nuevas estrategias para obtener estos datos y cómo por medio de ayudas audiovisuales y didácticas puede ser más entendible este tipo de catástrofes para las personas del mundo actual. Con la ayuda de sistemas basados en mundos virtuales y adquisición de datos se abre paso a la construcción de una herramienta muy útil en el diario vivir, controlado de forma inalámbrica.

Este proyecto de investigación es realizado con el fin de buscar e implementar soluciones a problemas que se presentan

en el medio como lo son las catástrofes naturales, el objetivo principales implementar una alarma sísmica que al recibir un pulso o una señal por medio del movimiento en la tierra la cual es identificada y recibida por un mundo virtual en el cual se visualiza el lugar de la universidad que está siendo afectando por el movimiento.

Índice de Términos— Alarma, (XBee) inalámbrica, sismos, Blender, Python.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad es necesario mantener un constante monitoreo y análisis de las diferentes vibraciones producidas por la tierra con el fin de establecer y detectar los diferentes casos de accidentes y catástrofes presentadas, para así encontrar las falencias de estructuras que puedan verse afectadas por dichos movimientos.

Durante el proceso de investigación se observa que es necesario analizar, diseñar y crear una herramienta con la cual se pueda medir y observar los cambios que tiene la tierra por medio de sus fenómenos naturales; en este caso los sismos y que mejor que poder ver en un entorno tridimensional los cambios que a diario se observan en la tierra, detectando movimientos de vibración por medio de un péndulo, los cuales son detectados para poder ser enviados al computador por medio de módulos inalámbricos y desde allí poder visualizar estos movimientos, así como el comportamiento que puede tomar una infraestructura.

El mundo virtual se diseñara con herramientas de construcción tridimensionales las cuales están a nuestra disposición para poder realizar un entorno lo más parecido a la realidad y así cumplir con el propósito que se ha planteado para tener lectura de los datos obtenidos gracias al prototipo diseñado el cual muestra los daños que pueden ocasionar estos fenómenos naturales.

Para finalizar se hará una conexión inalámbrica en la cual los datos obtenidos del circuito se enlazan con el diseño del mundo virtual y así mismo con el sistema de adquisición de datos para obtener los resultados esperados.

II. JUSTIFICACION

Con el transcurso del tiempo al ocurrir los diferentes tipos de catástrofes naturales en el mundo se observa que es necesario preguntar el cómo prevenir o alertar a las personas de que va a suceder algún desastre natural y es necesario plantear soluciones accesibles y entendibles para la sociedad, en las que interactúen medios físicos y medios virtuales para mayor precisión y comprensión, es necesario que con el conocimiento y ayuda de los diferentes software y modelos de circuito analizados, investigados y entendidos se planteen soluciones favorables para la sociedad, por medio de las cuales las personas obtengan el beneficio de aprender y entender la causa de un derrumbe, un desbordamiento de agua o cualquier otro tipo de accidente ocasionado por movimientos telúricos, esto visto desde diferentes tipos de estructuras.

III. FUNDAMENTOS TEORICOS

Cada vez va creciendo la forma de examinar los parámetros sísmicos dentro de la representación del gran tamaño de las señales sísmicas y los daños que puedan ocasionar.

Teniendo en cuenta la complejidad de la naturaleza se ve una necesidad mayor de realizar una representación más efectiva. La destrucción de una onda sísmica no puede ser descrita usando simplemente una sola característica del movimiento presentado en la tierra. El nivel del daño estructural causado por un terremoto depende de las características de oscilación. [1]

Un sistema de alerta para terremotos o sismos se desarrolla para proporcionar un tiempo viable desde el momento en que los parámetros vitales de la señal son detectados con un tiempo mínimo, esto desde que comienza el sismo a sacudir la tierra, la intensidad y duración de la agitación. La interacción de los diferentes tipos de movimiento de la tierra y los cambios en las propiedades elásticas de los medios de comunicación geológicos en el trayecto de propagación resultan ser funciones no lineales pero que son importantes analizar estudiar y entender. [2]

Entre los parámetros de la respuesta estructural, la atención se centra en aquellos capaces de reflejar el daño sísmico. Los daños, incluyen los casos de daño estructural, daños arquitectónicos y daños mecánicos, eléctricos, y de plomería (MEP). [3]

A. ¿QUÉ ES LA SISMOLOGÍA?

La sismología es la rama de la geofísica que estudia el fenómeno de los temblores que ocurren en nuestro planeta Tierra. Sus principales objetivos son:

El estudio de la propagación de las ondas sísmicas por el interior de la Tierra a fin de conocer su estructura interna,

El estudio de las causas que dan origen a los temblores y La prevención de daños.

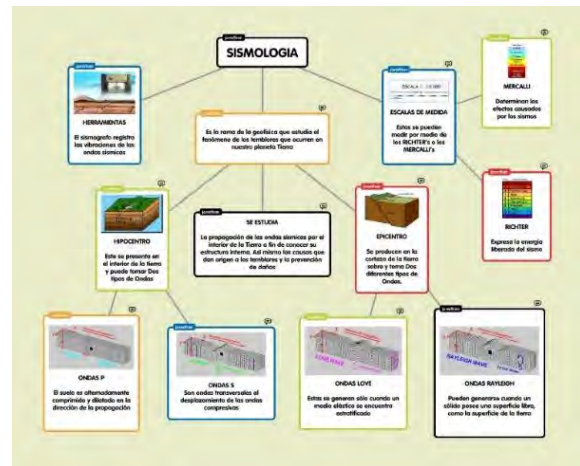


Fig. 1 fundamentos básicos de la sismología

B. ¿POR QUÉ OCURREN LOS TEMBLORES?

La causa de un temblor es la liberación súbita de energía dentro del interior de la Tierra por un reajuste de ésta. Este reajuste se lleva a cabo mediante el movimiento relativo entre placas tectónicas. Las zonas en donde se lleva a cabo este tipo de movimiento se conocen como fallas geológicas (la falla de San Andrés es un ejemplo) y a los temblores producidos se les conoce como sismos tectónicos. No obstante existen otras causas que también producen temblores. Ejemplo de ello son los producidos por el ascenso de magma hacia la superficie de la Tierra. Este tipo de sismos, denominados volcánicos, pueden servir de aviso de una posible erupción volcánica. [4]

C. MÓDULOS XBEE



Fig. 2 comunicaciones por medio de módulos XBEE

Los módulos XBee y XBee-PRO (fabricados por Maxstream), son los primeros productos resistentes de uso industrial con homologación ZigBee, se basan en una plataforma compatible con ZigBee, y cuentan con un rango y una fiabilidad líderes en el sector. Conseguir la homologación como producto ZigBee es todo un logro y sirve para que los consumidores, las empresas y los usuarios de aplicaciones industriales puedan comprar con toda tranquilidad productos homologados ZigBee porque están garantizados para que

funcionen perfectamente en red.

Los módulos XBee son módulos de radiofrecuencia que trabajan en la banda de 2.4 GHz con protocolo de comunicación 802.15.4 fabricados por Maxstream. Son utilizados en automatización de casas, sistemas de seguridad, monitoreo de sistemas remotos, aparatos domésticos, alarmas contra incendio, plantas tratadoras de agua, entre otros.

Los módulos tienen 6 convertidores análogo-digital y 8 entradas digitales además de Rx y Tx. Trabajan a 2.4 GHz y generan una red propia a la que puedes conectarte o desconectarte. Entre otras características a tener en cuenta hay que decir que son módulos microprocesados con lo cual tienes solucionados los problemas de fallo de trama, ruidos, etc. Los módulos, se comunican con un dispositivo RS232 a niveles TTL con lo cual la comunicación necesita un adaptador intermedio en el caso de un PC, pero pueden conectarse directamente a una placa de desarrollo como es Arduino. [5]

D. PLATAFORMA DE DESARROLLO 3D

Blender 3D es un software libre (Gratuito) de 3D liberado bajo la licencia GNU General Public Licence desarrollado por muchas personas que contribuyen a su crecimiento bajo el mando del Blender Foundation [6]

Entre sus características están:

- Modelado
- Esculpido
- Texturizado
- Texturizado UV
- Pintar UV sobre los modelos
- Materiales

Una gran cantidad de Addons para aumentar el potencial del programa y más...

La mayor ventaja de Blender es que es muy completo siendo gratuito, siendo una aplicación que puede reemplazar programas como lighthware, 3D Max, Cinema 4D y otros.

Es apto para todo tipo de diseñadores, arquitectos, artistas, expertos del VFX y personas que lo usan solo por hobby. [7]

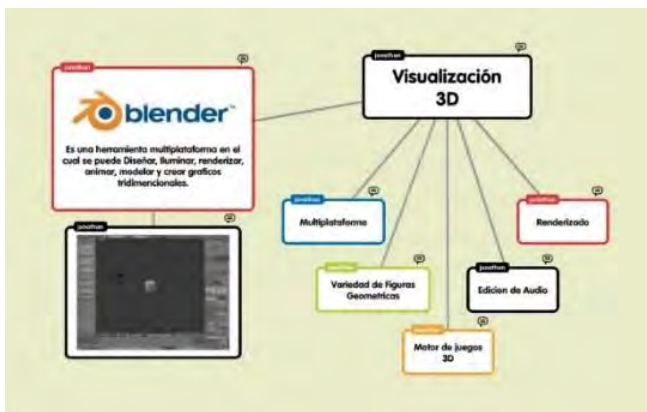


Fig. 3 software de desarrollo virtual

IV. METODOLOGIA

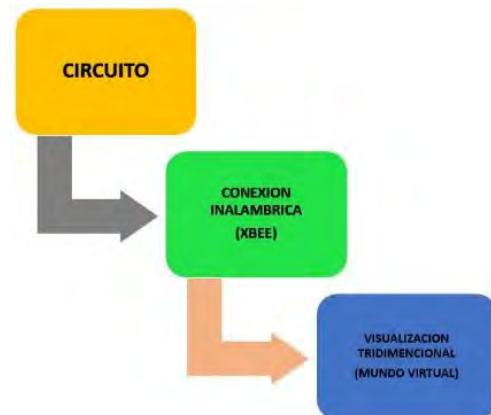


Fig. 4 Diagrama general proyecto

A. ETAPA MUNDO VIRTUAL

Para el mundo virtual se utilizara una técnica que sea ágil, eficiente y que cumpla cada uno de los requisitos propuestos para el proyecto, se maneja la metodología VRML (Lenguaje de Modelado de Realidad Virtual) y la metodología SCRUM las cuales son las que harán posible que el mundo virtual logre las expectativas planteadas y supere las limitaciones que se presenten.

Para el desarrollo de este mundo virtual se hará una adecuada investigación acerca de las características y especificaciones a tener en cuenta durante la construcción de vivienda y desarrollo urbano con el fin de presentar un producto con las dimensiones más acercadas a la realidad.



Fig. 5 Diagrama metodología de desarrollo mundo virtual usando VRML (Lenguaje de Modelado de Realidad Virtual) y SCRUM desarrollo ágil

B. ETAPA CONEXIÓN INALAMBRICA

Esta conexión se realizara a través de módulos XBEE los cuales por medio del circuito implementado se enlazan con el computador el cual identifica los datos obtenidos en el prototipo de medición de sismos para que sean visualizados por medio del mundo virtual y de la interfaz gráfica en el

software LabView y así obtener un informe de las magnitudes presentadas durante los temblores.

C. ETAPA DE ADQUISICION DE DATOS

En la etapa de adquisición de datos se obtendrán dichos datos por medio de la conexión inalámbrica, estos se digitalizaran y presentaran en el software LabView; se hará la adquisición de datos con la correcta programación gráfica que se adapte a la conexión y a las señales obtenidas, para observar y analizar el cambio de las ondas sísmicas de acuerdo al movimiento telúrico que se esté presentando en el medio.

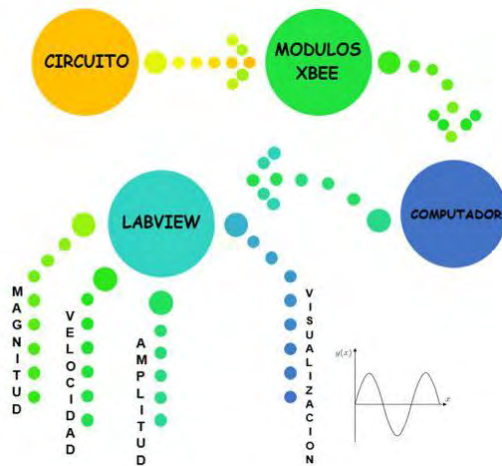


Fig. 6 diagrama adquisición de datos en el que se visualiza los pasos a seguir para obtener un correcto funcionamiento.

D. ETAPA DE CIRCUITO

La metodología a utilizar para el diseño y construcción del circuito es plantear y conocer los dispositivos que identifican señales de entrada y salida de acuerdo al movimiento telúrico presentado, el cual debe ser preciso y estable.

Es necesario que el diseño a implementar sea de fácil manejo y entendible; que no tenga opción de adquirir interferencia del medio para que los datos adquiridos sean lo más exactos posibles y así poder visualizar los movimientos telúricos presentados en el momento adecuado.



Fig. 7 diagrama en el que se explica los pasos a seguir en la etapa del

circuito.

V. PROCEDIMIENTO



Fig. 8 diagrama de desarrollo metodología SCRUM-Vrml

De acuerdo a las investigaciones realizadas y al estudio que se ha venido haciendo para desarrollar este proyecto se ha visto que es necesario verificar y comprobar que las conexiones a realizar entre la etapa del circuito y la etapa del mundo virtual se puedan hacer.



Fig. 9 diagrama que guía los pasos a seguir para la realización del proyecto.

En la primera etapa es necesario tener claros los conceptos básicos y parámetros que se deben tener en cuenta al momento de construir una infraestructura de vivienda y desarrollo urbano en el mundo real, para construirla de manera adecuada en el mundo virtual y con ello observar el movimiento telúrico presentado en su punto exacto y así comprobar y verificar los problemas y daños que puede causar en la realidad para buscar soluciones de seguridad viables.

En la segunda etapa se debe conocer y entender el funcionamiento de los módulos inalámbricos a utilizar para que se pueda obtener la información deseada de los movimientos presentados y conseguir una óptima visualización de las señales recibidas, y las partes afectadas de la infraestructura construida.

En la tercera etapa la adquisición de datos será monitoreada y visualizada en el software LabView gracias a los pulsos recibidos desde el circuito implementado por medio de la conexión inalámbrica, los cuales son analizados y observados en la interfaz gráfica de LabView.

En la cuarta etapa se construirá el circuito electrónico diseñado, el cual consta de un detector de herradura que envía un pulso al presentarse un movimiento telúrico al microcontrolador siendo este el que por medio de la conexión inalámbrica enviara las señales al software LabView para visualizar las ondas presentadas y sus magnitudes; y al tiempo estas señales serán enviadas al mundo virtual el cual indicara el lugar que está siendo afectada de la infraestructura construida.

VI. POSIBLES RESULTADOS

- Al desarrollar este proyecto se podrán observar los cambios o movimientos telúricos presentados en la tierra para así generar posibles soluciones que lleguen a evitar daños en la infraestructura de la universidad.
- Por medio del estudio e investigación se puede generar un mejor conocimiento en cuanto a la construcción de infraestructuras para evitar que cuando ocurra este tipo de eventos atenten contra la vida de las personas.
- Mediante los avances tecnológicos se puede visualizar de una forma didáctica y entendible de acuerdo a la magnitud de los movimientos telúricos de la tierra sin dejar a un lado lo peligroso o nocivo que puede ser tanto para el planeta como para las personas.

REFERENCIAS

- [1] Seismic Intensity Feature Construction Based on the Hilbert–Huang Transform.
<http://bdatos.usantotomas.edu.co:2052/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6003786>
- [2] EARTHQUAKE EARLY WARNING SYSTEM USING REAL-TIME SIGNAL PROCESSING.
<http://bdatos.usantotomas.edu.co:2052/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=548376>
- [3] Intelligent Seismic Acceleration Signal Processing for Damage Classification in Buildings.
<http://bdatos.usantotomas.edu.co:2052/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4303379>
- [4] <http://resnom.cicese.mx/index.php?idCatPadre=174&op=1>
- [5] <http://es.scribd.com/doc/58980339/Teoria-y-Programacion-Modulos-XBEE>
- [6] <http://www.blender.org>
- [7] <http://www.cgstudioscolombia.com/blender/index.php/qu-e-es-blender#.UgpSHJ198zp>

Autores



Rojas Q. Lina Ella nació en Tunja, Boyacá, en 1992. Realizó sus estudios primarios y secundarios en el Colegio de Boyacá de la ciudad de Tunja, actualmente estudia Ingeniería Electrónica en la Universidad Santo Tomas seccional Tunja; sus áreas de interés son el control automático, la instrumentación industrial, la automatización y la gestión y administración en ingeniería, durante el tiempo que ha estado en la Universidad ha participado en diferentes eventos como lo son: “VIII Semana Nacional de Telecomunicaciones Ubicuidad... el propósito de mañana, hoy” (Bogotá D.C.), “X Feria de la Ciencia “200 Años de Ciencia en Colombia”” (Bogotá D.C.), “Jornada de Actualización en Telecomunicaciones 2011” (Tunja, Boyacá) y “Segundo Congreso Internacional de Instrumentación, Control y Telecomunicaciones” (Tunja, Boyacá), “III Congreso de Pastoral Universitaria Backspace Los Desafíos de la Pastoral Universitaria frente al mundo de hoy” (Villavicencio, Meta), “VII Concurso de Oratoria” (Tunja, Boyacá).



López G. Jonathan Nació en Sogamoso Boyacá, en 1992. Realizó sus estudios primarios en el Colegio Integrado “Joaquín González Camargo” y secundarios en la Institución Educativa Politécnico “Álvaro González Santana” graduado como Bachiller Técnico Industrial en electrónica y comunicaciones de la ciudad de Sogamoso, actualmente estudia Ingeniería de Sistemas en la Universidad Santo Tomas seccional Tunja; sus áreas de interés son el desarrollo de videojuegos, auditoria de procesos ingenieriles y Gerencia de empresas, durante el tiempo que ha estado en la Universidad ha participado en diferentes eventos como lo son: el X y XI encuentro regional de semilleros de investigación REDCOLSI nodo Boyacá, como ponente y tallerista en aplicaciones de desarrollo y modelado en 3D, Primer Congreso Nacional de Investigación en Nuevas Tecnologías (Tunja, Boyacá), Congreso Internacional de Investigación en Nuevas Tecnologías Informáticas (Tunja, Boyacá), Primer Congreso

Internacional y Segundo Nacional de Nuevas Tecnologías (Tunja, Boyacá), Grupo interinstitucional de Seguridad Informática, Segundo Encuentro de Tuiteros Boyacá (Tunja, Boyacá), Voluntario Primer Boya.ca Power by Campus Party (Tunja, Boyacá) “III Congreso de Pastoral Universitaria Backspace Los Desafíos de la Pastoral Universitaria frente al mundo de hoy” (Villavicencio, Meta)..

Reconocimiento de Fichas Lego Mindstorm Utilizando la Librería de Programación CImg (Abril 2014)

Castro G. Hector, Mera G. Ismael

heccasgr@gmail.com

Abstract—The article is about the automatic recognize of 20 Lego Mindstorm pieces. A program is designed to consider different morphological patterns of the pieces, the color and other characteristics that allow the differentiation and identification of those pieces in the photos processed. It is pretended to implement those ideas through a C++ program with the help of the CImg Library,

Resumen—El presente artículo consiste en el reconocimiento automático de 20 fichas de tipo “Lego Mindstorm”. Se busca diseñar un programa en el cual se tomen en consideración diferentes patrones morfológicos de las fichas, el color y otras características para diferenciar e identificar las fichas de las fotografías procesadas. Se pretende implementar estas ideas a través de la programación de código en C++ con ayuda de la librería CImg.

Índice de Términos—CImg, Fichas Lego Mindstorm, Procesamiento de Imagen, Segmentación, Visión Artificial.

I. INTRODUCCIÓN

Los últimos años, los sistemas de visión artificial han tomado una parte importante en diferentes campos de la ciencia y la tecnología tales como la medicina, la academia, la robótica, la industria, etc. Esto se debe principalmente a que la visión artificial mediante la utilización de las técnicas adecuadas permite la obtención, procesamiento y análisis de cualquier tipo de información especial obtenida a través de imágenes digitales.

Los sistemas de visión artificial abarcan las áreas de la informática, la óptica, la ingeniería mecánica y la automatización industrial. Además están orientados principalmente a realizar tareas de inspección, control de calidad y control de procesos.

Uno de los objetivos básicos de la visión artificial es la detección, segmentación y reconocimiento de ciertos objetos en imágenes que se desean procesar. Esto se consigue mediante reconocimiento de patrones, aprendizaje estadístico, geometría de proyección, procesamiento de imágenes, entre otros campos.

En este artículo se propone un software programado en lenguaje C++ que permite la identificación de 20 fichas de kits Lego Mindstorm. Entonces, con la ayuda de la librería para el procesamiento de imágenes CImg se crea un programa

que a partir de una fotografía de fichas Lego crea una imagen binarizada, de la cual detecta, segmenta e identifica dichas fichas a partir de características como patrones morfológicos, color, número de agujeros, entre otras.

II. OBJETIVOS

A. Objetivo General

Reconocer de forma automática distintas formas de fichas “Lego Mindstorm” mediante el uso de herramientas informáticas.

B. Objetivos Específicos

- Diseñar y planificar las variables del sistema, los métodos a utilizarse y los posibles patrones de uso para el reconocimiento.
- Programar un sistema que permita procesar la información de imágenes y reconozca las fichas de manera automática.
- Evaluar las prestaciones y aproximaciones que el sistema pueda dar en cuanto a la precisión de reconocimiento.

III. LIBRERÍA CIMG

CImg es una librería de código abierto diseñado por David Tschumperlé para el procesamiento de imagen. Puede ser usada para diversas plataformas, incluyendo Windows, OS X y Unix [1].

La librería es muy fácil de portar y es almacenada en un simple archivo de cabecera .h, el cual posee un tamaño aproximado de 1 Mb y no necesita dependencias complejas ni exóticas [2].

Además, contiene varios algoritmos muy útiles para cargar, guardar y mostrar por pantalla imágenes con diferentes tipos de valores de pixel. Usualmente son utilizados los tipos “double”. Puede ser descargada en la página web <http://cimg.sourceforge.net/>.

IV. FICHAS LEGO MINDSTORM

Los kits Lego Mindstorm son juegos de robótica para niños fabricados por la empresa Lego, el cual posee

Paper enviado el 21 de Abril, 2014. Reconocimiento de Fichas Lego Mindstorm utilizando la librería CImg presentado al Primer Encuentro Nacional de Semilleros de Investigación en Ingeniería Electrónica.

Castro G. Hector graduado con honores del Colegio Andino de Tunja. Finalizó el Master Oficial en Tecnologías, Sistemas y Redes de Comunicaciones de la Universitat Politècnica de València antes de finalizar

el pregrado. Actualmente es estudiante de décimo semestre de Ingeniería Electrónica de la Universidad Santo Tomás Seccional Tunja y miembro estudiantil del IEEE. E-mail: heccasgr@gmail.com

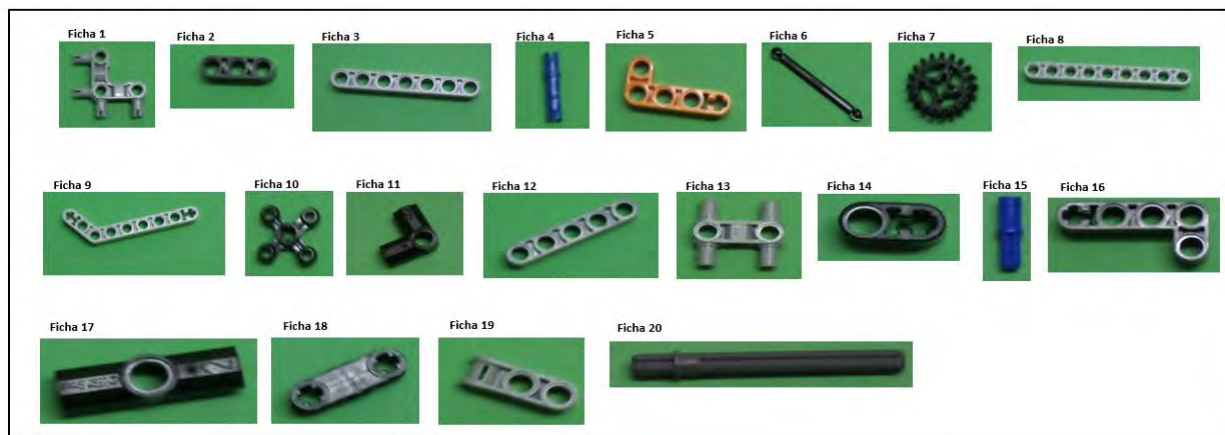


Fig. 1. Fichas Lego Mindstorm utilizadas en el proyecto.

elementos básicos como piezas de construcción, sensores, motores, unidad de procesamiento, etc.

En el presente proyecto se pretende la detección de 20 fichas del total de un kit Lego mindstorm, las cuales se diferencian especialmente por tamaño, color, forma y número de agujeros. En la figura 1 se presentan las diferentes fichas utilizadas con el nombre asignado por los autores del proyecto.

V. DETECCIÓN DEL FONDO ÓPTIMO

Con el fin de encontrar un fondo que hiciera el mayor contraste con las fichas Lego a detectarse realizaron pruebas con los colores rojo, verde y azul, y se determinó con cual se lograba mayor contraste:

	Imagen de Componentes	Contraste Fondo-Fichas
Original		
Rojo		
Verde		
Azul		

Tabla 1. Contraste ente componentes RGB de las fichas.

En las imágenes de la izquierda se puede observar las componentes RGB de las fichas a detectar y en las imágenes de la derecha se observan las imágenes resultado si se discriminará la determinada componente. Esta última columna se obtuvo al restar de la imagen con la componente de estudio, las otras dos imágenes con las componentes correspondientes. Por ejemplo, a la imagen con componente verde se le restaba el valor máximo entre la componente roja y azul de la imagen original.

Se encontró que las fichas lego poseen muy poca componente azul por lo que este color fue descartado. Luego se optó por discriminar la componente verde ya que este color fue el que mejores resultados dio durante la prueba.

Posteriormente se pusieron a prueba 5 tonalidades de verde para encontrar cual poseía mayor componente verde. Se obtuvo las siguientes imágenes:

Imagen Original	Componente Verde

Tabla 2. Verde óptimo.

De las anteriores imágenes se puede observar que el fondo con mayor componente verde es el de la esquina superior izquierda.

VI. PROCEDIMIENTO DE BINARIZACIÓN

Para el proceso de la binarización de la imagen en primer lugar se obtuvo la componente verde de la imagen procesada y a esta se le restó el valor máximo entre la componente roja y azul, asegurando el contraste entre las fichas y el fondo. En la tabla 3 se puede ver un ejemplo del proceso.

Posteriormente se incluyó una función de binarización con el que se pretende distinguir las fichas del fondo, lo que significa que a partir de la comparación con un valor determinado se pondrá el valor de cada píxel de la imagen a negro o blanco si su valor está por debajo o por encima respectivamente.

Sin embargo, el valor del umbral debe estar optimizado ya que si es muy alto incluirá ruido en la imagen binarizada y si es muy bajo se perderá información o píxeles de las fichas



Tabla 3. Resultado del procedimiento de contraste.

que se buscan detectar. A continuación se puede observar un ejemplo de una gráfica de histograma:

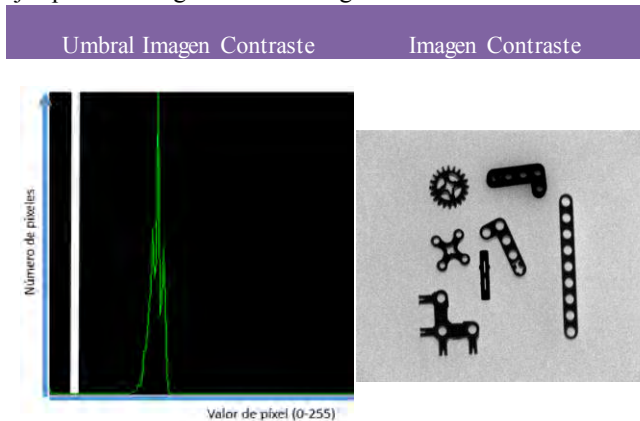


Tabla 4. Selección del umbral de binarización a partir del histograma de la imagen en las que contrastan las fichas con el fondo.

En la imagen anterior debe destacarse que los picos más grandes corresponden a los píxeles que conforman el fondo de la imagen mientras que las montañas pequeñas que se encuentran en la parte inferior izquierda de la imagen corresponden a los píxeles que conforman las fichas, siendo estas más oscuras en la imagen y haciendo contraste con el fondo. Analizando diferentes histogramas y realizando diferentes pruebas con la función *“get.threshold(umbral)”* que tiene como parámetro de entrada el valor de umbral, se comprobó que el mejor umbral para separar las fichas del fondo es de valor 15. A continuación se puede observar un ejemplo de una imagen umbralizada con valor 15:



Fig. 2. Imagen umbralizada con valor 15.

VII. SEGMENTACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE FICHAS DETECTADAS

Ya teniendo la imagen umbralizada de forma que se capte el mayor detalle posible de las fichas, se procede a la segmentación binaria en la que se etiquetan cada una de las fichas para luego extraer sus características. Para ello se utilizó la función *“binarySegmentation(imagen binaria, imagen segmentada, número de objetos)”* que pide como

parámetros de entrada la imagen binarizada y devuelve la imagen segmentada junto con el número de objetos hallados en la segmentación. Como ejemplo de su aplicación se presenta la siguiente imagen:

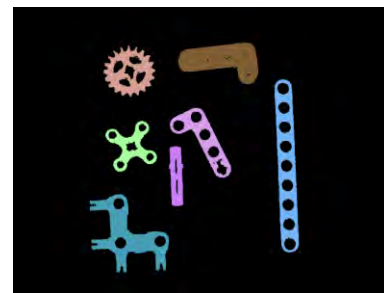


Fig. 3. Imagen segmentada.

Una vez separados los diferentes segmentos de la imagen se implementó la función *“Momentos_Areas_cimg(imagen segmentada, centros, covarianzas, Número de puntos de objeto, índice de objeto)”* que recibe como parámetro de entrada la imagen segmentada y calcula las covarianzas, los centros de masa y los números de puntos que posee el objeto indicado en el parámetro de entrada índice de objeto.

A partir de los anteriores valores calculados, se hallaron los autovalores y la orientación de cada una de las fichas encontradas en la imagen. Para ello se utilizó la función *“momentos2orientación_autovalores(covarianzas, ángulo de orientación, autovalores)”*.

Por otra parte, se dibujaron las Bounding Box de cada uno de los objetos. Sin embargo, estos al no estar alineados, se hace necesario crear una función que cree Bounding Boxes inclinadas según se requiera. La función diseñada fue *“Oriented_BoundingBox_cimg(imagen segmentada, ángulo de orientación, tamaños orientados, centro de BBs orientados)”*, la cual toma la imagen segmentada y el ángulo de inclinación y devuelve los tamaños orientados y el centro de BBs orientados de cada segmento, luego mediante la función *“oriented_draw_rectangle(imagen segmentada con colores, centro de bounding boxes orientados, tamaños orientados, orientación, puntos del rectángulo, índice de objeto)”* se dibuja sobre la imagen segmentada las diferentes Bounding Boxes orientadas sobre los objetos, excluyendo aquellos que poseen un área menor 1000 píxeles:

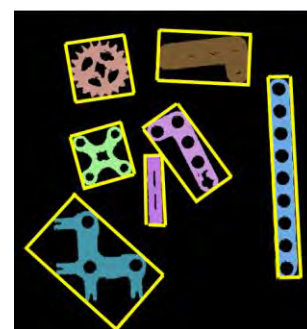


Fig. 4. Imagen con Bounding Boxes orientadas.

A su vez, se creó una función llamada *“MeanColor(imagen segmentada, imagen a color, número de objetos, colores medios de cada objeto)”*, la cual posee como parámetros de entrada la imagen segmentada, la imagen original y el número de objetos detectados en la

imagen segmentada, y como respuesta devuelve los valores medios de rojo, azul y verde de cada objeto. Posteriormente se calcula el valor medio de verde, rojo y azul del fondo.

A partir de los valores calculados anteriormente se determinan 7 características con las que se pretenderá distinguir las fichas:

A. Elipticidad

Utilizando los autovalores calculados de cada objeto se haya las elipticidades con la siguiente ecuación:

$$Elipticidad = \frac{Autovalor\ menor}{Autovalor\ mayor} \quad (1)$$

B. Valores Medios RGB (Rojo, Verde y Azul) Normalizados

Una vez calculados los valores medios RGB de las fichas y los valores medios RGB del fondo se aplica la siguiente ecuación para calcular las componentes RGB medias de las fichas y lograr la normalización de la iluminación de la imagen:

$$Valor\ medio\ normalizado\ de\ R,\ G\ o\ A = \frac{Valor\ medio\ R,\ G\ o\ A\ de\ ficha - Valor\ medio\ R,\ G\ o\ A\ de\ fondo}{Promedio\ de\ valores\ RGB\ del\ fondo} \quad (2)$$

C. Relación Menor/Mayor Tamaño

A partir de los valores de tamaños orientados calculados con la función “*Oriented_BoundingBox_cimg*” se calcula la relación menor/mayor tamaño realizando dicha división.

D. Relación de Área y Número de Píxeles de Bounding Box

Se calcula dividiendo el valor de área hallado de cada objeto y los tamaños orientados multiplicados de las Bounding Box:

$$R_{areas} = \frac{A_{ficha}}{mayor\ size * menor\ size} \quad (3)$$

E. Conteo de Agujeros de la Fichas

Para ello se creó una función que a partir del procedimiento descrito en el apartado IX del artículo, determina el número de agujeros existentes en cada una de las fichas de la imagen.

VIII. CREACIÓN DE BASE DE DATOS CON CARACTERÍSTICAS DE DISCRIMINACIÓN

Para la creación de la base de datos sobre la cual se comparará con el programa para identificar las fichas dentro de las fotos puestas a prueba se realizó una toma de 100 fotos; 5 fotos por cada ficha cambiando las orientaciones de la ficha y las alturas desde la que se realizaron las fotos. Se tuvo extremo cuidado con la iluminación para mantenerla constante y evitar las sombras que pudieran presentarse en el momento de realizar las fotos.

A. Creación De Base De Datos .CSV, Excel y .DLM

Luego se procedió a ejecutar el programa de binarización, segmentación y caracterización desarrollado en el apartado anterior con el fin de extraer las características de las 100 muestras. Sin embargo, para reducir el tiempo que conlleva

analizar tantas muestras, se desarrolló un programa llamado “*extraer_caracteristicas.cpp*” el cual pide como parámetros de entrada las 5 muestras de cada ficha y el umbral de binarización a utilizar, y retorna un archivo con nombre “*features.csv*” el cual contiene las 7 características de las 5 muestras, realizando el mismo procedimiento descrito en los apartados VI y VII del presente artículo.

Una vez obtenidas todas las características de las 100 muestras se creó un archivo en Excel, el cual se procesó calculando los promedios, varianzas y desviaciones típicas de cada una de las 6 características tomando los 100 valores de cada una de ellas. Con estos valores se procedió a normalizar la tabla aplicando la siguiente ecuación:

$$Valor\ normalizado = \frac{Valor\ de\ característica - P}{\sigma} \quad (4)$$

En donde P es el promedio calculado de cada una de las características y σ es la desviación típica de cada una de las características. Con ello se creó la nueva tabla de datos normalizada sobre la cual se realizó la comparación en el programa y se identificó las fichas detectadas de las imágenes puestas a prueba.

I	J	K	L	M	N	O
Figura	Elipticidad'	Color R'	Color G'	Color B'	R m/M'	A/# Pix'
11	0,44660975	0,95266325	0,97530767	1,04466941	0,6402467	-1,68065395
12	0,43853216	0,62715189	0,64072528	0,63535184	0,68981624	-1,69787243
13	0,42237699	0,75735643	0,71242151	0,7945309	0,54791476	-1,63788946
14	0,80202355	0,99606476	1,0470039	1,11288901	0,56688449	-1,54472533
15	0,64451062	0,90926173	1,07090264	0,97644982	0,70578903	-1,51141653
21	-0,46615751	-0,50128749	-0,67370555	-0,61534076	-0,34480072	0,22786781
22	-0,28441182	-0,56638977	-0,57811058	-0,63808062	-0,37046139	-0,0335084
23	-0,4701963	-0,15407538	-0,10013573	-0,11506372	-0,39761755	0,24203801
24	-0,42576958	0,80075794	0,76021899	0,7945309	-0,44199498	0,57556311
25	-0,5307782	0,0629322	-0,00454076	-0,06958399	-0,40751272	0,57354966
31	-0,83368769	1,25647385	1,45328252	1,27206807	-1,05906159	0,4694519
32	-0,83368769	1,19137158	1,30989006	1,29480793	-1,06389193	0,36093633
33	-0,8256101	1,23477309	1,47718126	1,27206807	-1,07001677	0,67228603
34	-0,80137734	1,19137158	1,42938378	1,18110861	-1,08913988	0,68056737
35	-0,81349372	0,974364	1,19039635	0,93097009	-1,10264208	0,76134985
41	-0,50654544	-0,78339734	-0,43471812	0,7945309	-0,73534518	1,36888843
42	-0,769067	-1,06550718	-0,79319926	0,2032944	-0,64129306	1,33738094
43	-0,63982561	-1,13060946	-0,79319926	0,36247345	-0,6506411	1,28093777
44	-0,73675665	-1,21741248	-0,817098	0,27151399	-0,63041921	1,10623559
45	-0,69232993	-1,23911324	-0,86489548	0,43069305	-0,64812301	0,98290007
51	-0,36114889	1,47348142	0,4256366	-0,4561617	0,20393278	-0,57196183
52	-0,38942044	1,21307233	-0,05233825	-1,22931712	0,16216244	-0,52132736

Fig 5. Ejemplo de base de datos normalizada generada en Excel

Se puede notar que se incrustó en la primera columna el número de ficha y fotograma (para luego identificarlas). Por ejemplo para “52” significa que las características corresponden a la muestra 2 de la ficha 5.

Por último, la tabla normalizada realizada en Excel se pasó a .csv, el cual utilizando Matlab se convirtió a un archivo tipo .dml.

IX. CONTEO DE AGUJEROS DE LAS FICHAS

Con el fin de conseguir una nueva característica para la diferenciación e identificación de las diferentes figuras, se desarrolló una función que contaba los agujeros de cada una de las fichas. Entonces se toma la imagen de Bounding Box de las fichas detectadas, se les aplica la función vector distancia “*get_distance(1)*”, y luego se umbralizan con el fin de que queden visibles sólo los agujeros de las fichas con la mejor calidad posible. En la tabla 5 se puede observar las imágenes del proceso intermedio.

El resultado de esta umbralización entra a una función de segmentación y de establecimiento de Bounding Boxes.



Tabla 5. Proceso de función distancia y umbralización de la imagen de una ficha detectada.

Entonces si el objeto detectado es de ancho y alto diferente al tamaño de la imagen se cuenta como agujero. Finalmente por pantalla aparece el siguiente mensaje:

agujeros 5 es: 9

Fig. 6. Mensaje mostrado por el programa luego de realizar el procedimiento de conteo de agujeros de las fichas en la foto.

X. RECONOCIMIENTO DE LAS FICHAS DETECTADAS

Como primer paso, se cargan los datos de la base de datos creada del archivo “características3.dlm” y los datos de los promedios y desviaciones típicas que se encuentran en el archivo “prom_desv3.dlm”.

En segundo lugar, se calculan las 7 características para cada objeto detectado que se utilizarán para reconocer las fichas dentro de la imagen procesada, es decir, elipticidad, Valores RGB medios, relación de tamaño, relación de área y número de agujeros. Además de otros parámetros como área y puntos de Bounding Boxes.

El tercer paso consistió en la normalización de los parámetros calculados de los objetos detectados en la imagen que se está procesando. Para ello se utilizó la ecuación (4).

Los valores normalizados más el número de agujeros de cada objeto fueron almacenados en una matriz.

Para el reconocimiento de las fichas mediante la comparación de las características obtenidas y las características guardadas en la base de datos se utilizó el método del vecino más cercano, en el cual se calcula el error cuadrático acumulado de cada una de las características de cada muestra de la base de datos. Esto quiere decir que se calcula la suma de los errores cuadráticos entre cada característica muestra por muestra y el resultado más próximo a 0 significa que la ficha coincide con la muestra comparada. A continuación se puede observar la fórmula utilizada:

$$d = \sum_{i=0}^n (Cm_i^m - C_i^b)^2 \quad (5)$$

Donde d es la distancia entre las características del objeto detectado y las características de la muestra frente a la que se compara, Cm_i^m son las características del objeto detectado y C_i^b son las características de la muestra frente a la que se realiza la comparación.

Luego, para mejorar el reconocimiento de las fichas se realizaron las siguientes comparaciones:

A. Diferenciación entre Fichas Alargadas

Si la ficha es reconocida como 2, 3, 8, 12 y 17, entra a una serie de comparaciones entre el número de agujeros detectados (#r) y el número de agujeros de cada una de las fichas supuestas. Para esta toma de decisión se tomó en cuenta la siguiente tabla:

COMPARACIÓN AGUJEROS DETECTADOS	FICHA ELEGIDA COMO RESULTADO DE RECONOCIMIENTO
#r=1	Ficha 17
2<=#r<=3	Ficha 2
4<=#r<=5	Ficha 12
6<=#r<=7	Ficha 3
8<=#r<=9	Ficha 8

Tabla 6. Comparación de huecos para el reconocimiento de fichas.

B. Diferencia entre Fichas 9 y 16

Si la ficha detectada es 16 y además el número de huecos detectados es mayor a 6 entonces la ficha detectada es 9.

C. Diferencia entre Fichas Azules

Si la ficha detectada es 4 o 15 se compara la relación de tamaño menor/mayor y si el valor es inferior a -0.4 la ficha detectada es 4, en caso contrario es 15.

D. Diferencia entre Fichas 18 y 19

Si la ficha detectada es 18 o 19 se compara la relación de tamaño menor/mayor y si el valor es mayor a 0.77 la ficha detectada es 18, en caso contrario es 19.

Finalmente, el programa presenta la imagen original con el nombre escrito sobre cada ficha y en pantalla se muestran las fichas reconocidas como se observa a continuación:

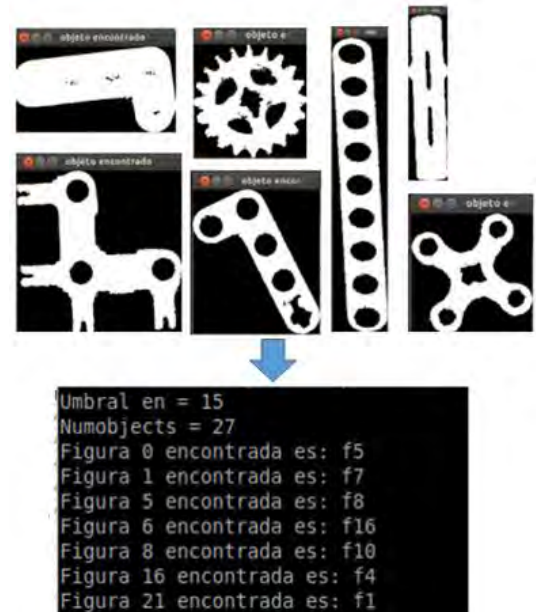


Fig. 7. Ejemplo de reconocimiento.

Reales / Detectadas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	11															1				
2		5										2					1			
3			7																	
4				7																
5					10															
6						7														1
7							15													
8			1					9												
9									8											
10							1			14										
11										6				3						
12											6									1
13												4								
14													2							
15				2											6					
16																10				
17																	4			
18			3														1		1	
19			1																8	
20																				6

Tabla 4. Matriz de confusión.

XI. MATRIZ DE CONFUSIÓN Y TABLA DE TESTING

Se comprobó el programa desarrollado con las imágenes de testing tomadas y se realizó una matriz de confusión y una tabla de testing con el fin de encontrar y clasificar errores, y calcular un porcentaje aproximado del correcto funcionamiento del programa.

La matriz de confusión se creó con el fin de encontrar aquellas fichas que poseen características muy similares y el programa aun no es capaz de diferenciarlas.

En la tabla 4 se evidencia dicha matriz, en la cual se puede observar que 9 fichas son detectadas sin fallos y no poseen características que puedan confundir al programa. Hay otras que fallan de forma despreciable y la que falla de forma más representativa es la ficha 18, la cual no es reconocible por el programa.

En cuanto a la tabla de testing, se creó con el fin de calcular una aproximación del porcentaje con el cual el programa funciona y reconoce correctamente las fichas

dentro de las imágenes. Esto se evidencia en la tabla 5.

Las filas corresponden a cada muestra del test y las columnas corresponden a cada una de las fichas a detectar. Entonces si determinada ficha fue correctamente detectada se da equivalencia de 1 y si la ficha fue confundida o no detectada se da equivalencia de 0. En las columnas con título azul se calculó el total de fichas detectadas por muestra, el número de fichas reconocidas, las que no y el porcentaje de acierto. Finalmente se promedió todos los porcentajes de acierto y se obtuvo que el programa reconoce las fichas dentro de la imagen con un 89% de acierto en general.

XII. CONCLUSIONES

En el anterior proyecto se realizó un programa en lenguaje C++ utilizando la librería CImg para la detección de 20 fichas del kit Lego Mindstorm. En total se desarrollaron 9 funciones, 4 primarias y 5 adicionales.

