

# DESARROLLO DE UN BRAZO ROBÓTICO MÓVIL PARA LA TELEOPERACIÓN DESDE UN PC BAJO EL ESTÁNDAR IEEE 802.11b

Sergey González Mejía<sup>\*</sup>  
Adolfo Ortiz Rosas<sup>\*\*</sup>

Evaluadores: Julio César Millán Barco<sup>\*\*\*</sup>  
Diego Fernando Duque Betancourt<sup>\*\*\*\*</sup>

**Tipo de Artículo: Investigación Científica y Tecnológica**

## RESUMEN

Existe un déficit en la industria nacional en cuanto a la integración de tecnologías para la robótica y las comunicaciones inalámbricas, porque la adquisición de productos que la conllevan está al alcance de muy pocos y no están elaborados bajo las normas. Además, en muchas de las universidades del sur-occidente colombiano, como la Universidad Santiago de Cali, el tema de sistemas robóticos teleoperados se encuentra en sus inicios por parte de estudiantes y profesorado. El presente artículo muestra los resultados del primer proyecto en robótica realizado en el programa de Ingeniería Electrónica de la Universidad Santiago de Cali, y que tiene que ver con el desarrollo de un brazo robótico móvil para teleoperación desde un computador personal.

## PALABRAS CLAVE

Brazo Robótico, Plataforma Móvil, HCS12 microcontrolador, Radiomodem, IEEE 802.11b, Comunicaciones Inalámbricas, Mando y control.

---

\* Ingeniero Electrónico (2005) de la Universidad Santiago de Cali. Estudiante de Maestría en Ingeniería (énfasis en Automática), Universidad del Valle.

\*\* Ingeniero Electricista de la Universidad del Valle. Especialista en Automatización de la Universidad Autónoma. Profesor Hora Cátedra de la Universidad Santiago de Cali.

\*\*\* Ingeniero Electrónico y M.Sc. en Automática de la Universidad del Valle. Profesor tiempo completo de la Universidad Santiago de Cali. Sus áreas de interés son la inteligencia computacional, la visión artificial y la historia de la ciencia. Integrante del Grupo de Investigación en Instrumentación Electrónica (GIE) de la USC. [jmillan@usc.edu.co](mailto:jmillan@usc.edu.co)

\*\*\*\* Ingeniero Electricista (1996), Tecnólogo en Sistemas de Información (1998), Tecnólogo en Electrónica (1999), Magíster en Automática (2001), Universidad del Valle. Profesor Dedicación Exclusiva de la Universidad Santiago de Cali, Coordinador Centro de Estudios e Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Santiago de Cali, vinculado al Grupo de investigación en Instrumentación Electrónica (GIE). [diego.duque01@usc.edu.co](mailto:diego.duque01@usc.edu.co).

## **ABSTRACT**

There is an absence of integration between robotics and wireless communications in national industry, because few people can acquire the necessary products or what they use does not fulfill standards. Moreover, in many universities from southwest of Colombia, like Santiago de Cali University, students and professors are beginning to work on themes about tele-operation of robotic systems are beginning. The present article shows the results from the first robotics project in Electronic Engineering program of Santiago de Cali University; this project treats of developing a robotic arm for tele-operating from a PC.

## **KEYWORDS**

Robotic Arm, Mobile Platform, HCS12 microcontroller, Radiomodem, IEEE 802.11b, Wireless Communications, Command and Control.

## **1. INTRODUCCIÓN**

La Industria de las Comunicaciones Inalámbricas y la Robótica Industrial han pasado por una gran evolución en los últimos años. En este proyecto se realizó la integración de estas dos tecnologías, dando como resultado el diseño de un Brazo Robótico Móvil que puede ser manejado desde un computador personal utilizando nuevas tecnologías de teleoperación basadas en estándares como el estándar IEEE 802.11b. Se logró este objetivo, apropiándose de estructuras físicas de brazos robóticos ya construidos para adaptarlas y modificarlas, diseñando toda la parte electrónica, tanto para el control de los servomotores y la comunicación inalámbrica. Para esto último, se implementó dispositivos inalámbricos comerciales basados en el estándar IEEE 802.11b.

La adición de la teleoperación (mando y monitoreo inalámbrico) a la robótica industrial ha entrado con fuerza en sectores a los que en principio no estaba enfocada. Entre éstos se pueden citar los siguientes: aplicaciones de construcción y minería,

mantenimiento de líneas en tensión, mantenimiento de instalaciones, intervención en desastres naturales, entretenimiento, aplicaciones militares, etc. La teleoperación cada vez se aplica más a la industria, en especial la mayoría de sus procesos son líneas robotizadas, los sistemas de control cada día avanzan y con ellos los nuevos paradigmas como la cooperación entre dichos sistemas y el ser humano, mostrando la amplia gama de aplicaciones en este ámbito del conocimiento.

