

# Robot Recolector para limpieza de playas en ambiente simulado

Cristobal Barrientos Low, Felipe Acevedo La Rivera.,  
Alejandro Homes Ovando, Rene Pozo Puschmann,  
Equipo ROVER

**Resumen**—En este documento se presenta los elementos que conforman un robot autónomo capaz de cumplir el desafío propuesto en la competencia LARC 2013 y los resultados obtenidos luego de su construcción, el desarrollo se centra en el campo de la navegación, manipulación y visión por computadora.

**Palabras claves**—Robótica, Navegación, Visión Computacional, Sensor de Profundidad

## I. INTRODUCCIÓN

La Robótica es la rama de la tecnología que se dedica al diseño, construcción, operación, disposición estructural, manufactura y aplicación de los robots. Este campo combina diversas disciplinas como lo son: mecánica, electrónica, informática, inteligencia artificial e ingeniería de control, entre otras.

En esta línea, un robot es una entidad física o virtual, en general un sistema electromecánico que por su apariencia o movimientos pareciera tener un propósito. Los robots se clasifican de diferentes maneras, la más utilizada es la que se basa en su arquitectura, en este ámbito, un robot móvil está provisto de patas, ruedas u orugas que debido a su programación le es capaz de desplazarse en diferentes tipos de terrenos, éstos elaboran la información que reciben a través de sus propios sistemas de sensores y se emplean en determinado tipo de instalaciones industriales, sobre todo para el transporte de mercancías en cadenas de producción y almacenes, además se utilizan en investigación y exploración.

La Competencia Latinoamericana de Robótica (LARC), cada año presenta un nuevo desafío y desde su creación a buscado generar un espacio para los grupos de investigación en el área de la robótica universitaria a lo largo de Latinoamérica, para compartir experiencia y trabajo.

Para el diseño e implementación de un robot se deben tener en cuenta diferentes factores no triviales, como por ejemplo la navegación y manipulación de objetos, además se debe lograr un correcto posicionamiento, evitando la acumulación de errores producto de la medición de los sensores.

Artículo presentado el 13 de Septiembre del 2013, como TDP de explicación de equipo ROVER para participar en LARC 2013, Arequipa, Perú. Equipo ROVER pertenece al Centro de Robótica de la Universidad Técnica Federico Santa María, Chile (contacto: cbarrientoslow@gmail.com)

También se presentan desafíos en cuanto a la mecánica (imprecisión de los motores, variables ambientales, derrape de la ruedas, etc.) y las variables ambientales que cambian las condiciones normales de operación de los dispositivos.

## II. DESAFIO

El desafío LARC 2013 categoría Libre [2] consiste en la construcción de un robot que ayude en la limpieza de las atiborradas playas de Sudamérica. El escenario de la competencia simula un segmento circular de la playa con elementos habituales presentes en éstas (arena irregular, personas, basura y accesorios comunes). El robot debe recolectar en forma autónoma un máximo de 20 latas de bebida pintadas de color negro - que representan la basura- y ubicadas en forma aleatoria sobre el escenario. Por otro lado, para cumplir su objetivo el robot debe ser capaz de evadir obstáculos, los cuales son un maniquí, una sombrilla de playa y una silla (ver Fig. 1), además luego de capturar las latas debe depositarlas en un contenedor (aro de color rojo) ubicado sobre la arena evitando salirse del escenario.



Fig. 1. Escenario Categoría Libre - Robot limpiador de playa.

## III. SISTEMA ROBOT MÓVIL

El robot propuesto en este documento, tiene como objetivo: identificar, manipular objetos y navegar en ambientes con alto grado de incertidumbre, para lograr esto se incorporan una serie de sensores, controladores y actuadores para conformar en su conjunto un robot autónomo capaz del lograr el desafío expuesto en el punto anterior.

En la Fig. 2. se presenta el diagrama de las componentes del robot y como éstas se comunican entre sí.

