

# DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BRAZO ROBOT TELEOPERADO

ADRIAN NORBEY GOEZ LOPEZ  
JHONY ANDREY GRISALES LOPERA

TECNOLÓGICO PASCUAL BRAVO, INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA  
FACULTAD DE MECÁNICA Y AFINES  
TECNOLOGÍA MECATRÓNICA  
MEDELLÍN  
2012

# DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BRAZO ROBOT TELEOPERADO

Presentado por:

ADRIAN NORBEY GOEZ LOPEZ  
JHONY ANDREY GRISALES LOPERA

Trabajo de grado presentado para obtener el título de  
Tecnólogo en Mecatrónica.

Asesor:

Guillermo Carvajal Rincón  
Estudiante de Maestría en Gestión Energética Industrial

TECNOLÓGICO PASCUAL BRAVO, INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA  
FACULTAD DE MECÁNICA Y AFINES  
TECNOLOGÍA MECATRÓNICA  
MEDELLÍN

2012

## CONTENIDO

|  | pág. |
|--|------|
| CONTENIDO  | 3    |
| LISTA DE TABLAS                                    | 6    |
| LISTA DE FIGURAS                                   | 7    |
| LISTA DE ANEXOS                                    | 9    |
| INTRODUCCIÓN                                       | 10   |
| 1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA                        | 11   |
| 2. JUSTIFICACIÓN                                   | 12   |
| 3. OBJETIVOS                                       | 13   |
| 3.1 GENERAL  | 13   |
| 3.2 ESPECÍFICOS                                    | 13   |
| 4. ESTADO DEL ARTE                                 | 14   |
| 4.1 DEFINICIÓN                                     | 14   |
| 4.2 REVOLUCIÓN INDUSTRIAL                          | 14   |
| 4.3 EDAD MODERNA                                   | 15   |
| 4.4 ROBOTS MANIPULADORES                           | 15   |
| 4.5 FASES DE DESARROLLO EN MANIPULADORES ROBÓTICOS | 16   |
| 4.6 LO ÚLTIMO EN BRAZOS ROBOTICOS                  | 19   |
| 4.7 ROBOTS TELEOPERADOS                            | 20   |
| 4.7.1 Antecedentes                                 | 20   |
| 4.7.1.1 Robot Andros Wolverine                     | 22   |
| 4.7.1.2 Robots teleoperados en Colombia            | 23   |

|   |    |
|---|----|
| 4.7.2 Elementos en la teleoperación                     | 25 |
| 4.7.2.1 Operador o teleoperador                         | 25 |
| 4.7.2.2 Dispositivo teleoperado                         | 26 |
| 4.7.2.3 Interfaz  | 26 |
| 4.7.2.4 Control de canales de información               | 26 |
| 4.7.2.5 Sensores  | 26 |
| 4.7.3 Arquitecturas de teleoperación                    | 26 |
| 4.7.3.1 Esquema posición-posición                       | 26 |
| 4.7.3.2 Esquema fuerza-posición                         | 26 |
| 4.7.3.3 Esquema fuerza-fuerza                           | 26 |
| 4.7.4 Sistemas de control de manipuladores teleoperados | 27 |
| 4.7.5 Teleoperación a distancia                         | 27 |
| 4.7.5.1 Ondas de radio                                  | 27 |
| 4.7.5.1.1 Clasificación de la radiofrecuencia           | 28 |
| 4.7.5.2 Modulación de radiofrecuencia                   | 28 |
| 4.7.5.2.1 Modulación AM (ASK)                           | 29 |
| 4.7.5.2.2 Modulación FM (FSK)                           | 29 |
| <br>  |    |
| 5. APORTE DEL PROYECTO                                  | 31 |
| 5.1 ELEMENTO DIFERENCIADOR                              | 31 |
| <br>  |    |
| 6. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO                             | 32 |
| 6.1 SISTEMA ELECTRONICO                                 | 32 |
| 6.1.1 Sensores de proximidad                            | 33 |
| 6.1.2 Señales lógicas de sensores                       | 34 |
| 6.1.3 Transmisión de datos                              | 36 |
| 6.1.4 Recepción de datos                                | 38 |
| 6.1.5 Protección de señales de radio                    | 39 |
| 6.1.6 Control de actuadores                             | 40 |
| 6.1.7 Control de alimentación de voltaje                | 41 |
| 6.2 SISTEMA LOGICO                                      | 43 |
| 6.2.1 Salida PWM  | 43 |
| 6.2.2 Algoritmo de control de servos                    | 45 |

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| 6.2.3 Recursos de software       | 48 |
| 6.2.3.1 Pic Basic Pro            | 48 |
| 6.2.3.2 PICPgm Programmer        | 48 |
| 6.2.3.3 Quemador de micros       | 49 |
| 6.3 SISTEMA MECÁNICO             | 50 |
| 6.3.1 Características especiales | 50 |
| 6.3.1.1 Movilidad                | 50 |
| 6.3.1.2 Articulaciones           | 50 |
| 6.3.1.3 Eslabones                | 50 |
| 6.3.2 Grados de libertad         | 51 |
| 6.4 CONSTRUCCIÓN                 | 52 |
| 6.4.1 Base del brazo             | 52 |
| 6.4.2 Brazo                      | 53 |
| 6.4.3 Antebrazo                  | 54 |
| 6.4.4 Muñeca                     | 55 |
| 6.4.5 Efecto final               | 56 |
| 6.5 ENSAMBLE                     | 57 |
| <br>                             |    |
| 7. RECURSOS                      | 58 |
| 7.1 HUMANOS                      | 58 |
| 7.2 TÉCNICOS                     | 58 |
| <br>                             |    |
| 8. PRESUPUESTO                   | 60 |
| 8.1 EQUIPOS                      | 60 |
| 8.2 MATERIALES                   | 61 |
| 8.3 MANO DE OBRA                 | 61 |
| <br>                             |    |
| 9. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES     | 62 |
| <br>                             |    |
| 10. CONCLUSIONES                 | 63 |
| <br>                             |    |
| 11. BIBLIOGRAFÍA                 | 64 |
| 11.1 WEBGRAFÍA                   | 64 |

## LISTA DE TABLAS

|   | pág. |
|---|------|
| Tabla 1 Clasificación de las ondas de radiofrecuencia                   | 28   |
| Tabla 2 Características eléctricas de 2N3904                            | 35   |
| Tabla 3 Articulaciones del brazo  | 52   |
| Tabla 4 Listado de equipos  | 58   |
| Tabla 5 Elementos electrónicos  | 59   |
| Tabla 6 Listado de elementos mecánicos                                  | 59   |
| Tabla 7 Listado y cotización de equipos principales                     | 60   |
| Tabla 8 Cotización de materiales para el montaje mecánico y electrónico | 61   |
| Tabla 9 Cotización de la mano de obra                                   | 61   |
| Tabla 10 Cronograma de actividades primer semestre 2011                 | 62   |
| Tabla 11 Cronograma de actividades segundo semestre 2011                | 62   |

## LISTA DE FIGURAS

|   | pág. |
|---|------|
| Figura 1 Tipos de brazo robot   | 16   |
| Figura 2 Manipulador Unimate (1956)                                     | 17   |
| Figura 3 Primer robot con accionamiento eléctrico: IRb6 ASEA            | 17   |
| Figura 4 Brazo PUMA   | 18   |
| Figura 5 Robot SCARA  | 18   |
| Figura 6 Brazo robot avanzado   | 19   |
| Figura 7 Primer Tele manipulador Maestro- Esclavo Mecánico              | 21   |
| Figura 8 Robot Andros Wolverine   | 23   |
| Figura 9 Robot RMTO I   | 24   |
| Figura 10 Diagrama del tipo de onda en modulación ASK                   | 29   |
| Figura 11 Diagrama de modulación FSK                                    | 30   |
| Figura 12 Diagrama de control electrónico                               | 32   |
| Figura 13 Sensor CNY70  | 33   |
| Figura 14 Diferentes posibilidades de montaje del CNY70                 | 33   |
| Figura 15 Circuito de mando de un sensor de proximidad                  | 34   |
| Figura 16 Vista del dispositivo y el diagrama de transmisión del pt2262 | 37   |
| Figura 17 Diagrama de transmisión del pt2262                            | 37   |
| Figura 18 Dispositivo de recepción de datos Pt2272                      | 38   |
| Figura 19 Diagrama de conexión de circuito receptor                     | 38   |
| Figura 20 Circuito de cambio de señal lógica                            | 39   |
| Figura 21 Circuito de mando de servomotores                             | 41   |
| Figura 22 Regulador de voltaje LM7805                                   | 42   |
| Figura 23 Circuito de regulador de voltaje                              | 42   |
| Figura 24 Representación de distintos anchos de pulso                   | 44   |
| Figura 25 Vista del PBP   | 48   |
| Figura 26 Quemador de PIC   | 49   |
| Figura 27 Diagrama de lazo cerrado del proyecto                         | 49   |
| Figura 28 Imagen de brazo terminado con sus partes                      | 51   |
| Figura 29 Partes de la base y pieza real                                | 53   |

|  |    |
|--|----|
| Figura 30 Planos del brazo y vista de pieza real     | 54 |
| Figura 31 Planos del antebrazo y vista de pieza real | 55 |
| Figura 32 Planos de muñeca y vista de pieza real     | 56 |
| Figura 33 Vista del efector final                    | 57 |
| Figura 34 Diagrama de control de un servo            | 67 |
| Figura 35 Vista interna de un servomotor             | 68 |



## LISTA DE ANEXOS

|                    | pág. |
|--------------------|------|
| ANEXO A SERVOMOTOR | 66   |

## INTRODUCCIÓN

Debido al gran auge que han tenido los dispositivos robóticos en el mundo entero y las diversas aplicaciones encontradas para estos sistemas, se ha proliferado aún más el entorno de desarrollo de nuevas máquinas automatizadas y telecontroladas y las formas de gobernar estos dispositivos también toman nuevos horizontes probando así la inventiva humana.

Un sistema teleoperado es aquel en el cual las decisiones de funcionamiento son tomadas directamente por humanos, usando para esto dispositivos de lectura del entorno como sensores de proximidad, presión, cámaras y sensores inductivos, por mencionar algunos. Cuando se conjugan toda una serie de aparatos electrónicos, mecánicos y la programación sistemática de procesadores se tiene por resultado una amplia gama de soluciones que satisfacen necesidades humanas de seguridad, servicio industrial, pedagogía, por mencionar algunos de los beneficios.

En el presente trabajo se describe una alternativa de controlar un manipulador mecánico a distancia tomando inicialmente para ello la construcción de un brazo robot como base del proyecto. Este brazo será de seis grados de movimiento haciéndolo flexible y así tener control de los objetos del entorno.

Como otra parte fundamental del proyecto en donde se mostrará un aporte a la forma de controlar el brazo, se desarrolló un sistema de mando para los distintos grados de movimiento del brazo, mediante un sistema de pulsos para manipular cada uno de los actuadores que intervienen en el movimiento de rotación y traslación. Un aspecto atractivo, es la función de realizar cambios de posición por control remoto.

Para llevar a cabo el objetivo de este proyecto es necesario mencionar que los circuitos se tomaron de controles adaptados a otros dispositivos y se les dio el uso requerido para cada uno de los bloques que conforman el brazo robot y el control de operador.

## 1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad es innegable el avance que ha tenido la industria robótica y la forma como han proliferado las maquinas que ayudan en muchas de las tareas que para los humanos se hacen repetitivas, peligrosas y físicamente imposibles. Todo este adelanto data de tiempos antiguos y ha requerido un arduo trabajo en la rama de las ciencias aplicadas hasta su evolución actual.

Específicamente en la parte de manipuladores robóticos existen una gran variedad de equipos y su forma de control cambia según la necesidad requerida. Pero es notoria una gran dificultad es su desarrollo, en un campo muy amplio demanda una inversión de recursos alta y poco accesible para sectores en vía de desarrollo, como lo es nuestro país.

En Colombia el uso de robots industriales, militares y de uso pedagógico es reducido debido en gran parte a su costo, lo que genera atraso y poca competitividad respecto a otros países.

En varios sectores de nuestra economía se ve la ausencia total de este tipo de tecnologías y es evidente en los procesos que varias industrias aún conservan para efectos de aumento de calidad y productividad; hay retrasos en el avance esperado para afrontar la globalización económica. Otro ejemplo se aplica a organismos de búsqueda y rescate en los cuales, en muchas ocasiones se vuelven infructuosas debido al hecho de no contar con las herramientas adecuadas para llevarlas a cabo. Otro foco de error en la aplicación de un procedimiento adecuado lo constituye el tema de seguridad, como caso puntual en nuestro país, es el terrorismo. En la gran mayoría de los casos se expone a personas para verificar zonas de alto peligro, revisión de objetos que pueden presentar peligro (bombas) y exploración de terrenos minados.

Por último se ve una falencia en el campo pedagógico, al no contar con elementos de experimentación en el área de la robótica de una forma profunda, real y tangible. Es más fácil aprender acerca de los robots con un elemento que podamos manipular, experimentar y modificar que solo basándonos libros de texto.

## 2. JUSTIFICACIÓN

Con el desarrollo de un brazo robot teleoperado, se quiere llegar a brindar solución distinta de forma innovadora y asequible para afrontar problemas particulares como el no contar con robots apropiados para trabajos peligrosos y no tener herramientas de aprendizaje en este campo como lo es el de la robótica; estas prácticas permiten generar opciones diversas para manipular objetos a distancia de una forma fácil.

Teniendo en cuenta los brazos robots existentes y la evolución que han tenido los mecanismos teleoperados, brindaremos una alternativa de controlar un manipulador mecánico robotizado, con la lectura de señales digitales vía radiofrecuencia.

Al conocer los distintos elementos como motores, microcontroladores, transistores y entre otros componentes electrónicos, surge la idea de construir una máquina útil de conveniencia a diversos sectores como lo son la medicina, el ejército y la industria; porque no solo con esto se da pie a prácticas de utilización planteadas en el objetivo, sino que se pretende mostrar conocimiento adquirido y puesto en práctica a otros estudiantes, para innovar a futuro a partir de esta idea y ampliar el campo de utilización.

El conocimiento del área de la robótica adquirido a lo largo de este trabajo también pretende crear conciencia de la necesidad de masificar el estudio, desarrollo y puesta en práctica lo cual conlleva al avance tecnológico local.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 GENERAL**

Diseñar y construir un brazo robot teleoperado, controlado con un circuito que reciba señales lógicas para los movimientos realizados en cada uno de los grados de libertad.

#### **3.2 ESPECÍFICOS**

Diseñar un algoritmo en lenguaje BASIC para programar un microcontrolador de forma tal que este pueda enviar pulsos PWM a un servomotor con el fin de cambiar su posición.

Construir e implementar un brazo mecánico con seis diferentes grados de movimiento, utilizando materiales de bajo peso y alta resistencia.

Construir e implementar un dispositivo con el cual se pueda controlar el brazo robot a distancia realizando movimientos sutiles con solo los dedos de una persona.

Operar el brazo ya construido en diferentes campos para comprobar su funcionamiento.

## 4. ESTADO DEL ARTE

En este punto se hará un breve seguimiento a los inicios de la robótica y a los distintos tipos de manipuladores industriales desarrollados, sus aplicaciones y la evolución de estos. Se hace necesario mostrar los distintos eventos que han girado en torno al tema tratado en este trabajo para poder distinguir el aporte generado con el desarrollo del brazo construido por los autores.

### 4.1 DEFINICIÓN

Un robot es una entidad virtual o mecánica artificial. En la práctica, esto es por lo general un sistema electromecánico que, por su apariencia o sus movimientos, ofrece la sensación de tener un propósito propio. La palabra robot puede referirse tanto a mecanismos físicos como a sistemas virtuales de software, aunque suele aludirse a los segundos con el término de bot`s. Los robots poseen dos características fundamentales:

**Multifuncionalidad:** versatilidad para llevar a cabo distintas tareas, incluso aquéllas no previstas en principio por los diseñadores, lo cual implica una considerable auto-adaptabilidad al entorno.

**Programabilidad:** capacidad para modificar la tarea mediante el cambio de programa, que propicia su adaptación rápida y económica a diferentes aplicaciones.