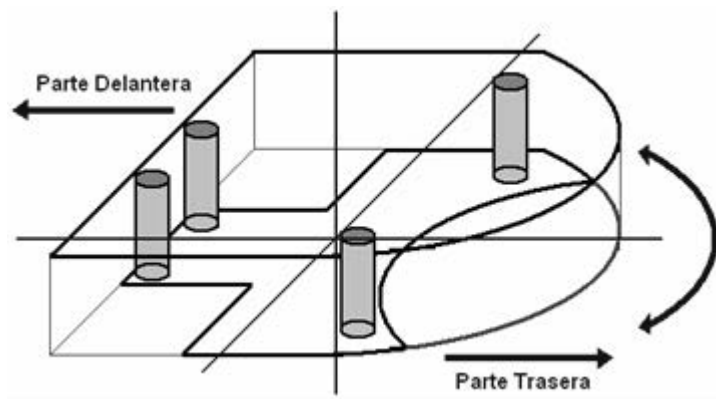
En los sistemas de teleoperación de robots la intervención del operador humano muchas veces es imprescindible, especialmente en entornos no estructurados y dinámicos en los cuales los problemas de percepción y planificación automática son muy complejos. En muchos casos, el operador está físicamente separado del robot, existiendo un sistema de telecomunicación entre los dispositivos que utilizan directamente el operador y el sistema de control local del robot. La intervención del operador puede producirse en muchas formas diferentes, desde la teleoperación directa de los actuadores de las articulaciones, hasta la simple especificación de movimientos, o incluso de tareas que se realizan de manera automática en el entorno remoto. Para lograr la teleoperación se trabaja con el estándar IEEE 802.11b que promete un gran ancho de banda para permitir un sinnúmero de nuevas aplicaciones. Aunque todavía existen varios obstáculos que hay que vencer como la seguridad e interferencia, por lo pronto ofrece una comunicación eficiente tanto en interiores como exteriores. Los precios de los productos WLAN han estado reduciendo enormemente, y estos precios continuarán bajando conforme se alcance el consumo masivo del software y hardware basados en tecnologías inalámbricas. Otra atracción importante de los productos WLAN es la interoperabilidad. Gracias al desarrollo de estándares pueden mezclarse dispositivos inalámbricos de diversos fabricantes haciendo un acceso más directo y transparente con la tecnología.

## 2. ESTUDIO TEORICO DEL SISTEMA MOVIL TELEOPERADO

### 2.1 MECÁNICA DE LA PLATAFORMA MÓVIL

El desarrollo de robots móviles satisface la necesidad de extender el campo de aplicación de la robótica, limitado inicialmente al alcance de una estructura mecánica anclada en uno de sus extremos, también de incrementar la autonomía contrarrestando todo lo posible la intervención humana.

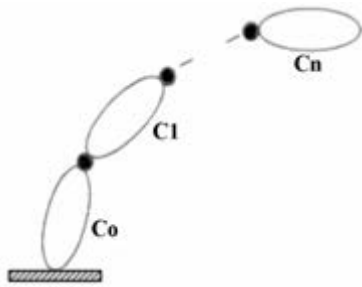
En este proyecto el uso de una Plataforma Móvil da la oportunidad de trasladar un cuerpo rígido a un punto deseado, teniendo en cuenta los obstáculos que lo rodean y el terreno por donde circula. La Mecánica de la Plataforma Móvil es una Estructura Triangular (forma un triángulo equilátero) con Punto Inercial en el medio de éste. Esta forma permite que la plataforma pueda girar  $90^\circ$  hacia la derecha e izquierda sobre su mismo eje, ésta es una gran ventaja respecto a otras estructuras. Cada extremo del triángulo lleva una llanta, donde dos están libres y la tercera cumple la función de tracción y dirección como se ve en la figura 1.



**Figura. 1. Mecánica de la Plataforma Móvil**

## 2.2 MECÁNICA Y DINÁMICA DEL BRAZO

*Estructura de Robots Manipuladores.* Los robots manipuladores son, esencialmente, brazos articulados. Es decir, un manipulador industrial convencional es una cadena cinemática abierta formada por un conjunto de eslabones interrelacionados mediante articulaciones. Las articulaciones permiten el movimiento relativo entre los sucesivos eslabones (Ollero, 2001). En la figura 2 los eslabones  $C_0, C_1, \dots, C_n$  representan el número de eslabones que componen un manipulador industrial.



**Figura 2. Cadena Cinemática**

*Justificación del Número de Grados de Libertad.* El robot como mecanismo debería imitar al hombre pero es muy complicado, porque la mano humana cuenta con unos 22 grados de libertad, y al mismo tiempo los sentidos de la vista y el tacto ligados al cerebro, le permiten una habilidad increíble en operaciones delicadas. “El primer paso era limitar el número de grados de libertad al mínimo indispensable. Para esto, seis parámetros determinan la posición de un sólido rígido en el espacio por lo que un robot debería tener como mínimo 6 grados de libertad, para resolver cualquier problema de posicionamiento de una pieza o herramienta” (Audi, 1988). En teoría, un robot con seis grados de libertad debería permitir colocar un objeto en cualquier punto del espacio a su alcance y con cualquier orientación. En la práctica, no es cierto por tres razones:

