

# Diseño Mecatrónico de un Robot Manipulador Móvil

Sánchez Cristo Andrés Felipe<sup>1</sup>, Portilla Flores Edgar Alfredo<sup>1</sup> y Suárez Niño Paola Andrea<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>CIDETEC-IPN, Av. Juan de Dios Bátiz s/n Esq. Miguel Othón de Mendizabal,  
Unidad Profesional Adolfo López Mateos, C.P. 07700, México D.F., México  
afelipesc@hotmail.com, aportilla@ipn.mx

<sup>2</sup>SEPI-ESIME-IPN Unidad Azcapotzalco, Av. Las Granjas 682, Col. Santa Catarina,  
C.P. 02250, México D.F., México  
pninos@ipn.mx

## Resumen

*En este artículo se presenta el diseño mecatrónico de un manipulador móvil, integrando el diseño mecánico, electrónico y de software. De esta manera se genera una arquitectura abierta para robots móviles y manipuladores, la cual provee una plataforma ideal para el estudio de técnicas de control, generación de trayectorias y demás aspectos relacionados con estas áreas. La presentación de la información se realiza en tres secciones, la introducción, el diseño detallado y las conclusiones. En la introducción se presentan razones por las cuales los manipuladores móviles día a día obtienen más fuerza y ocupan un lugar cada vez más importante, adicionalmente se presentan las descomposiciones que tuvieron lugar para facilitar la comprensión de las características necesarias que deben poseer tanto el vehículo como el manipulador. El diseño detallado se divide en 3 secciones, en la primera se explica cómo fue el proceso de diseño y el modelado en CAD. La segunda parte ilustra al lector como se encuentra la arquitectura del hardware que conforma la plataforma y en la tercera parte se puede observar la arquitectura del software desarrollado para este proyecto. Al final se encuentran algunas conclusiones a las que se llegó después de haber culminado el trabajo y que demuestran que el diseño es correcto y posee grandes ventajas.*

**Palabras clave:** Plataforma móvil, tele-operación, Wi-Fi, sistema embebido.

## 1. Introducción

Los robots móviles con manipulador incorporado se han convertido en un instrumento esencial en todo

tipo de exploraciones que, como es evidente, se realizan en terrenos poco estructurados y además permite la interacción con el medio. Para citar un ejemplo las misiones a Marte[1], incluyen robots de este tipo De igual manera la milicia y la academia utilizan ampliamente estos robots[2][3]. Así mismo la aplicación de la tele-operación brinda mayores posibilidades para investigar las condiciones y todo aquello con lo que se pueda encontrar en la investigación de terrenos no estructurados y sitios desconocidos, aunque también son muy útiles en la milicia, y en tareas de salvamento. Por ejemplo si una persona ha sufrido un accidente y es muy difícil acceder a ella, esta clase de robots puede llevar medicina, agua o lo que se requiera para que el o los afectados puedan sobrevivir.

Debido a que la adquisición de robots móviles con manipulador incorporado es demasiado costosa y por lo tanto de difícil obtención por parte de la academia y dado que en la actualidad estas plataformas constituyen una herramienta muy útil en el desarrollo tecnológico, debido a que con ellos se pueden probar diferentes técnicas de control, no solo para robots manipuladores sino que también para robots móviles. Además se puede llegar a comprender la dinámica de estos dos componentes de manera unificada, aportando para la academia una planta muy robusta.

El alcance de este proyecto es ofrecer una plataforma didáctica pero al mismo tiempo de tipo industrial, de arquitectura abierta para brindar soporte práctico a varias áreas de conocimiento, tales como telecomunicaciones, control, programación de computadores entre otras.

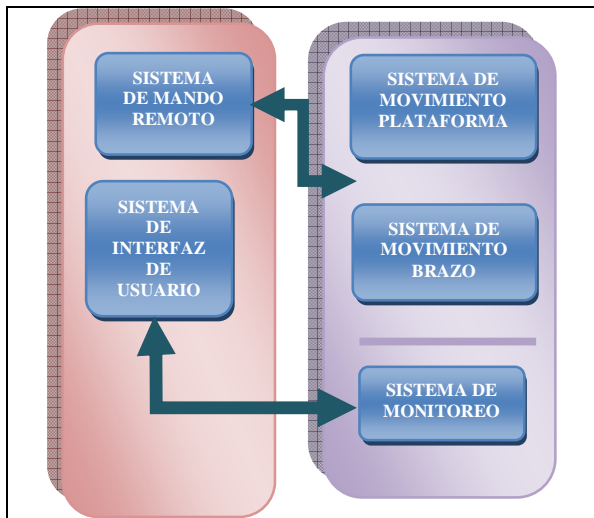
Un robot móvil terrestre que incorpora un manipulador es un ejemplo perfecto de la definición de Sistema Mecatrónico; ya que integra una estructura mecánica, un sistema de mando y control, una interfaz de usuario y un sistema de comunicaciones, por ello el desarrollo de este proyecto se enmarcó en el concepto de diseño integral o diseño mecatrónico.

