

Robot Para Detectar y Desactivar Bombas Dragon

*Ing. Calderón Chávez Juan Manuel, Marín Calderón Sebastián, Pico Pérez Marcela,
Rodríguez Rojas Saith, Rojas Martínez Eyberth
GED ROBOTICA
Facultad de Ingeniería Electrónica, Universidad Santo Tomas De Aquino.
Bogotá, Colombia*

Resumen — En el presente artículo se muestra el diseño y desarrollo de un robot tipo actuador, encargado de detectar y desactivar bombas que se encuentren en su entorno. Para realizar esta función se requiere que el robot sea totalmente autónomo. El sistema está conformado por un modulo de tracción omnidireccional, sistema de visión artificial, manipulador para desarme de bombas y un sistema de respaldo basado en sensores infrarrojo para medir distancias.

Palabras Clave — Microcontrolador, Navegación Autónoma, Tracción Omnidireccional, Sensor, Visión Artificial, Manipulador.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad los robots son los candidatos perfectos para misiones peligrosas, los robots militares son la punta de lanza de la tecnología robótica todoterreno. El hecho de no tener que sacrificar soldados para determinadas misiones no es algo nuevo dentro de la tecnología militar. Después del completo desprecio por la vida de los soldados por parte de los altos mandos durante la Primera Guerra Mundial, el impacto negativo en la sociedad que tenía un alto número de bajas entre las filas propias ha ido creciendo hasta ser un elemento determinante a la hora de decidir el rumbo de los conflictos bélicos. Esto ha llevado a los profesionales a explorar el uso de tecnología avanzada, como la robótica, para mejorar la seguridad y evitar el riesgo de los seres humanos que deben desempeñar las tareas como lo es la detección y aun mas importante la desactivación de artefactos explosivos; de ahí surge la necesidad de crear un sistema autónomo capaz de realizar tareas que significan riesgo para el que las ejecute.

II. OBJETIVO

Diseñar y desarrollar un robot autónomo capaz de encontrar bombas que se encuentran en posiciones y alturas aleatorias, también se debe reconocer tanto los

colores de las bombas así como los colores de los cables que se necesitan cortar para lograr la desactivación de ellas.

III. ARQUITECTURA DEL SISTEMA

La arquitectura utilizada es maestro esclavo, donde la unidad de procesamiento central se encarga tomar decisiones y controlar cada uno de los diferentes módulos; como lo son la tracción, la visión, el manipulador y demás sistemas de respaldo. El diagrama de bloques se muestra en la figura 1.

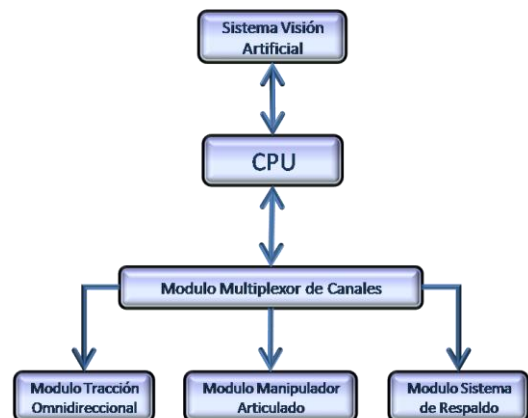


Figura 1. Arquitectura del Sistema

A. UNIDAD CENTRAL DE PROCESO

Como unidad de procesamiento central – CPU, se eligió un Laptop Asus Eee Pc 4G puesto que es un dispositivo con alta capacidad de procesamiento, versátil, liviano, de tamaño reducido y con múltiples opciones de comunicación con otros dispositivos, las características de hardware son las siguientes:

- Pantalla: 7" WVGA (800x480)
- Procesador: Intel mobile 910 GML Expres
- Sistema Operativo: Microsoft Windows XP
- Tarjeta Gráfica: Intel UMA
- Memoria: **1GB, DDR2-400**
- Almacenamiento: **4GB Flash**

- Vida de la batería: 2.8 hrs. (4 cells: 5200mAh, 2S2P)
- Dimensiones: 22.5 x 16.5 x 2.1~3.5cm
- Peso: 0.92kg

La CPU tiene como plataforma MATLAB, programa mediante el cual se manejan los algoritmos para controlar los diferentes módulos. El dispositivo de captura de imágenes se maneja por USB, mientras que los demás se multiplexan utilizando protocolo RS232; entonces cuando la CPU lo requiera podrá acceder a cualquiera de los módulos dependiendo de la acción a realizar.