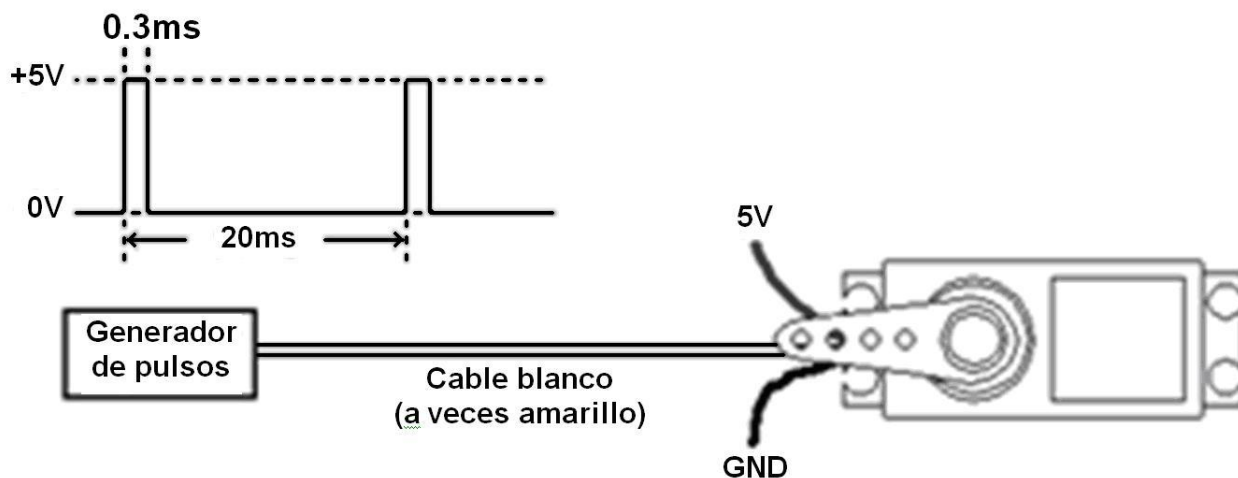
- 1) El robot debe sortear los obstáculos.
- 2) En algunos robots hay ejes redundantes (se repite grados de libertad).

3) No es fácil obtener giros de  $360^\circ$  en todas las articulaciones, entonces, imposibilita algunas orientaciones.

En este proyecto el Brazo Robótico consta de 5 grados de libertad que son la base, el brazo, antebrazo, la mano y la muñeca.

### 2.3 CONTROL DE LOS SERVOMOTORES

Un servomotor es básicamente un motor eléctrico que sólo se puede mover en un ángulo de aproximadamente 180 grados (no dan vueltas completas como los motores normales). Contiene tres cables que salen de la caja como se observa en la figura 3. El rojo es la alimentación (+5V), el negro es tierra (GND), el cable blanco (a veces amarillo) es el cable por el cuál se le pide al servomotor posicionarse (de  $0^\circ$  a  $180^\circ$ ), es decir, la señal de control como se observa en la figura 3.



**Figura 3. Señal PWM**

Los servos se controlan aplicando una señal PWM por su cable de control. Las señales PWM (Modulación por Ancho de Pulso) permiten que usando sólo un pin del microcontrolador podamos posicionar el servo. Para posicionar el servo hay que aplicar una señal periódica, de 50Hz – 100HZ (20ms – 10ms de periodo) como se ve en la figura 3. El ancho del pulso determina la posición del servo. Si el ancho es de 2.3ms, el

servo se sitúa en un extremo y si es de 0.3ms se sitúa en el opuesto. Cualquier otro ancho entre 0.3 y 2.3 sitúa el servo en una posición comprendida entre un extremo y otro. Por ejemplo, si se desea situarlo exactamente en el centro, aplicamos un ancho de pulso de 1.3ms. Estos servomotores responden adecuadamente a pulsos desde 50Hz hasta aproximadamente 100Hz, pero una vez escogida una frecuencia de operación debe procurarse mantener la misma frecuencia todo el tiempo. Para cada tipo de servo que se desee controlar, se deberá realizar una prueba preliminar para encontrar exactamente el período y la duración de los pulsos que mejor le funcionen. Cuando se deja de enviar la señal, el servo entra en un estado de reposo, y por tanto se podrá mover con la mano. Mientras se le aplique la señal, permanecerá fijo en su posición, haciendo fuerza para permanecer en ella. Los tipos de Servomotores usados en el Sistema Móvil se muestran en la figura 4.



**Figura 4. Servo Futaba S3003 y Servo Tower Hobbies TS-80**

## **2.4 LA TELERÓBOTICA**

Los sistemas evolucionados suministran al operador realimentación sensorial del entorno (imágenes, fuerzas, distancias). Las mayores dificultades radican en las limitaciones del hombre en la capacidad de procesamiento numérico y precisión alcanzada y, sobre todo, en el acoplamiento y coordinación entre el hombre y el robot.

## **2.5 EL OPERADOR HUMANO EN EL LAZO DE CONTROL**

En los Robots Teleoperados las tareas de percepción del entorno, planificación y manipulación compleja son realizadas por humanos. Es decir, el operador actúa en tiempo real cerrando un bucle de control de alto nivel.

## **2.6 EL ESTÁNDAR IEEE 802.11B - WIFI (WIRELESS FIDELITY)**

El estándar IEEE 802.11b se sitúa en el espectro de frecuencias de radio comercialmente abierto, al igual que otros muchos dispositivos. El estándar 802.11b es el más utilizado, dispone de un nivel físico estándar que opera en la banda de los 2.4GHz, utilizando tres canales de radio. La velocidad de transferencia más alta, en esta variante, es de 11 Mbps en cada canal disponible. El mayor caudal disponible por usuario es aproximadamente la mitad de este valor, puesto que la capacidad se comparte entre todos los usuarios que utilizan un mismo canal de radio. Cuya tasa de transferencia decrece proporcionalmente según aumenta la distancia entre el operador y el punto de acceso (Millar, 2004).

## **2.7 MANDO Y MONITOREO EN VISUAL BASIC**

Visual Basic es una herramienta de diseño de aplicaciones para Windows, donde éstas se desarrollan en una gran parte a partir del diseño de una interfaz gráfica. En una aplicación Visual Basic, el programa está formado por una parte de código puro, y otras partes asociadas a los objetos que forman la interfaz gráfica (Halvorson, 2000).