Para abordar el diseño mecatrónico del manipulador móvil se contempló el descomponer el proceso en una parte funcional y en una parte física. Las cuales se describen a continuación y se presentan respectivamente en las Figuras N° 1 y N° 2.

### 1.1 Descomposición Funcional

La descomposición funcional que se desarrolló para el diseño del prototipo fue:

- Sistema de mando remoto.
- Sistema de movimiento de la plataforma.
- Sistema de movimiento del brazo
- Sistema de monitoreo.
- Sistema de interfaz de usuario.



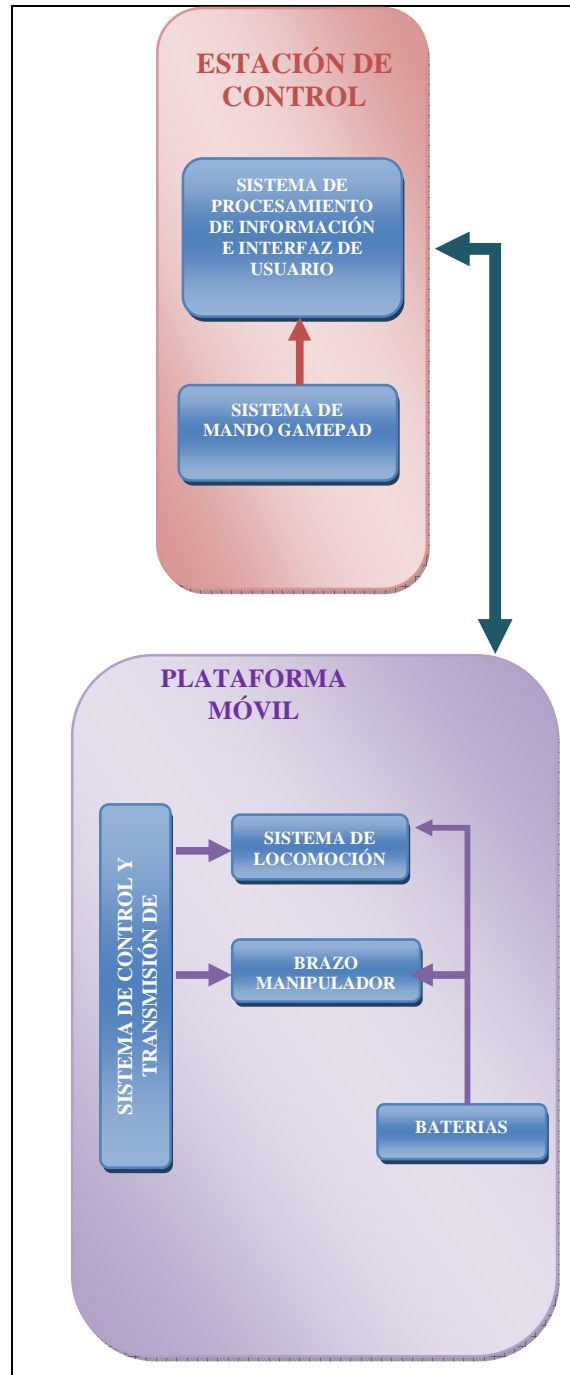
**Fig. 1. Descomposición Funcional**

### 1.2 Descomposición Física

La descomposición física que se desarrolló para el diseño fue:

- Estación de Control
  - Sistema de procesamiento de información e interfaz de usuario.
  - Sistema de mando GamePad.

- Plataforma Móvil
  - Sistema de locomoción.
  - Brazo manipulador
  - Baterías.
  - Sistema de control y transmisión de información.