B. TRACCIÓN

El desplazamiento del robot es omnidireccional, ya que con este movimiento se pueden mover en cualquier dirección y en cualquier momento. Para lograr este movimiento se requiere de llantas que se puedan mover en más de una dirección. La figura 2 muestra el tipo de rueda utilizado.

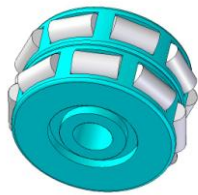


Figura 2. Rueda Omnidireccional

La ventaja de este movimiento es que se puede llegar a cualquier lugar sin la necesidad de que el robot rote. Para la tracción omnidireccional se requiere que en cada rueda se tenga un motor, además el mínimo número de ruedas para lograr este tipo de tracción es tres. Cada rueda genera una fuerza perpendicular al eje del motor. Por lo tanto la suma de cada una de las fuerzas da el desplazamiento del robot. Entonces la tracción que se utiliza es omnidireccional de tres ruedas, donde cada una de ellas tiene un ángulo de separación de 120°. La figura 3 muestra la base utilizada en el diseño del robot.

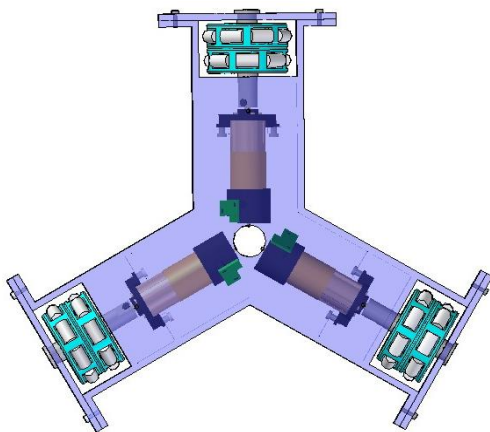


Figura 3. Base Robot. Movimiento Omnidireccional

Los motores utilizados son marca Namiki, Referencia 3501PG, su voltaje de trabajo esta en un rango de 6-12V, con un torque de 2-3Kg/cm y su velocidad es de 300RPM a 12V [4].

Para el control del movimiento se requiere de un algoritmo para pasar las velocidades de rotación y traslación del robot a las velocidades de cada motor, para esto se requiere llegar a un modelo cinemático omnidireccional.

Modelo Cinemático Omnidireccional

El proceso para el modelo cinemático para encontrar el aporte que hace cada rueda empieza por establecer un marco de referencia, en este caso se toma el plano cartesiano; esto para determinar la posición en coordenadas (x,y) del centro del robot, el ángulo que indica la ubicación de cada motor se mide en sentido anti horario con respecto al eje Y [1]. La figura 4. Muestra el plano de referencia con la dirección de cada una de las ruedas.

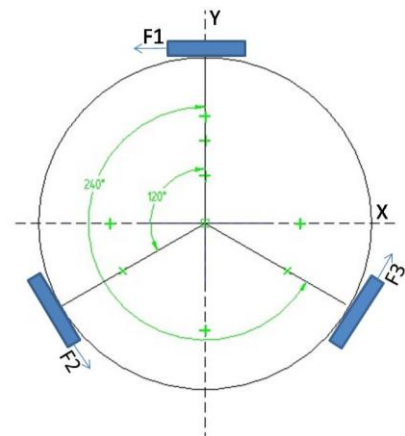


Figura 4. Medición de los ángulos y dirección de las fuerzas positivas

La dirección positiva de la fuerza que los motores ejercen es tangente al marco circular del robot y, como lo muestra la figura 4, apunta en sentido anti horario. La dirección de cada una de las fuerzas es el ángulo del eje del motor más 90° con respecto al eje Y del sistema de referencia.

Según la segunda ley de Newton:

$$F = ma$$

$$ma = \sum_{i=1}^N f_i \quad \text{Ec.1}$$

Por medio de la ecuación 1 se puede determinar la relación directa que existe entre la aceleración de un cuerpo, su masa y la suma de fuerzas que interactúan sobre él. Y hallando la proyección de las aceleraciones en X y Y se tiene:

$$a_x = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^N -f_i \left(\text{Sen} \left(\theta_i + \frac{\pi}{2} \right) \right)$$

$$a_x = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^N -f_i * \text{Cos} \theta_i$$

$$a_y = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^N f_i \left(\text{Cos} \left(\theta_i + \frac{\pi}{2} \right) \right)$$

$$a_y = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^N -f_i * \text{Sen} \theta_i$$