### 4.2 REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

El inicio del siglo XIX se logró nuevos avances en la automatización de tareas, como en la industria textil, cuando Joseph Jacquard<sup>1</sup> inventa en 1801 una máquina textil programable mediante tarjetas perforadas. En 1805, Henri Maillardert construyó una muñeca mecánica que era capaz de hacer dibujo, una serie de levas se utilizaban como

---

<sup>1</sup> Fue un inventor francés conocido por automatizar, mediante el uso de tarjetas perforadas, el llamado telar de Jacquard.

el programa ' para el dispositivo en el proceso de escribir y dibujar, básicamente se trataba de robots mecánicos diseñados para un propósito específico: la diversión.

La revolución industrial Impulsó el desarrollo de estos agentes mecánicos, entre los cuales se destacaron el torno mecánico motorizado de Babbitt (1892) y el mecanismo programable para pintar con spray de Pollard y Roselund (1939).

### **4.3 EDAD MODERNA**

Los robots actuales no tienen mucho que ver con los humanoides, y la mayoría de los expertos en robótica dirían que es complicado ofrecer una definición de robot universalmente aceptada.

Los robots actuales son obras de ingeniería y como tales concebidas para producir bienes y servicio o explotar recursos naturales. Desde esta perspectiva son máquinas con las que se continúa una actividad que parte de los propios orígenes de la humanidad y que desde el comienzo de la edad moderna se fundamenta esencialmente en conocimientos científicos.

### **4.4 ROBOTS MANIPULADORES**

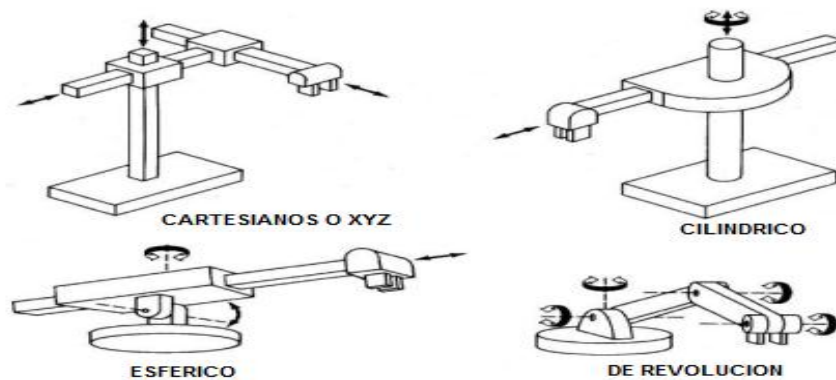
Los robots manipuladores son mecanismos asimilables al brazo humano, con la capacidad de realizar tareas como mover objetos, haciendo tareas que pueden ser repetitivas o peligrosas para los humanos. Los brazos robot se pueden encontrar de distintos tipos. En la figura 1 se ilustran los distintos tipos.

El tipo más común de brazo robot es el de revolución por su gran flexibilidad y precisión y debido a esto se han proliferado en el área industrial mayoritariamente.

El punto de mayor importancia al fabricar un manipulador industrial está concentrado principalmente en el sistema de control para cada uno de los movimientos a programar, para lograr un buen sistema de control se usan principalmente computadoras, en las que se programan movimientos en el plano tridimensional con los cálculos cinemáticos que

intervienen, en el caso de los brazos robot para calcular la posición de partes de una estructura articulada a partir de sus componentes fijas y las transformaciones inducidas por las articulaciones de la estructura.

Figura 1 Tipos de brazo robot.



Fuente: [www.monografias.com/trabajos16/estacion-robotica](http://www.monografias.com/trabajos16/estacion-robotica).

Los sistemas control computarizados en los manipuladores robóticos suelen tener una interfaz de conexión como lo pueden ser protocolo RS232, RS485 y redes de transmisión de datos. Cuando se tienen los cálculos necesarios para programar los distintos movimientos se procede a programar toda esta información en el procesador que es el que le da a los distintos actuadores del brazo su rotación en el caso de los brazos de revolución.

Con el avance de la tecnología cambia la forma de controlar las posiciones de un grado de movimiento esto se hace evidente desde la década de los años 50 a la fecha.

#### 4.5 FASES DE DESARROLLO EN MANIPULADORES ROBÓTICOS

Se pueden destacar estas fases relevantes en el desarrollo de la Robótica industrial: El laboratorio ARGONNE diseña, en 1950, manipuladores amo-esclavo para manejar material radioactivo. Unimation (Universal Automation), instala su primera máquina Unimate (figura 2), en la fábrica de General Motors de Trenton, Nueva Jersey, en una aplicación de Fundición por inyección, convirtiéndose en el primer robot industrial.



Figura 2 Manipulador Unimate (1956).



Fuente: [ingesaerospacerobotics.blogspot.com](http://ingesaerospacerobotics.blogspot.com)

Los laboratorios de la Universidad de Stanford y del MIT acometen, en 1970, la tarea de controlar un robot mediante computador.

En 1973 la firma sueca ASEA construyó el primer robot con accionamiento totalmente eléctrico. En 1980 se fundó la Federación Internacional de Robótica con sede en Estocolmo, Suecia. En la figura 3 se presenta el primer robot con accionamiento eléctrico.

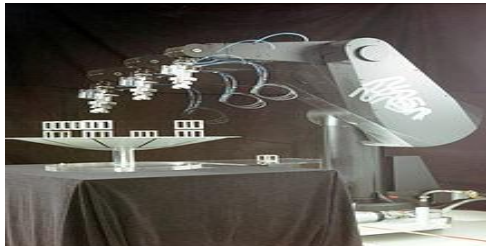
Figura 3 Primer robot con accionamiento eléctrico: IRb6 ASEA.



Fuente: [www.letraherido.com/19040302robots](http://www.letraherido.com/19040302robots).

En el año de 1975, la aplicación del microprocesador, transforma la imagen y las características del robot, hasta entonces grande y costoso. Se desarrolla el PUMA.

Figura 4 Brazo PUMA.



Fuente: [es.wikipedia.org/wiki/PUMA](http://es.wikipedia.org/wiki/PUMA).

A partir de 1980 el fuerte impulso en la investigación por parte de las empresas fabricantes de robots, otros auxiliares y diversos departamentos de universidades de todo el mundo obre la informática aplicada y la experimentación de los sensores, cada vez más perfeccionados, potencian la configuración del robot inteligente capaz de adaptarse al ambiente y tomar decisiones en tiempo real, adecuarlas para cada situación

La configuración de los primeros robots respondía a las denominadas configuraciones esférica y antropomórfica, de uso especialmente válido para la manipulación. En 1982, el profesor Makino de la Universidad Yamanashi de Japón, desarrolla el concepto de robot SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm) que busca un robot con un número reducido en grados de libertad (3 o 4), un coste limitado y una configuración orientada al ensamblado de piezas. La Figura 5 representa un manipulador SCARA.

Figura 5 Robot SCARA.



Fuente: Univ. Yamanashi de Japón-198.

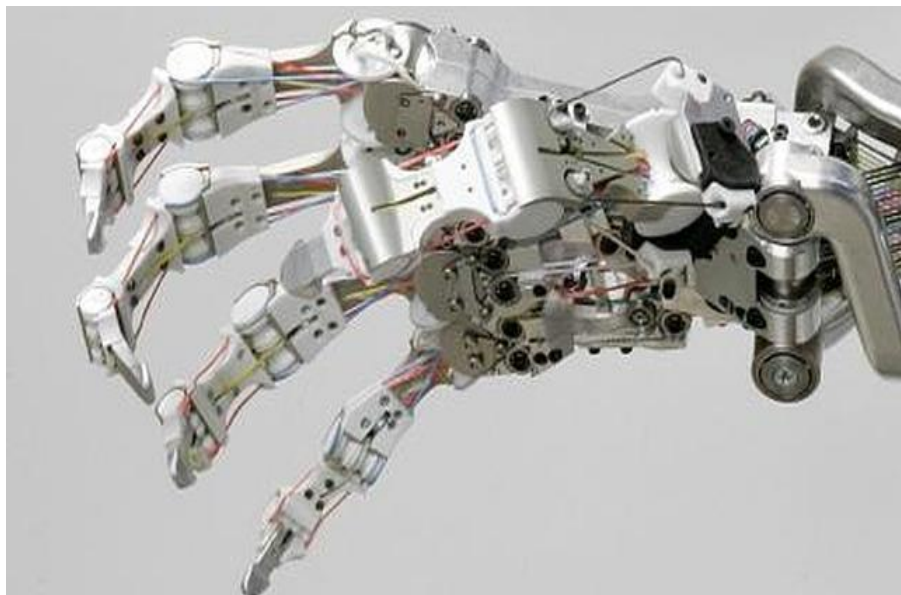
A partir de descubrimientos y el desarrollo de los manipuladores anteriormente mencionados se desencadenó una ola de diseños de brazo robot que tienen una amplia aplicabilidad como lo son diversos procesos industriales como la soldadura de punto y soldadura de arco, pinturas de espray, transportación de materiales, molienda de materiales, moldeado en la industria plástica, máquinas-herramientas, entre los usos más comunes que pueden tener los manipuladores industriales.

#### **4.6 LO ÚLTIMO EN BRAZOS ROBOTICOS**

Un grupo de investigadores alemanes ha creado el brazo robótico más fuerte y resistente de la historia (figura 6). Capaz de ejercer una fuerza de hasta 30 Newton en la punta de los dedos, el brazo está compuesto por 38 tendones conectados a motores individuales, gracias a estos tendones sus cinco dedos son totalmente articulables, además tiene un ángulo de movimiento de 19 grados.

La máquina se conserva en las oficinas del Instituto de Robótica y Mecatrónica dentro del Centro Aeroespacial Alemán. Esta nueva creación se mueve igual que un brazo humano y es prácticamente indestructible.

Figura 6 Brazo robot avanzado.



Fuente: [www.taringa.net/posts/ciencia-educación](http://www.taringa.net/posts/ciencia-educación)

## 4.7 ROBOTS TELEOPERADOS

### 4.7.1 Antecedentes

Desde hace tiempo, con el desarrollo de la tecnología, el hombre ha tratado de entender su propio funcionamiento para así, poder reproducirlo “Si no se entienden las capacidades y limitaciones de los humanos, no se pueden diseñar sistemas que les permitan operar efectivamente en ambientes remotos, virtuales o reales”, esto, haciendo referencia a la teleoperación y a la tecnología táctil. La teleoperación es el conjunto de tecnologías enfocadas a la operación o gobierno a distancia de un dispositivo por un ser humano.

En 1947 comenzaron las primeras investigaciones, lideradas por Raymond Goertz<sup>2</sup> del Argonne National Laboratory en Estados Unidos, encaminadas al desarrollo de algún tipo de manipulador de fácil manejo a distancia mediante el uso por parte del operador de otro manipulador equivalente. El primer logro se obtuvo en 1948 con el desarrollo del primer manipulador teleoperado mecánico, denominado M1, antecesor de toda la familia de sistemas maestro-esclavo de telemanipulación existentes actualmente. En la figura 7 podemos observar una fotografía correspondiente a Raymond Goertz manipulando químicos a través de un cristal de protección, hecha en 1948 en el Laboratorio Nacional de Argonne.

En los años sesenta se extendieron las investigaciones hasta el campo de las aplicaciones submarinas, siendo los sistemas cada vez más sofisticados, especialmente por la inclusión de cámaras y demás dispositivos para aumentar la telepresencia del operador.

A finales de los años sesenta y principios de los setenta, la tecnología de la teleoperación alcanzó su mayoría de edad con su utilización en aplicaciones espaciales.

---

<sup>2</sup> Raymond Goertz fue un pionero en el campo de la robótica, específicamente en el control remoto de robots.

Figura 7 Primer telemanipulador maestro-esclavo mecánico.



Fuente: [www.mechatronictips.com/2008/10/565/technology/motioncontrol](http://www.mechatronictips.com/2008/10/565/technology/motioncontrol).

Aparecieron nuevos retos y problemas [Sheridan, 93], siendo de especial relevancia la existencia de retrasos temporales en la comunicación entre la zona local y la zona remota.

En paralelo con la evolución histórica de las técnicas de teleoperación ha habido una evolución tecnológica motivada por los desarrollos de control, la informática y la robótica. Ha habido, por una parte una evolución en los sistemas mecánicos a los eléctricos, fibra óptica, radio e Internet, medio que suprime prácticamente las limitaciones de distancia.

El acto de teleoperar extiende la capacidad manipuladora del brazo y la mano humana a ambientes remotos, físicamente hostiles o peligrosos. Así, después de años de investigaciones, se desemboca en lo que actualmente se conoce como teleoperación Maestro-Esclavo, en donde un manipulador denominado esclavo reproduce fielmente los movimientos de un dispositivo o manipulador maestro, controlado a su vez manualmente por un operador humano. Se puede decir que es entonces cuando la Teleoperación cobra importancia como tecnología.

Desde que surgen estos sistemas de teleoperación hasta la actualidad se puede notar que ha existido un gran avance; cada vez el área de acción de la teleoperación es

más grande y va adquiriendo mayor importancia, las aplicaciones en la actualidad pueden ir desde la diversión y el entretenimiento hasta el rescate de personas en peligro. De acuerdo con su grado de autonomía, los robots pueden clasificarse en teleoperados de funcionamiento repetitivo y autónomos inteligentes. Se entiende por teleoperación el caso en el que un operador humano, remotamente ubicado respecto al robot, lo manipula. Esta teleoperación resulta incompatible con una autonomía robótica, entendida como el caso en que el control y toma de decisiones se realizan por el robot mismo.

Es por ello que 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. Los sistemas evolucionados suministran al operador realimentación sensorial del entorno (imágenes, fuerza, distancia).

En manipulación se usan brazos y manos antropomórficos<sup>3</sup> con controladores automáticos que reproducen los movimientos del operador. Existen también otros controles donde el operador mueve una réplica a escala del manipulador, reproduciéndose los movimientos en éste.

**4.7.1.1 Robot Andros Wolverine.** Este robot de la empresa Remotec que se ilustra en la figura 8 funciona de la siguiente forma:

La estación de teleoperación permite controlar al esclavo a distancia por medio del sistema de comunicación, el cual permite transmitir las señales de control hacia el esclavo y, a su vez, recibir señales de información sobre el estado de éste en la estación de teleoperación a través de un canal de comunicación que puede ser una red de computadores, un enlace de radio frecuencia o microondas.

Una estación de teleoperación puede estar compuesta por un computador y, en este caso, se utilizan los dispositivos de entrada y de salida para interactuar a distancia. Los

---

<sup>3</sup> Aplicar cualidades humanas a objetos inanimados.

dispositivos de entrada pueden ser el teclado y una palanca de control y los de salida, pueden ser un monitor y los parlantes. El software que se encuentra en el computador tiene una interfaz gráfica de usuario que permite interactuar con el robot a distancia. El esclavo es el dispositivo controlado a distancia, puede ser un móvil, un robot o un brazo mecánico.

Figura 8 Robot Andros Wolverine



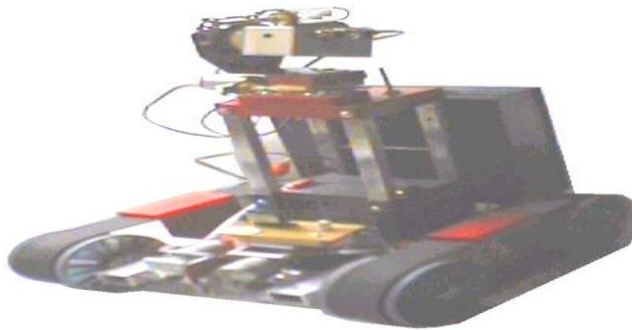
Fuente: <http://www.umng.edu.co/www/resources>

El robot (esclavo) está controlado por medio de un programa interno con el objeto de realizar tareas propias y tener mayor autonomía. Este programa está ubicado en la memoria de un sistema de procesamiento de datos sea éste un computador, un DSP (procesador digital de señales), un microprocesador o un microcontrolador. Los microcontroladores son pequeños computadores provistos de diversas prestaciones, existe una gran gama lo cual permite adaptarlos en diferentes aplicaciones, donde su utilización da lugar a estructuras altamente funcionales.

**4.7.1.2 Robots teleoperados en Colombia.** En nuestro país existen varios grupos de investigación dedicados al desarrollo de robots móviles, manipuladores industriales y sistemas inteligentes dentro de los cuales se pueden encontrar los siguientes robots teleoperados, puede que no sean los únicos que se han desarrollado en el país, pero son un claro ejemplo del avance colombiano en el campo de la robótica.

