Institución Universitaria
Acreditada en Alta Calidad

Identificado ante el DANE con el número **10.500.103.391**
Registrado ante el ICFES con el código 3302
NIT 800214750-7

DEPARTAMENTO DE ADMISIONES Y PROGRAMACIÓN ACADÉMICA

EL SUSCRITO JEFE DE OFICINA - DEPARTAMENTO DE ADMISIONES Y PROGRAMACIÓN

CERTIFICA

Que ***CORREA ZAPATA SEBASTIAN*** *, identificado con* ***CC 1037524663*** *de* ***Carolina (Antioquia)*** *y carnet* ***16136347*** *, se matriculó para estudiar en esta institución durante el período académico* ***2019-2*** *el nivel* ***8*** *del programa* ***Ingeniería Mecatrónica*** *, incorporada en el sistema interno del SNIES , con una duración de* ***10*** *semestres asi:*

Registro MEN: ***90442***
Fecha de Registro: ***16 de Abril de 2010***
Duración: ***10 semestres***
Jornada: ***ÚNICA***
Metodología: ***Presencial***
Educación: ***Formal***
Edad: ***27 Años y 3 meses***

Intensidad semanal de 48 horas.

NOTA: Este certificado se expide a solicitud del interesado.

Medellín *jueves, 19 de septiembre de 2019*

LUIS JERÓNIMO PÉREZ ARANGO

S.I.A. (Registro Académico) Generado por: WILLIAM ANDRES jueves, 19 de septiembre de 2019

Libertad y orden
REPÚBLICA DE COLOMBIA

El Servicio Nacional de Aprendizaje SENA

En cumplimiento de la Ley 119 de 1994

Hace constar que

SEBASTIAN CORREA ZAPATA

Con Cedula de Ciudadania No. 1037524663

Cursó y aprobó la acción de Formación

DISEÑO DE ESTRATEGIAS DIDACTICAS PARA LA FORMACION PROFESIONAL INTEGRAL

con una duración de 50 horas

En testimonio de lo anterior, se firma el presente en Medellín, a los siete (7) días del mes de diciembre de dos mil dieciocho (2018)

Firmado Digitalmente por
GUSTAVO ADOLFO LOPEZ DE MESA GUTIERREZ
SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE
Autenticidad del Documento
Bogotá - Colombia

GUSTAVO LOPEZ DE MESA GUTIERREZ
SUBDIRECTOR
CENTRO DE TECNOLOGÍA DE LA MANUFACTURA AVANZADA.
REGIONAL ANTIOQUIA

56158126 - 07/12/2018
FECHA REGISTRO

La autenticidad de este documento puede ser verificada en el registro electrónico que se encuentra en la página web http://certificados.sena.edu.co, bajo el número 9204001783109CC1037524663C.

Libertad y orden
REPÚBLICA DE COLOMBIA

El Servicio Nacional de Aprendizaje SENA

En cumplimiento de la Ley 119 de 1994

Hace constar que

SEBASTIAN CORREA ZAPATA

Con Cedula de Ciudadania No. 1037524663

Participó en el evento de Divulgación Tecnológica

DIVULGACIÓN DE ARTÍCULOS PUBLICADOS DEL GRUPO GACIPE EN REVISTAS INTERNACIONALES

con una duración de 8 horas

En testimonio de lo anterior, se firma el presente en Medellín, a los veintiun (21) días del mes de noviembre de dos mil dieciocho (2018)

Firmado Digitalmente por
GUSTAVO ADOLFO LOPEZ DE MESA GUTIERREZ
SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE
Autenticidad del Documento
Bogotá - Colombia

GUSTAVO LOPEZ DE MESA GUTIERREZ
SUBDIRECTOR CENTRO DE TECNOLOGÍA DE LA MANUFACTURA AVANZADA.
REGIONAL ANTIOQUIA

4579341 - 21/11/2018
FECHA REGISTRO

La autenticidad de este documento puede ser verificada en el registro electrónico que se encuentra en la página web http://certificados.sena.edu.co, bajo el número 920400132437CC1037524663C.

Science Publishing Corporation
Editor de revistas académicas internacionales



Desarrollo de un sistema de potencia multimotor para vehículos convertidos a eléctricos.

Correa Zapata Sebastian, Vergara Crismatt Carlos, Rico Mesa Edgar

Resumen Palabras clave Referencias

PDF

Resumen

El grupo de investigación GACIPE ha estado desarrollando un proyecto centrado en la conversión de un automóvil de combustión interna a uno eléctrico, implementando un desarrollo mecánico y electrónico con el objetivo de implementar nuevas tecnologías en el sector automotriz mediante el diseño de controladores para controlar la velocidad de varios 2.2. Kw motores DC con un nuevo procedimiento de activación de los dispositivos de potencia. Este proyecto es una pequeña contribución a la reducción de los efectos del cambio climático.

Ver

Descargar

ID Del Artículo: 20042

DOI : 10.14419 / ijet.v7i4.5.20042

0

NAVEGACIÓN

Casa
Sobre nosotros
Revistas
Ayuda

FOGONADURA

Google Académico
CrossRef
Sistemas de diario abierto
Pórtico

SIGA CON NOSOTROS

Facebook
Gorjeo
Linkedin
Google +

DIRECCIÓN

Corporación Editorial de Ciencia, Zona Franca RAK
RAK FTZ Business Park, Centro de Negocios 4,
Área de Al Mamourah, apartado postal: 487447, Emiratos Árabes Unidos
SPC@sciencepubco.com
Support@sciencepubco.com

Copyright © 2012-2015 Science Publishing Corporation Inc. Todos los derechos reservados.

