

Bibliografía

Alkasrawi Malek, Eriksson Torony, Borjensson Johan, Wigren Anders, Galbe Malts, Tjerneld Folke et al. The Effect of Tween 20 on Simultaneous Saccharification and Fermentation of Softwood to Ethanol. En: Enzyme and Microbial Technology (33):71-78, 2003.

Amaral Lucia, Jaigobind Samaray. Processamento da mandioca.: <http://www.sbirt.ibict.br>. (19 de abril de 2007)

Amutha Ramasamy, y Gunareskaran Paramasamy. Production of Ethanol from Liquefied Cassava Strach Using Co-Immobilized Cells of Zymomonas Mobilis and Saccharomyces Diastaticus. En: Journal of Bioscience and Bioengineering 92 (6):560-564, 2001.

Arias Mario, Castaño Háder, Gómez, José. Estudio cinético de una fermentación alcohólica utilizando miel de abejas como sustrato. En: Ingeniería e Investigación.(36):70-81,1997.

Balcázar Álvaro, y Mansilla Hernán. Cassava Crop Development in Colombia.: <http://www.fao.org/docrep/007/y5271e/y5271e07.htm>. (2 de mayo de 2007).

CERAT (Centro de Raíces y Tubérculos Tropicales) Materias primas amiláceas con fines energéticos. Memorias de Seminario de Tecnologías en agroindustria de tubérculos tropicales. Botucatu. CERAT, 2007.

CORPODIB (Corporación para el Desarrollo Industrial de la Biotecnología y Producción Limpia). Proyecto para producción de biodiesel a partir de palma africana en Colombia. <http://www.corpodib.org>. (15 de noviembre de 2006).

CONSORCIO LATINOAMERICANO Y DEL CARIBE DE APOYO A LA INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE LA YUCA. Yuca en la producción de alcohol carburante. Boletín electrónico N° 6.<http://www.clayuca.org>. (30 de agosto de 2006)

CONSORCIO LATINOAMERICANO Y DEL CARIBE DE APOYO A LA INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE LA YUCA. La yuca en la producción de alcohol carburante. Boletín electrónico N° 7.<http://www.clayuca.org>. (16 de abril de 2007).

Demirbas, Andrea. Bioethanol from Cellulosic Materials: A Renewable Motor Fuel from Biomass. En: Energy Sources. (27): 327:337, 2005.

FAO. Regional Wood EnergyDevelopment Programme in Asia, Report no. 36, Bangkok, Thailand.1998

Ljunggren, Mattias. Kinetics Analysis and Modelling of Enzymatic Hydrolysis and ssf. Lund: Lund Institute of Technology, 2004.

Mielenz Jonathan. Ethanol Production from Biomasa: Technology and Commercialization Status. En: Current Opinion in Microbiology (4):324-329, 2001.

Mojovic, Ljilijana, Nikolik Svetlana, Rakin Marica, Vukasinovik Maja. Production of Bioethanol from Corn Meal Hydrolyzates. En: Fuel. 85:1750-1755, enero de 2006.

Montesinos Thomas, y Navarro Johan. Production of Alcohol from Raw Wheat Flour by Amyloglucosidase and Saccharomyces Cerevisiae. En:Enzymes and Microbial Technology (27) 362-370, 2000.

PORTAFOLIO Colombia liderará los temas de turismo y biocombustibles en Plan Puebla Panamá. Consultado: Mayo 22 de 2007.

Sun Yang. Hydrolysis of Lignocellulosic Materials for Ethanol Production: A Review. En: Bioresource Technology. (83); 1. 11, 2002.

Sureh Kao, Sree Kiran, Rao Venkateswer. Utilization of Damaged Sorghum and Rice Grains for Ethanol Production by Simultaneous Saccharification and Fermentation. En: Biosources Technology (68): 301-304, 1998.

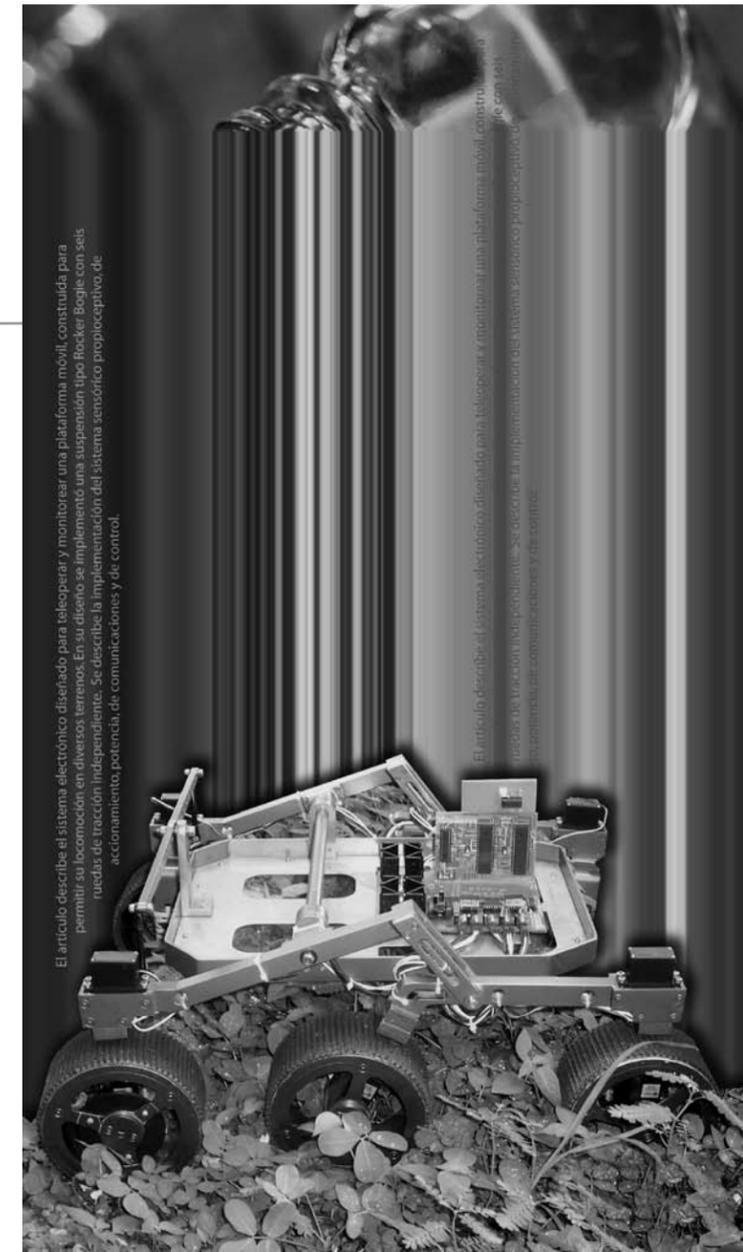
Wagner H, Bauer R, Birol G, Doruker P, Kirdar B, Onsan Z, et al. Mathematical Description of Ethanol Fermentation by Immobilised Sachharomyces Cerevisiae. En: Process Biochemistry 33 (7): 763-771, 1998.