En la Universidad Nacional se tiene cuenta del desarrollo del robot móvil teleoperado (RMTO I), mostrado en la figura 9. Este robot es controlado a distancia desde una estación de teleoperación mediante un enlace de radio frecuencia, la imagen proveniente de una cámara ubicada en el robot es transmitida de manera inalámbrica a la estación de teleoperación. En la estación de teleoperación se encuentra un software desarrollado en lenguaje C++ que permite observar la visión del robot y enviarle comandos. La interfaz gráfica del software desarrollada para el manejo del robot está compuesta de dos ventanas, una para el despliegue del video proveniente de la cámara del robot y la otra para seleccionar los comandos de control. Una característica importante de este software es permitir el manejo del móvil usando una palanca de juegos (joystick o gamepad), el ratón o el teclado.

Figura 9 Robot RMTO I



Fuente: <http://www.umng.edu.co/www/resources>

Lo novedoso de este robot es la utilización de visión remota, ya que no se tiene en cuenta de trabajos anteriores en Colombia que la incorporen en la estación de teleoperación.

Detek es un robot de exploración de ambientes exteriores para la detección de objetos metálicos. Este robot fue desarrollado en la Universidad Javeriana, esta provisto de pistas de deslizamiento y un detector de metales, se ubica por medio de triangulación con sensores infrarrojos.

El Úrsula también desarrollado en la Universidad Javeriana, utiliza un sistema de locomoción compuesto de 6 ruedas, un detector de metales, esta provisto de una interfaz de teleoperación que permite observar la información proveniente de los sensores,



excepto el de la cámara de video. Estos robots han sido desarrollados para atacar el problema del desminado humanitario, pero tienen la desventaja de no ser aplicables en terrenos como el colombiano ya que la ubicación de minas puede ser inaccesible para el robot y existen muchos tipos de terrenos en los cuales un robot de estas características no puede navegar.

Es posible mejorar la navegación en algunos terrenos no estructurados, mediante el uso de un sistema de locomoción compuesto por ruedas y patas como el que puede observarse en el robot móvil para navegación autónoma en terrenos poco estructurados (R.E.T.O.) desarrollado en la Universidad Militar “Nueva Granada”, este robot está compuesto de ruedas provistas de tracción independiente y articulaciones que permiten modificar la altura de las ruedas para evadir algunos tipos de obstáculos.

Otra alternativa es el uso de robots ápodos (también conocidos como Snake robots, robots hiper-redundantes o robots fuertemente articulados) en los cuales el sistema de locomoción imita el movimiento de una serpiente. Estos se componen de múltiples articulaciones, esta alternativa se encuentra en desarrollo.

**4.7.2 Elementos en la teleoperación.** Los sistemas de teleoperación están constituidos, en general, por dos manipuladores robóticos (uno local y uno remoto), un canal de comunicación, el medio ambiente con el que interactúa el robot remoto y el operador humano.

Por lo tanto, un sistema de teleoperación se compone básicamente de un robot maestro gobernado por un operador y un robot remoto o esclavo, cuyo cometido es interactuar con el entorno de una manera que resulte útil en el desempeño de tareas concretas. Los robots normalmente tienen un lazo interno que hace que se comporten de manera lineal, desarrollando un algoritmo de control que permita al operador realizar tareas con tanta destreza como si manipulara directamente el entorno.

**4.7.2.1 Operador o teleoperador.** Es un ser humano que realiza a distancia el control de la operación, este interviene total o parcialmente en las operaciones del robot.

**4.7.2.2 Dispositivo teleoperado.** Puede ser un vehículo, un robot humanoide o en nuestro caso un manipulador.

**4.7.2.3 Interfaz.** Es el conjunto de dispositivos que permiten la interacción del operador con el sistema de teleoperación.

**4.7.2.4 Control de canales de información.** Conjunto de dispositivos que modulan, transmiten y adaptan el conjunto de señales que se transmiten entre la zona remota y la local. Para nuestro caso este dispositivo es un conjunto TX-RX<sup>4</sup> de radiofrecuencia.

**4.7.2.5 Sensores.** Conjunto de dispositivos que recogen la información del entorno tanto local como remoto.

**4.7.3 Arquitecturas en la teleoperación.** Las diferentes arquitecturas de control en teleoperación se diferencian básicamente por la información que se intercambia entre el maestro y el esclavo y por el tipo de sensores que se requiere. En función de la información intercambiada entre el maestro y el esclavo pueden clasificarse en las siguientes categorías.

**4.7.3.1 Esquema posición-posición.** La posición del esclavo se determina a partir de la del maestro y viceversa. No hay necesidad de sensores de fuerza.

**4.7.3.2 Esquema fuerza-posición.** La posición del esclavo se determina por seguimiento del robot maestro y las fuerzas que aparezcan sobre el esclavo se miden y se generan en el maestro mediante sus motores. Solo se requiere mediante la fuerza en el esclavo.

**4.7.3.3 Esquema fuerza-fuerza.** Las trayectorias del maestro y del esclavo se determinan a partir de las lecturas de fuerza en ambos. También existe un control local de posición en ambos robots.

---

<sup>4</sup> Transmisor-receptor.

**4.7.4 Sistemas de control de manipuladores teleoperados.** Existen diversas formas de manipular un brazo robot, para lo cual se diseñan interfaces que emplean tecnologías en las que se permiten realizar el movimiento de brazo en todo su conjunto de forma precisa y efectiva. Básicamente se puede hablar de lazo abierto y lazo cerrado.

El lazo abierto en la tele manipulación se refiere a el control ejercido sobre todos los grados de libertad para lograr un objetivo final que es la acción que el efector final realiza sobre el objeto a manipular, sin tener un mecanismo de referencia como sensores que envíen información acerca de área en la que se mueve el brazo mecánico. Para esto se cuenta con un sistema electrónico de control de los actuadores del brazo y como elemento de censado actúa principalmente el operador

**4.7.5 Teleoperación a distancia.** Uno de los factores que hace interesante el poder controlar un sistema mecánico mediante teleoperación es poder hacerlo a distancia, sin necesidad de cables que conecten al operador con los controles de la máquina. Para este propósito se emplean varias herramientas de avanzada tecnología como lo son los satélites que usan microondas para enviar y recibir datos de algún sistema computarizado a largas distancias.

Otra forma de poder enviar y recibir datos son los sistemas terrestres comunes como la tecnología WIFI<sup>5</sup>, radiofrecuencia, radar, routers inalámbricos. De estos últimos se puede decir que usan el mismo principio de funcionamiento como lo son las ondas de radio, solo que por la funcionalidad de cada forma de comunicación se emplean distintas frecuencias.

**4.7.5.1 Ondas de radio.** Son ondas cuyas frecuencias van desde algunos Hertz hasta  $10^9$  Hz y por consiguiente, el intervalo de longitudes de onda va desde algunos kilómetros hasta 30 Cm. Estas ondas se utilizan en los sistemas de radio y televisión y se generan fundamentalmente mediante circuitos electrónicos oscilantes.

---

<sup>5</sup> Mecanismo de conexión de dispositivos electrónicos de forma inalámbrica.

El uso de esta tecnología por primera vez es atribuido a diferentes personas: Alejandro Stepánovich Popov hizo sus primeras demostraciones en San Petersburgo, Rusia; Nikola Tesla en San Luis (Misuri), Estados Unidos y Guillermo Marconi en el Reino Unido.

**4.7.5.1.1 Clasificación de la radiofrecuencia.** Dependiendo de su frecuencia las ondas de radiofrecuencia se suelen clasificar en varias bandas, en la tabla 1 se muestra el rango de frecuencia, su denominación y la abreviatura utilizada para designar el rango de frecuencias, así como la longitud de onda

Tabla 1 Clasificación de las ondas de radiofrecuencia

| <i>Frecuencia</i> | Denominación                   | Abreviatura | Longitud de onda |
|-------------------|--------------------------------|-------------|------------------|
| 3-30 kHz          | Frecuencia muy baja            | VLF         | 100-10 km        |
| 30-300 kHz        | Frecuencia baja                | LF          | 10-1 km          |
| 300-3000 kHz      | Frecuencia media               | MF          | 1000-100 m       |
| 3-30 Mhz          | Frecuencia alta (onda corta)   | HF          | 100-10 m         |
| 30-300 Mhz        | Frecuencia muy alta            | VHF         | 10-1 m           |
| 300-3000 Mhz      | Frecuencia ultraelevada        | UHF         | 1 m-10 cm        |
| 3-30 Ghz          | Frecuencia superelevada        | SHF         | 10-1 cm          |
| 30-300 GHz        | Frecuencia extremadamente alta | EHF         | 1 cm-1 mm        |

Fuente: [www.asifunciona.com/electrotecnia](http://www.asifunciona.com/electrotecnia)

**4.7.5.2 Modulación de radiofrecuencia.** En un transmisor de radio se genera una señal de radiofrecuencia que es emitida a través de la antena y captada por un receptor. Ahora bien, esa señal sería solo un ruido sin sentido. Para emitir información a través de la radio, el mensaje (por ejemplo una señal de audio: voz o música) tiene que ser "mezclado" con la señal de radio (ahora llamada "portadora" pues transporta la señal con la información hasta el receptor); es decir que la señal es modulada por el transmisor.

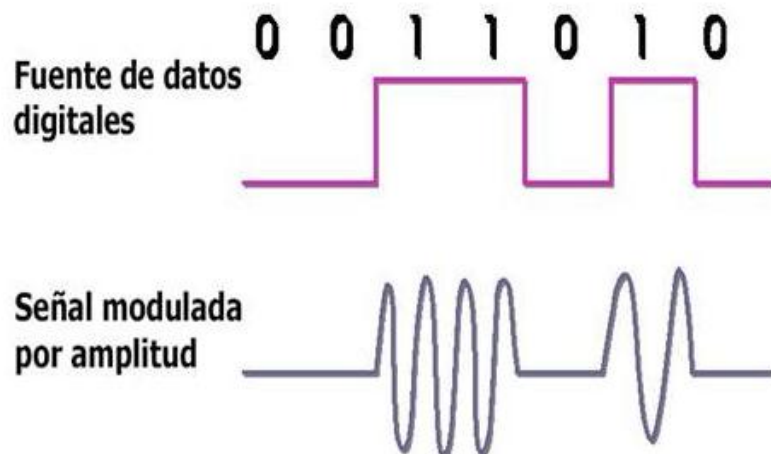
Existen varios sistemas de modulación, que podemos dividir en 2 grupos: los sistemas de transmisión de audio (voz): AM, FM, BLU, y los sistemas "sin voz": CW (Morse), RTTY (Radioteletipo) que sirven para transmisión de datos.

**4.7.5.2.1 Modulación AM (ASK).** La modulación por desplazamiento de amplitud, en inglés Amplitude-shift keying (ASK), es una forma de modulación en la cual se representan los datos digitales como variaciones de amplitud de la onda portadora.

La amplitud de una señal portadora análoga varía conforme a la corriente de bit (modulando la señal), manteniendo la frecuencia y la fase constante. El nivel de amplitud puede ser usado para representar los valores binarios 0 y 1. Podemos pensar en la señal portadora como un interruptor ON/OFF. En la señal modulada, el valor lógico 0 es representado por la ausencia de una portadora, así que da ON/OFF la operación de pulsación y de ahí el nombre dado.

La forma más simple y común de ASK funciona como un interruptor que *apaga/enciende* la portadora, de tal forma que la presencia de portadora indica un 1 binario y su ausencia un 0 (figura 8). Para demostrar mejor el tema del interruptor en el modulado ASK se puede ilustrar de la siguiente manera:

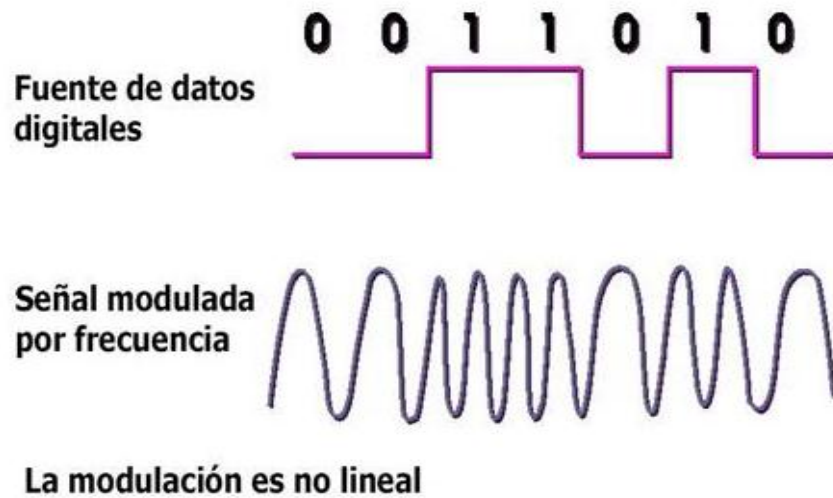
Figura 10 Diagrama del tipo de onda en modulación ASK



Fuente: [www.ea1uro.com/eb1dgh/Digitales](http://www.ea1uro.com/eb1dgh/Digitales).

**4.7.5.2.2 Modulación FM (FSK).** El FSK (Frequency-shift keying) es un tipo de modulación de frecuencia cuya señal modulante es un flujo de pulsos binarios que varía entre valores predeterminados. En los sistemas de modulación por salto de frecuencia, FSK, la señal moduladora hace variar la frecuencia de la portadora (figura11).

Figura 11 Diagrama de modulación FSK



Fuente: [www.ea1uro.com/eb1dgh/Digitales](http://www.ea1uro.com/eb1dgh/Digitales).

## 5. APORTE DEL PROYECTO

Habiendo dado un repaso a los diversos tipos de manipuladores robóticos teleoperados en nuestro medio y su sistema de control, se muestra a continuación una opción distinta al sistema de inspección común encontrado.

### 5.1 ELEMENTO DIFERENCIADOR

La gran diferencia del manipulador respecto a otros brazos teleoperados, es el manejo de señales lógicas con un control similar a una botonera, solo que en este caso no habrá interruptores mecánicos y en vez de esto habrá optocopladores<sup>6</sup> para censar una señal que se dará cuando se acerca un objeto cerca de campo de acción del sensor, en el caso aquí nombrado serán los dedos del operador, posibilitando mediante movimientos sutiles y coordinados de estas extremidades mover el brazo mecánico y así trasladar objetos de un sitio otro

Otra característica de importancia es el controlador; se comunica por medio de radiofrecuencia con la tarjeta principal del robot y no es necesario utilizar cables haciendo esto más práctico el trabajo que se desea realizar.

La base principal del proyecto es la utilización de las señales lógicas de control mediante la detección de objetos cerca a los sensores que en este caso serán los movimientos realizados por el operador con sus dedos en el sistema de mando. En el siguiente capítulo se realiza un descripción detallada del proyecto.

---

<sup>6</sup> Dispositivo de emisión y recepción que funciona como un interruptor excitado mediante la luz emitida por un diodo LED.

## 6. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

A continuación se describe la forma como se realizó un brazo robot teleoperado. Para su realización se emplearon elementos electrónicos comunes que se encuentran en nuestro medio y para la construcción física del brazo se emplearon materiales de bajo costo y peso. Se puede realizar una división del problema en tres partes fundamentales que son el pilar del funcionamiento del manipulador y su control. Estas ramas son:

Sistema electrónico, sistema lógico, sistema mecánico.

### 6.1 SISTEMA ELECTRÓNICO

Quizá la parte fundamental del proyecto radica en el aspecto electrónico con el cual cuenta el robot, debido que es allí donde se ve notablemente el aporte que realizamos al campo tratado.

Una breve descripción sería la siguiente: mediante unos sensores de proximidad instalados en puntos específicos de una placa de acrílico se envían señales eléctricas a un sistema de interruptores conformado principalmente por transistores bipolares y relevos. Cuando estos funcionan actúan sobre un transmisor que envía señales mediante ampliación modulada a un receptor que a su vez controla los pulsos de entrada a un procesador previamente programado para controlar el sentido de giro seis actuadores que son los que mueven los distintos grados de movimiento del brazo. En el gráfico de la figura 12 se describe la forma como se dividen los distintos sistemas electrónicos de control del brazo robot.