Ahora se requiere de la aceleración rotacional donde las fuerzas que ejercen los motores son tangenciales al marco circular de la base del robot. Por lo tanto la aceleración rotacional está dada por la siguiente ecuación:

$$a_\omega = \frac{R}{I} \sum_{i=1}^N f_i$$

Donde R es el radio de la base e I es el momento de inercia. El momento de inercia para cualquier distribución de masa estrictamente entre una concentración de masa en el centro y en la periferia (que sería el caso del robot), $I = \alpha m R^2$ con $0 < \alpha < 1$, entonces la aceleración rotacional está dada por:

$$a_\omega R = \frac{1}{m \alpha} \sum_{i=1}^N f_i$$

Estas ecuaciones de aceleración se pueden expresar como un vector de aceleraciones (a_x, a_y, a_ω) , el cual es igual al producto de una matriz con el vector de fuerzas.

$$\begin{pmatrix} a_x \\ a_y \\ a_\omega \end{pmatrix} = \frac{1}{m} \begin{pmatrix} -\text{Cos} \theta_1 & -\text{Cos} \theta_2 & -\text{Cos} \theta_3 \\ -\text{Sen} \theta_1 & -\text{Sen} \theta_2 & -\text{Sen} \theta_3 \\ \frac{1}{\alpha R} & \frac{1}{\alpha R} & \frac{1}{\alpha R} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \end{pmatrix}$$

Simplificando la escritura de la ecuación anterior se tiene que:

$$a = \frac{1}{m} M_a f \quad \text{Ec.2}$$

Donde a es el vector de aceleraciones del robot, M_a es la matriz acoplamiento de aceleración y f es el vector de fuerzas de los motores.

Por otra parte, para las rutinas de control es útil encontrar una expresión que relacione la velocidad del robot con el vector de velocidades de los motores. Por lo que es necesario encontrar una expresión que relacione las velocidades del robot con las velocidades de cada motor para que las rutinas envíen esa información al robot y éste se mueva hacia la posición deseada. Asumiendo que la relación de velocidades es de la misma forma que el de aceleraciones se puede suponer que es de la forma: $v_M \propto M_v v_R$, donde: v_M es el vector de velocidades de los motores, M_v es la matriz

de acoplamiento de velocidades, de dimensión 3x3. v_R es el vector de velocidades del robot.

Por lo anterior, la relación se puede expresar como:

$$\begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\text{Cos} \theta_1 & -\text{Sen} \theta_1 & \frac{1}{\alpha R} \\ -\text{Cos} \theta_2 & -\text{Sen} \theta_2 & \frac{1}{\alpha R} \\ -\text{Cos} \theta_3 & -\text{Sen} \theta_3 & \frac{1}{\alpha R} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega \end{pmatrix}$$

Simplificando la escritura de la ecuación anterior se tiene que:

$$v_m = M_v v_R \quad \text{Ec.3}$$

Donde v_R es el vector de velocidades del robot, M_v es la matriz acoplamiento de velocidad y v_m es el vector velocidad de los motores. Ahora a partir de las ecuaciones de velocidad de los motores y aceleración del robot se pueden hallar el vector velocidad del robot, y el vector de fuerzas de cada motor.

Entonces el vector de fuerzas de cada motor es:

$$f = m M_a^+ a \quad \text{Ec.4}$$

Y el vector de velocidades del robot es:

$$v_R = M_v^+ v_m \quad \text{Ec.5}$$

Donde M^+ indica la matriz pseudoinversa.

Por medio de las cuatro ecuaciones (Ec2, Ec3, Ec4, Ec5) se logra el algoritmo que controla la tracción del robot [1].

C. SISTEMA DE VISION ARTIFICIAL

El objetivo del sistema de visión artificial, es permitirle al robot mantener el curso sobre la pista e identificar tanto la posición de las bombas como los diferentes cables a cortar sobre estas [2].

Está conformado por dos elementos: en primer es un dispositivo de captura de imágenes, y el en segundo lugar se encuentra un algoritmo de procesamiento de imágenes que se ejecuta en la unidad central de proceso.