**Fig. 2. Descomposición Física  
 2. Diseño Detallado**

En esta sección se explicará de manera general el diseño detallado del manipulador móvil, dividido en tres subsecciones, las cuales son *diseño mecánico*, *arquitectura de hardware*, *arquitectura de software*.

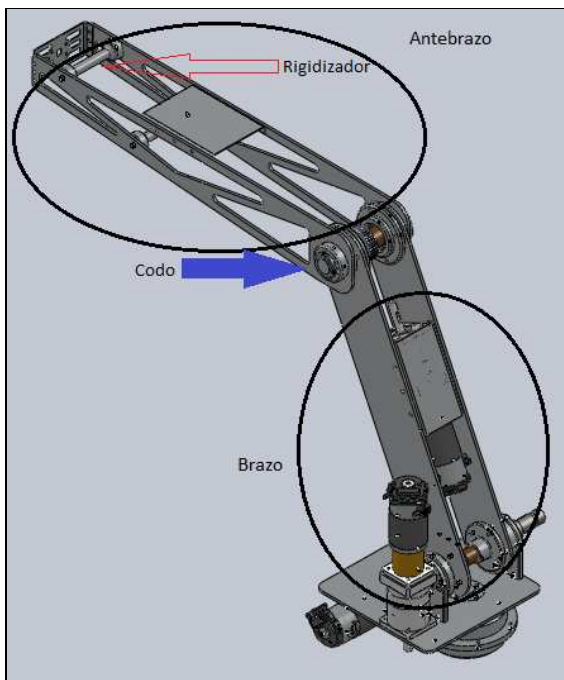
### 2.1 Diseño Mecánico

El diseño mecánico del manipulador móvil inició con las especificaciones de diseño, las cuales se muestran en la Tabla 1, y están basadas en las funciones que va a realizar el robot.

**Tabla 1. Especificaciones de diseño**

Parámetros	Especificaciones Técnicas
Carga Útil (Max).	2 Kg
Alcance del Brazo.	1 m
Dimensiones (Max).	alto x ancho x largo 0.6 x 0.45 x 0.7 m
Peso (Max).	50 Kg

Teniendo en cuenta estas especificaciones se realizaron diagramas de cuerpo libre y empleando la teoría de bastidores y estructuras se diseñaron tanto el brazo como el antebrazo, como se puede apreciar en la Figura N° 3.

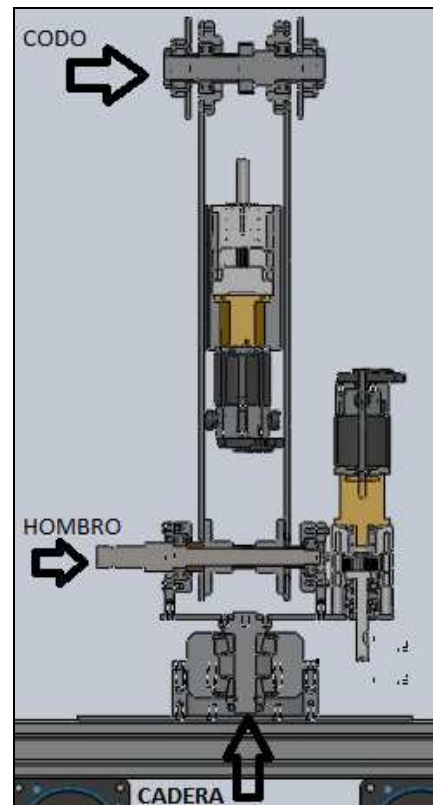


**Fig. 3. Manipulador**

En el extremo del manipulador se ubica un soporte universal, para poder colocarle cualquier herramienta que cumpla con las características de carga útil máximo.

Las piezas cilíndricas que se observan en la Figura N° 3 en la parte del brazo son rigidizadores que proporcionan a la estructura una mayor resistencia cuando el robot se encuentre inclinado horizontalmente, este ángulo puede ser de 45° como máximo, ya que si supera este valor el centro de gravedad del robot quedaría por fuera de la base, lo que ocasionaría que el móvil se vuelque sobre el costado.

Para el diseño del eje del codo mostrado en la Figura N° 3 y con más detalle en la Figura N°4 se empleó la teoría de diseño de ejes, desde una perspectiva de satisfacción de las restricciones geométricas [4]. Para lograr encontrar el diámetro se utilizó el principio de superposición y se obtuvo la ecuación 1.