Figura 12 Diagrama de control electrónico



Fuente: Esquema realizado por el equipo de trabajo

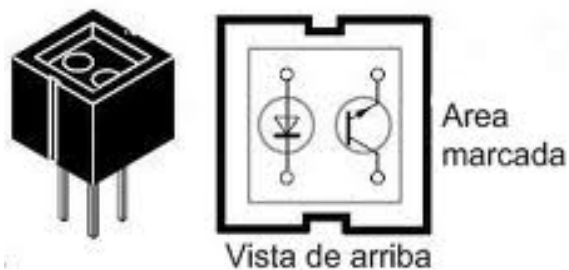


**6.1.1 Sensores de proximidad.** Una cualidad singular del proyecto es que para controlar cada movimiento no se usarán suiches mecánicos ni botones, las órdenes de dispositivo de control tienen origen en un sistema de sensores que se instalaron en una placa de acrílico posicionados estratégicamente para permitir a cada dedo de la mano moverse hacia cada punto para generar la señal.

El sensor a utilizar es el sensor CNY70, el cual es un optocoplador conformado básicamente por un encapsulado el cual tiene un diodo de infrarrojos y un fototransistor (figura 13). Este sensor funciona así:

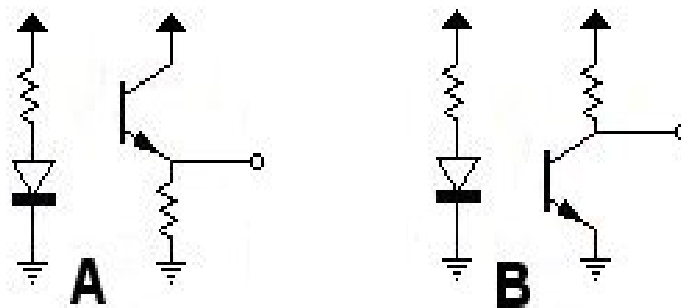
Cuando el haz de luces infrarrojas que emite el led es interrumpido por algún objeto, este rebota hacia el fototransistor haciendo que una señal eléctrica ingrese por la base y se crea un voltaje de salida por el colector o el emisor dependiendo su configuración (figura 14).

Figura 13 Sensor CNY70



Fuente: [www.jmnlab.com/cny70](http://www.jmnlab.com/cny70)

Figura 14 Diferentes posibilidades de montaje del CNY70

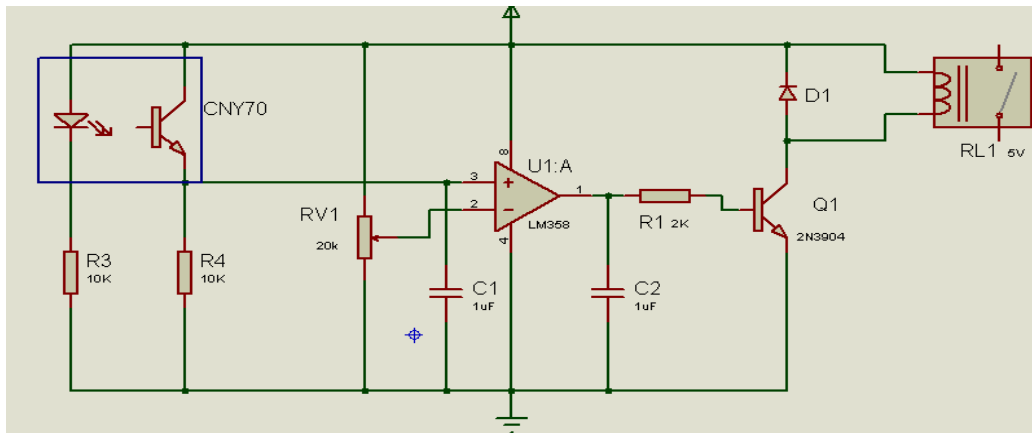


Fuente: [www.info-ab.uclm.es/labelec/solar/otros/infrarrojos/sensor\\_cny70](http://www.info-ab.uclm.es/labelec/solar/otros/infrarrojos/sensor_cny70)

El CNY70 devuelve por la pata de salida correspondiente, según el montaje, un voltaje relacionado con la cantidad de rayo reflejado por el objeto. Para el montaje A, se leerá del emisor un '1' cuando se refleje luz y un '0' cuando no se refleje. Para el montaje B los valores se leen del colector, y son los contrarios al montaje A.

**6.1.2 Señales lógicas de sensores.** Las salidas de voltaje de los sensores tienen un problema, y es que no es ajustable la sensibilidad del dispositivo y los puntos de activación de histéresis<sup>7</sup> distan algunos mili voltios uno del otro. Para solventar este problema mostramos el siguiente circuito basado en un amplificador operacional configurado en modo comparador (figura 15), en la salida del circuito obtendremos una señal cuadrada lista para su interconexión con la entrada de cualquier circuito que requiera señales lógicas digitales. Se utiliza de esta forma debido a que es necesario controlar las distancias de detección de objetos para no tener falsas señales.

Figura 15 Circuito de mando de un sensor de proximidad.



Fuente: [www.sharatronica.com/cny\\_70](http://www.sharatronica.com/cny_70).

La sensibilidad del circuito es ajustable mediante la resistencia variable de 20k. Para comprobar y visualizar la señal de salida se puede montar un diodo Led en la salida con su resistencia de polarización a masa, si así lo hacemos veremos que cuando el sensor detecta una superficie blanca o reflectante el infrarrojo se ilumina ya que la salida del

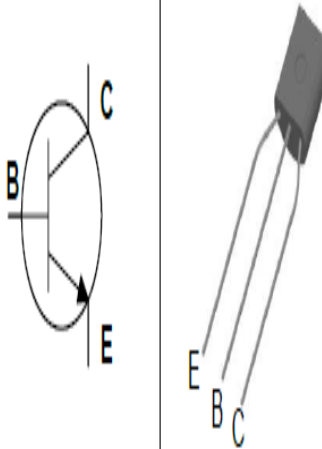
<sup>7</sup> Diferencia a la salida para una misma entrada, según el sentido en que se alcance dicha entrada: ascendente o descendente.

LM358 pasa a nivel alto y por lo tanto alimenta al ánodo que esta conectado directamente. La salida del LM358 varia de 0V para nivel lógico 0 a unos 3.3V para nivel lógico 1.

Como se muestra en el anterior circuito se ha conectado un transistor PNP el cual está configurado como conmutador y cuya finalidad es la de activar un relevo que activara las señales que se enviaran del transmisor.

En esta parte se usó un transistor 2N3904 para realizar las veces de interruptor, garantizando así que se pueda cumplir esta función con la entrada de voltaje desde el amplificador. En la tabla 2 podemos ver las características principales de este transistor.

Tabla 2 Características eléctricas de 2N3904

| <b>2N3904</b>   | <b>CARACTERÍSTICAS BÁSICAS</b> |               |               |               | <i>Distribución de terminales</i>   |  |
|---|--------------------------------|---------------|---------------|---------------|---|--|
|   | <i>Símbolo</i>                 | <i>Mínimo</i> | <i>Típico</i> | <i>Máximo</i> |  |  |
| Transistor NPN de pequeña potencia (625 mW). Uso general (amplificador e interruptor) | $I_c$                          |               |               | 200mA         |   |  |
|   | $V_{ceo}$                      |               |               | 40v           |   |  |
|   | $V_{be}$                       | 0.65v         |               | 0.95v         |   |  |
|   | $\beta$                        | 40            | 100           | 300           |   |  |
|   | $V_{ce(sat)}$                  |               | 0.25v         |               |   |  |

Fuente: [www.chipdocs.com/datasheets](http://www.chipdocs.com/datasheets)

Como se puede observar en el circuito de la figura 15, el transistor está configurado como conmutador, para lo cual se tienen los siguientes valores: Una resistencia de base de 2 K $\Omega$ , hace que la corriente de base sea muy pequeña y el voltaje hacia el relé casi nulo para activarlo.

Haciendo los cálculos del circuito tenemos que la corriente de base  $I_B$  es la que se describe en la ecuación 9.1:

$$I_B = V_{BB} - V_{BE} / R_{BB} \quad \text{Ecuación (9.1)}$$

Realizando la operación tenemos:

$$I_B = 3.5V - 0.7V / 2000\Omega = 1.4 \text{ mA}$$

Debido a que el amplificador operacional (AO) no está enviando corriente por su salida entonces el transistor no conducirá y se dice que este estará en corte. Pero cuando la señal del sensor es enviada al AO habrá una corriente de base de 1.4 mA lo cual hará que éste entre en saturación y cerrará el circuito hacia el relé. Hay que tener en cuenta que la corriente de la bobina relé es de 68 mA.

$$I_c = V_{cc} / R_I \quad \text{Ecuación (9.2)}$$

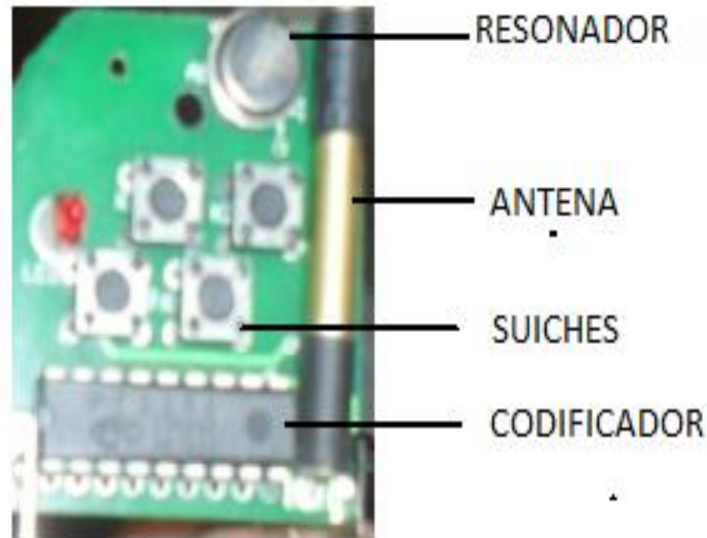
$$I_c = 5V / 68 \Omega = 73 \text{ mA}$$

Como se puede ver en la ecuación 9.2 la corriente del colector se eleva al punto de conducción del transistor. El diodo en el circuito se instala para proteger al transistor y para polarizar el solenoide y evitar que el relé vibre o se desconecta esporádicamente.

**6.1.3 Transmisión de datos.** Después de tener la parte de mandos, se mostrará a continuación el bloque de transmisión de los datos recogidos por los sensores. Para esta parte se cuenta con circuito de emisión de datos digitales basado en un codificador de pulsos que envía datos mediante ampliación modulada usando codificación ASK. El dispositivo a usar es el PT2262 (figura 16), el cual puede enviar cuatro distintos bits a una frecuencia de 433 MHz, este circuito tiene un alcance de 60 m con línea de vista y el voltaje de operación es de 12V, lo cual hace de este un transmisor operable a cortas distancias. Una cualidad importante de este sistema es que codifica los datos y los pines de direcciones en una forma de onda de serie adecuada para transmisión de

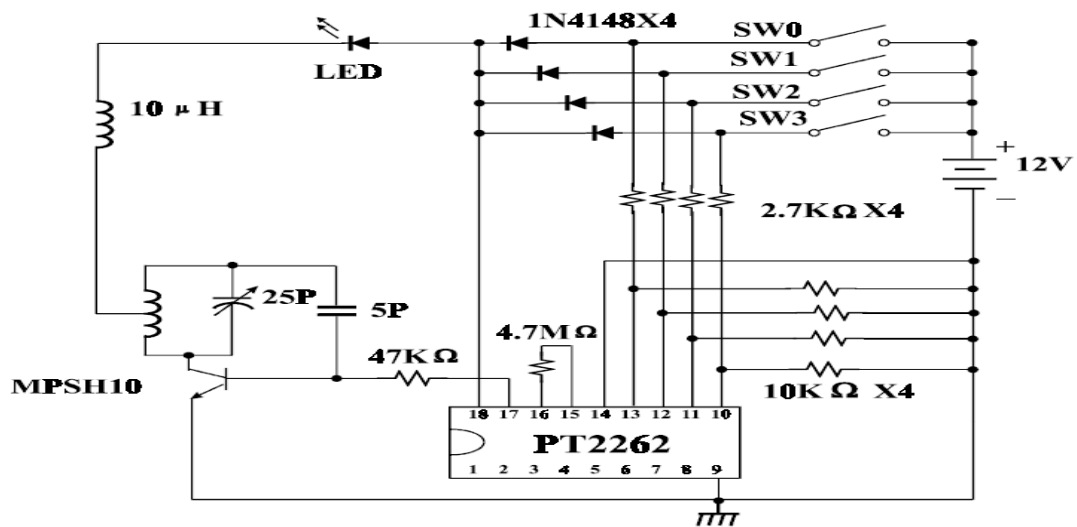
radiofrecuencia, con un máximo de 12 bits de pines de dirección que proporciona hasta 531441 códigos de dirección distinta haciendo esto que se minimiza el riesgo de que una señal de radio en el aire interfiera en la señal que este envía y que haya colisiones con transmisores del mismo tipo a frecuencias iguales.

Figura 16 Vista del dispositivo y el diagrama de trasmisión del pt2262



Fuente: fotografía tomada por el grupo de trabajo al transmisor.

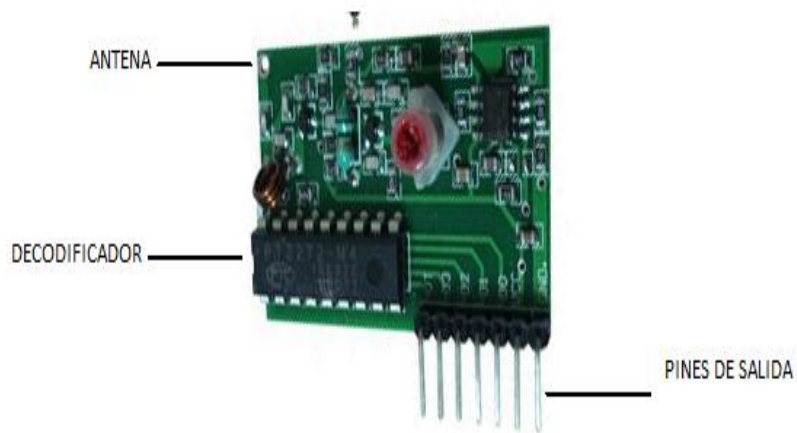
Figura 17 Diagrama de trasmisión del pt2262



Fuente: [www.datasheetcatalog.org/datasheets/400/358432\\_DS.pdf](http://www.datasheetcatalog.org/datasheets/400/358432_DS.pdf)

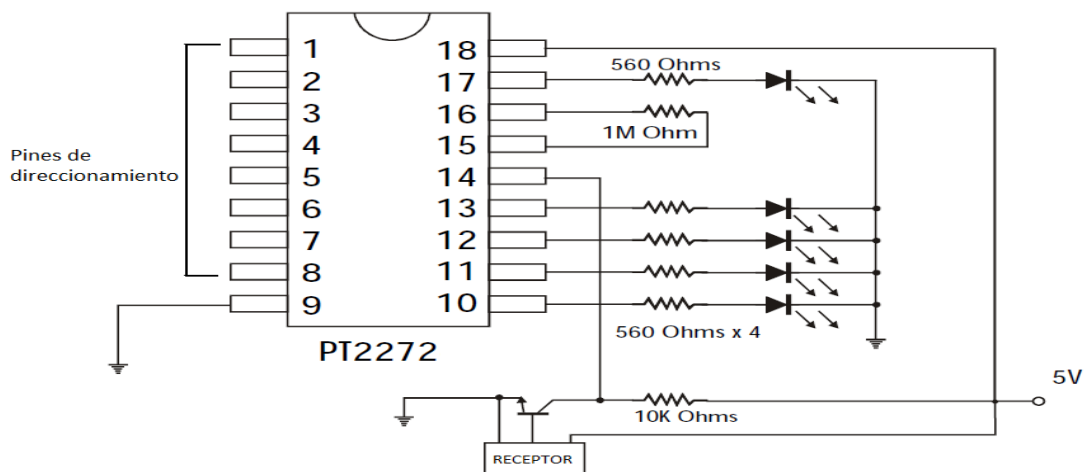
**6.1.4 Recepción de datos** La recepción de datos en este proyecto es la decodificación de los bits transmitidos desde el Pt2262, lo que estará a cargo de un dispositivo análogo al transmisor el cual es el circuito Pt2272 (figura 18). Este circuito tiene un número de 531441 de direcciones de código distintas, lo que le permite reducir la posibilidad de que le ingresen falsas señales y evitar así que los movimientos del brazo robot sean distintos a los ordenados por el operador.

