

Diseño e Implementación de un Prototipo de TGV

Orientado a la Aplicación en

Sistemas Telerrobóticos

con Capacidad de
Exploración y Mapeo

Recepción: 2011-06-10 | Aceptación: 2011-08-12

Para citar este artículo / To reference this article / Para citar este artigo
Rodríguez, C. D., Martínez, T. L., Pardo, B.C (2012). Diseño e Implementación de un Prototipo de TGV Orientado a la Aplicación en Sistemas Telerrobóticos con Capacidad de Exploración y Mapeo. Ingenio Magno. Vol.3, pp. 117-125. Universidad Santo Tomás Tunja - CIIAM.

Resumen— La ubicación y el movimiento de los robots móviles es uno de los más grandes sub campos en la investigación robótica, este elemento tiene como objetivo dar al sistema robótico las herramientas necesarias para las actividades autónomas. En el caso particular para el desarrollo del proyecto, se quiere construir un sistema de tele-robótico para la exploración y la cartografía de entornos estructurados como los pisos de los edificios, para generar las rutas de escape. La telerrobótica es una técnica de teleoperación avanzada, donde un mecanismo puede funcionar de forma autónoma, sin la supervisión de un operador por cortos períodos de tiempo, su enfoque principal es el desarrollo de robots operados desde la distancia especialmente en zonas remotas, de difícil acceso o con riesgo para la integridad física de las personas (Gómez de Gabriel, 2006). Hoy en día el desarrollo de los sistemas de telerrobótica se han convertido en un fuerte campo en el que se combinan las habilidades del ser humano y la máquina para obtener respuestas eficaces del sistema, por eso es muy importante proporcionar información precisa al operador del sistema, porque la respuesta del robot en el campo depende en la instrucción dada por él; para lograr este objetivo es necesario tener presente la calidad de los dispositivos utilizados y los sistemas de comunicación en tiempo real y el sistema de comunicación. En este trabajo se muestra la descripción y los resultados de desarrollo y la implementación de un prototipo de la estación de tele-robótico y la estructura del móvil, para monitorizada el rendimiento del vehículo robótico y desarrollo del prototipo de robot móvil mecánico.

Palabras clave— Descripción de terrenos, Exploración terrestre, Monitoreo Inalámbrico, Robot móvil, Telemetría, Telerrobótica.

Rodríguez Caro. Daniel – Martínez Tejada.
Laura – Pardo Beainy. Camilo
Facultad de Ingeniería Electrónica Universidad
Santo Tomás Seccional Tuja Grupos de
investigación Gitelcom - Ginscon.

Abstract— The location and motion of mobile robots is one of the biggest sub fields in robotic research, this element aims to give to the robotic system the tools to autonomous activities. In our particular case we want to build a telerobotic system to the exploration and mapping of structured environments as buildings floors, to generate escape routes. The telerobotic is an advance teleoperation's technique where a mechanism can function in autonomous way, without an operator's supervision, for short time periods; its principal approach is the development of robots operated from the distance specially in remote zones, of difficult access or with risk of human injured (Gomez de Gabriel, 2006). Nowadays develop of telerobotics' systems have become in a strong field where are combine skills from the human and the machine to obtain efficient responses, that's why is very important to provide with accurate information to the system's operator because the response of the robot in field depends on the instruction given by him, to accomplish this goal is necessary to have present the quality of the devices used and the communication systems in real time and the self-communication system. This paper shows the description and the results of develop and the implementation of a prototype of the telerobotic station and robot, to monitor the performance of a tracked robotic vehicle and develop of the mechanical mobile robot prototype.

Keywords— Field Description, Ground Exploration, Mobile robot, Telemetrics, Telerobotic, Wireless Monitory.

I. INTRODUCCIÓN

El desempeño autónomo de robots en ambientes desconocidos es uno de los aspectos más complejos de estudio en la robótica móvil, ya que las variables propias de los ambientes de estudio cambian constantemente, lo que impide tomar decisiones de manera rápida y acertada para el desarrollo de las tareas programadas en el robot, es por esto que la inclusión de un operador se hace necesaria para el monitoreo de la interacción del dispositivo con el entorno de trabajo. El operador utiliza sistemas electrónicos complejos que combinan la instrumentación, el control y las telecomunicaciones para monitorear, supervisar e interactuar con las tareas ejecutadas en el campo de trabajo por el robot. A partir de estas tecnologías es posible crear sistemas de teleoperación donde los sistemas de comunicación y los dispositivos de recolección y procesamiento de los datos se convierten en herramientas fundamentales para garantizar la calidad de los procesos que se llevan a cabo.