	Ficha 1	Ficha 2	Ficha 3	Ficha 4	Ficha 5	Ficha 6	Ficha 7	Ficha 8	Ficha 9	Ficha 10	Ficha 11	Ficha 12	Ficha 13	Ficha 14	Ficha 15	Ficha 16	Ficha 17	Ficha 18	Ficha 19	Ficha 20	TOTAL	ENCONT.	NO ENCONT.	% acierto	
Muestra 1						1					1										2	2	0	100%	
Muestra 2							1				1										2	2	0	100%	
Muestra 3								1										1			2	2	0	100%	
Muestra 4									1	1								1			4	4	0	100%	
Muestra 5	1	1	1																		4	4	0	100%	
Muestra 6				1			1	1													4	4	0	100%	
Muestra 7					1	1	1				1										6	6	0	100%	
Muestra 8		1	1		1			1	1				1								6	6	0	100%	
Muestra 9	1														1			1			4	4	0	100%	
Muestra 10	0													1			1	0	1		5	3	2	60%	
Muestra 11	1									1					1	1			0	1	6	5	1	83%	
Muestra 12	1										1										2	2	0	100%	
Muestra 13					1								0	1							3	2	1	67%	
Muestra 14				1				1				1								1	5	5	0	100%	
Muestra 15		1	1		1																4	4	0	100%	
Muestra 16						1			1					1							3	3	0	100%	
Muestra 17							1			1									0		3	2	1	67%	
Muestra 18					1		1		1	1					0						5	4	1	80%	
Muestra 19					1		1			0	1				0						5	3	2	60%	
Muestra 20		0	1								1										3	2	1	67%	
Muestra 21										1							1			1	4	4	0	100%	
Muestra 22	1									1	1							1			4	4	0	100%	
Muestra 23	1				1	1	1														4	4	0	100%	
Muestra 24				1	1		1				0	1									5	4	1	80%	
Muestra 25	1						1				1				1						5	5	0	100%	
Muestra 26						1		0	1												3	2	1	67%	
Muestra 27						1			1												3	3	0	100%	
Muestra 28		1					1			1	0							1			5	4	1	80%	
Muestra 29	1	1					1				0								1		6	5	1	83%	
Muestra 30	1			1	1		1	1		1							1				7	7	0	100%	
Muestra 31	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	20	18	2	90%	
Muestra 32	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1		20	16	4	80%	
TOTAL	12	8	7	7	10	8	15	10	8	15	9	7	4	2	8	10	4	5	9	6				PROMED	89%

Tabla 5. Tabla de testing

Uno de los mayores inconvenientes de la forma de las fichas fue que eran tridimensionales, complicando la detección de los huecos de cada una de ellas, ya que hace la detección dependiente del ángulo con la que se tome la fotografía. Entre más inclinada se tome la foto, la perspectiva de la ficha cambiará y los huecos pueden ocultarse frente a la imagen y no ser detectados.

Así mismo, fueron necesarias 7 características para el reconocimiento de las fichas: elipticidad, valores medios de RGB, relación de tamaño menor/mayor, relación de área y número de agujeros. Profundizando, el color que a priori era una desventaja al tener diferentes valores en las fichas y dificultar la elección del umbral de binarización, se convirtió en una ventaja a posteriori ya que permitió mejorar la detección y diferenciación entre las fichas de mayor contraste como blancas, negras, azules y naranjas.

El umbral de binarización se convirtió en un parámetro muy influyente en la correcta detección de las fichas, ya que a partir de este valor se puede aumentar o disminuir la definición con la que se binarizarán las fichas. Sin embargo la diversidad de colores, las diferentes iluminaciones e inclusive la no homogeneidad del fondo pueden dificultar la elección de dicho parámetro. Para el proyecto y después de múltiples pruebas se encontró que para la iluminación utilizada el mejor umbral a utilizar es de valor 15.

En cuanto a la elección del fondo, en el apartado V se compararon diferentes tonalidades de verde y se eligió el que más contraste hacia frente a las fichas. Esto contribuyó demasiado a la etapa de binarización. Sin embargo se descubrió adicionalmente que es muy complicado encontrar un fondo que sea totalmente verde o que sea homogéneo en toda el área.

A su vez, se encontró que la normalización de los valores de las características de la base de datos ayuda a que la comparación sea más robusta, permitiendo estandarizar la comparación para el reconocimiento de las fichas.

Mediante la matriz de confusión se pudieron encontrar las fichas con características similares que confundían al programa tales como las fichas largas, confusión entre fichas azules, confusión entre las fichas 16 y 9, confusión entre las fichas 18 y 19; problemas que fueron solucionados mediante las comparaciones explicadas en el apartado X.

Finalmente, la tabla de testing permitió conocer el porcentaje con el que las fichas eran correctamente detectadas y el porcentaje promedio aproximado de acierto, el cual fue de 89%.

REFERENCIAS

- [1] S. Vicknesh, An introduction to the Cimg Library.
http://www.math.ucla.edu/~wittman/hyper/vick/Cimg_tutorial.pdf.
- [2] <http://cimg.sourceforge.net/>

CASTRO G. HECTOR LUIS (M²2010) nació el 27 de Junio de 1993 en la ciudad de Tunja, Colombia. Se graduó con honores del Colegio Andino de Tunja, proyecto laureado titulado “Reciclaje de papel en el Colegio Andino de Tunja”. Es voluntario inactivo de la Cruz Roja Colombiana. Participó junto con el equipo de robótica de la Universidad Santo Tomás Seccional Tunja en el torneo nacional de robótica VEX desarrollado en Campus Party Bogotá 2011 posesionándose como subcampeones nacionales y cuartos en el torneo. Es miembro estudiantil del IEEE. Antes de determinar su pregrado, finalizó el Máster en Tecnologías, Sistemas y Redes, de Comunicaciones en la Universitat Politècnica de València en el año 2014.

DILE SOLUCIÓN

Tecnología para Discapacitados (Niños)

Vivianne Estefanía Niño Vega- viesnive@hotmail.com

Tutor: Ing. Camilo Pardo

Abstract— “Dile solución” is a project that seeks to help in the inclusion of children with disabilities in their learning, in Tunja through the design and construction of electronic and technological tools. The challenge is to combine electronic, technology and innovation seeking in the inclusion of people with disabilities. This project is to be achieved providing electronic tools to schools to assist in the inclusion in learning.

Index Terms— Discapacidad, tiflotecnología, Cognitiva-Síndrome Down, Motora, Visual, Limitación Auditiva y Parálisis Cerebral.

I. INTRODUCCION

La palabra Discapacidad, es utilizada para señalar alguna alteración en el funcionamiento de una persona a nivel corporal, individual y social, asociados a estados o condiciones de salud.

La Organización Mundial de la Salud la define como: “Discapacidad es un término general que abarca las deficiencias, las limitaciones de la actividad y las restricciones de la participación. Las deficiencias son problemas que afectan a una estructura o función corporal; las limitaciones de la actividad son dificultades para ejecutar acciones o tareas, y las restricciones de la participación son problemas para participar en situaciones vitales”.

La discapacidad además de ser objeto de exclusión para algunos en las primeras etapas de la vida, es garantía de múltiples formas de exclusión para todos aquellos que alcanzan la tercera edad. Por ende en los primeros años de un discapacitado las actividades tanto que desarrollen para mejorar su condición serán las bases para toda su vida.

La discapacidad se considera como una condición resultante de diferentes factores, en los cuales interactúan lo social, lo cultural y lo epidemiológico. Un niño con discapacidad es sujeto de exclusión inmediatamente debido a que lo que es fácil para un niño normal es complejo para él, y esta brecha que existe en lo que él puede hacer y lo que debería hacer aleja cada vez más a estos niños de la oportunidad de ser normales.

El Proyecto “Dile solución” está basado en esta problemática, busca por medio de la innovación en el campo de la

electrónica brindar herramientas para ayudar en la inclusión de personas con discapacidad y es este caso en específico en crear herramientas para la enseñanza a niños con situación de discapacidad en la ciudad de Tunja.

Este proyecto pretende apostarle a nuevas ideas y tecnologías a bajo costo para empezar a solucionar problemas y brindar aquellas herramientas en colegios que trabajen con distintas discapacidades de la ciudad. Todas estas herramientas orientadas a software y hardware para discapacitados



brindando soluciones reales.

Fig. 1: Logo del Proyecto “Dile Solución”

En este logo de la Fig.1 se simplifica en pocas palabras lo que se quiere lograr con el proyecto, todo está enfocado en unir la tecnología, la electrónica y la innovación buscando la inclusión de personas en situación de discapacidad por medio de la creación de herramientas que puedan ayudar a las necesidades Dile Solución.

II. JUSTIFICACIÓN

La motivación para la realización de este proyecto surge de la necesidad de ayudar a las personas con discapacidad de la ciudad, y más a los niños que empiezan a vivir y que no encuentran las posibilidades en su escuela o colegio para aprender y tener todas las herramientas como los otros niños si las tienen. Con esto se quiere poder ayudar en la inclusión en el aprendizaje de niños en situación de discapacidad de la

ciudad de Tunja mediante el diseño y construcción de herramientas electrónicas y tecnológicas.

Este será un macro-proyecto que de la mano de algunos ingenieros y con el apoyo de la Secretaría de Discapacidad de la ciudad de Tunja y el grupo docente de trabajo con Discapacidad, se buscara empezar a dar soluciones a las problemáticas cercanas con la enseñanza a niños con todas las Discapacidades en la Ciudad.

III. MARCO TEORICO

La discapacidad es aquella condición bajo la cual ciertas personas presentan alguna deficiencia física, mental, intelectual o sensorial que a largo plazo afectan la forma de interactuar y participar plenamente en la sociedad.

Más de mil millones de personas viven en todo el mundo con alguna forma de discapacidad; de ellas, casi 200 millones experimentan dificultades considerables en su funcionamiento. En los años futuros, la discapacidad será un motivo de preocupación aún mayor, pues su prevalencia está aumentando.

Los dispositivos y las tecnologías de apoyo como sillas de ruedas, prótesis, ayudas para la movilidad, audífonos, dispositivos de ayuda visual y equipos y programas informáticos especializados aumentan la movilidad, la audición, la visión y las capacidades de comunicación.

Con la ayuda de estas tecnologías, las personas con discapacidad pueden mejorar sus habilidades y, por tanto, están más capacitados para vivir de forma autónoma y participar en sus sociedades. [1]

DISCAPACIDADES EN TUNJA (Niños)

Discapacidad Cognitiva-Síndrome de Down:

El síndrome de Down es una alteración genética que se produce en el momento de la concepción y se lleva durante toda la vida. No es una enfermedad ni padecimiento. Sus causas son desconocidas. Cualquier pareja puede tener un hijo con síndrome de Down. Uno de cada mil niños nace con este síndrome.

Esta alteración, también llamada trisomía 21, hace que dentro de los 23 pares de cromosomas que todas las personas tenemos, aquellas con síndrome de Down tengan 3 cromosomas en el par número 21.

Discapacidad Visual:

Un niño con discapacidad visual es aquel que padece una alteración permanente en los ojos o en las vías de conducción del impulso visual que le produce una disminución patente en

la capacidad de visión. La ceguera sería un caso extremo de discapacidad visual

Para la Organización Mundial de la Salud, una persona es ciega cuando tiene una agudeza visual inferior a 1/10 en la escala Wecker, o una reducción del campo visual por debajo de 35%.

Discapacidad Motora:

Las personas con discapacidad motórica presentan un deterioro, transitorio o permanente, en su aparato locomotor; tienen problemas en la ejecución de sus movimientos, en su motricidad en general, independientemente de la causa desencadenante.

Localización o zona afectada:

- Parálisis:
 - Monoplejía: parálisis de un solo miembro.
 - Hemiplejía: parálisis de un lado del cuerpo.
 - Paraplejía: parálisis de las dos piernas.
 - Diplejía: parálisis que afecta a partes iguales a cada lado del cuerpo.
 - Tetraplejía: parálisis de los cuatro miembros.
- Paresia:
 - Monoparesia: parálisis ligera o incompleta de un solo miembro.
 - Hemiparesia: parálisis ligera o incompleta de un lado del cuerpo.
 - Paraparesia: parálisis ligera o incompleta de las dos piernas.
 - Tetraparesia: parálisis ligera o incompleta de los cuatro miembros.

Discapacidad Auditiva:

La discapacidad auditiva engloba todos los grados de déficits en la audición, independientemente de la etiología.

- Hipoacúsico: persona cuya audición residual hace difícil, pero no imposible, la comprensión de la palabra (500-2000 Hz) por vía auditiva exclusivamente, con o sin ayuda de prótesis auditiva.
- Sordo: persona cuya audición residual imposibilita la comprensión de la palabra por vía auditiva exclusivamente, con o sin ayuda de prótesis auditiva.

Parálisis cerebral:

Es un grupo de trastornos que pueden comprometer las funciones del cerebro y del sistema nervioso como el

movimiento, el aprendizaje, la audición, la visión y el pensamiento. Hay algunos tipos diferentes de parálisis cerebral, entre ellas: espástica, discinética, atáxica, hipotónica y mixta.

Estado del Arte:

Comunicación aumentativa y alternativa:

Las técnicas aumentativas de comunicación son aquellas que se utilizan para aumentar el habla, que es el principal medio de comunicación.



Fig.2: Imágenes Tableros Comunicación aumentada
Fuente: scaumentativoalternativo.blogspot.com

Las técnicas alternativas de comunicación son aquellas que se utilizan para reemplazar el habla cuando no se puede acceder a ella, tanto por una patología como por otras circunstancias, como por ejemplo no poder hablar en un lugar público en donde se debe hacer silencio.

La utilización de este tipo de comunicación no es excluyente de la patología, como lo vemos en el ejemplo anterior.

Según C. Rosell y C. Basil, los sistemas se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- 1- Sistemas sin ayuda, son aquellos que no dependen de ningún objeto externo:
 - Habla
 - Gestos de uso común
 - Gestos idiosincrásicos
 - Códigos o sistemas gestuales
 - Lenguajes de signos manuales
- 2- Sistemas con ayuda, son aquellos que dependen de un soporte externo:
 - Recursos tangibles

- Recursos gráficos: PIC, el Bliss o el Rebus.
- Símbolos ortográficos.



Fig. 3: Chico en situación de discapacidad utilizando un tablero de comunicación aumentada

Fuente: fonoaudiologos.wordpress.com

Tiflotecnología:

Es el conjunto de teorías y de técnicas que permiten el aprovechamiento práctico de los conocimientos tecnológicos aplicados a personas ciegas o con baja visión. Es por tanto, una tecnología de apoyo.

Debido a su deficiencia estas personas sin una adaptación adecuada no podrían hacer uso de las nuevas tecnologías. Es por esto que la tiflotecnología se ha convertido en una herramienta indispensable para estas personas ya que les permite acceder a las nuevas tecnologías, ya sea mediante equipos específicos o adaptaciones, de acuerdo con las necesidades u objetivos de cada usuario.



Fig. 4: Tiflotecnología Braille

Fuente: unmundoalalcancedetods.blogspot.com

Las principales ayudas tiflotécnicas en las que se imparten cursos de formación son:

- Dispositivos con braille y voz para pantallas y teclados de ordenador (Líneas braille y Sintetizadores de voz).
- Anotadores y agendas electrónicas.
- Programas adaptados para que las personas ciegas

puedan navegar en entorno Windows (Revisores de pantalla para Windows).

- Programas adaptados para personas con resto visual para ampliar los caracteres de pantalla (Magnificadores de texto en pantalla).
- La formación en los dispositivos anteriores se contextualiza, a menudo, en el uso de los programas informáticos de uso más frecuente, así como de aquellos específicos para personas ciegas y deficientes visuales.

IV. METODOLOGIA

Etapas I: Diseño del proyecto de Investigación

Actividad 1: Revisión bibliográfica

Actividad 2: Consulta y apropiación del tema

Actividad 2: Diseño metodológico de la Propuesta

Etapas II: Discapacidad en Tunja

Actividad 1: Investigación de población objetivo (Cifras de discapacidad en Boyacá)

Actividad 2: Investigación de colegios que trabajen con discapacidad en Tunja.

Actividad 3: Delimitación de la Población (Niños: Rango de Edades-Colegios)

Actividad 4: Base de Datos de colegios, docentes y discapacidades de trabajo.

Etapas III: Trabajo con personas en Condición de discapacidad: Colegios

Actividad 1: Encuesta a los docentes que trabajan con niño en situación de discapacidad sobre:

- Posibles Necesidades
- Problemas que presentan con la enseñanza
- Sugerencias e Ideas sobre que se podría trabajar



Fecha: _____ Encuesta #: _____

DATOS DE CONTACTO:

Nombre: _____

Celular: _____

Correo: _____

INFORMACION DEL TRABAJO:

Institución Educativa: _____

Discapacidades: _____

Rango de Edades: _____

TRABAJO CON DISCAPACITADOS:

Necesidades: _____

Ideas: _____

Sugerencias: _____

Fig. 5: Encuesta a los profesores que trabajan con discapacidad de la ciudad de Tunja.

Fuente: Autor

Actividad 2: Estado del Arte sobre trabajos enfocados a cada una de las discapacidades que trabajan los colegios.

Municipio	Colegio	Correo	Institución Educativa	Discapacidades	Rango de Edades	Necesidades	Ideas	Sugerencias
1. Manizales (condición)	20200405		Escuela Normal Superior Santiago de Tunja	Discapacidad Visual	5-12 años	Acceso a contenidos de la TICs		
2. Bogotá (condición)	20200407	profesora@colegio.com	Escuela Normal Superior Santiago de Tunja	Discapacidad Visual	5-12 años	Acceso a contenidos de la TICs		
3. Bogotá (condición)	20200408	profesora@colegio.com	Escuela Normal Superior Santiago de Tunja	Discapacidad Visual	5-12 años	Acceso a contenidos de la TICs		
4. Bogotá (condición)	20200409	profesora@colegio.com	Escuela Normal Superior Santiago de Tunja	Discapacidad Visual	5-12 años	Acceso a contenidos de la TICs		
5. Bogotá (condición)	20200410	profesora@colegio.com	Escuela Normal Superior Santiago de Tunja	Discapacidad Visual	5-12 años	Acceso a contenidos de la TICs		
6. Bogotá (condición)	20200411	profesora@colegio.com	Escuela Normal Superior Santiago de Tunja	Discapacidad Visual	5-12 años	Acceso a contenidos de la TICs		
7. Bogotá (condición)	20200412	profesora@colegio.com	Escuela Normal Superior Santiago de Tunja	Discapacidad Visual	5-12 años	Acceso a contenidos de la TICs		
8. Bogotá (condición)	20200413	profesora@colegio.com	Escuela Normal Superior Santiago de Tunja	Discapacidad Visual	5-12 años	Acceso a contenidos de la TICs		
9. Bogotá (condición)	20200414	profesora@colegio.com	Escuela Normal Superior Santiago de Tunja	Discapacidad Visual	5-12 años	Acceso a contenidos de la TICs		
10. Bogotá (condición)	20200415	profesora@colegio.com	Escuela Normal Superior Santiago de Tunja	Discapacidad Visual	5-12 años	Acceso a contenidos de la TICs		

Fig. 6: Base de datos de las Discapacidades trabajadas en los colegios de la ciudad de Tunja.

Fuente: Autor

Actividad 3: Visita a los colegios: Reconocimiento de necesidades puntuales de los profesores en la enseñanza como en los niños al aprender.

Actividad 4: Selección de una discapacidad y un colegio en específico.

Etapas IV: Trabajo con la Discapacidad seleccionada

Actividad 1: Diario de Campo de Trabajo con los Niños.

Actividad 2: Selección del sistema que se ha de diseñar y a implementar según la necesidad.

Actividad 3: Diseño y construcción del prototipo electrónico.

Actividad 4: Prueba piloto del prototipo con los niños del

colegio (Esta se realizara en conjunto con los demás niños que tengan esa discapacidad en cada uno de los colegios).
Actividad 5: Prueba general con niños de otros colegios con la misma discapacidad.

Etapas V: Evaluación.

Actividad 1: Prueba Final y Sustentación

Actividad 2: Análisis y organización de resultados obtenidos.

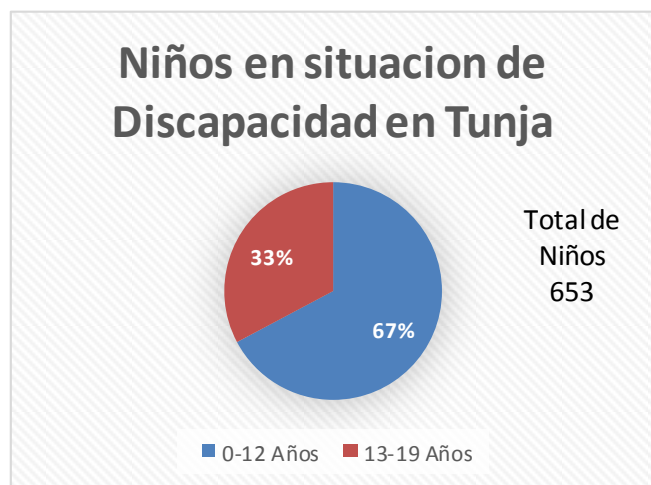
Actividad 3: Elaboración de informe donde se muestren los resultados obtenidos.

Actividad 4: Auto-evaluación del proyecto.

V. TRABAJO REALIZADO

Los Resultados parciales son:

- Actualmente en Tunja hay una población de 2600 discapacitados, de los cuales solamente 13331 están censados ya que su discapacidad les impide acercarse a la Secretaria de Discapacidad.
- En la ciudad de Tunja hay 653 niños en situación de discapacidad, donde 439 se encuentran entre los 0 a 12 años y 214 entre los 13 a 19 años.



Fuente: DANE Marzo 2010 - Dirección de Censos y Demografía

- Según la Secretaria de discapacidad, las capacidades que predominan en la ciudad de Tunja en Orden descendente son:
 1. Cognitiva
 2. Física
 3. Visual
 4. Auditiva
 5. Otras
- Las discapacidades que se trabajan en los colegios de Tunja son: Cognitiva-Síndrome Down, Motora, Visual, Limitación Auditiva y Parálisis Cerebral.
- La discapacidad más trabajada según la encuesta hecha a los profesores que trabajan discapacidad en toda Tunja es la Cognitiva o Síndrome Down.

- Los colegios que trabajan actualmente con discapacidad según la encuesta ya mencionada, en la ciudad de Tunja son 4.
- Las necesidades que se pudieron evidenciar en el estudio que más tienen los docentes es el acceso de sus niños con discapacidad a las TIC'S y las herramientas para facilitar el aprendizaje en el aula (Todo lo anterior fundamentado en la encuesta realizada a los profesores encargados del trabajo con niños discapacitados de la ciudad de Tunja).

Conclusiones:

Hasta el momento el proyecto se encuentra en la Etapa III: Trabajo con personas en Condición de discapacidad: Colegios
Actividad 1: Encuesta a los Docentes, la cual fue realizada con todos los profesores a cargo de los temas relacionados con discapacidad en colegios de la ciudad de Tunja y Actividad 2: Estado del Arte sobre trabajos enfocados a cada una de las discapacidades que trabajan los colegios

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Rafael Sánchez Montoya "Ordenador y discapacidad". CEPE S.L. Madrid 1997.
- Jenny Juliana Sanabria Silva, Heyver Senén Carrillo Cáceres. "Sistema pictográfico electrónico de comunicación para niños con Síndrome Down". Tunja, 2007.
- [http://www.who.int/disabilities/technology/es/\[1\]](http://www.who.int/disabilities/technology/es/[1])
- <http://www.indracompany.com/>
- http://www.colombiaaprende.edu.co/html/mediateca/1607/articles-132269_archivo.pdf
- <http://www.urosario.edu.co/Subsitio/IncluSer/imagenes/Publicaciones/Educacion-superior-para-estudiantes-con-discapacid.pdf>
- <http://recursostic.educacion.es/aeduc/aprender/web/discapacidades.html#a>
- <http://www.colombialider.org/wp-content/uploads/2011/03/discapacidad-en-colombia-reto-para-la-inclusion-en-capital-humano.pdf>
- [http://morfeo.upc.es/crom/mod/wiki/view.php?id=4&page=Accesibilidad+para+todos+y+Tiflotecnologia+\(acceso+a+los+ciegos+y+otras+discapacidades\)](http://morfeo.upc.es/crom/mod/wiki/view.php?id=4&page=Accesibilidad+para+todos+y+Tiflotecnologia+(acceso+a+los+ciegos+y+otras+discapacidades))
- http://www.tecnoayudas.com/index.php?option=com_content&view=article&id=14:aprendamos-sobre-comunicacion-aumentativa-y-alternativa

VII. BIOGRAFÍA DEL AUTOR



Vivianne Estefanía Niño Vega Nació en Tunja, Boyacá en 1996. Estudio su primaria y bachillerato en la Escuela Normal Superior Leonor Álvarez Pinzón de Tunja.

Desde muy pequeña se involucró con la investigación y las ciencias. De 2007 a

2012 hizo parte del grupo de investigación en biotecnología GIEB. En el 2009 crea el proyecto “Robótica Ecológica y Educativa” con el que obtiene varios reconocimientos al participar con la RedCOLSI a nivel departamental y nacional. En el año 2012 se gradúa de la ENSLAP como Bachiller Académico con Énfasis en Pedagogía.

Actualmente estudia en la Universidad Santo Tomas de Tunja el programa Ingeniería Electrónica 3º Semestre con beca de la Convocatoria Talento Digital. Además es miembro activo de IEEE, siendo la vicepresidenta de Rama Estudiantil USTA Tunja.

Monitorización y Seguridad en Redes de Infraestructura Crítica Mediante el Protocolo IPFIX

(Abril 2014)

Castro G. Hector, *Miembro IEEE*.

heccasgr@gmail.com

Abstract—In this article a monitoring system will be proposed for the critical infrastructure protection with IPFIX protocol. For this, a testbed has been planned consisting in a controlled example of critical cyber-assets networking which monitors and detects DoS and port scanning attacks. Beside, a java program was designed for mapping the txt files created by IPFIX into XML files that fulfill with the SML specifications of SWE, allowing to upload the registers to a SOS platform to be made it available to other tools or users that need access to such information.

Resumen—En el desarrollo del presente artículo se propondrá un sistema de monitorización para la protección de infraestructuras críticas mediante el protocolo IPFIX. Para ello, se ha diseñado un “testbed” conformado por un ejemplo controlado de red de ciber-activos críticos con la cual se buscó monitorizar y detectar ataques del tipo DoS y escaneo de puertos. A su vez, se desarrolló un programa en Java el cual se encarga de mapear los archivos txt de registros creados por IPFIX a archivos XML que cumplen con las especificaciones de SML de SWE, permitiendo subir los registros a una plataforma SOS para ser puestos a disposición de otras herramientas o usuarios que necesiten acceso a dicha información.

Índice de Términos— DoS, Escaneo de Puertos, Infraestructura Crítica, IPFIX, Netflow Analyzer, Nmap, Nprobe, SOS.

I. INTRODUCCIÓN

Las redes de telecomunicaciones juegan un papel fundamental en la gestión de infraestructuras críticas, para garantizar el correcto intercambio de información de control entre las diferentes entidades que componen el sistema crítico. Debido a la convergencia de las tecnologías a “todo basado en IP” sobre las que están evolucionado los sistemas SCADA, han pasado de ser soluciones propietarias y dedicadas a ser soluciones distribuidas. Sin embargo, este avance conlleva también problemas de los que se destaca la seguridad.

Hoy en día, los crímenes en el ciberespacio van en aumento y los fallos de seguridad en los sistemas de infraestructuras críticas no son la excepción. Una de las características que define a una infraestructura crítica es la

escala del impacto económico, político y social que produciría si fallara su sistema [1]. Está el claro ejemplo de Stuxnet, el cual fue un software dañino que infectó al sistema de una central nuclear en Irán y alteró el comportamiento de las turbinas de refrigeración del reactor [2].

Por lo anterior se requiere establecer un marco de monitorización que englobe todos los elementos integrantes de una infraestructura crítica con el fin de brindarle protección frente ataques cibernéticos. En el desarrollo del presente artículo se propondrá un sistema de monitorización para la protección de infraestructuras críticas mediante el protocolo IPFIX.

En el presente artículo se explicará la metodología de monitorización en la que se basó el proyecto (BUGYO) [3] y los diferentes bloques que componen el sistema de monitorización planteado: Infraestructuras críticas, protocolo para la monitorización de redes IPFIX, Arquitectura de monitorización y el registro de datos en un SOS. Finalmente se concluirá analizando los resultados obtenidos en cada una de las fases llevadas a cabo y los diferentes inconvenientes de diseño encontrados.

II. OBJETIVOS

A. Objetivo General

Diseñar y desarrollar un sistema de monitorización de red para infraestructuras críticas mediante IPFIX, permitiendo la detección efectiva de ataques de seguridad y generando archivos registro que puedan ser accedidos por otras aplicaciones.

B. Objetivos Específicos

- Conceptualizar un marco apropiado para la monitorización de una infraestructura crítica.
- Mostrar las ventajas que supone IPFIX como protocolo para el transporte de registros de datos de monitorización.
- Diseñar una arquitectura de red apropiada para la implementación de IPFIX.
- Analizar los problemas de diseño presentes actualmente en los sistemas de monitorización que utilizan IPFIX.

Paper enviado el 21 de Abril, 2014. Monitorización y Seguridad en Redes de Infraestructura Crítica Mediante el Protocolo IPFIX, presentado al Primer Encuentro Nacional de Semilleros de Investigación en Ingeniería Electrónica.

Castro G. Hector graduado con honores del Colegio Andino de Tunja. Finalizó el Master Oficial en Tecnologías, Sistemas y Redes de Comunicaciones de la Universitat Politècnica de València antes de finalizar

el pregrado. Actualmente es estudiante de décimo semestre de Ingeniería Electrónica de la Universidad Santo Tomás Seccional Tunja y miembro estudiantil del IEEE. E-mail: heccasgr@gmail.com

- Realizar una prueba de concepto del sistema de monitorización planteado, detectando ataques DDoS y escaneo de puertos.
- Programar una función en Java que permita la lectura de los archivos TXT generados por nProbe y los mapee a plantillas XML siguiendo la especificación SML de SWE.

III. CONCEPTO

A. Selección del Marco de Monitorización

Como se comentó anteriormente, los sistemas de control para infraestructuras críticas están evolucionando desde soluciones propietarias y dedicadas hacia marcos de funcionamiento basados en IP, trayendo consigo problemas de seguridad a los nuevos escenarios de sistemas SCADA, exponiéndolos a ciber-amenazas, por lo que es necesario la adopción de una estrategia efectiva de seguridad de red para la protección global de las infraestructuras críticas, tales como la red eléctrica, centrales de producción, transporte y distribución de gas y petróleo, y redes de distribución de agua.

A su vez, dicha estrategia debe formar parte de un marco de monitorización del sistema, el cual procese y represente la recolección de información, y la provea a los servicios o clientes que hagan uso de esta información de monitorización. Típicamente, la información en bruto es detallada en el lugar donde es recogida y por lo tanto, es utilizada por otros componentes software del sistema para llevar a cabo un tratamiento posterior de datos, tales como visualizaciones para usuarios humanos o sistemas de comando y control de adaptación automática en base al análisis algorítmico [4].

Como referencia para el desarrollo de la tesina se tomará la arquitectura de monitorización BUGYO (Building Security Assurance in Open Infrastructures), la cual provee de un marco de monitorización con formatos de protocolo basados en el uso de XML, que abarca el problema de la garantía de seguridad en los servicios, redes e infraestructura de telecomunicaciones [5]. El principal reto de este marco era el de proporcionar una solución al problema de la recopilación de datos relacionados con los mecanismos de monitorización y seguridad del sistema observado.

B. Planteamiento del Sistema de Monitorización

Continuando con la metodología BUGYO, una red de monitorización para la protección de Infraestructuras críticas tendría el siguiente esquema general:



Fig. 1. Aplicación de la metodología BUGYO al entorno de monitorización para CIP propuesto en el actual trabajo.

Analizando los componentes de la anterior figura, encontramos al usuario local y otros servicios o aplicaciones que al tener los permisos necesarios pueden acceder a la información recolectada por el centro de monitorización, el cual concentra toda la información procesada en sus bases de datos. El procesamiento de dicha información es realizado siguiendo el respectivo marco de monitorización teniendo en cuenta una serie de patrones definidos. Y por último, se posee la infraestructura crítica a monitorizar, la cual es en realidad un sistema SCADA. El concepto de sonda definido en BUGYO puede ser desplegado para tomar medidas o transportar información de los servidores, de las redes y las aplicaciones que conforman el sistema SCADA. La monitorización de los servidores podría ser llevada a cabo utilizando el protocolo SNMP; a la vez que los datos como mediciones, órdenes y actualizaciones, pueden ser gestionados mediante agentes móviles o simplemente ser transportados directamente sobre la red; mientras la monitorización de aplicaciones puede ser realizada mediante el estudio de ficheros de log de los procesos, servicios y sistemas operativos.

Sin embargo, es necesario que la monitorización de una infraestructura crítica extienda su ámbito al sector de las redes de telecomunicaciones. El actual proyecto se centra en la monitorización de este sector presentando como propuesta la implementación de IPFIX. Para ello se propone el siguiente sistema:

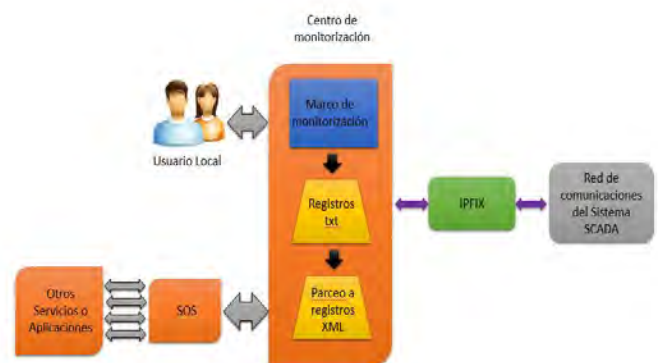


Fig. 2. Sistema de monitorización y seguridad para CIP implementando el protocolo IPFIX.

Entonces mediante IPFIX se buscará monitorizar diferentes parámetros que pueda poseer una red de comunicaciones del sistema SCADA tales como direcciones IP y MAC origen y destino de todos los paquetes enviados, flags de capa TCP, cantidad de bytes transportados, tipos de protocolo, puertos utilizados, etc. Los datos recolectados por el colector IPFIX entrarán al marco de monitorización donde serán procesados, analizados y presentados en forma visual a los usuarios locales. A su vez, se crearán registros txt entendibles para los usuarios y se parcarán automáticamente a formato XML (siguiendo el estándar OGC SWE) mediante un programa JAVA desarrollado por el autor del presente trabajo. Finalmente los registros en formato XML serán enviados a un SOS en donde serán almacenados, siendo accesibles por aquellos usuarios, servicios o aplicaciones que tengan los correspondientes permisos y requieran el uso de dichos registros.

IV. IPFIX

IPFIX (IP Flow Information Export) es un estándar del IETF para la exportación de la información que fluye en redes IP. El protocolo IPFIX es usado para maximizar la flexibilidad y la interoperabilidad en los sistemas de monitorización de redes. Dicho protocolo se creó con los objetivos de ser funcional tanto en redes actuales como futuras y de ser aplicado en la gestión de redes detrás de las capas de red y de transporte según el modelo OSI. IPFIX es un protocolo de transporte independiente y unidireccional con una representación flexible de datos y un modelo de información que intenta suplir la mayoría de las necesidades, en cuanto a gestión de redes, de las capas 3 y 4 siguiendo el modelo OSI [6].

El protocolo Netflow V9 fue seleccionado como base de IPFIX debido a que implementa plantillas que flexibilizan la definición de la información que se está transfiriendo.

Ahora, ¿Por qué el uso de IPFIX como protocolo de monitorización?. La respuesta se encuentra en el hecho de que IPFIX permite recopilar datos de todos los paquetes que pasan por la red consumiendo muy pocos recursos de la misma y proporcionando gran escalabilidad. Además, su protocolo de capa de transporte está diseñado para asegurar la correcta llegada de los registros a su destino en caso de congestión. La clave de la innovación en IPFIX es la flexible definición de flujo de red y los formatos de registro a través de plantillas basadas en un modelo de información bien definido y extensible, independiente del protocolo de transporte usado o el tipo de trama del mensaje. Otra significativa ventaja es el uso de elementos de información tanto los definidos por IANA como los privados definidos por el usuario.

Sin embargo, aunque IPFIX es un protocolo estandarizado en 2007, aún no se encuentra operativo en los diferentes equipos de redes, de hecho es complicado encontrar aplicaciones que lo implementen. Esta falta de desarrollo y motivación por el protocolo es debida a su complejidad de programación proporcionada en su mayor medida por el manejo de las plantillas y por los elementos de información, ya que, como es bien sabido, lograr la compatibilidad de un protocolo con la diversidad de fabricantes de equipos no es una tarea fácil.

V. ARQUITECTURA DE MONITORIZACIÓN MEDIANTE IPFIX

A. Descripción de la Testbed Propuesta

La testbed propuesta para las pruebas del proyecto está conformada por 3 ciber-activos críticos conectados a un switch conformando una LAN, el cual a su vez se encuentra conectado a un router que sirve como puerta de acceso a otras redes (punto de acceso electrónico), por ejemplo una red corporativa. Dichos ciber-activos críticos pueden asemejarse a ordenadores, servidores, centros de control de SCADA, entre otros.

Además en otro lugar se encuentra el sistema de monitorización de redes, en el cual se centraliza todos los datos de monitorización. En la siguiente figura puede observarse la estructura física de red con las direcciones IP de los equipos:

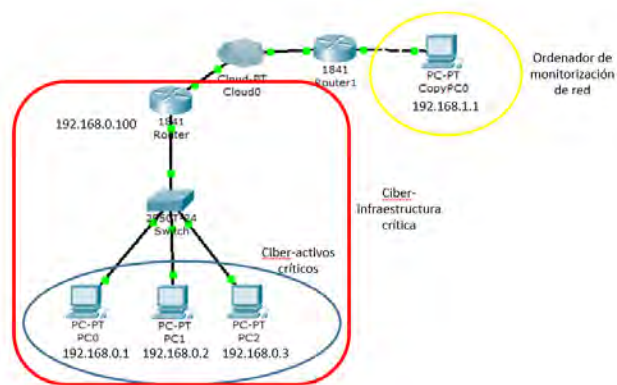


Fig. 3. Red de ciber-activos críticos a monitorizar.

B. Red de Monitorización Ideal Utilizando el Protocolo IPFIX

Para implementar el protocolo IPFIX es necesario definir que entidades actuaran como exportadores y colectores. En la figura N, se puede apreciar fácilmente que el único punto de acceso electrónico del perímetro electrónico diseñado es el router con dirección IP 192.168.0.100, el cual sería un perfecto exportador de paquetes IPFIX ya que toda la información que entra a la red de ciber-activos críticos debe pasar por él. Idealmente, el protocolo IPFIX estaría instalado dentro del router.

En cuanto al colector IPFIX, es obvio ubicarlo en el ordenador destinado a recibir los datos de monitorización de la red. Cabe destacar que no siempre es así. Como se estudió en el apartado de arquitectura de IPFIX, se pueden agregar procesos intermedios, los cuales por ejemplo pueden ser de gran utilidad en redes muy grandes donde se monitorice gran número de equipos. Entonces se agregan estos procesos intermedios para recolectar y unificar información IPFIX de ciertas zonas, y luego si enviarla al colector IPFIX central.

Por último, para aprovechar la facilidad que proporciona IPFIX de crear archivos que contengan todos los registros de monitorización, se puede crear una base de datos dentro del ordenador donde se aloja el colector IPFIX o en su defecto agregar un servidor donde se vayan almacenando todos los registros de monitorización y estén disponibles para ser utilizados por otras aplicaciones como se podrá observar en el apartado VI.

Por lo tanto si se implementara de forma ideal el protocolo IPFIX para la red propuesta anteriormente, se representaría como se muestra a continuación:

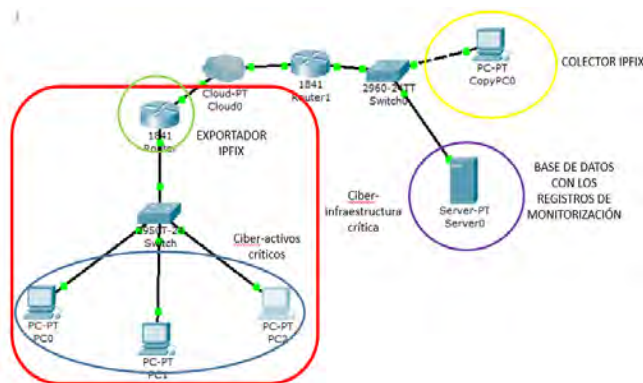


Fig. 4. Red de ciber-activos críticos desde el punto de vista del protocolo IPFIX ideal.

El router con el exportador IPFIX instalado generará las plantillas y los registros de datos de toda la información que entre y salga del perímetro electrónico definido y los enviará utilizando el protocolo SCTP al colector IPFIX que se encuentra instalado en el ordenador de monitorización. Este recibirá todos los datos, los procesará y los presentará en la aplicación de monitorización de red que se esté utilizando. Adicionalmente, generará los archivos respectivos almacenando toda la información de las plantillas y los registros recibidos, y los guardará donde se haya definido, en este caso, un servidor que se encuentra en la misma LAN que el ordenador encargado de la monitorización.

Sin embargo, hoy por hoy son muy pocos los equipos de red que ya tienen implementado dicho protocolo, por lo que surge el primer y mayor inconveniente de la aplicación de IPFIX directamente sobre un equipo de red. En consecuencia deben ser exploradas nuevas alternativas para la utilización de dicho protocolo.

C. Implementación Real de IPFIX sobre la Red de Monitorización Propuesta

Después de probar diferentes exportadores IPFIX se llegó a la elección de utilizar el software nProbe, ya que es fácil de implementar, es un software actualizado y ofrece múltiples opciones para el uso de IPFIX, tales como la selección del protocolo de transporte, selección de elementos de información tanto corporativos como los estandarizados por IANA, entre otros. Este fue instalado en el ordenador con dirección IP 192.168.0.1.

Para la elección de un colector IPFIX se realizaron pruebas con diferente software de monitorización y el seleccionado fue Netflow Analyzer, ya que es un software de monitorización eficiente, con interfaces gráficas muy descriptivas y fáciles de analizar, sistemas de programación de alertas ante incidentes de seguridad y funcionamiento de la red, entre otras aplicaciones. Este fue instalado en el ordenador de monitorización de red con dirección IP 192.168.1.1.

Por otra parte, una red de comunicaciones de infraestructuras críticas posee gran variedad de clases de ciber-activos críticos en las que se incluyen sensores, PLC's, dispositivos móviles y otro tipo de equipos industriales o de uso corporativo que no pueden soportar la instalación de un software como nProbe. De ahí surge la necesidad de plantear una forma de monitorizar el perímetro electrónico propuesto centralizando la información de monitorización en un solo punto, utilizando equipos de red que no soportan IPFIX. Como solución se plantea la siguiente arquitectura de red:

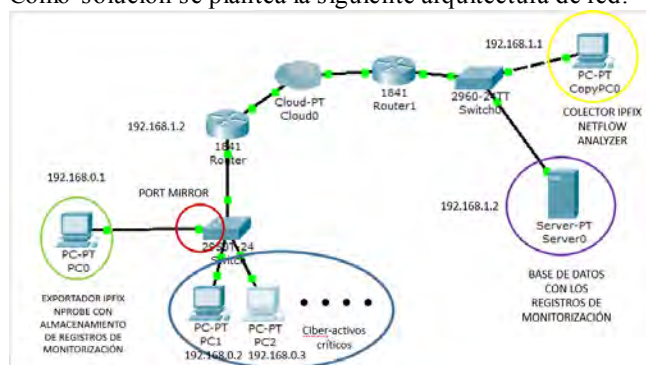


Fig. 5. Red de ciber-activos críticos con la implementación de IPFIX utilizando la opción "port mirror" del switch.

En este nuevo diseño se implementó la configuración de "Port mirror", la cual es implementada por los switches. Entonces se instaló la sonda nProbe en un ordenador que se especificó como exportador IPFIX y el puerto por el que se conectó al switch se habilitó como "port mirror", es decir que todo el tráfico que circula por la red era copiado al "port mirror" y enviado al host exportador IPFIX, el cual recopilaba toda la información, generaba los registros IPFIX y los enviaba al colector IPFIX. A su vez también los almacenaba en memoria en archivos de texto. Con lo anterior se logró monitorizar todo el tráfico que circulaba por el perímetro electrónico propuesto.

Una vez configurados los equipos con las direcciones IP correspondientes, con el exportador y el colector IPFIX funcionando, se procedió a poner en marcha el intercambio de información para generar el tráfico de paquetes del tipo ICMP, HTTP, SNMP, SIP y otro tráfico propio de los equipos Cisco. Entonces la red estuvo en funcionamiento y todos los equipos (ciber-activos) con nProbe instalado primero enviaron al colector la plantilla IPFIX que iban a utilizar, que en este caso es la plantilla que se configuró anteriormente y luego comenzaron el envío de los registros de monitorización. Además cada 5 minutos los equipos fueron generando archivos de texto con la información de los registros de monitorización, los fueron almacenando en el directorio configurado y los fueron organizando en carpetas según el año, mes, día y hora del registro.

D. Aplicación de IPFIX para la Detección de Ataques

Con el fin de mostrar la funcionalidad de una red de monitorización utilizando el protocolo IPFIX, se plantearon dos ciber-ataques: un ataque de denegación de servicio TCP SYN flooding y un escaneo de puertos. Para ello se utilizaron dos herramientas, HPING3 y NMAP, respectivamente. A continuación se puede observar el planteamiento del ataque:

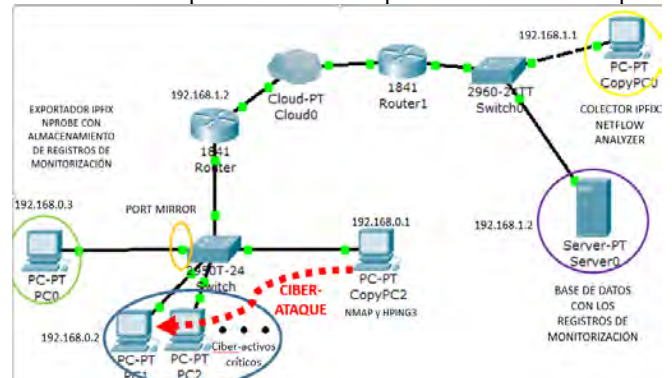


Fig. 6. Ciber-ataque en la red monitorizada usando el protocolo IPFIX.