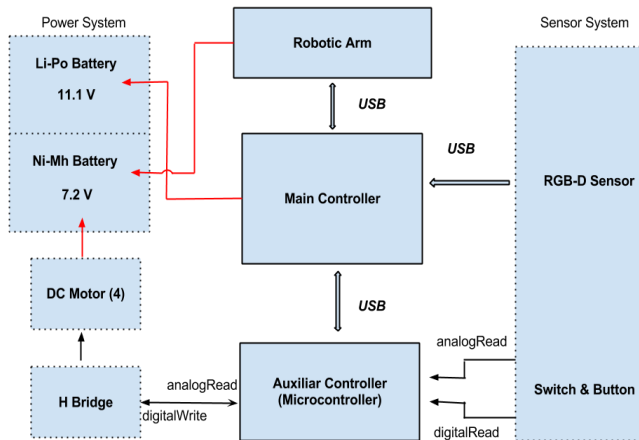


Fig. 2. Diagrama Modular de la Plataforma

El sensor RGB-D, el Controlador Auxiliar Primario y el Brazo Robótico están directamente conectados al Controlador Principal a través de USB, lo que permite a éste manejar en forma local el estado global del robot. El Controlador Principal recibe información de navegación de los sensores, la procesa y envía una acción determinada Puente H.

El Controlador Auxiliar Primario cumple la función de puente entre el Controlador Principal y los demás elementos (actuadores y sensores) del sistema, recibe información en forma análoga del Sensor IR y en forma digital del Switch & Botón, a la vez controla los Motores DC a través de un Puente-H con pulsos digitales de ancho variable (PWM) y también controla los Servo-Motores.

El sistema de alimentación consta de dos baterías LiFe, una de 7.2 V que proporciona energía para los Motores DC y el Controlador Principal y otra de igual voltaje para los Servo-Motores que conforman el Brazo Robótico.

#### A. Controlador Principal

##### Fit-PC2:

La Fit-PC2 es una computadora de bajo peso, pequeñas dimensiones y eficiente energéticamente. Por estas características es que se eligió este sistema como Controlador Principal para ir montado sobre el Robot.

Para este desarrollo, se modificó el disco duro HDD por un SSD para evitar los reinicios de la computadora producto de los movimientos bruscos de la plataforma. Además, se instaló un Sistema Operativo Debian 6 "Squeeze" que ofrece las ventajas de rendimiento, soporte y repositorios de los Sistemas Operativos Open Source.

A continuación (Tabla. 1) se presentan especificaciones técnicas de la Fit-PC2:

Modelo	Fit-PC2
CPU	Intel Atom Z530 1.6GHz
RAM	1 GB DDR2-533
Disco Duro	60 GB SSD 2.5" SATA II
Gráficos	Intel GMA500
Red	1000 BaseT Ethernet 802.11n WLAN
OS	Debian 6 "Squeeze"
Alimentación	8-15 V
Consumo de Energía	6W a baja carga de CPU 8W a alta carga de CPU 0.5W en estado idle
Dimensiones	101 x 115 x 27 mm
Masa	370 gr - Incluido Disco Duro

Tabla. 1. Características Controlador Principal



Fig. 3. Fit-PC2

Las ventajas que presenta utilizar un mini-computador como Controlador Principal es que permite procesar en forma local las imágenes obtenidas del sensor RGB-D, centralizando el procesamiento para lograr una programación y prueba de algoritmos más eficiente, ya que esto se hace sobre el mismo robot. Por otro lado, la capacidad de conectarse por medio de un cable Ethernet o Wifi a la plataforma nos proporciona libertad y velocidad en las pruebas en terreno

#### B. Controlador Auxiliar

##### 1. Micro controlador Arduino:

Arduino [2] es una plataforma electrónica de código abierto compuesto por un micro controlador, un lenguaje de programación y una IDE. Arduino es una herramienta para hacer aplicaciones interactivas diseñadas para simplificar estas tareas a los novatos pero lo suficientemente flexible para que expertos desarrollen proyectos complejos.