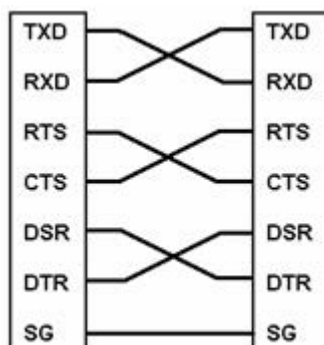
*El Control de las Comunicaciones (mscomm).* El control de comunicaciones permite que se puedan realizar transmisiones y recepciones de datos a través del puerto serie. Cada control de comunicaciones sólo puede ser utilizado para controlar un puerto serie, por lo que sí se necesita acceder a más de un puerto serie, se debe usar mas de un control (Carballar, 1997). El control de comunicaciones tiene predefinido un solo evento para



manejar las comunicaciones. Este evento llamado OnComm, se activa cada vez que ocurre cualquier evento relacionada con el puerto de comunicaciones.

## 2.8 ESTÁNDAR DE COMUNICACIONES RS-232C

La conexión serial asíncrona es uno de los estándares de comunicaciones más usada por décadas. Para el control, monitoreo y transferencia de datos seriales asíncronos proporciona un bajo costo y una solución sencilla. El puerto RS232 está en los PC's y en dispositivos industriales. Tanto el aparato a conectar como el PC (programa terminal) tienen que usar el mismo protocolo serie para comunicarse entre sí. Puesto que el estándar RS-232 no permite indicar en que modo se está trabajando, es el usuario quien tiene que decidirlo y configurar ambas partes. En la figura 5 se puede observar las conexiones de un enlace RS-232 con todas las señales de control.



**Figura 5. Enlace RS232 Full Modem**

## 2.9 CARACTERÍSTICAS DEL MICROCONTROLADOR

Dos puntos importantes se tuvieron en cuenta en el momento de seleccionar el microcontrolador: primero que soportará como mínimo 8 señales PWM y segundo que la resolución de la señal PWM fuera de 16 bits, porque el rango del ancho de pulso es de 0.3ms – 2,3ms. El microcontrolador que se utiliza soporta hasta 12 salidas PWM de 16 bits, suficientes para los 9 servomotores que se necesitan controlar en el proyecto: 7 servos para el Brazo y 2 para la Plataforma Móvil. Se escogió el Microcontrolador MC9S12DP256BCPV de la familia Motorola HCS12 de 16 bits con las siguientes

características: Unidad central de proceso de 16 bits, 256K bytes de Flash EEPROM, 12K bytes de RAM, 4K bytes de EEPROM, 2 Interfaces de comunicación serial asíncrona (SCI), módulo ECT (enhanced capture timer) - 8 canales de 16 bits IC/OC, Un ADC - 8 Canales de 10 Bits, módulo PWM de 8 canales de 8 bits o 4 canales de 16 bits y 10 puertos de 8 bits.

### **3. DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL BRAZO Y LA PLATAFORMA MOVIL**

#### **3.1 DISEÑO DE PLANOS PARA EL BRAZO Y LA PLATAFORMA MÓVIL**

Los diseños de los planos para el Brazo y la Plataforma Móvil se realizaron en Solid Edge Academic Versión 10.00.02.05 © 2001 UGS. Solid Edge es un sistema de diseño asistido por ordenador (CAD) para el modelado de conjuntos, piezas mecánicas y la producción de dibujos. La tecnología Solid Edge impulsa la productividad esencial para el usuario de CAD al capturar las intenciones de diseño de modelado de sólidos de los ingenieros mediante los conceptos de lógica de deducción y gestión de decisiones.

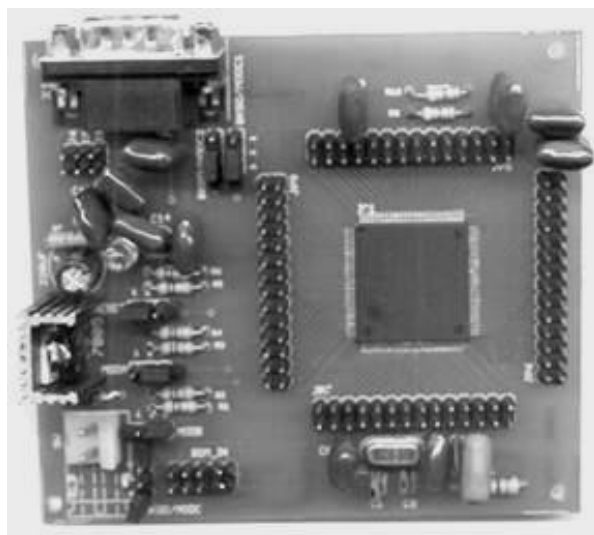
#### **3.2 TIPO DE MATERIAL PARA LAS ESTRUCTURAS FÍSICAS**

La estructura del Brazo y la Plataforma Móvil está elaborada de diferentes materiales tales como: Acrílico 100% Cristal, Caucho, Aluminio Arquitectónico y Empack-N Negro. Para la construcción de la estructura en general, se escogieron materiales de acuerdo a las especificaciones técnicas de los componentes que la integran, por ejemplo: los servomotores (tamaño, peso, torque, etc.), radiomodem (tamaño, peso, etc.), tarjeta del microcontrolador (tamaño) y llantas (tamaño, peso, etc.). Estos detalles son importantes para lograr un buen desempeño en la dinámica del Sistema Móvil.