Para la implementación eficaz de este tipo de sistemas se debe tener en cuenta el rendimiento de los diferentes dispositivos tanto electrónicos como mecánicos en tiempo real, ya que esta característica es la que garantiza que la orden impartida por el operador se ejecute inmediatamente por el robot móvil. El objetivo principal del proyecto es construir un prototipo de TGV (Teleoperated Ground Vehicle- Vehículo Terrestre Teleoperado), capaz de responder a las necesidades de exploración en principio de ambientes controlados donde se garanticen la eficacia de las tareas llevadas a cabo por el robot evitando problemas como los retardos de comunicación

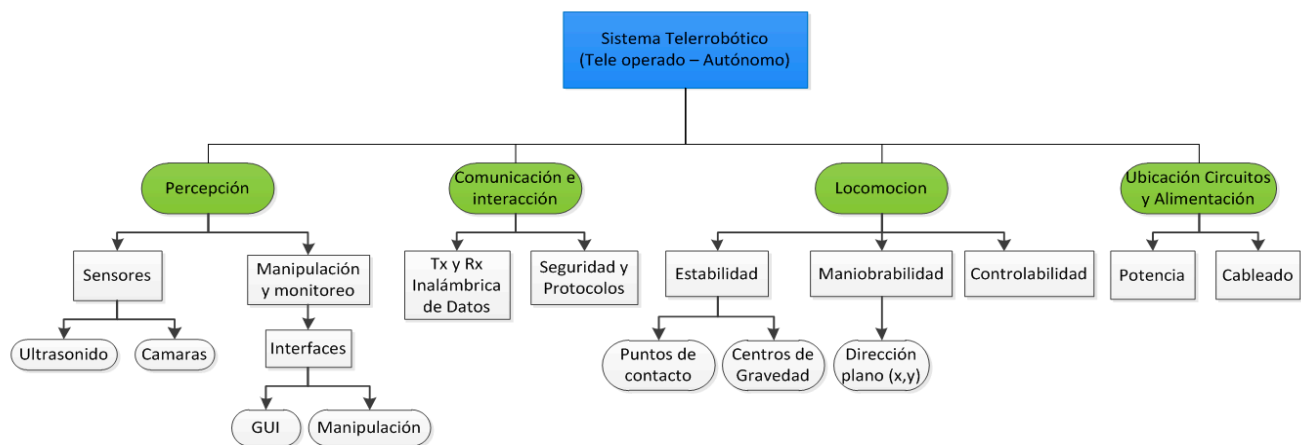
y el bajo nivel de procesamiento de información en tiempo real. En esta primera etapa del proyecto se enfocan los desarrollos en el diseño y la implementación de la estación base para monitoreo de las actividades de exploración del móvil. El prototipo de TGV se desarrolla principalmente para realizar actividades de mapeo en áreas urbanas controladas, con el fin de obtener información de las condiciones del ambiente y plasmarlos virtualmente, de manera que sea posible emular el sitio de trabajo del robot y realizar diagnóstico o supervisión. Para esto es necesario que la información adquirida de campo sea lo más precisa posible.

II. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA TELERROBÓTICO

Todo sistema de telerrobótico cuenta con dos elementos importantes para su implementación, el primero es el dispositivo teleoperado el cual puede ser un robot móvil o un robot articulado que cumple una tarea específica en un ambiente donde una persona no puede desempeñar un trabajo, y la segunda es la estación de teleoperación la cual permite al operador desde una posición remota y libre de riesgo, monitorear el desempeño del robot e interactuar con su ambiente de trabajo.