Figura 18 Dispositivo de recepción de datos Pt2272



Fuente: fotografía tomada por el grupo de trabajo al transmisor.

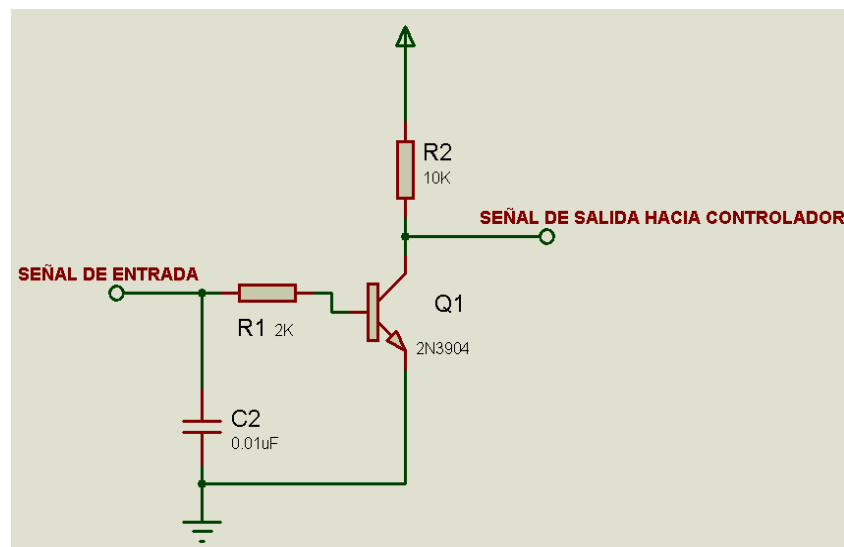
Figura 19 Diagrama de conexión de circuito receptor



Fuente: [www.datasheetcatalog.org/datasheets/400/358432\\_DS.pdf](http://www.datasheetcatalog.org/datasheets/400/358432_DS.pdf).

La salida de del circuito receptor como se puede observar en la figura 19, se da por los pines 10, 11, 12 y 13, estas salidas cuando no se están enviando datos desde el transmisor Pt2262 son de un valor lógico "0" y cuando se emite una señal la salida por estos terminales tendrán un valor lógico "1". Debido a que se necesita enviar hacia el controlador niveles lógicos bajos de una forma controlada se debe complementar este circuito con una opción que cuando entre el uno digital se convierta en un valor "0". Para este propósito se implementó un circuito hecho con transistores (figura20) que pasan a saturación cuando ingrese un valor de 5 voltios por la resistencia de base que será de 2 K $\Omega$ , similar al que se usó en el circuito de la figura 13.

Figura 20 Circuito de cambio de señal lógica.



Fuente: plano hecho en el software Proteus.

Con este circuito se garantiza que diario que se envíe un pulso desde el transmisor entra al controlador la señal que este requiere para ejecutar las órdenes.

**6.1.5 Protección de señales de radio.** Como se puede apreciar en los dos integrados de codificación y decodificación, existe una serie de pines de direccionamiento para generar un código binario a modo de contraseña de transmisión. Los pines del 1 al 8 del PT2262 y del PT2272 se pueden conectar a tierra o a la señal de voltaje, o si se quiere se pueden mezclar lo que daría una serie de 531441 de direcciones de código distintas, esto con el fin de proteger la señal portadora del circuito de transmisión y la desmodulada del

receptor. Debido a que la frecuencia de funcionamiento es de 433 MHz y es una frecuencia libre, se optó por esta opción para evitar interferencias de señales de radio de otros equipos.

**6.1.6 Control de actuadores.** En esta parte del proceso se realizan las tareas importantes del proceso las cuales son las que generan el movimiento rotacional de los actuadores que a su vez permitirán cada grado de movimiento. Las tareas están a cargo de un microcontrolador que genera un tren de pulsos (PWM) con una frecuencia específica, esto dará una velocidad al movimiento angular del actuador.

El circuito que se implementó es el siguiente:

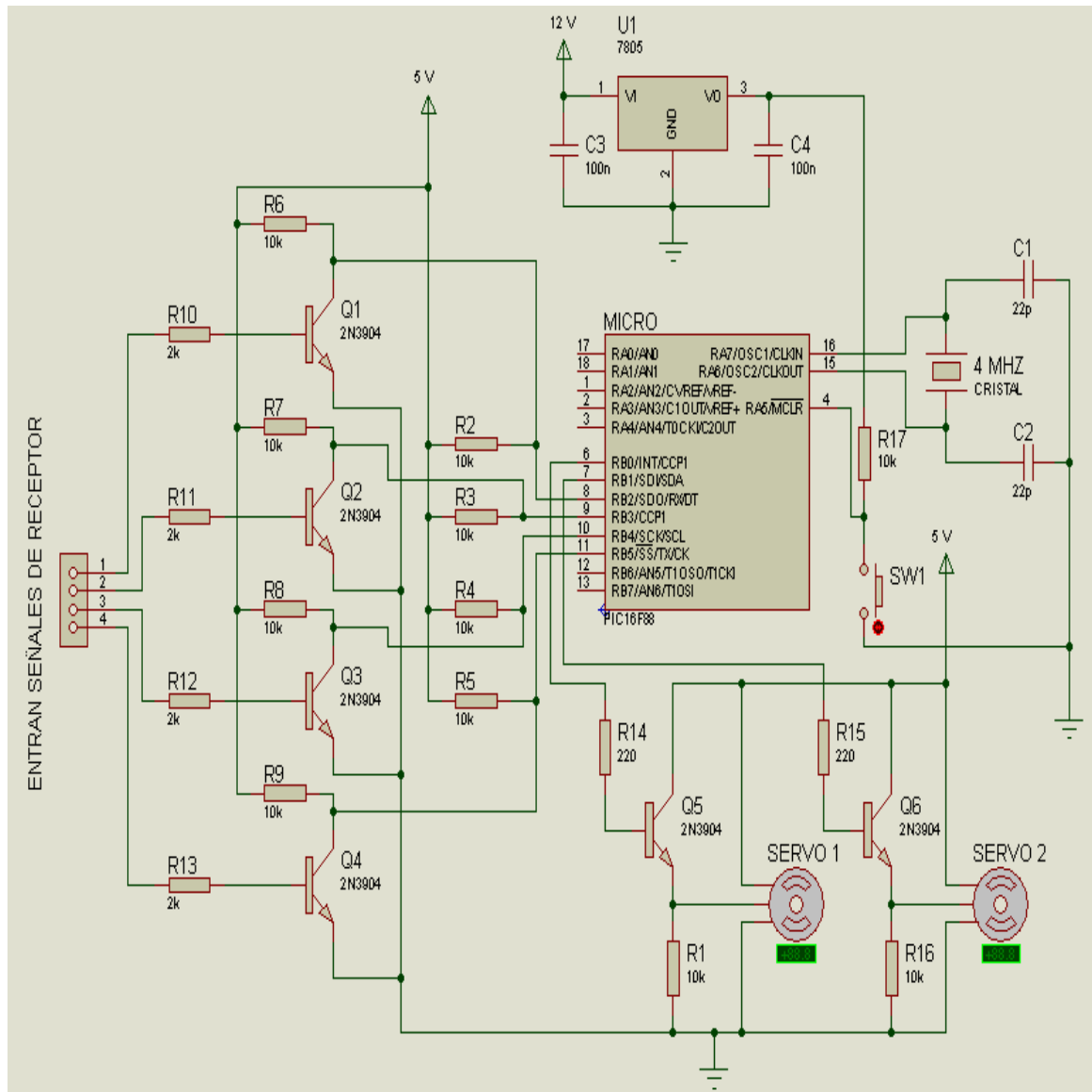
El microcontrolador usado es el PIC 16F88, al cual están conectados dos servomotores, esta configuración permite que el microcontrolador pueda enviar de forma fiable el tren de pulsos desde cada salida y no haya frecuencias erróneas lo que puede causar que el servomotor se mueva de forma errática y descontrolada.

Como se puede apreciar en el circuito de la figura 21, se configuraron cuatro pines como entradas y dos de salida. Los pines "RB0" y "RB1" son los que se conectan a los servomotores 1 y 2 y es allí por donde saldrá un pulso cada fracción de segundo. Las entradas "RB2" y "RB3" son las que dictan el movimiento hacia la derecha y la izquierda respectivamente del "SERVO 1" y las entradas "RB4" y "RB5" hacen lo mismo con el "SERVO 2".

La clave del buen control que se tenga de los servos a controlar dependió también de la programación que se le dio al microcontrolador para mover grado a grado los servos.



Figura 21 Circuito de mando de servomotores



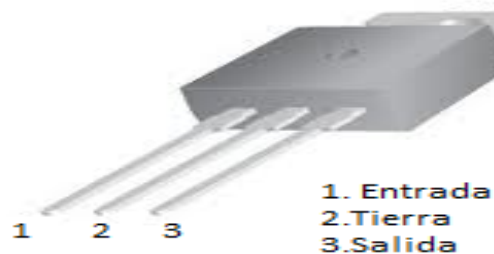
Fuente: plano hecho en el software Proteus.

**6.1.7 Control de alimentación de voltaje.** Debido a que se usó un microcontrolador PIC 16F88 para controlar dos servos, se utilizaron tres montajes como el del circuito de la figura 21 en paralelo y para la alimentación de voltaje de los tres bloques de circuitos usamos una batería de 12V y 1A. Fue necesaria la batería de estas características debido al consumo generado por un lado por los servos y por el otro el consumo de

potencia del receptor de radiofrecuencia y el circuito de control conformado por los tres microcontroladores PIC16f88 con los transistores.

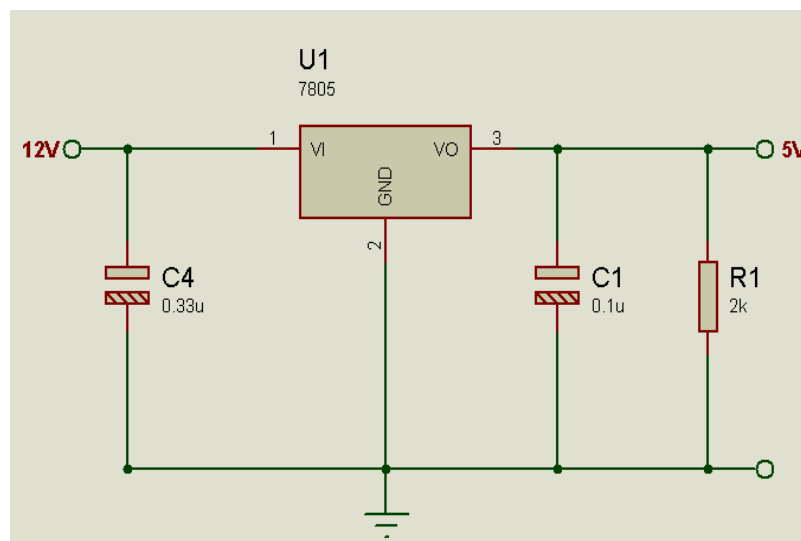
Para regular el voltaje de entrada a los microcontroladores y las tarjetas de circuitos receptores se usó circuito integrado LM7805 (figura 22), cuya potencia entregada es la necesaria para hacer funcionar estos montajes, como podemos ver en el circuito de la figura 23, se controló la corriente de salida del regulado que puede alcanzar los 500mA con la resistencia R1 para que no generara calentamiento a los integrados ni a los distintos componentes

Figura 22 Regulador de voltaje LM7805



Fuente: [www.yoreparo.com/foros/radiocomunicaciones](http://www.yoreparo.com/foros/radiocomunicaciones)

Figura 23 Circuito de regulador de voltaje.



Fuente: [www.zero13wireless.net/foro/showthread.php](http://www.zero13wireless.net/foro/showthread.php).

Para la alimentación de voltaje de los servos se usó un regulador Lm7806 en paralelo al circuito anterior, debido a que los servos presentan mayor eficiencia de torque a 6 voltios.

## 6.2 SISTEMA LÓGICO

Para controlar los datos de entrada y salida de los elementos de toma de decisiones, que en este caso son los microcontroladores, se empleó un algoritmo para enviar pulsos PWM de forma controlada cuando se tenga una señal de entrada por uno de los pines especificados en el sistema de control de actuadores.

Se tomaron en cuenta las características técnicas de los servomotores que por lo general son las mismas para casi todos los motores de este tipo, estas características van ligadas al tiempo de salida de pulsos.

**6.2.1 Salida PWM.** La modulación por ancho de pulsos (también conocida como PWM, siglas en inglés de *pulse-width modulation*) de una señal o fuente de energía es una técnica en la que se modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica (una sinodal o una cuadrada, por ejemplo), ya sea para transmitir información a través de un canal de comunicaciones o para controlar la cantidad de energía que se envía a una carga.

El ciclo de trabajo de una señal periódica es el ancho relativo de su parte positiva en relación con el período. En la ecuación 10.1 se expresa matemáticamente:

$$D = \frac{\tau}{T} \quad \text{Ecuación (10.1)}$$

$D$  es el ciclo de trabajo

$\tau$  es el tiempo en que la función es positiva (ancho del pulso)

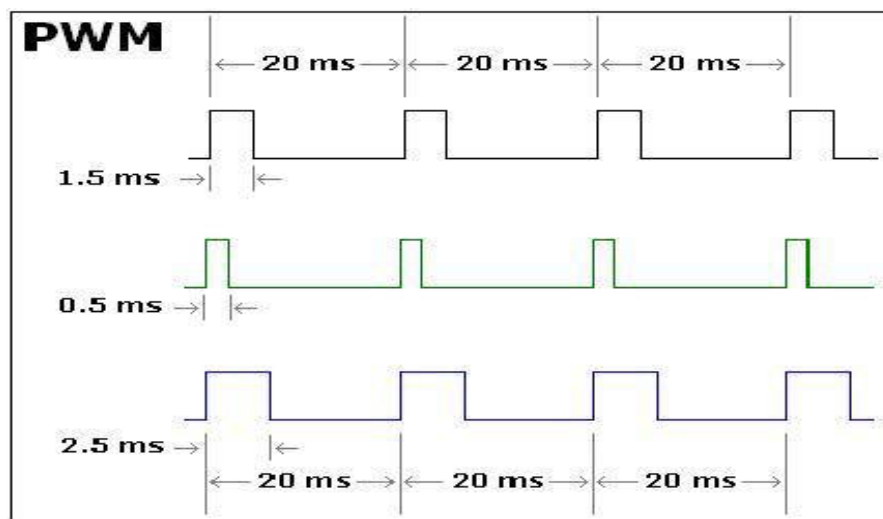
$T$  es el período de la función

Esta técnica es la que se emplea para controlar los seis servomotores que se utilizaron, el control de un servo se limita a indicar en qué posición se debe situar. La duración del

pulso muestra el ángulo de giro del motor. Cada servo tiene sus márgenes de operación, que corresponden con el ancho del pulso máximo y mínimo que el servo entiende.

Los valores más generales se sitúan con valores entre 0.5 ms y 2.5 ms, que dejarían al motor en ambos extremos. El valor 1,5 ms nota la posición central, mientras que otros valores del pulso lo dejan en posiciones intermedias. Estos valores suelen ser los recomendados, sin embargo, es posible emplear pulsos menores de 0.5 ms o mayores de 2.5 ms (figura 24), pudiéndose conseguir ángulos mayores de 180°. Si se sobrepasan los límites de movimiento del servo, éste comenzará a emitir un zumbido, indicando que se debe cambiar la longitud del pulso, esto provoca que se mueva con intervalos pequeños.