En esta figura se encuentra la red propuesta anteriormente, con la diferencia de que ahora existe un host infectado (dirección IP 192.168.0.1) que se encuentra realizando ciber-ataques al ciber-activo crítico con dirección IP 192.168.0.2, del tipo TCP Syn flooding y escaneo de puertos. Ahora el host que posee instalado nProbe tiene la dirección IP 192.168.0.3.

1) Detección de Ataques de Escaneo de Puertos Utilizando IPFIX

Para generar un ataque de escaneo de puertos se instaló la herramienta Nmap en el host atacante y se configuró para que usara mensajes de ACK con el fin de que el ciber-activo con

Origen	Destino	Protocolo	Puerto de origen	Puerto de dest.	Tráfico	Añadir
192.168.0.1	192.168.0.2	TCP	51295	8183	159.99 KB	Añadir asignación
192.168.0.1	192.168.0.2	TCP	51295	4242	129.99 KB	Añadir asignación
192.168.0.1	192.168.0.2	TCP	51295	9079	129.99 KB	Añadir asignación
192.168.0.1	192.168.0.2	TCP	51295	8925	129.17 KB	Añadir asignación
192.168.0.1	192.168.0.2	TCP	51295	16828	139.17 KB	Añadir asignación
192.168.0.1	192.168.0.2	TCP	51295	32774	129.17 KB	Añadir asignación
192.168.0.1	192.168.0.2	TCP	51295	5952	129.17 KB	Añadir asignación
192.168.0.1	192.168.0.2	TCP	51295	52679	139.17 KB	Añadir asignación
192.168.0.1	192.168.0.2	TCP	51295	5559	138.34 KB	Añadir asignación
192.168.0.1	192.168.0.2	TCP	51295	16992	120.34 KB	Añadir asignación

Fig. 9. Parte de la tabla de puertos utilizados por el tráfico desconocido detectado en la red monitorizada.

dirección IP 192.168.0.2 responda y así determinar que puertos están abiertos y descubrir debilidades en la seguridad del host.

Revisando el análisis realizado por el software Netflow Analyzer, estos fueron los resultados:



Fig. 7. Aplicación de máximo consumo cuando existe un ciber-ataque de escaneo de puertos en búsqueda de vulnerabilidades.

En la anterior figura se muestra el porcentaje de tráfico circulante por la red de cada protocolo utilizado. Sin embargo, se destaca que existe un tráfico sin identificación que conformó el 93% del tráfico total de la red, lo cual es la primera bandera de alerta. Luego se analizó la gráfica de los protocolos de transporte utilizados en la red en el tiempo de monitorización:

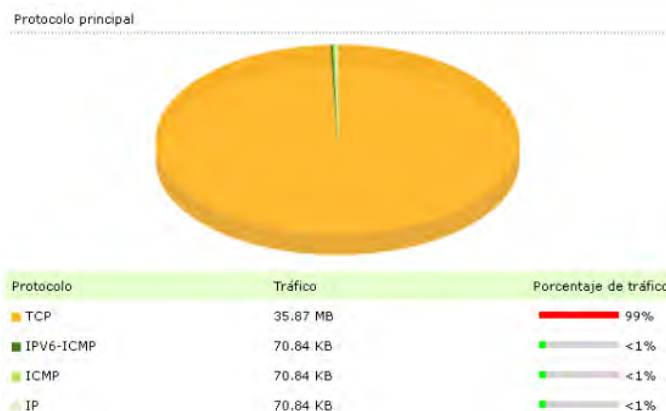


Fig. 8. Protocolos de transporte utilizados en la red mientras se realizó el ciber-ataque.

En esta gráfica se puede observar que el tráfico desconocido de 35.87 MB detectado anteriormente utilizó el

protocolo TCP como capa de transporte. Por lo que por ejemplo, ya se puede sospechar de un ataque de denegación de servicio o un escaneo de puerto.

Entonces se utiliza la herramienta de Netflow Analyzer que permite conocer los puertos utilizados por cada tráfico. En la figura 9 se puede observar parte de la tabla del uso de puertos detectado por Netflow Analyzer a partir de la información entregada con el protocolo IPFIX. En esta se puede ver claramente que el la dirección IP 192.168.0.1 utilizando el protocolo TCP y el puerto 51295 envió múltiples paquetes de aproximadamente el mismo tamaño a una gran cantidad de puertos de la dirección IP 192.168.0.2.

Con toda la información obtenida anteriormente utilizando el protocolo IPFIX y el colector Netflow Analyzer se puede concluir fácilmente que el host 192.168.0.1 realizó un escaneo de puertos al ciber-activo crítico con dirección IP 192.168.0.2.

Con los resultados anteriores se demostró una de las posibles implementaciones de IPFIX para el sector de monitorización y seguridad de redes, ya que mediante este protocolo se pudo descubrir un ataque del tipo escaneo de puertos.

2) Detección de Ataques DoS TCP SYN Flooding Utilizando IPFIX.

Para generar un ataque DoS TCP SYN Flooding se instaló la herramienta HPING3 en el host atacante y se configuró para que generara paquetes TCP con el flag SYN activado y enviarlos a máxima velocidad al host 192.168.0.2.

Los resultados luego de revisar el análisis realizado por el software Netflow Analyzer, pueden observarse en la figura 10. En esta se muestra el porcentaje de tráfico circulante por la red de cada protocolo utilizado. Sin embargo, se destaca que existe un tráfico HTTP de 282.44 MB que conformó el 99% del tráfico total de la red, lo cual es un tráfico excesivo para la cantidad de datos transportada normalmente. Además, como es de esperarse, el protocolo TCP fue el principal protocolo de transporte utilizado.

Con los datos anteriores se intuye directamente que no se trató de un fallo de sistema sino de un ciber-ataque que generó en ciertos momentos altas ráfagas de paquetes a sólo un ciber-activo crítico utilizando el protocolo TCP, saturando la conexión de dicho dispositivo, quitándole la posibilidad de que este transmitiera información. En otras palabras, se trata de un ataque de denegación de servicio del tipo TCP SYN flooding.

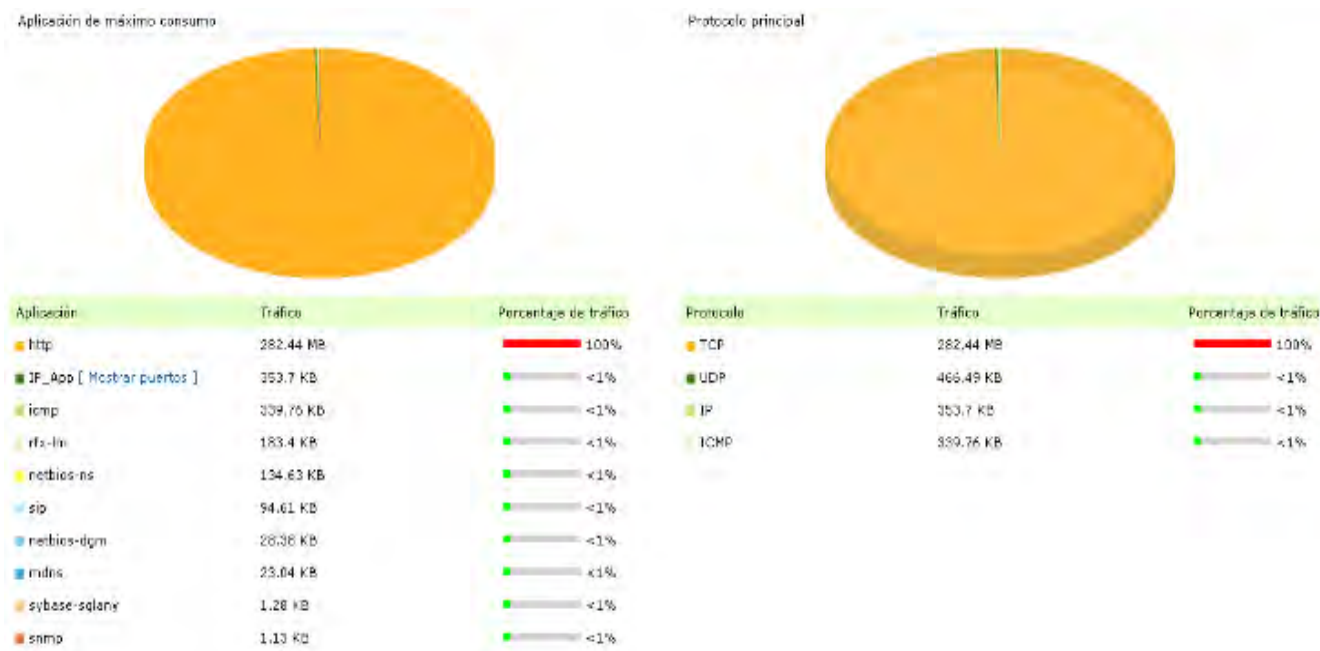


Fig. 10. Aplicación de máximo consumo y protocolo de transporte principal cuando existe un ciber-ataque del tipo TCP syn flooding.

VI. REGISTRO DE DATOS EN EL SOS: “IPFIX ASA SENSOR”

El software nProbe utilizado permite generar estos ficheros con formato binario o de texto. Para este caso se utilizará el formato texto.

A. SWE: SML y SOS

SWE Sensor Web Enablement es una iniciativa creada por OGC (Open Geospatial Consortium) que se encarga de desarrollar estándares para acceder y controlar sensores y redes de sensores a través de internet. Lo anterior promueve la interoperabilidad y la definición de los distintos servicios y componentes. SWE posee varias especificaciones según su modelo, pero para el desarrollo del proyecto interesan dos en concreto [7]:

1) SML

Es un lenguaje que describe un formato común para la descripción de sensores y sistemas de sensores. El principal objetivo es el de que los sensores puedan ser modelados como procesos.

2) SOS

Es el principal modelo de servicio del framework SWE y su objetivo es el de dar acceso a las observaciones de los sensores y sistemas de sensores de forma estándar. SOS cumple con la especificación SML para modelar sensores y sistemas de sensores.

En el presente proyecto se utilizaron dos plantillas XML con lenguaje SML para poder registrar el sensor “IPFIX” y poder ingresar los registros de datos, cuyos nombres son *RegisterSensor.xml* y *InsertObservation_GenericObs_Derwent.xml* respectivamente.

B. Programa de Parceo de TXT a XML

Utilizando la herramienta eclipse se desarrolló un programa en Java que realiza la lectura de los archivos TXT generados por nProbe, almacena los valores en vectores,

luego reemplaza los valores en las plantillas XML comentadas en el apartado anterior y finalmente genera los archivos XML con la especificación SML.



Fig. 11. Esquema general de funcionamiento del programa desarrollado en lenguaje JAVA para el parceo de archivos TXT a XML.

Entonces, al final de la ejecución del programa, se generan las dos plantillas XML *RegisterSensor.xml* e *InsertObservation_GenericObs_Derwent.xml* con los datos y listas para ser enviadas al SOS. El esquema de la plantilla *RegisterSensor.xml* se puede ver a continuación:

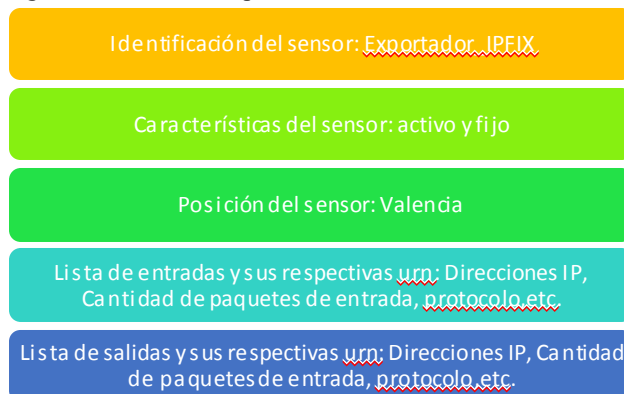


Fig. 12. Esquema general de la plantilla *RegisterSensor.xml*.

El esquema de la plantilla *InsertObservation_GenericObs_Derwent.xml* es el siguiente:

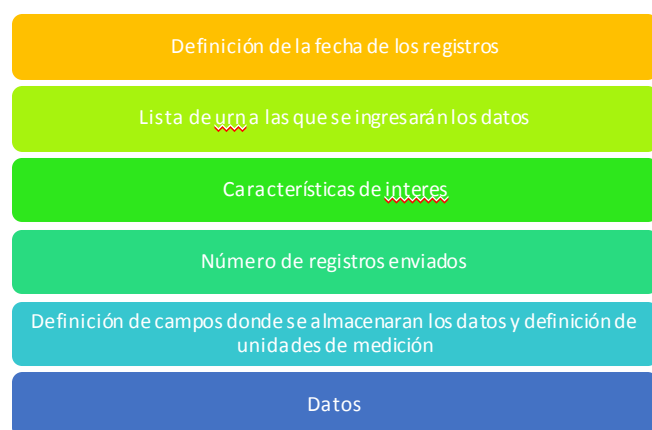


Fig. 13. Esquema general de la plantilla *InsertObservation_GenericObs_Derwent.xml*.

Finalmente, los archivos XML son enviados al SOS. Primero se envía la plantilla *RegisterSensor.xml* para registrar el sensor IPFIX junto con todos los identificadores de los datos que se enviarán en los registros. Una vez el sensor se encuentra registrado se comienzan a enviar plantillas *InsertObservation_GenericObs_Derwent.xml* con los diferentes datos.

VII. CONCLUSIONES

En el desarrollo del proyecto expuesto, se presentó un sistema de monitorización para la protección de redes de infraestructuras críticas mediante el uso de IPFIX. Entrando en más detalle, se mostró la importancia de que el marco de monitorización de dichas estructuras abarque sus elementos integrantes además de las redes de telecomunicaciones que los interconectan para la detección de ataques de seguridad cibernéticos.

La arquitectura de monitorización BUGYO es una buena base para el planteamiento de sistemas de monitorización ya que es fácil de asimilar y cubre de forma general los requisitos necesarios para la protección de una infraestructura crítica.

IPFIX demuestra ser un protocolo eficiente, con gran flexibilidad e interoperabilidad en los sistemas de monitorización de redes gracias al uso de plantillas y la generación de archivos de registro. A su vez garantiza la correcta llegada de los registros a su destino en caso de congestión gracias al protocolo SCTP. Además de poseer la ventaja de que es un protocolo abierto, es decir, no tiene propietario (a diferencia de su antecesor Netflow V9).

Sin embargo, a pesar de que se encuentra estandarizado, IPFIX es un protocolo que aún no se encuentra incluido en los equipos de red y de hecho existen pocas herramientas software que lo implementen a cabalidad; por lo que es necesario optar por nuevas alternativas de implementación mientras los fabricantes incluyen en sus diseños este protocolo, como la presentada en este artículo.

Por otra parte, el programa desarrollado en lenguaje Java brinda grandes ventajas debido a que no sólo transcribe correctamente los datos de los ficheros texto a las plantillas XML, sino que además permite el almacenamiento de datos

en variables, dando la posibilidad de crear más aplicaciones Java que puedan aprovechar dichos recursos.

A su vez, la integración del sistema de monitorización con herramientas de SWE como el SOS dan características de interoperabilidad con otros sistemas, ya que pone a disposición de usuarios y servicios autorizados los datos de monitorización bajo la misma especificación SML.

Finalmente se concluye que el sistema de monitorización funciona y es apto para la detección de ciertos tipos de ataques a la red ya que dió como resultado la correcta detección de ataques DDoS y escaneo de puertos, haciendo del proyecto una propuesta aceptable para la monitorización y seguridad de redes de infraestructuras críticas.

REFERENCIAS

- [1] "Ciberseguridad, retos y amenazas a la seguridad nacional en el ciberespacio", Ministerio de Defensa, España, Diciembre, 2010.
- [2] "The real story of Stuxnet", IEEE spectrum, March 2013.
- [3] Technical Report, ETSI TR 187 023 V1.1.1 (2012-13) http://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/187000_187099/187023/01.01.01_60/tr_187023v010101p.pdf
- [4] T. K. Reijo y S. H. Artur, *An adaptive and dependable distributed monitoring framework*. *International Journal on Advances in Security*, 2011.
- [5] O. Moussa, K. Djamel, entre otros, *Deployment of a security assurance monitoring framework for telecommunication service infrastructure on a VoIP service*, University of East London, England, 2008.
- [6] T. Brian y B. Elisa, *An introduction to IP Flow Information Export (IPFIX)*, Zurich, 2011.
- [7] T. Tim y D. David, *Communications technologies and practices to satisfy NERC Critical Infrastructure Protection (CIP)*, Schweitzer Engineering Laboratories Inc., USA, 2006.
- [8] K. Radek, *Network Traffic Collection with IPFIX Protocol*, Master's Thesis, Brno 2009.
- [9] A. Cristina, *Wide-Area Situational Awareness for Critical Infrastructure Protection*, Universidad de Malaga, España, 2013.
- [10] D. Luca, Guía de usuario nProbe, 2010.
- [11] <http://www.manageengine.com/products/netflow/spanish/>
- [12] <http://www.hping.org/hping3.html>
- [13] www.nmap.org
- [14] http://europa.eu/legislation_summaries/justice_freedom_security/fight_against_terrorism/l33260_es.htm
- [15] <http://www.cnpic-es.es/>
- [16] P. Christophe, H. Perttu, entre otros, *BUGYO beyond – security assurance cockpit features specifications*, 2013.
- [17] G. Pablo, *Simulador web de redes de sensores para la automatización industrial*, tesina de máster, 2011.

CASTRO G. HECTOR LUIS (M²2010) nació el 27 de Junio de 1993 en la ciudad de Tunja, Colombia. Se graduó con honores del Colegio Andino de Tunja, proyecto laureado titulado "Reciclaje de papel en el Colegio Andino de Tunja". Es voluntario inactivo de la Cruz Roja Colombiana. Participó junto con el equipo de robótica de la Universidad Santo Tomás Seccional Tunja en el torneo nacional de robótica VEX desarrollado en Campus Party Bogotá 2011 posesionándose como subcampeones nacionales y cuartos en el torneo. Es miembro estudiantil del IEEE. Antes de determinar su pregrado, finalizó el Máster en Tecnologías, Sistemas y Redes de Comunicaciones en la Universitat Politècnica de València en el año 2014. Actualmente es estudiante de ingeniería electrónica de la Universidad Santo Tomás Seccional Tunja.

Vehículo de vigilancia controlado por joystick y radio frecuencia

Andres Camilo Puin Najar
Tunja, Colombia
Andres.puin@usantoto.edu.co

Cristian Rolando Vargas Abril
Tunja, Colombia
Cristian.vargasa@usantoto.edu.co

Daniel Yesid Mojica Cruz
Tunja, Colombia
Daniel.mojica@usantoto.edu.co

Abstract— Developing a prototype project monitoring different spaces which is operated by radio frequency modules and besides that has cameras and sensors to detect motion in surveillance zones is presented in the following article.

Keywords— cameras, radio frequency modules, sensors, monitoring

I. INTRODUCCIÓN

El siguiente artículo, presenta un modelo de robot que mejore la calidad en el proceso vigilancia, por lo tanto se apunta al diseño de un robot que ejecute este trabajo y que mejore la calidad de seguridad; en principio, el funcionamiento del robot se basará fundamentalmente por el reconocimiento de los lugares (cámara integrada) y sistemas mecánicos robóticos; a través de este proceso, el robot verificará el estado de seguridad del lugar y la detección de movimiento en el mismo.

II. DESAROLLO

ESTRUCTURA MECÁNICA DEL VEHÍCULO

Se tomó la decisión de utilizar VEX ROBOTICS como la marca para implementar el mecanismo del robot, en la figura que se presenta a continuación se muestra el esquema del prototipo que se implementó.

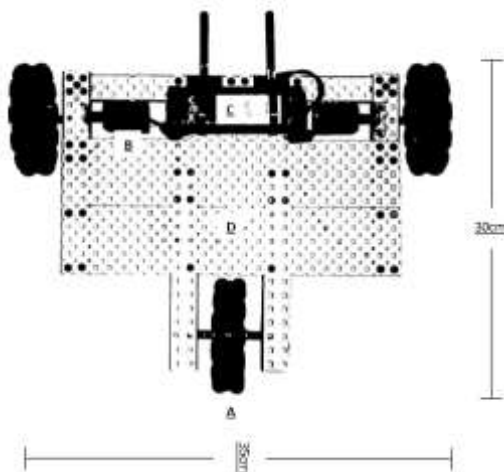


Figura 1: Modelo del robot

PROGRAMACIÓN

La programación para la realización de este proyecto se utilizó dos entornos de programación LabVIEW y CCS COMPILER.

Programación en LabVIEW

En LabVIEW se tuvo el manejo de tres componentes para el proyecto, el primero la utilización de un joystick para el manejo del vehículo.

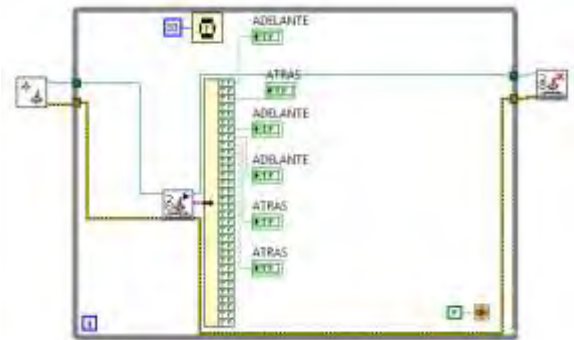


Figura 2: Adquisición de datos del control

Como segunda parte se realiza una comunicación serial por medio del módulo visa que pertenece a LabVIEW con uno de los micros controladores para que este pudiera interpretar un carácter y realizar una instrucción para el movimiento del vehículo.

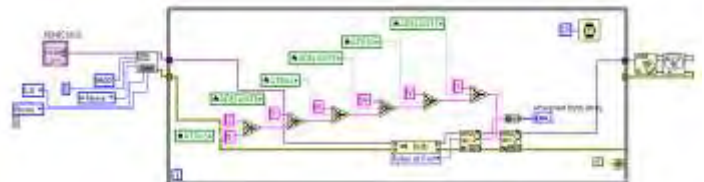


Figura 3: Comunicación serial para el envío de datos al microcontrolador para el control del vehículo.

En último lugar se encuentra la parte en la que se observa la dirección que tiene el vehículo, esta se realizó por medio de

módulo de LabVIEW graphics and sound, el cual permite crear un modelo para este caso de un rectángulo que simularía nuestro vehículo apoyado por medio del giróscopo y acelerómetro.

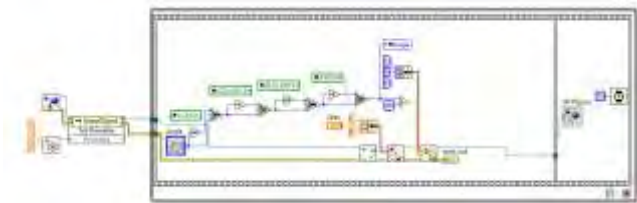


Figura 4: Modelo del cubo en 3D.

Por medio de las variables locales creadas para el control de los botones de digitales del joystick y la ayuda de los sensores se controla el movimiento de la figura en 3D que simularía el giro del vehículo.

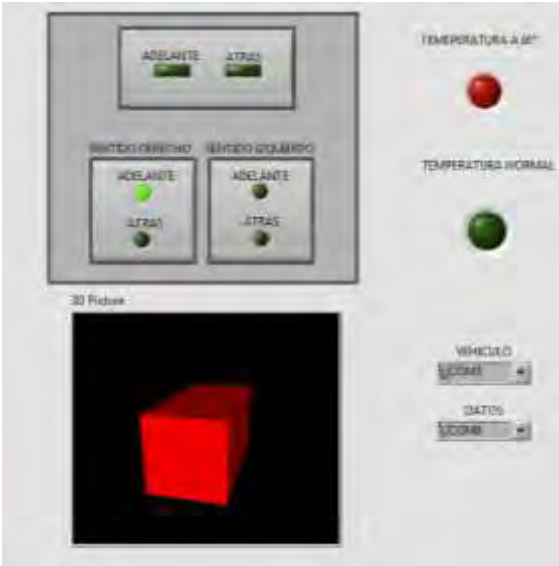


Figura 5: Interfaz de usuario del robot.

En la figura anterior observamos el funcionamiento de la figura en 3D, cuando verifica el estado verdadero de una de las variables locales del joystick la figura realiza un giro.

Programación en CCS

Para el desarrollo del proyecto se realizaron dos programas en CCS para dos microcontroladores, uno para la plataforma del robot y otro dos que se ubican junto con el computador.

En el primer microcontrolador se implementó el control de vehículo, principalmente su funcionamiento se basa en recibir por comunicación serial un dato enviado desde LabVIEW, este dato tendrá un valor o una variación dependiendo del botón pulsado desde LabVIEW y según este dato enviará un carácter por el puerto de comunicación serial para después enviar ese dato por medio de radio frecuencia al vehículo; en

el siguiente diagrama de flujo se explica a grosso modo el funcionamiento de esta parte del proyecto.

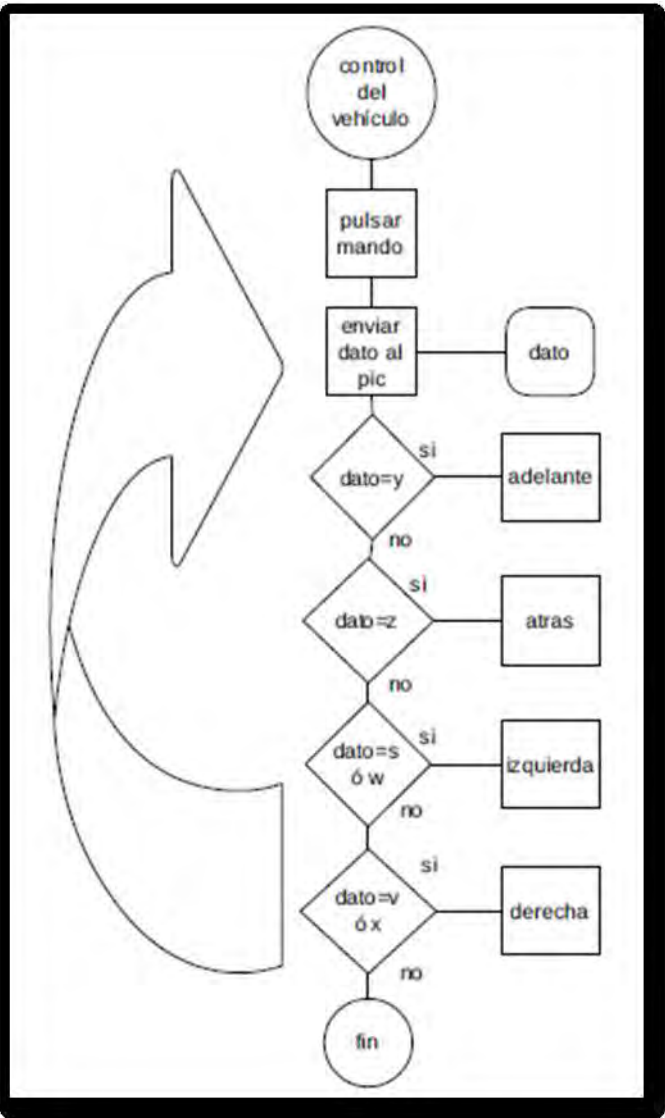


Figura 6: Diagrama de flujo de movimiento del carro.

En el segundo microcontrolador se efectuaron distintos procesos, la conversión análogo digital de los datos que arroja el acelerómetro y el giróscopo en el eje x y en el eje y; estos datos se observan en una lcd y a su vez se realiza una serie de condiciones en las cuales se indicará la aceleración del vehículo y su posición dependiendo de su inclinación y giro por medio de led presentes en el microcontrolador para este proyecto se determinaron rangos de diez en diez hasta llegar a su valor máximo y mínimo para después ser enviados al pc y controlar la Figura 3D.

El programa evaluara las distintas condiciones de la lectura de sensor continuamente para actualizar el dato que irá tomando el sensor, el funcionamiento de este programa se puede observar en el siguiente diagrama de flujo.

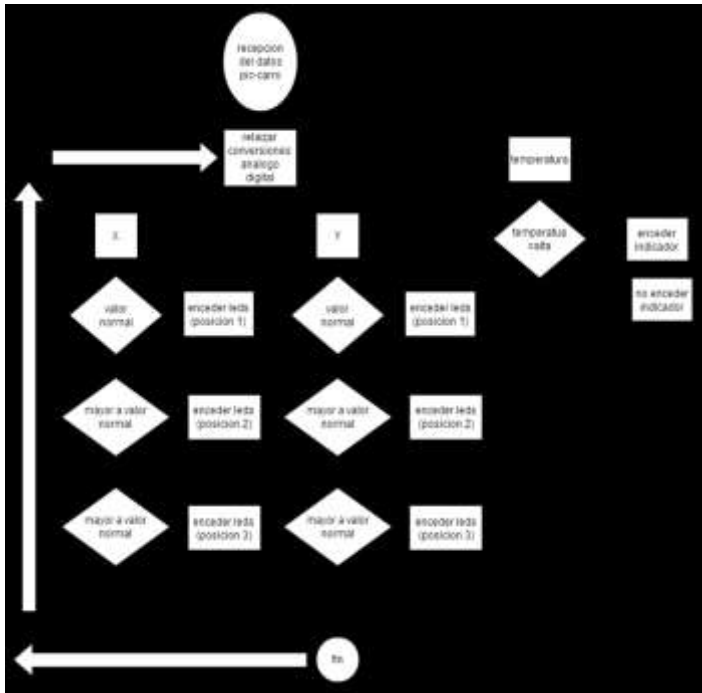


Figura 7: Diagrama de flujo del acelerómetro.

Por ultimo para la implementación de un cámara android al vehículo se utilizó una aplicación llamada ip webcam la cual permite conectar la cámara del celular a nuestro pc simplemente abriendo un enlace en el navegador o con algún reproductor como VLC; en este caso abrimos un enlace que nos proporciona la aplicación en android el cual se configura en el pc para poder visualizar la cámara que irá incorporada en el vehículo.

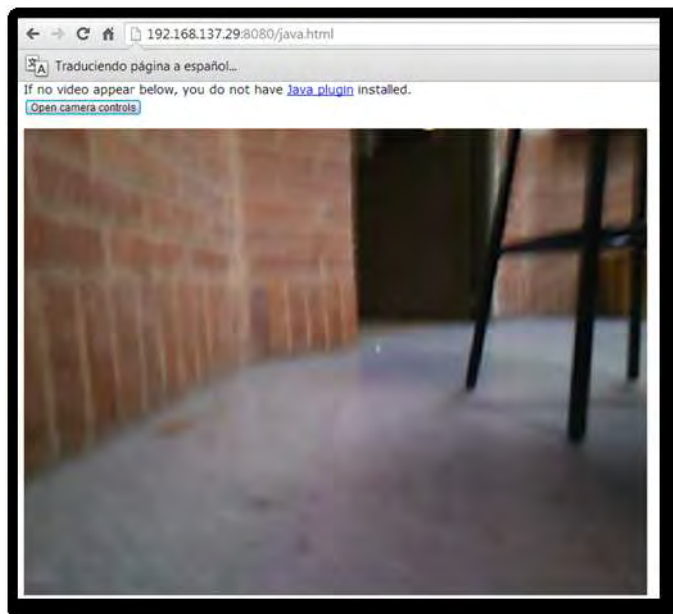


Figura 8: Visualización de la cámara desde el PC.

III. CONCLUSIONES

El éxito de la correcta transmisión de datos para los distintos procesos que maneja el robot está en el correcto uso de los módulos de comunicación y la forma del envío de los datos para que se tenga prioridad en las tareas que requieran mayor rapidez.

El prototipo que se implementó genera diversos inconvenientes en cuanto a movilidad en distintos terrenos como escaleras, lo que da paso a continuar con la investigación y generar mejores prototipos para superar estas dificultades.

La implementación de la cámara web nos genera una herramienta útil en cuestiones de seguridad, por lo que podremos adquirir estas imágenes a través de programas como labview y realizar un tratamiento para aplicarlo por ejemplo a la detección de movimiento en las zonas en las que se esté operando el robot.

IV. REFERENCIAS

- [1] E. G. Breijo, de *Compilador Ccs Y Simulador Proteus Para Microcontroladores Pic*, Alfaomega.
- [2] A. M. Lázaro, «Programación Gráfica para el Control de Instrumentación,» de *Labview 6i*, Paraninfo, 2001.
- [3] C. Gifford, «Descubre cómo funcionan estas máquinas,» de *Robots*, SM Saber, 1998.
- [4] L. J. Aguilar, de *Metodología de Programacion*, MCGRAW-HILL, 1990.
- [5] A. O. Baturone, de *Robótica: Manipuladores y Robots Móviles*, Alfaomega, 2007.

Prototipo del sistema de riego temporizado para la elaboración de forraje hidropónico a tamaño escala.

Romero, Leriant

leriant.romero@usantoto.edu.co

Resumen— La automatización es una rama de la ingeniería electrónica donde las tareas realizadas por operadores humanos, se transfieren a un conjunto de elementos tecnológicos y/o electrónicos aplicada a los sectores industriales, con la puesta en marcha de máquinas, equipos y diversos procesos electrónicos, y en este caso en el sector agrícola; teniendo en cuenta las diferentes necesidades o problemas presentes dentro de la producción de alimento para los ganados se busca dar una posible visualización para ayudar a satisfacer esa necesidad.

Palabras clave- Automatización, forraje hidropónico, programación, sistema de riego.

Abstract- Automation is a branch of electrical engineering where the tasks performed by human operators, transferred to a set of processing elements and / or electronic applied to industrial sectors, with the commissioning of machines, equipment and various electronic processes and in this case in the agricultural sector, taking into account the different needs or problems present within food production for cattle was looking to a possible view to help meet that need.

Keywords – Automation, hydroponic fodder, programing, irrigation system.

I. INTRODUCCIÓN

Al enfocar la automatización para un sistema de riego temporizado en la elaboración de forraje hidropónico, inicialmente se llevan a cabo distintas pruebas de los posibles circuitos a implementar para el funcionamiento de dicho sistema, teniendo en cuenta el tipo de variables a medir o utilizar como lo son: la temperatura ambiente donde están ubicadas las bandejas que contienen las semillas, la humedad presente en las semillas, los intervalos de tiempo de activación y desactivación de una motobomba encargada de suministrar agua a través de canales de agua hacia el microespersor, entre otras. El uso del software Porteus permite el reconocimiento y análisis de los circuitos cuyo funcionamiento estará dirigido por un microcontrolador PIC16F877; una vez seleccionados los circuitos para los sensores, la programación, las conversiones analógicas digitales, la conmutación de corriente directa a corriente alterna para el funcionamiento de la motobomba, cableado en general y demás detalles, se procede a la implementación y aplicación en conjunto con el montaje físico para la realización de las primeras pruebas de funcionamiento del sistema de riego hasta encontrar el punto ideal en el cual se permita regar las semillas para su posterior proceso de germinación y crecimiento.

La intensión de este proyecto no se enfoca a realizar una nueva investigación acerca de la elaboración y/o producción del forraje hidropónico, ni comprobar sus ventajas en el ámbito de la ganadería, puesto que ya existen múltiples

conclusiones comprobadas; el enfoque de esta investigación y desde el punto de vista de la ingeniería electrónica consiste en automatizar el sistema de regado para las semillas con un prototipo a escala.



Fig1. Fases de desarrollo del proyecto

II. OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema para la elaboración de forraje hidropónico utilizado un sistema de riego controlado mediante la implementación de microespersores (rotor 360).

III. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Adecuar los intervalos de tiempo para la activación del sistema de riego para el forraje, mediante programación de un microcontrolador (PIC 16F877A)
- Crear una maqueta a escala que cumpla con las especificaciones físicas para la adecuación del sistema de riego.
- Simular los circuitos requeridos por medio del software Proteus.
- Hacer una conversión analógica digital ADC para controlar la temperatura del ambiente presente en el lugar donde fueron instaladas las bandejas que contienen las semillas.

IV. FORRAJE HIDROPONICO

Dentro de la ganadería existen diversos factores que alteran la producción de alimento para los ganados, uno de esos factores es la variación climática, estos fenómenos climatológicos van desde prolongados tiempos de sequía hasta intensas temporadas invernales, causando erosión en los suelos o inundaciones en las fincas, entre otros. Estos factores conllevan a la búsqueda de generar nuevas alternativas,

técnicas y/o métodos para la producción de alimento para los animales sin la utilización del suelo.

Hoy en día existe una gran solución a los problemas de alimentación y nutrición en el campo de la ganadería llamado **forraje hidropónico**, el cual consiste en la germinación de distintos tipos de semillas y cereales tales como maíz, trigo, cebada, arroz, etc. Este tipo de producción de alimento juega un papel muy importante en el desarrollo de la agricultura, pues esta producción trae grandes ventajas como: su producción en espacios reducidos, alto contenido proteico, aumenta la producción en vacas lecheras, se desarrolla en cortos lapsos de tiempo, se puede implementar en distintos tipos de ganado, entre muchas más.

La hidroponía es la forma de cultivar plantas sin tierra, para ello se utiliza una combinación de diferentes sales minerales que contienen todos los nutrientes que requieren las plantas para su desarrollo y que habitualmente les entrega la tierra; existen muy diversos métodos de cultivos hidropónicos, pero todos se ajustan a un principio esencial, el cual consiste en el cultivo de plantas sin materia orgánica ni tierra.

El forraje hidropónico juega un papel muy importante ya que proporciona grandes beneficios por sus especiales características y brindan nuevas posibilidades donde los cultivos tradicionales están agotándose como alternativa del sustento alimenticio para los animales.

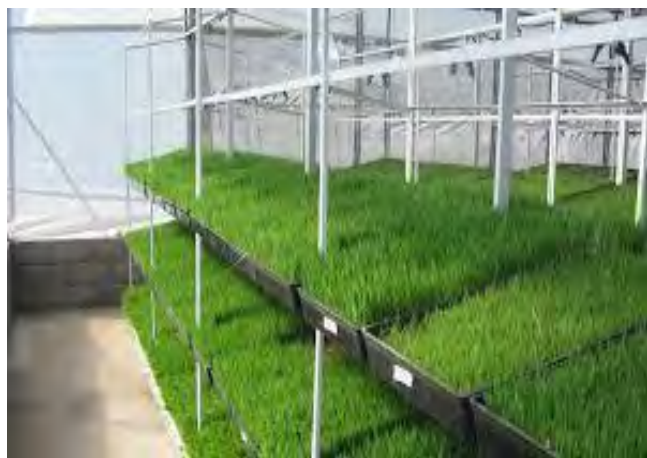


Fig2. Cultivo forraje hidropónico.

El tiempo necesario para la fabricación del forraje no supera los 15 días, se realizan riegos con agua hasta que lleguen a una altura de 3 a 4 centímetros. A partir de este momento se continúan con los riegos con una solución nutritiva, el forraje tiene la ventaja de poder ser utilizado para distintos tipos de ganado o animales ya sea conejos, cabras, ganado vacuno, porcino, equino, gallinas, patos, entre otros [1].

El riego de las bandejas para la fabricación del forraje verde hidropónico debe realizarse a través de microaspersores, nebulizadores o una sencilla pulverizadora.

El ciclo de germinación esta dado de la siguiente manera:

Día uno: REMOJO, limpiar el grano separando basura y granos quebrados. Lavar y limpiar la semilla retirando los granos que floten. Colocar la capa de semillas no mayor a 1.5 cm de altura, debe ser bien distribuida sobre la bandeja.

Día dos y tres: REPOSO, a las 24 horas de estar en remojo, quitar el agua y poner en reposo.

Día cuatro: Desarrollo de la raíz, regar de 4 a 5 veces al día.

Día cinco: Las primeras hojas, regar de 4 a 5 veces al día, las hojas tapan las raíces.

Día seis: Los granos tienen hojas, regar de 4 a 5 veces al día.

Día siete: CRECIMIENTO, regar de 4 a 5 veces al día, se empieza a formar el tapete verde.

Día ocho: Desarrollo, regar de 3 a 4 veces al día.

Día nueve-doce: CRECIMIENTO, regar de 3 a 4 veces al día.

La producción del forraje verde hidropónico tiene grandes antecedentes desde el siglo XVIII con múltiples derivaciones prácticas, el irlandés Robert Boyle (1627-1691) realizó los primeros experimentos de cultivos en agua. Pocos años después John Woodward produjo germinaciones de grano utilizando aguas de diferentes orígenes y comparó diferentes concentraciones de nutrientes para el riego de los granos así como la composición del forraje resultante. [2]

Para llevar el control del tiempo se implementó un reloj en tiempo real con interfaz I2C de referencia DS1307, de bajo consumo de energía, con código binario decimal (BCD), de más de 56 bytes de Ram (No volátiles). La dirección y datos son transferidos a través de 2 hilos serie. El reloj/calendario provee información de segundos, minutos, horas, día, fecha, mes y año. Tiene incorporado un circuito sensor de tensión que detecta las fallas de energía y cambia automáticamente al suministro de batería de respaldo.

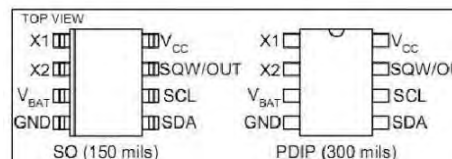


Fig3. Esquema asignación de pines DS1307

V. DESARROLLO PROYECTO

A lo largo del desarrollo de la ingeniería se ha buscado facilitar los procesos para comodidad de la sociedad, en este caso se busca o pretende desarrollar un prototipo que visualice la funcionalidad de un sistema de riego para nutrir de agua las semillas en proceso de germinación en el forraje hidropónico, la idea nace a partir de los cambios climáticos que presenta la región boyacense especialmente en el municipio de Tuta, Boyacá; dicha variedad climática ocasiona que los suelos no aporten los nutrientes necesarios para la producción del pasto, el cuales la principal fuente de alimento y sustento para los ganados de esta región del país. Como primera alternativa los agricultores optaron por alimentar a los animales con papa picada, sin embargo, con el paso de los días la situación climática no cambiaba y los animales presentaban pérdidas en la producción de leche y en su masa muscular.

Como solución para alimentar a los animales surge la necesidad de probar una nueva alternativa como lo es la generación del forraje hidropónico, como se mencionaba anteriormente no es necesaria la utilización de los suelos.

Primeramente se llevaron a cabo las pruebas de los circuitos, los sensores, la programación del microcontrolador, el funcionamiento de cada segmento del sistema para su posterior montaje físico e implementación:

Primeramente se llevaron a cabo las pruebas de los circuitos, los sensores, la programación del microcontrolador, el funcionamiento de cada segmento del sistema para su posterior montaje físico e implementación:

```

1 #include <16F877.h>
2 #device adc=8
3 #fuses NOWDT,xt,NOPROTECT,NOLVP
4 #use delay(clock=4MHz)
5 #include <gutierrezlcd.c>
6 #include <reloj.c>
7 #byte portb = 0x06
8 #byte trisb = 0x86
9 #byte porte = 0x09
10 #byte trise = 0x89
11
12 void main()
13 {
14     float valor,tempe,volt;
15     lcd_init();
16     trisb = 0b00000000;
17     setup_adc_ports(an0_an1_vss_vref);
18     setup_adc (adc_clock_internal);
19     //RELOJ
20
21     BYTE sec;
22     BYTE min;
23     BYTE hrs;
24
25     bit_clear(TRISE,1);           // E1 como salida
26     bit_clear(PORTE,1);
27
28     // E2 como salida
29     bit_clear(PORTE,2);
30
31     ds1307_init();

```

Fig4.Fragmento código de programación

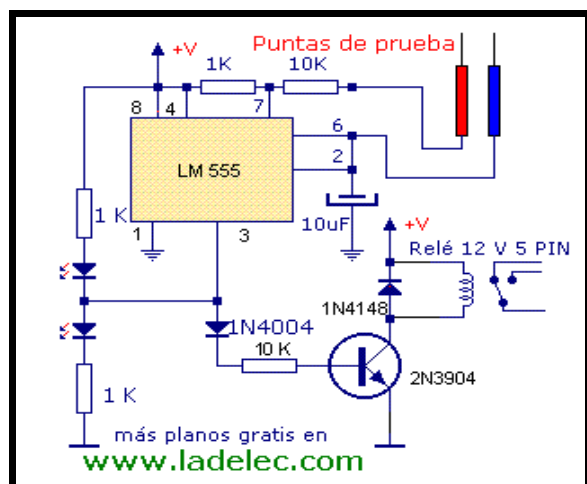


Fig5.Circuito deterctor de agua

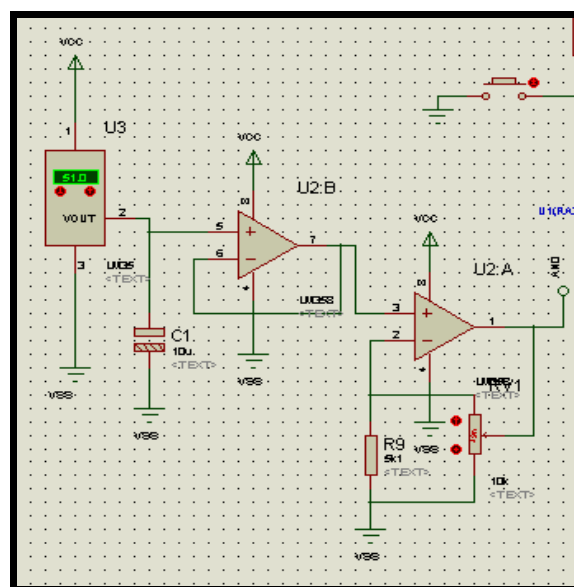


Fig6.Simulacion sensor de temperatura LM35

Una vez comprobado el funcionamiento de cada uno de los circuitos necesarios para posteriormente ser implementados con el montaje físico, se inicia el ciclo para la germinación de el forraje hidroponico con semillas de maiz.



