

Diseño Mecatrónico de Robot Móvil para Transporte de Carga en Superficies Irregulares

Jaime Humberto Carvajal Rojas

Ph. D. Mecatrónica y Robótica
Universidad Estatal de Campinas UNICAMP, Brasil
Magíster en Sistemas Automáticos de Producción,
Universidad Tecnológica de Pereira UTP, Colombia
Ingeniero Mecánico
Universidad Francisco de Paula Santander
UFPS, Cúcuta, Colombia
Jhcarvajalr@yahoo.com

Vega Arévalo, C. M.

Téllez Garay, J. P.
Design and Electronic Automation,
La Salle University, Bogotá, Colombia

Resumen— Este trabajo presenta el modelo en ambiente virtual del prototipo de un robot móvil, el modelo matemático de la dinámica del sistema mecánico de la plataforma de ascenso/descenso basado en el tornillo de potencia, el modelo matemático del movimiento del vehículo robotizado basado en el principio del trabajo y energía, el diseño mecánico de los componentes del chasis, el diseño mecánico del sistema de transmisión y del sistema de potencia, modelaje del sistema electrónico constituido por el sistema de control electrónico, el sistema de detección y evasión de obstáculos, el sistema de control de la dinámica de la plataforma móvil, el sistema de control de desplazamiento, la interface Hombre/ Máquina y dispositivos periféricos. Los modelos y diseños mecánicos y electrónicos se integran en un sistema multidisciplinario mediante una metodología de diseño mecatrónico, basada en principios de la Ingeniería Concurrente y simulados en ambiente virtual con software especializado

Palabras clave— Modelaje y Simulación, Robótica móvil, Plataforma ascendente/descendente, Sensores y Sistema de control

Abstract— This work introduces a virtual environment model for a prototype of mobile robot, the dynamics mathematical model for up/down platform based on power worm, the mathematical model for the robotized vehicle movement based on the work and energy principle, the mechanical design for components: chassis, devices, power transmission; electronic system model configured by the electronic control system, the obstacle detection module, the control system for the up/down platform, the control movement system, the human machine interface, and peripheral devices. The models, mechanical design and electronic design are integrated in a multidisciplinary system with a methodology of mechatronic design, based on the Concurrent Engineering principles simulated in virtual environment with an specialized software.

Keywords: Modeling and simulation, Mobile Robotics, Up / down platform, Sensors and Control systems

I. INTRODUCCIÓN

Para Colombia el desarrollo de robots móviles en procesos industriales o agrícolas representa un avance significativo en automatización y robótica. En la actualidad, se desarrollan proyectos de graduación, pos graduación e investigación enfocados al diseño de robótica móvil y diseño de algoritmos de navegación. Generalmente, estas tecnologías son importadas y adaptadas, pero con este proyecto se busca generar iniciativas para hacer desarrollos propios de ingeniería en robótica. Por tanto, este proyecto propone una metodología de diseño mecatrónico de un robot móvil para transporte de elementos, que identifique los posibles obstáculos y cubra las diferentes rutas con el mayor grado de autonomía.

El proyecto desarrolla una metodología de diseño mecatrónico basada en tres tareas fundamentales: Modelaje, Diseño y Simulación. Estas tres tareas se integran en ambiente virtual, por computador, para la construcción del prototipo en donde se integra: Diseño de sistemas mecánicos y Diseño de sistemas eléctricos/electrónicos compuesto por Diseño de sistemas de control y Diseño de interfaz hombre máquina HMI (HMI: Human Machine Interface). En forma global esta integración de diseño se denomina Diseño Mecatrónico basado en conceptos de Ingeniería Concurrente, que considera la metodología de diseño interdisciplinario no secuencial, sino simultáneo. Ver Diagrama 1.

La robótica se inició en la industria textil del siglo XIX, cuando Joseph Jacquard inventó en 1801 una máquina textil programable mediante tarjetas

perforadas. La Revolución Industrial impulsó el desarrollo de estos dispositivos mecánicos, como el torno mecánico de Spencer en 1830, el brazo motorizado de Babbitt en 1892 y el mecanismo programable para pintar con spray de Pollard y Roselund en 1938. Las primeras patentes sobre robótica aparecieron en 1946. En este mismo año aparecieron las primeras computadoras construidas por J. Presper Eckert y John Maulchy conocidas como "ENIAC" en la universidad de Pensilvania y la primera máquina digital de propósito general se desarrolla en el MIT. En 1954, Devol diseña el primer robot programable y acuña el término "autómata universal", que posteriormente se presenta como UNIMATION. Así llamó Engelberger a la primera compañía de robótica. La comercialización de robots comienza en 1959, con el primer modelo de Planet Corporation. En 1962, General Motors incluye el primer robot industrial en su cadena de producción en Trenton, New Jersey. Posteriormente, en 1964 se abren laboratorios de investigación en inteligencia artificial en el MIT, el SRI (SRI Stanford Research Institute) y en la Universidad de Edimburgo. Poco después, los japoneses, que hasta entonces habían importado su tecnología robótica, se sitúan como pioneros del mercado y Kawasaki Heavy Industries (KHI) establece un pacto de cooperación con UNIMATION. En 1970 se construye un brazo mecánico para investigación en Stanford, su inventor Víctor Scheinman funda "Vicarm Inc"; prototipo controlado por minicomputador. En 1976, tanto la sonda Viking 1 como la Viking 2 incorporaron brazos de robot y Vicarm incorporó microcomputadores a sus diseños. Por la misma época, la NASA inició un programa en colaboración con el Jet Propulsion Laboratory (JPL) para el desarrollo del MARS-ROVER. [1], [7], [14], [18], [19]

Según la Federación Internacional de Robótica (IFR International Federation of Robotics) los robots se clasifican en dos categorías: Robots industriales y Robots de servicio. Los robots industriales generalmente tienen la configuración de brazo manipulador y los Robots de servicio son los robots móviles terrestres, aéreos, acuáticos, humanoides o de asistencia en el hogar moderno. El robot de este trabajo es un robot móvil de servicio dotado de chasis rectangular de material aluminio comercial, estructura en forma de tijera en aluminio comercial, plataforma de aluminio comercial,

dotado de un motor eléctrico propulsor del movimiento, motor eléctrico para subir/bajar la carga, caja de engranes para reducción del movimiento del motor, dos ruedas de caucho conectadas al sistema mecánico de transmisión y dos ruedas de caucho de movimiento libre.