Para este proyecto se utiliza un Arduino Duemilanove (Ver Fig. 4.) que trabaja con un micro controlador basado en el ATmega168 o el ATmega328. Tiene 14 pines con entradas/salidas digitales (6 de las cuales pueden ser usadas como salidas PWM), 6 entradas analógicas, un cristal oscilador a 16Mhz, conexión USB, entrada de alimentación, una cabecera ISCP, y un botón de reinicio. Se Alimenta con 5V directamente desde el Controlador Principal, además por esta vía (USB) se realiza la comunicación entre los dos dispositivos.

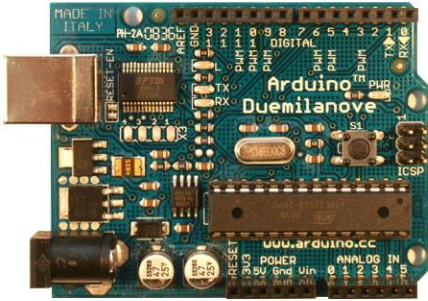


Fig. 4. Arduino Duemilanove

Para lograr una mejor interconexión de los componentes se construye una PCB para conectar al Controlador Auxiliar Primario (Arduino Duemilanove), se realiza el diseño en el software EAGLE [3] y se construye a por medio de una Mini-CNC.

A continuación se presenta el diseño en software de la PCB.

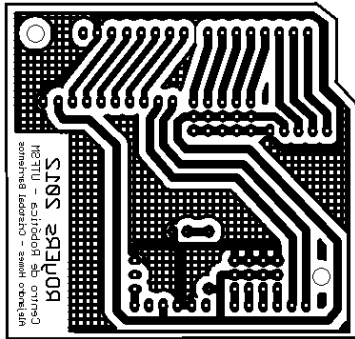


Fig. 5. Diseño PCB en software EAGLE

### C. Sensor RGB-D

#### Cámara Asus Xtion PRO LIVE:

La cámara Asus Xtion PRO LIVE [4] es una cámara RGB con un sensor de profundidad en 3D que funciona a través de una luz y detector, ambos infrarrojos. El sensor provee acceso a dos imágenes, una RGB y también a una imagen de profundidad en 3D. El uso de una combinación de ambas imágenes provee un nivel razonable de capacidad para el reconocimiento de objetos. En la Fig. 7. se observa una imagen frontal de la cámara indicando sus respectivos sensores.



Fig. 6. Parte frontal de la cámara ASUS Xtion PRO LIVE, se destaca la cámara RGB, el detector IR, la luz IR y los micrófonos.

Para obtener acceso a los sensores de la cámara RGB-D se utiliza como interfaz un Software llamado OpenNI [5], éste marco provee la interfaz para el dispositivo físico y los componentes del “middleware”. La API permite que los módulos se registren en el marco OpenNI y sean utilizados para producir los datos sensoriales. La selección del módulo de hardware o “middleware” es fácil y flexible.

Se utiliza un sensor RGB-D para poder obtener una visión tridimensional del escenario, así luego de un tratamiento de imágenes poder detectar los obstáculos y los elementos objetivo (latas).

### D. Otros Sensores

#### Switches y Botones:

Un Switch estándar de dos y tres estados es usado para apagar la fuente de poder e inicializar el programa principal. Además se implementa un botón de parada rápida.

### E. Brazo Robótico

#### AX-12 Smart Robotic Arm:

El AL5D [6] es un brazo robótico de 5 grados de libertad, posee retroalimentación de posición, voltaje, corriente y temperatura, la comunicación se realiza mediante USB con el Controlador Principal (Fit-PC2). Para este trabajo se utiliza la base, el hombro y el codo del brazo para utilizarlo como canasto.



Fig. 7. AX-12 Smart Robotic Arm

El Brazo Robótico debe tener la capacidad de realizar movimientos para capturar las latas y dejarlas en el depósito, el encargado de obtener la ubicación de éstas es el Controlador Principal al procesar las imágenes entregadas por la cámara RGB-D. Se utilizan algoritmos de Cinemática Inversa para obtener un movimiento del brazo hacia un punto del plano cartesiano en forma transparente, ósea a la entrada tener una posición  $\{x,y,z\}$  y en la salida obtener un conjunto  $\{x',y',z'\}$ , sin la necesidad de entregar valores de ángulo para los servomotores involucrados en el movimiento del brazo.