Zhu, Shengdong, Wu, Yuanxi, Yu Ziniu, Zhanp Xuan, Wang Cunwen, Yu Faquan et al. Simultaneous Saccharification and Fermentation of Microwave/Alcali pre-Treated Rice Straw to Ethanol. En: Biosystem Engineering 92 (2):229-235, 2005.

Sistema de control y comando de un robot móvil para terrenos irregulares

Juan Bernardo Cano.
Maribel Arroyave Giraldo.
Diana Lucía Mazo.
Nelson Londoño Ospina.
Nelson David Muñoz C.

POLITÉCNICA No. 6 | enero - junio de 2008, pp. 39 - 52 |



El artículo describe el sistema electrónico diseñado para teleoperar y monitorear una plataforma móvil, construida para permitir su locomoción en diversos terrenos. En su diseño se implementó una suspensión tipo Rocker Bogle con seis ruedas de tracción independiente. Se describe la implementación del sistema sensorio propulsivo de accionamiento, potencia, de comunicaciones y de control.

El artículo describe el sistema electrónico diseñado para teleoperar y monitorear una plataforma móvil, construida para permitir su locomoción en diversos terrenos. En su diseño se implementó una suspensión tipo Rocker Bogle con seis ruedas de tracción independiente. Se describe la implementación del sistema sensorio propulsivo de accionamiento, potencia, de comunicaciones y de control.

Autores

JUAN BERNARDO CANO.

Ingeniero Electrónico, miembro del Grupo de Investigación en Manejo Eficiente de la energía GIMEL de la Universidad de Antioquia. jbcano@gmail.com

MARIBEL ARROYAVE GIRALDO.

Ingeniera en Instrumentación y Control, miembro del Grupo de Investigación en Control Automático y Robótica ICARO del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, maribelarroyavegiraldo@yahoo.es

DIANA LUCÍA MAZO.

Ingeniera Electrónica, miembro de ICARO, dianalmaz@gmail.com

NELSON LONDOÑO OSPINA.

Ingeniero Electrónico Ph.D.(c), profesor de control automático y electrónica del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Antioquia, Miembro de GIMEL, nlondono@udea.edu.co

NELSON DAVID MUÑOZ C.

Ingeniero Electrónico M.Sc., profesor de Robótica y Mecatrónica del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Miembro de ICARO, ndmunoz@elpoli.edu.co

Recibido: 9 de octubre de 2007
Aprobado: 4 de febrero de 2008

Resumen

El artículo describe el sistema electrónico diseñado para teleoperar y monitorear una plataforma móvil, construida para permitir su locomoción en diversos terrenos. En su diseño se implementó una suspensión tipo Rocker Bogie con seis ruedas de tracción independiente. Se describe la implementación del sistema sensorio propioceptivo, de accionamiento, potencia, de comunicaciones y de control.

Palabras clave

Microcontroladores, robótica móvil, sensores, transceptores.

Abstract

This paper describes the electronical system designed to teleoperate and monitor a mobile platform, built to allow his locomotion on varied terrains. The proprioceptive sensorial system, actuator drivers, power, communications and control implementations are described.

Key Words

Microcontrollers, Mobile Robotics, Sensors, Transceptors.

Sistema de control y comando de un robot móvil para terrenos irregulares

Juan Bernardo Cano.

Maribel Arroyave Giraldo.

Diana Lucía Mazo.

Nelson Londoño Ospina.

Nelson David Muñoz C.

Introducción

Las aplicaciones de los robots móviles cubren un amplio espectro de posibilidades, íntimamente relacionadas con las características de hardware y software que lo conforman y que por su complejidad involucran diferentes áreas de la ingeniería. En general, una plataforma robótica debe contar con un sistema de locomoción que le confiera la capacidad de moverse en el medio para el cual fue concebido, un sistema sensorial que le permita interactuar con el entorno y un sistema de control apropiado para las tareas por realizar.

A su vez, se requiere un sistema de comunicaciones inalámbricas que permita interactuar con el robot sin limitar sus capacidades de desplazamiento. Se ilustra, en forma general, la estructura básica del sistema diseñado y construido, la interrelación entre los diferentes módulos que lo componen y el análisis de la información obtenida de los sensores.