Cámara Colombiana del Libro | AGENCIA ISBN (index.php)

Colombia

Iniciar sesión

Registrarse (user.php?mode=registro)

EXPLORAR POR Categorías Áreas temáticas Formato Año de publicación Público objetivo

Consultar los libros registrados

Manual de MARBI- Modelo Anatómico Reproductivo Inanimado Bovino

- Búsqueda avanzada - (./catalogo.php?mode=avanzada)

1 resultados / Página 1 / mostrando 1 - 1

1 **(./catalogo.php?mode=resultados_rapidos&palabra=Manual de MARBI- Modelo Anatómico Reproductivo Inanimado Bovino&pagina=1)**



(./catalogo.php?mode=detalle&nt=297545)

ISBN 978-958-15-0307-0
Manual de MARBI- Modelo Anatómico Reproductivo Inanimado Bovino (./catalogo.php?mode=detalle&nt=297545)

Autor: Betancur Cardona, Sara María; Castro Riascos, Margarita Lucía; Vargas, Ricardo León; Rico, Edgar Mario; Sepúlveda, Verónica; Agudelo, Daniela; Correa Zapata, Sebastián; Vergara Crismatt, Carlos Alberto (./catalogo.php?mode=detalle&nt=297545)
Editorial: Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA Bogotá (./catalogo.php?mode=detalle&nt=297545)
Materia: Rumiantes y Camilidae (Camélidos) Bóvidae (Bóvidos) Ganado (./catalogo.php?mode=detalle&nt=297545)
Publicado: 2017-12-20

1 **(./catalogo.php?mode=resultados_rapidos&palabra=Manual de MARBI- Modelo Anatómico Reproductivo Inanimado Bovino&pagina=1)**

Contáctenos:
Cámara del Libro. Calle 35 No.5A-05 / Tel. (571) 3230111

Desarrollado por:

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura

CERLALC
Centro Regional para el Fomento del Libro en América Latina y el Caribe
Bajo los auspicios de la UNESCO

Con apoyo de:

Cooperación Española

Libertad y orden
REPÚBLICA DE COLOMBIA

El Servicio Nacional de Aprendizaje SENA

En cumplimiento de la Ley 119 de 1994

Hace constar que

SEBASTIAN CORREA ZAPATA

Con Cedula de Ciudadania No. 1.037.524.663

Cursó y aprobó la acción de Formación

PREVENCION DE ACCIDENTES EN TRABAJOS CON RIESGO ELECTRICO

con una duración de 40 horas

En testimonio de lo anterior, se firma el presente en Medellín, a los treinta (30) días del mes de septiembre de dos mil trece (2013)

Firmado Digitalmente por
GUSTAVO ADOLFO LOPEZ DE MESA GUTIERREZ
SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE - SENA
Autenticidad del Documento
Bogotá - Colombia

GUSTAVO LOPEZ DE MESA GUTIERREZ
SUBDIRECTOR
CENTRO DE TECNOLOGÍA DE LA MANUFACTURA AVANZADA.
REGIONAL ANTIOQUIA

14625495 - 30/09/2013
FECHA REGISTRO

La autenticidad de este documento puede ser verificada en el registro electrónico que se encuentra en la página web http://certificados.sena.edu.co, bajo el número 920400564606CC1037524663C.

ISSN: 1692-7257 - Volumen 1 – Número 21 - 2013

Revista Colombiana de
Tecnologías de Avanzada

Recibido: 29 de julio de 2012
Aceptado: 18 de septiembre de 2012

SOLAR MOBILE ROBOT

ROBOT MÓVIL SOLAR

Tec. Jaime Cardona Londoño*, Tec. Sebastián Correa Zapata*
MSc. Edgar Rico Mesa*, PhD. Jesús Hernández Riveros**

***SENA CTMA**, Grupo de Investigación GACIPE. Diagonal 104 No 69-120, Medellín, Colombia. Tel.: +(57) (4) 444 2800, Ext. 43374.
E-mail: {jcardonal@sena.edu.co, sczapata3@misena.edu.co, emrico@sena.edu.co}.
****Universidad Nacional**, Grupo de Investigación GIIC. Carrera 80 No 65-223 Bloque M8-302, Medellín Colombia. Tel. +(57) (4) 425 5260.
E-mail: {jahernan@unal.edu.co}

Abstract: This paper presents the development of a three-wheel mobile robot. It is composed of a high torque gear motor for the advance, a servomotor that moves the direction of the car, a control system avoiding collision with obstacles, a photovoltaic power supply and a battery allowing developing exploration activities by 10 hours. The structure of the robot is built with recycled components and the control algorithm is based on a biological model named Central Pattern Generator (CPG).

Keywords: Robotics, algorithms, sensors, actuators, solar cell.

Resumen: Este artículo presenta el desarrollo de un robot móvil de tres ruedas. El robot se compone de un motor de engranajes de alto par para el avance, un servomotor que mueve la dirección del carro, el sistema de control evita la colisión con obstáculos, un suministro de energía fotovoltaica y la batería permite desarrollar actividades de exploración por 10 horas. La estructura del robot está construida con componentes reciclados y el algoritmo de control se basa en un modelo biológico llamado Generador Central de Patrones (CPG).

Palabras clave: Robótica, algoritmo, sensor, actuador, celda solar.

1. INTRODUCCIÓN

El proyecto fue desarrollado con la participación activa de investigadores del grupo GACIPE y estudiantes del semillero SINEARA ambos del SENA CTMA y la asesoría de un profesor de la Universidad Nacional. Para el cumplimiento de los objetivos planteados se implementaron estrategias de trabajo constructivistas, las cuales le otorgaron al grupo mayor flexibilidad para: intercambiar ideas, identificar el modelo matemático de estabilidad del sistema, realizar los diseños mecánicos, diseños electrónicos, desarrollar rutinas y subrutinas de programación, realizar simulaciones en Matlab, Turbo C, PICC. El trabajo con esta estrategia ha garantizado una adecuada evolución del proyecto y el enriquecimiento en conocimiento de los participantes; la ejecución total del proyecto se cumplió en aproximadamente un año, tiempo durante el cual se alcanzaron a desarrollar dos prototipos, los cuales pasaron por las etapas de: diseño, construcción y evaluación del algoritmo de control la estructura y el sistema electrónico.

El presente artículo posee la siguiente distribución: en la sección 2 se presenta el estado de arte de los últimos 10 años de la robótica tanto móvil como

articulada, en la sección 3 se presentan el diseño de los dos prototipos desarrollados, en la sección 4 se plantean los algoritmos basados en un método biológico denominado generador central de patrones (CPG), en la sección 5 se presenta algunos resultados de la implementación del prototipo.

2. BREVE ESTADO DE LA TÉCNICA

En un principio se hizo una exploración de trabajos publicados en los últimos ocho años que sirviera como referencia para el desarrollo de proyectos de robot móviles encontrándose en la base de datos de *IEEEXplore* entre otros los siguientes trabajos:

En *Thayer School of Engineering, Dartmouth College* y la armada de Estados Unidos hicieron un trabajo denominado "*The Design of a Mobile Robot for Instrument Network Deployment in Antarctica*" en el cual se describe el diseño y la fabricación de un robot móvil de bajo costo para apoyar misiones científicas en la meseta antártica durante el verano austral (Ray et al, 2005).