### 3.3 DISEÑO Y MONTAJE DEL SISTEMA DE DESARROLLO DEL MICROCONTROLADOR

En el diseño del sistema de desarrollo sólo se tuvieron en cuenta los módulos que se necesitan (comunicación serial, BDM y cristal). Por consiguiente, todos los pines del microcontrolador son accesibles por medio de *headers*. Las características del Sistema de Desarrollo son: MCU MC9S12DP256BCPV (Motorola HCS12), cristal de 16 MHz con 25MHz de velocidad de Bus con PLL, puerto RS232 (para conectar el primer SCI a un puerto COM del PC), conector BDM-in para ser conectado con un BDM pod (*Debugger*); todos los pines del MC9S12DP256B son accesibles en cuatro *headers*; voltaje de salida del regulador 5V - 2Amp.

El diseño de la tarjeta del sistema de desarrollo se realizó en Eagle versión 4.13 Light, mientras que los circuitos impresos fueron elaborados en Microcircuitos Ltda. En la figura 6 se puede observar la tarjeta del Sistema de Desarrollo.



**Figura 6. Tarjeta del Sistema de Desarrollo**

## 4. DISEÑO DEL MANDO Y CONTROL EN EL SISTEMA MOVIL

### 4.1 TRUCAMIENTO DE SERVOMOTORES PARA LA PLATAFORMA MÓVIL

El Trucamiento (prelistamiento) o la Modificación se muestra con un **Servomotor Tower Hobbies TS-80** para hacer que este gire 360° libres con control de velocidad y dirección por medio de PWM. Se cortó el tope mecánico del engranaje de salida del servo para dejar girar libremente y sin limitaciones al eje en los 360°. Luego se reemplazó el potenciómetro de 5K $\Omega$  original por un trimer de 5K con tornillo de ajuste.

Se recomienda no convertir el servo como era antes, en la electrónica no hay problema pero la parte mecánica ya no tiene tope, y al hacerlo se fuerza al potenciómetro del eje de salida del servo que hace las veces de tope, con lo cual se producirá desgaste.

### 4.2 DISEÑO DEL PROGRAMA EN ENSAMBLADOR PARA REALIZAR EL MANDO DEL SISTEMA MÓVIL

En las figuras 7a y 7b se muestra el diagrama de flujo para desarrollar la estrategia de control en el microcontrolador MC9S12DP256BCPV para el Sistema Móvil Teleoperado.

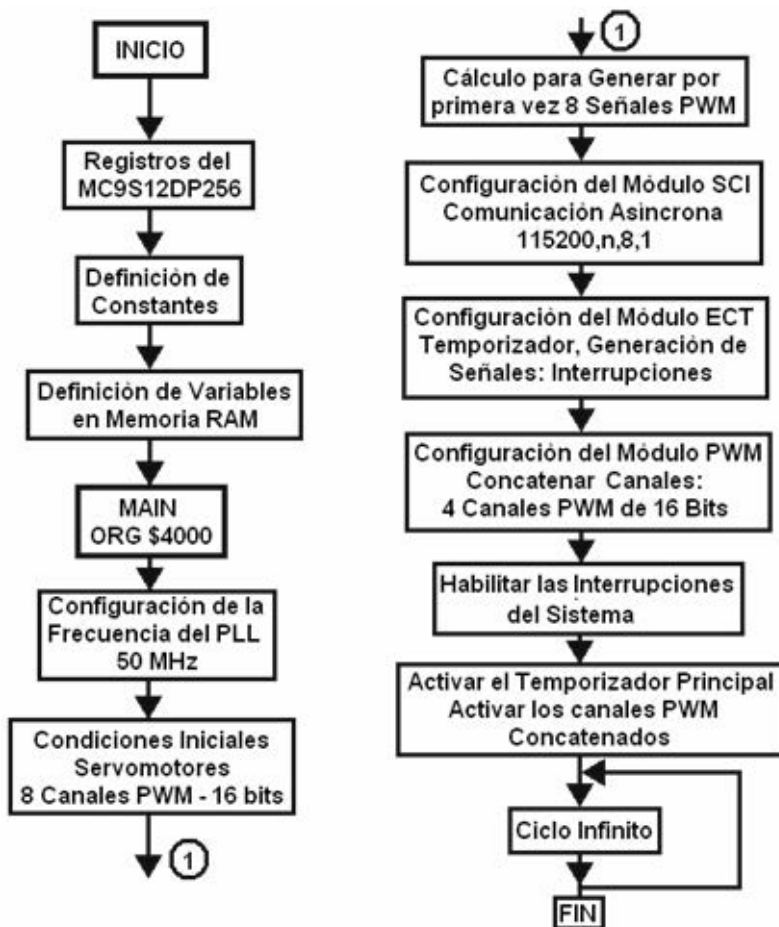
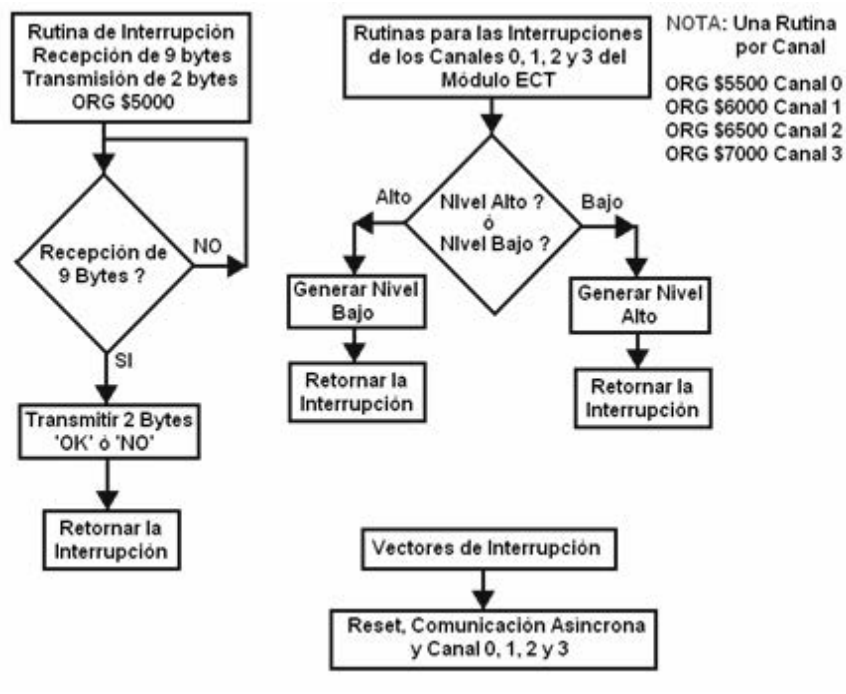