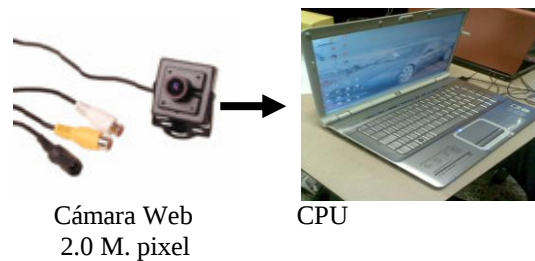


Figura 5. Sistema de Visión Artificial

a. *Dispositivo de captura de imágenes:* Como dispositivo de captura de imágenes se eligieron dos cámaras Web, la primera para permitirle al robot

desplazarse por la pista y ubicar las bombas y la segunda para determinar la posición de los cables y situar el dispositivo de corte; estas cámaras son manejadas directamente por la CPU y proporcionan la imagen digitalizada de 1600x1200 píxeles en formato RGB.

b. Algoritmo de procesamiento de imágenes: Dado que la CPU no ejecuta únicamente este algoritmo, sino que comparte sus recursos con los demás procesos que debe realizar el sistema, como la tracción, el manipulador y sistemas de respaldo, entre otros, el algoritmo de procesamiento de imágenes debe ser eficiente y veloz, para esto se usan técnicas que requieren pocas capacidades computacionales pero que son eficaces para reconocer las características de la imagen necesarias para lo que se requiere. A continuación se muestran las etapas del proceso que se realiza a la imagen capturada por la cámara.

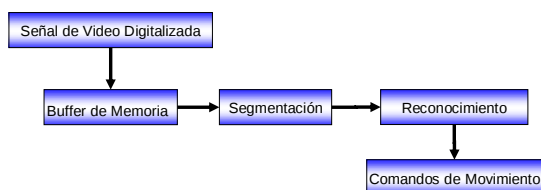


Figura 6. Diagrama de Bloques Procesamiento de Imágenes

En la primera etapa del proceso se adquiere la imagen del dispositivo de captura y se almacena en un buffer reservado por Matlab [3].

La segunda etapa consiste en un algoritmo que mediante técnicas de segmentación en color detecta la zona de interés de la imagen en este caso las bombas y los cables [2].

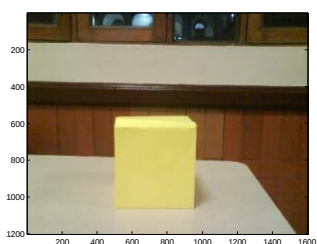


Figura 7. Imagen Original

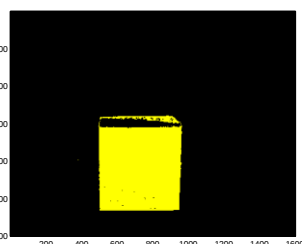


Figura 8. Imagen Segmentada

Luego se procede a reconocer la imagen para sustraer de esta la información necesaria para ejecutar los comandos del movimiento; Para esto se realiza el cálculo de la media de las coordenadas de posiciones (x,y) , para los píxeles que pertenecen a la zona de interés en la imagen obtenida por la segmentación.

Finalmente se decide los comandos necesarios para ubicar el robot frente al cubo y se envía las correspondientes codificaciones al sistema tracción.

D. MANIPULADOR ARTICULADO

El modelo articulado se basa en un sistema cartesiano el cual está conformado por tres eslabones y un dispositivo que permite desactivar los cables de las bombas; la figura 7. Muestra el sistema a utilizar.

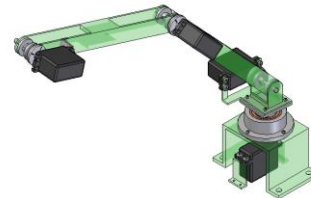


Figura 9. Manipulador Articulado

Como se observa en la figura 7. El sistema posee cuatro grados de libertad; cada grado de libertad es controlado por un servomotor los cuales son manejados por la CPU.

Para modelar el sistema se utiliza una cinemática de un manipulador planar de dos grados de libertad, ya que en si el sistema en su mayoría depende de los movimientos de los eslabones 1 y 2(figura 7). Existen dos metodos para llegar a este modelamiento llamdos cinemática directa y cinemática inversa.

Cinemática Directa

Este movimiento indica que apartir de los angulos de los eslabones se obtiene la posicion final. En la figura 8 se muestra el sistema con un plano de referencia centrado en el origen [8].