El esquema de los elementos básicos a considerar en el diseño y la implementación de un sistema telerrobótico se muestra en la figura 1 el cual representa las etapas de implementación del prototipo a desarrollar:

Fig.1. Elementos básicos para el desarrollo del prototipo.
Fuente: Autores



Para la construcción del sistema telerrobótico se plantearon cuatro etapas. La primera etapa es la implementación de la estación base para el monitoreo, en donde se requiere la selección y adecuación de los diferentes sensores que permiten obtener datos con respecto a la orientación, la inclinación, la aceleración y la distancia a objetos con respecto al ambiente de trabajo en el que se encuentra, y de la interfaz de monitoreo y operación que permitirán adquirir la información necesaria y visualizarla en una interfaz gráfica de usuario, también es necesaria la implementación de un dispositivo de manipulación para determinar el comportamiento del vehículo con respecto a los movimientos generados desde este por el operador.

La segunda etapa consiste en el diseño e implementación de los sistemas de comunicación que permiten respaldar la veracidad de los datos transmitidos y la distancia de separación entre la estación y el vehículo. La tercera etapa se enfoca en el diseño y construcción de la estructura mecánica del móvil, la cual debe responder a la necesidad de desplazamiento del terreno a explorar, y por último la disposición de los diferentes circuitos que se disponen para su buen funcionamiento.

III. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA ESTACIÓN DE TELE OPERACIÓN

A. Instrumentación y comunicación inalámbrica:

La percepción es una parte fundamental en el desarrollo de la robótica móvil, ya que es por medio de esta que se adquieren las variables necesarias para determinar las condiciones del móvil y el estado del ambiente de trabajo. Para el desarrollo de la primera etapa del prototipo se adquirió información de sensores de distancia, inclinación y orientación, que permitirán en la etapa de control, determinar y acondicionar el desempeño del móvil con respecto a las variables del medio. En la figura 2 se observa una imagen de los sensores implementados en el móvil.

- **Ultrasonido:** Funciona por medio de un transmisor de paquete de ondas de 40 kHz para medir el tiempo que le toma a las ondas reflejarse y retornar al receptor. La distancia del objeto que causa la reflexión puede ser calculada basada en la velocidad de propagación del sonido y el tiempo de vuelo. El sensor SRF08 (Fig. 2. a.) es un medidor ultrasónico de distancias que se conecta mediante un bus I2C. Con una alimentación única de 5V, requiere 15 mA, para funcionar

y 3mA mientras esta en reposo. Incluye además una fotorresistencia que permite conocer el nivel de luminosidad usando igualmente el bus I2Cy sin necesidad de recursos adicionales.

- **Acelerómetro:** Son transductores que otorgan una salida proporcional a la aceleración, vibración y choque. Cuando una estructura se mueve esta experimenta aceleración. La medición de esta aceleración ayuda a comprender mejor las características dinámicas que rigen el comportamiento del objeto. Modelar este comportamiento otorga una variable como herramienta técnica que puede ser usada para modificar respuesta, mejorar la resistencia, mejorar la durabilidad y reducir el ruido y las vibraciones asociadas (Wilson, 2005). El MMA7361L (Fig. 2. b.) es un acelerómetro de baja potencia, de bajo perfil capacitivo micro mecanizado, con acondicionamiento de señales, un filtro de 1 polo pasa bajos, compensación de temperatura, autocontrol, detector 0g para protección en caída libre y selector de g que permite la selección entre dos sensibilidades. Posee bajo consumo de corriente: 400µA, y en modo reposo: 3µA, tiene bajo consumo de voltaje: 2.2V – 3.6V.



c) compás electrónico.



b) Acelerómetro



a) Sensor de ultrasonido

Fig. 2

- **Compas:** Las propiedades magnéticas pueden ser usadas para determinar posición detectando la presencia, la fuerza o la dirección del campo magnético. Los sensores magnéticos pueden ser utilizados para medir estas propiedades sin contacto físico (Wilson, 2005). CMPS09 (Fig. 2. c.) módulo es un compás de inclinación compensada. Empleando un magnetómetro de tres ejes y un acelerómetro de 3 ejes y un potente procesador de 16 bits, el CMPS09 ha sido diseñado para eliminar los errores causados por la inclinación de la placa. La salida de los tres sensores que miden los componentes X, Y y Z del campo magnético, junto con la inclinación y balanceo se utilizan para calcular el rumbo. El módulo CMPS09 requiere una fuente de alimentación de 3,3 - 5 V y establece una corriente nominal de 25mA.