### F. Motor DC

El desplazamiento del robot móvil está basado en cuatro motores DC "Metal Gearmotor 25Dx56L" de 6 V cada uno, para controlar la dirección y velocidad de estos motores, se utiliza un Puente H (Ver Fig. 9.) conectado al microcontrolador principal y a una batería Ni-Mh de 7.2 [V].

Las especificaciones de los motores son las siguientes:

<b>RPM</b>	33 rpm
<b>Reducción</b>	172:1
<b>Torque</b>	12.24 kg-cm
<b>Diámetro de salida</b>	4 mm
<b>Masa</b>	105 gramos
<b>Alimentación</b>	6 vdc

Tabla. 2. Especificaciones Motor DC - Gear Head Motor @6V



Fig. 8. Puente H - RoboClaw 2x5A

## IV. RESULTADOS

### A. Estructura

La estructura del Robot se compone principalmente por tres partes:

- (i) Una base de acrílico compuesta por dos orugas, que permiten el desplazamiento del robot en el terreno propuesto por la competencia.
- (ii) Brazo Articulado que permite el agarre de las latas.
- (iii) Sistema de Visión compuesto por una cámara RGB-D.

En la Fig. 11. muestra una imagen de la plataforma construida.

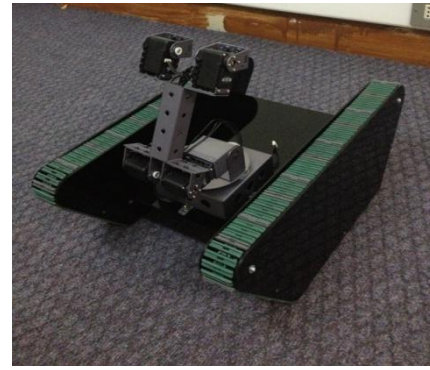


Fig. 9. Plataforma Robótica - ROVER

### B. Software

Para lograr la autonomía y control del robot se necesita implementar diferentes algoritmos computacionales en los módulos detallados en la sección III, ahora se analiza cada uno de los elementos programados:

#### Controlador Principal

Es el encargado de coordinar y procesar los datos del robot, datos de los sensores, calcular las rutas de navegación y enviar las órdenes de movimiento a los controladores auxiliares, como se muestra en la Fig. 2. Los principales algoritmos son:

##### i) Procesamiento Digital de Imagen:

Dado el limitado procesamiento de cómputo, se optó por procesar dos imágenes 2D a una 3D. Por lo que del sensor RGB-D se obtienen dos imágenes 2D a procesar: (i) una imagen RGB, la cual permite identificar cada elemento (latas y obstáculos) y detectarlos en un plano  $x,y$ . (ii) la segunda imagen corresponde a una estimación de la profundidad espacial de lo capturado por el sensor, lo que permite obtener una distancia  $z$  de los elementos capturados en la primera imagen (RGB). En la Fig. 8 se presenta el resultado del procesamiento de imagen para detectar una lata.



Fig. 10. Resultado Algoritmo de Detección

Se utiliza C++ para procesar los datos capturados por el sensor de imagen, se utilizan dos algoritmos diferentes dependiendo

del uso de los datos. En el caso de detección de obstáculos se utiliza una línea horizontal fija y se divide en cuatro secciones, por otro lado (Ver Fig. 13.), para la detección de latas se implementa un algoritmo que detecta la forma del objeto y entrega la posición de éste.

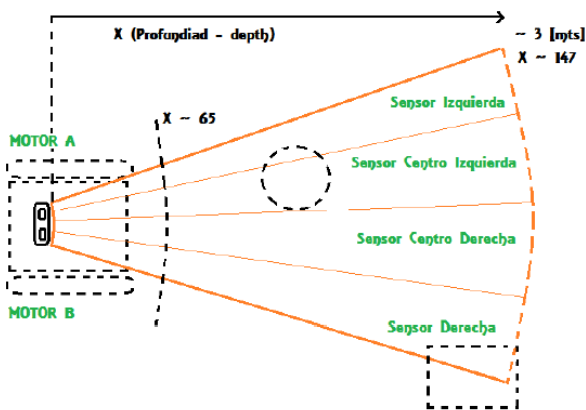


Fig. 11. Diagrama Detección de Obstáculos

### ii) Navegación y Manipulación:

Con los datos obtenidos por los sensores, el controlador principal debe procesar la información para generar rutas de navegación y órdenes de manipulación a los actuadores del robot.