II. MODELAJE Y DISEÑO DEL SISTEMA MECÁNICO

Para la metodología de diseño mecatrónico del prototipo, se utiliza software especializado de diseño CAD (CAD Computer Aided Design), software de análisis de ingeniería CAE (CAE Computer Aided Engineering), Solid Edge y Visual Nastran; para desarrollar las tareas de modelado gráfico, diseño y análisis de ingeniería. Ver Figuras 1, 2 y 3.

A. Plataforma ascendente/descendente

El diseño del sistema mecánico del robot móvil está orientado a facilitar el transporte autónomo de cargas entre distintas estaciones de trabajo, la transferencia de las cargas a las estaciones de trabajo, que las cargas no requieran manipulación especial, que las cargas no sean frágiles y que se minimicen los esfuerzos de los operarios. Se considera que la plataforma del robot móvil deberá moverse a una altura apropiada para que el operario cargue / descargue la plataforma y esta altura se define en 1.2 m para una carga de 1.5 Kgf. Se considera que la plataforma tiene mecanismo de transporte y mecanismo de transferencia de la carga con auxilio del usuario, por tanto, se consideran diferentes mecanismos para realizar la función de transporte y transferencia de carga entre estaciones de trabajo y finalmente se seleccionan los mecanismos más eficientes y factibles. Se analizaron tres de mecanismos de transferencia: Mecanismo Ascensor en Cantiliver; Mecanismo Ascensor con Poleas y Rieles y Mecanismo Ascensor con Tijera de Expansión.

B. Mecanismo en cantiliver

Consiste en una plataforma que se mueve por medio de dos tornillos sin fin, izados verticalmente sobre el robot, hasta una altura superior a 1.2 metros del piso. La potencia se transmite a los tornillos por medio de un motor DC y un sistema de transmisión que los hace mover en la misma dirección que el motor y a la misma velocidad de éste. Las tuercas correspondientes a cada tor-

nillo se encuentran en la plataforma con el fin de permitir el deslizamiento ascendente y descendente del sistema a lo largo de los tornillos, de acuerdo al sentido de giro transmitido por el motor. Los tornillos son ubicados en uno de los extremos de la plataforma, dejándola como una estructura en cantiléver.

C. Mecanismo ascensor con poleas y rieles

Consiste en una plataforma que se mueve lo largo de cuatro rieles, la plataforma es izada a más de 1.2 metros por medio de poleas que giran debido a la potencia de un motor CC. Este mecanismo tiene un alto uso en la industria y la estructura en la que se soporta es relativamente fácil de construir.

D. Mecanismo ascensor con tijera de expansión

Consiste en un sistema de eslabones dispuestos en tijera, que al cerrarse eleva un armazón afianzado a la parte superior del sistema. La fuerza requerida para mover el mecanismo es transmitida por medio de un tornillo sin fin movido por un único motor. Presenta como ventajas que se requiere un motor de mediana potencia, reduce el espacio vertical requerido por el sistema, el tornillo sin fin presenta una reducción que ayuda a compensar las necesidades de potencia del mecanismo, las características del tornillo sin fin ofrecen la posibilidad de hacer el posicionamiento seguro, lo que reduce la inercia y facilita el control del mecanismo.

E. Tornillo de potencia

Se utiliza para transformar un movimiento angular en lineal al transmitir un valor determinado de fuerza. El torque necesario para mover el tornillo de potencia se expresa con la siguiente ecuación general [2], [12], [13], [15], [18]:

$$T = F_s * d \quad (1)$$

$$T = \frac{F d_m}{2} \left(\frac{\mu \cos \lambda + \operatorname{sen} \lambda}{\cos \lambda - \mu \operatorname{sen} \lambda} \right) \quad (2)$$

Si se toma como base la ecuación (2) para subir carga se expresa:

$$T = \frac{F \cdot d_m}{2} \left(\frac{l + \pi \mu d_m}{\pi d_m - \mu l} \right) \quad (3)$$

Si se toma como base la ecuación (2) para bajar carga se expresa

$$T = \frac{F \cdot d_m}{2} \left(\frac{\pi \mu d_m - l}{\pi d_m + \mu l} \right) \quad (4)$$

Que son los dos movimientos que definen la dinámica del tornillo de potencia. La eficiencia del tornillo de potencia se define mediante la siguiente expresión, que relaciona T_o con T , en donde T_o es el torque requerido para suministrar una fuerza axial, en ausencia de fricción.

$$e = \frac{T_o}{T} \quad (5)$$

$$T_o = \frac{F \cdot d_m}{2} \tan \lambda \quad (6)$$

Según Shigley y Mischke [15], la eficiencia del tornillo de potencia, también se puede conocer de forma gráfica como una función del coeficiente de fricción, considerando hélices del tornillo normalizado. Finalmente, el torque a vencer entre collarín/carga, se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$T_C = \frac{F \mu_c d_c}{2} \quad (7)$$

F. Esfuerzos en el sistema mecánico

El término esfuerzo es empleado a veces para denotar la fuerza resultante sobre una sección de un elemento mecánico para definir la carga que puede soportar y en otros casos se emplea para indicar la fuerza por unidad de superficie. Los esfuerzos y las deformaciones en los elementos mecánicos son producidos por tres tipos de carga: centradas, torsionales y flexionantes. Cuando se presentan dos o más de estas cargas se dice que el elemento mecánico está sometido a cargas combinadas. En este trabajo el concepto de esfuerzo se usa para denotar la fuerza sobre la sección de los elementos mecánicos que configuran la estructura que sube / baja la plataforma del móvil robotizado y se presentan cargas flexionantes. Se utiliza software de análisis asistido por computador Visual Nastran que permite análisis en condiciones estáticas de la estructura en forma de tijera y se hallan los valores de las fuerzas externas presentadas. Es necesario hallar los