Figura 7a. Diagrama de Flujo del Mando del Sistema Móvil



**Figura 7b. Diagrama de Flujo del Mando del Sistema Móvil**

## 5. DISEÑO DEL MANDO Y MONITOREO DESDE EL PC

La HMI (Interfase Hombre – Máquina) se diseñó en plataforma Visual Basic, está compuesta por 4 campos que permiten el Mando y Monitoreo del Sistema Móvil: Encendido, Configuración, Brazo Robótico y Plataforma Móvil. En la figura 8 se puede observar la HMI del Sistema Móvil Teleoperado.

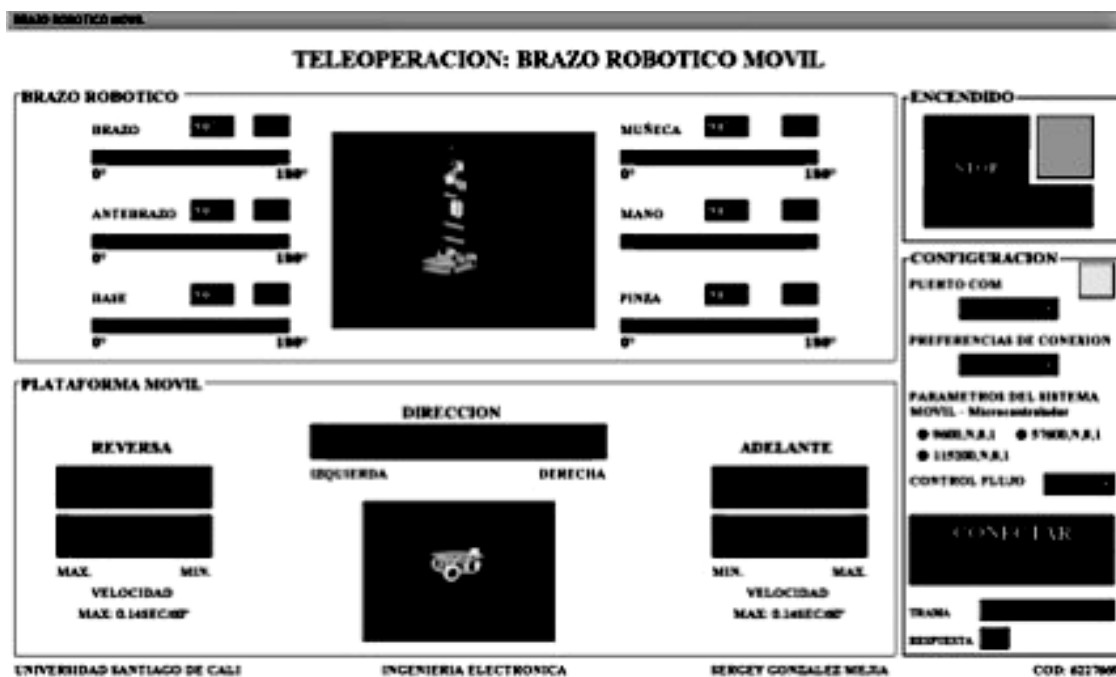


Figura 8. Teleoperación: Brazo Robótico Móvil

### 5.1 DISEÑO DEL CÓDIGO DE PROGRAMA DE LA HMI

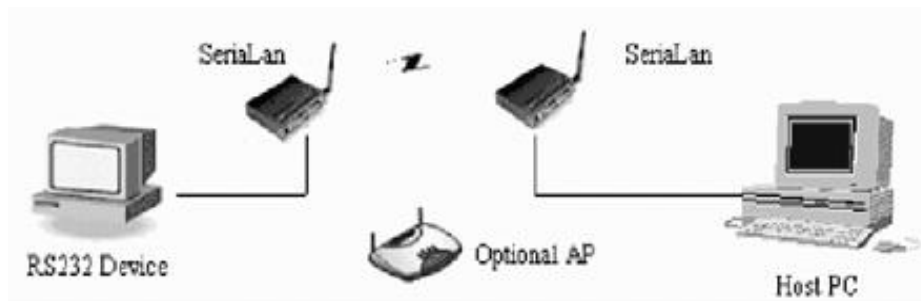
La aplicación transmite hacia el microcontrolador del Sistema Móvil una Trama de 10 Bytes como se ve en la figura 9, donde los 6 primeros bytes son para las articulaciones del Brazo Robótico, los dos bytes siguientes son para la dar la velocidad y dirección a la Plataforma Móvil, el siguiente es la velocidad de transmisión para el sistema de desarrollo del microcontrolador y el ultimo byte es el CRC (chequeo cíclico redundante).