2. Descripción de la plataforma

La plataforma (Figura 1) cuenta con una suspensión tipo *Rocker Bogie*, la cual le da la capacidad de desplazamiento en terrenos irregulares (Thianwibon *et al*, 2001), un sistema de potencia alimentado por baterías para el adecuado suministro a los motores de dirección y tracción, un sistema de sensa-

do de corriente para evaluar el consumo de cada uno de los motores, un sistema de control realimentado de velocidad de los motores de tracción, una brújula electrónica que le permite al operario conocer la orientación del robot, una red de microcontroladores encargada del manejo de las señales entre el PC y la plataforma mediante una comunicación inalámbrica y por último, un software de alto nivel que permite monitorear y teleoperar el vehículo (Lázaro y del Rio, 2005) (Figura 2).



Fig. 1. Plataforma móvil

2.1. Sistema de suspensión

Un vehículo con suspensión *Rocker Bogie* cuenta con seis ruedas de tracción independiente, agrupadas en dos trenes, cada uno de los cuales está conformado por tres ruedas sujetadas por medio de una estructura articulada. Las

ruedas traseras están ligadas al cuerpo del robot por medio de un brazo rígido conocido como *Rocker* y a este mismo se fija, por medio de un pivote, un segundo brazo conocido como *Bogie*, el cual sostiene las ruedas media y delantera, (Millar y Lee, 2002). (Figura 3).

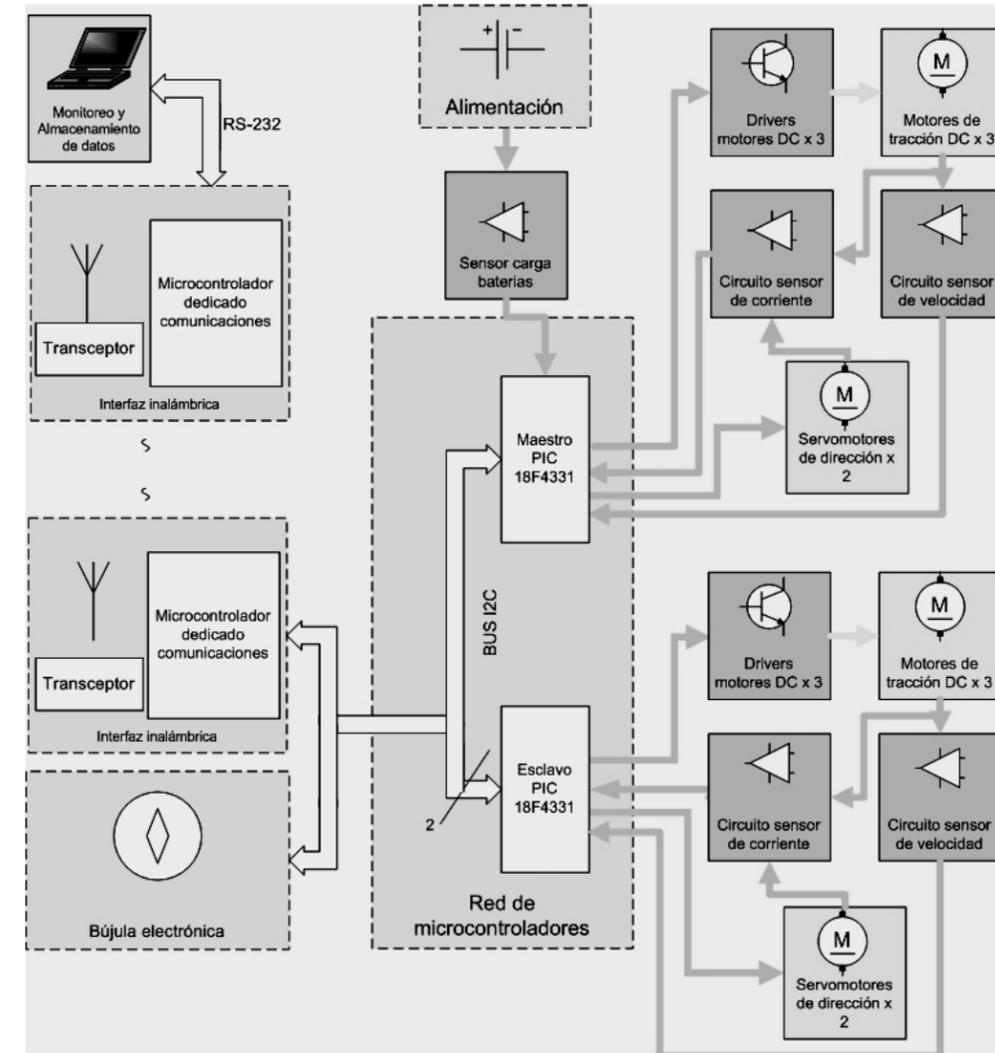


Fig 2. Arquitectura de hardware

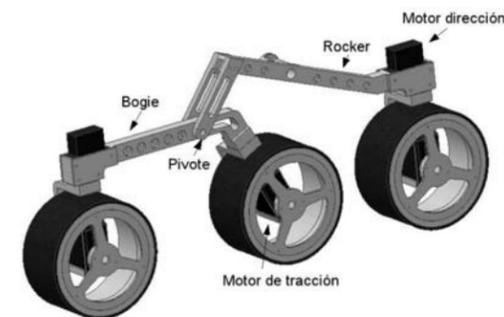


Fig 3. Esquema del sistema de suspensión.

Además, existe un mecanismo diferencial que conecta los dos brazos *rocker* con el cuerpo del vehículo; esta estructura permite mantener balanceado el vehículo, incluso cuando los dos trenes se encuentran a diferentes alturas.

El conjunto, sistema diferencial y estructura articulada, busca que las seis ruedas se mantengan siempre en contacto con el suelo, garantizando una permanente tracción (Thianwiboon *et al.*, 2001).