La NASA realiza una publicación denominada "*Prospecting Rovers for Lunar Exploration*" en la cual se hace un estudio sobre las múltiples configuraciones de vehículos robóticos basados en los mecanismos tipo rover (tracción en llantas) que puedan ser instalados en la luna que permitan su autonomía para exploración aprovechando los depósitos de agua y luz exterior como fuentes de energía (Graham, 2007).

La NASA y el instituto de tecnología de California publicaron un trabajo denominado "*On Low Power Operations during Spirit's Third Winter on Mars*" en el que hacen una descripción de las operaciones realizadas por los robot *Spirit* y *Opportunity* desde que aterrizaron en Marte (Lever et al, 2009).

En la Universidad de Catania realizaron un proyecto cuya publicación se denominó "*Design considerations about a Photovoltaic Power System to Supply a Mobile Robot*" que presenta el diseño de un sistema de fuente de alimentación a base de células solares de un robot autónomo controlado con un microcontrolador denominado Tribot (Tina et al, 2010).

El *New York City College of Technology* presenta un trabajo denominado: "*Using Solar Robotic Technology to Detect Lethal and Toxic Chemicals*". Se plantea una perspectiva en diseño y construcción de un brazo tele-operado y robot autónomo no tripulado que puede detectar gases químicos nocivos y letales en el suelo (Heng et al, 2011).

En el área de la robótica articulada se encontró entre otros lo siguiente:

En la Universidad de Sussex se realizó un estudio para construir un modelo computacional que simule el generador central de patrones del sistema de alimentación del caracol de laguna teniendo en cuenta las propiedades dinámicas del circuito de alimentación, el modelo predijo nuevos efectos de la estimulación eléctrica de dos redes CPG (Vavoulis et al, 2007).

En el Colegio de Ingeniería de la Universidad de Pekín se ha desarrollado un robot tortuga conformado por cuatro aletas mecánicas que pueden maniobrar en cualquier dirección sin rotación de su cuerpo principal ejecutando movimientos complicados tridimensionales para lo cual se implementó una arquitectura de control basada en CPG con un sistema de osciladores no lineales (Zhao et al, 2009) .

En la Universidad de Tongji se presenta una publicación basada en un control biológico denominado generador central de patrones que mediante una función de mapeo de la rodilla y de la cadera se reproduce el movimiento rítmico de la locomoción de la marcha de un robot cuadrúpedo, los parámetros básicos del CPG se obtienen mediante un algoritmo genético (Chengju et al, 2011).

En la Universidad de Minho se plantea el desarrollo de la marcha mediante el generador central de patrones y algoritmos evolutivos multi-objetivo considerándose cuatro objetivos a cumplir: reducir al mínimo la vibración del cuerpo, maximizar la velocidad, maximizar el margen de estabilidad de ancho y maximizar la diversidad del comportamiento. Para el desarrollo del CPG se implementan ecuaciones diferenciales autónomas que proporcionan el movimiento de las extremidades necesario para poder caminar (Oliveira et al, 2011).

Por lo tanto se encontró información relacionado con el manejo adecuado de energías alternativas (celdas solares o fotovoltaicas) que proporcionan mayor autonomía sin embargo no se encontró la implementación de técnicas biológicas como CPG en el control y operación de robots móviles.

3. EVOLUCIÓN DEL PROTOTIPO

Inicialmente el prototipo, se basa en el diseño y montaje de una estructura conformada con perfiles de aluminio, celda fotovoltaica y su cargador para batería, motor DC de impulso y con un motor DC con reductor para la dirección.

Sin embargo se encontró que debido a la configuración mecánica implementada en la dirección, se estaba presentando desgaste en el motor, ya que el peso del sistema reposaba sobre este dispositivo generando dificultades para poder girar hacia un ángulo especifico, por lo tanto en este prototipo se buscaba perfeccionar la estructura (figura 1).

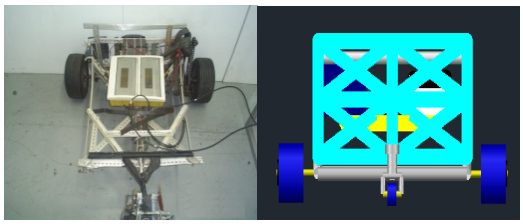


Fig. 1: Diseño y Montaje Estructura del robot

Para el desarrollo de la estructura se optó por aleaciones 6xxx (6061 nomenclatura de *Aluminium Asociation*) de aluminio con porcentajes inferiores al 1% de magnesio y silicio, material de bajo peso ($2.7 g/cm^3$) y con resistencia mecánica adecuada para estructuras modulares, una alta resistencia a la corrosión y una gran resistencia a la tracción (125 Mpa).

Lo anteriormente mencionado lo hace apto para contribuir en una menor exigencia energética y perfectamente puede soportar un peso cercano a los 10 kilogramos, además permite soportar las inclemencias del clima en lugares abiertos y lo más importante es su facilidad de ser reciclado, lo que permitió bajar costos en el desarrollo del proyecto (Oliver, 2005).

La selección de los motores se definió de la siguiente manera:

El peso que deben soportar los motores es:

$$F = 10\,Kg \cdot 9.81\ m/seg^2 = 98.1\,N$$

La fuerza distribuida por metro lineal es:

$$Fdm = 98.1\,N/0.9\,mt = 109\,N/mt$$

A continuación se presenta el diagrama de cuerpo libre en cada rueda trasera (ver figura 2)

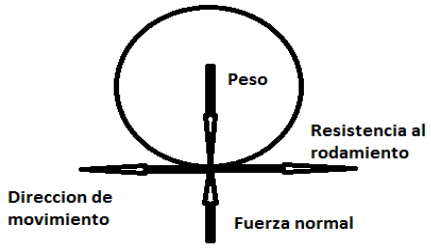


Fig. 2: Diagrama de cuerpo libre de cada rueda trasera

Por lo tanto se debe hallar la mínima fuerza necesaria para alcanzar el movimiento del móvil:

$$F = C_{rr} \cdot N \qquad (1)$$

Donde:

F	Fuerza a calcular.
C_{rr}	Coeficiente de rodamiento o fricción.
N	Fuerza normal.

En el sistema robótico planteado las llantas son de caucho sobre superficie de asfalto plana su coeficiente de rodamiento es 0.0055 (Castañon *et al*., 2011). Además se debe tener en cuenta que el peso se distribuye en las tres ruedas en donde el motor de avance impulsa las dos ruedas traseras y el motor de dirección mueve la rueda delantera, en dicho caso cada rueda soporta 3.3 kilogramos, entonces al realizar el cálculo para el motor de avance se tiene:

$$F = 0.0055 \cdot \left(6.6\,Kg \cdot 9.81\ m/seg^2\right) = 0.35\,N$$

En el motor de dirección sucede que en su movimiento no existe rodamiento de la rueda (ver figura 3).