La adquisición de los datos de cada sensor se hace a través del protocolo de comunicación I2C, que es soportado por cada uno de los dis-

positivos, y son adquiridos por un dsPIC el cual se encarga de la distribución y adecuación de la información para ser transmitida a la estación. El dsPIC utilizado para esta aplicación es el 30F4011 cuya distribución de pines se muestra en la figura 3, permite incrementar la velocidad de procesamiento de información que es enviada y recibida del computador.

Algunas de las características del dsPIC 30F4011:

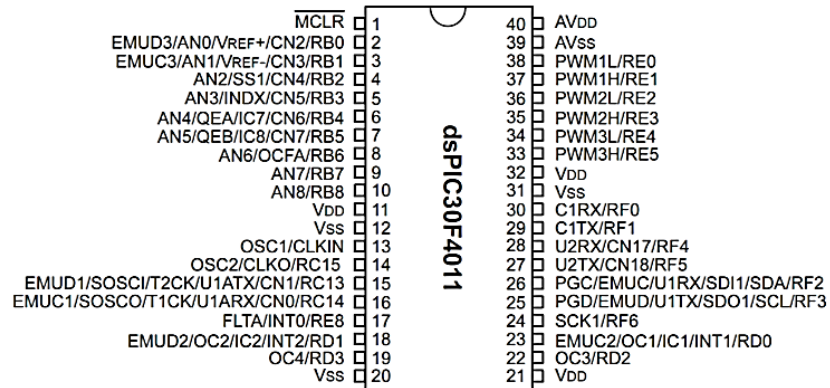


Fig. 3. distribución de pines dsPic 30F4011. Fuente: dsPIC30F4011/4012 Data Sheet

- Alto rendimiento con CPU RISC Modificada: Arquitectura Harvard modificada, arreglo de registros 16 x 16 bits, operación de 30 MIPS.
- Características de periféricos: Contadores de hasta 16 bits, Funciones de captura de 16 bits, Módulos de comunicación I2C con direccionamiento de 7 y 10 bits
- Características análogas: Conversores análogos digitales de 12 bits, 13 canales de conversión.

La transmisión de los datos de los sensores se logra a través de la construcción de una trama de comunicación, la cual incorpora un arreglo de bytes que contienen todos los datos de los sensores dispuestos en el móvil y un sistema de cabeceras y tráiler para la delimitación de la misma. Este arreglo de bytes es enviado a través de los módulos de transmisión por radio frecuencia MaxStream 09, que proporcionan un alcance con línea de vista de hasta cien metros (100 m) enviando los datos de manera serial asíncrona, a la estación remota los cuales serán visualizados en un entorno gráfico construido en LabVIEW™.

La interfaz de prueba de acondicionamiento y de funcionamiento de los sensores se puede apreciar en la figura 4, donde se define el tiempo de muestreo para adquirir los datos del dsPIC en el programa desarrollado en LabVIEW™.

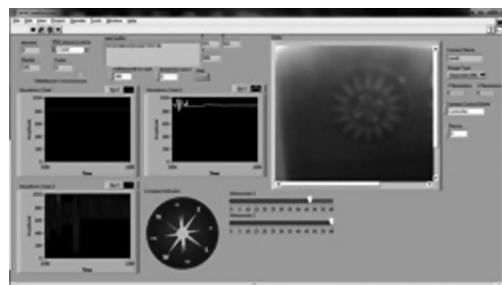


Fig. 4. Interfaz gráfica de prueba. Fuente: Autores



Fig. 5. Dispositivos utilizados para la obtención de video de forma remota. Fuente: Autores

A. Caracterización e implementación del dispositivo manual de control:

Las unidades manuales de control como los joysticks o los controles, son dispositivos que de forma manual (por el sentido del tacto) permiten reflejar las acciones del operario a ambientes virtuales, como la posición por medio de palancas o pulsadores. Para esto el dispositivo a emplear debe tener dos grandes características: capacidad de movimientos en 2D o 3D para determinar la dirección del desplazamiento del móvil y la sensibilidad, que le otorga al operador la capacidad de replicar los pequeños cambios aplicada al dispositivo.