Fig7. Selección de las semillas que no flotan para el primer día de remojo.



Fig8. Semillas en reposo durante 1 día



Fig9. Tercer día inician a salir raíces a las semillas.



Fig10. Quinto día, los pastos inician a salir



Fig11. Germinación de las semillas.

Finalmente se implementan los circuitos electronicos con el montaje físico que permitió el riego de agua a las semillas de maíz



Fig12. Montaje físico final para el sistema de riego temporizado

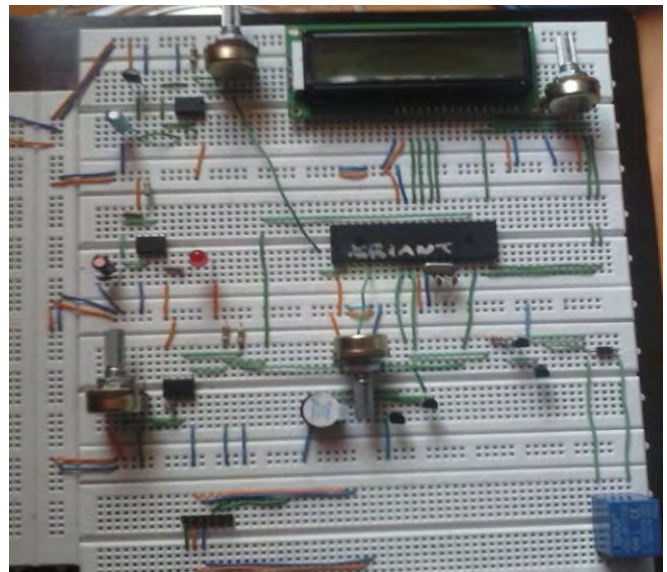


Fig13. Montaje final en protoboard

VI. RESULTADOS

El sistema de riego temporizado permite ver a pequeña escala el funcionamiento para la producción de forraje hidropónico para la alimentación de ganados. sin embargo, hay que tener en cuenta muchos factores importantes dentro del montaje físico:

- La capacidad de expulsión de agua del microesporador y la altura a la que se debe colocar
- El recogimiento de agua regada o desperdiciada
- La potencia de expulsión de agua de la motobomba

El crecimiento del forraje es bueno y se consigue la germinación y el crecimiento de las semillas en muy poco tiempo

En cuanto a la humedad en las bandejas no se pudo implementar un sensor adecuado para controlar el aumento o disminución de humedad en las semillas, sin embargo, se logra desarrollar un circuito indicador mediante un oscilador LM555 la detección de humedad presente en las bandejas, el cual utilizaba un diodo led cuya oscilación es directamente proporcional a la cantidad de agua detectada (entre más humedad, más oscilación en el diodo led).

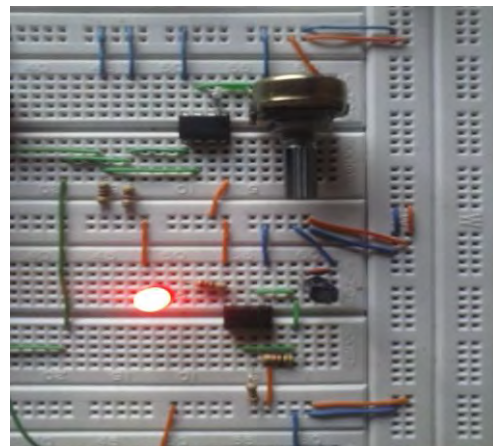


Fig14. Circuito indicador de humedad.

Para la activación de la motobomba se implementó un relé de 5V que al recibir el bit de activación por parte del micro controlador abrirá paso para que circule la corriente permitiendo así proporcionar agua a las semillas, hay que tener en cuenta que para la activación del relé fue necesario desarrollar un pequeño amplificador de corriente para un óptimo funcionamiento.

Mediante una pantalla LED se indicó el proceso efectuado durante la activación y desactivación de la motobomba en el sistema de riego, se monstro el tiempo recorrido durante el proceso de riego sobre las semillas y la temperatura tomada por el sensor LM35

[1]http://www.elmejorguia.com/hidroponia/Forraje_verde_hidroponico_Metodos.htm.

[2]<ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/field/009/ah472s/ah472s00.pdf>

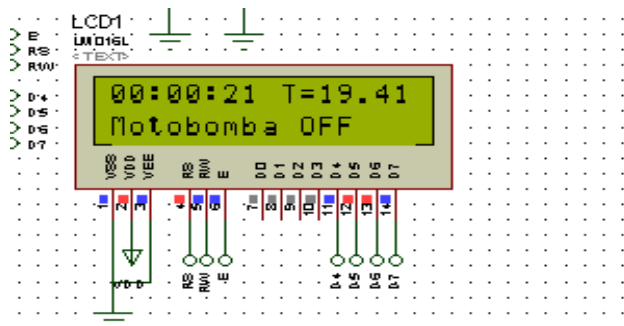


Fig15. Simulación pantalla LED indicando sistema apagado.

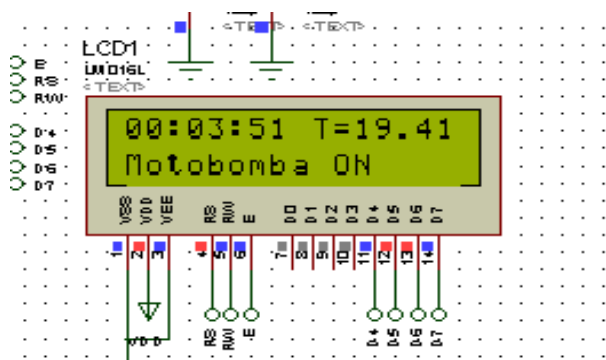


Fig16. Simulación pantalla LED indicando sistema encendido.

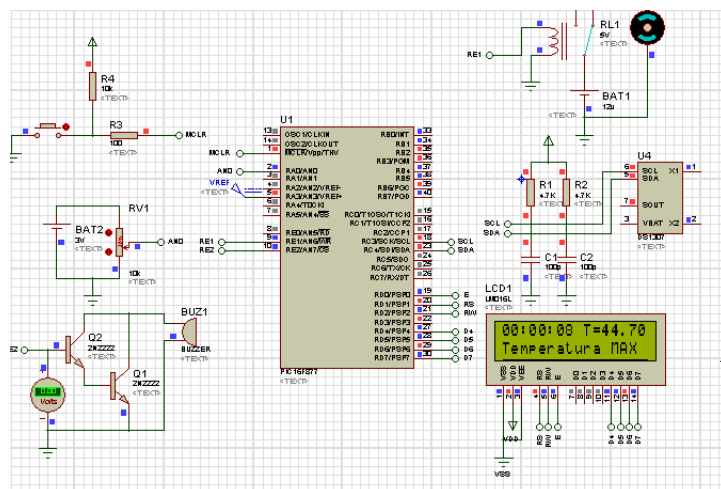


Fig17. Simulación completa de los circuitos en el software Proteus.

Autores



Romero Ojeda Leriant Alexis: Nacido en 1993 en la ciudad de Tunja egresado del Colegio Andino en 2010, apasionado por los videojuegos y el futbol interesando en aprender temáticas de telecomunicaciones y automatización, actualmente estudiante de quinto semestre de ingeniería Electrónica.

Referencias

PROTOTIPO PASTILLERO ELECTRONICO

Juan Diego Suarez Londoño- suarezlondonjuandiego@hotmail.com,

Jimmy Adolfo Boada Alvarez -jazz5jazz@hotmail.com

Abstract— This project aims the development and solution of the problems presented by users with physical and mental deficiencies, which due to its extensive prescription is difficult remember.

Index Terms— PIC 16f877A, Interruptor OFF-ON, Motor paso-paso, CCS PCWH

I. INTRODUCCION

El presente proyecto está orientado al desarrollo y solución de la problemática presentada por usuarios con falencias físicas, que, debido a su extensa receta médica. Ya que muchos, al ser mayores de edad, pueden presentar una memoria no tan lucida, por lo que para ellos, es una ardua tarea el organizar y recordar, con una constante daria, cada medicamento. En el peor de los casos se ha visto que el usuario, por pérdida de la receta médica y por falta de memoria, ha ingerido el medicamento erróneo o la cantidad inadecuada a diversas horas, lo que desencadena en una posible sobredosis, lo cual es letal para el paciente.

II. JUSTIFICACIÓN

La implementación de este método podría abarcar repercusiones de diversas magnitudes, tanto como salvar una vida, como mejorar la comodidad de la población.

Se enfrenta a la necesidad de idear una nueva manera de organizar la ingesta de medicamentos dados por sus diversas recetas médicas. Ya que es bien sabido que por la edad, la memoria de muchas personas suele fallar, y algunas de estas en el peor de los casos viven solas y el control de sus medicinas es una tarea ardua.

Igualmente se espera reducir al máximo el precio, ya que siendo un producto para la salud, uno de los objetivos más importantes es la fácil accesibilidad

III. MARCO TEORICO

-Microcontrolador(PIC16F977A):

Dispositivo programable capaz de realizar diferentes actividades que requieran del procesamiento de datos digitales y del control y comunicación digital de diferentes dispositivos.

Los microcontroladores poseen una memoria interna que almacena dos tipos de datos; las instrucciones, que corresponden al programa que se ejecuta, y los registros, es decir, los datos que el usuario maneja, así como registros especiales para el control de las diferentes funciones del microcontrolador.

Los microcontroladores poseen principalmente una ALU (Unidad Lógico Aritmética), memoria del programa, memoria de registros, y pines I/O (entrada y/o salida). La ALU es la encargada de procesar los datos dependiendo de las instrucciones que se ejecuten (ADD, OR, AND), mientras que los pines son los que se encargan de comunicar al microcontrolador con el medio externo; la función de los pines puede ser de transmisión de datos, alimentación de corriente para el funcionamiento de este o pines de control específico.

En este proyecto se utilizó el PIC 16F877A fig1.. Este microcontrolador es fabricado por MicroChip familia a la cual se le denomina PIC.

Soporta modo de comunicación serial, posee dos pines para ello.

Amplia memoria para datos y programa.

Memoria reprogramable: La memoria en este PIC es la que se denomina FLASH; este tipo de memoria se puede borrar electrónicamente (esto corresponde a la "F" en el modelo).

Set de instrucciones reducidas (tipo RISC), pero con las instrucciones necesarias para facilitar su manejo.

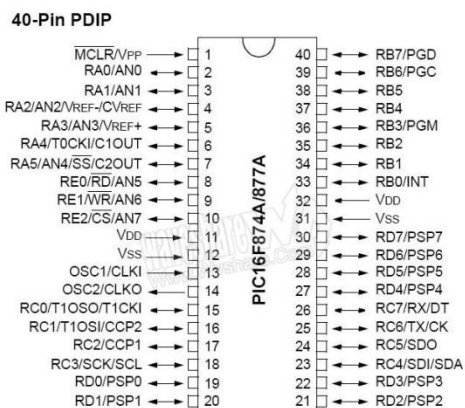


Figura 1. Configuración pines PIC 16F877A.

- CCS PCWH Compiler:

Es compilador, el cual maneja lenguaje C en vez de assembler. Este incluye funciones para acceder al hardware de los procesadores PIC.

Durante el proceso de enlazado se analiza la estructura del programa, incluyendo el árbol de llamadas. Las funciones que se llaman unas a otras con frecuencia se agrupan juntas en el mismo segmento de página. La herramienta transparente al usuario maneja llamadas a través de las páginas automáticamente. Las funciones se pueden implementar inline o separadas. La RAM se reserva eficientemente usando el árbol de llamadas para determinar cuántas ubicaciones pueden ser reusadas. Las cadenas constantes y tablas se almacenan en la ROM del dispositivo.

-Motor paso a paso:

Los motores paso a paso son ideales para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos muy precisos.

La característica principal de estos motores es el hecho de poder moverlos un paso a la vez por cada pulso que se le aplique.

Estos motores están constituidos normalmente por un rotor sobre el que van aplicados distintos imanes permanentes y por un cierto número de bobinas excitadoras bobinadas en su estator. Las bobinas son parte del estator y el rotor es un imán permanente. Toda la conmutación (o excitación de las bobinas) debe ser externamente manejada por un controlador.

Los motores unipolares suelen tener 6 o 5 cables de salida, dependiendo de su conexión interna. Este tipo se caracteriza por ser más simple de controlar.

Existen tres secuencias posibles para este tipo de motores. Todas las secuencias comienzan nuevamente por el paso 1 una vez alcanzado el paso final (4 u 8). Para revertir el sentido de giro, simplemente se deben ejecutar las secuencias en modo inverso.

PASO	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D	
1	ON	ON	OFF	OFF	
2	OFF	ON	ON	OFF	
3	OFF	OFF	ON	ON	
4	ON	OFF	OFF	ON	

Figura 2. Secuencia normal.

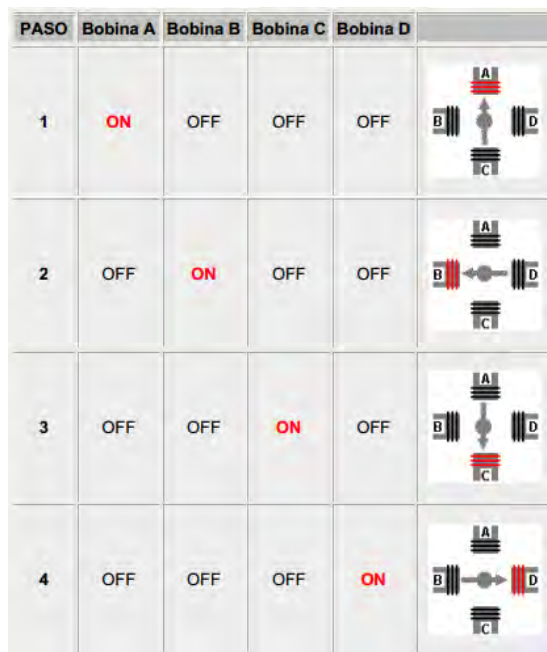


Figura 3. Secuencia del tipo wave drive.

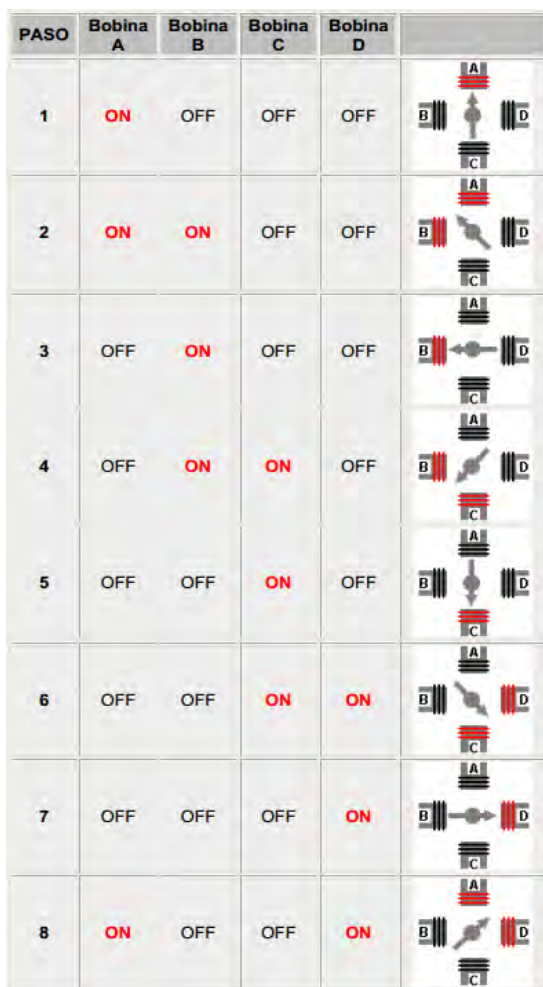


Figura 4. Secuencia del tipo medio paso.

-BUS I2C: El I2C es un bus serie, formado por dos hilos, que puede conectar varios dispositivos mediante un hardware muy simple. Por esos dos hilos se produce una comunicación serie, bit a bit. Se transmiten dos señales SCL (señal de reloj para sincronización de datos) y SDA (Línea de transferencia serie de datos).

Los dispositivos conectados al bus I2C mantienen un protocolo de comunicaciones del tipo maestro esclavo.

El maestro inicia y termina la transferencia de información, además de controlar la señal de reloj.

El esclavo es el circuito direccionado por el maestro.

La línea SDA es bidireccional, es decir que tanto el maestro como los esclavos pueden actuar como transmisores o receptores de datos, dependiendo de la función del dispositivo. Los dispositivos I2C suelen llevar 2 o 3 pines para poder modificar esta dirección de modo que el diseñador pueda evitar que en un mismo diseño haya 2 o más esclavos con la misma dirección.

El bus I2C puede ser multi-master, es decir, que puede soportar más de un dispositivo capaz de controlar el bus.

-DS1307:

Es un reloj/ calendario de bajo consumo energético con más de 56bytes de SRAM NV. Maneja una comunicación I2C. El reloj calendario proporciona la información de minuto, hora, día, fecha y año.

Incluye el cambio automático de menos de 31 días en el mes incluyendo años bisiestos. Es funcional tanto en el rango de 24 horas, como en el de 12 horas am/pm. Además incorpora un circuito de detección de potencia, para detectar potenciales fallas de energía y cambiar a un suministro de batería

- LCD

La interfaz con el usuario, se establece por medio de una lcd 16x2 fig 5. La tarjeta EasyPIC dispone de un módulo LCD tipo 16x2. Las pantallas de cristal líquido LCD o display LCD para mensajes (Liquid CristalDisplay) tienen la capacidad de mostrar cualquier carácter alfanumérico, permitiendo representar la información que genera cualquier equipo electrónico de una forma fácil y económica.

La pantalla consta de una matriz de caracteres (normalmente de 5x7 o 5x8 puntos) distribuidos en una, dos, tres o cuatro líneas de 16 hasta 40 caracteres cada línea.

El proceso de visualización es gobernado por un microcontrolador incorporado a la pantalla, siendo el Hitachi 44780 el modelo de controlador más utilizado.

Las características generales de un módulo LCD 16x2 son las siguientes:

- Consumo muy reducido, del orden de 7.5mW
- Pantalla de caracteres ASCII, además de los caracteres japoneses Kanji, caracteres griegos y símbolos matemáticos.
- Desplazamiento de los caracteres hacia la izquierda o a la derecha
- Memoria de 40 caracteres por línea de pantalla, visualizándose 16 caracteres por línea
- Movimiento del cursor y cambio de su aspecto
- Permite que el usuario pueda programar 8 caracteres
- Pueden ser gobernados de 2 formas principales:
 - _ Conexión con bus de 4 bits
 - _ Conexión con bus de 8 bits



Fig 5. LCD.

IV. METODOLOGIA.

El producto va dirigido a resolver la problemática de organización con los medicamentos en personas mayores, por lo tanto el hardware debe manejar un ambiente muy fácil de uso. Por ello solo se manejarán 6 botones básicos, flecha a la izquierda (correr una opción a la izquierda), flecha a la derecha (correr una opción a la derecha), flecha hacia arriba (correr una opción a la arriba), flecha hacia abajo (correr una opción a la abajo), un pulsador en el centro de estas (entrar) y finalmente un pulsador ajeno a la ubicación de todos los anteriores (cancelar o salir).

Los datos programables, o mejor dicho, las variaciones que el usuario va a poder registrar en el pastillero son: En primera instancia un menú principal.

- 1) Consultar pastilleros.
- 2) Cambiar pastilleros.
- 3) Cambiar hora.

En la primera opción se procederá a la selección del pastillero que se quiere consultar, los cuales son 6 pastilleros, al consultar dicho pastillero, se podrá seleccionar uno de estos datos a mostrar:

- 1) Medicamento que alberga.
- 2) Hora que se debe tomar.
- 3) Días que se debe tomar.
- 4) Cantidad que se debe tomar.

En la segunda opción se le dará a elegir al usuario, entre:

- 1) Cambiar el nombre del medicamento.
- 2) Cambiar la hora de la alarma.
- 3) Cambiar los días de la alarma.
- 4) Cambiar el número de pastillas que se suministra,

Y finalmente la última opción es para cambiar el reloj del pastillero. Este reloj será mostrado todo el tiempo a menos de que el usuario presione algún botón.

Las letras a seleccionar por el usuario serán a manera de selección alfabética, es decir, con los pulsadores arriba y abajo, el usuario podrá recorrer en una casilla desde la A-Z, en el caso de los números se repite este método, solo que acá se abarca desde 0-9 y con el enter se selecciona la opción.

La alarma estará constituida por un simple buzzer que tendrá un pitido intermitente y no se apagará hasta que se presione algún botón. El circuito poseerá una memoria externa al PIC, en caso de que la alimentación principal falle y se necesite conservar los datos.

El suministro de la cantidad indicada de cada pastilla será controlado por el trabajo conjunto de los engranes, los motores paso a paso y los sensores infra rojo.

V. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

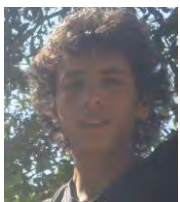
- [1] Br. Aníbal Hernández y Br. Danny Herrera. "PIC 16F877", [en línea]. 2004, [Noviembre 2013]. Disponible en la web: <http://www.monografias.com/trabajos18/descripcion-pic/descripcion-pic.shtml>.
- [2] Microchip. "PIC16F87XA", [en línea]. [Noviembre 2013]. Disponible en la web: <http://ww1.microchip.com/downloads/jp/DeviceDoc/39582b.pdf>
- [3] Microchip. "PIC16F877A", [en línea]. Mayo 2013, [Noviembre 2013]. Disponible en la web: <http://www.microchip.com/wwwproducts/Devices.aspx?dDocName=en010242>
- [4] Allegro MicroSystems. "MOTORES PASO A PASO", [en línea]. [Noviembre 2013]. Disponible en la web:

- <http://www.docentes.unal.edu.co/hfvelascop/docs/CLASES/DIGITALALES2/LABORATORIO/Motor%20Paso%20a%20Paso.pdf>
- [5] Ordenadores y Portátiles. “¿Qué es una EEPROM?”, [en línea]. 2013, [Noviembre 2013]. Disponible en la web: <http://www.ordenadores-y-portatiles.com/eprom.html>
- [6] Margaret Rouse. “EEPROM (electrically erasable programmable read-only memory)”, [en línea]. Marzo 2010, [Noviembre 2013]. Disponible en la web: <http://searchcio-midmarket.techtarget.com/definition/EEPROM>
- [7] Pauta. Microchip. “Un pastillero electrónico inteligente diseñado por un consorcio español ayudará a las personas mayores a recordar cuándo deben tomar su medicación”, [en línea]. 2010, [Noviembre 2013]. Disponible en la web: http://ceiec.es/site/files/PAUTA_NP_20120103_NotaDePrensa.pdf
- [8] Palacios, E & Remiro, F & López, L. (2004). *Microcontrolador PIC 16F84 Desarrollo de proyectos*. Mexico. Ediciones Alfaomega.

BIOGRAFÍA DEL AUTOR



Suarez L. Juan Diego, Estudie y me gradué en el Gimnasio Campestre del Norte, Prom 2010. Nací el 27 de enero del año 1994 en la ciudad de Tunja, hijo único de Beatriz Elvira Londoño Ruiz y Hugo Ernesto Suarez Leandro



Boada A. Jimmy Adolfo, graduado en el colegio Nacionalizado Susana Guillemin, promoción 2008 en la modalidad tec. Comercio y sistemas, Nací el 15 de Febrero de 1992, en Belén Boyacá

Simulación Interactiva y Educativa de un Sistema de Posicionamiento Global con Algoritmo Posicionamiento de Punto Simple (Abril 2014)

Castro G. Hector, Sánchez de A. José, Sánchez G. Juan Pablo
heccasgr@gmail.com

Abstract—In this article we will use the Matlab GUIDE tool for programming interactive GPS simulator, which aims to be an educational tool for learning the basic operation of global positioning systems, their approaches, satellite configurations, algorithm Simple point and any errors that may occur during use.

Resumen—En este artículo se utilizará la herramienta GUIDE de Matlab para la programación de un simulador interactivo de GPS, el cual tiene como objetivo ser una herramienta educativa para el aprendizaje del funcionamiento básico de los sistemas de posicionamiento global, sus aproximaciones, configuraciones de satélites, algoritmo de punto simple y los posibles errores que se pueden presentar durante su uso.

Índice de Términos—Algoritmo de punto simple, GUIDE, GPS, Matlab, Simulador.

I. INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia se pueden distinguir 5 formas de navegación. La más antigua que se basa en recordar puntos de referencia. A la estima, requiriendo información del lugar de partida, características del recorrido y una estimación de la velocidad de desplazamiento. Guiándose por el tiempo y los ángulos entre la posición local y los astros. La navegación inercial, en la cual se conoce la posición inicial y velocidad, con lo que posteriormente se miden las tasas de desplazamientos y aceleraciones. Y finalmente la radio navegación en la que se incluyen los sistemas de posicionamiento global o GPS.

Los GPS nacieron como parte de un sistema de navegación basado en satélites, desarrollado por el Departamento de Defensa de Los Estados Unidos bajo su programa de satélites NAVSTAR en 1970.

Hoy en día sorprende el gran crecimiento que han tenido los sistemas de posicionamiento global en los diferentes mercados de las aplicaciones civiles. Dichos usos de GPS nos ayudan a encontrar cerca de nuestra posición (restaurantes, lugares turísticos, bares, discotecas, paradas de transporte público, entre otros) y el camino más óptimo para llegar a ellos caminando en bicicleta, bus o automóvil

particular; sin imaginarnos la gran cantidad de aplicaciones militares que deben existir sobre esta tecnología.

Sin embargo el funcionamiento de los sistemas de posicionamiento global son demasiado transparentes para el usuario y en el momento en el que se intenta conocer su funcionamiento, nos encontramos con una extensa teoría que aunque interesante para estudiantes de final de carrera, es muy agobiante para aquellos que están comenzando su camino en el mundo de la navegación por satélite.

Por lo anterior, se propone un simulador de GPS que será interactivo para el usuario y le permitirá controlar un sistema con ciertas aproximaciones, ayudándole a comprender la configuración orbital de los satélites, el funcionamiento del algoritmo de posicionamiento de punto simple y los errores que se intentan solucionar en todo GPS.

El simulador será programado en la herramienta GUIDE del software Matlab, el cual dependiendo de los datos ingresados por el usuario, graficará el sistema en movimiento y luego de que se cumpla el tiempo de generación de muestras de posición, dará la posibilidad al usuario de graficar las variaciones de los datos, las desviaciones típicas de la latitud, longitud y “bías” de reloj, y las posiciones sobre planos 2D y 3D de la tierra. Además se incluirá la facilidad de imprimir las gráficas o de exportar los datos a una hoja de cálculo de Excel.

II. OBJETIVOS

A. Objetivo General

Diseñar un simulador interactivo y educativo de un sistema de posicionamiento global con algoritmo de punto simple diseñándolo en la herramienta GUIDE de Matlab

B. Objetivos Específicos

- Diseñar una interfaz agradable y de fácil uso para el usuario.
- Crear una aplicación que permita al usuario familiarizarse e interactuar con los GPS.
- Simular el comportamiento del algoritmo de posicionamiento de punto simple de un GPS.
- Dar la posibilidad de presentar en diversas formas los datos obtenidos por el simulador.

Paper enviado el 21 de Abril, 2014. Simulador interactivo y educativo de un sistema de posicionamiento global diseñado en la herramienta GUIDE de Matlab presentado al Primer Encuentro Nacional de Semilleros de Investigación en Ingeniería Electrónica.

Castro G. Hector graduado con honores del Colegio Andino de Tunja. Finalizó el Master Oficial en Tecnologías, Sistemas y Redes de

Comunicaciones de la Universitat Politècnica de València antes de finalizar el pregrado. Actualmente es estudiante de décimo semestre de Ingeniería Electrónica de la Universidad Santo Tomás Seccional Tunja y miembro estudiantil del IEEE. E-mail: heccasgr@gmail.com

III. MATLAB

La guía de aprendizaje “Aprenda Matlab Como si estuviera en primero” [1], MATLAB (abreviatura de MATrixLABoratory, "laboratorio de matrices") es un software matemático que ofrece un entorno de desarrollo integrado (IDE) con un lenguaje de programación propio (lenguaje M). Está disponible para las plataformas Unix, Windows y Apple Mac OS X.

Entre sus prestaciones básicas se hallan: la manipulación de matrices, la representación de datos y funciones, la implementación de algoritmos, la creación de interfaces de usuario (GUI) y la comunicación con programas en otros lenguajes y con otros dispositivos hardware. El paquete MATLAB dispone de dos herramientas adicionales que expanden sus prestaciones, a saber, Simulink (plataforma de simulación multidominio) y GUIDE (editor de interfaces de usuario - GUI). Además, se pueden ampliar las capacidades de MATLAB con las cajas de herramientas (toolboxes); y las de Simulink con los paquetes de bloques (blocksets).

Es un software muy usado en universidades y centros de investigación y desarrollo. En los últimos años ha aumentado el número de prestaciones, como la de programar directamente procesadores digitales de señal o crear código VHDL.

IV. SIMULACIÓN DE LAS ÓRBITAS DE LOS SATÉLITES DEL GPS

Mohinder S. Grewal, Lawrence R. Weil y Angus P. Andrews indican en su libro “Global Positioning Systems, Inertial Navigation, and Integration” [2], que el GPS incluye 24 satélites activos dispersos aproximadamente uniforme alrededor de seis orbitas elípticas con cuatro o más satélites cada uno. Por simplicidad se consideró que las órbitas son perfectamente circulares, con lo cual el parámetro de excentricidad es 0. Los 6 planos orbitales poseen una inclinación de 55°, respecto al plano ecuatorial terrestre y una separación entre cada una de múltiplos de 30° en longitud de nodo ascendente.

Además, los 4 satélites que comparten un mismo plano orbital se encuentran perfectamente equiespaciados y a una altura sobre la superficie terrestre de 20000 Km. Con el fin de asegurar la distribución equiespaciada en el plano de 3 dimensiones se aplicaron offset de múltiplos de 15° por cada plano orbital, evitando así que exista un choque entre los satélites. A su vez, el periodo orbital de los satélites es de 12 horas, lo cual fue representado en la animación de la simulación que va generando datos cada 1,5s del tiempo del sistema hasta completar el 1 periodo.

En cuanto a la Tierra, se tomó como una esfera perfecta con un radio de 6370 Km, sin orografía, y utilizando la herramienta “mapping” de Matlab se graficó un mapa del globo terráqueo sobre la esfera, para dar una mayor sensación de realismo.

La simulación se orientó en un plano ECI (Earth Centered Interval), luego a cada satélite se le asignó un radio vector con componentes X, Y y Z, que son funciones del tiempo. Entonces, cada radio vector del satélite va recorriendo la órbita del satélite a medida que transcurre el tiempo y el módulo de dicho vector corresponderá con la distancia entre el satélite y el centro de la tierra.

Para conocer aquella función que describe el movimiento de los satélites se partió de los parámetros iniciales; inclinación (i) y longitud de nodo ascendente (Ω); y las coordenadas polares de un satélite cuyo plano orbital corresponde a:

$$y = 0 \quad (1)$$

$$z = r \sen u(t) \quad (2)$$

$$x = r \cos u(t) \quad (3)$$

Luego se aplicó una rotación sobre el eje X de $90^\circ - i$, que puede observarse en la siguiente figura:

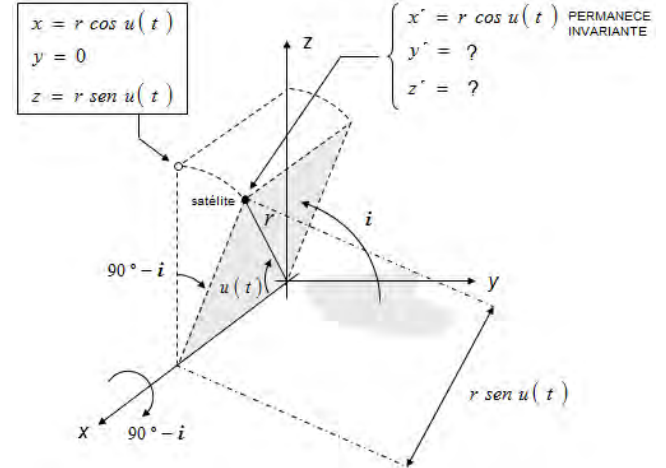


Fig. 1. Inclinación de la órbita del satélite sobre el eje X.

Utilizando una la representación matricial y multiplicando por una matriz de rotación hallada utilizando geometría analítica se encontró una función para el comportamiento orbital:

$$\begin{bmatrix} r \cos u(t) \\ r \sen u(t) \cos i \\ r \sen u(t) \sen i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos i \\ 0 & 0 & \sen i \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} r \cos u(t) \\ 0 \\ r \sen u(t) \end{bmatrix} \quad (4)$$

Más tarde, se usó un procedimiento similar para proporcionar a la órbita del satélite una longitud de nodo ascendente de valor Ω sobre el eje Z:

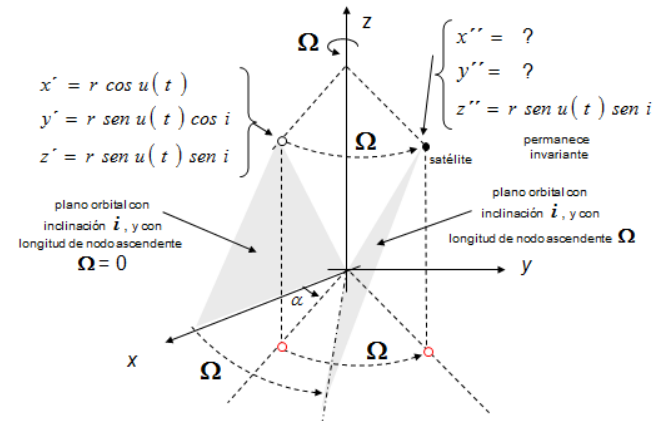


Fig. 2. Longitud de nodo ascendente de la órbita del satélite sobre el eje Z.

Por medio de una nueva representación matricial y multiplicando por una matriz de rotación hallada utilizando geometría analítica se encontró una función para el nuevo comportamiento orbital:

$$\begin{bmatrix} \cos \Omega & -\sen \Omega & 0 \\ \sen \Omega & \cos \Omega & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} r \cos u(t) \\ r \sen u(t) \cos i \\ r \sen u(t) \sen i \end{bmatrix} \quad (5)$$

Así pues, se encontraron las siguientes funciones para el plano (X, Y, Z) que describen la trayectoria del movimiento de los satélites:

$$x'' = r \cos u(t) \cos \Omega - r \sin u(t) \cos i \sin \Omega \quad (6)$$

$$y'' = r \sin u(t) \cos i \cos \Omega + r \cos u(t) \sin \Omega \quad (7)$$

$$z'' = r \sin u(t) \sin i \quad (9)$$

Finalmente, al programar las respectivas ecuaciones en Matlab, utilizando la aplicación “mapping” y creando la animación mediante bucles “for” se consiguió la siguiente representación:

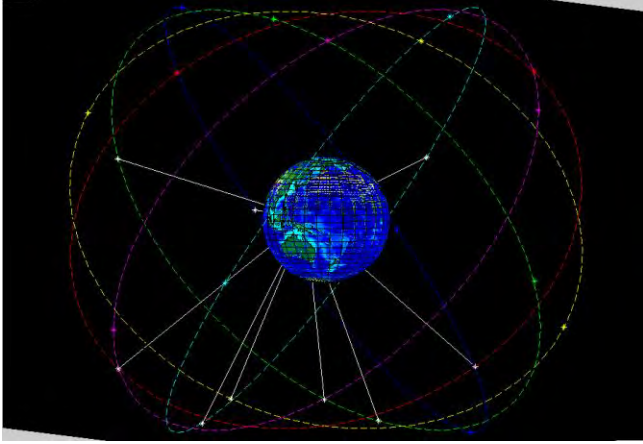


Fig. 3. Animación de la trayectoria de los 24 satélites sobre la Tierra.

En la anterior figura puede observarse el resultado de graficar las 6 órbitas y los 24 satélites reemplazando los respectivos valores de inclinación y longitud de nodo ascendente, y la representación gráfica de la Tierra, la cual le da una sensación de realismo a la simulación.

V. PROGRAMACIÓN DEL ALGORITMO DE POSICIONAMIENTO DE PUNTO SIMPLE ESTÁTICO

Como un paso elemental en los temas de utilización de satélites para la navegación en tiempo real, se consideró una constelación de satélites idealizada y como ejemplo básico se tomará como referencia la posición de un único usuario situado sobre la superficie de la tierra (altura 0m) no giratoria y se despreció los efectos atmosféricos y relativistas.

Los parámetros iniciales que toma el algoritmo de posicionamiento de punto simple son la posición del usuario y el “bias” de reloj del usuario. Para el simulador, la posición del usuario se debe ingresar en coordenadas geográficas Latitud y Longitud (la altura como se mencionó anteriormente se asume que es 0). El software internamente realiza la conversión de éste sistema de coordenadas a coordenadas cartesianas (X, Y, Z) sobre las que trabajará el algoritmo. Respecto al “bias” de reloj de usuario, se ingresará en segundos y servirá para corregir el tiempo del usuario y alinearlo con el tiempo universal coordinado GPS.

El objetivo del algoritmo de punto simple es generar estimaciones de posición de usuario y estimaciones de “bias” de reloj, con lo que corrige la posición hallada y el tiempo para alcanzar la sincronización con el tiempo GPS.

El algoritmo implementado también requiere el conocimiento preciso de las posiciones de los satélites. Como

sustentación del origen de dichas posiciones en nuestro programa se puede realizar una analogía con el funcionamiento real de GPS, en el cual el mensaje que emite cada satélite contiene los parámetros orbitales de una órbita Kepleriana modificada, incluyendo el tiempo coordinado GPS, permitiendo la determinación precisa de la posición del satélite en instantes de tiempo precisos.

Luego se programó la simulación para que dependiendo de la ubicación del usuario determinara cuales satélites de la constelación son visibles para éste, comparando el ángulo crítico; formado entre el vector de posición del usuario y el vector de la última posición en la que un satélite puede ser visible; y el ángulo de las posiciones de los satélites.

Bradford W, Parkinson y James J. Spilker Jr comunican en su libro “Global Positioning System: Theory and Applications” [3], que en el sistema GPS real, el procesador de señal DLL (Delay Lock Loop) dentro del equipo del usuario, a la vez que extrae el mensaje enviado por cada satélite, conteniendo los parámetros orbitales que permiten determinar su posición, lleva a cabo un procesamiento de la señal con el que mide de forma muy precisa el retardo que ha tenido la señal desde su transmisión hasta su recepción. Ésta medida del retardo multiplicada por la velocidad de la Luz corresponde a una medida de la pseudodistancia ρ_i entre el satélite con posición $r_i(X, Y, Z)$ y el usuario con posición $r_u(X, Y, Z)$, esto es, la posición que queremos determinar. Hay que resaltar que se ha dicho pseudodistancia y no distancia, debido a que la medida del retardo la ha llevado a cabo el equipo del usuario, cuyo reloj posee un “bias” que también se tiene que determinar al igual que se determina la posición.

Entonces, el simulador determina las pseudodistancias medidas con la siguiente ecuación:

$$\rho_i = |\vec{r}_i - \vec{r}_u| + c b_u + \varepsilon_{\rho_i} \quad (10)$$

En donde ρ es la pseudodistancia medida, r_i posición conocida y ε_i error cometido en la medición de la pseudodistancia del i -ésimo satélite visible, r_u posición del usuario, b_u bias del reloj de usuario y c velocidad de la luz.

En cualquiera de los pasos de iteración del simulador, se obtiene una posición estimada ($\hat{r}_u$) y un “bias” estimado ($\hat{b}_u$), con lo que se puede obtener pseudodistancias calculadas como:

$$\hat{\rho}_i = |\vec{r}_i - \hat{\vec{r}}_u| + c \hat{b}_u + \hat{\varepsilon}_{\rho_i} \quad (11)$$

Definimos el residual de pseudodistancia $\Delta \rho_i$ como

$$\Delta \rho_i = \hat{\rho}_i - \rho_i \quad (12)$$

Lo anterior puede ser modelado linealmente relacionándolo al error en el estado estimado. Expresándolo como desarrollo de serie de Taylor, el resultado linealizado es dado por la siguiente ecuación:

$$\Delta \rho_i = \hat{\rho}_i - \rho_i \approx \begin{bmatrix} -\hat{1}_i^T & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \overrightarrow{\Delta r} \\ c \Delta b \end{bmatrix} + \Delta \varepsilon_{\rho_i} \quad (13)$$

De donde $\hat{1}_i$ es la estimación del vector unitario de la línea de vista entre del usuario al satélite

$$\hat{1}_i^T = \frac{(\vec{r}_i - \hat{\vec{r}}_u)}{|\vec{r}_i - \hat{\vec{r}}_u|} \quad (14)$$

Todas las medidas son luego combinadas dentro de un conjunto de ecuaciones normales:

$$\overrightarrow{\Delta \rho} = \overline{\overline{G}} \cdot \overrightarrow{\Delta x} + \overrightarrow{\Delta \varepsilon_\rho} \quad (15)$$

Donde

$$\overrightarrow{\Delta \rho} = \begin{bmatrix} \Delta \rho_1 \\ \Delta \rho_1 \\ \vdots \\ \Delta \rho_N \end{bmatrix} \quad \overline{\overline{G}} = \begin{bmatrix} -\hat{1}_1^T & 1 \\ -\hat{1}_2^T & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -\hat{1}_N^T & 1 \end{bmatrix} \quad \overrightarrow{\Delta x} = \begin{bmatrix} \overrightarrow{\Delta r} \\ c \cdot \Delta b \end{bmatrix} \quad \overrightarrow{\Delta \varepsilon_\rho} = \begin{bmatrix} \Delta \varepsilon_{\rho_1} \\ \Delta \varepsilon_{\rho_2} \\ \vdots \\ \Delta \varepsilon_{\rho_N} \end{bmatrix} \quad (16)$$

La cual al resolverse dará una corrección, Δx , al estado estimado con el que el sistema inicia la simulación. En GPS, la matriz G es frecuentemente referida como la matriz de geometría. Los $\Delta \varepsilon_\rho$ son asumidos a ser media 0, con lo que el error cuadrático medio para el conjunto de ecuaciones es dada por la siguiente expresión:

$$\overrightarrow{\Delta x} = \left(\overline{\overline{G}}^T \cdot \overline{\overline{G}} \right)^{-1} \cdot \overline{\overline{G}}^T \cdot \overrightarrow{\Delta \rho} \quad (17)$$

Luego de calcular la corrección que se debe hacer sobre la posición y el “bias” del usuario, se aplica como se observa en la siguiente figura:

$$\begin{aligned} \hat{\vec{x}}_{actual} &\leftarrow \hat{\vec{x}}_{anterior} - \overrightarrow{\Delta x} \\ \hat{\vec{r}}_{actual} &\leftarrow \hat{\vec{r}}_{anterior} - \overrightarrow{\Delta r} \\ \hat{b}_u_{actual} &\leftarrow \hat{b}_u_{anterior} - \Delta b \end{aligned}$$

Fig. 4. Aplicación de la corrección de la posición y el “bias” del usuario.

Como se mencionó antes, la simulación recrea un sistema que toma datos cada 1,5s, por lo que cada vez que transcurra dicho intervalo de tiempo se realizará de nuevo el algoritmo de posicionamiento de punto simple estático.

Al programar las anteriores ecuaciones y el reconocimiento de satélites visibles, la simulación queda como se muestra a continuación:

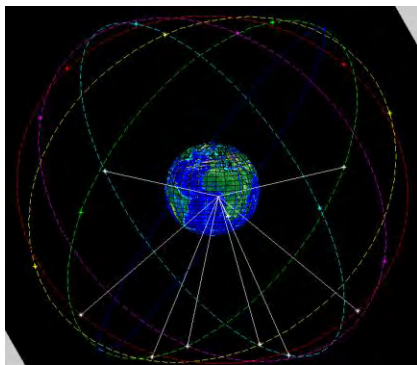


Fig. 5. Animación de la trayectoria de los 24 satélites sobre la Tierra con la aplicación del algoritmo de posicionamiento de punto simple.

VI. ANÁLISIS DE LA RESOLUCIÓN DEL GPS FRENTE AL ERROR EN LA MEDIDA

En este paso, a cada una de las iteraciones llevadas a cabo por el algoritmo de punto simple, se le sumó a la pseudodistancia un error aleatorio de medida, el cual puede ser asemejado al conjunto de errores tales como el error

ionosférico, error troposférico, o inclusive el error cometido por la misma precisión de los componentes electrónicos del instrumento del usuario.

Este error será representado por un vector de valores aleatorios con estadística gaussiana y dispersión típica controlada por el usuario.

Para realizar un estudio estadístico de media y de dispersión típica, es necesario recopilar muestras de datos, por lo que es esencial incluir botones en la aplicación encargados de señalarle cuando iniciar la aplicación, cuando parar y hacer los cálculos estadísticos y cuando reiniciar la aplicación.

Cuando la pseudodistancia se mide bajo estas condiciones de presencia de error, el algoritmo de punto simple generará estimaciones de posición con un grado de incertidumbre dado por las desviaciones típicas que presentan las diferentes componentes del vector de estado estimado.