esfuerzos generados por las cargas sobre los elementos de la estructura mecánica, con el fin de determinar si el material seleccionado es resistente a los esfuerzos aplicados. El análisis se realiza en el último eslabón (de arriba hacia abajo) de la estructura en forma de tijera, donde se encuentran las fuerzas de mayor magnitud. Se plantea la utilización de aluminio debido a que representa un mínimo peso en la estructura, una amplia gama de perfiles comerciales y facilidades de maquinado. Conocidos los valores de los esfuerzos admisibles se puede determinar si el material resiste las cargas que se presentan. Si el valor del esfuerzo permisible a tensión es de 240 MPa se puede asegurar que el material sometido a estos esfuerzos es adecuado. Si el valor del esfuerzo cortante permisible es de 140 MPa, se puede asegurar que el material cuando es sometido a estos esfuerzos, es adecuado, porque no superan este valor. En las Figuras 1, 2 y 3 se presentan estos resultados y se revisan estos esfuerzos según la gama de colores de azul, verde, amarillo a rojo, siendo el color azul que representa el esfuerzo de menor valor y el color rojo el esfuerzo que indica la mayor concentración de carga flexionante. No se presentan esfuerzos representados en color rojo y por tanto, no hay carga crítica que produzca rotura o flexión del elemento mecánico. Se puede apreciar dónde se presentan los mayores esfuerzos en la estructura en forma de tijera.

G. Potencia del sistema y selección del motor eléctrico

Para poder hallar la potencia del sistema se deben conocer las fuerzas involucradas, los tiempos y las respectivas velocidades, que se presentarán en el sistema. El método de impulso y momentum es adecuado para la solución de problemas de la dinámica de cuerpos rígidos que involucran tiempo y velocidades. El momentum de todas las partículas del cuerpo rígido se puede reducir a un vector aplicado en el centro de masas G, representado por una sumatoria:

$$\vec{L} = \sum \vec{v}_i \Delta m_i = m \vec{v} \quad (8)$$

Y a un par de momento igual a la suma de sus momentos con respecto a G

$$\vec{H}_G = \sum \vec{r}_i \times \vec{v}_i \Delta m_i \quad (9)$$

En donde y definen el momentum lineal y el momentum angular con respecto a G, respectivamente, del sistema de partículas que forman el cuerpo rígido. Para el movimiento plano de un cuerpo rígido simétrico con respecto a un plano de referencia, se tiene que

$$\vec{H}_G = \bar{I} \omega \quad (10)$$

Donde I representa la inercia de las masas de los elementos mecánicos. La potencia se define como la tasa temporal a la cual se realiza un trabajo. En el caso de un cuerpo rígido bajo la acción de una fuerza F y que tenga velocidad v, se expresa la potencia como

$$Potencia = \frac{dU}{dt} = F \cdot v \quad (11)$$

En el caso de un cuerpo rígido que rota con velocidad angular w y sobre el cual actúa un par de momento M paralelo al eje de rotación, se expresa la potencia como

$$Potencia = \frac{dU}{dt} = \frac{Md\theta}{dt} = Mw \quad (12)$$

Varias unidades se usan para medir la potencia: la potencia mecánica generalmente se mide en caballos de fuerza HP y la potencia eléctrica en vatios o kilovatios kw. Por tanto, en este caso la potencia P se representa como el producto de la fuerza F por la velocidad v; de donde se obtienen 645 Watts para el actuador eléctrico.

H. Plataforma robótica

El objetivo del vehículo robotizado es para proporcionar movilidad a la plataforma integrada. Se implementa una estructura rectangular, porque su forma facilita su construcción y distribución de los dispositivos que van a ser incorporados en el sistema robotizado. Con el fin de resolver los problemas generados por esta geometría, es indispensable optimizar la distribución de los sensores y los actuadores para proporcionarle a la plataforma capacidad de girar sobre su propio eje para evitar colisiones y ubicar el diámetro de giro circunscrito en el rectángulo. Para que el vehículo robotizado en el momento de girar no se estrelle contra algún obstáculo, la plataforma se analizará como circunscrita en un círculo. El rango de tolerancia entre los obstáculos y la plataforma será determinado por los sensores de ultrasonido.

I. Centro de Giro del Robot

Una de las acciones más importantes del vehículo robotizado en el momento de desplazarse, es el giro, este movimiento debe ser realizado sobre el eje central del robot. En este caso denominado "eje central del robot", como eje Z del sistema coordenado de referencia. El robot debe moverse sobre su propio eje para facilitar la alineación entre él mismo y el objetivo. Si los motores se ubican paralelos y sobre el mismo eje configurado en tracción trasera, su centro de masa rota alrededor del centro de giro y genera una trayectoria circular. Esta configuración requiere que las ruedas delanteras sean auto alineantes para disminuir la alta resistencia al giro ocasionada por la excentricidad del centro de masa. Para lograr que este tipo de giro suceda sobre su propio eje, los motores son distribuidos de manera opuesta y por la diagonal de un cuadrado centrado en el robot, el sentido de giro entre los motores debe ser opuesto (adelante y atrás) para que este efecto ocurra. Con este diseño, el robot efectivamente gira en su propio eje, pero existen pérdidas en el momento de generar el par de giro. El par máximo de giro se presenta cuando la fuerza es perpendicular a la distancia de giro, por esta razón se ubican los motores paralelos y sobre el mismo eje del centro de masa del robot, como se verifica en las Figuras 4, 5, 6, 7, 8, y 9.

J. Selección del motor para la plataforma móvil

Para determinar el motor, es necesario determinar ciertas condiciones de funcionamiento del elemento e identificar qué acciones inciden en el robot. El robot se desplaza con velocidad constante y tiene la capacidad de subir pendientes no mayores a 20° . Se predetermina que el robot tiene una velocidad 0.5 m/s. Con este fin se emplea el Principio de Trabajo y Energía [3], [4], [5], [8], [9], [18]:

$$T_1 + U_{1 \rightarrow 2} = T_2 \quad (13)$$

En donde T es la energía cinética que se calcula mediante la siguiente expresión:

$$T = \frac{1}{2}mv^2 \quad (14)$$

Si la velocidad inicial es cero, entonces la energía cinética inicial es cero. El peso no hace trabajo ya que es perpendicular a la trayectoria. Al reem-

plazar en la ecuación de trabajo y energía (8) se obtiene:

$$U_{1 \rightarrow 2} = T_2 \quad (15)$$

La potencia necesaria de un solo motor es representada mediante la siguiente expresión:

$$P_R = F_I * v \quad (16)$$

En donde la fuerza F_I se expresa con la siguiente ecuación:

$$F_I = \frac{1}{2 * x}mv_2^2 + \mu_k mg \quad (17)$$

Finalmente, el torque total que se necesita para mover el robot es:

$$T = Fd \quad (18)$$

Al considerar que se va a hacer uso de dos motores, para el movimiento y direccionamiento del robot, el torque obtenido se divide en dos, para representar la distribución de las fuerzas en los dos motores. A partir de la fuerza que se necesita para impulsar el robot en un desplazamiento horizontal, se calcula la velocidad requerida en pendientes no mayores a $\theta=20^\circ$.