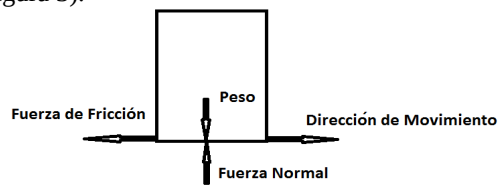


Fig. 3: Diagrama de cuerpo libre de cada rueda delantera

Por lo tanto el cálculo de la fuerza mínima para mover la rueda de dirección es:

$$F = u_f \cdot N \qquad (2)$$

Donde:

F	Fuerza a calcular.
u_f	Coeficiente de fricción.
N	Fuerza normal.

En donde el coeficiente de fricción de caucho sobre asfalto es 0.4 (Lucero et al, 2002):

$$F = 0.4 \cdot \left(3.3 Kg \cdot 9.81\ m/seg^2\right) = 12.94\ N$$

Teniendo en cuenta los datos obtenidos se eligieron motores con especificaciones que superaran los cálculos teóricos, es así como se escogió un motor para el avance con un torque de aproximadamente 20NM y un motor para la dirección con un torque aproximado de 50NM, lo que garantizará un adecuado funcionamiento motriz del robot.

En la segunda versión se hizo mucho énfasis en el desarrollo electrónico de la plataforma aislando el sistema digital de los dispositivos análogos mediante la implementación de opto acopladores en el circuito del motor de avance (ver figura 4) para la eliminación de ruido que afecta el funcionamiento de los dispositivos digitales (microcontrolador 16f883 y sensores).

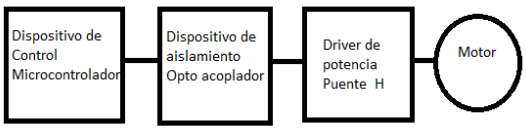


Fig. 4: Esquema circuito del motor de avance

El diseño del sistema electrónico consta de de tres circuitos eléctricos enfocados al manejo del motor de dirección, motor de avance y la sincronización de ambos actuadores (figura 5).

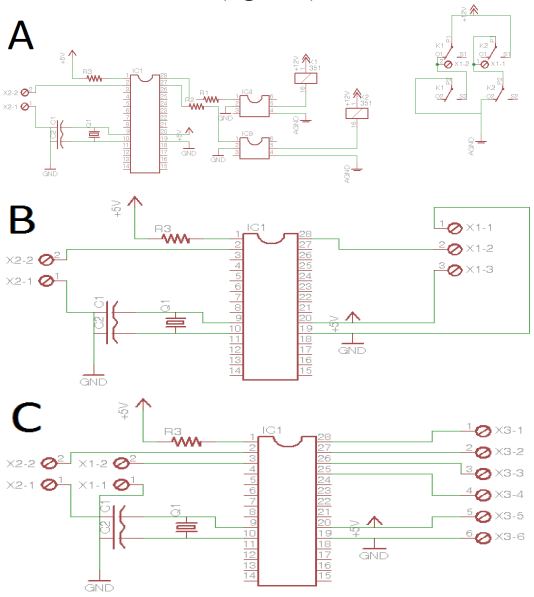


Fig. 5: Diseño del sistema eléctrico del robot A) Circuito del motor de avance B) Circuito del motor de dirección C) Circuito sincronizador de los circuitos A y B

Además se cambia en el sistema de dirección el motor con reductor por un servomotor, logrando con esta modificación un giro de mayor precisión y se agrega un piñón y un pivote para aislarlo del peso del carro. Igualmente se incorporan 4 sensores infrarrojos en los extremos del vehículo (fig. 6).



Fig. 6: Distribución de sensores en el robot S1, S2, S3, S4

Los sensores de proximidad implementados son de tipo infrarrojo que permiten detectar objetos puntuales haciendo que el carro tenga la capacidad de evadir obstáculos aleatorios en una volumen espacial o área de trabajo (Barrientos, 1999) de aproximadamente 2 metros cuadrados, ubicando los sensores estratégicamente tanto atrás como adelante que permite el adecuado desenvolvimiento del carro en su proceso de locomoción.

Para lograr constituir un sistema robótico reconfigurable se inicia con la confección de una estructura modular que permita conformar una plataforma de trabajo flexible (fig. 7); plataforma sobre la cual se implementan adecuaciones mecánicas de accionamiento de la dirección del vehículo y diseño e implementación de componentes electrónicas.

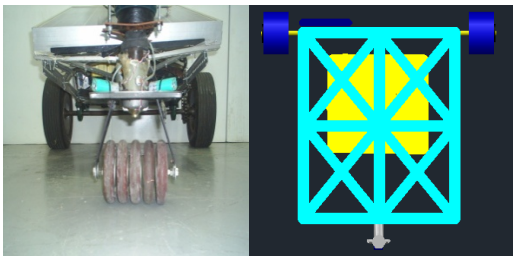


Fig. 7: Estructura Modular y celda fotovoltaica del robot

Dentro de la evolución del sistema eléctrico para lograr mayor autonomía se implementaron tres baterías, cada una con una potencia 120 w, una celda fotovoltaica de 36 W (12 voltios, 3 amperios), un cargador de baterías de 10 amperios que permite en conjunto una autonomía de energía de 10 horas.

4. SISTEMA DE CÓMPUTO

El robot posee una programación para el control de locomoción que evita obstáculos (figura 8), basado en la toma de decisión de acuerdo al reporte que los cuatro sensores, se obtienen cada determinado tiempo, en donde la acción a ejecutar se realiza mediante redes neuronales recurrentes que imitan la funcionalidad de un método biológico denominado generador central de patrones (CPG).

La programación es de gran complejidad dado que el programa se basa en ecuaciones diferenciales, lo que significa que se requiere de una gran capacidad de procesamiento y se deben escoger los parámetros óptimos que reproduzcan oscilaciones a bajas frecuencias y transitorios lentos para lo cual se hicieron simulaciones de verificación a través de Matlab determinando los parámetros y las ecuaciones más pertinentes.