VII. SOFTWARE DE SIMULACIÓN DE GPS CON ALGORITMO DE POSICIONAMIENTO DE PUNTO SIMPLE

El software de simulación se programó en Matlab, haciendo uso de la herramienta GUIDE. A continuación se puede observar la interfaz gráfica para el usuario:

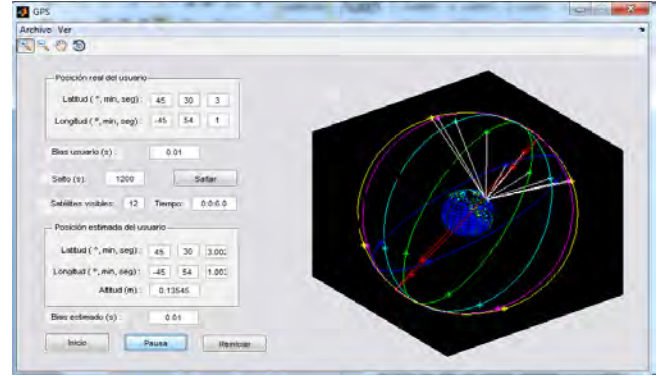


Fig. 6. Interfaz gráfica del usuario.

Se puede observar en la parte izquierda de la figura los controles numéricos, botones de acción e indicadores. Entre los controles numéricos se encuentran aquellos que permiten ingresar los datos de la Latitud, la Longitud, el tamaño de Salto en segundos para cambiar el momento de observación del GPS, el “bias” de reloj del usuario y la dispersión típica para los datos de error en la medida. Respecto a los botones de acción, se encuentra el botón de Salto que activa el cambio de momento de observación en el GPS, otro que inicia el sistema, uno de pausa y otro de reinicio. Además, se incluyen 4 botones para modificar la visualización de la gráfica; zoom positivo y negativo, mover gráfica y rotar gráfica.

En cuanto a los indicadores, la aplicación posee 4 destinados a mostrar la longitud, latitud, altura y “bias” respectivamente. Hay otro que muestra el número de satélites visibles por el usuario y uno más que marca el tiempo transcurrido desde que se activó el GPS.

A su vez se incluyó 2 menús, el primero, “Archivo”, contiene las acciones de iniciar aplicación, pausar la aplicación y salir del programa. En el segundo, “Ver”, el usuario puede obtener de la simulación diferentes estadísticas, acceder al modo tierra, el cual es una opción

reservada para una futura versión, y finalmente la opción en la que se pueden visualizar los créditos del software.

La opción “estadísticas” abre una nueva ventana que posee un menú desplegable de opciones, 5 botones de control y un menú principal.

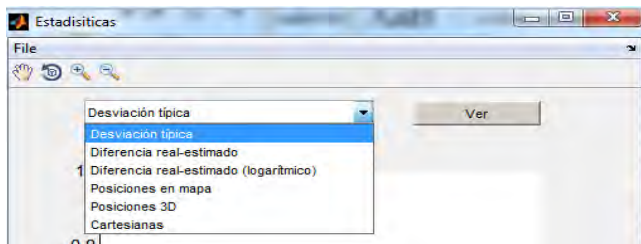


Fig. 7. Pantalla de estadísticas

En el menú principal, se le permite al usuario imprimir las gráficas realizadas, o exportar los datos a un archivo de Excel. Entonces Matlab lleva los vectores a un archivo previamente configurado en Excel y los organiza por columnas, como se puede observar en la siguiente figura:

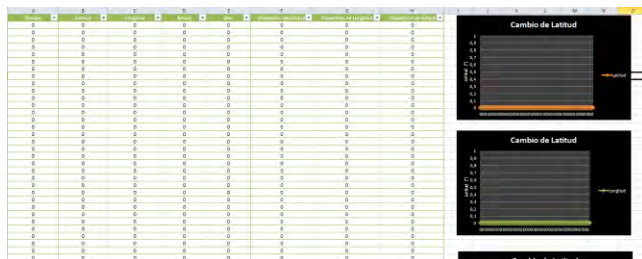


Fig. 8. Exportación de datos a Excel.

Además, los 5 botones de control tienen la función de zoom positivo, zoom negativo, rotación, desplazamiento de gráfica y un botón que da la orden de graficar dependiendo de la opción seleccionada en el menú desplegable.

Este menú desplegable contiene las opciones con las que el usuario puede graficar la desviación típica de la longitud, latitud y altura, recopilada en el tiempo que haya activado la simulación.

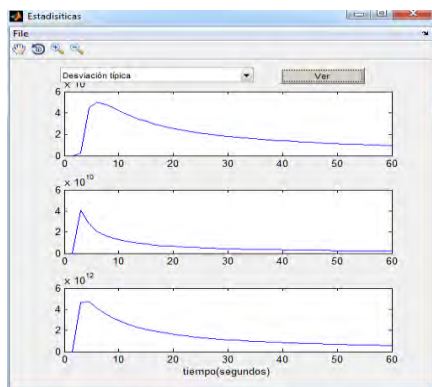


Fig. 8. Gráficas de desviación típica de la latitud, longitud y altura.

La opción de diferencia real-estimado grafica la diferencia entre los valores reales y estimados en escala decimal y logarítmica con el fin de poder observar mejor las variaciones entre dichos valores. La opción de posiciones en mapa, le permite al usuario graficar la posición ingresada y las posiciones que el algoritmo ha estimado sobre un mapa de la Tierra en 2D:

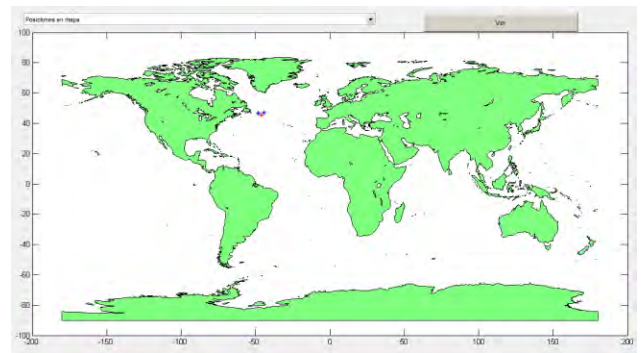


Fig. 9. Posiciones halladas por el GPS graficadas en un mapa 2D de la Tierra.

En la anterior opción, el usuario puede interactuar con el mapa realizándole zoom positivo o negativo, con lo que puede observar la posición que ha ingresado el usuario (en rojo) y las posiciones que ha indicado el GPS durante el tiempo de funcionamiento (azul). En la siguiente imagen se ilustra la anterior descripción, se tomará que el usuario se encuentra sobre la isla Gran Canaria y está hallando su posición con ayuda de un GPS con algoritmo de posicionamiento de punto simple incluyendo los posibles errores sobre la medida, durante un minuto y 57 segundos de funcionamiento:

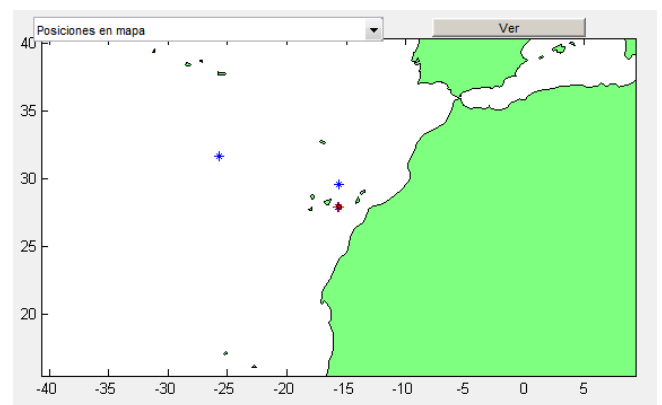


Fig. 10. Ejemplo del uso de la herramienta “Posiciones en el mapa”, en vista lejana.

Como se puede observar, el GPS cada vez que transcurre 1,5 segundos, toma una medida de posición que va convergiendo con la posición real del usuario, con cada iteración que realiza del algoritmo de punto simple. Para poder observar el gran potencial de ésta aplicación, se tomará una imagen de la misma situación pero más acercada al usuario:

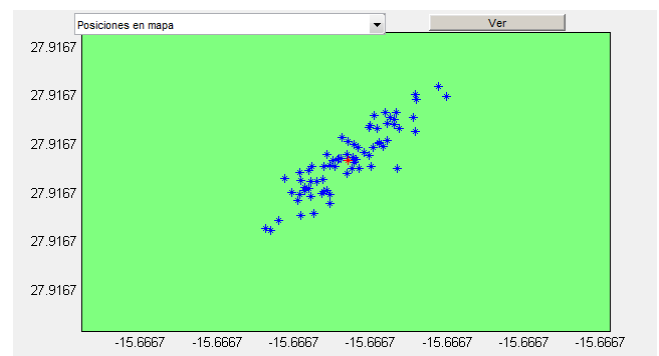


Fig. 11. Ejemplo del uso de la herramienta “Posiciones en el mapa”, en vista cercana.

Como se puede observar, el cálculo de GPS se va acercando a la posición del usuario hasta que llega a un punto en el cual, los propios errores en la medida comienzan a ser un factor importante para el algoritmo. Así pues se crean oscilaciones y una nube de probabilidad, que si realizáramos el cálculo, daría una oscilación de más o menos 11 metros.

Continuando con la descripción del menú, también se posee la herramienta de posiciones en 3D, la cual cumple la misma función anterior, sólo que sobre un mapa 3D de la Tierra, con las aproximaciones de ser una esfera sin orografía.

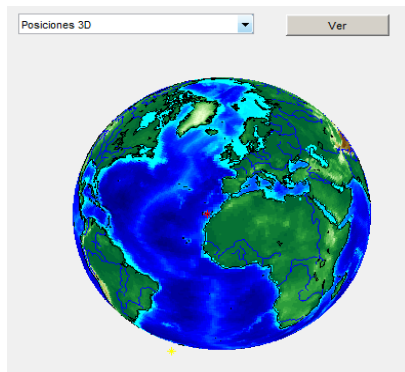


Fig. 12. Ejemplo del uso de la herramienta “Posiciones 3D”.

Por último, se encuentra la opción “cartesianas”, la cual le permite al usuario graficar las posiciones halladas por el GPS en coordenadas cartesianas.

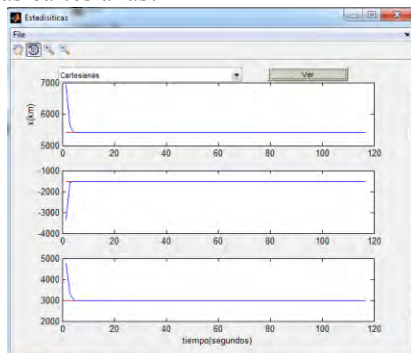


Fig. 13. Gráfica de las posiciones halladas con GPS en coordenadas cartesianas.

VIII. CONCLUSIONES

En el anterior artículo se propuso un simulador interactivo de un sistema de posicionamiento global con algoritmo de posicionamiento de punto simple, el cual fue diseñado para darle la sensación de realismo al usuario y así cautivar interés en el mismo acerca de los temas de navegación por satélite.

Por otra parte, se demostró la funcionalidad del simulador al representar el funcionamiento del algoritmo de punto simple y al crear una interfaz interactiva para el usuario, en la que se puede modificar diferentes parámetros del algoritmo (Longitud, Latitud, “Bias”, entre otros) y lograr con ello una herramienta educativa que permite el estudio a mayor detalle del algoritmo básico de GPS.

A su vez, el software es asemejado a la realidad al agregar factores de error al algoritmo, incrementando las posibilidades de experimentos que se puedan realizar acerca

de estos temas, como por ejemplo estudios estadísticos, de probabilidad e inclusive de entretenimiento.

Además, la diversidad de formas de presentación de los datos obtenidos que se presentan en el programa, facilitan los posibles estudios que surjan entorno a los sistemas de posicionamiento global.

REFERENCIAS

- [1] Guía de aprendizaje “Aprenda Matlab como si estuviera en primero”
- [2] M. S. Grewal, L. R. Weill y A. P. Andrews, “Global Positioning Systems, Inertial Navigation, and Integration”. John Wiley & Sons, Inc. Canada, 2001.
- [3] B. W. Parkinson y J. J. Spilker Jr. “Global Positioning System: Theory and Applications”. Volumen 1. American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc. Estados Unidos, California, 1996.

CASTRO G. HECTOR LUIS (M²⁰¹⁰) nació el 27 de Junio de 1993 en la ciudad de Tunja, Colombia. Se graduó con honores del Colegio Andino de Tunja, proyecto laureado titulado “Reciclaje de papel en el Colegio Andino de Tunja”. Es voluntario inactivo de la Cruz Roja Colombiana. Participó junto con el equipo de robótica de la Universidad Santo Tomás Seccional Tunja en el torneo nacional de robótica VEX desarrollado en Campus Party Bogotá 2011 posesionándose como subcampeones nacionales y cuartos en el torneo. Es miembro estudiantil del IEEE. Antes de determinar su pregrado, finalizó el Máster en Tecnologías, Sistemas y Redes de Comunicaciones en la Universitat Politècnica de València en el año 2014. Actualmente es estudiante de ingeniería electrónica de la Universidad Santo Tomás Seccional Tunja.

SÁNCHEZ DE A. JOSÉ BORJA (M²⁰¹²) nació el 16 de Julio de 1985 en Xátiva, España. Se graduó en el colegio José de Rivera de Xátiva en 2004. Fue miembro de la delegación de estudiantes de la ETSIT de la UPV hasta 2011. Ahora, él es estudiante miembro de IEEE y actualmente estudia ingeniería de telecomunicaciones en la Universitat Politècnica de València.

SÁNCHEZ G. JUAN PABLO (M²⁰¹²) nació el 27 de Noviembre de 1987 en Almansa, España. Se graduó con honores en el colegio Herminio Almendros de Almansa en 2005. Ahora es estudiante miembro de IEEE y actualmente estudia ingeniería de telecomunicaciones en la Universitat Politècnica de València.

Implementación y Caracterización de Sensores Resistivos para la Generación de Mapas de Distribución De Fuerzas para Pacientes en Posición Sedente

Jevis Yamid Caro Pedreros
Facultad de Ingeniería Electrónica. Universidad Santo Tomás
Tunja, Colombia
jevis.caro@usantoto.edu.co

Juan Carlos Delgado Saenz
Facultad de Ingeniería Electrónica. Universidad Santo Tomás
Tunja, Colombia
juan.delgados@usantoto.edu.co

Abstract—In biomedical engineering and rehabilitation prevention of pressure ulcers remains a significant problem, so that the detection of pressure points at the hip in patients who are permanently seated position has an important role in the prevention and treatment of pressure ulcers, especially for people at high risk who require wheelchair for movement or quadriplegics who require stretchers for recuperation. The objective of this study is to design a detection platform distribution of forces, as a basic parameter for such therapeutic treatments in preventing various diseases primarily pressure ulcers, but with some additional applications in the field of physical therapy such as a detection system of pressure points and mapping hip positioning help prevent bad posture, in estimating the center of mass and in the study of postural control in patients with idiopathic scoliosis.

Thus, this article refers to an instrumentation system that allows the identification of the distribution of forces in a platform, which generates a mapping of regions of varying pressure on the hip.

Keywords— Hip; forces distribution; FSR; force; Pressure ulcer.

Palabras clave— Cadera, Distribución de fuerzas, FSR, Fuerza, Úlcera por presión.

I. INTRODUCCIÓN

Durante la última década se han desarrollado algunos sistemas de análisis de presión y de distribución de fuerzas para el tratamiento médico de pacientes que padecen úlceras por presión [6], [7]; lo anterior, ha hecho viable el desarrollo de diversos sistemas de soporte neumático para cuidado de pacientes, sobre todo para pacientes que, por una u otra circunstancia, están condicionados a estar en una misma posición de reposo, durante un tiempo considerable; tal es el caso de pacientes paraplégicos o cuadriplégicos o en

condiciones de incapacidad total o temporal, causas indicadas por Martínez, Fernando (2012), quien señala que, el no mantener un nivel de movilidad adecuado, predispone a los pacientes a un mayor riesgo de desarrollo de la enfermedad, demostrando que se podría generar la inmovilidad por distintas causas; entre las más comunes se encuentran: el deterioro cognitivo, la sedación, situaciones de fin de vida, lesiones medulares, intervenciones quirúrgicas de larga duración, enfermedades neurológicas, ser paciente de silla de ruedas o estar postrado en cama, presentan casi 5 veces más riesgo de desarrollar úlcera por presión [1]. Algunos de los sistemas actualmente existentes generan cambios de presión deliberadamente a nivel de la cadera sin tener en cuenta la medición de los mayores puntos de presión [4], [9]. En el peor de los casos donde no existen sistemas de soporte neumático se generan guías de atención a usuarios con esta patología por parte del personal de enfermería o cuidado de pacientes en áreas de uso extrahospitalario [6], [7].

II. METODOLOGÍA

El primer proceso se desenvuelve dentro de un nivel metodológico de investigación de tipo descriptivo, ya que, se elabora el estudio del comportamiento de sensores y actuadores, enfocado hacia una población - objeto de estudio - que permita determinar el comportamiento del sistema a implementar (Fig. 1), con respecto a las diferentes variables y comportamientos físicos, en los cuales se caracterizarán los parámetros de presión, centro de masa y distribución de fuerzas, mediante la instrumentación necesaria y óptima para el sistema. Para este proceso, se utilizará la plataforma de medición a partir de veinte sensores de fuerza, encargados de entregar a una pantalla, los datos que representan un mapeo en donde se evidencia mayor o menor presión producida por varias personas como sujetos de prueba, cuyos “muestreos”, a

su vez, sirven como modelo para la generación de una base de conocimiento (base de datos). De acuerdo con la información obtenida de la plataforma, se generarán gráficas en 2D, histogramas e históricos que ofrecerán un registro clínico para el historial del paciente [5]. De esta manera se plantea generar un primer prototipo del dispositivo o soporte neumático para cuidado de paciente en una segunda etapa de implementación y desarrollo, así como el uso de un sistema de control sobre actuadores neumáticos y un software de visualización y mapeo propio, que pueda ser visualizado en pantallas externas.

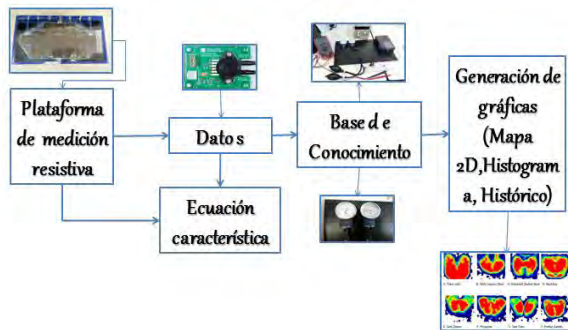


Fig. 1. Mapa esquemático de la primera Etapa. Fuente: Autores

III. RESULTADOS

A. Diseño de la plataforma resistiva

Se ha desarrollado una plataforma resistiva, que se diseñó a partir de la identificación de los principales puntos de presión de la cadera, junto con los puntos de mayor inflexión y de mayor impacto a nivel de la aparición de úlceras por presión. De esta forma, a partir de la distribución de algunas regiones importantes de la cadera, donde se genera más presión y zonas que están expuestas comúnmente a la creación de úlceras como las región isquial, los trocánteres y la zona coxígea.[2]



Fig. 3. Distribución de sensores resistivos. Fuente: Autores

A partir de desarrollo teórico [9], se pudo inferir un primer diseño en base de madera partiendo de la distribución (Fig. 3) de la cadera al encontrarse un paciente en posición sedente, para la cual se hace una distribución de cada uno de los sensores, de forma que exista una mayor cobertura de los puntos y zonas expuestas a mayor presión.

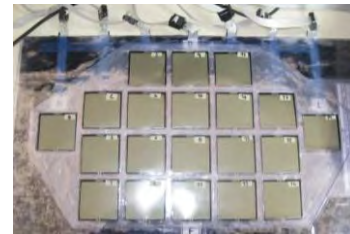


Fig. 4. Plataforma resistiva. Fuente: Autores

Es así, que se rediseñó la plataforma (Fig. 4), migrando del primer diseño (Fig. 3) en base de madera, ya que por la rigidez característica de la base de madera los sensores resistivos entraban en saturación de datos, es decir generaban la máxima lectura o salida del sensor, donde se tuvo en cuenta diferentes factores para rediseñar sobre una plataforma de acrílico que permite la flexibilidad de la base, la acomodación correcta de los sensores en la cadera de los pacientes a nivel de tejidos blandos y estructura ósea y la certeza de funcionamiento correcto de los sensores resistivos. De tal forma, que se tienen en cuenta los parámetros que influirían en la medición de los puntos de presión y la distribución de fuerzas del sistema, así como la determinación del centro de masa [8] que para este caso se ubicaron los sensores sobre una base de acrílico que posee en mayor grado de flexibilidad, y podrá acomodarse de manera adecuada a los sistemas de valoración y recuperación en pacientes que son potencialmente portadores de escaras. [3]

Cada uno de los sensores, se encuentran cableados de forma secuencial para cada fila de sensores, ya que permite mayor facilidad de manejo y envío de datos e información a través de un bus de datos dispuesto para la posterior multiplexación de los datos entregados. Además, dicha plataforma cuenta con un recubrimiento aislante plástico que permite que el sistema se encuentre aislado de fluidos no deseados, de daños superficiales a los sensores y de un contacto directo con la fisionomía del paciente que podría provocar accidentes o resultados no esperados.[4]

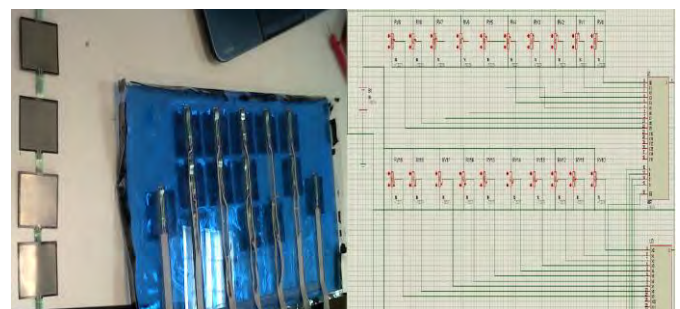


Fig. 5. Esquema de Cableado de sensores. Fuente: Autores

B. Caracterización del Sensor de Fuerza

El sensor de fuerza que se implementó para el desarrollo de la plataforma, fue un sensor de fuerza piezoresistivo de forma cuadrada para 10 Kg con un área de sensado 4.4 cm x 4.4 cm y con salida 2 pines con cambio resistivo según especificaciones entregadas en la hoja de datos del dispositivo por el fabricante, que permitirá identificar y captar con mayor

eficacia los puntos de presión en la plataforma resistiva. Es así, que para determinar la confiabilidad de respuesta y entrega de datos del sensor de fuerza se procedió a elaborar la caracterización del sensor (Fig.5), a partir de la curva de calibración entregada por el fabricante.

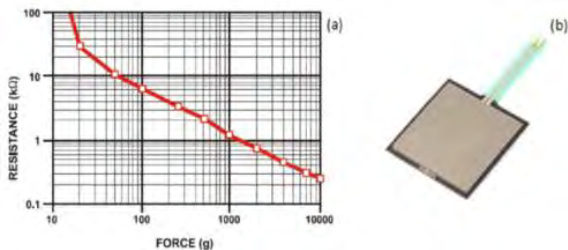


Fig. 6. Curva de calibración sensor de fuerza. Fuente: <http://www.lynxmotion.com/images/data/5rguide.pdf>

Para iniciar con la caracterización de los sensores de fuerza se tomaron una serie de medidas de resistencia contra peso (Fig. 6), para lo cual se dispuso de diferentes pesos sobre los sensores dichos pesos se medían sobre una báscula electrónica debidamente calibrada que garantiza la confiabilidad de la medición de pesos, y alternadamente se hace la toma de datos en resistencia generados por el sensor para finalmente generar la curva característica del sensor y su ecuación característica.



Fig. 7. Caracterización sensor de fuerza. Fuente: Autores

La toma de datos se elabora sobre una tabla, con 12 pesos diferentes y diez pruebas para cada uno de los pesos, desde los 0 gramos hasta 9000 gramos, para los cuales se hicieron tomas de datos en resistencia entregadas por el sensor, con los cuales halla un promedio de los datos en resistencia (TABLA 1) para cada una de las diez pruebas, obteniendo un promedio por cada valor de peso evaluado.

TABLA 1. PROMEDIO DE DATOS CURVA EXPERIMENTAL DEL SENSOR DE FUERZA.

Masa (g)	Promedio (Ohm)
0	2300.7
500	1786
1000	947.1
1500	687.4
2000	600.4
3000	423.2
4000	374.1
5000	307.5
6000	223.5
7000	205.8
8000	185.6
9000	162

La curva característica y la ecuación generada por el proceso de caracterización (Fig. 7) y por los datos obtenidos se muestran a continuación, donde se puede observar el

comportamiento que se asemeja en gran parte a la curva característica entregada por el fabricante.

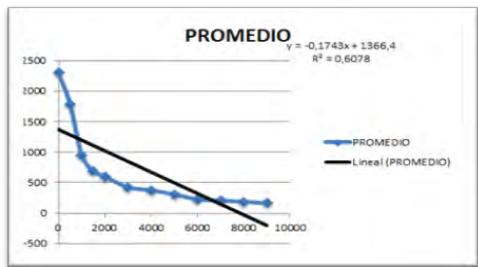


Fig. 8. Curva característica experimental. Fuente: Autores

A partir de la anterior gráfica, se ha podido establecer el comportamiento del sensor con el cual se hace una comparación con la media aritmética hallada.

C. Programación

Para la adquisición, análisis y determinación de datos y parámetros de presión, fuerza y centro de masa se tomó como tarjeta de adquisición la placa de Arduino® UNO R3, que por su facilidad de programación y similitud con la programación en lenguaje C y por su principal ventaja de ser software libre, se incursionó en la programación que dio paso al desarrollo de software para la plataforma resistiva, donde se está determinando un control sobre los habilitadores de canal de los circuitos multiplexores, es así que se puede establecer un control sobre el sistema de multiplexación y adquisición de datos generados por la plataforma resistiva para su posterior observación, análisis y almacenamiento.

D. Circuito de multiplexación

La multiplexación se debe hacer a partir de un sistema de control que permite habilitar los canales de adquisición de datos de manera secuencial mediante lógica binaria, teniendo en cuenta los pines de inhibición de cada uno de los integrados que mediante lógica inversa se activan (Fig. 8).

De otro lado se tiene que la multiplexación se llevó a cabo mediante TDM (Time Division Multiplexing) [8] ya que permite conectar varios dispositivos (sensores) en un mismo canal de comunicaciones, con lo cual se puede obtener mayor cantidad de información de cada sensor y ya que la señal y variable a medir son una misma. Para el control de los circuitos de multiplexación de los sensores, se dispone de un código en el software Arduino que manipula 5 variables las cuales corresponden a: 4 variables que permiten realizar el conteo de 0 a 9 (10 datos) en donde se habilita cada uno de los 10 canales de un integrado y 1 variable que habilita o deshabilita el pin “Inhibit” de cada integrado, el cual es manejado por lógica inversa.

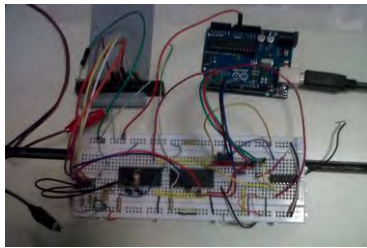


Fig. 9. Implementación del circuito de multiplexación. Fuente: Autores

E. Distribución de Fuerzas

La distribución de fuerzas que se generan a nivel de la cadera [9], por lo que la morfología de la misma es un factor importante: por tanto el género define diferencias marcadas como por ejemplo la pelvis masculina está adaptada para el apoyo de una estructura física más pesada y los músculos que son más fuertes y la pelvis de la mujer se adapta para tener hijos en lugar de la fuerza física. Las partes de la pelvis femenina describen el canal del parto y deben ser lo suficientemente amplias como para que el bebé pase a través durante el parto.

De esta manera y haciendo uso de la adquisición de datos dentro de una población de 20 personas de cada género y teniendo en cuenta el mismo somatotipo. Las zonas de estudio para este prototipo se dividen en óseas y musculares, donde de las primeras se tiene la zona sacra, trocantérea, coxígea e isquial y de la segunda, el glúteo mayor y menor, el aductor mayor y el piriforme. [10]

Con base a los datos encontrados en la población estudio se tiene que el somatotipo (Fig. 9), que de cada género está definido por la talla, el peso corporal y la edad. Para el caso de los hombres (Fig. 10) se tiene un promedio de talla de 1.75 m, un peso promedio de 69 Kg y un rango de edad de 17 a 27 años. Ahora para el caso de las mujeres (Fig. 11) se destaca un promedio de talla de 1.60 m, un promedio de peso corporal de 56 Kg y un rango de edad de 16 a 24 años. Este estudio se ha realizado sobre pacientes que no padecen de alguna patología, es decir, que puedan afectar el estudio.



Fig. 10. Generación de mapa de presiones para sujeto sano. Fuente: Autores

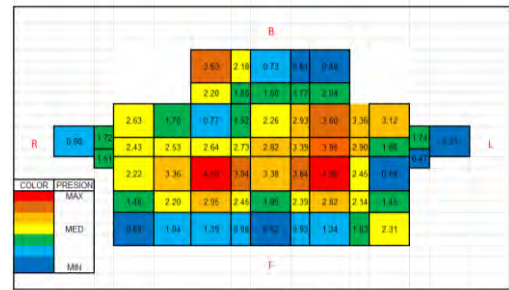


Fig. 11. Mapa de referencia para género masculino. Fuente: Autores

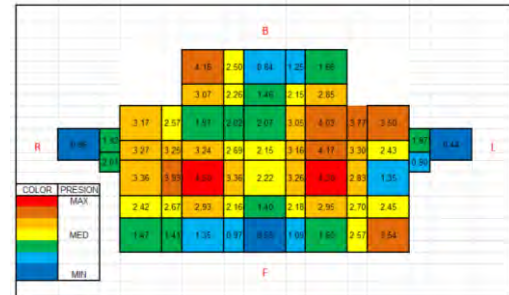


Fig. 12. Mapa de referencia para género femenino. Fuente: Autores

De las gráficas anteriores se puede describir la distribución de fuerzas mediante un vector resultante (Fig. 12) de las fuerzas aplicadas sobre la plataforma cuando se somete al sentado del paciente. [3], [7].



Fig. 13. Vector resultante de la distribución de fuerzas en la cadera en posición sedente. Fuente: Autores

Para conocer la cantidad de presión aplicada a cada zona se realizó un análisis estadístico de donde se pudo inferir para hombres (TABLA 2) y mujeres (TABLA 3). Para el caso de los hombres:

TABLA 2. PORCENTAJES DE PRESIONES OBTENIDAS EN MAPA DE REFERENCIA PARA HOMBRES.

Clase (mmHg)	Frecuencia	Frecuencia Relativa	Frecuencia Porcentual
16-54.3	8	0,4	40
54.3-92.6	2	0,1	10
92.6-130.9	4	0,2	20
130.9-169.2	3	0,15	15
169.2-207	3	0,15	15
TOTAL	20	1	100

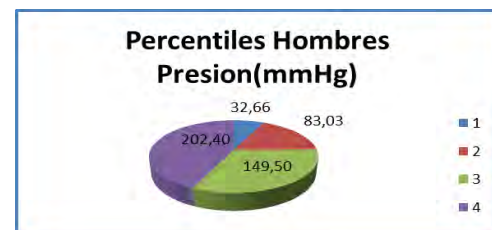


Fig. 14. Percentiles de valores de Presión en Hombres. Fuente: Autores

Para el caso de las mujeres:

TABLA 3. PORCENTAJES DE PRESIONES OBTENIDAS EN EL MAPA DE REFERENCIA PARA MUJERES.

Clase (mmHg)	Frecuencia	Frecuencia Relativa	Frecuencia Porcentual
20-57.47	4	0,2	20
57.47-94.94	6	0,3	30
94.94-132.41	2	0,1	10
132.41-169.88	4	0,2	20
169.88-207	4	0,2	20
TOTAL	20	1	100

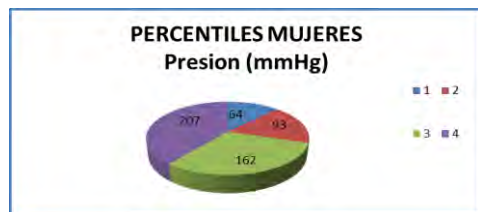


Fig. 15. Percentiles de valores de Presión en Mujeres. Fuente: Autores

Para establecer que la muestra de la población estudiada es homogénea, es decir, el mismo somatotipo preestablecido anteriormente, se calcula mediante la comparación de la desviación estándar de los resultados promedios obtenidos de la población, en donde se encuentre dentro del intervalo de la quinta y cuarta parte rango (1).

$$Homogéneo = \left[\frac{R}{5}, \frac{R}{4} \right] \quad (1)$$

$$Desviación\ estándar_{Hombre} = 64.03 \quad (2)$$

$$Homogéneo_{Hombre} = \left[\frac{R}{5}, \frac{R}{4} \right] \quad (3)$$

$$Homogéneo_{Hombre} = \left[\frac{191}{5}, \frac{191}{4} \right]$$

$$Homogéneo_{Hombre} = [38.18, 47.725]$$

$$Desviación\ estándar_{Mujer} = 62.19 \quad (4)$$

$$Homogéneo_{Mujer} = \left[\frac{187}{5}, \frac{187}{4} \right] \quad (5)$$

$$Homogéneo_{Mujer} = [37.35, 46.69]$$

Para el caso de los hombres como en el de las mujeres, la muestra de la población no son homogéneas (heterogéneas).

V. CONCLUSIONES

El vector resultante de la distribución de fuerzas se cumple, ya que desde los isquiones hasta el glúteo menor varía de acuerdo a la presión aplicada por lo que las máximas presiones generadas por las mujeres se ubican entre 57 a 95 mmHg aproximadamente, que para los hombres es de 16 a 55 mmHg aproximadamente, esto debido a que en las mujeres la

morfología anatómica de la cadera difiere de la de los hombres por lo que es más amplia.

Las mínimas presiones generadas por las mujeres corresponden al 20% y en los hombres al 40%, lo que indica que un factor diferencial entre hombres y mujeres a nivel a puntos de presión y de distribución de fuerzas, debido a la morfología anatómica de la cadera, característica de cada género. De esta forma las presiones intermedias en hombres son del 20 % y en mujeres es de 10 %, por lo que no representan alarma debido a que se localizan en zonas donde no existen prominencias óseas.

Según el estudio estadístico planteado se puede inferir que las mujeres son más propensas a desarrollar úlceras por presión, debido a que la frecuencia relativa y porcentual de la población de mujeres estudiada, es mayor que la de los hombres, con índices de 0,2 en frecuencia relativa para mujeres y de 1,5 en hombres. Un 50 % de los hombres de la muestra de la población de estudio, generan presiones bajas para la posición sedente, lo que disminuye la probabilidad de que desarrollen la patología.

Se obtienen que tanto para hombres, como para mujeres, los puntos de mayor presión y el centro de masa se ubiquen en las zonas isquiales y varían con base a la alineación del cuerpo y la cantidad de peso soportado por las articulaciones y la fuerza de los músculos que oscila entre límites razonables dependiendo del movimiento del cuerpo [11].

También se concluye que el centro de masa de los pacientes varía de acuerdo a la acumulación de grasa y pérdida de tejidos blandos [12],[13], ya que aumentan el peso y la presión generada.

REFERENCIAS

- [1] MARTÍNEZ, F., (2012). Las úlceras por presión: una problemática prevenible. <http://ice-mac.org/pdf/colectanea/8.pdf> (13 de Junio de 2013)
- [2] RISCANEVO., Diana Yadith y CARO., Edward Wilder (2013). Dispositivo Automático para la prevención de úlceras por presión grado I y II en la región sacra isquial para pacientes en silla de ruedas. Tunja. 95 h. Proyecto de Investigación. (Ingenieros Electrónicos) Universidad Santo Tomás-Tunja. Facultad de Ingeniería Electrónica. Grupo de Investigación EICIT.
- [3] YANG, Y et al., 2010. Design and preliminary evaluation of an air-alternating wheelchair seating system for pressure ulcer prevention. http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5478971&tag=1 (12 de Junio de 2013)
- [4] GONZALES, C., (2005). Experimental seat for the study of the effects of random pneumatic stimulation for the prevention of pressure ulcers. http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=1529603 (12 de Junio de 2013)
- [5] MEJÍA. Fernando (2008). Introducción al modelamiento por elementos finitos con ANSYS. www.estructuras.unal.edu.co/Pagina%20ANSYS/.../5beam.pdf (9de Marzo de 2014)

[6] BOLETÍN TERAPÉUTICO ANDALUZ (2000). Tratamiento local de las úlceras por presión. Escuela Andaluza de Salud Pública. Andalucía, España.

[7] ESPINOSA, Esperanza., 2012. Úlceras por presión. <http://www.ficmed.unam.mx/deptos/salud/censenanza/spivsa/antol%202%20anciano/2parte2013/ulceras.pdf> (6 de Enero de 2014)

[8] BOGGIO, Lisandro., Multiplexación y Acceso múltiple. <http://www.lu3hba.com.ar/ARTICULOS%2010/Multiplexacion%20y%20Acceso%20Multiple.pdf> (11 de Enero de 2014)

[9] Agudo, A. Gil., Evaluación de la distribución de las presiones de apoyo en la interfaz usuario-cojín para determinar la presión de inflado de los cojines de aire. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048712009000073> (13 de Enero de 2014)

[10] SCHAPER, DC. Body alignment, posture, and gait. http://www.chiro.org/ACAPress/Body_Alignment.html (24 de Febrero de 2014)

[11] HANAVAN, Ernest P. A mathematical model of the human body. Tercera Edición, Aerospace Medical Research Laboratories, Aerospace Medical Division, Air Force Systems Command, 1964.

[12] YEADON. Human Inertia Model. University of California, 1990

[13] ZABJEK, Karl F. Estimación del centro de masas para el estudio del control postural en pacientes con Escoliosis Idiopática. Université de Montréal, 2003.

Estudio y Caracterización del algoritmo del Filtro Extendido de Kalman (EKF) para el Mapeo de Ambientes con Robots Móviles

Juan Giraldo, Eliana Vargas, Laura Valdez, Manuel Ríos, Camilo Gamarra y Carlos Quintero
Facultad de Ingeniería Electrónica
Universidad Santo Tomas
Bogotá-Colombia

Resumen—En este documento se muestra el estudio referente a las técnicas de mapeo de ambientes más usadas actualmente en el ámbito de la robótica móvil. Así como un conjunto de estudios realizados referente a los algoritmos más usuales en los procesos de mapeo, enfocándose hacia el algoritmo de Filtro Extendido de Kalman (EKF), además de un estudio referente a los sensores más usados en dichos procesos. Finalmente, se presenta la caracterización a partir de la implementación del algoritmo EKF en torno al problema de mapeo de ambientes de robots móviles autónomos. Esta caracterización permite establecer resultados importantes sobre el comportamiento y desempeño del método de mapeo basado en EKF tales como errores de posición y escaneo.

Keywords—sensores; desempeño; EKF; caracterización; landmarks; mapping; SLAM; MatLab

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años la robótica móvil ha tenido una participación importante en la industria, en el mercado y en áreas como la exploración terrestre y espacial. Esto ha traído consigo numerosos desarrollos automatizados que intentan solucionar problemas importantes para la sociedad a través de la construcción de robots que realizan labores y se desenvuelven sin la necesidad de intervención humana. Por este motivo, se incursiona en el desarrollo de un sistema de navegación autónoma, mediante el proceso de mapeo y planeación de rutas para una plataforma robótica móvil.

La contribución principal de este artículo consiste en realizar la caracterización de al menos una técnica de mapeo de ambientes para robots móviles, a partir de una revisión sobre implementaciones del estado del arte referente a las técnicas de mapeo existentes.

El documento está constituido por un estado del arte referente a los trabajos realizados (capítulo II), estudio y selección de los sensores (capítulo III), filtro extendido de Kalman (capítulo IV), Caracterización del Algoritmo EKF SLAM Simulator (capítulo V), resultados (capítulo VI) y conclusiones (Capítulo VII).

II. TRABAJOS REALIZADOS

En esta sección se muestra brevemente el trabajo realizado por diversos investigadores relacionado con el desarrollo de algoritmos de construcción de mapas para la navegación de robots [1, 2, 3, 4, 5]. Esto con el fin de evaluar y comparar la metodología propuesta y aplicada durante el desarrollo de este proyecto.

En [5] se presenta la aplicación de un algoritmo de localización y Mapeo Simultáneos (SLAM) en una Interface Cerebro-Computadora (ICC) que controla la navegación de un robot móvil y consta de un panel con lugares y funciones predefinidas dentro de un ambiente conocido. El usuario, mediante sus señales electro encefálicas del cerebro, elige la función a ejecutar o el destino a alcanzar por el robot móvil. El algoritmo de SLAM permite generar mapas de nuevos entornos y con los mapas obtenidos se generan trayectorias de navegación para el robot móvil.

En [6], el autor propone un algoritmo “Voting”, implementado sobre MATLAB, con el cual un robot es capaz de construir su propio mapa a medida que avanza, utilizando sensores de sonar. Mediante el uso de éstos el robot adquiere la información necesaria del entorno y ubica primero su posición inicial. A partir de ésta se desplaza determinada distancia, se detiene y realiza los sondeos y se ubica respecto al origen, conformando diferentes vectores de prueba y organizando el mapa. Continúa con este proceso hasta que realiza el reconocimiento total del lugar. Es importante mencionar que en este proyecto el algoritmo no es capaz de realizar la planeación de rutas y que inicialmente el robot cuenta con un sistema de orientación similar a una brújula. Además, el autor realiza diferentes pruebas con el prototipo para verificar la fiabilidad del algoritmo y encuentra deficiencias en el mismo tales como la velocidad y los errores del sonar.

En [7], los autores proponen la implementación de un algoritmo “Wavefront” o algoritmo de frente de onda, en el cual se crea una rejilla XY para marcar el espacio vacío, la meta, los obstáculos y la posición inicial del robot. En el

código implementado lo que hacen los autores es utilizar una matriz cuadrada como entomo de trabajo y cada componente de la fila y columna se fija con un valor de 0 para representar los espacios intransitables y 1 para representar el robot, los espacios libres por los cuales el robot se desplaza se dejan vacíos. Además, se ubican las coordenadas del robot y del objetivo (meta). Este algoritmo verifica nodo a nodo el entomo ignorando las paredes y por medio de números va completando los espacios vacíos asignando números pequeños a espacios más cercanos a la meta y más grandes a espacios más cercanos a su ubicación actual. Finalmente, el robot se desplaza casilla por casilla siguiendo el orden descendente de los números hasta llegar a su destino. Los autores encontraron diferentes inconvenientes con el algoritmo, ya que al ser utilizado en espacios grandes actúa ineficientemente, el tiempo para poner a prueba los algoritmos de navegación del robot en el prototipo es muy alto ya que se tarda en compilar, es muy lento su movimiento e incluso es muy difícil modificar el programa si se encuentra una falla. Los autores mencionan la desventaja de implementación de este algoritmo en lenguaje C debido a la complejidad para simular el ambiente gráfico, así como también para obtener las características físicas del robot tales como tamaño, velocidad y agilidad.

Similarmente, en [8] se hace el desarrollo de un algoritmo de tipo SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) que permite construir mapas de entorno basado en las características del medio extraídas a partir de la información proporcionada por un escáner de un robot móvil. El SLAM se fundamenta en una sucesión de pasos, donde el objetivo es utilizar las líneas rectas como puntos de referencia que describen el ambiente donde se mueve el robot para restablecer su posición. Además, utilizan un mapa, que se mantiene y actualiza mediante un Filtro de Kalman Extendido (EKF) y a medida que el robot se está desplazando, se va realizando el mapa automáticamente. Los resultados expuestos fueron generados a través de simulaciones de exploraciones realizadas por un robot móvil, equipado con un sensor láser en entornos estructurados. Similar a nuestro proyecto, los mapas desarrollados en este trabajo asumen un ambiente estático, pero presenta un error de la ubicación del robot con lo que se realiza un mapa erróneo y no del todo confiable, es decir el algoritmo no siempre funciona de la misma manera cuando se presenta este error y es probable que el robot se pierda.

En [9], los autores desarrollaron tres algoritmos para hacer el mapeo de un determinado ambiente, pero a diferencia de otros, utilizaron sensores de ultrasonido como herramienta de adquisición de información del entorno por medio de conceptos probabilísticos. El obstáculo es detectado por el sensor, tan sólo si se encuentra por encima del valor umbral de amplitud del sensor. De acuerdo a los autores del proyecto, existe una fuerte dependencia del resultado final del mapa y la

cantidad de medidas obtenidas, además se pueden encontrar principalmente tres tendencias en la elaboración del mapa. Primero están los mapas basados en rejilla, los cuales consisten en la subdivisión del entomo en una serie de celdas uniformes. La mayor ventaja es que son fáciles de construir incluso en entornos de gran tamaño, además es fácil para un robot determinar su posición dentro del mapa tan sólo conociendo su posición y orientación. Sin embargo, necesita una gran cantidad de memoria para el almacenamiento de la información, así como la complejidad de los algoritmos necesarios para la extracción de la misma. Por otra parte en este documento se trabaja con mapas topológicos, que consisten en un grafo cuyos nodos representan situaciones diferentes del entorno. Este tipo de mapa es útil gracias a la facilidad para la planeación de trayectorias para la navegación de un robot, pero es más difícil su construcción y mantenimiento en el caso de trabajar en grandes entornos. Por último se implementa el algoritmo para la elaboración de mapas geométricos en los que son tenidos en cuenta las geometrías de los obstáculos del entorno, es decir paredes, esquinas cóncavas y convexas, que son examinadas y localizadas con base en los principios físicos de la propagación de las ondas acústicas.