**Fig. 4. Detalle Ejes Manipulador**

$$d = \left[ \frac{32n}{\pi E I \sum \sigma} \left( \left[ \sum F_i u_i (u_i - l_i)^2 + \sum M_i (3u_i^2 - 6u_i l_i + 2l_i^2) \right]_H^2 + \left[ \sum F_i b_i (b_i - l_i)^2 + \sum M_i (3a_i^2 - 6a_i l_i + 2l_i^2) \right]_M^2 \right)^{1/2} \right]^{3/4} \quad (1)$$

Donde  $n$  es el factor de seguridad con el que se diseña,  $l$  es la longitud entre las reacciones en los cojinetes,  $a_i$  y  $b_i$  son las distancias desde el centro horizontal de los rodamientos hasta cada una de las fuerzas aplicadas,  $E$  es la resistencia a la tracción del material en el cual se va a fabricar el eje y  $\sum\theta$  es el valor absoluto de la inclinación permisible del rodamiento de manera. Empleando la misma ecuación se diseñaron todos los otros ejes que pertenecen al robot.

Para conocer los torques necesarios para lograr que los diferentes motores puedan mover los eslabones, se empleó el teorema de Castigliano, el cual establece que *“cuando actúan fuerzas sobre sistemas elásticos sujetos a desplazamientos pequeños, el desplazamiento correspondiente a cualquier fuerza, colineal con la fuerza, es igual a la derivada parcial de la energía de deformación total con respecto a esta fuerza”* matemáticamente se puede observar en la ecuación 2.

$$\delta_i = \frac{\delta U}{\delta F_i} \quad (2)$$

De esta manera se escogió el par mínimo que debe tener cada motor del robot. Con los principios enunciados anteriormente se logró el diseño del manipulador móvil, en su parte mecánica como se observa en la Figura N° 5.

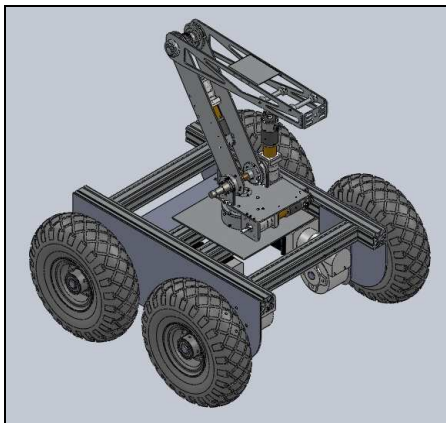


Fig. 5. Manipulador Móvil

La disposición del manipulador en conjunto con los motores y las baterías es esencial para garantizar que el centro de gravedad se encuentra siempre en el interior del móvil, adicionalmente al ubicar los motores de tracción en la parte más baja del vehículo, disminuimos la altura del centro de gravedad [5], el

cual se ve afectada directamente por la extensión del brazo manipulador.

## 2.2 Arquitectura de Hardware

Debido a que se está desarrollando un robot móvil, se desea que el dispositivo no posea cables que lo aten al sistema de mando, por lo cual se establece la necesidad de que el manipulador móvil sea inalámbrico, y para esto se usa un sistema de comunicación Wi-Fi, para que de esta manera se logre transferir rápidamente toda la información desde y hacia el vehículo. Esta información así como la forma de conexión será explicada más adelante. Se establecen dos formas para la conexión del vehículo, en la primera se conecta el sistema de mando remoto a través de una red Ad-Hoc con la plataforma móvil, y en la segunda se conecta la plataforma móvil a un enrutador y luego vía Wi-Fi al sistema de mando remoto. La operación del vehículo se realiza con un GamePad, el cual se puede observar en la Figura N° 6



Fig. 6. Logitech Dual Action GamePad [6]

Éste se conecta a la estación de mando y la información de los diferentes botones y palancas es adquirida por un computador con capacidad de conexión a una red inalámbrica, estructural o Ad-Hoc. El computador envía la información a la plataforma móvil, la cual posee un sistema embebido de referencia TS-7350 de Technologic Systems [7],

Éste dispositivo posee puerto de conexión RJ-45, el cual es utilizado por las conexiones Ethernet y de ésta manera se puede conectar al enrutador, adicionalmente se instaló un dispositivo de red inalámbrica que se conecta por medio del puerto USB y permite conectarse sin cables tanto al enrutador, por medio de una red estructural, como a la estación de mando remoto, por medio de una red Ad-Hoc. Este procedimiento se puede observar de manera gráfica en la Figura N° 7 y N° 8