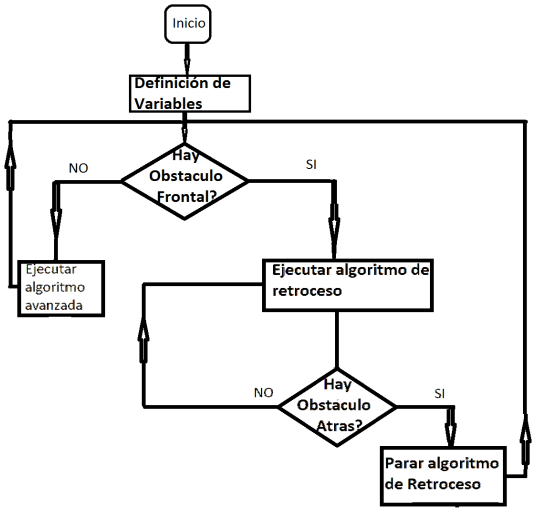


Fig. 8: Algoritmo general del robot

Una vez definidos los sistemas de ecuaciones se siguió con la simulación de los algoritmos de CPG en Matlab enfocando en los tipos de movimientos reales, para poder depurar el código tanto para el avance de robot como para evadir obstáculos, cada algoritmo se adecuó para casos particulares que pueden surgir durante el accionar del robot (ver figura 9). En esta etapa se aprovecharon al máximo las potencialidades del software y se hizo un seguimiento paso a paso para determinar el sistema de ecuaciones más óptimo en los casos reversa derecha, reversa izquierda, reversa, adelante derecha. Para ello se implementaron tres sistemas de cuatro ecuaciones en diferencias que representan la red de la dirección, avance y sincronía.

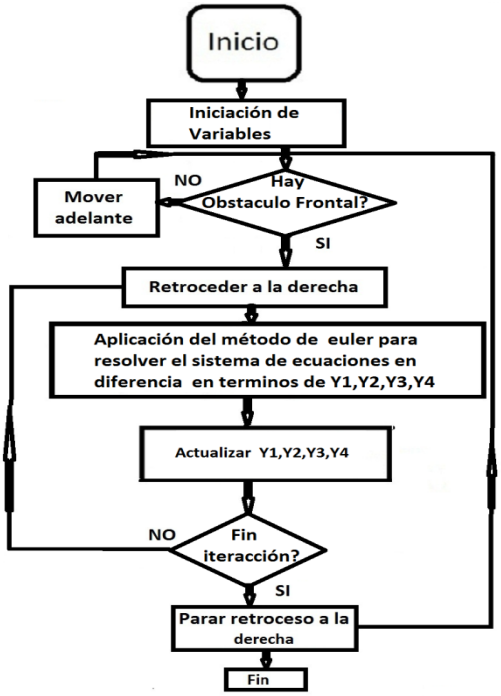


Fig. 9: Diagrama de flujo del circuito de sincronía

En la implementación del programa en el dispositivo de control se utilizó el lenguaje de programación de alto nivel ANSI C, el cual partió del código desarrollado en Matlab y que se optimizó mediante funciones dado que en un principio la memoria del microcontrolador era insuficiente (ver figura 10):

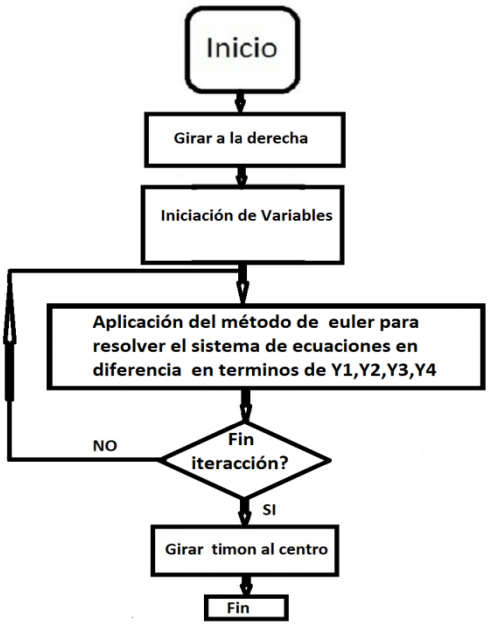


Fig. 10: Diagrama del algoritmo implementado para el circuito de dirección

Es importante indicar que una red neuronal recurrente genera tantas señales como neuronas existentes, en donde se tiene como característica típica el desfasamiento entre señales que permite ser aprovechado para determinar los momentos de accionamiento y el tipo de movimiento del robot.
Cabe anotar que las ecuaciones se resolvieron utilizando la técnica de Euler que permite dar solución a ecuaciones en diferencias reproduciendo la respuesta para cada variable en el dominio del tiempo.
Las redes neuronales recurrentes implementadas en el presente proyecto se basan en una red de cuatro neuronas que son expresadas matemáticamente por ecuaciones diferenciales de primer orden.

$$t_1 \frac{dy_1}{dt} = -y_1 + \frac{A(k_1 - Dy_2)^3}{(B - by_3)^2} + (k_1 - Dy_2)^2 \qquad (3)$$

$$t_2 \frac{dy_2}{dt} = -y_2 + \frac{A(k_1 - Dy_2)^3}{(B - by_4)^2} + (k_2 - Dy_1)^2 \qquad (4)$$

$$t_3 \frac{dy_3}{dt} = -y_3 + Cy_1^2 \qquad (5)$$

$$t_4 \frac{dy_4}{dt} = -y_4 + Cy_2^2 \qquad (6)$$

Según las ecuaciones 1, 2, 3 y 4, los parámetros t_1, t_2, t_3 y t_3 tienen como función determinar el periodo de la señal, y los parámetros *A*, *B*, *C*, *D*, *b*, k_1, k_2 tienen como función determinar la amplitud de la señal. La implementación en lenguaje C se hace con ecuaciones en diferencia que representan una red de cuatro neuronas que reproducen señales cíclicas a baja frecuencia (figura 11).

```
operacion(tao,y3_,y2_,K1,y1_);
y_1 = y1_-p+s;   // Ecuacion en diferencias 1
operacion(tao2,y4_,y1_,K2,y2_);
y_2 = y2_-p+s;  // Ecuacion en diferencias 2
multiplicacion(y1_,y2_,y3_,y4_);
y_3 = y3_-g +e; // Ecuacion en diferencias 3
y_4 = y4_-i+f;  // Ecuacion en diferencias 4
```

Fig. 11: Redes Neuronales Recurrentes representadas por Ecuaciones en diferencias

Las ecuaciones antes mencionadas al ser simuladas en Matlab mediante el método de Euler reproducen señales cíclicas y transitorios (ver figura 12).