Para el diseño y la implementación del sistema se empleó un joystick Genius Max Fighter F-23U V2 mostrado en la figura 6, como dispositivo manual de entrada, el cual tendrá la posibilidad de replicar la dirección deseada para el móvil con respecto a un plano cartesiano en dos dimensiones, y la velocidad con respecto a la inclinación del mismo. Este control responde a un comportamiento proporcional.

La caracterización del comportamiento del joystick se realiza de manera que se pueda identificar las variables que se desean manejar, se utilizó el software de programación LabVIEW™ el cual nos permite observar en forma numérica los rangos máximos de operación del joystick con respecto a los ejes y a su inclinación. De acuerdo a los datos obtenidos, se determinó el comportamiento del joystick dentro de los siguientes rangos cualitativos:

- Dirección y sentido: se definieron cinco opciones de dirección indicadas por Adelante (Front), Derecha (Right), Izquierda (Left), Atrás (Back) e Inactivo (Stop).
- Velocidad: Para las direcciones Front, Right, Left y Back, se dispone de siete opciones de velocidad, las cuales se reflejarán en un aumento proporcional del ángulo de inclinación manejado por el joystick.

Para la transmisión de esta información al vehículo, se dividió el eje coordenado del joystick en 14 posibilidades tanto en el eje de las abscisas (X) como en el eje de las ordenadas (Y), y a cada uno se le asignaron cuatro bits en formato hexadecimal, los cuales se integran en 1 byte que contiene en su parte alta las informaciones del eje coordenado X y en su parte baja la información correspondiente al eje coordenado Y, designadas por el comportamiento del joystick, en la tabla I se observa los valores asignados a cada posición:

En la figura 7 es posible observar un ejemplo de la asignación de valores de los ejes del joystick,

Coordenada	Valor Hexadecimal
x0,y0	0 y 8
x1,y1	1
x2,y2	2
x3,y3	3
x4,y4	4
x5,y5	5
x6,y6	6
x7,y7	7
x-1,y-1	9
x-2,y-2	A
x-3,y-3	B
x-4,y-4	C
x-5,y-5	D
x-6,y-6	E
x-7,y-7	F

Tabla I
Valores asignados a los ejes coordenados de la interface manual



Fig. 6. Joystick Genius Max Fighter F-23U V2 implementado en el sistema.
Fuente: Genius Official web site.

con la división del byte en el cual se integra la información tanto de dirección como de velocidad.

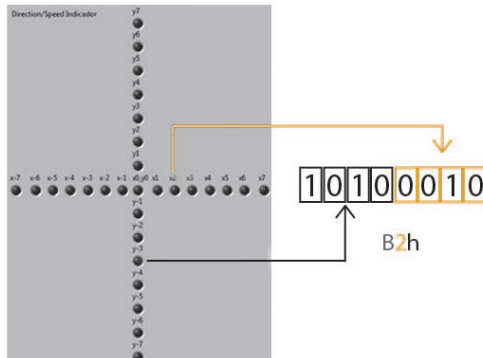


Fig. 7. Ejemplo de distribución del byte que describe el comportamiento del joystick con respecto al movimiento en los dos ejes

lor, número de pulsadores y el valor inicial de las coordenadas X, Y, Z. El ajuste de los parámetros del joystick se realiza por medio de dos controles deslizantes tanto para el eje x como para el eje y, ubicados en la parte posterior del dispositivo.

Se dispuso de una gráfica cartesiana XY en la cual es posible visualizar un punto que indica el valor en el que se encuentra el joystick en el momento de establecer sus parámetros iniciales antes de empezar a trabajar con el sistema. Mientras que el punto se encuentre visualizado en la gráfica, se garantiza que el sistema opera entre valores ideales y no existan problemas en la concordancia de los datos. Para las secciones de los valores de la cámara y de la comunicación, se disponen indicadores numéricos que muestran al operario características como el tipo de imagen obtenida por la cámara, la resolución, el puerto serial por el cual se realiza la comunicación, la velocidad de la misma, y los datos de los sensores.