III. MODELAJE Y DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO/ELECTRÓNICO

Los componentes electrónicos que integran el sistema mecatrónico son seleccionados de acuerdo con las acciones esperadas del prototipo y las características de los motores seleccionados. A continuación se clasifican y especifican los principales componentes electrónicos que configuran el sistema electrónico. Los sensores en robótica, en función del tipo de información que comunican a la unidad de control, se clasifican en dos grupos: Exteroceptivos y propioceptivos.

El sensor de ultrasonido utilizado en el presente trabajo, es de tipo ON/OFF. Está compuesto por dos tipos de transductores, un transmisor y un receptor. La cerámica piezoeléctrica ubicada en el transductor, reacciona a las vibraciones mecánicas de frecuencias determinadas y genera un diferencial de voltaje. Igualmente, al aplicar directamente un determinado voltaje en la cerámica piezoeléctrica esta genera vibraciones mecánicas, correspondientes a las frecuencias calibradas por el fabricante. Los sensores ultrasónicos

son distribuidos en la periferia del prototipo, con el fin de lograr una detección eficiente de obstáculos en los flancos en los que se puedan presentar colisiones. El prototipo no realiza desplazamientos en reversa, entonces, no hay detectores de obstáculos en esta dirección y los sensores de los flancos tienen la función de alertar en el sentido de giro. Ver Figura 10.

Los teclados son utilizados como dispositivos de entrada de datos en arreglos digitales, pueden clasificarse en dos tipos, matricial y lineal, de acuerdo a la disposición de los pulsadores. Este proyecto aplica el teclado matricial clasificado como un sensor de tipo exteroceptivo porque traduce al sistema de control las disposiciones del usuario como limitantes del entorno. Consiste en un arreglo que de 16 teclas o pulsadores, dispuestos e interconectados en filas y columnas. Dispone de un conector SIL (SIL Single In Line) macho de 8 pines que se corresponden con las 4 filas y las cuatro columnas de las que dispone. Con el fin de codificar la señal de un teclado matricial se requiere de un mínimo de conexiones. Al presionar una tecla se une físicamente una fila con una columna. Para codificar la tecla oprimida se hace un barrido de columnas para transferir el nivel de tensión encontrado en el barrido a la fila correspondiente. Según la disposición del teclado se puede recibir un nivel de tensión uno (1) o lógica positiva, o un nivel cero (0) o lógica negativa. Ver Figura 11.

Los sensores propioceptivos informan a la unidad de control acerca del estado en el que se encuentra el robot móvil relativo al sistema de referencia tales como los ángulos de las articulaciones, fuerzas o presión en el elemento terminal, desplazamientos, etc. Este tipo de información es denominado información propioceptiva.

A. Odómetros

La finalidad del odómetro o Encoder de giro es informar a la unidad de control la cantidad de giro producida sobre un eje, por medio del actuador controlado. La magnitud de la cantidad de giro está relacionada directamente con la cantidad de desplazamiento de la plataforma robótica. El encoder de giro se clasifica en dos tipos de acuerdo a la forma en que realizan la detección de la posición del eje: Encoder absoluto y encoder incremental, como se muestra en las Figuras 12 y 13.

B. Sistema Operativo Microgrades

A diferencia de software de programación de alto nivel para microcontroladores como el CODEWARRIOR para Motorola o NIPLESOFT para Microchip, el Software Microgrades no se limita a la compilación de instrucciones en lenguaje ensamblador, ya que además ingresa al microcontrolador un sistema operativo, con el fin de predisponer el funcionamiento del microcontrolador semejante al funcionamiento de un microprocesador, para dar al usuario acceso directo a las entradas y salidas del dispositivo en función de la frecuencia. Generalmente, los microcontroladores de gama media son programados en lenguaje ensamblador con programación secuencial de ejecución en función del tiempo, en donde cada instrucción es ejecutada cada vez y las señales se detectan a la velocidad del microcontrolador. De esta manera el funcionamiento de un programa convencional en función del tiempo, se puede representar por medio de diagramas de flujo, donde cada actividad es desarrollada de manera secuencial. La principal ventaja del sistema operativo microgrades, consiste en la variación de este parámetro, para permitir la programación del microcontrolador en función de la frecuencia. De esta manera se permite que la toma de datos dependa directamente de una frecuencia de muestreo preestablecida, y la salida de mayor cantidad de resultados simultáneamente.

El sistema de control del prototipo, consiste en dos microcontroladores Motorola HC08GP32 comunicados en serie, con el fin de controlar todos los procesos de cada uno de los módulos que lo componen, para reducir el número de dispositivos periféricos de control y aprovechar al máximo los puertos y utilidades propias de cada dispositivo. El sistema correspondiente a la interfaz se plantea como una función opcional en el caso en que el sistema de navegación externo no esté conectado o no esté activo, por consiguiente no se considera este microcontrolador como una parte estructural del sistema, sino como un módulo opcional al mismo.

C. Funcionamiento del puente "H" utilizado en el proyecto

Este circuito maneja pequeños motores DC de 100W, 5 Amperios o 40 Voltios, en cualquiera de las tres especificaciones, pero para obtener mejores características de funcionamiento se pueden

usar elementos de mayor potencia para implementar el puente. Su funcionamiento es simple, tiene dos entradas lógicas A y B, y dos salidas también denominadas A y B. Si la entrada A es alta, entonces la salida A también será alta y el motor gira en un sentido. Ahora, si la entrada B es alta, la salida B es alta y el motor gira en sentido contrario. Si las dos entradas son bajas, el motor estará apagado y no existirá consumo de potencia, pero en el caso contrario, si las dos entradas son altas, el motor entra en corto, pero este no sufre daño alguno, ya que esto se hace para producir un efecto de frenado del motor; siempre y cuando tal estado sea mantenido por un corto tiempo. Para implantar el control de velocidad se aplica PWM (PWM Pulse Width Modulation), que induce la señal en cualquiera de las entradas lógicas según el sentido de giro deseado.