Para la Navegación se utiliza Lógica Difusa en la evasión de obstáculos y un control PI por software para el seguimiento de las latas.

Para la manipulación de objetos se implementan algoritmos programados en C++ que permiten hacer la Cinemática Inversa del Brazo. El Controlador Principal obtiene desde la cámara la posición en  $\{x,y,z\}$  del objetivo y la envía al controlador del brazo para que genere el movimiento adecuado de los servo-motores.

### Controlador Auxiliar 1

Este controlador está programado en modo esclavo para el Controlador Principal, recibe órdenes, ejecuta las instrucciones como leer datos del sistema de Sensores y envía órdenes a los actuadores (Motores y Servos). Para poder efectuar una correcta comunicación se generó un protocolo de comunicación.

Se comunica con el Puente H para generar el movimiento de los Motores, los cuales son principalmente Hacia Adelante y Hacia Atrás, con una determinada velocidad dada por una salida digital PWM, de esta forma se hacen las combinaciones necesarias para lograr un set de movimientos suficientes.

### Protocolo de Comunicación

El protocolo de comunicación permite comunicar el Controlador Principal - la FitPC 2 - con el Controlador Auxiliar 1. Dependiendo del actuador o sensor, el paquete de

datos es codificado en el extremo transmisor y decodificado en el receptor. El protocolo permite enviar/recibir paquetes de largo fijo en bytes, en forma segura y confiable, principalmente por medio de banderas de inicio y fin de datos, además de métodos de comprobación de largo de paquete.

Se desarrolla una librería en C que soporta la interfaz entre el Controlador Principal y los periféricos (actuadores, sensores), en detalle esta librería implementa funciones de comunicación entre la Fit-PC2 y el micro-controlador Arduino utilizando comunicación Serial.

## V. CONCLUSIONES

Se presento el diagrama general y los componentes específicos que componen un robot para cumplir el desafío de una competencia de Robótica. Además, se explico la función que cumplen cada uno de los módulos de la Plataforma y la justificación de su elección.

El diseño y construcción de una Robot para una competencia o concurso implica una elección cuidadosa de los componentes a utilizar y un conocimiento profundo del problema a resolver, por ejemplo la decisión de utilizar orugas o ruedas normales en el movimiento del robot debido a la composición irregular y de partículas sueltas del terreno.

Se deben tener en cuenta en la etapa de diseño diversos factores, entre ellos el tiempo requerido en la construcción y programación del Robot, también recursos disponibles y el método de trabajo a utilizar.

En el estudio de la Robótica y/o su aplicación en la resolución de problemas se presenta la oportunidad de profundizar en áreas muy importantes en Ingeniería como lo es la Electrónica, Informática y Mecánica, integrando estas tres disciplinas para cumplir un objetivo específico.

## VI. REFERENCIAS

- [1] Reglas Categoría Abierta LARC 2013  
[http://ucsp.edu.pe/lars2013/?page\\_id=135&lang=es](http://ucsp.edu.pe/lars2013/?page_id=135&lang=es)
- [2] EAGLE  
<http://www.cadsoftusa.com/>
- [3] ASUS Xtion PRO LIVE Camera  
[http://www.asus.com/Multimedia/Motion\\_Sensor/Xtion\\_PRO\\_LIVE/](http://www.asus.com/Multimedia/Motion_Sensor/Xtion_PRO_LIVE/)
- [4] OpenNI  
<http://openni.org/>
- [5] Alejandro Homes Ovando, Jimmy Toro Marianjel, Cristobal Barrientos Low - Robot Recolector para cumplir desafio LARC 2012