2.2. Estructura mecánica

Aparte del sistema de suspensión, el vehículo tiene las siguientes características mecánicas:

- 0.64 m de largo, 0.48 m de ancho y 0.28 m de alto (0.17 m de altura con respecto al suelo). Dimensiones suficientes para albergar los componentes electrónicos, baterías y posibles ampliaciones (brazos, soporte de sensores, cámaras).
- Ruedas de 0.15 m de diámetro. Esto se ha determinado teniendo en cuenta el tamaño máximo de obstáculo que la plataforma estará en capacidad de superar.
- El centro de gravedad se encuentra en la parte central del vehículo, a una altura de 0.10 m sobre el suelo. Este aspecto es muy importante para la estabilidad de la plataforma en el momento de sobrepasar diferentes obstáculos.

A. MOTORES DE TRACCIÓN:

La plataforma es accionada por seis motores de DC para los cuales se han utilizado servos de aeromodelismo modificados para obtener un movimiento continuo.

Sus características principales son:

- Referencia: TOWER HOBBIES TS-80
- Dimensiones: 2,6 x 1,2 x 2,3 in
- Alimentación: 6Vdc o 4,5Vdc
- Peso: 5.4 oz.

- Torque: 275 oz-in (a 4,8V).
- 343 oz-in (a 6V).
- Velocidad: 0.19 sec/60° (a 4,8V).
- 0.14 sec/60° (a 6V).
- Consumo: Sin carga: 700mA
- Máximo aproximado: 3,5A.

B. MOTORES DE DIRECCIÓN:

Cuatro servomotores de aeromodelismo controlan la dirección en las ruedas delanteras y traseras.

Sus características principales son las siguientes:

- Referencia: FUTABA S3010 (análogo)
- Tipo de piñonería: Nylon
- Dimensiones: 1.6 x 0.8 x 1.5 in. (*standard size*)
- Alimentación: 6Vdc o 4,5Vdc
- Peso: 1.4 oz.
- Torque: 72,2 oz-in (a 4,8V).
- 90,2 oz-in (a 6V).
- Velocidad: 0.20 sec/60° (a 4,8V).
- 0.16 sec/60° (a 6V).
- Consumo: Máximo aproximado 2A

2.3. Sistema de potencia y accionamiento

Con el objeto de proporcionar una autonomía típica de 90 minutos, el vehículo es alimentado por dos baterías de 6V plomo-ácido, con una capacidad nominal de 7,2Ah. y un peso aproximado de 1,34Kg. Las dos baterías se distribuyen para alimentar los diferentes sistemas del robot de forma que el consumo se distribuya uniformemente entre éstas.

La alimentación de los motores se deriva directamente de las baterías. Adicionalmente se utilizan reguladores de baja caída, con el fin de

obtener alimentaciones de 5V y 3.3V para los microcontroladores y el sistema de comunicación inalámbrica, respectivamente.

El accionamiento de los motores de tracción se logra por medio de circuitos puente H y señales de control tipo PWM. Los servomotores de dirección son controlados por una señal PWM que contiene el *set point* de posición.

2.4. Sensado de corriente

La medición de la corriente consumida por un motor DC es importante por varias razones:

- Medición indirecta del torque. (Rashid, 2004)
- Estimación del consumo, principalmente en sistemas móviles que dependen de baterías.
- Protección contra sobre corrientes.

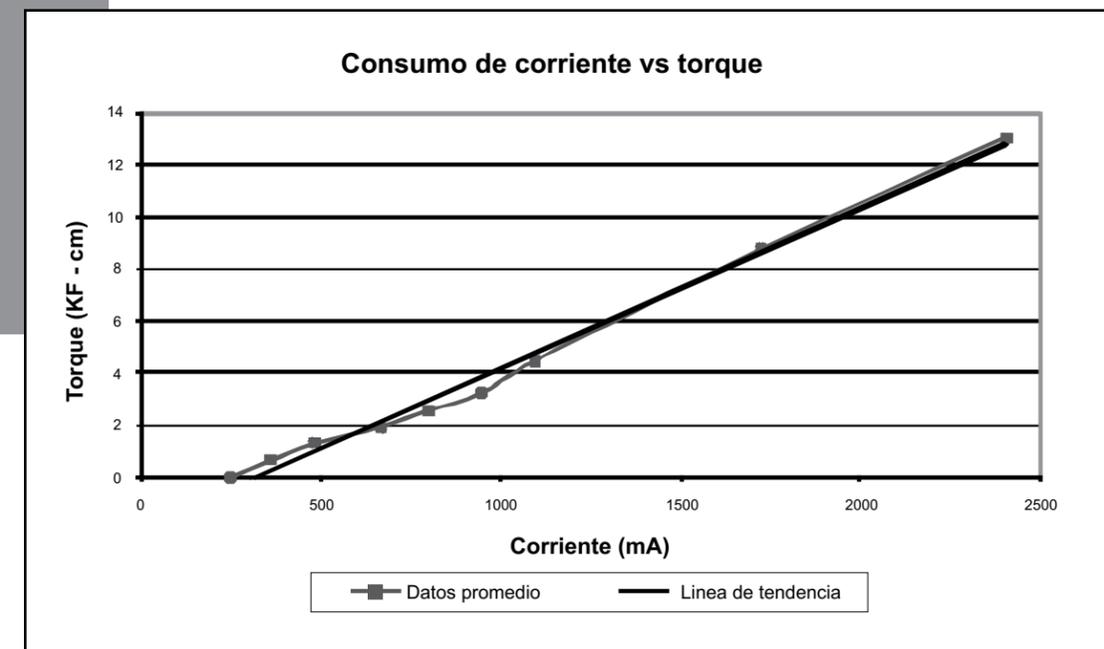
Como elemento sensor se han utilizado resistencias de bajo valor en serie con la armadura

del motor (Rylee, 2003) dado que este método presenta un bajo costo, ofrece facilidad de implementación y se adapta a los rangos de corriente manejados en esta aplicación. La caída de voltaje sobre el resistor (Microchip, 2004) es amplificada, filtrada y llevada a un convertidor analógico digital de un microcontrolador para su posterior procesamiento.