D. Dispositivos de salida

Son dispositivos empleados para transmitir la información propia del sistema a dispositivos externos o al usuario del dispositivo

E. Pantalla LCD ASCII

Las pantallas tipo LCD (LCD Liquid Cristal Display) o de cristal líquido inteligente son ampliamente utilizadas en todo tipo de dispositivos digitales debido a la capacidad de visualizar letras, palabras y símbolos de lectura natural, además de los bajos costos que representan, y las diferentes presentaciones y resoluciones de punto que se encuentran en el mercado.

IV. MODELAJE Y DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL ELECTRÓNICO

La interacción entre sensores y actuadores se realiza en el sistema de control; que tiene un microcontrolador, un programa generado sobre el sistema operativo Microgrades con capacidad de comunicarse con otros microcontroladores y otros sistemas de control por medio de un protocolo USART. El sistema de control del robot móvil tiene dos microcontroladores Motorola 908GP32 comunicados en serie, que se dividen las tareas módulo central y módulo de tijera. Con estos dos módulos se integra una interfaz hombre máquina.

A. Módulo Central

El módulo central consiste en un MCU (Microcontrolador Motorola) y sensores y actuadores

relacionados. Este módulo central divide sus funciones en cinco submódulos relacionados entre sí: Submódulo de Comunicación que interpreta, comunica y distribuye la información recibida y prepara la información a transmitir. Submódulo de Control de Movimiento que interpreta la información proporcionada por los encoders de giro y genera instrucciones correctas al módulo de control de motores. Submódulo de Detección de Obstáculos que se integra al submódulo control de movimiento e interactúan entre sí, para lograr una adecuada relación entre el entorno y la plataforma robótica; también interpreta la señal transmitida por los sensores ultrasónicos y las traduce en instrucciones complementarias al submódulo de control de movimiento. Submódulo de Control de Motores que Transforma las instrucciones del Submódulo Control de Movimiento en señales para los actuadores. Submódulo de visualización que Emplea una de las características propias del sistema Microgrades, que facilita la aplicación de una pantalla LCD con el fin de visualizar el correcto funcionamiento de las variables del programa [11], [16], [18], [19].

B. El submódulo de comunicación

Transmite al Módulo de Tijera tres valores, por medio de tres variables tipo byte. El primer byte corresponde a la señal de activación que se da cuando el valor decimal de la variable "activación" es igual a uno (ACTIVACION=1). El segundo byte corresponde a la altura a la que se desea elevar la tijera, el rango de valores decimales que puede tomar la variable ALTURA va desde 1 hasta 4 que corresponden a las cuatro alturas en las que está dividido el trayecto de la tijera. El último byte, representa el estado actual del módulo central y cada uno de sus bits representa una característica de funcionamiento.

C. Submódulo de Control de Movimiento

Consiste en un algoritmo que recibe los pulsos entregados por los encoders de giro, y los direcciona con el fin de incrementar una serie de registros. Los valores resultantes de los registros, representan los desplazamientos de cada uno de los motores, y al manipular la información recolectada en los registros se determina la distancia recorrida por cada una de las ruedas de tracción que posee el vehículo. La magnitud del movimiento de los encoders es determinada basándose en la cantidad

de divisiones y los diámetros de las ruedas. La resolución del encoder es equivalente a 96 pulsos por vuelta y el diámetro de la rueda es de 10.4cm donde el perímetro es $\pi * 10.4 = 32.67 \text{cm}$. Este valor se divide en la resolución ofrecida por el encoder, de lo que se obtiene: $\frac{32.67}{96} = 0.34 \text{cm}$. El submódulo de control de movimiento genera órdenes correspondientes al sentido en el cual se debe desplazar el robot, para comunicarlás al submódulo de control de motores. Debido a las características mecánicas y funcionales del prototipo se definen tres únicas formas de movimiento: adelante, giro a izquierda, giro a derecha. Otra función del submódulo de control del movimiento, es controlar la rotación de los motores, al compensar las diferencias de velocidad propias de los mismos, y optimizar el desplazamiento de los dos motores para que recorran la misma cantidad de espacio. Esto garantiza que los desplazamientos hacia delante de la plataforma robótica se hagan en línea recta. El algoritmo de control que realiza esta acción, es representado por el diagrama de flujo, en donde se puede observar que la comparación entre los registros de desplazamiento alteran el valor de PWM1 y PWM2 que controlan la velocidad de cada uno de los motores, como se observa más adelante en el submódulo de control de motores.

D. Submódulo de Detección de Obstáculos

Está compuesto por siete sensores de ultrasonido, ubicados en la parte frontal, lateral derecha e izquierda de la plataforma robótica, con el fin de detectar los elementos estáticos que se crucen en la trayectoria trazada por el usuario o sistema de navegación. La función principal del prototipo es comunicarse con un sistema de navegación más complejo, el robot no altera la trayectoria de manera autónoma, de tal manera que la plataforma sólo detecta los obstáculos deteniéndose a una distancia adecuada de los mismos y restringiendo el movimiento en las direcciones en las que se detecte un obstáculo. Las decisiones en cuanto a la trayectoria, dependen del algoritmo de navegación conectado al sistema o del usuario al mando del prototipo. El circuito de sensores presenta mayor eficiencia al aislarse completamente del sistema de control. El pulso de activación que genera es de 9 voltios DC, razón por la cual se aísla completamente la señal de los sensores por medio de opto aisladores TIL113. La disposición de

los ultrasonidos está conformada por tres grupos ubicados estratégicamente en los extremos frontal, izquierdo y derecho del prototipo. Las señales de cada grupo pasan por una compuerta OR, con el fin de obtener tan solo una señal correspondiente a cada uno de los flancos detectados. Este submódulo recibe la señal de cada uno de los flancos. Únicamente en el caso en que se detecte un obstáculo en el avance frontal, el submódulo envía una orden de detención, con el fin de evitar la colisión con éste. Si el vehículo se encuentra detenido y realiza una detección en cualquiera de los flancos sensados, restringe cualquier orden que represente una colisión frontal, es decir que restringe órdenes de giro o avance en el sentido en el que se encuentre el obstáculo.