Los autores en [10] presentan un algoritmo conocido como "Landmark" o de puntos de referencia para hacer la adquisición de la información del entorno y construir el mapa basado en dichos puntos y localización simultánea. En él, el problema de la construcción del mapa se plantea como un problema de probabilidad, donde tanto la ubicación de los obstáculos como la posición del robot tienen que ser estimados.

Similar a nuestro trabajo se encontraron dos artículos relacionados entre sí, los cuales muestran dos algoritmos distintos basados en la técnica de SLAM; en primera medida se encontró que en [11] el problema que se busca solucionar es la estimación de la estructura del entomo en tiempo real, percibido por sensores exteroceptivos, y al mismo tiempo localizarse en él. Al igual que en [8] utilizan el Filtro de Kalman Extendido en el desarrollo del algoritmo. En este documento se plantea el SLAM como un problema cotidiano en el que se busca explorar, observar, y percibir a partir de la información recibida, una meta. Esto con la diferencia de que la realización de estas acciones ya no las hace el ser humano al llegar a un lugar desconocido como se observa comúnmente, sino que es ejecutado por un robot. A partir del problema se plantea la solución con un sistema automatizado basado en tres principales modelos matemáticos. Primero un modelo de movimiento, que describe el movimiento del robot al aumentar la incertidumbre de su localización. Segundo un modelo de observación inversa para determinar la posición de los puntos de referencia en la escena de los datos obtenidos por los sensores del robot. Finalmente, un modelo de observación directa para predecir los valores de la medición de la ubicación y

la localización del robot. Los tres modelos, trabajando en conjunto, dan solución eficiente al problema.

Con base en [11], fue desarrollada en [12] la simulación de SLAM en MATLAB utilizando también el filtro de Kalman extendido. Esta simulación fue realizada por un estudiante de Ingeniería de la Universidad de Oxford para diseñar una silla de ruedas semi-autónoma y el sensor utilizado fue un sensor láser. Este estudiante publicó libremente el algoritmo completo en su propia página web y será caracterizado por nosotros para posteriormente ser modificado y aplicado finalmente a este proyecto.

III. SENSORES

Para la realización del proyecto se consideraron diferentes tipos de sensores teniendo en cuenta los proyectos mencionados en la sección anterior. Se realizará una breve descripción de su funcionamiento, determinando las ventajas y desventajas de cada uno.

Sensores de Ultrasonido: Son sensores que funcionan con ondas sonoras a frecuencias inalcanzables para el oído humano, es decir frecuencias superiores a los 20KHz. Su funcionamiento se basa principalmente en determinar la distancia de un objeto mediante la emisión de un pulso ultrasónico que rebota sobre determinado objeto y la reflexión de ese pulso es detectada por un receptor. Entre sus principales ventajas se encuentra la facilidad de dirigir y enfocar un haz de luz, ya que esta cuenta con longitudes de ondas más cortas que hacen que la difracción o reflexión en torno al objeto se reduzca.

Entre los diversos factores que alteran la información adquirida se puede presentar un error debido al eco que puede tener el entorno, ya que este no especifica en ningún la localización angular del objeto. Este sensor fue utilizado en los proyectos [11] y [14] y fueron implementados en un robot móvil.

Sensor Láser de Distancia: Es un dispositivo se caracteriza principalmente por emitir un pulso de luz infrarroja, con el cual se determina la distancia a la que se encuentra un objeto. Cuando el pulso incide sobre el objeto más cercano, regresa hacia el sensor y se determina el tiempo transcurrido. Conocido el tiempo de ida y vuelta del pulso (tiempo de vuelo), se calcula fácilmente la distancia al objeto detectado. La principal desventaja es la divergencia del haz de luz del láser, cuando se trabaja a largas distancias.

Sensor Kinect: Para el proyecto se tomó la decisión de usar un sensor Kinect. Una de las ventajas más importantes que se gana con él, es la posibilidad de usar su kit de desarrollo de software (SDK) para crear aplicaciones no comerciales. Este software es compatible con java, C#, Basic y es portable a muchas plataformas.

En cuanto al hardware, el Kinect cuenta con una cámara RGB, sensor de profundidad y un micrófono multi-array bidireccional que conjuntamente capturan el movimiento de

los cuerpos en 3D, además de ofrecer reconocimiento facial y aceptar comandos de voz.

El sensor de Kinect reproduce video a una frecuencia de 30 Hz, en colores RGB 32-bit y resolución VGA de 640×480 píxeles. Su límite de rango visual es mejor que el de la mayoría de sensores ya descritos, este rango esta entre 1.2 y 3.5 metros de distancia. Su cámara crea un mapa en 3D de la imagen que se encuentre en su rango de visión además reconoce humanos en movimiento, entre los objetos de determinada imagen gracias a librerías con segmentos de articulaciones del cuerpo y posibles posiciones.

El sensor usa la misma teoría de un sensor ultrasónico, emite un sonar y con la diferencia de tiempo entre emisión y recepción de la señal reflejada, se puede obtener la distancia a la cual se encuentra ese objeto.

IV. FILTRO DE KALMAN EXTENDIDO (EKF)

El filtro extendido de Kalman (FKE) es un algoritmo de procesamiento de datos el cual puede otorgar la posición del robot a partir de ecuaciones de odometría y las medidas del sensor. Este filtro es una excelente herramienta para la utilización en tiempo real ya que este permite notar el cambio que se tiene al transcurso del tiempo y también elimina el ruido en la medición [13, 14].

A. Marco teórico

Las ecuaciones del filtro extendido Kalman están enfocadas en 2 etapas: las ecuaciones de predicción y las ecuaciones de corrección. La primera es responsable de proyectar en el tiempo el estado actual, también estimar el error y obtener el a priori de la siguiente posición. Las segundas ecuaciones pueden ser vistas como la actualización de la medición es decir la corrección de los datos. Antes de presentar las ecuaciones usadas es necesario dar a conocer las variables a utilizar [13, 15]:

- $\hat{X}_k$ es un vector que representa los estados actuales
- $\hat{X}_k^-$ es el estado posteriori
- A_k y W_k son los jacobianos en el paso del tiempo k
- H_k y V_k son los jacobianos de la medición en el paso k
- R_k es la covarianza del ruido de la medición

Con esto presentamos las 2 etapas con sus ecuaciones:

Etapa predicción:

- ✓ Proyección del estado

$$\widehat{X}_k^- = f(\widehat{X}_{k-1}, u_k, 0) \quad (1)$$

- ✓ Proyección de la covarianza del error

$$P_k^- = A_k P_{k-1} A_k^T + W_k Q_{k-1} W_k^T \quad (2)$$

Etapas correctiva:

Calculando la ganancia Kalman

$$K_k = P_k^- H_k^T (H_k P_k^- H_k^T + V_k R_k V_k^T)^{-1} \quad (3)$$

Actualiza la estimación con medida Z_k

$$\widehat{X}_k = \widehat{X}_k^- + K_k (Z_k - h(\widehat{X}_k^-, 0)) \quad (4)$$

Actualiza la covarianza del error

$$P_k = (I - K_k H_k) P_k^- \quad (5)$$

Ya con estas ecuaciones se puede decir que la forma de ejecución del FKE es cíclica con las 2 etapas anteriormente mencionadas.

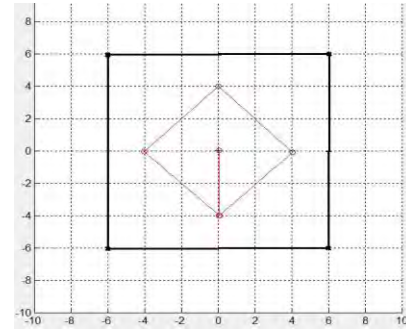
V. CARACTERIZACION DEL ALGORITMO

Teniendo en cuenta que para cualquier proceso de mapeo independientemente del algoritmo que use, es indispensable que dicho algoritmo permita representar con valores óptimos, parámetros necesarios como precisión en la información brindada y exactitud del sistema implementado. En este caso, estos parámetros permiten identificar la confianza, fidelidad de los datos en la interpretación del mundo real y el desempeño de este método como sistema de mapeo en plataformas robótica. De esta manera, es necesario reconocer de manera clara el comportamiento del algoritmo EKF en tomo a variables como error de escaneo, error de posición, error general del comportamiento del algoritmo, entre otras.

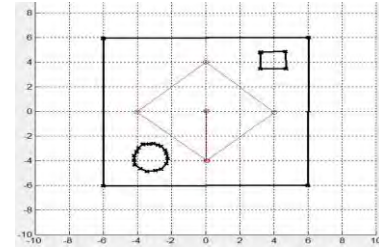
El procedimiento para caracterizar el aplicativo “EKF SLAM Simulator” diseñado en MatLab, requiere de comprender los diferentes aspectos que constituyen el sistema en general. A grandes rasgos el código está diseñado bajo diferentes módulos y funciones de operación, entre los más relevantes se encuentra un módulo de grafico llamado mapMakerGUI, el módulo de Robot, de Obstacle, el de Sensor y el modulo en donde se trabaja principalmente llamado ekfSLAM.

El módulo mapMakerGUI, se encarga de estructurar las sentencias que dan lugar a la interfaz de usuario, permitiendo en ella diseñar un ambiente bidimensional conforme al usuario, o cargar ambientes prediseñados. Como el propósito inicialmente es establecer un ambiente en donde permita realizar una caracterización que facilite adquirir información válida conforme a diferentes situaciones y condiciones, se diseña un ambiente equilátero con topología cuadrada y cuyas

dimensiones son: 7 unidades por lado, con vértices ubicados en el plano (x,y) en los puntos (-6,-6), (6,-6), (-6,6) y (6,6) (figura 1a). A su vez se establecen 5 marcas de referencia (Landmarks) ubicados en los puntos (0,0), (0,6), (0,-6), (6,0) y (-6,0), y 5 puntos de trayectoria (Waypoint) ubicados en los puntos (0,0), (0,-4), (4,0), (0,4) y (-4,0); posteriormente se diseña una ruta diferente y un ambiente con el cual se agregan dos obstáculos tal y como se observa en la Figura 1b.



a).



b).

Figura 1. a) Ambiente diseñado sin obstáculos, b) ambiente diseñado con obstáculos

Una vez establecido el ambiente en donde se va a desarrollar el aplicativo, se establece la unidad máxima para el tiempo de rutina, la cual es de 400 unidades de tiempo, es decir que el recorrido establecido por el robot para completar el mapa, es el comprendido durante 400 unidades de rutina. Cada experimento del recorrido del robot con y sin obstáculos se realiza 50 veces para luego ser promediados obteniendo así el comportamiento promedio de cada variable de interés. Los resultados de un ciclo muestran la imagen del mapa construido como se observa en la Figura 2.

VI. RESULTADOS

Los resultados en un ambiente sin obstáculos Error de escaneo:

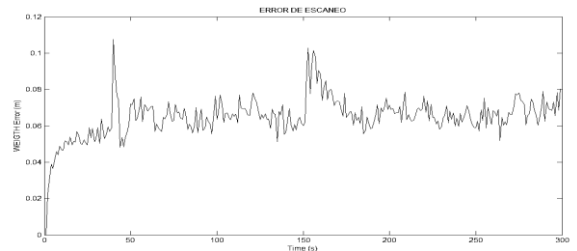


Figura4. Error de escaneo en ambiente sin obstáculos

En la Figura 4 se observa que el error estimado oscila entre 0.02 y 0.14 metros, en cuanto a la cantidad de puntos por zona explorada, mostrando como valores críticos los lugares cuando el dispositivo gira y cambia de rumbo, se observa en el tiempo 50 y 150.

Error de posición en aplicativo de EKF:

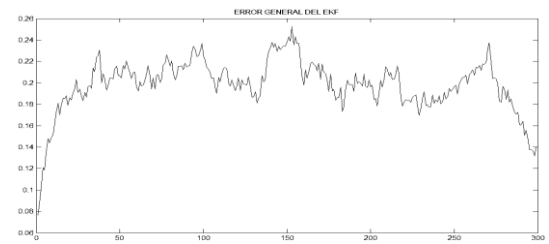


Figura5. Error general del EKF

De la Figura 5 se puede observar que a medida que el robot se desplaza en el entorno, la posición predicha, genera los valores mínimos de error en el momento justo cuando se inicia el recorrido, después se estabiliza en un error promedio de 0.6 durante el resto del recorrido y finalmente, cuando este regresa a su lugar de partida vuelven a generar un error mínimo de predicción de la posición.

Los resultados en un ambiente con obstáculos Error de escaneo:

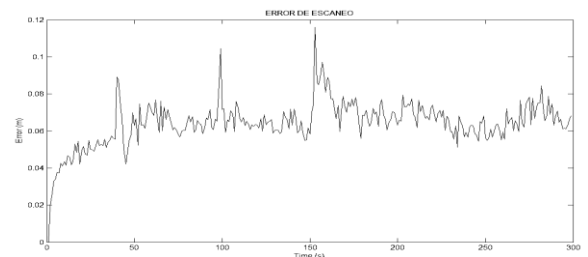


Figura6. Error de escaneo en ambiente sin obstáculos

En la Figura 6 se observa que el error estimado oscila entre 0.02 y 0.14 metros nuevamente, en cuanto a la cantidad

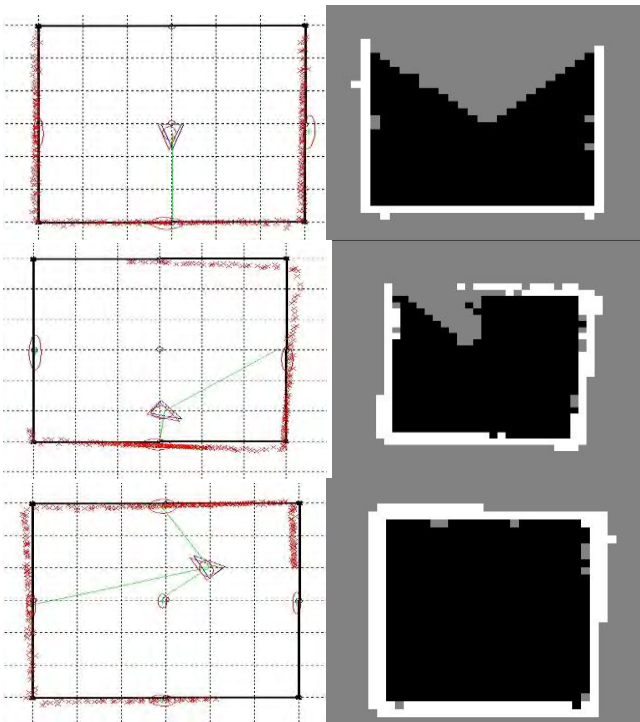


Figura 2. Izq., imagen del robot desplazándose, Der, imagen en proceso de reconstrucción del mapa

Las variables de interés para la caracterización del algoritmo son los datos de odometría, del sensor durante el proceso de escaneo y de posición estimada. Con esto se realiza un manejo matricial de la información mediante la herramienta de MatLab que se muestra en la Figura 3.

$$\begin{aligned}
 & \text{error_scan } m=(1-50) \begin{pmatrix} a & b & c & \dots & n \\ a' & b' & c' & \dots & n' \\ a'' & b'' & c'' & \dots & n'' \end{pmatrix} \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 50 \end{matrix} \\
 & A1 = a + a' + \dots + a'' \quad \leftarrow t=1 \quad 2 \quad 3 \quad \dots 400 \\
 & \text{error_ekf } m=(1-50) \begin{pmatrix} a & b & c & \dots & n \\ a' & b' & c' & \dots & n' \\ a'' & b'' & c'' & \dots & n'' \end{pmatrix} \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 50 \end{matrix} \\
 & A2 = a + a' + \dots + a'' \quad \leftarrow t=1 \quad 2 \quad 3 \quad \dots 400 \\
 & \text{datos_t } m=(1-2) \begin{pmatrix} A1 & B1 & C1 \dots N1 \\ A2 & B2 & C2 \dots N2 \end{pmatrix} \begin{matrix} 1 \\ 2 \end{matrix} \\
 & \quad \quad \quad t=1 \quad 2 \quad 3 \dots 400
 \end{aligned}$$

Figura .3 Esquema matricial en el proceso de caracterización

Finalmente esa información es almacenada en una matriz de 3x400, cuya indexación está formada por tres filas que corresponden a unidad en el tiempo (1-400), error de escaneo, y error general del algoritmo EKF respectivamente. De esta manera al ejecutar cada una de las tres situaciones, se obtiene información por unidad de tiempo del comportamiento del método de mapeo por cada muestra, permitiendo con ella establecer una gráfica de tendencia que se muestra a continuación con referente al proceso de escan y referente el comportamiento del algoritmo en el tiempo.

de puntos por zona explorada, mostrando como nuevos valores críticos los lugares cuando el dispositivo gira y cambia de rumbo, se observa en el tiempo 50, 100 y 150.

Error de posición en aplicativo de EKF:



Figura7. Error general del EKF

De la Figura 7 se puede observar que a medida que el robot se desplaza en el entorno con obstáculos, la posición predicha, genera valores mínimos de error cuando inicia el recorrido, después presenta un aumento en el error promedio de 0.8 durante el resto del recorrido y finalmente, cuando este regresa a su lugar de partida disminuye a un valor de 0.16.

VII. CONCLUSIONES

Con referente a la caracterización del algoritmo y los resultados obtenidos se puede concluir que:

En términos de posición, el margen de error del algoritmo EKF oscila en rangos entre 0.02 y 0.035 de variación durante n unidades del tiempo. Además, una de las posibles falencias a la hora de realizar el proceso de mapeo es la dependencia de robustos dispositivos de sensado, pues como se pudo observar el error de escaneo presenta picos elevados de falla cuando la plataforma cambia de dirección, aun cuando este error sigue representando valores que oscilan en 0.02 a 0.1.

Por otra parte, las variables que dependen de la localización de la plataforma, están directamente relacionadas con el proceso de mapeo, pues son aspectos fundamentales que hacen parte de los componentes del algoritmo EKF para el rendimiento del sistema.

Con referente a los trabajos realizados y estado del arte se puede apreciar que en la mayoría de los algoritmos que se emplean, requieren de información basada en posición, como la odometría, e información basada en puntos de referencia o landmarks para localización. Además, los puntos de referencia permiten realizar la reconstrucción del mapa del entorno teniendo como referencia la localización simultánea.

Finalmente como trabajos futuros, se pretende realizar un estudio referente a la implementación del Kinect como sensor de escaneo para el algoritmo de EKF mencionado. A su vez estudiar otras variables de medida con referente al

comportamiento del algoritmo como velocidad, error acumulativo de odometría, entre otras.

REFERENCES

- [1] Momotaz Begum, K. I. Mann George and Gosine Raymond, "A Fuzzy-Evolutionary Algorithm for Simultaneous Localization and Mapping of Mobile Robots," IEEE Congress on Evolutionary Computation Sheraton Vancouver Wall Centre Hotel, BC, Canada, July 16-21, 2006.
- [2] Viet Nguyen, Ahad Haratari, Roland Siegwart, "A Lightweight SLAM Algorithm using Orthogonal Planes for Indoor Mobile Robotics," IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, San Diego, USA, Oct 29-Nov 2, 2007.
- [3] Lodi Rizzini Dario and Caselli Stefano, "A Parallel Maximum Likelihood Algorithm for Robot Mapping," IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems St. Louis, USA, Oct 11-15, 2009.
- [4] Viet-Cuong Pham and Jyh-Ching Juang, "An improved Active SLAM Algorithm for Multi-robot Exploration," SICE Annual Conference, Waseda University, Tokyo, Japan, September 13-18, 2011.
- [5] F. A. Auat Cheein, R. Carelli, F. Lobo Pereira, T. F. Bastos and M. Sarcinelli, "Algoritmo de SLAM en un Robot Móvil gobernado por una Interface Cerebro-Computadora," Instituto de Automática, Universidad de San Juan, Argentina, Jun., 2008.
- [6] J. Howell, "A Robot Map-Creation Algorithm," Artificial Intelligence, CS 104, Oct., 2003.
- [7] Society of Robots, "Robot Mapping and Navigation," Sept., 2007.
- [8] J. S. Berrío Perez, E. F. Caicedo Bravo, L. M. Paz Pérez, "Mapeo y Localización Simultánea de un Robot para el levantamiento de mapas en Interiores," Eleventh LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology, August. 14-16, 2013.
- [9] M. Martínez Díaz, "Algoritmos de construcción de mapas para la navegación de robots, basada en información procedente de Sensores de ultrasonidos," Curso de doctorado. Universidad Politécnica Valencia, pp. 3-51, Mar., 2008.
- [10] S. Thrun, W. Burgard, D. Fox, "A Probabilistic Approach to Concurrent Mapping and Localization for Mobile Robots," Machine Learning and Autonomous Robots, pp. 1-25, Jun., 1998.
- [11] Joan Sola, "Simultaneous localization and mapping with the extended Kalman Filter," SLAM, pp. 2-28, January. 2013.
- [12] Jai Juneja, "Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) in MATLAB", August, 2013.
- [13] Prado Obando Guillermo, "Técnicas Reconstructivas para la Estimación Dinámica," Una Introducción Matemática al Filtro Kalman, Fundación Universitaria Konrad Lorenz, Bogotá D. C., Jun 02, 2005.
- [14] https://www.ucursos.cl/usuario/63d40150c4f598d5a65524a836c3b72a/mi_blog/t/1_EL7009_Tarea_4.pdf
- [15] Iñaki Navarro Oiza, "Localización de un Robot Móvil con el Filtro Extendido de Kalman", Jun 14, 2005.
- [16] G. Welch and G. Bishop, "An Introduction to the Kalman Filter", Dept. of C.S., University of North Carolina at Chapel Hill, February, 2001.

El Efecto Pizoelectrico: Un Metodo De Energia Renovable Para El Futuro

Diseño Y Construcción De Piezogeneradores

Bastidas Nieto Sergio Andres
Universidad Santo Tomas
USTA
Bogotá, Colombia
sergio.bastidas@usantotomas.edu.co

Pedraza Murcia Juan Sebastian
Universidad Santo Tomas
USTA
Bogotá, Colombia
juanpedrazam@usantotomas.edu.co

Pineda Rújeles Fabián David
Universidad Santo Tomas
USTA
Bogotá, Colombia
fabianpineda@usantotomas.edu.co

Edwin Francisco Forero García
Universidad Santo Tomas
USTA
Bogotá, Colombia
edwinforero@usantotomas.edu.co

Resumen — Este artículo científico trata acerca de la implementación de un circuito electrónico dentro del campo de las energías renovables, con énfasis dentro del trabajo e implementación de los piezoeléctricos como modelos de generación de energía eléctrica.

Palabras Claves — *Piezo electricos; Energia renovable; Compresion; Rectificacion; Implementacion.*

I. INTRODUCCION

La energía a lo largo de la historia siempre se ha venido trabajando de formas diferentes, pero en este momento uno de los principales problemas que se tiene, es el del correcta manejo de la energía, por lo que es muy importante tener en cuenta el trabajo de las energías renovables como métodos de liberación de los niveles de gastos sobre las energías convencionales y más aún una oportunidad de poder dejar de depender de los mismos modelos energéticos.

Teniendo esto en cuenta, los diferentes modelos de energías alternativas nos dan la posibilidad de la transformación de la energía más beneficiosamente para el medio ambiente y más económica, sin realizar ningún tipo de desgaste en el medio ambiente esto hace de estos métodos unos grandes puntos de interés dentro de la electrónica actual, ya que mayoritariamente dentro de su desarrollo se manejan conceptos meramente electrónicos y aun mas, se implementan dispositivos electrónicos que ayudan al correcto desarrollo de cada dispositivo.

Uno de los tipos de modelos de energías renovables es el de la piezoelectricidad que principalmente se basa en el funcionamiento básico de los piezoeléctrico se implementan como dispositivos de transformación de la energía cinética generada por un objeto, en energía eléctrica, que puede llegar a ser aplicada en aparatos electrónicas, gracias a la generación de electricidad, o lograr el funcionamiento de dispositivos en los que sea necesaria la aplicación de impulsos eléctricos externo a él.

II. GENERADOR PIEZOELECTRICO

A. ¿Que es un piezoelectrico?

El piezoeléctrico como su nombre lo dice genera electricidad a partir de las pisadas o los pasos al caminar de una persona. El piezoeléctrico está formado por pequeños cristales no simétricos especialmente de cuarzo o de otros materiales no simétricos que cuando se le comprimen, retuercen o distorsionan, adquieren una polarización y una diferencia de potencial en su superficie.

La palabra “piezo” viene del griego “comprimir”. La piezoelectricidad, fue descubierta por los hermanos Pierre y Jacques Cuire en el año de 1880. Los hermanos Cuire descubrieron que cuando se aplica una tensión o presión a ciertos cristales como el cuarzo, el topacio y la turmalina, aparecía una carga eléctrica en los cristales capaz de generar un voltaje. Hay diferentes clases de piezoeléctricos los piezoeléctricos cerámicos y los piezoeléctricos monocristalinos. Los piezoeléctricos cerámicos tienen la

propiedad de ser rígidos y dúctiles (propiedad que presentan algunos materiales que pueden deformarse sosteniblemente sin romperse), por lo que son muy buenos para emplearlos como actuadores, debido a su gran modo de elasticidad y duración.

Los piezoeléctricos monocristalinos están fabricados con polímeros cristalinos cerámicos y polímeros. Estos materiales presentan carácter piezoeléctrico después de haber sido sometidos a una polarización artificial. El material más común en este momento para fabricar un piezoeléctrico es el cuarzo por sus grandes reservas en la superficie terrestre y por sus propiedades de no simetría y deformación aunque existen otros materiales aunque menos comunes pero que también poseen las mismas propiedades de simetría y deformación como es el rubidio, sal de seignette, cerámicas etc...

Las primeras aplicaciones que se obtuvieron a partir de un piezoeléctrico fueron en la primera guerra mundial cuando empezaron a perfeccionar los detectores ultrasónicos submarinos. No obstante, los materiales de la época a menudo limitaban el rendimiento de los piezoeléctricos y dañaban su explotación comercial y su investigación. Ya durante la segunda guerra mundial en varios países subdesarrollados se formaron grupos de investigación dedicados a la mejora de los materiales creando así sintéticamente materiales cerámicos 100 veces mayores y potentes que los cristales comunes.

Estos factores provocaron el resurgimiento de la investigación y el desarrollo de los dispositivos piezoeléctricos. El desarrollo de los nuevos materiales y dispositivos piezoeléctricos se extendió en todo el mundo, pero Estados Unidos fue el que dominó claramente, gracias a los diferentes grupos industriales, que se aseguraron del liderazgo mediante el registro de grandes patentes. Los piezoeléctricos comunes no superan a una moneda de grande y la parte blanca son los cristales que al aplicarles una cierta presión se deforman creando una diferencia de potencial entre sus superficies. [1]

B. Construcción de un modelo piezoeléctrico

Lo principal para tener en cuenta dentro del desarrollo de los piezogeneradores como medios de transformación de energía, es que estos funcionan por medio del contacto que se le transmite gracias a el método de compresión que se le pueda llegar a inducir, ya que las láminas piezoeléctricas cuentan con un cristal interno que entra en funcionamiento a partir de las compresiones que se le introduzcan de forma física. Las láminas piezoeléctricas funcionan en principio como una batería por lo que podemos llegar a conectarlas en serie o en paralelo, un número de láminas, dependiendo de las necesidades que queramos tomar ya que si las conectamos en serie estamos teniendo en cuenta un aumento de su voltaje dependiendo del

número de piezoeléctricos colocados y la misma corriente de salida que una sola lámina, pero sí en cambio conectamos nuestras obleas piezoeléctricas en paralelo mantenemos el voltaje de salida de una sola y aumentamos su corriente dependiendo del número de piezoeléctricos colocados.

Para el desarrollo en este modelo es mucho más eficiente colocar las conexiones de los piezoeléctricos en paralelo ya que ello nos ayudaría a manejar niveles más altos de corrientes que en un sentido más teórico nos permitiría manejar mayores niveles de energía, por lo tanto tendríamos niveles de eficiencia más altos y sería un modelo mucho más viable dentro del desarrollo energético de las energías renovables.



Ilustración 1: Láminas piezoeléctricas conectadas en paralelo (Fuente: Autores)

Ya teniendo fijo el mejor método de colocación de los piezoeléctricos se deben mantener de forma firme sobre una superficie específica que les permita tener estabilidad en el momento en el que se realice el contacto, al igual que se debe asegurar de que en el momento en el que se genere la compresión esta se pueda realizar sobre una superficie dura para que no se vea disipada en caso de ser muy blanda la superficie. Estas dos consideraciones se logran cumplir por medio de la aplicación de dos láminas de madera que sirven una para la base y la otra para hacer de soporte en la realización de la compresión.



Ilustración 2: Láminas de madera en la parte superior e inferior (Fuente: Autores)

Por medio de la aplicación del mejor método de funcionamiento de los piezogeneradores, que es a partir de su comprensión es fundamental tener en cuenta que esta comprensión debe ser generada a partir de un medio externo a él, por lo que no se puede saber que tan fuerte sea esta compresión, en este caso se es necesario garantizar de que esta compresión sea segura para las láminas piezoeléctricas y no van a ser dañadas, esto se logra gracias a la implementación en primer lugar de unos resortes que separen las dos láminas de madera, de tal forma que no se mantienen en contacto hasta el momento en el que se les ejerza algún tipo de presión específica.



Ilustración 3: Resortes separadores de las láminas de madera (Fuente: Autores)

La segunda forma de asegurar que haya contacto sobre los piezoeléctricos es por medio de la implementación de unos topones de caucho que inflijan el golpe directo sobre los piezoeléctricos y que por ser de caucho son totalmente aislantes y no se corre el riesgo de que se unifiquen los positivos y el neutro dentro de cada uno de los piezoeléctricos, al mismo tiempo que garantiza que cada uno de los piezoeléctricos sea oprimido y por lo tanto genera la energía deseada sobre cada uno.



Ilustración 4: Cauchos de contacto de los piezoeléctricos (Fuente: Autores)

C. Características del modelo piezoeléctrico

En nuestro generador piezoeléctrico poseemos 12 piezoeléctricos como los de la Ilustración 5 que se encuentran conectados en paralelo, que al ejercer presión sobre ellos crean una diferencia de potencia instantánea.



Ilustración 5: Piezoeléctrico (Fuente: Autores)

Para analizar cómo funciona nuestro generador piezoeléctrico hay que conectar en la salida de nuestro generador, un condensador en serie con una resistencia de valor mayor a 500k Ω y un osciloscopio en paralelo a la resistencia, para analizar la carga y descarga del condensador y observar las ondas que se generan.

Los datos que fueron obtenidos al analizar nuestro generador piezoeléctrico en funcionamiento a diferentes presiones se observan en la tabla 1.

Resistencia (k Ω)	Voltaje (V)	Corriente (μ A)	Potencia (mW)
1000	19.2	19.2	0.361
1000	23	23.1	0.59
1000	25	25	0,625

Tabla 1: Datos de muestreo

Podemos concluir al analizar el funcionamiento del generador piezoeléctrico, que al ejercer una mayor presión sobre él, el genera una mayor cantidad de energía y mayor corriente.

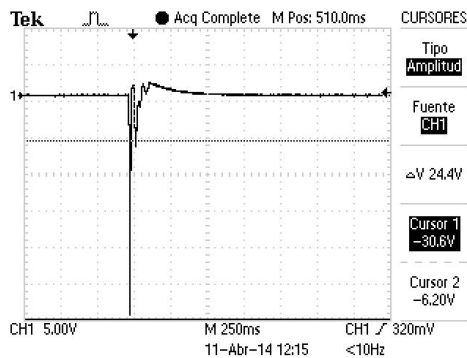


Ilustración 6: Muestra de funcionamiento
(Fuente: Autores)

Las gráficas que obtuvimos al analizar el generador piezoeléctrico a través del osciloscopio en la Ilustración 6 y en la Ilustración 7 muestran que el piezoeléctrico genera una diferencia de potencial instantánea que es la energía máxima que genera el piezoeléctrico, los otros picos de energía que genera el piezoeléctrico son el rebote que ejerce los resortes del generador y la curva exponencial que se genera al final de realizar cada presión contra el piezoeléctrico es la descarga del condensador.

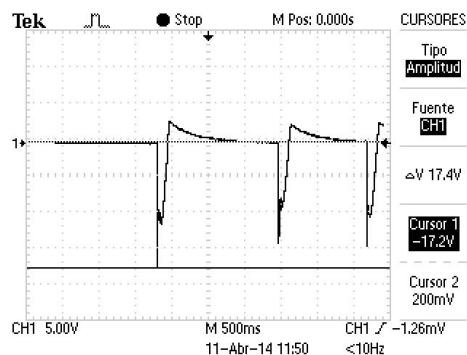


Ilustración 7: Muestras de funcionamiento
(Fuente: Autores)

Para hallar cuanta energía ingresa al sistema por cada paso que se ejerce contra la baldosa generadora se multiplica la masa promedio de una persona por la aceleración de la gravedad y una constante de la energía en pasos, ya establecida.

$$1.3 * 80Kg * 9.8m/s = 1019.2N^1$$

$$1019.2N * 0.01m = 101.9 J/paso^1$$

¹ Piezoelectric Energy Harvesting Doyle: Brian Doyle, Materials Science and Engineering, 9 pages Major: Materials Science and Engineering Minor: Psychology Graduation: May 2012.

80Kg = peso promedio de una persona.

9.8m/s = aceleración de la gravedad

1.3= constante

0.001m= aproximadamente la deformación de la baldosa

Para hallar la energía que se recupera al realizar la presión sobre el piezoeléctrico se realizó una aproximación de las potencias que nos dieron en el análisis del piezoeléctrico, luego se hace una aproximación de cuánto tiempo dura la presión y con la ecuación de la energía se halla cuanta energía se puede recuperar.

$$0.5263mW * 200mS$$

$$0.10526 mJ$$

0.5263mW= promedio de las potencias del análisis.

200mS= tiempo que dura la presión sobre el piezoeléctrico.

D. Recuperación de la energía

Después del proceso de compresión que se ejerce sobre la placa piezoeléctrica la señal resultante debe ser rectificada para poder ser utilizada dentro de diferentes procesos electrónicos o almacenada en un dispositivo de acumulación de energía, por lo que la señal de entrada tiene que pasar en primer lugar por un rectificador de onda completa que nos permita manipular la señal de salida del piezo de forma mucho más eficiente y funcional.

Este proceso se implementa por medio de dos métodos principalmente, el primero es por medio de la disposición de un circuito electrónico conformado principalmente por cuatro diodos que se conectan de forma continua entre ellos pero con sentido invertido como se observa dentro de la ilustración 8, y un condensador a la salida que les permita realizar la carga después de determinado tiempo.

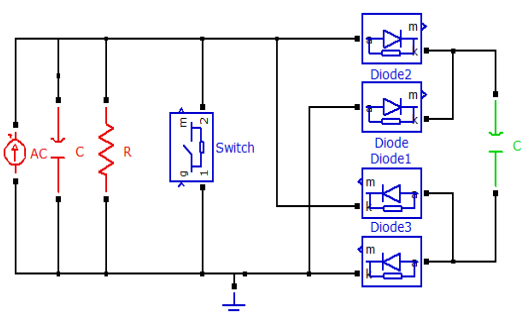


Ilustración 8: Circuito de recuperación de energía
(fuente: Autores)

Dentro de la ilustración 8 se pueden diferenciar las etapas de la recuperación de la energía ya que se observa la parte roja

que es el esquema teórico del piezoeléctrico que continua a lo largo de la parte azul que es el circuito de rectificación de onda y la salida es el condensador que se encuentra en verde y que se va cargando a medida que se ejerce la presión dentro del piezoeléctrico.

El segundo método de recuperación de la energía se da a partir de la implementación de un integrado específico, que lo que hace es rectificar la onda del mismo modo que un puente rectificador de onda, pero al mismo tiempo se caracteriza por manejar niveles de entrada muy bajos, como los que genera el piezoeléctrico. Este funciona según lo que sea necesario ya que si en un momento específico no se está manejando ningún tipo de señal de entrada específica este se mantiene quieto sin ningún tipo de actividad específica.

En la ilustración 9 se observa cómo se encuentra realizada la conexión de los piezoeléctricos en paralelo, que es el modelo piezoeléctrico que ingresa dentro de los sistemas de rectificación de onda, para manejarla de forma útil y funcional.

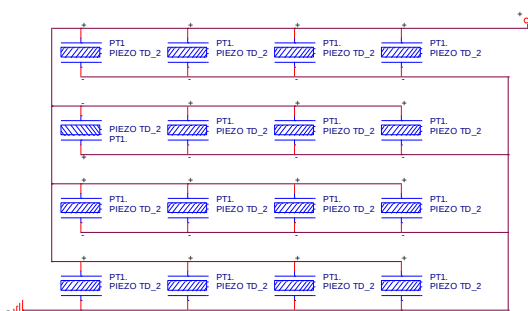


Ilustración 9: Conexión en paralelo piezoeléctricos, esquemático (fuente: Autores)

El integrado que contiene estas características específicas es el LTC3588-2 que se observa en la ilustración 10, este maneja características de salida dentro de cada pin teniendo en cuenta el nivel de entrada para poder manejar diferentes niveles de voltaje de salida, y con este dato manejar los niveles de corriente a los que se desea trabajar, al mismo tiempo presenta la posibilidad de manejar un condensador de salida que nos permita manejar la carga eléctrica rectificadas y útil.

High Voltage Piezoelectric Energy Harvesting Power Supply

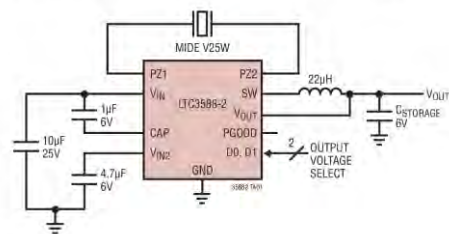


Ilustración 10: Integrado LTC3588-2²

E. Aplicaciones de los modelos piezoeléctricos

Las aplicaciones más comunes de los piezoeléctricos son:

- Para los encendedores eléctricos, en su interior poseen un cristal piezoeléctrico el cual golpea bruscamente un mecanismo de encendido, el golpe seco provoca una elevada carga de energía, capaz de crear una chispa, que enciende el mechero.
- Son muy usados como sensores de vibración. Cada una de las variaciones de presión producidas por las vibraciones provoca un pulso de corriente proporcional a la fuerza ejercida por la vibración.
- Al generar energía y generar una diferencia de potencial cuando se le aplica una presión esta energía podría alimentar sensores remotos u otros dispositivos electrónicos como cargar un celular o cargar un computador.
- Los piezoeléctricos también se encuentran en aparatos como son los micrófonos y los altavoces y transductores ultrasónicos.
- Sensores para detectar la lluvia, de esta forma, un sensor meteorológico solo enviara una señal de la cantidad de lluvia únicamente cuando este lloviendo.
- En caso contrario a la de generar energía esta cuando se le aplica una diferencia de potencial para los inyectores de combustible de los motores de combustión interna. Cuando se le aplica la diferencia de potencial al material piezoeléctrico este consigue abrirse para dejar pasar el combustible a muy alta presión. El uso de inyectores piezoeléctricos es que es posible controlar con gran precisión el tiempo y la cantidad de combustible que entra al motor, esto hace que mejore el consumo y rendimiento del motor.

² Linear Technology (2014). LTC3588-1- Piezoelectric Energy Harvesting Power Supply — Typical Application Available: <http://cds.linear.com/image/8835.png>

Los piezoeléctricos tienen la capacidad de generar energía cuando se les ejerce alguna presión, estos piezoeléctricos se pueden utilizar como forma de energía renovable al ser utilizados por los humanos al caminar generando energía para alimentar toma corrientes o encender bombillos.

Esta forma de energía renovable ya se está implementando en varios países del mundo como son Japón, Estados Unidos, Inglaterra. Una de las empresas más grandes e importantes en el mundo en la creación, diseño e implementación de los piezoeléctricos como forma de generar energía a través de la presión de las pisadas de los humanos es Pavegen una empresa en Londres Inglaterra, donde crean y diseñan los piezoeléctricos en forma de una tableta para el piso común en la cual por medio de la energía cinética de la presión de la pisada de las personas recolecta esta energía y la logra convertir a energía eléctrica utilizable.

Esta empresa de innovación que desarrolla la fabricación de baldosas que convierte la energía cinética perdida de pisadas humanas en electricidad, esta fuente de energía de tecnología limpia puede alimentar redes de alumbrado, señalización, toma corrientes y sensores, tanto en ambientes exteriores como en interiores, esta tecnología de energía renovable a partir de las pisadas humanas ya se está aplicando en varios sitios del mundo como son en colegios y universidades de Londres, estaciones de tren en Francia y España y colegios en Nueva York.

El objetivo de Pavegen es hacer que esta tecnología este a disposición de todas las comunidades del mundo para así lograr el aprovechamiento de las energías renovables y no depender de las energías no renovables. Pavegen en este momento está estableciendo nuevas asociaciones y actualmente está buscando inversiones para seguir en la ayuda de lograr una nueva visión de ser los líderes mundiales en el aprovechamiento de la energía cinética. La energía obtenida a partir de las baldosas Pavegen se pueden utilizar para baja tensión de potencia y para aplicaciones locales, como la iluminación, la carga de dispositivos electrónicos, comunicaciones inalámbricas, display etc...

Los materiales con lo que están hechas las baldosas son un 80% de materiales reciclados y caucho, la durabilidad de las baldosas están diseñadas para soportar las ubicaciones exteriores como son el agua y el sol. De esta forma la implementación de las baldosas piezoeléctricas como generadoras de energía renovables se están desarrollando muy fuertemente para ayudar al medio ambiente y no depender tanto de las energías no renovables como la energía hídrica y

la energía nuclear, ayudando al planeta y generando nuestra propia energía al caminar.

III. CONCLUSIONES

Dentro del proyecto se logran determinar las características propias de los piezoeléctricos teniendo en cuenta su funcionamiento y sus implementaciones básicas por lo que nos logra dar una base clara en el proceso de seguir desarrollando nuevos y eficientes modelos energéticos, que se logran partir de la implementación de nuevas tecnologías. De acuerdo con los resultados de potencia obtenidos en las mediciones realizadas, se aprecia que los niveles de recuperación de la energía son bajos, pero por medio de su implementación a mayor escala podemos estar hablando de un método subsistente de energía hacia el futuro. A lo largo del desarrollo del proyecto es de gran ayuda la implementación del integrado como rectificador de onda, y nos ayuda a realizar el piezogenerador de forma más asequible para su manipulación.

IV. REFERENCIAS

- [1] Fundación OPTI (2010). Materiales piezo eléctricos — ASCAMM: Boletín. Available: http://icono.fecyt.es/informesypublicaciones/Documents/BVT_MAT_N3.pdf
- [2] LEET Marketing GmbH (2010). Piezo electricidad — Dienerreihe 4: HP_Photo, Georgios Kollidas, adimas, adri76, Stefanos Kyriazis, hawi_101, anastasios71. Available: hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/solids/piezo.htm
- [3] ATCP (2009-2014). Generación de energía mediante efecto piezoeléctrico — Ingeniería Física: All Rights Reserved. Available: www.atcp.com.br > ... > Piezo y ultrasonido > Cerámicas piezoeléctricas.
- [4] Linear Technology (2014). LTC3588-1- Piezoelectric Energy Harvesting Power Supply — Description. Available: <http://www.linear.com/product/LTC3588-1>
- [5] An Efficient Piezoelectric Energy Harvesting Interface Circuit Using a Bias-Flip Rectifier and Shared Inductor (1 January 2010). IEEE JOURNAL OF SOLID-STATE CIRCUITS — Yogesh K. Ramadass, Member, IEEE, and Anantha P. Chandrakasan, Fellow, IEEE

Interfaz de Manipulación de Aplicaciones con Kinect a Procesos Industriales

Medina Rincón. Milton, Pardo Vargas. Daniel, Medina Rincón. Fernando, Pardo Beainy. Camilo.
mer1156@hotmail.com, pardo_1104@hotmail.com, camilopardo@ieee.org,
yadir.medina@usantoto.edu.co

Facultad de Ingeniería Electrónica, Universidad Santo Tomás Seccional Tunja

Abstract—This paper resumes main aspects related with handling applications using the Kinect device in order to control and manipulate Industrial Process, and details aspects related with a construction of an interface characterized by employing a RGB and Depth image of a Kinect in order to follow movements in the environment with specific characteristics.

The system works as an environment in where the user controls different processes and applications using motion commands, Kinect read's into this data and the program is responsible for filtering, selecting and evaluating the information in order to perform an action.

Index Terms—Kinect, Digital Image Processing, Filters, depth map, RGB Image, Coordinates, Tracking Process.

I. INTRODUCCION

EN el área de la automatización de procesos y en el sector industrial, la comunicación existente entre hombre y maquina (interfaz usuario-maquina), representa el eje de más alto interés, en cuanto a control y manipulación de procesos se refiere; la comunicación en estos procesos exige que el usuario pueda manipular e interactuar fácilmente con la máquina, en donde la interfaz brinde las herramientas necesarias para poder efectuar cualquier acción o cambio sobre el sistema^[1].

En el presente documento, se detallan las actividades realizadas con el sensor Kinect orientadas a determinar las características técnicas y de funcionamiento del sensor, con el fin de poder diseñar una interfaz para hacer seguimiento de movimientos de determinados objetos o extremidades del cuerpo con el objetivo de proporcionar una interfaz sencilla, precisa y atractiva, en donde el usuario pueda efectuar

comandos de acción sobre un sistema determinado.

Para el sistema se contemplaron dos fases importantes, en la primera se empleó un programa de verificación y reconocimiento del kinect realizado en LabVIEW en donde se disponen los subVI's necesarios para captar las imágenes y mapas de profundidad proporcionados por el sensor. En la segunda fase se contempla el filtrado, la detección de coordenadas por medio de mapas de profundidad y seguimiento de elementos de forma circular en el rango de trabajo.