Figura 24 Representación de distintos anchos de pulso



Fuente: [picmania.garcia-cuervo.net/picc2](http://picmania.garcia-cuervo.net/picc2)

*“El período entre pulso y pulso no es crítico, e incluso puede ser distinto entre uno y otro pulso. Se suelen emplear valores entre 10 ms y 30 ms. Si el intervalo entre pulso y pulso es inferior al mínimo, puede interferir con la temporización interna del servo, causando un zumbido, y la vibración del brazo de salida. Si es mayor que el máximo, entonces el servo pasará a estado dormido, entre pulsos”.*<sup>8</sup>

<sup>8</sup> [www.webelectronica.com.ar/news35/nota03.htm](http://www.webelectronica.com.ar/news35/nota03.htm)

Es importante destacar que para que un servo se mantenga en la misma posición durante un cierto tiempo, es necesario enviarle continuamente el pulso correspondiente. De este modo, si existe alguna fuerza que le obligue a abandonar esta posición, intentará resistirse. Si se deja de enviar pulsos (o el intervalo entre pulsos es mayor del máximo) entonces el servo perderá fuerza y dejará de intentar mantener su posición, de modo que cualquier fuerza externa podría desplazarlo.

**6.2.2 Algoritmo de control de servos.** El algoritmo que se realizó es simple en su estructura, debido a que usa una función de salida de pulsos constantes con una frecuencia programada y el tiempo de envío de los pulsos están dados por las entradas que se usa para su control.

Para controlar la posición del motor usaré la función **pulsout**, cuya sintaxis es:

**Pulsout pin, ancho\_pulso**

Este comando dará un ancho de pulso determinado por su segundo parámetro de entrada en el pin determinado. Por ejemplo:

**Pulsout portb.0, 150**

**Pulsout portb.1, 150**

Generará un pulso de ancho 1.5 ms en el pin 0 y al pin 1 del puerto B. Ahora bien, la frecuencia de envío de estos pulsos será dada por una sumatoria de pulsos de entrada por los pines 2, 3, 4 y 5 del puerto B con una pausa específica de cada pulso de entrada.

El algoritmo completo es el siguiente:

**DEFINE OSC 4**

**servo1 var portb.0**

**servo2 var portb.1**

**Derecha var portb.2**

```
izquierda var portb.3  
derecha1 var portb.4  
izquierda1 var portb.5  
A var byte  
B var byte
```

En esta parte se definen todas las variables que se usarán y el oscilador a usar que en este caso es un cristal de 4MHz.

```
Trisb =%00111100
```

```
Portb =0
```

Se configura el puerto a utilizar y se declara cuales pines son de entrada y cuales son de salida.

```
A=150
```

```
B=150
```

Se define la posición inicial del pulso que se enviará a los servos.

```
Inicio:
```

```
Pulsout portb.0, A
```

```
Pulsout portb.1, B
```

```
Gosub timer
```

```
Goto inicio
```

En esta parte se define el comando enviara la señal PWM, en este caso es la declaración PULOSOUT. Esta declaración genera un pulso en el pin del período especificado. El pulso se genera activando dos veces el pin, por lo tanto el estado inicial del pin determina la polaridad de los impulsos, el pin se convierte automáticamente en una salida.

```
timer:
```

```
if derecha=0 then gosub mas
```

```
if izquierda=0 then gosub menos
if derecha1=0 then gosub mas2
if izquierda1=0 then gosub menos2
```

Se declaran las subrutinas de pulsos de entrada, estos son dados desde el receptor de radiofrecuencia.

**mas:**

```
pause 1 A=A+1
```

```
if A>250 then A=250
```

**menos:**

```
pause 1
```

```
A=A-1
```

```
if A<50 then A=50
```

**menos1:**

```
pause 1
```

```
A=A-1
```

```
if A<50 then A=50
```

**mas1:**

```
pause 1
```

```
A=A+1
```

```
if A>250 then A=250
```

```
return
```

```
return
```

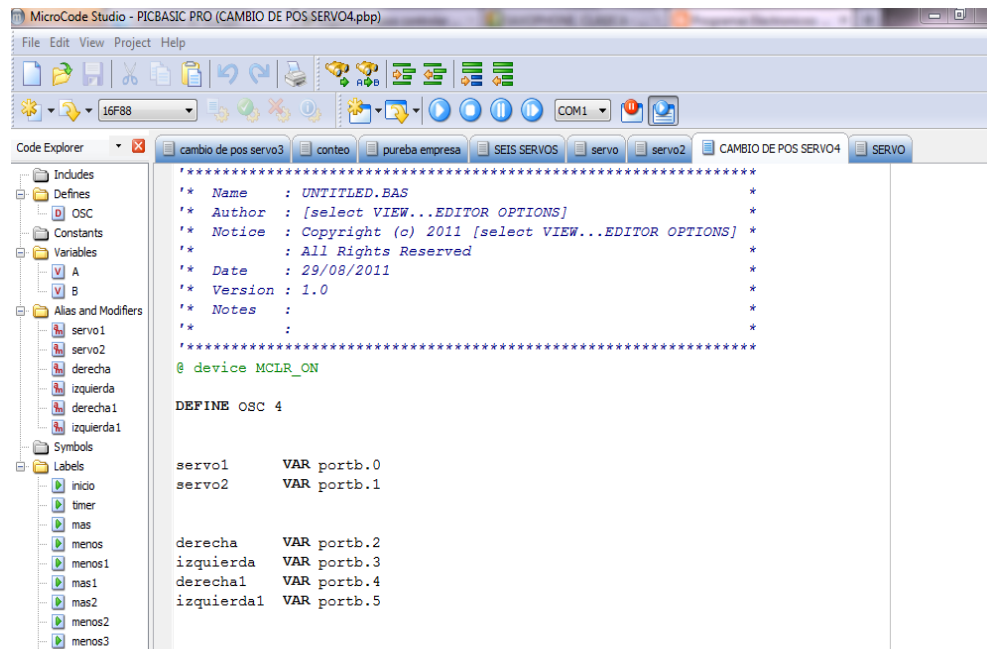
En esta parte del algoritmo se define la suma o la resta de los pulsos de entrada, esta es quizá la parte más importante debido a que es donde se define el ancho del pulso de salida, debido a que las variables son de tipo Byte las cuales pueden ir desde 0 hasta 255, entonces se genera un rango de pulsos que está entre los 50 y los 250, emulando esto el ancho de banda que permiten los servos que está entre los 50mS y los 250mS. El tiempo que tarda un valor de pulso a otro en la operación aritmética está dada por la

pausa programada que para este caso de 1mS y es la velocidad máxima que se logra en el giro de cada servomotor (60° por segundo).

**6.2.3 Recursos de software.** Para el desarrollo y la compilación<sup>9</sup> del algoritmo se utilizaron dos herramientas de software como lo son el PIC BASIC PRO (PBP) y el PICPgm Programmer.

**6.2.3.1 Pic Basic Pro.** El PBP (figura 25) produce códigos que pueden ser programados para una variedad de micro controladores PIC que tengan de 8 a 68 pines y varias opciones en el chip incluyendo convertidores A/D, temporizadores y puertos seriales.

Figura 25 Vista del PBP



Fuente: fotografía del software de programación PBP.

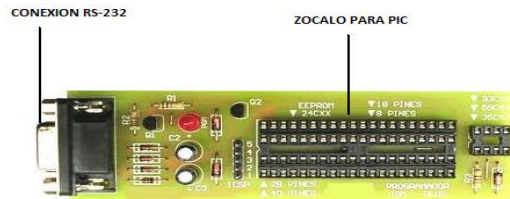
**6.2.3.2 PICPgm Programmer.** Es un software programador para los microcontroladores PIC de Microchip, este software soporta una gran variedad de microcontroladores, con herramientas de auto detección de micros y simulaciones de programación. La otra gran ventaja de este software es que acepta quemadores de diferentes tipos de conexión.

<sup>9</sup> Traducción de lenguaje de alto nivel a lenguaje de máquina.



**6.2.3.3 Quemador de micros.** Para realizar la conexión entre el PC y el microcontrolador se requiere un dispositivo de interfaz USB, RS-232, RS-485 o conexión de red. En nuestro caso usamos una conexión serial RS-232 (figura 26) para copiar el lenguaje de maquina compilado al microcontrolador PIC 16F88.

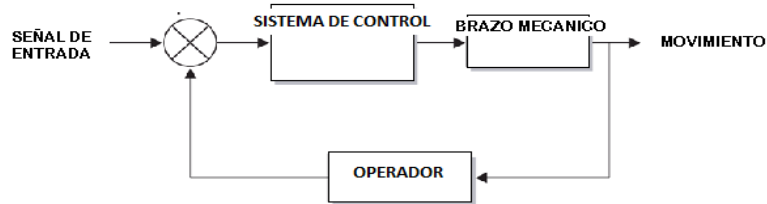
Figura 26 Quemador de pic.



Fuente: fotografía del quemador de microcontroladores.

Una forma sencilla de describir el proyecto es la de decir que un operador será quien tenga el control visual de los movimientos del manipulador y será esta el que tomará todas las decisiones (figura 27), es de anotar que el sistema no cuenta con sensores de detección de objetos cercanos ni sensores de visión u otro sensor de los que se emplean para detección del entorno debido a que se quiso puntualizar en el control a través de los optocopladores.

Figura 27 Diagrama de lazo cerrado del proyecto



Fuente: diseño del grupo de trabajo del brazo robot teleoperado.

### 6.3 SISTEMA MECÁNICO

El diseño de un manipulador robótico se inspira en el brazo humano, aunque con algunas diferencias. Por ejemplo, un brazo robótico puede extenderse telescópicamente, es decir,

deslizando unas secciones cilíndricas dentro de otras para alargar el brazo. También pueden construirse brazos robóticos de forma que puedan doblarse como la trompa de un elefante. Las pinzas están diseñadas para imitar la función y estructura de la mano humana. Muchos robots están equipados con pinzas especializadas para agarrar dispositivos concretos, como una gradilla de tubos de ensayo o un soldador de arco.

Las articulaciones de un brazo robótico suelen moverse mediante motores eléctricos. En la mayoría de los robots, la pinza se mueve de una posición a otra cambiando su orientación. Una computadora calcula los ángulos de articulación necesarios para llevar la pinza a la posición deseada, un proceso conocido como cinemática inversa.

### **6.3.1 Características especiales**

**6.3.1.1 Movilidad.** Normalmente los robots están contruidos a partir de una serie de eslabones rígidos conectados por juntas o articulaciones. El tipo correcto de articulación define como puede moverse un eslabón en relación al otro. Sin embargo hay alternativas al enfoque de las series eslabón - articulación – eslabón.

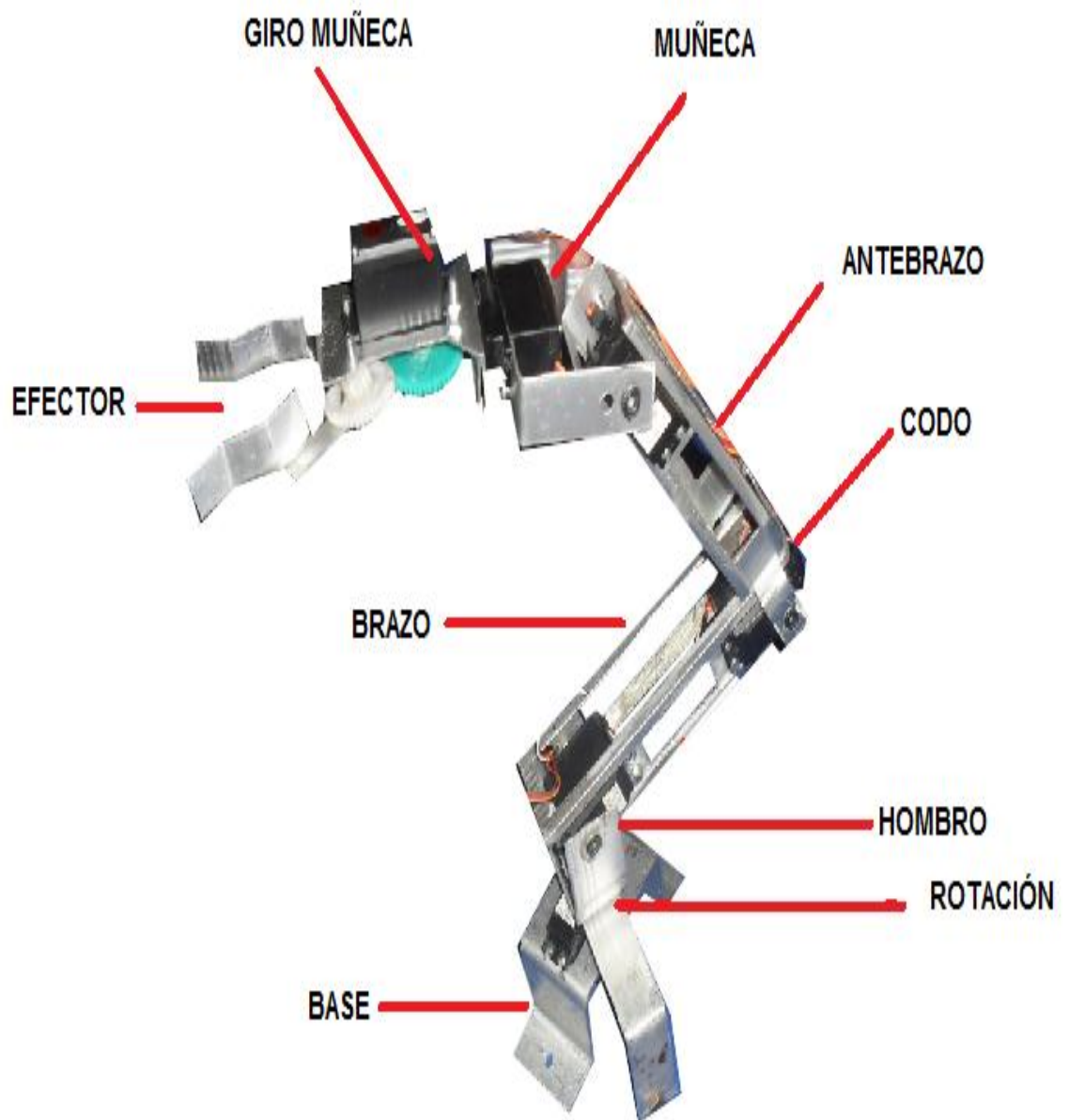
**6.3.1.2 Articulaciones.** Las articulaciones de nuestro brazo son de tipo giratorio, una junta giratoria, si consideramos el caso de un grado de libertad, toma la forma de una bisagra entre un eslabón y el próximo. Dos o más articulaciones de éstas puede combinarse estrechamente.

**6.3.1.3 Eslabones.** Con objeto de lograr la respuesta más rápida posible para un movimiento dado y un sistema de accionamiento, los eslabones que forman la estructura deben de mantenerse lo más ligeros posibles. Los eslabones deben también ser tan rígidos como sea posible. Para lograr esto se usaron eslabones en forma de pin metálico.

Como ya se ha mencionado anteriormente, dentro de la estructura interna del manipulador se alojan, en muchas ocasiones, los elementos motrices, engranajes y transmisiones que soportan el movimiento de las cinco partes que, generalmente, suelen conformar el brazo: Base o pedestal de fijación, cuerpo, antebrazo, brazo, efector.

**6.3.2 Grados de libertad.** Para tener flexibilidad en el movimiento deseado, se construyó el brazo con seis grados de movimiento con articulaciones en forma de bisagra para garantizar un movimiento angular de 180 grados en cada una de ellas, los distintos grados de movimiento son como se muestra a continuación:

Figura 28 Imagen de brazo terminado con sus partes.



Fuente: fotografía tomada por el grupo de trabajo al brazo ya terminado.