E. Submódulo de Control de Motores

Está compuesto por los dispositivos que interactúan con el microcontrolador central, para realizar la activación, direccionamiento y control de velocidad de los motores que movilizan la plataforma. Con base en las instrucciones recibidas por el submódulo de detección de obstáculos y control de movimiento, este submódulo transforma las instrucciones de girar izquierda, giro derecha y avance frontal a una combinación de bits direccionados a las entradas de control de los "puentes H" de cada motor. Las órdenes que definen cada una de las entradas del puente están formadas por la señal de PWM y el estado de un bit. Para unificar estas órdenes en una sola, se utiliza una compuerta AND, que garantiza que cuando estas dos señales se cumplan, solo se activará el sentido programado. Para optimizar estas salidas es necesario amplificar la corriente por medio del uso de transistores, para generar así un dato adecuado para el puente H.

F. Módulo Plataforma Ascendente / Descendente

Tiene como función el control del movimiento de la tijera de acuerdo con los datos recibidos del módulo central y a su vez sirve de puente de comunicación con el módulo de interfaz o el sistema de navegación para lograr una realimentación del sistema. La plataforma ascendente/descendente funciona asistida por un actuador consistente en un motor DC controlado por un circuito Puente H. El motor transfiere movimiento a un tornillo de potencia que es el que proporciona la movilidad al mecanismo de tijera. La cantidad de rotación

del tornillo es medida por medio de un encoder de giro de tipo incremental que realimenta la unidad de control de este módulo, con el trabajo del motor. El módulo central transmite tres instrucciones correspondientes a la señal de activación, el nivel de altura deseado y una tercera instrucción que indica el estado actual del módulo central, con el fin de retransmitirlo al módulo de interfaz o de navegación. La señal de activación consiste en un dato específico que indica al módulo de tijera que puede iniciar su funcionamiento. Una vez iniciado, la plataforma asciende hasta alcanzar un nivel de altura correspondiente al segundo dato enviado por el módulo central. Una vez la tijera alcanza el nivel deseado, espera la detección de la carga que debe transportar el robot móvil. En el momento en que se detecta, la plataforma espera 1.5 segundos e inicia el descenso de la misma hasta el nivel inicial. Ver Figuras 15, 16, 17, 18, 19 y 20. Al llegar a este nivel, se transmite la señal de “terminado” al módulo central por medio de un bit externo y la plataforma cesa su funcionamiento hasta la próxima señal de inicio [10].

V. MODELAJE Y DISEÑO DE LA INTERFACE HOMBRE MÁQUINA

La finalidad de la interface hombre máquina HMI (HMI Human Machine Interface) es emular las instrucciones generadas por el sistema de navegación externo reemplazándolas por instrucciones ingresadas directamente al sistema por un usuario. El módulo de interfaz traduce las instrucciones del usuario y las comunica al módulo central por medio de un protocolo serial asíncrono. Sin embargo, su aplicación es opcional y no entra en los objetivos esperados por el prototipo. Este módulo es controlado por un microcontrolador Motorola GP32, el cual está asociado con un teclado, que recibe la acción deseada por el usuario y la magnitud de la misma, también contiene una LCD la cual permite visualizar el menú de acciones que puede ejecutar. El microcontrolador emplea las funciones incorporadas del sistema operativo Microgrades para la recepción por teclado y la transmisión por pantalla de los datos, además de empaquetarlo y enviarlos por medio de comunicación serial. El funcionamiento de la HMI consiste en un menú interactivo que permite al usuario ingresar una acción a la vez, y su respectiva magnitud para luego enviarla de manera serial [16], [18]. Ver Figura 21.

A. Utilización de la interface de control

El menú se inicia al encender el dispositivo de interfaz, con un mensaje en pantalla para que el usuario ingrese la acción deseada. Las teclas resaltadas en color amarillo son las correspondientes a las acciones adelante, izquierda, derecha y activar tijera, y son las únicas teclas habilitadas en este estado. Al pulsar la opción “adelante” (↑) el menú habilita las teclas numéricas para ingresar la magnitud en metros del desplazamiento. Pulsando la tecla “envía”, previo el ingreso de la magnitud del avance, la interfaz envía el dato visualizado en pantalla y espera la próxima instrucción del usuario. Al pulsar la opción girar (izquierda o derecha ← →) el menú habilita las teclas numéricas para ingresar la magnitud en grados para determinar la cantidad de giro en el sentido indicado. Pulsando la tecla “envía”, previo el ingreso de la magnitud del giro, la interfaz envía el dato visualizado en pantalla y espera la próxima instrucción del usuario. Al pulsar la opción “tijera”, el menú habilita las teclas numéricas para ingresar el nivel de altura deseado por el usuario representados en valores del 1 a 4. Pulsando la tecla “envía”, previo el ingreso del nivel de altura, la interfaz envía el dato visualizado en pantalla y espera la próxima instrucción del usuario. En cualquiera de las acciones posibles el ingreso incorrecto de una magnitud genera un mensaje de error que indica los rangos de valores permitidos por la interfaz, cancela los valores ingresados y espera el ingreso de una nueva instrucción. Los rangos de valores permitidos para cada acción son: A lo largo del funcionamiento de la interfaz la tecla de orden “PARA” permanece activa con el fin de detener cualquier acción realizada por el prototipo voluntaria o accidentalmente, la orden “PARA” cancela todo tipo de desplazamiento o giro en proceso y borra las variables anteriormente ingresadas. Ver Figuras 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30 y 31.

VI. CONCLUSIÓN

Este proyecto presenta el modelo, el diseño y la simulación en ambiente virtual de un prototipo de robot móvil provisto de plataforma de ascenso/descenso para el transporte de piezas en superficies irregulares. El robot móvil es un equipo mecatrónico que integra un sistemas mecánico

compuesto por el chasis, un sistema de transmisión y potencia, y una plataforma dinámica para el transporte y posicionamiento de los objetos. Se analizaron tres alternativas de mecanismos de ascenso/descenso para identificar la de mejor comportamiento. Como complemento, se diseñó un sistema electrónico, constituido por un módulo central con microcontrolador integrado por subsistemas de control de movimiento de la plataforma, sistema de comunicaciones, sistema de evasión de obstáculos, sistemas de sensores internos y externos. Este sistema electrónico comprende también dispositivos electrónicos internos de detención y externos como la interface electrónica Hombre/Máquina para verificar la funcionalidad del sistema autónomo robotizado en ambiente virtual. Este proyecto desarrolla modelaje y diseño interdisciplinario de ingeniería mecánica e ingeniería electrónica para constituir un prototipo en ambiente virtual y desarrolla la interacción sinérgica de software especializado de modelaje y simulación virtual del sistema mecatrónico de robot móvil.