II. CARACTERÍSTICAS DEL SENSOR KINECT

El Kinect se está convirtiendo en un importante sensor 3D y recibe mucha atención debido a su rápido sistema de reconocimiento de la posición humana. El bajo costo, rentabilidad y velocidad de captura de las medidas de este sensor, promete hacer del Kinect un dispositivo de reconocimiento en Robótica, reconstrucción de escenas 3D y reconocimiento de objetos^[2].



Fig. 1. Partes del Sensor Kinect. Autor: J. Smisek, M. Jancosek, and T. Pajdla, "3D with Kinect.

A. Kinect como dispositivo de Sensado 3D.

Este dispositivo se caracteriza por ser un equipo alargado conectado a una especie de base, esto con el fin de disponerlo en una posición horizontal. Como se puede observar en la Figura 1, el dispositivo incorpora:

- Una cámara RGB.
- Un Proyector infrarrojo (que funciona como cámara de profundidad).
- Un micrófono multi-array bidireccional.

Manuscrito realizado en Abril 2014. con la finalidad de ser presentado en el 1er ENCUENTRO NACIONAL DE SEMILLEROS DE INVESTIGACION EN INGENIERIA ELECTRONICA, organizado por las facultades de ingeniería electrónica de la Universidad Santo Tomás, Sede Principal y Seccional Tunja, con motivo de presentar un documento asociado al desarrollo de una Interfaz de Manipulación de Aplicaciones con Kinect a Procesos Industriales.

Pardo Vargas. Daniel Andrés, Estudiante de Ingeniería Electrónica de la Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja (e-mail: pardo_1104@hotmail.com).

Medina Rincón. Milton, Estudiante de Ingeniería Electrónica de la Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja (e-mail: mer1156@hotmail.com).

Pardo Beainy. Camilo Ernesto, Docente Facultad de Ingeniería Electrónica de la Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja (e-mail: camilopardo@ieee.org).

En conjunto, estos elementos permiten capturar imágenes y movimientos de los cuerpos captados, además de ofrecer reconocimiento facial y aceptar comandos de voz^[3]; por otro lado, el dispositivo asocia características dimensionales detalladas en la Figura 2:

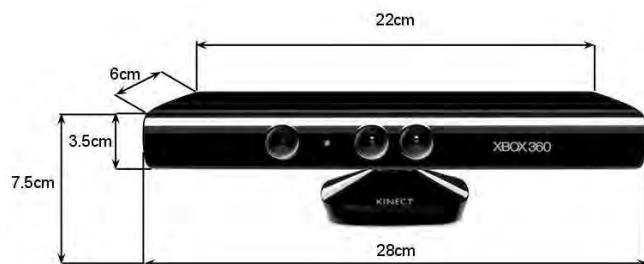


Fig. 2. Características físicas del sensor. Autor: L. Mathe, D. Samban, "Estudio del funcionamiento del sensor Kinect y aplicaciones para bioingeniería,

B. Imagen IR

La cámara de IR, es empleada para observar y decodificar los patrones de proyección IR para triangular la escena 3D (en la Figura 3, se detalla la imagen capturada por la cámara IR). La cámara exhibe distorsiones radiales no-negligibles y tangenciales [2].

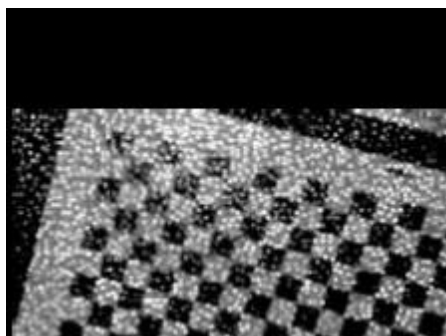


Fig. 3. Imagen IR proporcionado por el Kinect. Autor: M. Štrbac, M. Markoviü, and D. B. Popoviü, "Kinect in Neurorehabilitation : Computer 9ision,

C. Imagen RGB

La cámara RGB de Kinect (Fig. 4), realiza 30 capturas por segundo según las especificaciones. Es decir, 1 frame cada 30 ms utilizando la resolución (formato) estándar del sensor: 640×480 RGB.

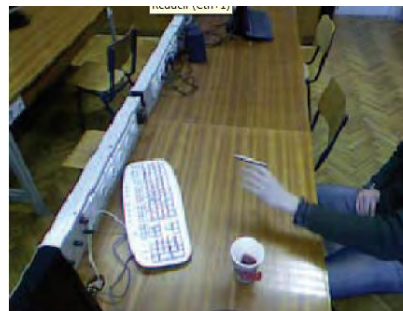


Fig. 4. Imagen RGB proporcionada por el Kinect. Fuente: M. Štrbac, M. Markoviü, and D. B. Popoviü, "Kinect in Neurorehabilitation : Computer 9ision.

D. Imagen de Profundidad

Uno de los aspectos más importantes del Sensor Kinect es la escena de profundidad (Fig. 5). La imagen de profundidad es construida mediante la triangulación entre la imagen IR y el proyector^[4].

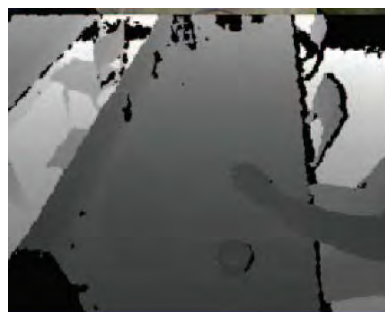


Fig. 5. Imagen de profundidad proporcionada por el Kinect. Autor: M. Štrbac, M. Markoviü, and D. B. Popoviü, "Kinect in Neurorehabilitation : Computer 9ision,

El sensor de Kinect adquiere imágenes de video con un sensor CMOS de colores a una frecuencia de 30 Hz, en colores RGB de 32-bits y resolución VGA de 640×480 píxeles. El canal de video monocromo CMOS es de 16-bit, resolución QVGA de 320×240 píxeles con hasta 65,536 niveles de sensibilidad^[4].

Para calcular distancias entre un cuerpo y el sensor, el sensor emite un haz láser infrarrojo que proyecta un patrón de puntos sobre los cuerpos cuya distancia se determina. Una cámara infrarroja capta este patrón y por hardware calcula la profundidad de cada punto. El rango de profundidad del sensor de Kinect está entre 0.4m y 4 m^[3].

La cámara de Kinect funciona con hardware y software propios para el reconocimiento de imagen (Fig. 6).

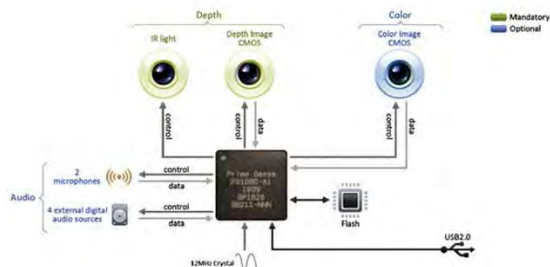


Fig. 6. Hardware y componentes. Fuente: L. Mathe, D. Samban, and G. Gómez, “Estudio del funcionamiento del sensor Kinect y aplicaciones para bioingeniería

La cámara tiene dos funciones principales:

- Generar un mapa en 3D de la imagen que tiene en su campo visual.
- Reconocer humanos en movimiento entre los objetos de la imagen a partir de diferentes segmentos de las articulaciones del cuerpo y un esquema en escala de grises[3].

En un amplio campo visual con objetos, la cámara Kinect trata de reconocer a qué distancia están los distintos objetos, distinguiendo movimientos en tiempo real (Fig.7).

El sensor Kinect puede llegar a distinguir la profundidad de cada objeto con una resolución de 1 centímetro y las estimaciones de la altura y anchura con una exactitud de aproximadamente 3 milímetros.

El hardware de Kinect está compuesto por la cámara y el proyector de luz infrarroja, añadido al firmware y a un procesador que utiliza algoritmos para procesar las imágenes tridimensionales[3].

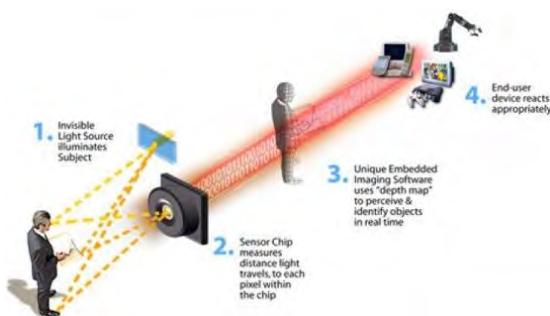


Fig. 7. Proceso de adquisición de datos. Fuente: L. Mathe, D. Samban, and G. Gómez, “Estudio del funcionamiento del sensor Kinect y aplicaciones para bioingeniería.

Haciendo del dispositivo un marcador diferencial en lo que respecta a trabajos relacionados con el tratamiento digital de imágenes, al proveer en un mismo diseño un proyector y una cámara VGA infrarrojo, encargados de seguir el movimiento en tiempo real (esto resultado de 15 años de integración tecnológica e investigación por parte de microsoft), permitiendo distinguir que es humano y que son objetos en un campo de detección específico asociado al campo de

profundidad, obtener patrones de profundidad de los objetos detectados, entre otros; además de las muchas aplicaciones que se le han otorgado al dispositivo, como por ejemplo, es utilizado en tratamientos de Alzheimer, esclerosis múltiple y Síndrome de Down, Kinect en teléfonos celulares como parte de una nueva generación de móviles, estudios relacionados al movimiento de los glaciares, y aplicaciones centradas en la industria, la educación y la salud.

III. ALGORITMO PROPUESTO

A. Verificación y reconocimiento del dispositivo kinect en Labview.

Para poder trabajar Kinect y LabVIEW, se hace necesario adquirir los drivers del sensor para que pueda ser reconocido por el equipo, En la Figura 8 y la tabla I, se detallan los drivers necesarios para instalar el dispositivo:

Name	Date modified	Type	Size
amd64	07/06/2012 17:11	File folder	
ia64	07/06/2012 17:11	File folder	
x86	07/06/2012 17:11	File folder	
Xbox_NUI_Audio.cat	12/11/2010 22:23	Security Catalog	1 KB
Xbox_NUI_Audio.inf	12/11/2010 22:23	Setup Information	8 KB
Xbox_NUI_Camera.cat	12/11/2010 22:23	Security Catalog	1 KB
Xbox_NUI_Camera.inf	12/11/2010 22:23	Setup Information	8 KB
Xbox_NUI_Motor.cat	12/11/2010 22:20	Security Catalog	1 KB
Xbox_NUI_Motor.inf	12/11/2010 22:20	Setup Information	8 KB

Fig. 8. Drivers del sensor. Fuente: Autor

TABLA I
DRIVER'S DE INSTALACION

Drivers	Dispositivo
Xbox NUI Audio	Audio
Xbox NUI Camera	Video
Xbox NUI Motor	Motor (Kinect)

Posteriormente, es necesario adquirir los subVIS que permiten adquirir los datos proporcionados por el Kinect en LabVIEW, a continuación de las Figuras 9 al 12, se detallan los Vis más importantes del proyecto:

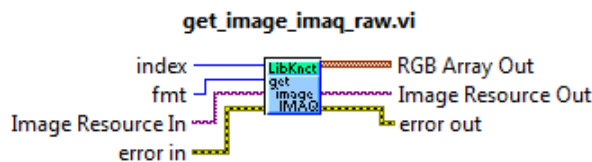


Fig. 9. SubVI de adquisición de imagen RGB. Fuente: Autor

Get_image_imaq, proporciona la imagen RGB entregada por el Kinect además de un arreglo de datos de la imagen adquirida.

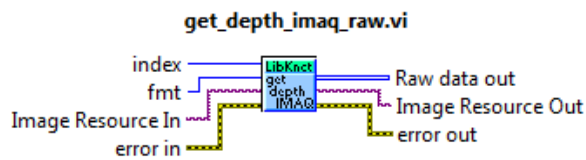


Fig. 10. SubVI de adquisición de imagen de profundidad. Fuente: Autor

Get_depth_imaq, proporciona un mapa de profundidad en donde se detalla los objetos más cercanos y lejanos al sensor.

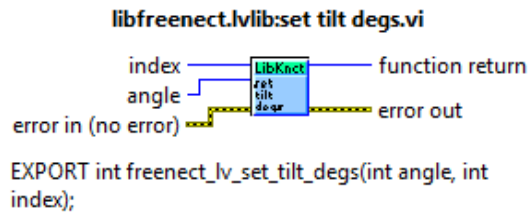


Fig. 11. SubVI de configuración de ángulo de vista del Kinect. Fuente: Autor

Set tilt degs, permite ajustar el ángulo del servomotor que permite posicionar al Kinect al gusto del usuario.

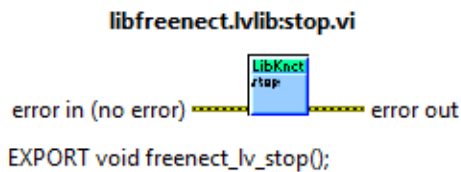


Fig. 12. SubVI de parada de datos. Fuente: Autor

Stop, permite detener la ejecución de cada uno de los subVIs empleados anteriormente.

Para poder verificar el funcionamiento de cada uno de los subVIs, se diseñó un programa (titulado “Point Cloud”) caracterizado por adquirir y visualizar todos los datos que puede entregar el Kinect, el cual se detalla en la Figura 13:

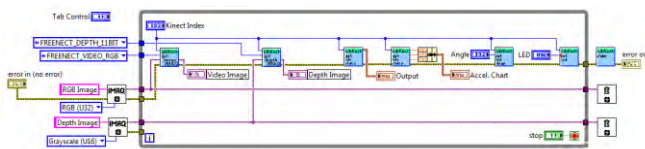


Fig. 13. Programa de verificación y prueba del Kinect. Fuente: <http://ryangordon.net/2010/12/26/kinect-for-labview-part-1>

Este programa proporciona tanto la imagen RGB como el mapa de profundidad que se requiere para el proyecto, además de otras funciones como el control del Ángulo del Kinect, las características del acelerómetro que incorpora el sensor, entre otras; En la Figura 14 se detalla la Imagen RGB y la de profundidad:

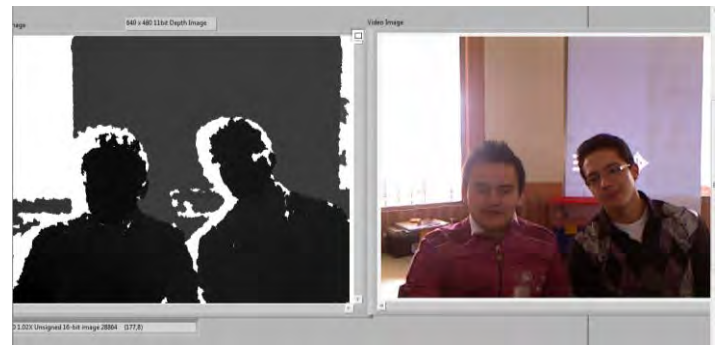


Fig. 14. Imágenes (RGB y Depth) proporcionada por el Kinect. Fuente: Autor.

IV. FILTRADO Y DETECCIÓN DE COORDENADAS POR MEDIO DE MAPAS DE PROFUNDIDAD

Teniendo el mapa de profundidad, se aprovecha el arreglo de datos generado por el SubVI de profundidad, para determinar los elementos más cercanos y más lejanos de la imagen, de tal forma que se pueda definir rangos de trabajo en donde se contemple solo los datos de información contemplados en el [5].

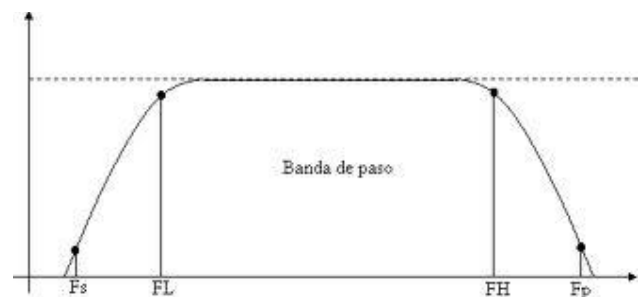


Fig. 15. Rango de trabajo para la adquisición de imagen. Fuente: https://lc.fie.umich.mx/~jfelix/Instrull/FPB/FPB_ba.html

En la Figura 15, se puede detallar el rango que estamos mencionando, solo los objetos que se encuentren dentro serán detectados. Para la selección de rangos, se contempló los puntos en donde el sensor, en conjunto con la interfaz, obtenía mejores mapas de profundidad y se realizaba una mejor detección; el mapa de profundidad se caracteriza por brindar un valor numérico proporcional a la distancia que hay entre los objetos más cercanos y más lejanos al sensor.

El rango de profundidad de medición se encuentra entre 1,2 m y 3,5 m; lo que implica un valor numérico de profundidad en el programa entre 10000 y 70000. Por tal motivo, el rango de trabajo que nosotros definimos, comprende:

TABLA 2
VALORES DE DISTANCIA Y VALOR NUMÉRICO EN EL PROGRAMA PARA LA PROFUNDIDAD EN EL RANGO DE TRABAJO.

Distancia Min. Del Rango	Distancia Max. Del Rango	Valor Min. De Profundidad.	Valor Max. De Profundidad.
1,5 m.	2,0 m.	20000	25000

Para los objetos que se encuentren fuera dicho rango se mostraran de color blanco en la pantalla y los que están dentro del de color negro (Fig.16):

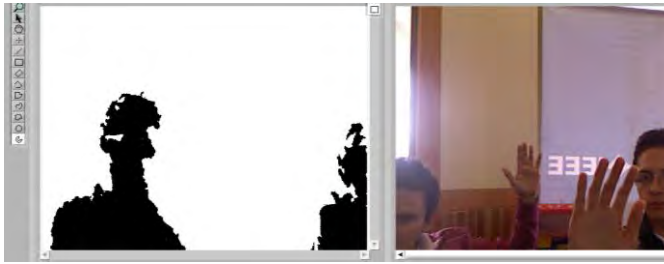


Fig. 16. Rango de trabajo funcional. Fuente: Autor

Con dicho rango definido, el siguiente paso será el reconocimiento de un objeto en dicho rango, por tal motivo se incorporó una etapa de filtrado y detección a la imagen, en donde se aplica un filtrado de tipo Laplaciano para suavizar los bordes (en la figura 17 se puede detallar los efectos de este tipo de filtro) y contornos de la imagen, luego se diseñó una etapa en donde se detecta todos los objetos que tengan forma similar a la de un círculo^{[4], [6]}.

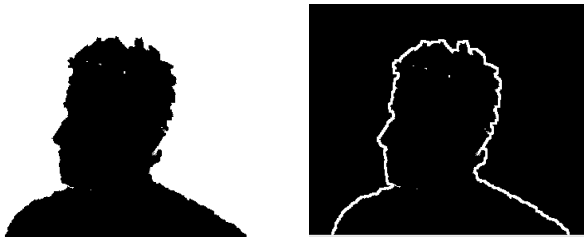


Fig. 17. Filtro Laplaciano a emplear. Fuente: Autores.

El programa se encargará de hacer seguimiento a todos los objetos con dicha forma y obtener la coordenada de dicho círculo, como se puede apreciar en la figura 18; con el valor de la coordenada obtendremos un valor numérico que facilitará el acondicionamiento de los datos además de brindar al usuario la posibilidad de poder ubicarse en la interfaz e interactuar con el sistema.

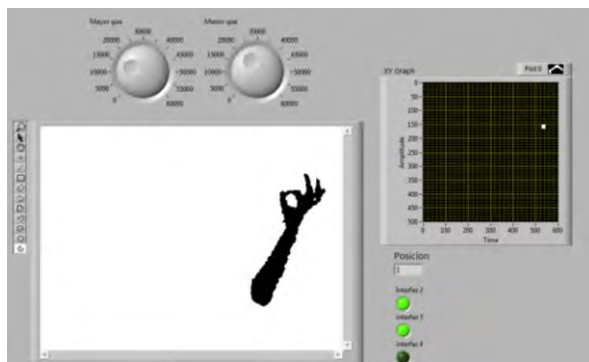


Fig. 18. Filtro aplicado sobre el entorno. Fuente: Autor

Teniendo la coordenada, se realiza una serie de arreglos y condiciones con el fin de dividir la pantalla en varias secciones (inicialmente en cuatro partes), esto con el fin de comparar el valor de la coordenada y el de la posición del objeto en la pantalla; si la coordenada cumple con las condiciones en la división de la pantalla, se activará un led indicador, que representará el proceso con el que se está

interactuando^[7].

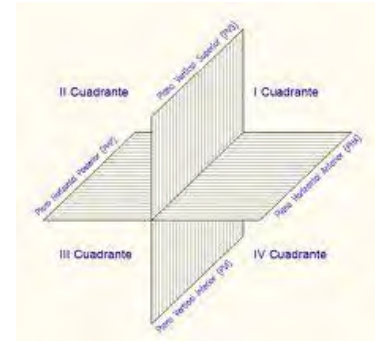


Fig. 19. División de cuadrantes para trabajar sobre el entorno. Fuente: http://dianablancorobledo.blogspot.com/2011/08/lamina-n4-cuadrantes_23.htm

En la figura 20, se detalla una imagen en donde se encuentran 4 leds indicadores, cada led representa cada una de las cuatro esquinas de la pantalla (superior izquierda, superior derecha, inferior izquierda, inferior derecha), si el círculo se encuentra dentro de esas regiones, el led correspondiente a esa región se activará; en ese orden de ideas, con que el usuario ubique un círculo en uno de los cuatro cuadrantes, el sistema inmediatamente realizará una acción sobre un sistema, ya sea desde activar una electroválvula a una alarma^{[6], [7]}



Fig. 20. Leds indicadores de los cuadrantes del sistema para controlar los procesos. Fuente: Autor

V. APLICACIONES

El sistema está abierto para manipular varios procesos y/o aplicaciones; aun así, el sistema está diseñado principalmente para manipular procesos a nivel industrial como temperatura, nivel y velocidad, por lo que se está controlando una planta simuladora de fluidos industriales; teniendo las ventajas de:

- Poder manipular aplicaciones por medio de visión artificial sustituyendo las interfaces convencionales.
- Vincular nuevos sensores y dispositivos de tecnologías convergentes a procesos de nivel industrial.
- Manipular varios procesos a través de una interfaz sencilla, cómoda y dinámica para el usuario.

Entre algunas de las otras aplicaciones que se pueden vincular a dicha interfaz, mencionar:

- Interfaces de control en Robótica.
- Domótica.
- Seguridad.
- Medicina.
- Psicología.
- Entre otros.

VI. CONCLUSIONES

Uno de los avances tecnológicos más importantes de los últimos tiempos, es el empleo del tratamiento digital de imágenes en diferentes áreas (como la medicina, la instrumentación Industrial, etc.), en pro del desarrollo tecnológico y apuntando a interfaces más sencillas y cómodas al usuario, por lo que la interfaz diseñada, brinda la facilidad de interactuar con uno o varios procesos haciendo uso de la visión artificial, en donde el sistema detecta objetos con formas circulares en un espacio determinado de la pantalla con el fin de emular una especie de cursor que seleccione cada proceso.

A partir del desarrollo del programa de aplicación de prueba "Point Cloud" se dio inicio al proceso de familiarización con el Sensor Kinect con el fin de lograr evaluar el funcionamiento general del mismo, para obtener la imagen RGB, el mapa de profundidad, el ángulo de control del sensor, entre otros aspectos.

Los subVIS para adquirir tanto la imagen RGB, el control de ángulo del motor como el mapa de profundidad, permitieron utilizar el sensor Kinect con el software LabVIEW, facilitando vincular la interfaz a un sistema de comunicación bidireccional y otros proyectos desarrollados a lo largo de la carrera.

Las propiedades y características del sensor, facilitaron el procesamiento en el desarrollo del programa, la adquisición de imágenes en tiempos relativamente pequeños y la manipulación de cada una de las aplicaciones.

REFERENCIAS

- [1] C. T. Huang, C. J. Huang, and W. L. Wang, "Construction of an automatic inspection system with capability of identifying color characteristics of product," *2007 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, pp. 1930-1934, Dec. 2007.
- [2] J. Smisek, M. Jancosek, and T. Pajdla, "3D with Kinect," *Image (Rochester, N.Y.)*, pp. 1154-1160, 2011.
- [3] L. Mathe, D. Samban, and G. Gómez, "Estudio del funcionamiento del sensor Kinect y aplicaciones para bioingeniería," *Interface*, pp. 1-6.
- [4] M. Štrbac, M. Marković, and D. B. Popović, "Kinect in Neurorehabilitation: Computer Vision," *Image (Rochester, N.Y.)*, 2012.
- [5] D. Bevilacqua, "Using the Microsoft Kinect for 3D Map Building and Teleoperation," *Transform*, pp. 1054-1061, 2012.
- [6] D. Um, D. Ryu, and M. Kal, "Multiple Intensity Differentiation for 3-D Surface Reconstruction With Mono-Vision Infrared," vol. 11, no. 12, pp. 3352-3358, 2011.
- [7] I.-tsun Chiang and S.-ti Chen, "Institutionalized Older Adults with Wheelchairs," *Time*, 2012.



Milton Eulisis Medina Rincón, nació el 01 de Mayo de 1988 en San Mateo (Boyacá), cursó bachillerato en el Instituto Técnico León de Greiff. Posee grado de bachiller académico. Actualmente está cursando Decimo Semestre de Ingeniería Electrónica en La Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja. Es miembro estudiante de la IEEE desde el segundo semestre del año 2010.



Daniel Andrés Pardo Vargas, nació el 11 de Abril de 1992 en Tunja. Cursó los estudios secundarios en el Colegio de Boyacá (Col-Boy). Posee el grado de bachiller en matemáticas. Actualmente está cursando Decimo Semestre de Ingeniería Electrónica en la Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja. Es miembro estudiante de la IEEE desde el primer semestre del año 2009.



Camilo Ernesto Pardo Beainy, Nacido en Bogotá, Colombia, el 22 de diciembre de 1982. Ingeniero Electrónico – Universidad Santo Tomás – Especialista en Instrumentación Electrónica – Especialista en Redes de Telecomunicaciones – Universidad Santo Tomás. Estudiante de la Maestría en Ingeniería Electrónica de la Pontificia Universidad Javeriana. Con participación en Proyectos y Licitaciones del sector energético, de Ingeniería y Construcción Industrial – Abengoa, Madrid, España. Docente Universitario en las áreas de Comunicaciones, Técnicas Digitales, Teoría de Circuitos, y Tratamiento Digital de Señales - Facultad de Ingeniería Electrónica, USTA - Tunja. Con énfasis en sistemas SCADA, Procesamiento de Imágenes, Tratamiento de Señales, DSPs e Instrumentación de Procesos.
camilo_e_p@hotmail.com, camilopardo@ieee.org.

El mundo hablando acerca de las máquinas dispensadoras “Vending machines”

Diana Correa
Universidad Santo Tomas
Tunja, Colombia

diana.correa@usantoto.edu.co

Resumen—Cuando la gente habla de máquinas dispensadoras se refiere a una gran variedad de inventos existentes y a los avances que tienen cada una de estas para ser más llamativas e interesantes hacia la comunidad y su interacción con ellas, modelos avanzados permiten además personalizar completamente el producto dependiendo de los gustos del usuario, se percibe además que en un futuro los alimentos dejarán de ser preparados por personas ya una máquina se encargará de esto, y lo hará en un transcurso de tiempo menor a lo habitual.

Índice de Términos— Avances, comunidad, futuro, interacción, inventos, máquinas dispensadoras.

Abstract-when people talk about the vending machines covers a variety of existing inventions and advances that have each of these to be more appealing and interesting to the interaction with a community, advanced models also allow completely customize the product according to user preferences, is also perceived in the future cease to be food prepared by people and a machine to take care of this, and will do so in course of time less than usual.

Index Terms-Progress, community, future, interaction, inventions, vending machines.

I. INTRODUCCIÓN

Los dispensadores electrónicos de alimentos, han tenido un gran desarrollo ya que existen desde dispensadores de bebidas hasta máquinas que preparan comida en cortos instantes de tiempo, su desarrollo va a pasos de gigante, y actualmente se conocen sorprendentes inventos, los cuales llegan a conocer prácticamente al usuario y a sus gustos respecto a lo que él quiere y/o está buscando en ese momento, a continuación se plasma un artículo con algunos de estos avances, las sorprendentes ideas que pueden llegar a ser nuestra fuente inspiración en el desarrollo de proyectos, y la implementación de una máquina dispensadora de bebidas desarrollada bajo los conceptos del curso de Digitales II brindado por la Universidad Santo Tomas seccional Tunja, lo cual demuestra que estas “Vending Machines” pueden basarse en un algoritmo sencillo pero con un gran funcionamiento y beneficios para la comunidad.

II. MÁQUINAS DISPENSADORAS

En noviembre del 2011 sale a relucir una noticia “Japanese Vending Technology Suggests Beverages Based on Face Recognition”, lo que un día se consideró como ciencia ficción

a los días de hoy viene a ser una realidad, esta máquina hace un reconocimiento después de procesar la información demográfica la cual es recopilada mediante sensores, esto incluye el género y la edad de la persona.

Esta máquina hace una serie de recomendaciones del producto dependiendo de factores tales como la edad o la temperatura de dicho momento, un total de 500 de las máquinas expendedoras estarían listas para ser instaladas en Tokio en el 2012. [1]

Una máquina dispensadora puede proveer cualquier tipo de objeto y me atrevo a decir que “cualquier” ya que no hay límites, cualquier cosa que solicite el usuario se puede dispensar, y el ingenio en las máquinas existentes lo demuestra; en abril del 2010 se denomina el “Vehicular Vending Machine” -A robot delivers new cars in Volkswagen's twin garage towers at the automaker's Wolfsburg, Germany, factory- [2], son torres de 60 metros de altura conectados por un túnel subterráneo (figura 1), cada una de estas torres almacena 400 carros, el cliente escoge su carro e inmediatamente se puede ver como un brazo robótico gigante baja el carro del estante y lo lleva a la planta, vale mencionar que el carro no es impulsado ni manejado en ningún momento.



Figura 1. Dispensador de autos, Alemania, Photo: Sean Gallup/Getty Images

Muchas máquinas expendedoras de hoy en día son más que novedosas, la mayoría de ellas enfocadas a alimento, representan lo que diría yo una revolución de la forma de preparar comida, es predecible además decir que en un futuro la comida dejará de ser preparada por manos humanas ya que una máquina lo hará en menos tiempo y con puntos exactos de cocción con tan solo pulsar un botón.

Un artículo publicado en el año 2013 menciona que en diez años “la tecnología dará lugar a cambios sísmicos en la producción de alimentos, el almacenamiento y la distribución” [3], si todavía existe gente que se niega a comer de una máquina que prepara alimentos, detengámonos un momento y preguntémosnos, acaso la cafetera de donde tomamos café todas las mañana ¿no es una maquina?, que sea pequeña no quiere decir que no lo sea y tampoco estamos seguros de donde vienen los elementos que consumimos y que compramos en el supermercado, muchos de estos alimentos ya han tenido un proceso a través de máquinas automáticas que preparan y re envasan.

Inventos tales como el horno microondas son la ventana que nos deja ver, que es solo cuestión de esperar un tiempo para tener una maquina en casa que dispense alimentos o bebidas, pero hoy en día adquirirla en casa no sería muy común ya que las máquinas que existen actualmente están diseñadas para cafeterías o bares, pero no en casa, por el costo y el espacio que podrían llegar a ocupar.

“In the kitchen of the future, a food compositor could fabricate haute cuisine from scratch” [3], el compositor de comida es otra de las revolucionarias ideas de las maquinas dispensadores, este comenzaría con una "receta" digital en el que cada ingrediente se ha dividido en pequeños comestibles elementos cada uno con un bloque de construcción básico para el sabor o la textura. Como el compositor comida imprime cada elemento, podría también tinte, hidrato, al igual que con los prototipos creados por las impresoras 3 -D, las formas de los platos, mezclados pueden ser caprichosamente complejos a gusto del usuario. Y al igual que con las fotos de inyección de tinta, el color de la comida podría abarcar todos los matices del arco iris.



Figura 2. Chef in a Box, Image: Dan Saelinger; Stylist: Dominique Baynes; Food Stylist: Carol Ladd

Este tipo de ideas, de un compositor de comidas es una de las ideas que se pueden ver cerca en una de nuestras cocinas, es muy conveniente ya que podríamos hasta evitar los alimentos que nos causan algún tipo de alergias o malestares comunes, podríamos añadir cualquier vitamina que creamos necesaria además de nivelar los niveles de sal o de azúcar que podrían afectar nuestro metabolismo.

Los dispensadores de bebidas han tenido un gran avance, ya que antes era una sutil maquina manual, en la cual el operario debía oprimir una pieza la cual accionaría la llave y luego esperar que el líquido llenara el recipiente deseado, el papel de la ingeniería ha llevado a desarrollar una completa serie de proyectos tales como el “Inhebriator” que se muestra en la siguiente figura, el cual mediante programación prepara una gran variedad de cocteles y tragos, en donde el usuario solo debe escoger que trago desea. [4]



Figura 3. Avance de las máquinas dispensadoras de bebidas, parte izquierda “The Inebriator”, proyecto de dos aficionados a la electrónica son de Reino Unido

Como ya se pudo notar anteriormente un dispensador de bebidas es un pequeño robot que cuenta con una unidad de procesamiento central (CPU) que está programada para ejecutar las diferentes alternativas que se presentan como el proceso de venta automática. Generalmente, un Dispensador de Bebidas puede contar con un sistema de pago, que se encarga de validar la venta, a través del reconocimiento y aceptación de monedas, billetes, tarjetas de créditos y últimamente a través del SMS, son máquinas diseñadas para vender, ellas solas, los productos que previamente les hayamos introducido.

Otro factor relevante en la fabricación de estas máquinas es la parte física para esto se necesita de una estructura que soporte las cualidades del proyecto y permita al usuario entender rápidamente el funcionamiento de la máquina para hacer que el proceso de dispensación sea agradable, cómodo y eficaz.

Los conceptos vistos en el curso de Técnicas Digitales II de mi pregrado, fueron suficientes para el diseño una maquina dispensadora de bebidas, la cual no es tan sofisticada como la gran variedad de máquinas existentes hoy en día (figura 4), pero cuenta con varios de los principios de funcionamiento, esta máquina dispensa dos bebidas las cuales están a elección del usuario, a continuación se muestra el sistema general y la explicación de cada una de sus partes.



Figura 4. Apariencia de la maquina dispensadora de bebidas. Por: Diana Correa

Mediante programación en lenguaje C, se realizó el algoritmo correspondiente al funcionamiento de una maquina dispensadora, a la cual se le atribuyen características las cuales han sido definidas a mi parecer, las pruebas de funcionamiento fueron realizadas por medio de simulación en el software proteus, como se puede ver en la figura 5, se empleó un micro controlador PIC16F877A, el cual ejecutaría las instrucciones previamente programadas grabadas en su memoria.

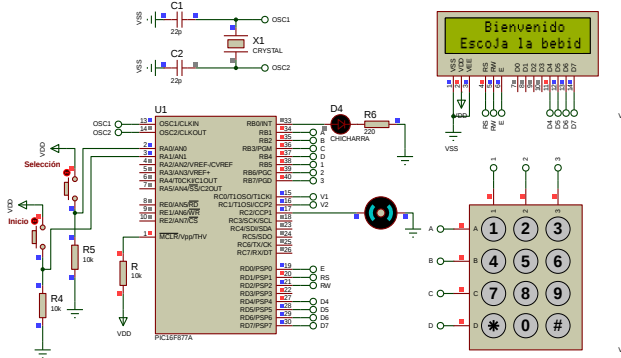


Figura 5. Simulación del proceso de la maquina dispensadora de bebidas

Después de un aviso de “Bienvenida” el usuario debe dirigirse al botón de selección donde elegirá entre la bebida 1 y la bebidas 2, para esto se designó el PIN_A0 del microcontrolador, en donde cada vez que el valor del pin sea igual a 1 se correrá la función del llamado en este caso “item”, la cual expresa los elementos de selección que son las dos bebidas.

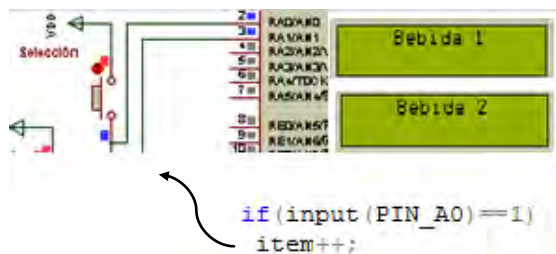


Figura 6. Botón de selección de las bebidas mediante simulación

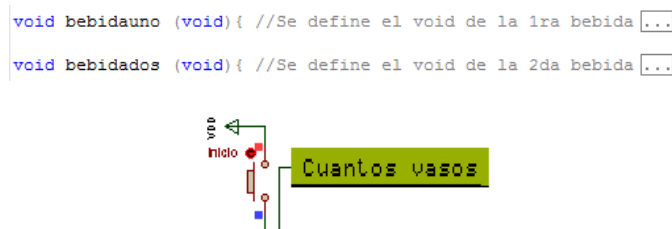


Figura 7. Inicio del sistema implementado en simulación

Se defino el espacio de cada una de las variables, y en este mismo espacio cada una de las funciones que se asignan. El boton de inicio sera el encargado de desempeñar estas acciones previamente establecidas. Anterior a esto saldra un letrero de “¿Cuántos vasos?”, para esto el usuario contara con un teclado numerado y este le permitira al usuario escoger un numero de bebidas desde 1 hasta 9 según su necesidad.

Una vez seleccionado el numero de vasos por el usuario, un letrero de “Cargando” este indicara que la bebida empezara a salir (mientras se pone el vaso), luego una alarma anunciara que se puede retirar el vaso, vale aclarar que esta accion se repite el numero de veces que el usuario halla seleccionado (desde 1 hasta 9).

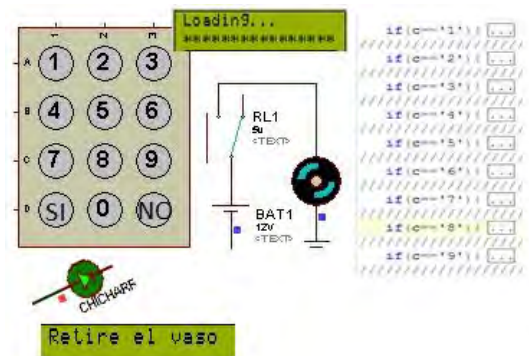


Figura 8. Sistema de llenado de la bebida en Simulación

Finalmente sale un aviso el cual le ororga el usuario tomar una decisión acerca de si este desea hielo en su bebida, las teclas de asterisco (*) y numeral (#) fueron reemplazadas por un SI y un NO respectivamente, unicamente el usuario debe seleccionar su respuesta y con este terminara el proceso de manejo del dispensador automatico de bebidas, para retomar el sistema, se regresa al boton de iniciar y se escoge la bebida deseada para el caso y se retoma el proceso descrito anteriormente.

```

////////////////////////////////////
printf(lcd_putc, "Desea Hielo\n <NO>    <SI>");
do{
    // Espera hasta...
    c=kbd_getc(); //se obtiene un valor de c
    while(c==0);
    if(c=='*'){ //cuando sea *
        output_high(PIN_C2);
        delay_ms(1000);
        output_low(PIN_C2);
        delay_ms(200);
        for (i=1;i<=16;i++){
            lcd_gotoxy(1,2);
            printf(LCD_PUTC, "Retire el vaso");
            delay_ms(200);
            printf(lcd_putc, "\f");
        }
        if(c=='#'){
            output_high(PIN_C2);
            delay_ms(2500);
            output_low(PIN_C2);
            delay_ms(200);
            output_high(PIN_B0);
            delay_ms(500);
            output_low(PIN_B0);
            delay_ms(200);
            for (i=1;i<=16;i++){
                lcd_gotoxy(1,2);
                printf(LCD_PUTC, "Retire el vaso");
                delay_ms(200);
                printf(lcd_putc, "\f");
            }
        }
    }
}
////////////////////////////////////

```

Figura 9. Logaritmo de un fragmento del programa implementado para la maquina dispensadora de bebidas.

La elaboracion de una maqueta que se ajustara a las condiciones del proyecto, requirio de varias pruebas ya que debia tener un sistema en el cual fuera facil cambiar el tanque de la bebida cada ves que este se desocupara, para esto se diseño una puerta en la parte superior, para que el usuario abra esta y los tanques queden en la posición mas apropiada para hacer el cambio o reemvase de las bebidas; para realizar el

mantenimiento o revisión interna del sistema, se adaptó una puerta lateral que permite corregir alguna falla o verificar que todo se encuentra en orden, es decir, para realizar el proceso de “calidad” de la máquina diseñada.

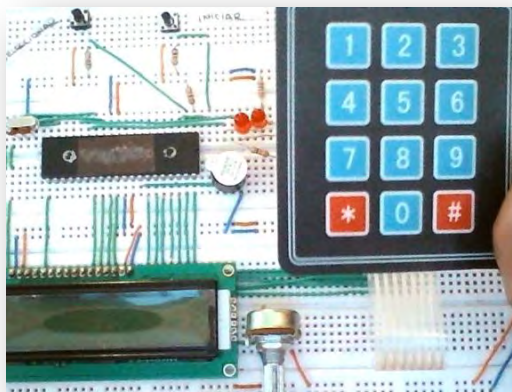


Figura 10. Apariencia final del panel de control del “Dispensador automático de bebidas”

Las máquinas dispensadoras siempre estarán alrededor del mundo ahorrándonos tiempo y dándonos un producto deseado, cada día irán avanzando y un día tendremos en nuestras propias casas máquinas controlando y dispensando desde nuestros alimentos hasta el jabón de manos todo automáticamente, como siempre el ser humano seguirá en la búsqueda de facilitar su diario vivir y ahorrar lo más preciado que es el tiempo, lo que se busca es que este pequeño proyecto sea de gran aceptación y que las observaciones recibidas acerca de su funcionamiento sean en pro del desarrollo y avances de la máquina para crear un ambiente en el cual el usuario esté satisfecho con el producto que está usando, ya el fin de la tecnología es precisamente que la comunidad se encuentre a gusto con los avances que día a día aparecen en nuestras vidas.

III. CONCLUSIONES

- La realización de un proyecto implica consultar el estado del arte, para darnos cuenta de la variedad de proyectos existentes y de la gran creatividad que en realidad es la más valiosa fuente de inspiración para la búsqueda y desarrollo de nuevas ideas en nuestra vida académica y profesional.
- Un proyecto por más pequeño que sea dispone de tiempo para la obtención de buenos resultados, la organización es de vital importancia y deben desarrollarse algoritmos que nos permitan entender y organizar cada uno de los pasos necesarios para el funcionamiento del proyecto que se esté realizando.
- La elaboración de este proyecto me permitió encontrar varias herramientas nuevas de la electrónica, tanto en conceptos como en materiales propios de esta área, algunas de ellas implementadas

y otras de ellas en espera para poder mejorar mi proyecto.

- Las máquinas dispensadoras llegan para mejorar nuestra calidad de vida, en cuanto al ahorro de tiempo y las funciones que nos pueden brindar respecto a nuestros gustos personales, metabolismo, organización y hasta salud.

II. REFERENCIAS

- [1] Japanese vending technology suggests beverages based on face recognition; <http://www.computer.org/portal/web/news/home/-/blogs/3358088;jsessionid=00e8c8390bb6a4fb65f295b18992> , tomado: Noviembre 2013
- [2] Vehicular Vending Machine <http://spectrum.ieee.org/geek-life/tools-toys/vehicular-vending-machine>, publicado: 30 Abril 2010, tomado: Noviembre 2013.
- [3] Chef in a Box, <http://spectrum.ieee.org/consumer-electronics/gadgets/chef-in-a-box>, publicado: 31 Mayo 2013 por: Nathan Myhrvold, Pablos Holman, tomado: Noviembre 2013
- [4] The inebriator, <http://www.xatakahome.com/trucos-y-bricolaje-smart/the-inebriator-sirve-cocteles-de-forma-automatizada-gracias-a-arduino> , publicado: 1 Septiembre 2013, tomado: Noviembre 2013

Sistema electrónico para seguridad ganadera: Fase de revisión del estado del arte

Ilber Adonayt Ruge Ruge

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia,
Escuela Ingeniería Electrónica, Grupo de Investigación GIRA-Semillero Robótica UPTC
Tunja, Boyacá, Colombia
ilber.ruge@uptc.edu.co

Laura Catalina Martinez Ruiz

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia,
Escuela Ingeniería Electrónica, Grupo de Investigación GIRA-Semillero Robótica UPTC
Tunja, Boyacá, Colombia
lauracatalina.martinez@uptc.edu.co

Tatiana Milena Torres Ulloa

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia,
Escuela Ingeniería Electrónica, Grupo de Investigación GIRA-Semillero Robótica UPTC
Tunja, Boyacá, Colombia
tatiana.torres@uptc.edu.co

Resumen- El proyecto de investigación consiste en el desarrollo de un sistema electrónico inalámbrico para propósitos de seguridad ganadera, considerando que este problema viene afectando a gran parte del sector productivo lácteo en Ventaquemada Boyacá. El proyecto se plantea en tres fases: Revisión del estado del arte, instrumentación electrónica y sistema de monitoreo remoto. La primera fase corresponde a la revisión de aquellas aplicaciones realizadas con respecto a seguridad ganadera, con el propósito de identificar las tecnologías usadas para este tipo de aplicación, con el fin de ser adoptadas para los propósitos del proyecto. Para lo anterior se hicieron búsquedas en las bases de datos IEEE, ScienceDirect y Google Académico, donde se identificó que la tecnología ZigBee cumple con los requisitos básicos de sensado masivo de información y transmisión a larga distancia que se busca para la realización de la segunda etapa del proyecto.

Keywords— seguridad ganadera, sistemas inalámbricos de control, sistemas eléctricos de monitoreo.