## 6.4 CONSTRUCCIÓN

Para la construcción del brazo es importante tener en cuenta los siguientes aspectos: el peso de las partes en total, las fuerzas que intervienen en cada uno de los actuadores, el peso que soporta el brazo cuando está extendido en su totalidad. En la tabla 3 se nombran las distintas articulaciones y su función, así como se hará un repaso del proceso de fabricación de cada una de las piezas de aluminio que en conjunto comprenden el brazo mecánico

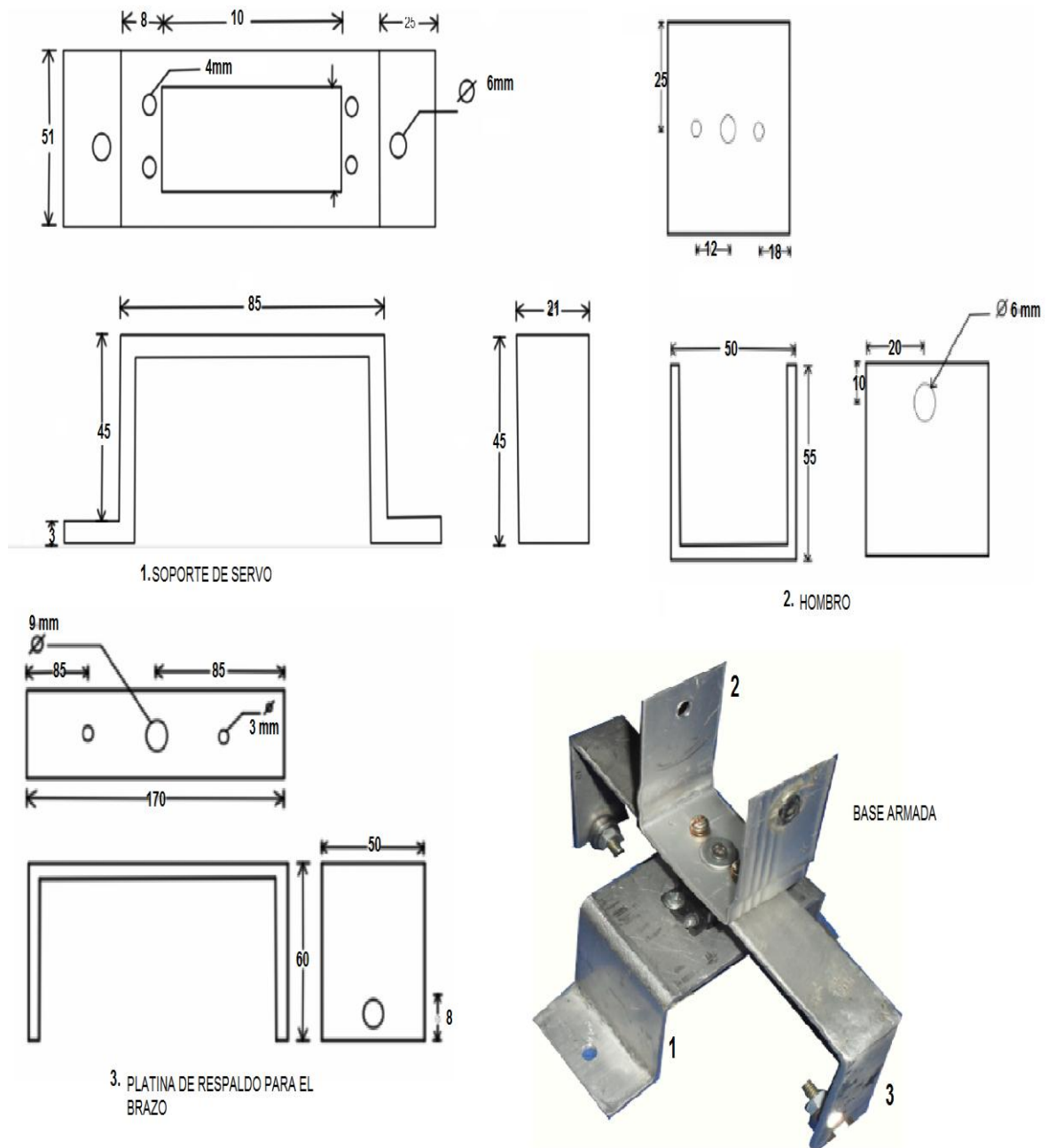
Tabla 3 Articulaciones del brazo

| ARTICULACIONES |        |                           |
|----------------|--------|---------------------------|
| N°             | Nombre | Acción.                   |
| 1              | Base   | Gira el cuerpo.           |
| 2              | Hombro | Sube o baja brazo.        |
| 3              | Codo   | Sube o baja el antebrazo. |
| 4              | Muñeca | Sube baja la mano.        |
| 5              |        | Gira mano.                |
| 6              | Pinza  | Abre o cierra.            |

**6.4.1 Base del brazo.** Empezamos con la base del brazo (soporte codo) cortando un trozo de platina de 1/8" x 2" x 14,0 cm, hacemos los dobles respectivos en una prensa, luego se mide para centrar el servo motor y las otras perforaciones, puliendo el alojamiento del servo con una lima.

Para el soporte giratorio (figura 29) usamos una platina de 1/8" x 1" cortamos un tramo de 29 cm lo doblamos en C 170 x 60 x 60 mm. En la parte de arriba 3 perforaciones, 1 central de 9 mm y 2 de 3 mm. En las patas de este soporte, 2 perforaciones se unen a cada lado de 6 mm para poner un tornillo con su respectiva tuerca y un rodamiento 6001. Por ultimo para lo que es el hombro como tal se usó un trozo de lámina de 160 mm, lo doblamos en C, dos perforaciones laterales, una de 9 mm y otra de 4 mm, luego 2 perforaciones en la base de 4 mm y 6 respectivamente.

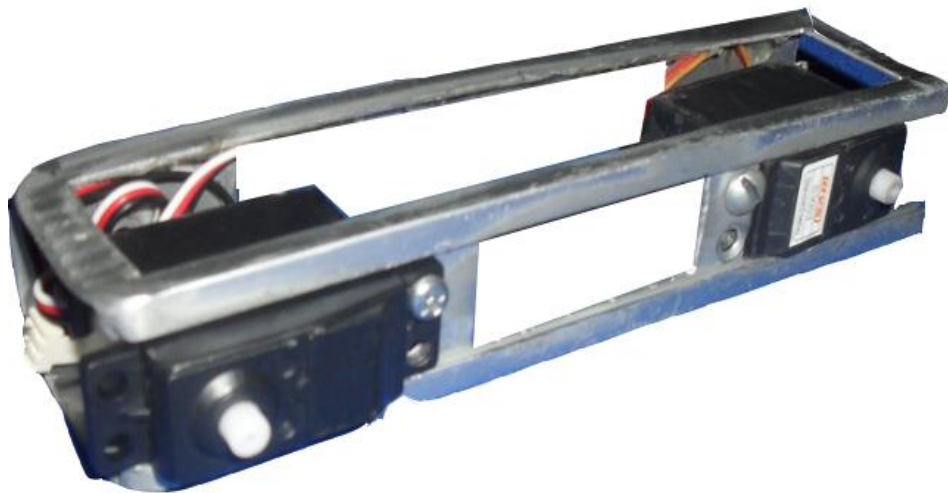
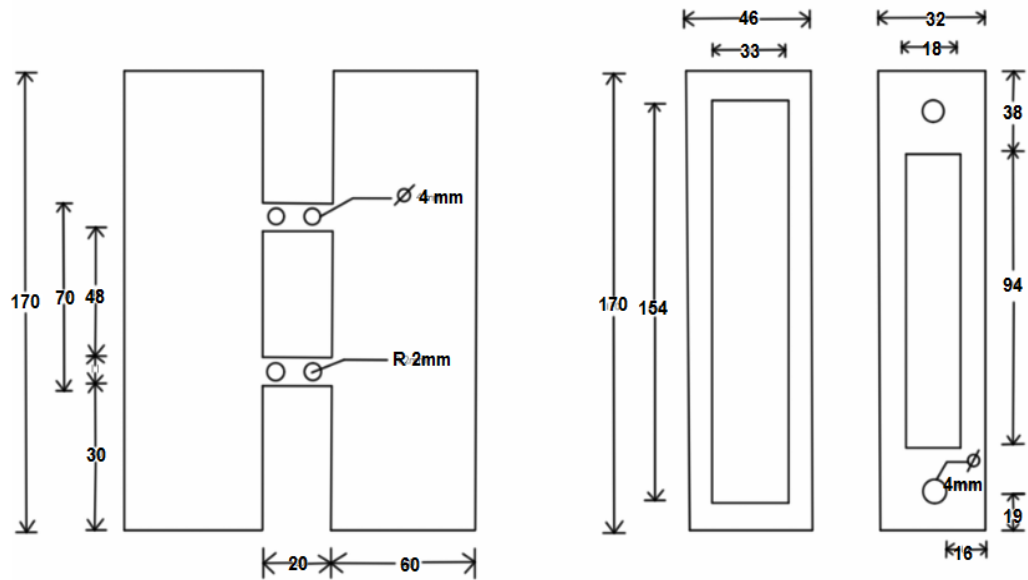
Figura 29 Partes de la base y pieza real



Fuente: planos realizados por el grupo de trabajo del brazo robot.

**6.4.2 Brazo.** Cortamos una parte de la caja perfilada, hacemos unos dobles en la prensa para hacer una pieza rectangular pequeña de 170 mm x 46 mm (figura 30). En una de las caras cortamos los extremos de esta. Unas entradas para ubicar un servo a cada lado, uno para soportar el codo y otro para soportar el brazo.

Figura 30 Planos del brazo y vista de pieza real

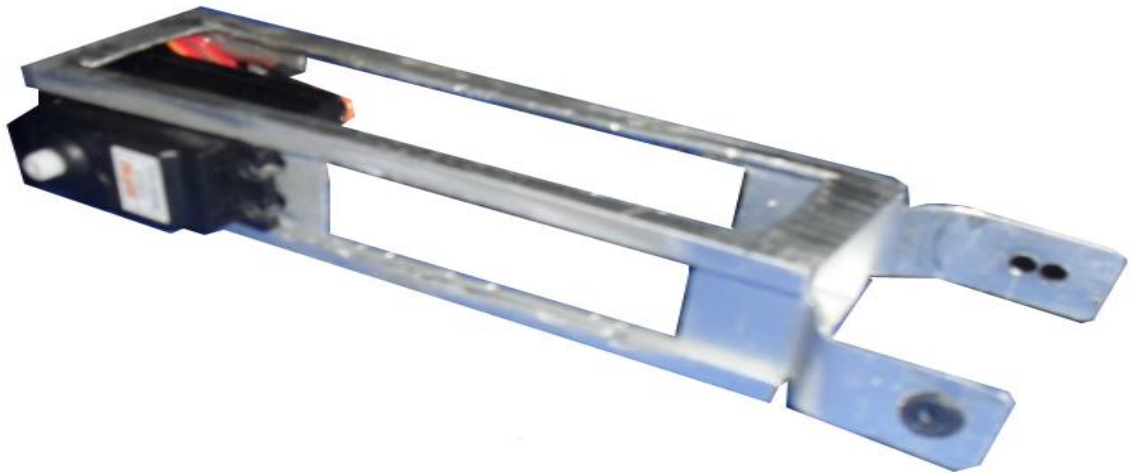
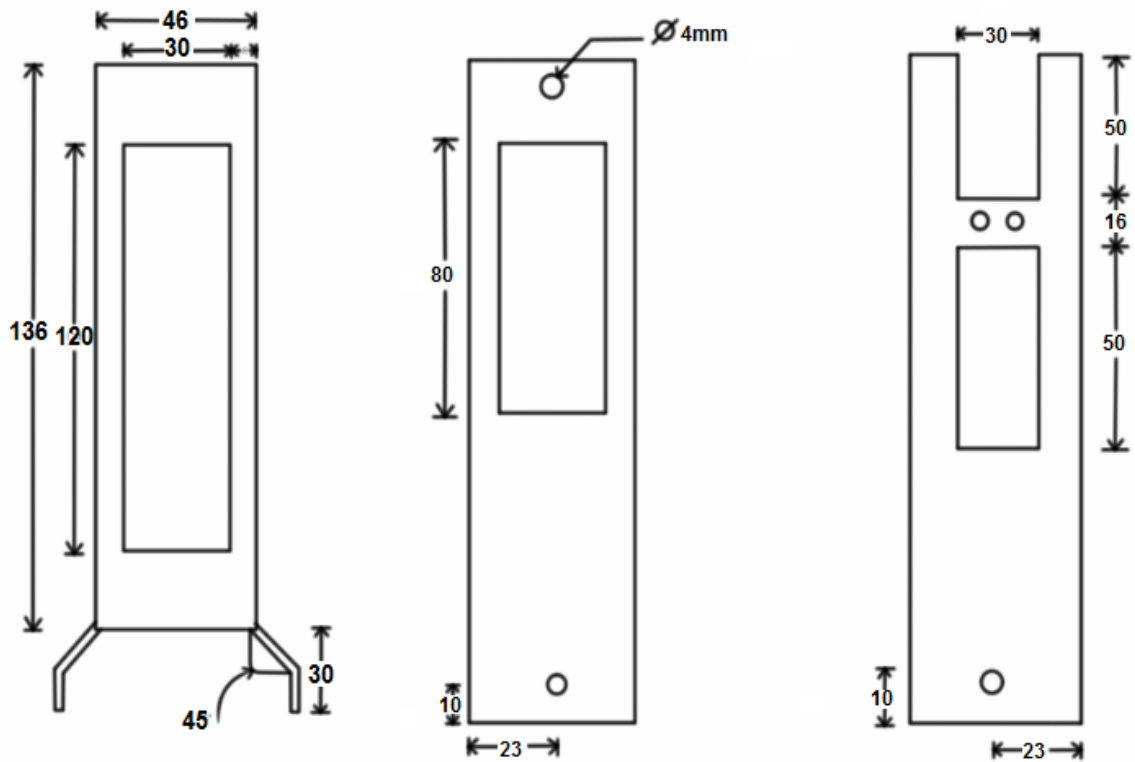


Fuente: planos realizados por el grupo de trabajo del brazo robot.

**6.4.3 Antebrazo.** Cortamos un pedazo de caja para hacer un rectángulo de 150 mm x 46 mm, en una de las caras cortamos para ubicar un servo en la parte de arriba el cual soportará la muñeca.

En la parte de abajo hacemos dos dobles a 120 mm con un ángulo de 45° con una perforación a cada lado, uno de 4 mm y otro de 1 mm.

Figura 31 Planos del antebrazo y vista de pieza real

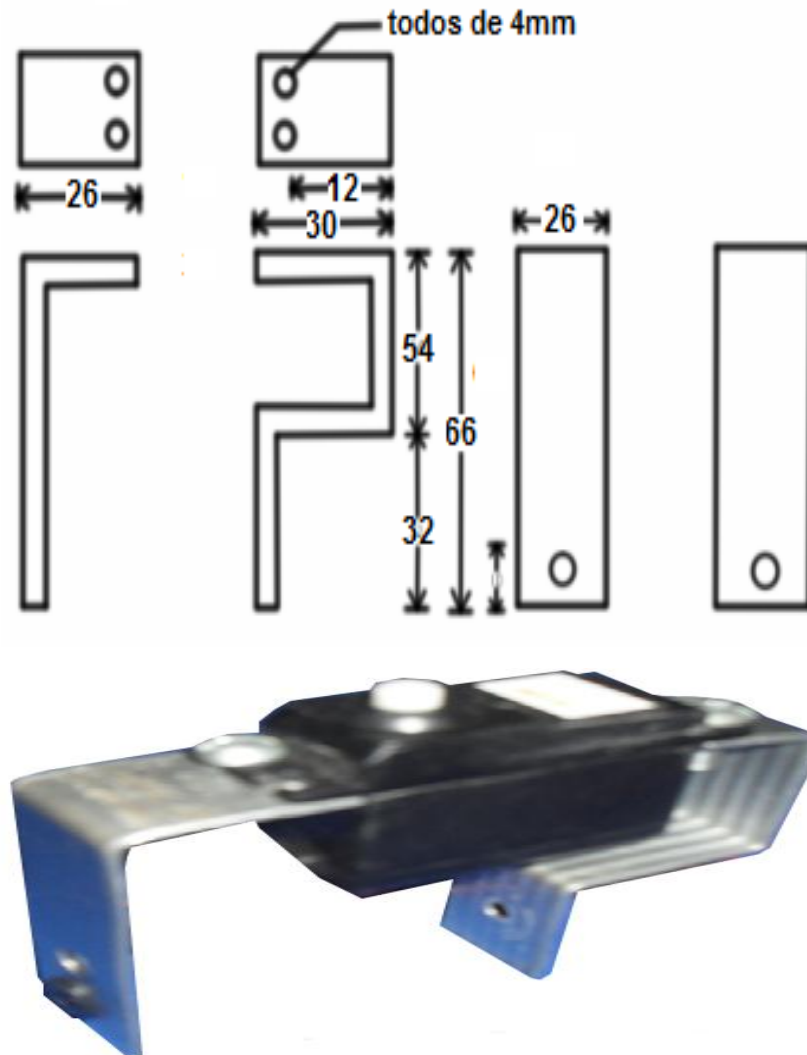


Fuente: planos realizados por el grupo de trabajo del brazo robot.