REFERENCIAS

- [1] Arkin, A. "Behaviour-based robotics", Cambridge, the MIT Press, 1998
- [2] Baumeister III, Theodore, Avallone, Eugene A., Baumeister, Theodore, Marks Manual del Ingeniero Mecánico, Colombia 1982. Octava Edición, Segunda edición Traducida
- [3] Beer, Ferdinand P., Jhonston, Russell. Mecánica de materiales. McGraw Hill. México 2004. Tercera Edición
- [4] Beer, Ferdinand P., Jhonston, Russell. Mecánica Vectorial para Ingenieros Dinámica. McGraw Hill. México 1997. Sexta Edición
- [5] Carvajal Rojas, J. H. Modelamiento y diseño de robots industriales. Universidad de La Salle, Bogotá, D. C. Colombia, 2007. 390 páginas. ISBN 958929074-4
- [6] Carvajal Rojas, J. H. Robótica: Aproximación al diseño mecatrónico. Universidad del Atlántico, Barranquilla, Atlántico, Colombia, 2000
- [7] Delgado y Lozano. "Robots: el sueño inalcanzable de Pigmalión", Artículo tomado de "El Semanal" España, Enero, 1999
- [8] Hibbeler, R. C. Mecánica de materiales. Prentice Hall. México 1997. Tercera Edición
- [9] Hibbeler, R. C., Ingeniería Mecánica Dinámica. Prentice Hall México 1995. Séptima Edición
- [10] Levine, M. "Vision in man and machine", New York: McGraw Hill, 1985
- [11] Motorola, Hcmos Microcontroller Unit, Technical Data
- [12] Mott, Robert L. Diseño de Maquinas. México 1990, Prentice Hall. Capítulo 18. Segunda Edición
- [13] Norton, Robert L. Diseño de Máquinas. México 1990, Prentice Hall
- [14] Rosheim, M. "Robot evolution: the development of an robotics", New York: John Wiley & Sons, Inc. 1994
- [15] Shigley J. E. and Mischke Ch. R. Standard handbook of machine design. McGraw Hill Inc. NYC. 1986
- [16] Urdiales A. Bandera y Otros. Departamento de tecnología electrónica E.T.S.I. Telecomunicación, universidad de Málaga, Campus de teatinos
- [17] Vega Arévalo, C. M. and Téllez Garay, J. P. Modelo y diseño de un robot móvil para transporte. Trabajo de Grado. Ingeniería de Diseño y Automatización Electrónica. Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia. 2005
- [18] Zalzala, A. y Otros. "Neural networks for robotic control: theory and applications", Londres: Ellis Horwood, 1996

DIAGRAMA 1. METODOLOGÍA DE DISEÑO MECATRÓNICO

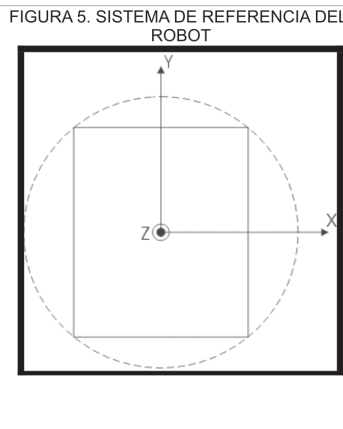
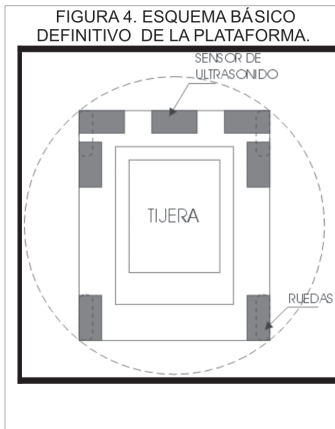
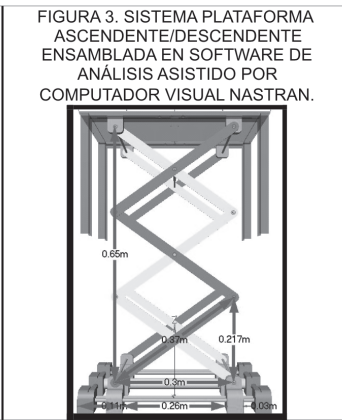
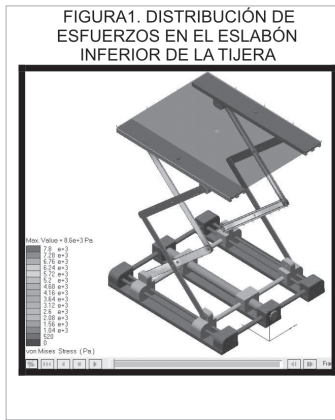
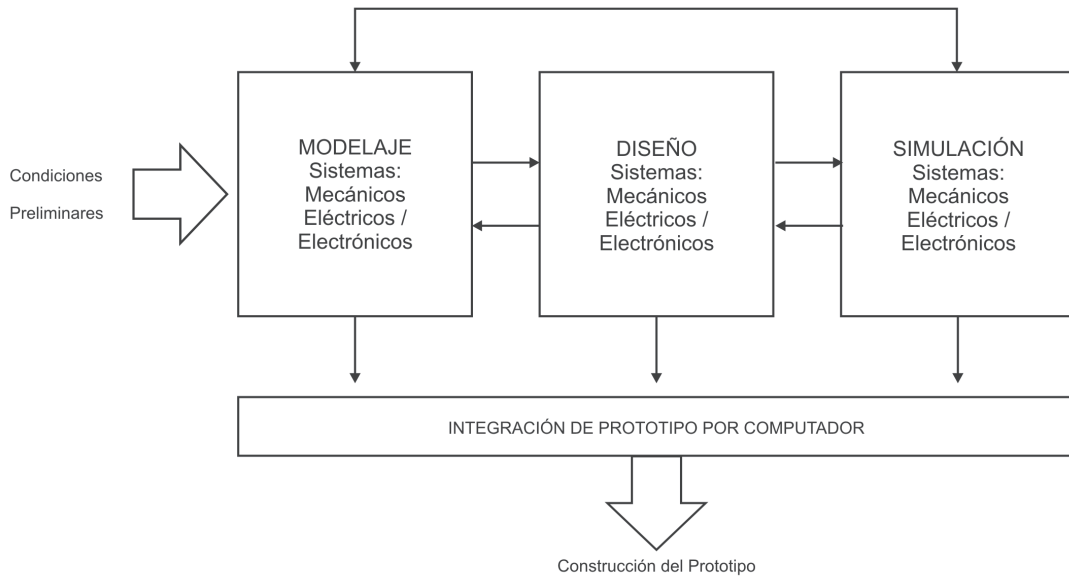