Si se varía el torque al cual es sometiendo el motor y se mide la corriente consumida, puede obtenerse la relación torque-corriente. Según el modelo de un motor de DC, dicha relación debe ser directamente proporcional. En la figura 4 se ilustran los datos obtenidos y la línea de regresión lineal que confirman lo dicho anteriormente.

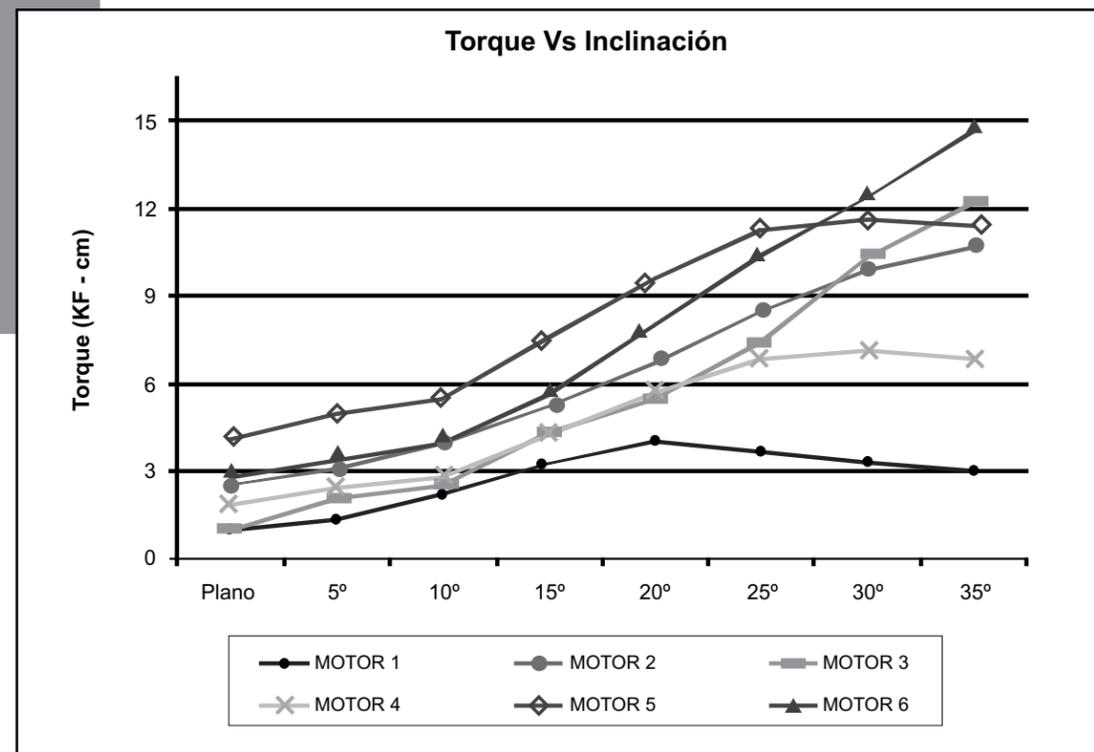
La determinación del torque sirve para evaluar el desempeño mecánico de la plataforma ante diferentes condiciones como: inclinaciones, obstáculos, terrenos rocosos, etc.

Fig. 4. Corriente vs Torque.



Con el objeto de evaluar las prestaciones y el comportamiento de la plataforma, se realizó el análisis del par requerido por los actuadores de tracción cuando la plataforma enfrenta diferentes inclinaciones.

Fig. 5. Torque ejercido por cada motor vs inclinación.



De la figura 5 se deduce que, al aumentar el ángulo de la pendiente, se exige más corriente y, por lo tanto más tracción de los actuadores. La diferencia en el consumo de corriente de los motores tiene que ver con la ubicación de éstos dentro del vehículo, ya que las ruedas de la parte delantera (motores 1 y 4) tienden a perder contacto con la superficie, lo cual se evidencia en una disminución de la corriente consumida por los actuadores correspondientes.

Los análisis de este tipo permiten determinar las condiciones máximas de trabajo del robot, así como los elementos sometidos a mayor exigencia.

2.5. Sensado de velocidad

La velocidad de cada uno de los motores de tracción es sensada por medio de *encoders* incrementales. En la implementación de los *encoders* se tuvo en cuenta las condiciones a las cuales estará expuesto el prototipo (polvo, vibraciones, humedad) y por ello se montaron sobre uno de los piñones de la caja de reducción del motor (figura 6); con ello se logra protegerlos con la misma carcasa del motor y obtener una buena resolución (debido a la fuerte reducción de la caja de engranajes).

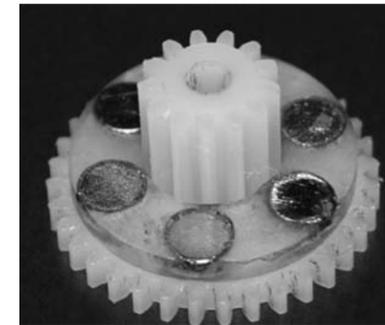


Fig. 5. Encoder implementado.

Los *encoder* están conformados por seis imanes de neodimio de 3mm de diámetro y el elemento sensor utilizado se basa en el efecto Hall para detectar el campo magnético de éstos.

2.6. Sensado de orientación

La orientación del vehículo respecto al norte magnético terrestre se mide por medio de una brújula electrónica. A dicha brújula (CMPS-3) se accesa por medio del protocolo I2C, y permite realizar mediciones con una precisión de 0.1°.

El sensado de orientación mejora la teleoperación del vehículo al permitirle al operario realizar giros de forma precisa. Además, en futuras implementaciones servirá como base para operaciones de seguimiento autónomo de trayectorias.