I. INTRODUCCIÓN

Diversos debates se generan en torno a políticas públicas con respecto a seguridad, saneamiento alimentario, vigilancia, trazabilidad y control, no siendo el sector lácteo ajeno a la discusión. Sin embargo, en el área de producción primaria del sector lácteo, se identifica una problemática que es poco analizada y tratada por las entidades regulatorias del sector agroindustrial del departamento de Boyacá: El robo de ganado. Por tratarse de una actividad que se genera en gran parte en el sector rural, los animales están susceptibles al

hurto, dado que no se cuenta con sistemas de vigilancia o monitoreo permanente, y dicha actividad por lo general solo es realizado por una persona encargada del manejo de toda una finca. La propuesta de investigación desea inicialmente, realizar una revisión del estado del arte acerca de los trabajos que se han realizado con respecto al desarrollo de tecnología dedicada al seguimiento (tracking), identificación (AnimalID) y monitoreo en ganadería, desde un punto de vista nacional e internacional. Para tal fin, se hará uso de búsqueda en artículos y revistas científicas especializadas ubicadas en bases de datos como IEEE y ScienceDirect.

II. SEGURIDAD GANADERA

La seguridad ganadera consiste en el control de seguimiento, rastreo e identificación del ganado y así proporcionar un sistema estándar y eficaz tanto para la calidad de los productos derivados de los bovinos que llegan a nuestros hogares, como para suplir la necesidad de los pequeños y grandes ganaderos de Boyacá, que han presentado grandes robos de ganado y esto representa grandes pérdidas tanto para los ganaderos como para el sector productivo de la región.

Una variedad de fuerzas sociales y económicas actuales están impulsando la rastreabilidad de los animales a los niveles de amplitud que nunca han sido requeridos antes. El deseo de minimizar el riesgo y el impacto de los brotes de enfermedades, los requisitos para mejorar el movimiento del ganado y el cumplimiento de los nuevos estándares mundiales

para la importación/exportación de productos relacionados son todos convergiendo para crear demanda de una solución que lo abarque todo. [1].

Los métodos que se utilizan actualmente para la aplicación de seguridad ganadera e identificación animal son tradicionales, como la imagen de marca y etiquetas; por esto el proyecto se enfoca en crear un sistema electrónico en animales para poder llevar a cabo un rápido y eficaz rastreo del ganado planteando una propuesta de desarrollo de un sistema electrónico para supervisar, monitorear y generar alarmas en caso de robo de Ganado como se muestra en Fig.1, orientado a aquellas fincas de producción ganadera con aplicaciones de trazabilidad y administración ganadera.

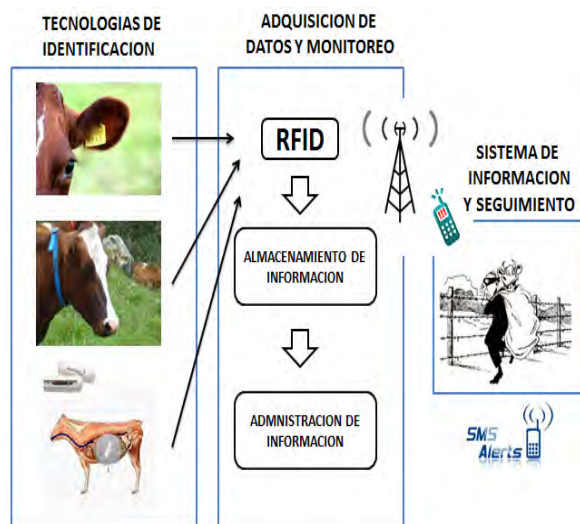


Fig. 1 Sistema electrónico planteado para monitoreo y rastreadibilidad de bovinos.

III. REVISIÓN ESTADO DEL ARTE EN SISTEMAS ELECTRÓNICOS USADOS EN SEGURIDAD GANADERA

Esta fase se desarrolla a partir de la búsqueda de información acerca de sistemas electrónicos usados para la seguridad ganadera, por medio de bases de datos tal como IEEE, ScienceDirect. Se pretende encontrar tecnologías usadas para el rastreo y monitoreo del ganado bovino en países con gran productividad ganadera y tecnologías usadas dentro del país y la región. Esta información es organizada por medio de tablas descriptivas en las cuales se tienen en cuenta los diferentes aspectos que se usaron para realizar la búsqueda de la información pertinente en cuanto a seguridad ganadera.

En las tablas 1 y 2 se describen los resultados de búsqueda teniendo en cuenta las palabras claves, resultados que se obtuvieron en cada base de datos y el número de información pertinente, ya que en cada uno de los buscadores el número de resultados obtenidos es elevado, por lo que la clasificación de la información por buscador es propicio para reconocer que información fue tomada en cuenta.

TABLA I. Información encontrada IEEE

PALABRA CLAVE	Nº DE INFORMACIÓN ENCONTRADA	Nº DE INFORMACIÓN SELECCIONADA
LIVESTOCK SECURITY	15	3
LIVESTOCK SECURITY BASED MICROCONTROLLERS	82	0
LIVESTOCK SAFETY DEVICES PROGRAMMABLE LOGIC	4	0
ELECTRONIC SECURITY SYSTEMS FOR LIVESTOCK	8	2
TOTAL	109	5

La Tabla I muestra un total de 109 resultados correspondientes a publicaciones cuyas palabras claves permitieron ubicar 5 artículos pertinentes a tecnología programable para seguridad ganadera. Los artículos restantes no se tuvieron en cuenta ya que se basaban en la descripción de sistemas para la detección de enfermedades y protección de los bovinos por esto no presentaban información acerca del monitoreo y rastreo del ganado. De estas cinco publicaciones pertinentes, se destaca una correspondiente a “Bovine RFID tracking system with livestock safety remote sensing” de autor (Giametta, P. Catalano, G. La Fianza, A. Simoni) [2], el cual describe la utilización de sistemas de identificación por medio de radio frecuencia RFID. De acuerdo al análisis de este artículo se determina que el rango de distancia es inferior a 10 metros por lo que esta tecnología no es apropiada para las aplicaciones del proyecto.

TABLA II. Información encontrada en Science Direct

PALABRA CLAVE	Nº DE INFORMACIÓN ENCONTRADA	Nº DE INFORMACIÓN SELECCIONADA
LIVESTOCK SECURITY BASED MICROCONTROLLERS	17	1
LIVESTOCK SAFETY DEVICES PROGRAMMABLE LOGIC	45	2
ELECTRONIC SECURITY SYSTEMS FOR LIVESTOCK	323	2
TOTAL	385	5

La Tabla II muestra un total de 385 resultados correspondientes a publicaciones cuyas palabras claves permitieron ubicar 5 artículos pertinentes a tecnología programable para seguridad ganadera. Los artículos restantes se descartan considerando que no contienen información pertinente respecto a tecnología de monitoreo y transmisión de información. De estas cinco publicaciones pertinentes, se destaca una correspondiente a “Design and deployment of wireless sensor networks for aquaculture monitoring and control based on virtual instruments” de autor (Daudi S. Simbeye, Jimin Zhao, Shifeng Yang) [3], el cual describe el desarrollo de un sistema de monitoreo inalámbrico para

acuicultura basado en el micro controlador ATmega8A y una red de sensores inalámbrico ZigBee SZ05, que se caracteriza por tener una amplia distancia de transmisión, lo cual lo convierte en la aplicación para los propósitos de seguridad ganadera.

IV. RESULTADOS OBTENIDOS EN LA BUSQUEDA DE ARTICULOS DE SISTEMAS ELECTRONICOS PARA SEGURIDAD GANADERA

En la información revisada se encuentra que los sistemas electrónicos para seguridad ganadera son aplicados en países con gran demanda ganadera como Estados Unidos y Tailandia [4], quienes usan desde técnicas convencionales como marcas de imagen hasta tecnologías de identificación electrónica como las etiquetas de radiofrecuencia tal como se muestra en la Fig.2. Estas tecnologías se usan con el fin de encontrar métodos de identificación animal para gestionar una gama de pastoreo, y de varios programas de salud en el cual se hace un monitoreo y control con el fin de controlar efectivamente la propagación de enfermedades tanto de animal a animal como de animal a humanos [5]. Una de las desventajas que presentan los sistemas RFID (identificación por radio frecuencia) son las distancias que maneja para la detección de bovinos, ya que no superan rangos de longitud mayores a 10 metros



Fig. 2 Etiquetas de Radiofrecuencia usadas en bovinos.

En el caso de Colombia, no fue posible encontrar información con respecto a artículos científicos especializados o documentos relacionados con tecnologías de monitoreo y seguimiento a bovinos a larga distancia. La tecnología tag RFID es la más común para el monitoreo animal, y se caracteriza por tener unas distancias de transmisión no mayor a tres metros por lo cual es una tecnología que no aplica para los requerimientos del proyecto lo cual requiere una distancia aproximada de 1Km o más [6]. De los resultados obtenidos en la búsqueda en las bases de datos ScienceDirect e IEEE, se encontró que el uso de la tecnología Zigbee que está basada en el estándar IEEE 802.15.4/ZigBee utilizado en el proyecto de “Design and deployment of wireless sensor networks for aquaculture monitoring and control based on virtual instruments” [3] cumple con los requerimientos de transmisión inalámbrica por la distancia que puede llegar a ser de 8Km de transmisión en línea de vista, lo cual es acorde a los requerimientos que exige el proyecto dado que los hatos ganaderos en Ventaquemada Boyacá se encuentran en zona

rural. Esta tecnología será explorada y tenida en cuenta para la realización de la segunda fase del proyecto correspondiente a la adquisición de datos y monitoreo de bovinos.

V. CONCLUSIÓN

La búsqueda de información especializada con buscadores como Google y Bing no son los más adecuados para encontrar información especializada del tema a tratar. Las bases de datos IEEE y Science Direct permitieron ubicar un total de 109 y 385 artículos respectivamente, de los cuales uno de ellos permitió identificar la tecnología de transmisión ZigBee cuyo rango de transmisión a línea de vista es de aproximadamente 8 km la cual será la tecnología que se procederá a adquirir para comenzar a realizar la segunda fase del proyecto: adquisición de datos y monitoreo.

REFERENCIAS

- [1] Corporate Headquarters Canada, <http://www.animalidsolutions.com/>.
- [2] F. Giametta, P. Catalano, G. La Fianza, A. Simoni, “Bovine RFID tracking system with livestock safety remote sensing”, *IEEE*, 2011.
- [3] Daudi S. Simbeye, Jimin Zhao, Shifeng Yang, “Design and deployment of wireless sensor networks for aquaculture monitoring and control based on virtual instruments”, Article history: Received 12 June 2013, Received in revised form 28, October 2013, Accepted 7 January 2014.
- [4] U. Ketprom, C. Mitrpant, P. Makhapun, S. Makwimanloy, S. Laokok, “RFID for cattle traceability system at animal checkpoint” Annual SRII Global Conference, 2011.
- [5] John Evans, Josh Davy, and Theresa Ward, University of California Cooperative Extension” An Introduction to Electronic Animal Identification Systems and Comparison of Technologies”, Noviembre 2005.2
- [6] Garcia Luis y Lunadei Loredana, The Role of RFID in Agriculture: Applications, Limitations and Challenges”, Computers and Electronics in Agriculture, Universidad Politécnica de Madrid, ScienceDirect SciVerse, Agosto 2011

“UN CAN SANO”... A TRAVÉZ DE LA ROBÓTICA

María Fernanda Forero Rojas

Facultad ingeniería electrónica, Universidad Santo Tomas Tunja

Tunja, Colombia

maria.forero@usantoto.edu.co

Resumen— cuando la gente habla de máquinas , se refiere a una gran variedad de inventos existentes y a los avances que tienen cada una de estas para facilitar la vida del ser humano estas pueden ser más llamativas, e interesantes para la interacción con una comunidad, modelos avanzados permiten además personalizar completamente y dar más uso a estas máquinas dependiendo de los gustos y las necesidades del usuario, se percibe además que en un futuro las máquinas sean las encargadas de satisfacer y conocer la necesidades de un can, los alimentos dejen de ser suministrados por personas y una máquina se encargará de esto además de obtener más datos sobre el estado de salud del can y lo harán en el tiempo adecuado y vital para la mascota; por tal razón en este artículo se informará sobre un prototipo que satisfaga, facilite y agilice los procesos de suministrar, satisfacer y conocer acerca del can y sus necesidades respecto a su salud y su alimentación, sin necesidad de la presencia de un humano.

Índice de Términos— comunidad, comida, dispensador, canino, humano, electrónica, alimentación, amigo

Abstract- when people talk about machines, refers to a variety of existing inventions and advances that have each of these to facilitate human life they can be more striking, and interesting to interact with a community, advanced models allow also more fully customize and use these machines depending on the tastes and needs of the user, is also perceived that in the future the machines are responsible for meeting the needs of a dog, let food be provided by people and machine will handle this, and will do so in the proper and vital time for the pet; for that reason this article will report on a prototype that satisfies, facilitate and expedite the process of providing food to the dog, without the presence of a human.

Index Terms- community food dispenser, canine, human

I. INTRODUCCIÓN

Tal vez algunos coincidan con mi análisis a cerca del porque el perro sea el mejor amigo del hombre, mi humilde opinión y poco tecnificada es que el hombre buscando un refugio emocional ha llegado a domesticar a este animal para que se convierta en

su aliado que no pregunta, no pelea y le brinda afecto sin pedir nada a cambio; ¿En quién más podría encontrar la solución a esos problemas estructurales y vacíos emocionales que hacen tan caótica su existencia?, una visión tal vez terrorífica de la vida... sin embargo es la relación que encuentro en que el perro sea desde tiempos inmemorables “el mejor amigo del hombre”, teniendo una relación única de complicidad y apego recíproca, claro, existen también demostraciones científicas que lo corroboran.

Los animales se han convertido en un integrante más de la familia de hecho la excusa de la formación de las uniones modernas tienen ya como principio la obtención de una mascota para sentirse completo, tengan o no tengan bebés. De hecho la ciencia ha demostrado que la unión afectiva entre el hombre y el perro es la misma que tiene la madre y el bebé; donde actúa la oxitócica responsable de crear un vínculo entre el hombre y el perro.

Por otro lado, el capitalismo ha hecho que el hombre cada vez esté más inmerso en su trabajo y viva en función del dinero, sin embargo no deja de ser importante estar emocionalmente estable, por eso, cuando se tienen hijos se trata de conseguir la mejor niñera para obtener un “digamos que un buen reemplazo mientras se consigue el dinero para ser feliz en el mundo de hoy”, y el niño ha quedado abandonado o a la suerte de un ser humano que pueda suplir sus carencias o crear más conflictos a nivel interno, igual y perdonaran la comparación los lectores de este artículo, pasa con los canes, sigue siendo el mejor amigo que te espera con gran ansia en casa, pero ya poco tiempo se tiene también para él, por eso científicos y veterinarios han creado robots para pasearlos y jugar con ellos, darles su alimentación para que puedan sustentarse, conocer su comportamiento respecto a la comida; sin embargo siendo realistas no todos podrían comprar un amo-robot, así que la pensando en el estado del can se ha pensado en crear un prototipo u/o una herramienta económica, eficiente y fácil de usar para mantener bien alimentado y con buena

salud a nuestro mejor amigo, obviamente recomendando que el también merece afecto, y juego pero por parte de su mejor amigo “El hombre”.[1]

II. Marco conceptual

A. Marco histórico

Una maquina dispensadora puede proveer cualquier tipo de objeto y me atrevo a decir que “cualquier” ya que no hay límites, cualquier cosa que solicite el usuario (ya sea alimento, purina, agua, medicamentos, etc) se puede dispensar, y el ingenio en las maquinas existentes lo demuestra MM Vending inicia la comercialización de su nueva máquina espiral. Se trata de un máquina compacta, sencilla y de formato reducido, una característica que facilita su instalación en todo tipo de locales comerciales. Está diseñada para la venta de productos pequeños, admitiendo una amplia gama de ellos, desde chicles a caramelos, pasando por chocolatinas, pegatinas... “[5]



Fig 1 máquina dispensadora espiral de dulces

Existen varias fabricas que se dedican a la creacion de estas maquinas dispensadoras de comida realizadas especialmente para los caninos es el caso de Pipolino una empresa francesa que origina dispensadores móviles de comida para mascotas; estos dispensadores están fabricados en plástico apto para uso alimentario de alta resistencia, que cumple con la normativa europea ISO 9001, y que además no necesitan pilas ni baterías para su funcionamiento. También son respetuosos con el medio ambiente, dado que Pipolino utiliza materiales reciclables.[6]

III. RESULTADOS DISPENSADOR DE COMIDA PARA CANES

1. Análisis de variables

Se encontró que los perros dependiendo de la edad deben comer las tres, dos o una comida, a horas específicas; estas horas no deben ser cambiadas; en algunos casos los perros no comen la purina sola por lo cual esta debe ser acompañada de comida húmeda. De igual

manera el agua debe mantenerse constante y fresca las 24 horas.

Se buscó satisfacer las necesidades descritas en el párrafo anterior, buscando un tipo de sistema que ayude solucionar lo descrito, este debía ser de fácil manejo y cómodo tanto para el humano como para el animal.

2. Lluvia de ideas

Se encontraron ciertos tipos de comederos para perros existentes en el mercado pero estos no tenían partes de las cosas que son necesarias para el desarrollo de este proyecto, al principio se pensó en un tolva llena de comida pero ¿cómo separar la comida húmeda de la seca?, ya que esta comida al estar mucho tiempo revuelta con la comida húmeda se termina dañando ¿cómo hacer para suministrar la cantidad suficiente de comida para el perro?. De igual manera se tenía que tener en cuenta que algunos perros solo comen una, dos o tres veces al día. Por último se pensó en el siguiente prototipo inicial:

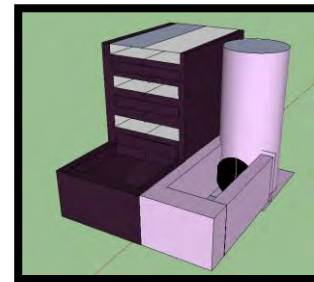


Fig 2: prototipo de maqueta inicial

Esta consta de tres bandejas cada una en su interior está separada por la mitad para separar la comida seca de la húmeda y a su lado está una botella la cual va a suministrar el agua para el canino. Su funcionamiento era el siguiente cuando llegara a una hora específica por ejemplo las 7 de la mañana la primera bandeja caía revolviendo la comida, a las 12 meridiano la segunda bandeja caía revolviendo la comida y las 8 de la noche caía la tercera bandeja con su comida. Claro esta que esta configuración es para un perro que come las tres comidas diarias; este sistema funciona ya que permitía elegir tres dos o una comida al día dependiendo del perro se pensó en no dejarlo más días ya que la comida

húmeda comenzaba a dañarse. Para el sistema de hidratación se pensó en colocar una botella llena de agua la cual por medio de un fin de carrera parara el suministro de agua si la tasa del canino y estaba llena de agua, pero este fin carrera con se pensó satisfactorio por su inexactitud por lo cual se pensó en un sensor que se desactivara cuanto el agua no estuviera sobre el activando una electroválvula que dejara el paso de agua hasta su llenado.

3. **INICIACION DEL CODIGO:** ya teniendo el tipo de maqueta a usar y su funcionamiento se comenzó a desarrollar el código de acuerdo a lo necesario para el funcionamiento de la maqueta. Primero y lo más importante era programar el pic para que me diera la hora en tiempo real que se se pudiera configurar ya que sin esto no se lograría el funcionamiento de la maqueta, por lo cual al principio se pensó en hacer un contador con una señal cuadrada de 12 hz para que suministra los segundos pero esta no era tan exacta por lo cual permitía fallas. se encontró la manera de hacer un reloj con un sensor i2c.(protocolo i2c: un estándar que facilita la comunicación entre microcontroladores, memorias y otros dispositivos con cierto nivel de "inteligencia", sólo requiere de dos líneas de señal y un común o masa. Fue diseñado a este efecto por Philips y permite el intercambio de información entre muchos dispositivos a una velocidad aceptable, de unos 100 Kbits por segundo, aunque hay casos especiales en los que el reloj llega hasta los 3,4 MHz. La metodología de comunicación de datos del bus I2C es en serie y sincrónica. Una de las señales del bus marca el tiempo (pulsos de reloj) y la otra se utiliza para intercambiar datos.)Este fue el más apto ya que se obtenía la hora en tiempo real y solo era necesario de dos pines del microcontrolador. Como se puede ver en la siguiente imagen:

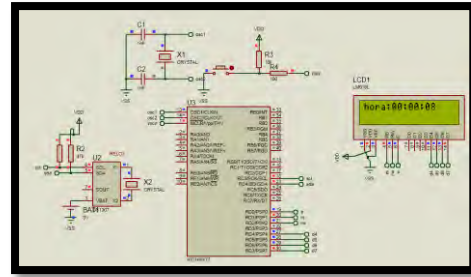


Fig 3: simulación reloj en tiempo real

El código fue el siguiente como ya se tenía la librería de la configuración del integrado ds1307 solo era configurar el reloj de la siguiente manera:

```
#include <16f877.h>
#define _XTAL_FREQ 4000000
#define _USE_MATH_DEFINES
#include <math.h>
#include <conio.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include <time.h>
#include <ds1307.h>

void main()
{
    lcd_init();
    BYTE hrs;
    BYTE min;
    BYTE seg;

    ds1307_init();

    ds1307_set_date_time(29,10,13,2,0,0,0);
    while (TRUE)
    {
        delay_ms(1000);

        ds1307_get_time(&hrs,&min,&seg);

        lcd_gotoxy(1,1);
        printf(lcd_goto, "%02d\\%02d\\%02d", hrs,min,seg);
    }
}
```

Fig 4: código del reloj

Obteniendo ya este código era más fácil configurar los motores para el funcionamiento de la maqueta pero en el código anterior hacia falta de algo para configurar la hora que no fuera desde programación ya que el usuario necesita algo de fácil uso que no gaste tiempo si no que lo acorte por lo cual fue necesario usar unos for antes del ciclo infinito usado en el código para la configuración de la hora antes del inicio de todo el programa. El código fue el siguiente

```
for (i=0;i<200;i++)
{
    if (INPUT(PIN_B3)==1)
    {
        h=h+1;
        if (h==24)
        {
            h=0;
            ds1307_set_date_time(29,10,13,2,h,m,0);
            ds1307_get_time(&hrs,&min,&seg);
            lcd_gotoxy(1,1);
            printf(lcd_goto, "%02d\\%02d\\%02d", hrs,min,seg);
            delay_ms(300);
        }
        if (INPUT(PIN_B4)==1)
        {
            m=m+1;
            if (m==60)
            {
                m=0;
                ds1307_set_date_time(29,10,13,2,h,m,0);
                ds1307_get_time(&hrs,&min,&seg);
                lcd_gotoxy(1,1);
                printf(lcd_goto, "%02d\\%02d\\%02d", hrs,min,seg);
                delay_ms(300);
            }
        }
    }
}
```

Fig 5: código configuración de la hora

Como se pudo ver fue necesario de dos for para la configuración de la hora y los minutos dentro del for un contador que sumara cada vez que se oprimiera el pulsador y un if que volviera en cero las horas y los minutos cuando llegaba a 24 y 60. Luego de haber obtenido esto se comenzaron a buscar los tipos de motores más aptos para el funcionamiento de la maqueta al principio se pensó en servo motores por su fácil manejo y por su exactitud ya que este se movía en grados. Pero viendo la necesidad que girara más de los 180 grados, se tuvo que trabajar con motores DC y por tiempos. Los tres motores de cada bandeja se trabajaron con if por tiempos de la siguiente manera:

```

IF (hrs==12 && min==20 && sec==5
{
output_high(PIN_C1);
lcd_gotoxy(1,2);
printf(lcd_putc, "bandeja1");
delay_ms(2000);
output_low(PIN_C1);
}
else
{
output_low(PIN_C1);
}

```

Fig 6: configuración de motores

Como se pudo ver en la figura anterior los tres motores se configuraron igual con un if que si la hora en este caso era igual a 12 , los minutos iguales a 20 y los segundos iguales a 5 el pin al que salía el motor se activaba por 2000 milisegundo imprimía en la pantalla lcd la bandeja activada y luego se apagaba el pin. Para evitar errores y por seguridad se colocó un else que si no se cumplía el if es decir no era esa hora mantuviera apagado el pin del motor.

Para comprobar el código se simulo y así se comprobó el funcionamiento de los motores:

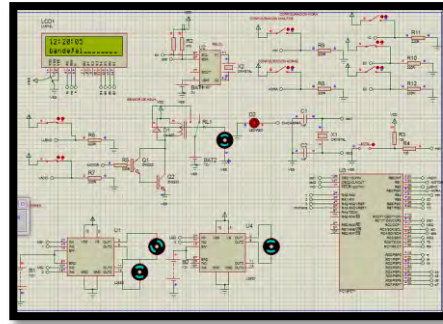


Fig 7: simulación funcionamiento motores

Como se pudo ver el funcionamiento de los motores fue necesario de dos puente h ya que era necesaria de que cuando terminaran las tres bandejas de caer esta en un instante automáticamente se subieran para lo cual era necesario de invertir el giro y de igual manera para protección del pic ya que estos puente h tienen diodos de protección por si se llegara a devolver la corriente. Luego de haber configurado los motores se configuro una pequeña alarma por un tiempo cada vez que el motor se activaba esta era con el fin de avisar al canino cuando caía su comida para el poder comer. Para la parte de la hidratación del perro se buscó un sensor de llenado que al bajar el nivel del agua este dejaba de enviar el pulso y se activara la electro válvula para ello se usó la siguiente tabla de verdad:

1	1	0
1	0	----
0	1	----
0	0	1

Tabla 1

Cuando los el sensor enviara los dos ceros la electroválvula tenía que activarse y apagarse cuando el sensor mandara los dos ceros.

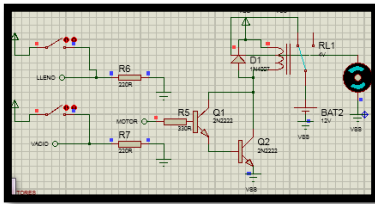
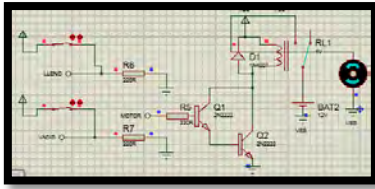


Fig 8 válvula activada y desactivada

Ya para terminar se colocaron tres Smith los cuales configuraban el número de comidas que el perro comía al día.

4. **Iniciación de la maqueta:** ya obtenido el código se realizó la maqueta de acuerdo al código obtenido la cual fue la siguiente:

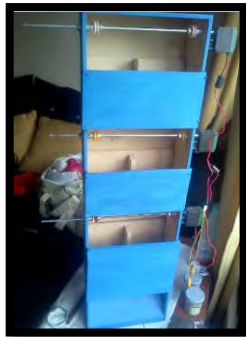


Fig9: maqueta

5. **Detalles :**

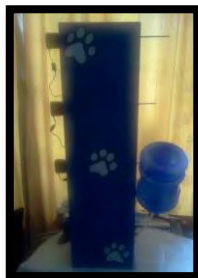


Fig 11: maqueta final

6. **Solución del problema:** como se pudo ver pues el perro poco a poco se logro acostumbrar al su nuevo suministro de comida:



fig 12: canino con el suministro de comida

IV. CONCLUSIONES

- el capitalismo ha hecho que el hombre cada vez esté más inmerso en su trabajo y viva en función del dinero lo que permite que no tenga tiempo para responder a las necesidades de un can.
- El can al estar solo en casa necesita una herramienta que lo alimente y lo mantenga saludable y feliz.
- El dispensador de comida logro satisfacer las necesidades alimenticias del can
- El dispensador de comida tuvo que tener tres configuraciones diferente dependiendo del canino a alimentar ya que alguno comen solo una comida al día, dos o tres comidas al día
- se desarrolló un programa en pic c compiler que activa los motores a una hora específica y activa la electroválvula cuando falta agua en el recipiente.
- Por medio de un autocoplador y una compuerta NOT se logró hacer un sensor que da a entender cuando falta agua y cuando está apunto de rebosar el agua
- Se creó un reloj digital que envía unos pulsos a diferentes horas especificas al pic permitiendo así el funcionamiento de los motores
- Se diseñó una alarma que avisa cuando el proceso ha terminado
- Se diseñó una maqueta que cómoda tanto para el dueño del perro como para el perro para el suministro de comida del canino en la cual el perro cómodamente puede ir a tomar su alimento y su bebida hidratante
- Finalmente se escogió de motor DC que fue el más apto para la maqueta y para el sistema que se deseaba hacer
- Se satisfacía las necesidades alimenticias del canino por medio de este sistema electrónico en el cual el canino a la hora de comer sabe que su alimento estará hay.

- La utilización de los dispensadores es muy positiva para los animales, ya que les restituye sus gestos naturales de búsqueda de comida, indispensables para su equilibrio físico y mental. Además, les evita el aburrimiento, incita al movimiento y les procura una ingesta de alimentos lenta, sin exceso hasta la saciedad, evitando con ello la acidez gástrica, la mala digestión y la obesidad.
- los dispensadores pueden albergar diferentes volúmenes de comida, lo que les convierte en la única fuente de alimentación. Un caudal de suministro fácilmente ajustable, o móvil.

V. REFERENCIAS

- [1].http://robots-argentina.com.ar/Comunicacion_busI2C.htm
- [2] 2010,Random HouseMondadori:G. Iborra Elizabeth, La verdad sobre perros y gatos
- [3] 2010,Random HouseMondadori:G. Iborra Elizabeth, La verdad sobre perros y gatos
- [4]2009, albatros: Taragano Rosa, El doberman
- [5]<http://www.opergame.com/vending/noticias/m-m-vending-inicia-la-comercializacion-de-su-nueva-maquina-espiral>
- [6]<http://www.interempresas.net/Jardineria/Articulos/55634-Pipolino-el-dispensador-movil-de-comida-para-mascotas-llega-a-Espana.html>
- [7] 2010,Random HouseMondadori:G. Iborra



Forero Rojas, María Fernanda: estudiante de quinto semestre en la universidad Santo Tomas seccional Tunja, egresada del colegio andino en el año 2011, tiene 18 años es de Tunja y reside

en la misma ciudad.

La innovación: Un hacer social

M.A. Juan Carlos Garzón Orjuela

Líder de diseño

Cometanova

Bogotá, Colombia

contacto@cometanova.org

Abstract—Se propone una definición funcional de la palabra innovación a partir de un estudio de su etimología, palabras relacionadas e historia. Se presentan algunos roles para desarrollar procesos de innovación exitosos.

Keywords—*innovación; social; historia; rol; definición*

I. HISTORIA BREVE DEL TÉRMINO Y UNA DEFINICIÓN FUNCIONAL

Uno de los principales problemas con los que se encuentran los innovadores practicantes es la falta de consenso para definir innovación. El principal propósito de este artículo es desarrollar una definición funcional de la palabra innovación, partiendo de una breve revisión de la historia del término y sus raíces etimológicas. Adicionalmente, se mostrarán algunos roles útiles para innovar exitosamente e innovar en una organización.

Para iniciar se deben revisar algunos posibles orígenes etimológicos del término innovación; uno de los primeros usos de la palabra surge a mediados del siglo XV para referirse a ‘restauración o renovación’, palabra que posiblemente surgió del latín *innovationem* (nom. *innovatio*), sustantivo de acción. *Innovationem* puede estar relacionada con la palabra Latina *innotesco*, que quiere decir ‘a ser conocido, notado’.

El verbo innovar fue documentado durante la década de 1540 y significaba ‘Introducir como nuevo’, surge del latín *innovatus* que significa ‘renovar, restaurar; cambiar’. *Innovare* surge de la combinación del prefijo *in-* que significa ‘para, hacia, a’ y la palabra *-novus* que significa ‘nuevo’, esta palabra fue definida en la década de 1590 como ‘hacer cambios en algo establecido’.

Para entender el uso actual de la palabra innovación, exploraremos la evolución histórica del término desde la edad media hasta hoy, haciendo una revisión de los términos imitación e invención. [1] En la edad media, imitar no se refería simplemente a copiar, imitar era parte de un proceso de transformación y renovación. En la teoría literaria y las artes visuales del renacimiento se encuentran descripciones recurrentes de imitación como el redescubrimiento de lo antiguo, como algo ‘nuevo’ a copiar, como algo nunca antes visto. Es importante resaltar que la palabra imitación aún es usada en el contexto de la innovación, en teorías recientes sobre la medición de innovación tecnológica, se entiende que ‘adoptar’ una tecnología existente es un comportamiento considerado igual de innovador a inventar algo.

Incluso en la Harvard Business School se ha sugerido la misma idea: “...ya que no todas las compañías pueden permitirse incluso intentar ser las primeras en todo dentro de su campo...”, estas empresas están obligadas “...a acudir a la imitación como una de sus estrategias de supervivencia y crecimiento.” [2] La imitación entonces se origina como la noble práctica de crear novedades copiando la naturaleza y evoluciona hasta el presente a ser considerada parte esencial de ser innovador.

En cuanto a la palabra invención, se puede rastrear su origen a la obra ‘De Inventione’ de Cicerón (106-43 AC) obra de arte retórico, compuesta de guías para ayudar a oradores a encontrar y elaborar lenguaje. Cicerón define invención como “...el descubrimiento de argumentos válidos o aparentemente válidos para hacer mi propia causa probable”. La palabra invención solo fue usada en otras áreas hasta mediados del siglo XIV, y su definición se transformó a ‘descubrimiento o resultado’ específicamente respecto al conocimiento o ciencia. También se empezó a aplicar al hacer, en poesía y artes visuales. Durante mucho tiempo, las palabras descubrimiento e invención se referían a encontrar y a hacer sin ninguna distinción. Solo hasta el siglo XVI la palabra invención fue usada cada vez más para referirse a cosas recién creadas (artefactos). Esta distinción entre los términos llevo a que descubrimiento se refiriera a hechos o cosas que ya existían en el contexto y que se encuentran, mientras que invención significara combinar y hacer nuevas cosas. [3]

Es en este momento cuando inventar empieza a significar crear algo nuevo y es esta definición la que tiene implicaciones importantes para lo que conocemos hoy como innovación. Es importante notar que a principios del siglo XX, sociólogos empezaron a estudiar las invenciones tecnológicas como causas de cambio social y cultural; los inventos modificaban maneras de pensar y actuar en las comunidades en las que eran usados.

Los usos más tempranos de la palabra innovación pueden ser rastreados al siglo XIII en el término jurídico ‘Novation’, que significaba renovar una obligación cambiando un contrato por un nuevo deudor. Sin embargo fue solo hasta el siglo XX que la palabra innovación empezó a ser usada para invenciones, antes se prefería ‘nuevo, novedad, crear o inventar’ para referirse a la capacidad creativa y de producción del ser humano. Algunos de los primeros autores que se refirieron a la innovación como la entendemos hoy son N. Machiavelli (El príncipe, 1513) y F. Bacon (De Innovaciones, 1625)

Dentro de las humanidades, la antropología y la sociología se han destacado en sus aportes al desarrollo del término. La sociología entiende la innovación como invención tecnológica usada y adoptada, incluso cabe anotar que entre las décadas de 1940 al 1960, la literatura en sociología definía al innovador como el primer usuario de una invención. En cuanto a la antropología, un autor en particular desarrolló una teoría exhaustiva de la innovación, H. G. Barnett la definió como cualquier pensamiento, comportamiento o cosa que es nueva ya que es cualitativamente diferente de las formas existentes. [4]

Además de estas dos disciplinas, la economía ha tenido un gran impacto en nuestra manera de entender la innovación. Los economistas fueron los primeros en interesarse en la innovación tecnológica como es comercializada por la industria; una de las personas más influyentes de esta disciplina fue J. A. Schumpeter, para quien el capitalismo es definido como destrucción creativa: La alteración de estructuras existentes, novedad y cambio sin fin. [5] Este autor creía que las innovaciones eran responsables de este fenómeno y usó una clasificación de D. Ricardo para referirse a la innovación como:

- Introducción de un nuevo bien.
- Introducción de un nuevo método de producción.
- Apertura de un nuevo mercado.
- Conquista de una nueva fuente de abastecimiento de materiales o bienes medio fabricados.
- Implementación de una nueva forma de organización.

Para Schumpeter, “La innovación es posible sin nada que podamos identificar como invención y una invención no necesariamente induce innovación.” Schumpeter genera esta visión de la innovación porque pensaba que la invención era un acto de creatividad intelectual y no tenía importancia para el análisis económico. Para Schumpeter la innovación era una decisión económica, una empresa aplicando una invención o adoptando una. En estas teorías de la economía, la innovación tecnológica es definida como el último paso de un proceso que empezaba con una invención – definida como innovación comercializada.

A finales de los cincuentas se empezó a analizar la contribución de la investigación al desarrollo industrial y su rendimiento, a la productividad y al crecimiento económico. Creatividad y productividad se volvieron una misma palabra. De hecho, la creatividad, una palabra originada en la psicología, empezó a ser aplicada a muchas facetas de la investigación industrial.

Durante su historia, el término innovación se ha concebido y definido de manera muy amplia, la innovación se ocupa de cualquier tipo de novedad; artística, científica, tecnológica, organizacional, cultural, social o individual. Más allá de esta definición se puede decir que cualquier cambio en la actividad humana, hecho a propósito y sistemáticamente, puede ser catalogado como una invención.

Según los sociólogos cuando una invención es usada y adoptada se convierte en innovación, para los economistas solo cuando la invención es comercializada se convierte en innovación. Al ser centradas en invenciones tecnológicas, estas

dos aproximaciones han llevado a que en el imaginario colectivo la innovación sea identificada con tecnología.

Se puede decir que estas definiciones no han sido debidamente actualizadas para hacerle frente a la aparición de fenómenos como la innovación generada por el usuario. Es por esto que se propone la siguiente definición funcional del término:

“Innovación es cualquier pensamiento, comportamiento u objeto cualitativamente distinto a las formas existentes, que al ser introducido por medio del lenguaje a la cultura humana, genera cambios en maneras de pensar y actuar establecidas.”

II. LA INNOVACIÓN COMO UNA ACTIVIDAD SOCIAL

Estableciendo la innovación como el cambio en comportamientos de comunidades humanas, se da cabida a cambios de comportamiento a todas las escalas; por ejemplo, introducir una nueva máquina/proceso a una organización podría modificar el comportamiento de los operarios que interactúan con ella, y esto sería considerado innovación. Sin embargo, el propósito de todo innovador debería ser maximizar el alcance de sus innovaciones, generando cambios comportamentales a gran escala; es importante para ello, revisar el trabajo de Malcolm Gladwell, [6] en el que afirma que las ideas, productos, mensajes o comportamientos se esparcen al igual que los virus, y se propone una fórmula para iniciar y controlar epidemias positivas.

Gladwell describe ‘tres reglas de las epidemias’ – La ley de los pocos, el factor de pegajosidad y el poder del contexto. La ley de los pocos se refiere a una especie de ‘ley de Pareto’ en la que pocas personas con una serie de habilidades especiales dentro de un grupo hacen que la epidemia de ideas sea exitosa. El autor describe tres tipos de personas que cuentan con habilidades especiales y que calificarían para dicha ley: Conectores, Mavens y Vendedores; los conectores tienen un don para unir el mundo, conocen muchas personas con diferentes especialidades y acostumbra presentar a unos con otros así vivan o trabajen en diferentes áreas, les gusta hacer amigos y se les facilita socializar. Los mavens son personas que conocen de muchos temas distintos y les gusta transmitir ese conocimiento, estas personas frecuentemente ofrecen información sin pedir nada a cambio, quieren ayudar por ayudar; adicional a su conocimiento, tienen buenas habilidades sociales y comunicativas. Para finalizar, los vendedores son personas persuasivas que nos convencen cuando no estamos tan convencidos de lo que estamos escuchando, son carismáticos y tienen buenas habilidades de negociación.

Los mavens proveen el mensaje mientras que los conectores funcionan como pegante social y esparcen el mensaje con el apoyo de los vendedores. Para que este mensaje sea exitoso esparciéndose, debe contar con lo que Gladwell define como ‘cualidad de pegajosidad’, aquello que hace que el contenido del mensaje sea memorable. Finalmente, se debe tener en cuenta que el comportamiento humano es una función del contexto social y en ese sentido se debe tener en cuenta el poder del contexto; debemos ser conscientes de las condiciones

y circunstancias de la época y el lugar en los que queremos iniciar la epidemia.

Gladwell hace énfasis en un principio conocido como ‘El número de Dumbar’ propuesto por el antropólogo Robin Dumbar [7] como “un límite cognitivo para el número de personas con las que uno puede mantener relaciones sociales estables, entendidas como las relaciones en las que un individuo conoce quien es cada persona y como cada persona se relaciona con todas las demás”. El valor más común para el número de Dumbar es de 150. Gladwell propone que para crear una epidemia -Un movimiento verdaderamente contagioso- primero es necesaria la creación de muchos movimientos pequeños, los innovadores se deben apalancar de su círculo social y detectar personas conectoras/vendedoras para impulsar sus creaciones y convertirlas en verdaderas epidemias positivas.

Usualmente los innovadores no son inventores solitarios, como hemos visto, el éxito en la transformación de maneras de pensar y actuar de otros humanos es una actividad fundamentalmente social. La mayoría de lectores de este artículo seguramente son parte o harán parte de organizaciones establecidas (Públicas-privadas, con o sin ánimo de lucro) es por esto que es relevante comprender como se puede lograr el éxito innovando dentro de organizaciones. Para lograrlo, se revisará el trabajo de Tom Kelley y Jonathan Littman, [8] en el que se presenta a la innovación como una herramienta para transformar la cultura de las organizaciones y se proponen tres grupos de roles para lograr innovar dentro de ellas: Personas que aprenden, personas organizadoras y personas constructoras.

Las ‘personas que aprenden’ son quienes adoptan roles de aprendizaje y son lo suficientemente humildes para cuestionar su propia visión del mundo, manteniéndose de esa manera abiertos a encontrar nuevas revelaciones. Dentro de estas ‘personas que aprenden’ se encuentran tres facetas: El antropólogo, el experimentador y el cross-polinizador. El antropólogo trae nuevos conocimientos a la organización por medio de la observación de comportamientos humanos, entendiendo como las personas interactúan física y emocionalmente con su entorno. El experimentador construye prototipos de nuevas ideas constantemente, aprendiendo por ensayo y error; y finalmente, el cross-polinizador explora otras industrias y culturas traduciéndolas a las necesidades de su organización.

Las ‘personas organizadoras’ toman decisiones sobre cómo se debe distribuir el tiempo, la atención y los recursos en las distintas actividades de la organización. Dentro de estas ‘personas organizadoras’ se encuentran tres facetas: El vallista, el colaborador y el director. El vallista sabe que la innovación está llena de obstáculos y tiene un talento especial para sobreponerse a ellos, el colaborador ayuda a unir equipos dispares y lidera para crear soluciones multidisciplinarias, y finalmente, el director reúne talento humano excepcional y ayuda a encender sus chispas creativas.

Las ‘personas constructoras’ aplican las revelaciones y el conocimiento generado por los roles de aprendizaje y canalizan las decisiones de los roles organizadores para que la innovación suceda. Dentro de estas ‘personas constructoras’ se encuentran cuatro facetas: El arquitecto de experiencias, el diseñador de escenarios, el cuidador y el narrador. El arquitecto de experiencias, diseña experiencias atractivas que van más allá de lo funcional y realmente se conectan con los usuarios. El diseñador de escenarios crea un escenario en el que los miembros del equipo de innovación pueden hacer el mejor trabajo posible, haciendo de los espacios físicos una herramienta poderosa para transformar comportamientos. El cuidador parte de la metáfora del profesional de la salud para cuidar del cliente de tal manera que va más allá del mero servicio; y finalmente, el narrador usa narrativas atractivas para aumentar la moral interna de la organización y crear conciencia de la misión de la organización hacia el exterior.

En este artículo, la innovación fue presentada como un ‘hacer’ fundamentalmente social, con un propósito específico: Transformar maneras de pensar y actuar establecidas. Adicionalmente, para hacer de la innovación un fenómeno masivo se presenta una estructura social específica resultado de la articulación de personas con una serie de características particulares y unos roles determinados para conseguir el éxito en procesos de innovación dentro de las organizaciones. Darle este énfasis social a la innovación, enfocándose en las relaciones entre personas (Sean del equipo innovador o de los usuarios de la innovación) permite comprender que nuestras ideas no pertenecen a otra dimensión distinta a nuestro contexto ambiental, social y emocional. Nuestras creaciones están cargadas de los contextos ambientales, políticos, económicos, sociales y tecnológicos de las que surgen y por ende son materializaciones de una ética; ser conscientes del carácter social de nuestras innovaciones nos obliga a ser responsables de ellas y darles propósito como agentes de cambio positivo.

REFERENCIAS

- [1] B. Godin, “Innovation: The history of a category, Working Paper No. 1, Project on the Intellectual History of Innovation,” Paper presented at: Polish Academy of Sciences, Committee for the Science, Warsaw, Poland, pp. 5–47, Diciembre 2008.
- [2] T. Levitt, Innovative Imitation, Harvard Business Review, pp. 63-70, Septiembre 1966.
- [3] W. Kneale, The Idea of Invention, Proceedings of the British Academy, 1955, pp. 85-208.
- [4] H. Barnett, Innovation: the Basis of Cultural Change, 1953.
- [5] J. Schumpeter, The Instability of Capitalism, The Economic Journal, pp. 361-386, Septiembre 1928.
- [6] M. Gladwell, The tipping point, 2002.
- [7] R. Dunbar, “Neocortex size as a constraint on group size in primates”. Journal of Human Evolution 22 (6), pp 469–493, 1992.
- [8] T. Kelley & J. Littman, The Ten Faces of Innovation: IDEO's Strategies for Defeating the Devil's Advocate and Driving Creativity Throughout Your Organization, 2006.