9 BYTES DE MANDO Y UN BYTE DE CHEQUEO CICLICO REDUNDANTE									
BASE	ANTEBRAZO	BRAZO	MUÑECA	MANO	PINZA	VELOCIDAD	DIRECCION	RATA	CRC
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
BRAZO ROBOTICO						PLATAFORMA MOVIL		μC	

Figura 9. Estructura de la Trama de Salida – HMI

## 6. SELECCION E IMPLEMENTACION DEL ENLACE INALAMBRICO ENTRE EL SISTEMA MOVIL Y EL PC

Se implementa una Red “Punto a Punto” por medio de un programa creado en Visual Basic. La comunicación entre los dos PC’s se lleva a cabo con dos Radiomodems WLAN RS232 802.11b como se ve en la figura 10. En la figura 11 se puede observar el radiomodem que se usó para este proyecto.



**Figura 10. Conexión SerialLan a SerialLan**



**Figura 11. Radiomodem SerialLan RS232 IEEE 802.11b WLAN**

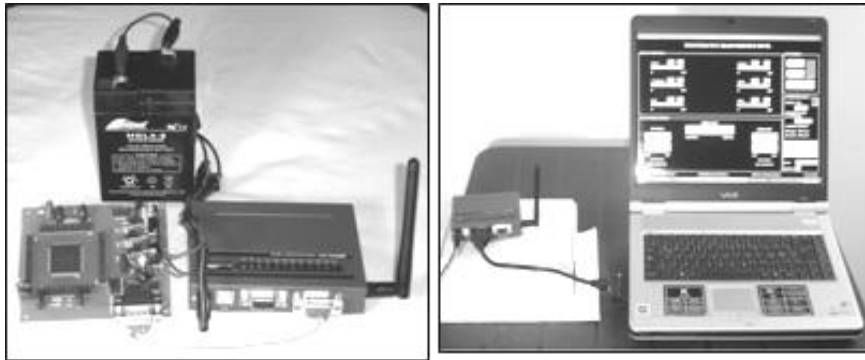
### 6.1 REALIZACIÓN DEL ENLACE INALÁMBRICO ENTRE UN PC Y EL SISTEMA DE DESARROLLO

El Enlace Inalámbrico se realizó entre el PC que tiene instalado la HMI y el Sistema de Desarrollo del Sistema Móvil. Tanto la HMI, los dos Radiomodems y el Sistema de



Desarrollo tienen las mismas preferencias de conexión, es decir, 115200,N,8,1 y control de flujo ninguno

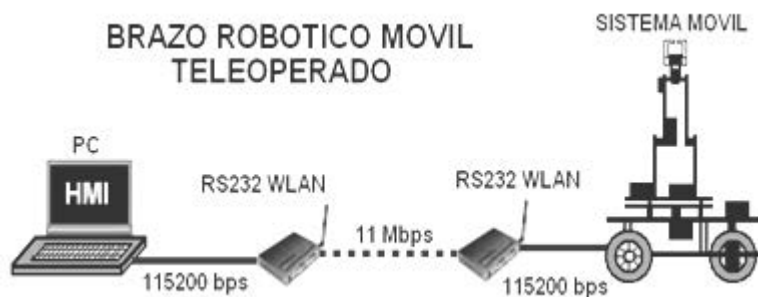
Al establecer el enlace inalámbrico entre los dos sistemas, la máxima velocidad de transmisión que se puede obtener es 115200 bits por segundo. La HMI transmite una trama de 10 bytes cada 1 ms y el microcontrolador le responde con dos bytes 'OK' ó „NO'. Al no presentarse comunicación entre estos dos la HMI muestra un aviso de "Sistema Móvil No Responde". En la figura 12 se observa el enlace inalámbrico entre los dos sistemas.



**Figura 12. Enlace Inalámbrico entre el PC y el Sistema de Desarrollo del uC**

## **7. INTEGRACION DEL SISTEMA MOVIL TELEOPERADO**

Con todos los procedimientos que se llevaron a cabo y que se mostraron en los capítulos anteriores se logró realizar la integración del sistema total como se muestra en la figura 13. El diseño de la HMI resultó muy cómodo para realizar el mando al sistema móvil y además, la selección de los servos y radiomodems con base en sus especificaciones técnicas permitió realizar el diseño de la estructura física del sistema que para un futuro cercano puede convertirse en un producto.



**Figura 13. Integración del Sistema**

## 8. EVALUACION DE PRUEBAS DEL SISTEMA MOVIL TELEOPERADO

Se evaluaron aspectos como la resolución que se entiende como la menor variación posible en el posicionamiento del efector final. La resolución viene dada por el sensor en los servos y el sistema de desarrollo. También se evaluó la precisión que es la diferencia entre la posición ordenada y la realmente alcanzada por el efector final, se observó que el origen de la imprecisión se debe a las dificultades de calibración, los desgastes, las deformaciones y los propios errores de control. Por último se evaluó la repetibilidad que es la capacidad para volver a la misma posición a la que fue dirigido en las mismas condiciones, la falta de ésta se debe normalmente a problemas mecánicos en transmisiones (ejes axiales), rozamientos, etc. Se posicionó cada articulación del brazo incluyendo la pinza en diferentes ángulos ( $45^\circ$ ,  $90^\circ$  y  $135^\circ$ ) respectivamente y a partir de la tercera posición ( $135^\circ$ ) nuevamente se posicionó a  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  y  $135^\circ$  respectivamente. De esta manera se evaluó la dinámica del brazo. También se evaluaron aspectos como la rapidez de respuesta, porque esta característica es limitada por el par disponible en la tracción de la Plataforma Móvil y por las oscilaciones no amortiguadas que se producen debido a los comportamientos dinámicos que no se consideran de forma apropiada en el control. Lo anterior también se debe al peso que origina la estructura del brazo. Para probar la dinámica de la Plataforma Móvil primero se estudió el comportamiento de giro (derecha e izquierda) con dos ángulos diferentes, se entiende que  $90^\circ$  es la posición recta. Lo anterior se realizó para observar el desempeño de giro sobre el mismo eje de la plataforma. La segunda prueba se hizo para observar la rapidez de respuesta en