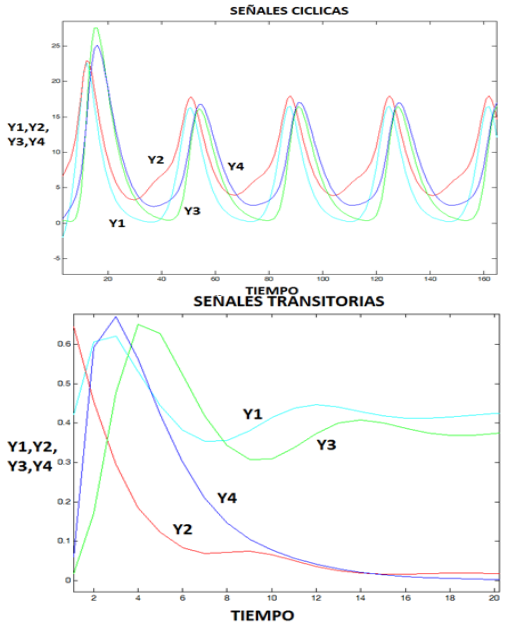


Fig. 12: Señales cíclicas y transitorias

El trabajo desarrollado por los biólogos Turrigiano, Goaillard, Hill, Hodgkin y Huxley sobre el comportamiento de las señales eléctricas de neuronas en determinados órganos de los seres vivos en el siglo XX permitieron plantear la existencia del CPG por investigadores como Avis Cohen, Serge Rossignol, Sten Grillner y a partir de estos a principios del siglo XXI se empiezan a proponer modelos de CPG en la locomoción de robots cuyas señales biológicas son similares en su esencia a las presentadas en la figura 12.

Después de determinar los parámetros y la forma de las ecuaciones se implementó un simulador en Matlab que reproduce los movimientos del robot para perfeccionar las ecuaciones en diferencias e implementar el sistema de control mediante generadores centrales de patrones (CPG) en el circuito de avance, el circuito de dirección y el circuito de sincronización, lo que permitió validar su funcionalidad antes de su implementación en el robot físico (ver figura 13).

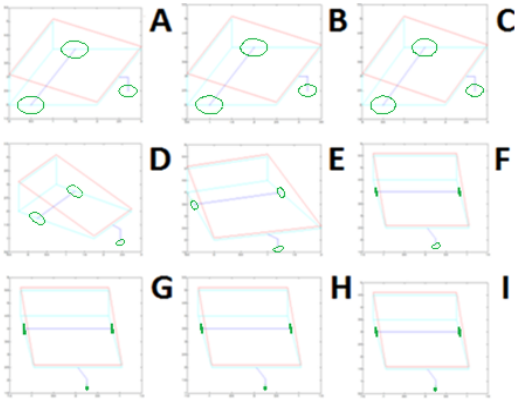


Fig. 13: Simulación del robot móvil

En la figura 13 se observa como en A y B el robot avanza hacia adelante y en el momento de ingresar por la consola de Matlab el dato de la existencia de un obstáculo el robot retrocede como se ve en C y retrocede girando en D, E y F y luego se aprecia en G, H, I el avance por la no existencia de obstáculos. El aplicativo desarrollado es la semilla para la implementación de los algoritmos de control en el robot real.

Las ecuaciones en diferencias se incorporan en ciclos repetitivos que permiten generar señales periódicas o transitorias que se expresan a través de y1, y2,y3, y4, serán entonces los referentes para determinar el momento de ejecutar cada acción dependiendo del sensor frontal en el cual el circuito de avance es el encargado de actuar (ver figura 14).

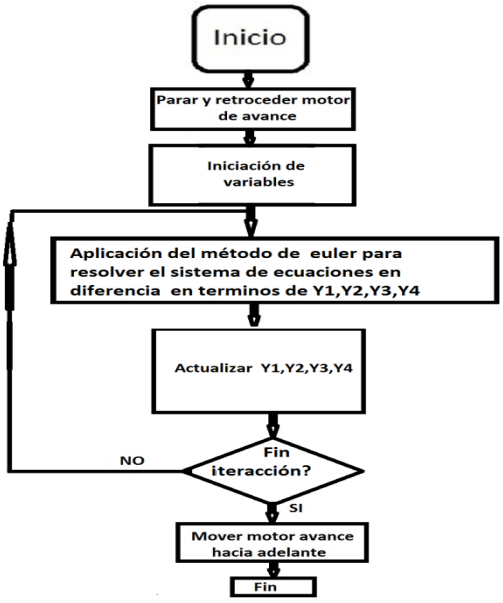


Fig. 14: Diagrama para evadir obstáculos del circuito de avance.

Los CPG entonces son una serie de eventos motores que poseen patrones rítmicos que no dependen del sistema nervioso sino de un conjunto de redes neuronales pequeñas y autónomas que se ubican en la espina dorsal y en las articulaciones de los seres vivos que son las culpables de la producción de movimientos de simple reflejo e involuntarios como el reflejo rotuliano y la dilatación o movimientos de acción fija e involuntarios como el orgasmo y el estornudo, todo lo anterior fue explicado por Cohen y Rossignol a finales del siglo XX (Cohen et al, 1988).

Por lo tanto el sistema de control implementado tiene las siguientes características fundamentales:

1) La acción de control es distribuida ya que se tienen tres dispositivos de control ubicados estratégicamente en sus actuadores (avance y dirección) y un tercer dispositivo se encarga de sincronizar los movimientos de los dos actuadores.

2) Cada dispositivo de control posee un sistema de ecuaciones en diferencias (CPG) de cuatro ecuaciones en diferencia con cuatro incógnitas, cada incógnita representa una señal de control.

3) En el desarrollo de los CPG se genera procesamiento de acciones de control en paralelo, lo que permite hacer movimientos de gran complejidad con gran coordinación al instante que corresponde a la sumatoria de movimientos simples reproducidos por cada dispositivo de control ubicado en los actuadores.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La construcción modular de las diferentes partes del sistema (electrónica, mecánica y programación), permite una gran flexibilidad en el montaje, control, supervisión, desmontaje, reparación y adecuación de posibles avances o mejoramientos de las mismas, de una manera mucho más rápida y segura. Un sistema de control distribuido permite, de igual manera en caso de presentarse una falla, que esta se pueda manipular fácilmente con la seguridad de que el resto de los componentes no se vean afectados.

El sistema robótico móvil ha tenido ciertos problemas en el funcionamiento del dispositivo de control bloqueándolo continuamente. Esto se analizó a profundidad llegándose a la conclusión que fue provocado por el motor de avance, lo cual se contrarrestó implementando opto acopladores que aislaron el sistema de potencia que maneja el motor de avance de los sensores y el dispositivo de control.

En la programación del robot se pretendió plantear mecanismos de control inspirados en los procesos biológicos como CPG que permiten simplificar movimientos de gran complejidad reduciéndolo a pequeñas tareas que pueden ejecutarse en paralelo por varios procesadores sin perder sincronía en sus movimientos y que representan la acción original.