B. Interfaz Gráfica de Usuario:

La interfaz de usuario es la herramienta por la cual el operador es capaz de monitorear las actividades del móvil por medio de indicadores que reflejan de manera gráfica los valores de los sensores dispuestos en el móvil, para el diseño se implementaron dos paneles, uno de ajuste y uno de visualización:

1. Panel de ajuste: Para asegurar un correcto funcionamiento del sistema y que la información suministrada al operador sea verídica, se dispuso un panel de ajuste en el cual se muestra la información referente a dispositivos como el joystick, la cámara inalámbrica y la comunicación entre el vehículo y la estación como el que se muestra en la figura 8.

Los valores del joystick son mostrados de manera gráfica donde se presentan al operario las características del dispositivo manual como: el nombre del dispositivo, número de ejes y su va-

2. Panel de visualización: La distribución del panel es posible observarla en la figura 9, En el cual se han dispuestos todos los indicadores correspondientes a los datos de las variables adquiridas y transmitidas desde y hacia el móvil, las cuales se dividen en tres grupos:

a. Monitoreo: Indicadores que visualizan las variables: La orientación del móvil, la inclinación con respecto al terreno, la distancia a la cual se encuentra de los objetos y la temperatura ambiente para el ajuste de los valores del sensor ultrasónico.

b. Operación: Indicadores que visualizan las instrucciones del operador a transmitir hacia el móvil, esta sección comprende un arreglo de LEDs que proyectan la dirección tanto horizontal

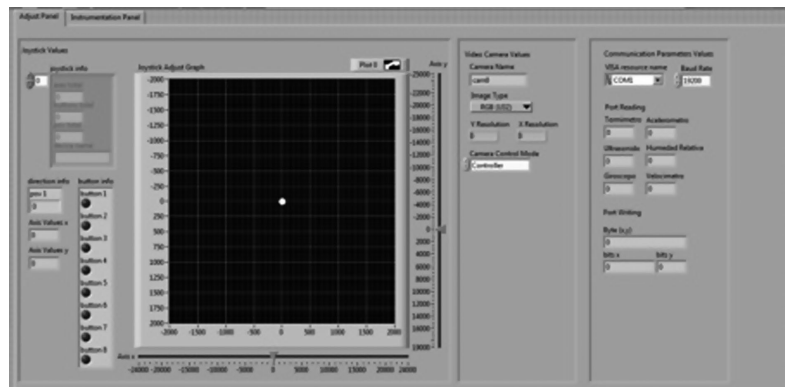


Fig. 8. Panel de ajuste del sistema.

como vertical en la que se quiere que se mueva el robot y un velocímetro que indica la velocidad con la que se quiere desplazar al móvil.

c. Visualización de video: se realiza en tiempo real, lo cual le permite al operador observar el terreno por el cual se está desplazando en móvil, otorgando datos más exactos de la descripción del entorno y de las condiciones del mismo para posterior procesamiento y detección de: bordes, colores y formas regulares.

IV. DISEÑO DEL PROTOTIPO DE ROBOT MÓVIL

Ya habiendo definido el terreno de actividad donde se desenvolverá el robot, se diseña la estructura y el sistema mecánico teniendo en cuenta que se busca que este pueda sortear cualquier tipo de obstáculo y tenga buena movilidad en cualquier tipo de terreno. Para la construcción del mismo se utilizan piezas VEX™, ya que permiten de manera sencilla la construcción de robots modulares, que se adapten a los diseños preestablecidos. El diseño de la estructura se apoyó en el software Solidworks™, al cual se le incorporan las librerías que contienen los componentes VEX en la figura 10 es posible observar es esquema de la base trabajada en Solidworks™.

Se quiso construir una estructura tipo oruga, la cual aparte de la estructura principal tuviera dos brazos que se comportaran como palancas de apoyo para sortear obstáculos de altura no mayor a 20 cm, para involucrar el movimiento de las orugas de la estructura principal con las de los brazos móviles, se fijó un punto de apoyo donde tanto las orugas de la base como las de los brazos compartieran dos motores (uno para cada lado) para su movilidad, en la parte central de la estructura alineada con estos dos motores está el punto de giro para la movilidad de los brazos del robot. En la figura 11 es posible observar la estructura mecánica del robot móvil las diferentes posiciones que pueden tomar los brazos.

V. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Los sistemas telerrobóticos son de gran importancia en áreas como la exploración de ambientes, supervisión de tareas, la milicia y en la medicina, ya que integran la precisión de los sistemas robóticos, con la capacidad de razonamiento de los operadores. Como tema de investigación son un campo de bastante complejidad debido a los métodos de control aplicados para regular la respuesta de los dispositivos robóticos en entornos desconocidos y poco predecibles.

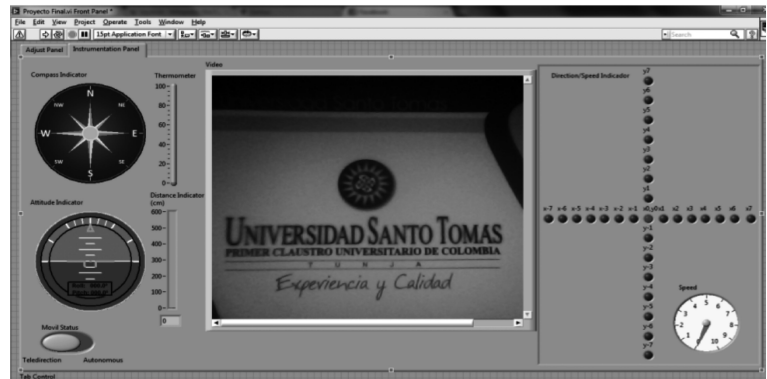


Fig. 9. Panel de visualización de las variables del sistema.

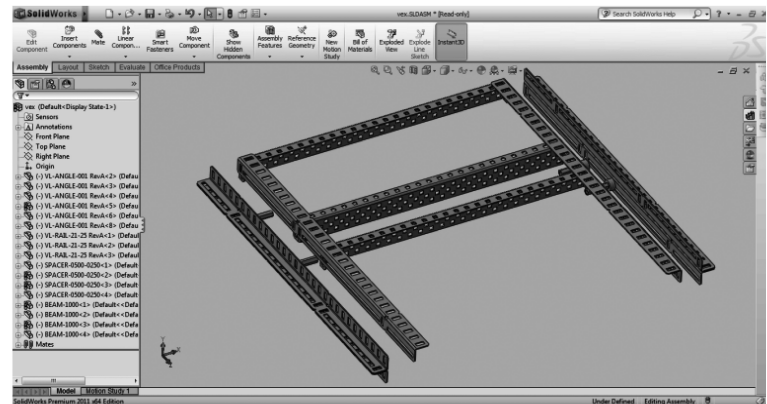


Fig. 10. Estructura de la base en Solidworks™.

La telerrobótica es un gran campo de desarrollo de la ingeniería para la aprehensión de conceptos en las áreas propias de la disciplina de la ingeniería electrónica: instrumentación y telecomunicaciones. Es de gran importancia poder suministrar toda la información posible al operador de manera clara, veraz y precisa, en forma gráfica y amigable, que agilice los procesos intrínsecos del operador para tomar decisiones que influyan en los trabajos del vehículo.

Para nuestro propósito, el robot será empleado para la exploración y descripción de rutas de escape en edificios o complejos urbanos, es por esta razón que una interfaz amigable que muestre los datos recolectados de los sensores de manera precisa y en tiempo real es importante para el desarrollo de los ambientes virtuales que describen el ambiente de exploración.

Un factor a tener en cuenta son los tiempos que se manejan para la adquisición de datos por la

interfaz gráfica, ya que para evitar los retardos en la adquisición de video y los saltos en la adquisición de los datos de los sensores fue necesario manejar dos ciclos diferentes en la programación de LabVIEW™. Las primeras prueba realizada con el sistema de adquisición en funcionamiento permitieron determinar el tiempo en que la interfaz debe realizar el muestreo, para la adquisición de los datos se definió un tiempo de 200 mS mínimo, mientras que para el video este tiempo tiene que ser inferior para que se vea el video sin cortes.