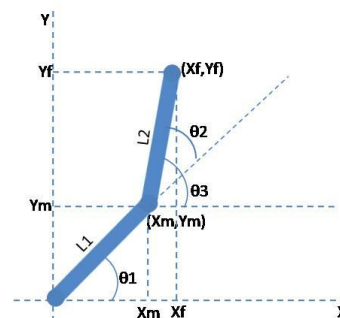


Figura 10. Cinemática Directa

$$\theta_3 = \theta_1 + \theta_2$$

$$\text{Sen}\theta_1 = \frac{Y_m}{l_1}$$

$$Y_m = \text{Sen}\theta_1 * l_1$$

$$\text{Cos}\theta_1 = \frac{X_m}{l_1}$$

$$X_m = \text{Cos}\theta_1 * l_1$$

$$Y_2 = Y_f - Y_m$$

$$X_2 = X_f - X_m$$

$$\text{Sen}\theta_3 = \frac{Y_2}{l_2}$$

$$Y_2 = \text{Sen}\theta_3 * l_2$$

$$\text{Cos}\theta_3 = \frac{X_2}{l_2}$$

$$X_2 = \text{Cos}\theta_3 * l_2$$

$$Y_f = Y_m + Y_2$$

$$Y_f = l_1 * \text{Sen}\theta_1 + l_2 * \text{Sen}(\theta_1 + \theta_2)$$

$$X_f = X_m + X_2$$

$$X_f = l_1 * \text{Cos}\theta_1 + l_2 * \text{Cos}(\theta_1 + \theta_2)$$

De esta manera se encuentra la posición final $Y_f = l_1 * \text{Sen}\theta_1 + l_2 * \text{Sen}(\theta_1 + \theta_2)$ y $X_f = l_1 * \text{Cos}\theta_1 + l_2 * \text{Cos}(\theta_1 + \theta_2)$, a partir de los ángulos θ_1 y θ_2 .

Cinematica Inversa

Este movimiento indica que a partir de la posición final se obtienen los ángulos de los eslabones θ_1 y θ_2 . En la figura 9 se muestra el sistema con un plano de referencia centrado en el origen.

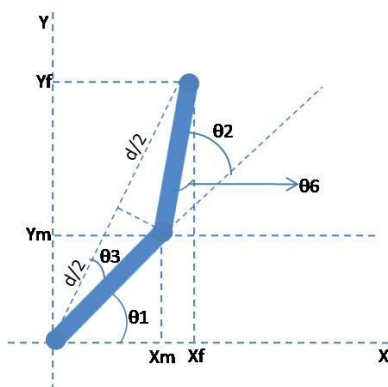


Figura 11. Cinemática Inversa

$$\theta_7 = \theta_1 + \theta_2$$

$$\theta_5 = \theta_3 + \theta_6$$

$$\text{Si } l_1 = l_2$$

$$d = \sqrt{X_f^2 + Y_f^2}$$

$$\theta_4 = \theta_1 + \theta_3$$

$$\theta_1 = \theta_4 - \theta_3$$

$$\text{Sen}\theta_4 = \frac{Y_f}{d}$$

$$\theta_4 = \text{Sen}^{-1}\left(\frac{Y_f}{d}\right)$$

$$\text{Cos}\theta_3 = \frac{d}{2 * l_1}$$

$$\theta_3 = \text{Cos}^{-1}\left(\frac{d}{2 * l_1}\right)$$

$$\theta_1 = \text{Sen}^{-1}\left(\frac{Y_f}{d}\right) - \text{Cos}^{-1}\left(\frac{d}{2 * l_1}\right)$$

$$\theta_5 = 90^\circ - \theta_4$$

$$\theta_6 = 90^\circ - \theta_4 - \theta_3$$

$$\theta_7 = 90^\circ - \theta_6$$

$$\theta_2 = \theta_7 - \theta_1$$

$$\theta_2 = 2 * \theta_3$$

$$\theta_2 = 2 * \text{Cos}^{-1}\left(\frac{d}{2 * l_1}\right)$$

De esta manera se encuentran los ángulos

$$\theta_1 = \text{Sen}^{-1}\left(\frac{Y_f}{d}\right) - \text{Cos}^{-1}\left(\frac{d}{2 * l_1}\right) \quad \text{y}$$

$$\theta_2 = 2 * \text{Cos}^{-1}\left(\frac{d}{2 * l_1}\right), \text{ a partir de las posiciones}$$

finales Y_f y X_f .

E. SISTEMA DE RESPALDO

Consiste en dos sensores de distancia que proporcionan al robot variables de proximidad de los diferentes objetos sobre la pista [5].