Fig. 7. Conexión a través de un enrutador

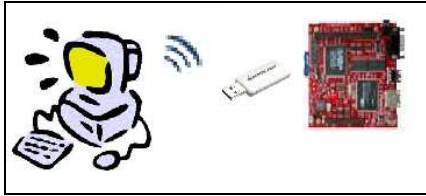


Fig. 8. Conexión mediante una red Ad-Hoc

Los sensores envían la información correspondiente a esta tarjeta y ésta se encarga de enviarlos al computador para realizar el monitoreo a distancia. Así mismo los servo-controladores recibirán la información necesaria para que los motores realicen los movimientos indicados desde la estación de mando. Como se observa en la Figura N° 9.

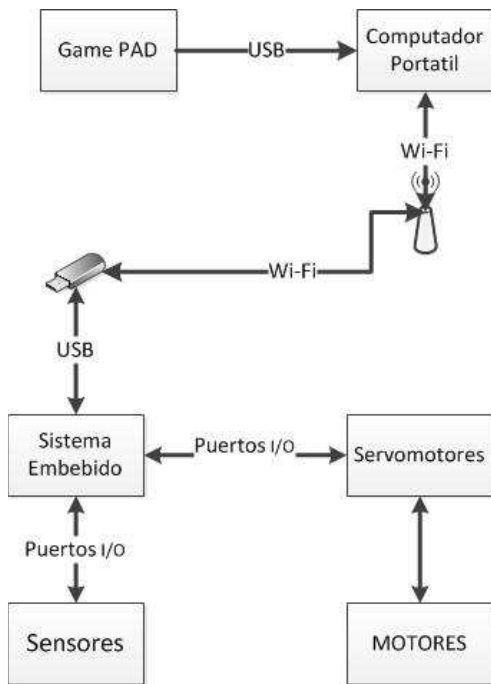


Fig. 9. Esquema general de conexiones en la plataforma móvil

De esta manera se comunican todos los dispositivos de hardware del sistema, a continuación se explicará cómo se realiza dicha comunicación.

### 2.3 Arquitectura de Software

El GamePad se conecta a través de un puerto USB con el computador del sistema de mando, en éste se ejecuta el sistema operativo Linux y en lenguaje de programación C++ [8], se elaboró una clase destinada a monitorear el puerto en el cual está conectado el dispositivo de mando. La estructura de comunicación que se recibe son datos enteros de 8 bits con el estado de cada uno de los botones y las palancas, internamente en el programa se han guardado los estados anteriores de las partes del control de mando, por lo que se realiza una comparación y se determina si hubo cambios o no. Este procedimiento se ejecuta en un hilo para que de esta manera no interrumpa el proceso del programa que maneja la interfaz gráfica que pudiera estar realizando diferentes tareas, tales como la visualización de la información de los sensores, etc. Si los estados no son iguales, quiere decir que hubo cambios por lo que se avisa al programa principal que debe enviar datos nuevos a la plataforma móvil. Para realizar el envío de esta información se creó una clase encargada de transmitirle los datos al socket empleado por el sistema operativo para la comunicación Wi-Fi [9] como se observa en la Figura N°10..

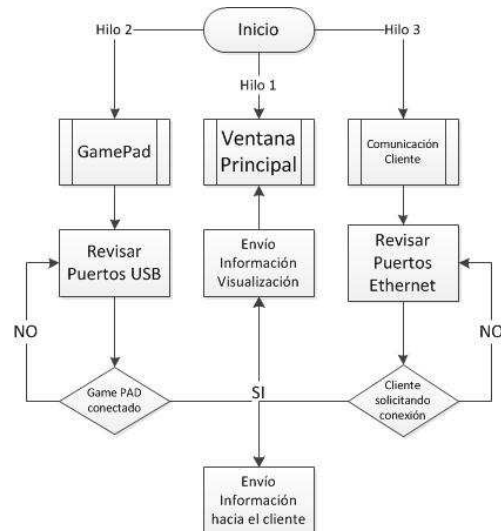
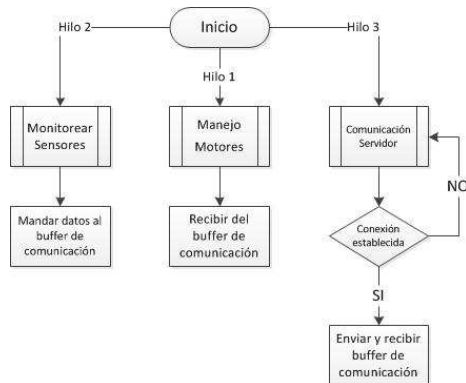