FIGURA 7. POSICIÓN DE LOS MOTORES EN EL ROBOT EN DIAGONAL

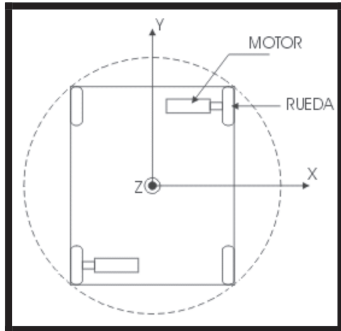


FIGURA 8. DIAGRAMAS DE FUERZA QUE SE PRESENTAN EN UNA LLANTA.

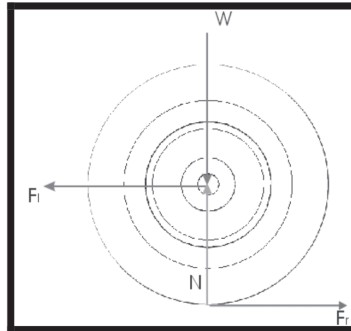


FIGURA 9. DIAGRAMA DE FUERZAS CUANDO EL ROBOT SUBE UNA PENDIENTE

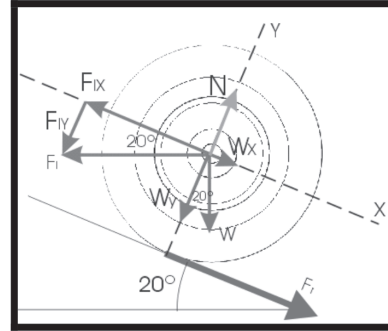


FIGURA 10. DISTRIBUCIÓN DE ULTRASONIDOS EN EL ROBOT

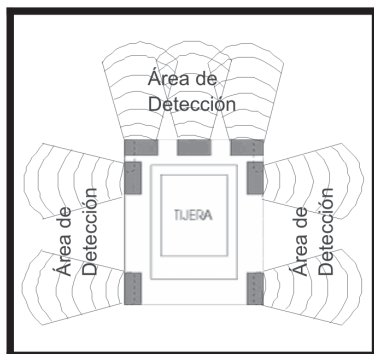


FIGURA 11. TECLADO MATRICIAL TIPO ASCII Y ESQUEMA DE LA DISPOSICIÓN DE LOS 16 PULSADORES.

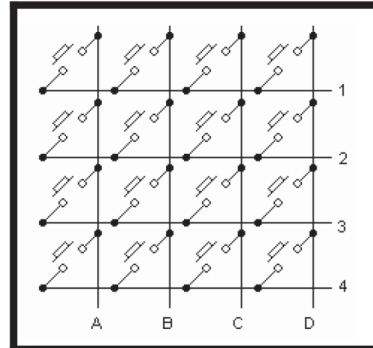


FIGURA 12. ENCODER ABSOLUTO

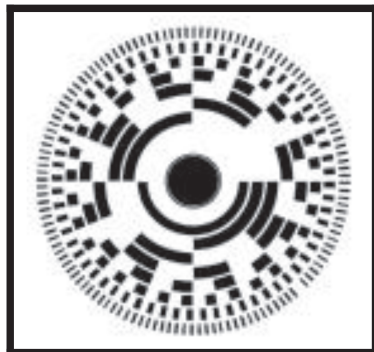


FIGURA 13. ENCODER INCREMENTAL

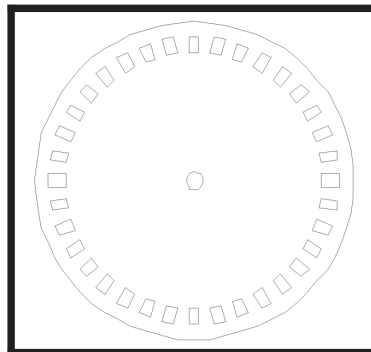


FIGURA 14. CIRCUITO ELECTRÓNICO PUENTE H

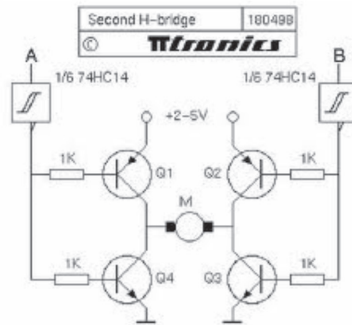


FIGURA 15. ESQUEMA DE COMUNICACIÓN ENTRE LOS MICROCONTROLADORES.



FIGURA 16. ESQUEMA GENERAL DE LAS UNIDADES DE CONTROL.

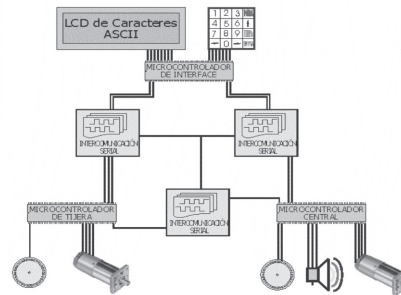


FIGURA 17. ESQUEMA DE INTERACCIÓN ENTRE SUBMÓDULOS QUE COMPONEN EL MÓDULO CENTRAL.

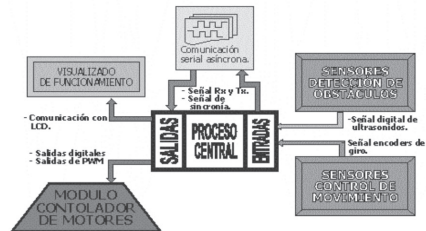


FIGURA 18. INTERCOMUNICACIÓN DEL MÓDULO CENTRAL Y VARIABLES COMPARTIDAS.