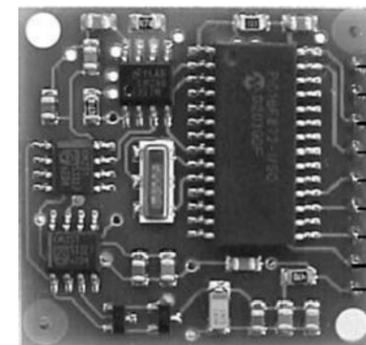


Fig. 6. Brújula electrónica.

2.7. Red de microcontroladores

La estructura de hardware del sistema está soportada en una red I²C (*Inter Integrated Circuit*) de microcontroladores PIC 18FXX31, en configuración maestro-esclavo, como se ilustró en la figura 2.

El protocolo I²C es un estándar utilizado en comunicaciones de sistemas embebidos; gracias a ello es posible acoplar una gran cantidad de dispositivos compatibles con dicho protocolo, lo que facilita la ampliabilidad y manejo versátil de nuevos periféricos.

La utilización de los recursos de los microcontroladores está ampliamente documentada en (Microchip, 2004), (Microchip, 2005), (Microchip, 2006); aprovechando estas características y considerando los requerimientos del sistema se configuró la red así:

A. MICROCONTROLADOR MAESTRO

Gestiona la red I²C, iniciando y finalizando todas las transferencias de datos entre microcontroladores y lee los datos de la brújula y del microcontrolador dedicado a RF; además, lee los sensores de estado de baterías, envía las señales de control a los motores de tracción y dirección del tren izquierdo y captura las señales de los sensores (corriente y velocidad) de dicho tren.

B. MICROCONTROLADOR ESCLAVO 0

Envía las señales de control a los motores de tracción y dirección del tren derecho y captura las señales de los sensores correspondientes.

3. Comunicación inalámbrica

La comunicación entre el software del PC y la plataforma se realiza por medio de dos tipos de comando claramente diferenciados:

- Entrada: para lectura de sensores y estado del robot
- Salida: órdenes para llevar a cabo una tarea específica como: giro de motores de dirección, accionamiento de los motores de tracción, cambio de dirección del vehículo, entre otros.

El sistema de comunicaciones inalámbricas vía RF tiene como función permitir el envío de comandos y la recepción de telemetría, evitando el uso de cables que dificulten el desplazamiento de la plataforma.

El diseño del sistema de comunicaciones se ha hecho de forma modular, de modo que permita su utilización en otros desarrollos en robótica móvil por medio de protocolos conocidos (RS-232 / I²C).

El sistema está basado en los transceptores RF integrados referencia RF-24G, basada en el chip nRF2401 de la empresa Nordic Semiconductor (Laipxctech, 2004); los cuales permiten una fácil comunicación con microcontroladores y se caracterizan por:

- Rango de frecuencias entre 2,4 – 2,524 Ghz (Banda ISM)
- Modulación GFSK (*Gaussian Frequency Shift Keying*)
- Rata de datos 1Mbps o 250Kbps
- Incluye decodificador, codificador, buffer de datos y cálculo de CRC.
- Alcance hasta 150 metros, línea de vista.

Los protocolos y el manejo del transceptor se han implementado en un microcontrolador

PIC18F258 dedicado, el cual fue seleccionado por su disponibilidad de módulos de comunicación (UART, CAN, I²C / SPI) y espacio de almacenamiento en RAM para servir como *buffer* a los datos.

A. DETECCIÓN DE ERRORES

La detección de errores en la comunicación se lleva a cabo por medio del algoritmo CRC el cual está incorporado en los módulos transceptores.

B. PROTOCOLO DE ENLACE DE DATOS

Es el encargado de segmentar la información en paquetes y garantiza la correcta transmisión de estos.

El método utilizado se denomina ARQ (*Automatic Repeat Request* – Solicitud automática de repetición) en el cual el receptor debe confirmar la llegada de un paquete correcto de datos, enviando al transmisor un acuse de recibo o ACK (*Acknowledge* o reconocimiento) (Tanenbaum, 2003).

El protocolo utilizado se conoce como protocolo de parada y espera y consiste en lo siguiente:

- El transmisor envía un paquete al receptor e inmediatamente inicializa un temporizador.
- Si el paquete enviado llega al receptor, lo verifica, y en caso de estar libre de errores, responde con un ACK al transmisor.
- Si el ACK llega al transmisor, lo verifica y en caso afirmativo detiene el temporizador y se prepara a enviar el siguiente paquete. Si el ACK no llega al transmisor, éste espera a que el temporizador se desborde y entonces retransmite el paquete.
- Además, para evitar la duplicidad de paquetes, tanto el transmisor como el receptor manejan un contador de un bit que permite diferenciar entre trama siguiente o repetida.

4. Control de velocidad

Se implementaron controladores PI (proporcional integrativo) independientes para cada uno de los motores de tracción.

Los modelos usados para el diseño se obtuvieron experimentalmente, capturando la respuesta de los motores a un estímulo tipo esca-

lón; la identificación del sistema se realizó por métodos paramétricos y no paramétricos y se obtuvo un modelo de primer orden con retardo.

Uno de los controladores fue diseñado utilizando el criterio de Ziegler – Nichols. Adicionalmente, se implementó un control adaptativo con ganancia programable para compensar algunas faltas de linealidad detectadas en el modelo.