El código se optimizó lo suficiente de tal manera que el tamaño de memoria del microcontrolador sea adecuado para su implementación, cabe anotar que el tipo de variable y las operaciones previstas son de gran complejidad ya que se trata de variables de punto flotante con múltiples operaciones de multiplicación y división en sistemas de cuatro ecuaciones con cuatro incógnitas.

En el robot se implementaron tres dispositivos de control distribuidos de la siguiente forma: un microcontrolador para la dirección, un microcontrolador para el avance y un microcontrolador para la sincronización. Cada uno tiene incorporado una red neuronal recurrente de cuatro neuronas que permite realizar cuatro acciones distintas tales como, en caso de no existir obstáculo, avanzar hacia adelante, en caso de existir obstáculo avanzar adelante y a la derecha ó retroceder a la derecha ó retroceder a la izquierda ó retroceder. Estas cuatro acciones son sincronizadas y dependen de la información de los cuatro sensores, es decir que la acción a desarrollar se hace desde el microcontrolador que maneja el respectivo actuador (avance, dirección), el tipo de acción se determina por el microcontrolador sincronizador y depende del estado de los sensores. El hecho de que cada actuador es manejado por su respectivo microcontrolador, significa que el sistema de control procesa los algoritmos en paralelo, permitiendo realizar movimientos parciales, simples y simultáneos que en conjunto representan un movimiento de gran complejidad.

6. CONCLUSIONES

La evolución del proyecto a través de sus prototipos ha permitido perfeccionar el diseño mecánico y electrónico partiendo de las consideraciones de funcionamiento y condiciones reales de un robot de bajo costo, lo que ha garantizado la ejecución de las funciones de exploración que debe ejecutar un robot móvil con una gran autonomía energética.

El robot móvil se ha programado con técnicas de inteligencia computacional basados en las redes neuronales recurrentes implementados en cada articulación mediante microcontroladores cuyo algoritmo se representa por sistemas de ecuaciones conformados por cuatro ecuaciones en diferencias con cuatro incógnitas resueltas a través de técnicas de métodos numéricos que simulan el método de control biológico CPG desarrollado por los seres vivos en actividades como locomoción , respiración , digestión, entre otros.

El desarrollo de algoritmos biológicos como CPG aplicados en la robótica se ha venido implementando en los últimos 10 años en robot articulados sin embargo en la búsqueda de referentes no se encontraron trabajos relacionados en la robótica móvil, lo que significa que el trabajo expuesto podría considerarse como una propuesta innovadora en técnicas de control para la locomoción en robot con ruedas.

REFERENCIAS

Barrientos, Antonio. Fundamentos de robótica primera edición. McGraw-Hill. 1999. P 327.

Castañon Decena Francisco, Cosme Bustamante Carlos , Martinez Tovar Carlos Ariel, Robot Móvil para reconocimiento de terreno, Tesis de maestría para optar al título de Ingeniero en Robótica Industrial, Instituto Politécnico Nacional (México), 2011.

Cohen Avis H., Rossignol Serge, Grillner Sten. Neural Control of Rhythmic Movements in Vertebrate. John Wiley & Sons. 1988, pp 1 – 500.

Chengju Liu, Qijun Chen, Tao Xu , Locomotion Control of Quadruped Robots Based on Central Pattern Generators, 8th World Congress on Intelligent Control and Automation, Pp 1167 - 1172 ,2011.

Graham Jerry B., Prospecting Rovers for Lunar Exploration. Marshall Space Flight Center NASA. IEEEAC paper #1579, 2007.

Heng Iem, Zhang Andy S., Harb Ali ,Using Solar Robotic Technology to Detect Lethal and Toxic Chemicals, New York City College of Technology, IEEE Global Humanitarian Technology Conference, 2011.

Lever Scott G. ,Nelson Robert W. , Gaines Daniel ,Herman Jennifer A., Laubach Sharon, Pack Marc , Peters Steve , Hwang Pauline , On Low Power Operations during Spirit's Third Winter on Mars, California Institute of Technology – NASA , IEEEAC paper #1618, 2009.

Lucero Campos Robinson, Wahr Daniel Carlos, Arancibia Galea Catalina, Estudio de fricción en pavimentos, 6º Congreso Internacional PROVIAL, pp.1-10, 2002.

Oliveira Miguel, Santos Cristina P., Costa Lino, Matos Vitor, Ferreira Manuel , Multi-objective Parameter CPG Optimization for Gait Generation of a Quadruped Robot Considering Behavioral Diversity, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp 2286 – 2291, 2011.

Oliver Javier, Implantación de una unidad productiva dedicada a la fabricación de estructuras soldadas de aluminio, Tesis para optar al título de maestría en ingeniería mecánica, Universidad Politécnica de Cataluña, España, 2005.

Ray Laura, Price Alexander, Streeter Alexander, Denton Daniel , The Design of a Mobile Robot for Instrument Network Deployment in Antarctica, Thayer School of Engineering, Dartmouth College , U.S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Spain, 2005.

Tina Giuseppe Marco, Ventura Cristina, Arena Paolo, Patane Luca, Grasso Alfio Dario, Pollino Massimo, Design considerations about a Photovoltaic Power System to Supply a Mobile Robot, University of Catania, Industrial Electronics (ISIE), 2010 IEEE International Symposium on, 2010.

Vavoulis D, Straub V, Kemenes I, Kemenes G, Feng J, Benjamin P. Dynamic control of a central pattern generator circuit: a computational model of the snail feeding network. The European Journal of Neuroscience, vol 25, pp 2805-2818, 2007.

Zhao W, Hu Y, Wang L. Construction and Central Pattern Generator-Based Control of a Flipper-Actuated Turtle-Like Underwater Robot. Advanced Robotics, vol 23, pp 19-43, 2009.

VII Congreso Colombiano de Botánica

Zamia tolimensis. Calonje, Esquivel & Stev.

Universidad del Tolima

Asociación Colombiana de Botánica

"Vegetación y Cambio Climático:
Una mirada a la adaptación"

La Asociación Colombiana de Botánica y el Comité Organizador certifica la participación de:

Sebastián Correa Zapata

En calidad de

Ponente Póster

VII Congreso Colombiano de Botánica realizado en Ibagué entre el 06 al 10 de agosto de 2013

Héctor Eduardo Esquivel
Presidente del comité organizador

Miguel Angel Quimbayo C.