El primer sensor utilizado para evitar que el robot colisione con las paredes de la pista o con las bombas, tiene las siguientes características [6], [7]:

- Sensor infrarrojo marca SHARP
- Referencia GP2Y0A02YK
- Rango de detección :20 a 150cm
- Baja influencia en los colores reflejados.
- Salida de tensión proporcional a la distancia (-0.3 a VCC +0.3)

El segundo está situado sobre el manipulador apuntando hacia el dispositivo de corte y su función es evitar que este choque contra los cables y las bombas, teniendo

esta referencia, proporciona magnitudes de longitud ayudando al posicionamiento del manipulador que posteriormente cortara los cables, este sensor tiene las siguientes características:

- Sensor infrarrojo marca SHARP
- Referencia **GP2D120**
- Rango de detección: 4 a 30cm
- Baja influencia en los colores reflejados.
- Salida de tensión proporcional a la distancia (0.95 a VCC 2.55)

IV. CONTROL ELECTRONICO

El control de cada modulo se basa principalmente en microcontroladores que cumplen una función específica para cada caso:

A. CONTROL MOTORES DC DE TRACCION.

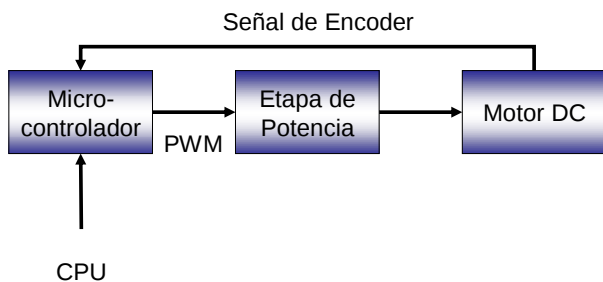


Figura 12. Diagrama de Bloques Control de Tracción. El microcontrolador recibe una orden de la CPU por protocolo RS-232 y genera una señal de PWM la cual modula la energía entregada por la etapa de potencia al motor; este a su vez proporciona una señal cuadrada que caracteriza su velocidad, esta es realimentada al microcontrolador para que este ajuste nuevamente la señal de PWM y así se logre una velocidad constante en el motor; Este sistema se implementara para cada uno de los tres motores.

B. CONTROL DE SERVOMORES Y ADQUISICION DE DATOS DE LOS SENSORES DE DISTANCIA.

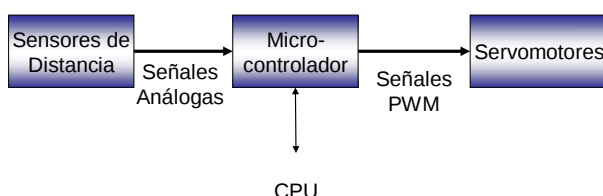


Figura 13. Diagrama de Bloques Control Servomotores y Adquisición de Datos de Distancia.

Según el dato recibido serialmente (Protocolo RS-232) desde la CPU se generan 5 señales de PWM una para cada servomotor, estas dependen del ángulo en que se

quiere situar cada servomotor, al mismo tiempo con la ayuda del conversor analógico-digital del microcontrolador se digitalizan las señales análogas de cada sensor de distancia, estas a su vez son enviadas hacia la CPU por el mismo protocolo RS-232.

VI. ARQUITECTURA MECANICA

Todas las piezas del prototipo están diseñadas y acopladas con magnitudes, proporciones y simetrías exactas acordes con las reglas del concurso y con el funcionamiento del robot; todo esto se hizo con la ayuda del software de modelamiento **SOLID EDGE V.17**; las correspondientes imágenes del diseño se presentan en los anexos.

REFERENCIAS

- [1] Edgar David Sotelo Iniesta, *Tesis Diseño e Implementación de los Robots F180 del ITAM., Instituto Tecnológico Autónomo de México*, México DF, 2006.
- [2] Juan M. Calderón Chávez, Alexa V. Obando Andrade, Diego F. Jaimes Prieto, *.Tesis Sistema de Navegación Autónomo para Vehículos de Exploración., Universidad Santo Tomas*, 2005
- [3] ASUS CORP., <http://eeepc.asus.com/global/product.htm>
- [4] ROBOTSTORE., <http://www.robotstorehk.com/motors/motors.html>
- [5] DYNAMOELECTRONICS., <http://www.dynamoelectronics.com/Dispositivosselectromecanicos.pdf>
- [6] Manual Sensor Infrarrojo Referencia GP2D120, www.DatasheetCatalog.com.
- [7] Manual Sensor Infrarrojo Referencia GP2Y0A02YK, www.DatasheetCatalog.com.
- [8] FUNDAMENTOS DE ROBÓTICA, 2ª Ed. Barrientos, Antonio; Peñín, Luis Felipe; Balaguer, Carlos & Aracil, Rafael.