Con visión de desarrollar ambientes virtuales de fácil manejo y gracias a las herramientas computacionales que ofrece LabVIEW™ es posible

crear aplicaciones tangibles que nutran los procesos académicos de la Facultad de Ingeniería Electrónica de la Universidad Santo Tomas seccional Tunja, al desarrollar herramientas que fomenten en los estudiantes el interés por áreas de desarrollo e investigación en robótica, automatización, control, instrumentación y telecomunicaciones.

Siguiendo el esquema de trabajo planteado en la figura 1. Ahora se busca desarrollar trabajos de procesamiento de imágenes para complementar la información obtenida del terreno por parte de los distintos sensores y hacer el sistema más robusto.

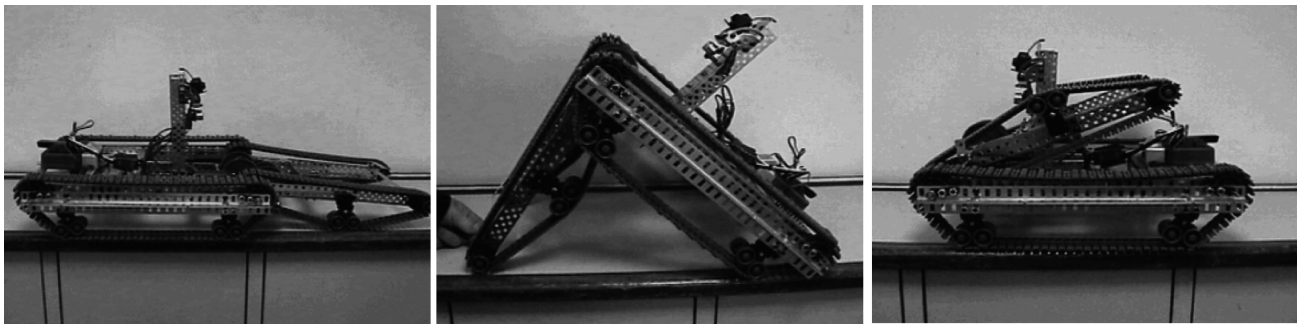


Fig. 11. Posicionamiento de los brazos del robot:
a. extendidos, b. con máximo ángulo de depresión, c. con máximo ángulo de elevación.

REFERENCIAS

1. O. Anibal, G. Jesús Manuel; G. Alfonso "Tele operación y Telerrobótica". 1ª ed. ALFAOMEGA. 2006.
2. H. John. "Designing Autonomous Mobile Robots". ELSEVIER, 2004.
3. R. Christopher. "Image Acquisition and Processing with LabVIEW™" CRC PRESS, 2004.
4. Shuzhi Sam Ge, Frank L. Lewis "Autonomous Mobile Robots" CRC PRESS, 2006.
5. S. Roland, N. Illah, "Introduction to Autonomous Mobile Robots" THE MTI PRESS, 2004.
6. W. Jon "Sensor Technology Handbook" ELSEVIER, 2005.
7. H. Jianning, W. Yuechao and X. Ning, "A Hybrid Control Method for Telerobotic Systems" IEEE International Conference on Information Acquisition August 20 - 23, 2006, Weihai, Shandong, China.
8. P. Gang, H. Xinhan, X. Youlun "Agent-based Telerobotics Using Multi-sensor Fusion" 5 World Congress on Intelligent Control and Automation, June 15-19. 2004
9. Alberto, R. Gabriele, B. Fabiano, S. Chiara, N. Daniele "Give me the control, I can see the robot!" 2008 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and System, Acropolis Convention Center Nice, France, Sept, 22-26, 2008
10. N. Keiji, Y. Ayato, Y. Kazuya, Y. Tomoaki, K. Eiji, "Improvement of the Operability of a Tracked Vehicle on Uneven Terrain using Autonomous Control of Active Flippers". 2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation Anchorage Convention District May 3-8, 2010, Anchorage, Alaska, USA
11. O. Kazunori, T. Satoshi, N. Keiji, K. Eiji, Y. Tomoaki, "Trials of 3-D Map Construction Using the Tele-operated Tracked Vehicle Kenaf at Disaster City" IEEE 2010 Robotics and Automation (ICRA) Conference.