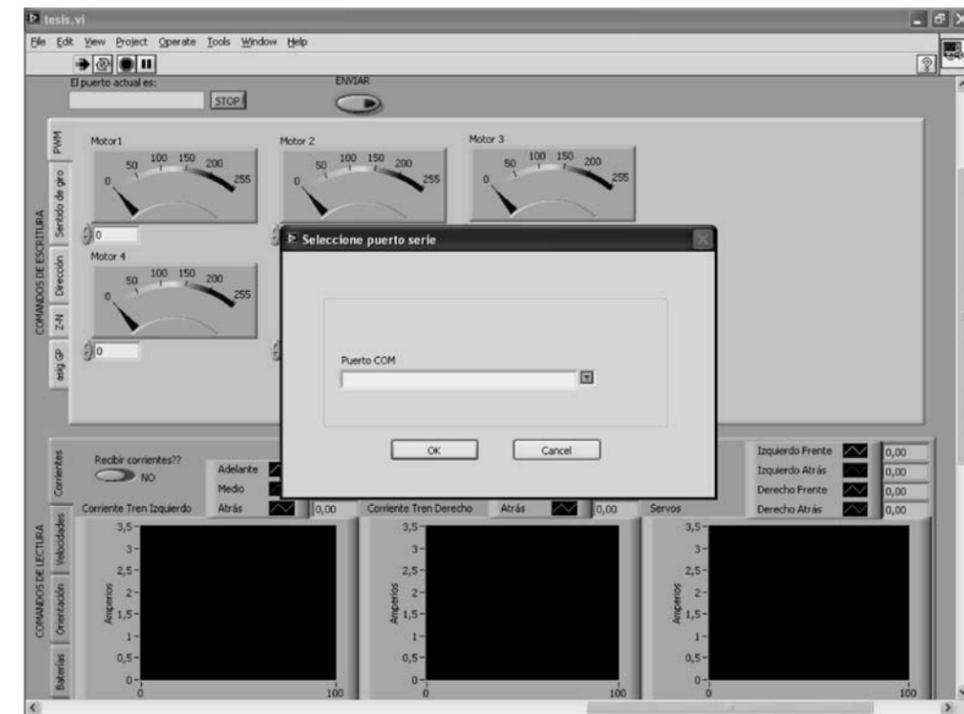


Fig 6. Interfaz gráfica de usuario en Labview.

5. Software de interfaz de usuario

La interfaz de usuario fue elaborada según el ambiente de desarrollo de software para instrumentación virtual LabView (Lázaro y Del Río, 2005). La figura 6 ilustra la interfaz desarrollada, la cual está compuesta de los siguientes módulos:

- Pestañas de comandos de escritura: Permiten asignar valores a parámetros de operación del

prototipo como: Control de los motores de tracción (controlar la velocidad en lazo abierto o por cualquiera de los dos controladores implementados y cambio del sentido de giro) y ángulo de los motores de dirección.

- Pestañas para comandos de lectura: Permiten acceder a los datos de los sensores implementados en el robot: Sensores de corriente, de velocidad, de carga de baterías y de orientación.

6. Resultados

Para lograr el objetivo de controlar la plataforma móvil descrita, se implementó el sistema sensor, con lo cual fue posible identificar, con muy buenos resultados, las características de torque, velocidad y orientación, lo que posibilita un control más acorde con las exigencias del terreno. En esta primera etapa del proyecto se utilizó la información sensorial y la interfaz gráfica se utilizó para hacer control del vehículo remotamente, con miras a evaluar las dificultades e impresiones que conduzcan a diseñar estrategias más autónomas y robustas.

Si bien el sistema implementado cumple los requisitos para implementar estrategias de control manual o de navegación relativamente simples, como desplazarse de un lugar a otro sin evasión de obstáculos o siguiendo una trayectoria predefinida, se ve restringido en su capacidades de cómputo para albergar estrategias que impliquen mayor complejidad en planificación y fusión sensorial.

Se resaltan igualmente los resultados y confiabilidad del sistema de comunicación inalámbrica, que permitieron validar los desarrollos sin necesidad de estar alámbrado al computador y así controlar el sistema directamente desde el PC.

Por último, la interfaz gráfica diseñada cumple con los objetivos inicialmente propuestos, como son la : facilidad de manejo y la versatilidad en la operación.

6. Expansibilidad y trabajos futuros

De las experiencias adquiridas con el prototipo, se evidenció la necesidad de implementar lo siguiente:

- Ampliar las capacidades de cómputo de la plataforma, de modo que pueda soportar algoritmos de mayor complejidad en las áreas de navegación y fusión sensorial.
- Mejorar el control de velocidad. En este contexto, se hace necesario recurrir a métodos de control cruzado (CCC: *Cross Coupled Control* Berenstein *et al*, 1993) para una mejor sincronización de las velocidades de las ruedas.
- Establecer un sistema de estimación de la posición de la plataforma, que implica el uso de sensores relativos (*encoders*, giróscopos, acelerómetro) y absolutos (brújula magnética, balizas, GPS), todo esto procesado mediante un sistema de fusión sensorial que garantice obtener una medición fiable de la posición (Ojeda y Borestein, 2001).
- Dotar la plataforma de un sistema de detección de obstáculos, de forma tal que sea posible evitar las colisiones y obtener información del entorno.
- Implementar un sistema de navegación que, basado en los sistemas de estimación de la posición y detección de obstáculos, facilite el desarrollo de tareas.
- La arquitectura implementada permite la adición de nuevos módulos de procesamiento, que amplían las prestaciones y posibilidades del sistema, aprovechando el uso de comunicaciones estándar y de modularidad en el desarrollo de los algoritmos.

Conclusiones

- Las experiencias en el diseño e implementación de una plataforma robótica para terrenos irregulares demostraron la posibilidad de desarrollar, de forma multidisciplinaria, dispositivos complejos que permitan fusionar las ventajas de una estructura mecánica versátil, un sistema electrónico de control robusto con posibilidades de ampliación y reprogramación.
- La estructura *Rocker Bogie* demostró ser una buena alternativa de locomoción que garantiza un correcto funcionamiento en ambientes no estructurados ni regulares.
- La arquitectura del sistema de procesamiento, en configuración maestro-esclavo, permitió una eficiente gestión de sensores y actuadores.
- El protocolo I²C demostró ser la mejor alternativa para la comunicación entre dispositivos de diferentes características, lo que permitió interactuar y facilitar la ampliabilidad de un sistema tan complejo como el estudiado.