detener la plataforma a una distancia predeterminada. En la figura 14 se muestra el Sistema Móvil capturando un objeto.



**Figura 14. Prueba del Sistema Móvil capturando un objeto X**

En la tabla 1 se muestran los resultados de la prueba experimental para el Brazo y en la tabla 2 se muestran los resultados de la prueba para la Plataforma Móvil.

Ang	45°	90°	135°	45°	90°	135°
<b>Base</b>	47°	92°	132°	47°	92°	132°
<b>Antebr</b>	█	90°	140°	█	90°	140°
<b>Brazo</b>	47°	93°	133°	47°	93°	133°
<b>Muñeca</b>	46°	88°	130°	46°	88°	130°
<b>Mano</b>	46°	91°	132°	46°	91°	132°
<b>Pinza</b>	46°	92°	130°	46°	92°	130°

**Tabla 1. Evaluación Experimental de la Plataforma Móvil**

Ang	45°	135°	Dist.	2 m	5m
Der	45°		Adelante	OK	OK
Izq		137°	Reversa	OK	OK

**Tabla 2. Evaluación Experimental de la Plataforma Móvil**

## 9. CONCLUSIONES

- Se logró el desarrollo de una plataforma robótica móvil con brazo, que permite el mando y operación vía inalámbrica desde un PC. La selección apropiada de hardware y software constituyó una pieza clave para la eficiencia del sistema de control del robot.
- Existe un buen número de aplicaciones en robótica que sólo pueden resolverse mediante la teleoperación de un operador: aplicaciones de construcción y minería, mantenimiento de líneas en tensión, mantenimiento de instalaciones, intervención en desastres naturales, entretenimiento, aplicaciones militares, etc. Cuando se evalúa una solución inalámbrica que satisfaga nuestras necesidades de comunicación es muy importante tener en cuenta los estándares y tecnologías de más penetración como es el estándar IEEE 802.11b. Una correcta decisión ahorrará dinero, tiempo y problemas de incompatibilidad y nos brindará comunicación rápida, eficiente y transparente.
- En el diseño de un sistema robótico es necesario tener en cuenta la accesibilidad necesaria para realizar la tarea, la eficiencia energética, la relación peso/carga, las dimensiones y el modelo dinámico. La programación de robots puede realizarse a diferentes niveles, desde un nivel inferior en el cual se especifican movimientos de cada una de las articulaciones como es el caso de este proyecto, a niveles superiores en los que la programación se realiza a nivel de tarea.
- Si se requiere hacer control en bucle cerrada en el Sistema Móvil, se debe tener en cuenta el tiempo total de transmisión y de recepción. Al ser el sistema lento en responder se debe optar por otro medio físico de transmisión más rápido como por

ejemplo *ethernet*, *fast ethernet* o *gigabit ethernet*. En algunas aplicaciones, el retraso de transmisión de información juega un papel importante y su consideración resulta fundamental en el diseño del sistema de control.

- El diseño de sistemas electrónicos basados en microcontroladores de 16 bits aumenta la eficiencia en el procesamiento de la información y permite una reducción significativa de líneas de código en el momento de la programación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**AUDI**, Piera Daniel. *Cómo y cuándo aplicar un Robot Industrial*, Marcombo Boixareu Editores, Barcelona (España), 1988. 164 p.

**CARBALLAR**, Falcón José Antonio. *El libro de las Comunicaciones del PC: técnica, programación y aplicaciones*, Alfaomega, 1997. 1200

**CARBALLAR**, Falcón José Antonio. *Wi-Fi: Cómo Construir una Red Inalámbrica*. Alfaomega, México, 2005. 265 p.

**HALVORSON**, Michael. *Microsoft Visual Basic 6.0*, McGraw-Hill, Aravaca (Madrid), 2000.

**OLLERO B.**, Aníbal. *ROBÓTICA: Manipuladores y Robots Móviles*, Marcombo Boixareu Editores, Barcelona (España), 2001. 447 p.

**STEWART**, Miller. *Serie de Telecomunicaciones: Seguridad en WiFi*, McGraw-Hill, Aravaca (España), 2004. 268 p.

**STEWART**, Miller. *Serie de Telecomunicaciones: Comunicaciones Inalámbricas*, McGraw-Hill, Aravaca (España), 2004. 270 p.

*Guias de Ensamble de Brazos Robóticos de Lynxmotion* <http://www.lynxmotion.com>

*Modificación de un Servomotor, 180°-360°*

<http://www.eurobotics.org/servopwm.htm>

*MC9S12DP256: Microcontroller's documentation*

<http://www.freescale.com/webapp/sps/site/>

*Datasheet y Manual Radiomodem RS232 WLAN*

<http://www.datahunter.com/serialan.html>

*IEEE Wireless Standards Zone - Estándar 802.11b* <http://standards.ieee.org/wireless/>