Fig. 10. Conexión mediante una red Ad-Hoc

Cuando los datos llegan al sistema embebido, el cual posee una versión adaptada del sistema operativo Linux Debian, éste también posee en un hilo una clase encargada de recibir la información que llega al puerto de comunicación W-Fi o Ethernet. Estos datos son interpretados por el programa principal el cual le ordena a los motores, a través de los servo-controladores, que movimiento deben realizar o si deben permanecer sin alteraciones.

En otro hilo se ejecuta un programa encargado de estar monitoreando constantemente los puertos de entrada de datos para mantener actualizada la información de los sensores, este envío de datos hacia la estación de mando, se realiza de la misma manera que desde el computador hacia la plataforma móvil como se puede ver en la Figura N° 11.



**Fig. 7. Conexión a través de un enrutador**

De esta manera se finaliza el diseño mecatrónico de un manipulador móvil destinado a la academia y de arquitectura abierta.

### 3. Conclusiones

El uso de un sistema de comunicación como Wi-Fi presenta mejores resultados en comparación con otros medios de Radio-Frecuencia, ya que al ser un protocolo comercial evita la pérdida de datos, así como incrementa la velocidad de transmisión de grandes volúmenes de información. Igualmente se evidencia que no existen colisiones cuando se han establecido varias conexiones Wi-Fi en la misma zona, por lo que es muy útil si se pretende construir y manejar varios de estos robots, por ejemplo para realizar investigaciones en robótica colectiva, ya que se pueden manipular simultáneamente una enorme cantidad de robots móviles.

Al diseñar este tipo de robots, se conocen todos los parámetros necesarios para implementar nuevas leyes de control, y debido a que es de arquitectura abierta se facilita la actualización o el mejoramiento de todas las partes. Se provee una plataforma que permite realizar futuras investigaciones tanto en el área de la robótica de manipuladores como en el área de la robótica móvil ofreciendo posibilidades para la generación de nuevos conocimientos en control, materiales, mecánica en general, generación de trayectorias, programación y manejo de sistemas embebidos.

Al centralizar la información en una herramienta poderosa y mantenerla al interior del robot, se mejora enormemente la eficiencia del control y del monitoreo en comparación con aquellos donde el procesamiento de los datos se realiza en la estación remota o en microprocesadores de baja velocidad.

### Referencias

- [1] Nasa, 23 de Noviembre de 2007, Robot Konabot , 21 de Agosto de 2011, [http://www.nasa.gov/mission\\_pages/mars-pathfinder/](http://www.nasa.gov/mission_pages/mars-pathfinder/).
- [2] Telerob, Robot Teodor , 21 de Agosto de 2011, <http://www.army-technology.com/contractors/mines/telerob>
- [3] Universidad de Buenos Aires, 2008, Robot Konabot , 21 de Agosto de 2011, <http://www.uba.ar/comunicacion/noticia.php?id=1831>.
- [4] Shigley J, Mischke C. “*Diseño en Ingeniería mecánica*”, McGraw Hill, México, Sexta Edición, 2002.
- [5] Hibbeler R. “*Mecánica Vectorial para ingenieros*”, Pearson Education, Décima Edición, 2004.
- [6] © 2011 Logitech, 2011, Logitech, GamePads , 21 de Agosto de 2011, <http://www.logitech.com/gaming/controllers/devices/288>
- [7] Systems Inc., Technologic Systems, 21 de Agosto de 2011, <http://www.embeddedarm.com>
- [8] Deitel M, Deitel P, “*Como programar en C++*”, Ed. Prentice Hall, 1999.
- [9] <http://www.chuidiang.com>, 04 de Febrero de 2007, Programación de sockets en C de Unix/Linux , 21 de Agosto de 2011, [http://www.chuidiang.com/clinix/sockets/sockets\\_simp.php](http://www.chuidiang.com/clinix/sockets/sockets_simp.php).