Miguel Angel Quimbayo
Vicepresidente del comité organizador

Aida Elena Baca G.
Presidenta de la ACB

Libertad y orden

REPÚBLICA DE COLOMBIA

El Servicio Nacional de Aprendizaje SENA

En Cumplimiento de la Ley 119 de 1994 y en atención a que

SEBASTIAN CORREA ZAPATA

Con Cedula de Ciudadania No. 1.037.524.663

Cursó y aprobó el programa de Formación Profesional Integral
y cumplió con las condiciones requeridas por la entidad, le confiere el

Título de

TECNÓLOGO EN

ELECTRICIDAD INDUSTRIAL

En testimonio de lo anterior, se firma el presente Titulo en Medellín,
a los trece (13) días del mes de junio de dos mil trece (2013)

Firmado Digitalmente por
GUSTAVO ADOLFO LOPEZ DE MESA GUTIERREZ
SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE SENA
Autenticidad del Documento
Bogotá - Colombia

GUSTAVO LOPEZ DE MESA GUTIERREZ
SUBDIRECTOR CENTRO DE TECNOLOGÍA DE LA MANUFACTURA AVANZADA.
REGIONAL ANTIOQUIA

5975238 - 13/06/2013
No y FECHA REGISTRO

La autenticidad de este documento puede ser verificada en el registro electrónico que se encuentra en la página web http://certificados.sena.edu.co, bajo el número 920400228186CC1037524663C.

Libertad y orden
REPÚBLICA DE COLOMBIA

El Servicio Nacional de Aprendizaje SENA

En cumplimiento de la Ley 119 de 1994

Hace constar que

SEBASTIAN CORREA ZAPATA

Con Cédula de Ciudadanía No. 1.037.524.663

Cursó y aprobó la acción de Formación

FUNDAMENTOS BÁSICOS DE LA NEUMÁTICA EN EL DISEÑO DE PROCESOS AUTOMATIZADOS

con una duración de 40 horas

En testimonio de lo anterior, se firma el presente en Medellín, a los treinta (30) días del mes de noviembre de dos mil doce (2012)

Firmado Digitalmente por
GUSTAVO ADOLFO LOPEZ DE MESA GUTIERREZ
SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE SENA
Autenticidad del Documento
Bogotá - Colombia

GUSTAVO LOPEZ DE MESA GUTIERREZ
SUBDIRECTOR
CENTRO DE TECNOLOGÍA DE LA MANUFACTURA AVANZADA.
REGIONAL ANTIOQUIA

10545125 - 30/11/2012
FECHA REGISTRO

La autenticidad de este documento puede ser verificada en el registro electrónico que se encuentra en la página web http://certificados.sena.edu.co, bajo el número 920400424487CC1037524663C.

Libertad y orden
REPÚBLICA DE COLOMBIA

El Servicio Nacional de Aprendizaje SENA

En cumplimiento de la Ley 119 de 1994

Hace constar que

SEBASTIAN CORREA ZAPATA

Con Cédula de Ciudadanía No. 1.037.524.663

Cursó y aprobó la acción de Formación

MANTENIMIENTO DE PLANTAS ELÉCTRICAS

con una duración de 60 horas

En testimonio de lo anterior, se firma el presente en Medellín, a los cuatro (4) días del mes de diciembre de dos mil doce (2012)

Firmado Digitalmente por
GUSTAVO ADOLFO LOPEZ DE MESA GUTIERREZ
SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE SENA
Autenticidad del Documento
Bogotá - Colombia

GUSTAVO LOPEZ DE MESA GUTIERREZ
SUBDIRECTOR
CENTRO DE TECNOLOGÍA DE LA MANUFACTURA AVANZADA.
REGIONAL ANTIOQUIA

10547157 - 04/12/2012
FECHA REGISTRO

La autenticidad de este documento puede ser verificada en el registro electrónico que se encuentra en la página web http://certificados.sena.edu.co, bajo el número 920400430298CC1037524663C.

LA REPÚBLICA DE COLOMBIA
Y EN SU NOMBRE

002410

LA UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

Y LA FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA

Certifican que:

SEBASTIÁN CORREA ZAPATA

C.C. 1037524663

Participó como PONENTE en el

IX Congreso Internacional
"Electrónica y Tecnologías de Avanzada"

Ph.D. Aldo Pardo García
Presidente

Ph.D. Cristhian Manuel Durán Acevedo
Coordinador

Cúcuta, 7-10 de Noviembre 2012

La República de Colombia
y en su nombre

Institución Educativa Presbítero Julio Tamayo

Carolina del Príncipe - Antioquia

Autorizada por las Resoluciones Departamentales No. 5972 del 24 de Julio de 2000, 15029 del 25 de Octubre de 2002 y Resolución No. 16666 del 16 de Agosto de 2006.

Confiere a:

Sebastián Correa Zapata

Identificado (a) con _____ de _____

El Título de:

Bachiller Académico

Por razón de haber cursado y aprobado los estudios correspondientes al Nivel de Educación Media Académica, según los planes y programas vigentes.

_____
Rector (a)

_____
Auxiliar Administrativo

Inscrito en el acta de Grado No. 003

Folio No. 18 Numeral 10 Libro No. 02

Dado en Carolina del Príncipe, el 6 de Diciembre de 2008

Institución Educativa Presbítero Julio Tamayo

NIT. 811.029.382-7

SECRETARÍA PARA LA EDUCACIÓN Y LA CULTURA DE ANTIOQUIA

REPÚBLICA DE COLOMBIA DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA

Autorizado por la Resolución Departamental Nº 0117048 del 29 de noviembre de 2010. Hasta Nueva Visita.

ACTA Nº 003

El día 06 de diciembre de 2008, en Carolina, Departamento de Antioquia y en la Rectoría de la INSTITUCIÓN EDUCATIVA PRESBÍTERO JULIO TAMAYO de Carolina del Príncipe, se celebró la Proclamación de BACHILLERES ACADÉMICOS, y se otorgó dicho Título a:

SEBASTIÁN CORREA ZAPATA CC Nº 1037524663 de Carolina

El Acto fue presidido por:

LUIS FERNANDO PEREZ CADAVID
CC Nº 71535881 de Carolina
Rector (e)

STELLA MARÍA MONTOYA VÉLEZ
C.C. Nº 21.631.932 de Carolina
Auxiliar Administrativa

De conformidad con el Decreto 921 de Mayo 6 de 1994. En el Acta General de Grado Nº 003

Anotado en el Libro Nº 02, Folio Nº 18, Numeral 10

Fecha de Registro: 06 de diciembre de 2008

Fecha de expedición: 14 enero de 2013