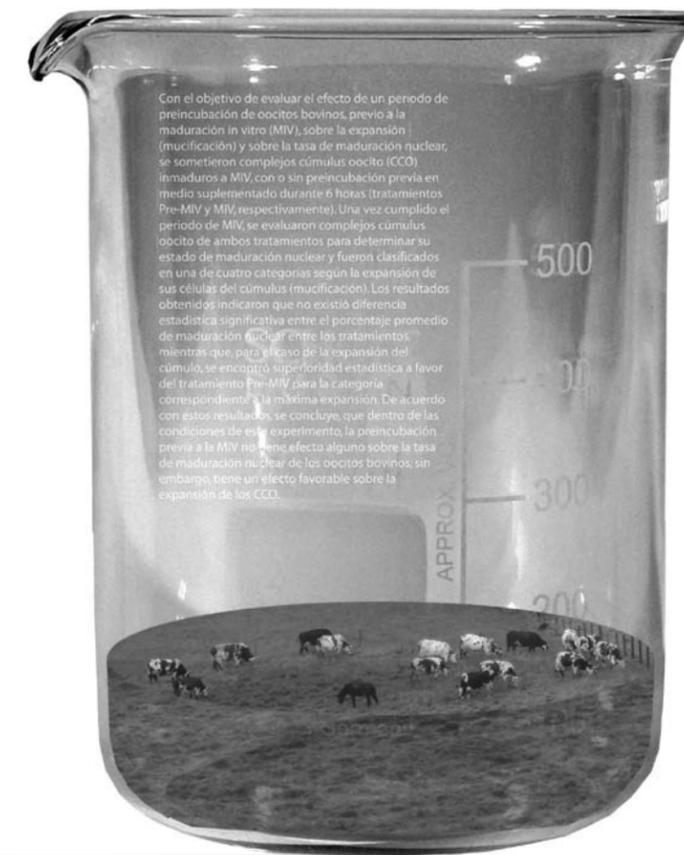
- La interfaz diseñada facilita el manejo del vehículo y la interrelación del operador con el sistema de control.
- Para las implementaciones futuras, se identificó que el sistema de microcontroladores está muy próximo al límite de su capacidad, por lo que se hace necesario ampliar la red, si se desea mejorar el sistema sensorial y de control.
- El trabajo permitió identificar los diferentes inconvenientes y exigencias de este tipo de sistemas; además, posibilitó la construcción de un prototipo con resultados satisfactorios, tanto en el sistema mecánico como en el electrónico y de control.
- El prototipo desarrollado sirve como plataforma de investigación y aplicaciones académicas, pues permite proponer proyectos de investigación y desarrollo en un amplio campo de temáticas, como: mecánica, electrónica, energética, robótica, mecatrónica, instrumentación y control.

Reconocimientos

Este trabajo fue resultado parcial del proyecto 2061080185 financiado por el Politécnico Jaime Isaza Cadavid y la Universidad de Antioquia, desarrollado por los grupos de investigación ICARO y GIMEL, respectivamente.

Bibliografía

- Borenstein, J. Koren Y. y Feng L. Cross-coupled Motion Controller for Mobile Robots. En: Robotics 2002: The 5th International Conference and Exposition on Robotics for Challenging Situations and Environments, Albuquerque, 2002.
- LAIAC TECH. TRF-2.4G Transceiver Data Sheet. Laipac Technology Inc. 2004. En: IEEE Control Systems Magazine, Vol. 13, Issue. 6, pp. 35-43, 1993.
- Lázaro, Antonio Manuel y Del Río, Joaquín, LabView 7.1 Programación Gráfica para el control de instrumentación. Madrid, Thomson, 2005.
- LINX TECHNOLOGIES. Application Note AN-00160. Considerations for Sending Data over a Wireless Link. EEUU, Linx Technologies Inc. 2006
- MICROCHIP. PICmicro 18C MCU Family Reference Manual. EEUU, Microchip Technology Inc 2000.
- MICROCHIP. PICmicro DC Motor Control Tips 'n Tricks. EEUU, Microchip Technology Inc. 2004
- MICROCHIP. Configuration Settings Addendum. EEUU, Microchip Technology Inc. 2005.
- MICROCHIP. MPLAB IDE User's Guide. EEUU, Microchip Technology Inc. 2006.
- Miller, david p. y Lee, Tze-Liang. High-Speed Traversal of Rough Terrain Using a Rocker-Bogie Mobility System, En: Robotics 2002: The 5th International Conference and Exposition on Robotics for Challenging Situations and Environments, Albuquerque, 2002.
- Ojeda, Lauro. y Borenstein, Johann. Improved Position Estimation for Mobile Robots on Rough Terrain Using Attitude Information, Technical Report UM-ME-01-01, Department of Mechanical Engineering, University of Michigan, 2001.
- Rashid, Muhammad. Electrónica de Potencia: Circuitos, dispositivos y aplicaciones. México, Pearson Prentice-Hall, 2004.
- Rylee Mike. Application Note 893 Low-Cost Bidirectional Brushed DC Motor Control Using the PIC16F684. EEUU, Microchip Technology Inc. 2003
- Tanenbaum, Andrew. Redes de computadoras. México, Pearson Educacion, 2003.
- Thianwiboon, M., Sangveraphunsiri, V., y Chancharoe, R. Rocker-Bogie Suspension Performance. Bangkok, Chulalongkorn University. 2001.



Efecto de la preincubación sobre la mucificación y la maduración nuclear de oocitos bovinos cultivados in vitro

Neil Vásquez Araque
 Natalia Andrea Chavarría
 Claudia Patricia Ceballos
 Giovanni Restrepo Betancur