**6.4.4 Muñeca.** Cortamos de las cajas dos platinas una de 90 mm x 26 mm y otra de 112 x 26 mm, con la primera hacer unos dobles en L de 66 x 26 mm. Hacer en la parte inferior una perforación de 4 mm, con la otra doblar en forma similar a una P. Primero una forma

de C, los dobles a 16 mm, luego a 34 mm, luego con la parte que queda, lo dobla a 32 mm formando así una especie de P (figura 32). Estas dos platinas van a soportar el servo que hará girar la mano.

Figura 32 Planos de muñeca y vista de pieza real



Fuente: planos realizados por el grupo de trabajo del brazo robot.

**6.4.5 Efecto final.** Cortamos una pieza de 110 mm, hacemos unos dobles en L a 30 mm. En la parte corta una perforación centrada de 9 mm, en la otra cara ubicamos el



servo centrado con el eje hacia el frente, para ponerle a este el piñón conductor, luego medir dos piñones conducidos perforar y ajustar.

Figura 33 Vista del efector final



Fuente: fotografía tomada por el grupo de trabajo al efector final.

## 6.5 ENSAMBLE

Para el ensamble del brazo como tal, se deben primero asegurar todos los servos en su posición, hay que tener en cuenta que los servos debe ir de acuerdo a su capacidad de carga. Inicialmente se unen la base del servo con la platina de soporte del brazo y luego a este bloque se le ensambla la pieza que es el hombro.

Teniendo el brazo con los dos servos de alto torque montados se unen a la pieza del hombro con el piñón del servo y un tornillo se sujeción que hará a la vez el papel de eslabón. En el otro extremo del brazo se unirá al antebrazo de la misma forma que el brazo se unió al hombro.

Para la parte de la muñeca se unen las dos piezas que componen a esta con un servo de bajo torque y luego se unen al servo que hay en el antebrazo con el piñón plástico y un pin en forma de tornillo, cuando esta parte está concluida se asegura el efector final del piñón del servo de giro de muñeca, el efector debe tener el servo de apertura y cierre de la pinzas ya instalado.

## 7. RECURSOS

### 7.1 HUMANOS

Para la realización del proyecto del brazo robótico estarán a cargo:

Adrian Norbey Goez López, estudiante de Tecnología Mecatrónica del Instituto Tecnológico Pascual Bravo y Técnico en Mantenimiento Industrial. Johnny Andrey Grisales Lopera, estudiante de Tecnología Mecatrónica del Instituto Tecnológico Pascual Bravo y Técnico Electrónico en el área de seguridad. Wilson Martínez Nieto, asesor del anteproyecto de grado. Guillermo Carvajal Rincón, estudiante de maestría en Gestión Energética Industrial.

### 7.2 TÉCNICOS

Para la construcción del proyecto se utilizaran materiales de fácil adquisición en el mercado local, esto con el fin de minimizar el costo de fabricación y la conveniencia de uso dadas las condiciones de diseño del brazo robot. También cabe destacar la implementación de algunos materiales reciclados como el aluminio y los cables de conducción de datos. A continuación se mostraran las tablas con los distintos elementos usados en el proyecto.

Tabla 4 Listado de equipos.

| ITEM | EQUIPO   | CANT. | REF.      |
|------|--|-------|-----------|
| 1    | Servomotor alto torque digital engranaje metálico. | 3     | Mg996r    |
| 2    | Servomotor torque de 4.3 Kg/cm <sup>2</sup> .      | 3     | DYS 3003  |
| 3    | Microcontrolador                                   | 3     | PIC 16F88 |
| 4    | Sensores optocopladores                            | 12    | CNY70     |
| 5    | Kit de 4 canales de datos C/U.                     | 3     | KRF100    |
| 6    | Transistor BJT NPN                                 | 24    | 2N3904    |
| 7    | Amplificador operacional                           | 12    | LM358     |
| 8    | Regulador de voltaje                               | 1     | LM7806    |

Para la construcción del proyecto se utilizaran los siguientes materiales:

Tabla 5 Elementos electrónicos.

| ITEM | ELEMENTO               | CANT. | VALOR | UNIDAD |
|------|------------------------|-------|-------|--------|
| 1    | Condensador cerámico   | 6     | 15    | Pf     |
| 2    | Condensador cerámico   | 10    | 100   | nF     |
| 3    | Resistencia            | 36    | 2     | kΩ     |
| 4    | Resistencia            | 60    | 10    | kΩ     |
| 5    | Relé                   | 12    | 5     | V      |
| 6    | Cristal de cuarzo      | 3     | 4     | MHz    |
| 7    | Batería                | 4     | 1,5   | V      |
| 8    | Batería                | 3     | 12    | v      |
| 9    | Batería plomo acido 1A | 1     | 12    | V      |
| 10   | Potenciómetro          | 24    | 20    | kΩ     |
| 11   | Diodo rectificador     | 10    | 1     | A      |

Los elementos mecánicos usados para el proyecto en su gran mayoría son reciclados para minimizar los costos de fabricación, en la tabla 6 se hace un listado de las diferentes piezas.

Tabla 6 Listado de elementos mecánicos.

| ITEM | ELEMENTO  | CANT. | UNIDAD |
|------|---|-------|--------|
| 1    | Bornera de tres contactos                       | 6     | Unid.  |
| 2    | Acrílico de 2 mm                                | 4     | m      |
| 3    | Lamina de aluminio 1/16"                        | 2     | m      |
| 4    | Tarjetas de circuitos impresos                  | 3     | Unid.  |
| 5    | Tornillos y tuercas milimétricos de 3 mm y 1/2" | 40    | Unid.  |
| 6    | Dip-switch de 8 contactos                       | 6     | Unid.  |

## 8. PRESUPUESTO

Para realizar el proyecto se valoró en primer lugar un listado el cual se definió en el punto anterior, se tomó en cuenta la asequibilidad y disponibilidad de los equipos y materiales en los almacenes especializados en venta de artículos electrónicos y mecánicos en la ciudad de Medellín. Se han elaborado tres tablas donde se relacionan cada una de las cosas que se necesitan.

### 8.1 EQUIPOS

Tabla 7 Listado y cotización de equipos principales.

| EQUIPOS Y ELEMENTOS ELECTRÓNICOS |                                  |       |                     |                  |
|----------------------------------|----------------------------------|-------|---------------------|------------------|
| ITEM                             | DESCRIPCIÓN                      | CANT. | VALOR UNIRATIO (\$) | VALOR TOTAL (\$) |
| 1                                | Servomotor alto torque Mg996r    | 3     | 50.000,00           | 150.000,00       |
| 2                                | Servomotores DYS 3003            | 3     | 25.000,00           | 75.000,00        |
| 3                                | Microcontrolador PIC 16F88       | 3     | 9.000,00            | 27.000,00        |
| 4                                | Kit transmisor receptor          | 3     | 20.000,00           | 60.000,00        |
| 5                                | Elementos electrónicos varios    | 200   | 300,00              | 60.000,00        |
| 6                                | Amplificador operacional LM358   | 12    | 700,00              | 8.400,00         |
| 7                                | Sensor CNY70                     | 12    | 2.500,00            | 30.000,00        |
| 8                                | Batería carga plomo-ácido 12V 1A | 2     | 15.000,00           | 30.000,00        |
|                                  |                                  |       | TOTAL               | 440.400,00       |

## 8.2 MATERIALES

Tabla 8 Cotización de materiales para el montaje mecánico y electrónico.

| MATERIALES |                                     |       |        |                     |                  |
|------------|-------------------------------------|-------|--------|---------------------|------------------|
| ITEM       | DESCRIPCIÓN                         | CANT. | UNIDAD | VALOR UNITARIO (\$) | VALOR TOTAL (\$) |
| 1          | Lamina de aluminio 1/16"            | 2     | m2     | 7.000,00            | 14.000,00        |
| 2          | Cable UTP Cat. 5E flexible          | 4     | m      | 2.000,00            | 6.000,00         |
| 3          | Piezas de acrílico                  | 4     | m      | 35.000,00           | 35.000,00        |
| 4          | Tarjeta para impresión de circuitos | 3     | Unid.  | 3.000,00            | 9.000,00         |
| 5          | Tornillo 5m con tuerca              | 40    | Unid.  | 200                 | 6.000,00         |
| TOTAL      |                                     |       |        |                     | 73.200,00        |

## 8.3 MANO DE OBRA

Tabla 9 Cotización de la mano de obra.

| ITEM  | PARTICIPANTES                   | CARGO                                | HORAS TRABAJADAS | VALOR        | VALOR TOTAL     |
|-------|---------------------------------|--------------------------------------|------------------|--------------|-----------------|
|       |                                 |                                      |                  | HORA (\$)    | (\$)            |
| 1     | Adrian Norbey<br>Goez Lopez     | Estudiante de tecnología mecatronica | 300              | \$ 3.000,00  | \$ 900.000,00   |
| 2     | Jhony Andrey<br>Grisales Lopera | Estudiante de tecnología mecatronica | 500              | \$ 3.000,00  | \$ 1.500.000,00 |
| 3     | Wilson Martínez<br>Nieto        | Asesor anteproyecto de grado         | 6                | \$ 15.000,00 | \$ 90.000,00    |
| 4     | Guillermo<br>Carvajal Rincón    | Asesor proyecto de grado             | 20               | \$ 15.000,00 | \$ 300.000,00   |
| TOTAL |                                 |                                      |                  |              | \$ 2.790.000,00 |

Realizando la suma de equipos, materiales y mano de obra el costo del proyecto asciende a \$ 3.303.600,00.

## 9. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Tabla 10 Cronograma de actividades primer semestre 2011.

| ACTIVIDAD                 | MES    | ENERO |   |   |   | FEBRERO |   |   |   | MARZO |   |   |   | ABRIL |   |   |   | MAYO |   |   |   |
|---------------------------|--------|-------|---|---|---|---------|---|---|---|-------|---|---|---|-------|---|---|---|------|---|---|---|
|                           | SEMANA | 1     | 2 | 3 | 4 | 1       | 2 | 3 | 4 | 1     | 2 | 3 | 4 | 1     | 2 | 3 | 4 | 1    | 2 | 3 | 4 |
| Investigación inicial     |        |       |   |   |   |         |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |      |   |   |   |
| Análisis de información   |        |       |   |   |   |         |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |      |   |   |   |
| Estudio de factibilidad   |        |       |   |   |   |         |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |      |   |   |   |
| Pruebas iniciales         |        |       |   |   |   |         |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |      |   |   |   |
| Organización del proyecto |        |       |   |   |   |         |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |      |   |   |   |

Tabla 11 Cronograma de actividades segundo semestre 2011.

| ACTIVIDAD  | MES    | JULIO |   |   |   | AGOSTO |   |   |   | SEPTIEMBRE |   |   |   | OCTUBRE |   |   |   | NOVIEMBRE |   |   |   |
|--|--------|-------|---|---|---|--------|---|---|---|------------|---|---|---|---------|---|---|---|-----------|---|---|---|
|  | SEMANA | 1     | 2 | 3 | 4 | 1      | 2 | 3 | 4 | 1          | 2 | 3 | 4 | 1       | 2 | 3 | 4 | 1         | 2 | 3 | 4 |
| Adquisición de materiales y equipos.                     |        |       |   |   |   |        |   |   |   |            |   |   |   |         |   |   |   |           |   |   |   |
| Construcción de partes mecánicas.                        |        |       |   |   |   |        |   |   |   |            |   |   |   |         |   |   |   |           |   |   |   |
| Pruebas de circuitos de control.                         |        |       |   |   |   |        |   |   |   |            |   |   |   |         |   |   |   |           |   |   |   |
| Realización de informe escrito del proyecto.             |        |       |   |   |   |        |   |   |   |            |   |   |   |         |   |   |   |           |   |   |   |
| Conexión general de circuitos.                           |        |       |   |   |   |        |   |   |   |            |   |   |   |         |   |   |   |           |   |   |   |
| Prueba final y puesta en funcionamiento del manipulador. |        |       |   |   |   |        |   |   |   |            |   |   |   |         |   |   |   |           |   |   |   |

## 10. CONCLUSIONES

Los robots teleoperados son parte importante de distintos campos como son medicina, industria, entretenimiento y la pedagogía. Es una forma alterna de tener control de objetos, en este caso con un brazo robot. El brazo robot teleoperado presenta bajo costo de fabricación y fácil uso por parte del operador final.

Los optocopladores son una buena opción en el momento de realizar tareas de interruptores debido a que no son mecánicos y por lo tanto no sufren desgaste físico. Otra buena cualidad es que también se pueden usar como elementos de detección de objetos cercanos, lo que los hace útiles en otro tipo de robots.

La transmisión de datos a distancia genera una capacidad de operación mayor en los dispositivos robóticos tele operados con esto se logra tener un control eficaz e inmediato de las funciones programadas en los robots y no se está expuesto a fallas físicas de otro tipo de enlaces.

Los actuadores electromecánicos, de tipo servomotor, son útiles debido a: bajo peso, control de ángulos y alto potencial de torque con bajo voltaje de funcionamiento, por ello se implementan en muchos de los proyectos de robótica.

## 11. BIBLIOGRAFÍA

VELASCO SÁNCHEZ, Enrique Ruiz- “Educatrónica: innovación en el aprendizaje de las ciencias y la tecnología” paginas. 91-97.

OLLERO BATURONE, Aníbal “Robótica: manipuladores y robots móviles” paginas. 26-28.

SAN MIGUEL, Pablo Alcalde “ELECTRÓNICA (Ciclo Formativo GM)”, pág. 190-194.

KHAMIS RASHWAN, Alaa Mohamed, “INTERACCIÓN REMOTA CON ROBOTS MÓVILES BASADA EN INTERNET”.

REYES, Carlos A. “Microcontroladores PIC: segunda edición”

HUFNAGEL, W. “Manual del aluminio”.

Profesores de Enseñanza Secundaria “Física Y Química”. Página 223.

Pablo Gil, Jorge Pomares, Francisco Candelas, “Redes Y Transmisión De Datos” páginas 58,59.

BERMEJO SÁNCHEZ, Sergi, “Introducción a los robots basados en el comportamiento” paginas 75, 76,77.

### 11.1 WEBGRAFÍA

[www.monografias.com/trabajos60/servo-motores/servo-motores.shtml](http://www.monografias.com/trabajos60/servo-motores/servo-motores.shtml)

[www.picmania.garcia-cuervo.net/picc2.php](http://www.picmania.garcia-cuervo.net/picc2.php)

[www.xbot.es/microplans/servos4.htm](http://www.xbot.es/microplans/servos4.htm)

[www.microcontroladorespic.com/proyectos-con-microcontroladores-pic/servomoto](http://www.microcontroladorespic.com/proyectos-con-microcontroladores-pic/servomoto)



[www.todopic.com.ar](http://www.todopic.com.ar)

[www.neoteo.com/servomotores-el-primer-paso-hacia-tu-robot.neo](http://www.neoteo.com/servomotores-el-primer-paso-hacia-tu-robot.neo)

[www.ea1uro.com/eb1dgh/Digitales/Modulacion](http://www.ea1uro.com/eb1dgh/Digitales/Modulacion).

[www.x-robotics.com/sensores](http://www.x-robotics.com/sensores)

[www.microchip.com/wwwproducts](http://www.microchip.com/wwwproducts).

[www.profesores.frc.utn.edu.ar](http://www.profesores.frc.utn.edu.ar)

## ANEXO A SERVOMOTOR

Un servomotor (también llamado servo) es un dispositivo similar a un motor de corriente continua que tiene la capacidad de ubicarse en cualquier posición dentro de su rango de operación, y mantenerse estable en dicha posición.

Un servomotor es un motor eléctrico con la capacidad de ser controlado, tanto en velocidad como en posición. Los servos se utilizan frecuentemente en sistemas de radio control y en robótica, pero su uso no está limitado a estos. Es posible modificar un servomotor para obtener un motor de corriente continua que, si bien ya no tiene la capacidad de control del servo, conserva la fuerza, velocidad y baja inercia que caracteriza a estos dispositivos.

### PARTES DE UN SERVOMOTOR

En el interior de un servo se encuentran los siguientes componentes:

**Motor de corriente continua:** es el elemento que le brinda movilidad al servo. Cuando se aplica un potencial a sus dos terminales, este motor gira en un sentido a su velocidad máxima. Si el voltaje aplicado a sus dos terminales es inverso, el sentido de giro también se invierte.

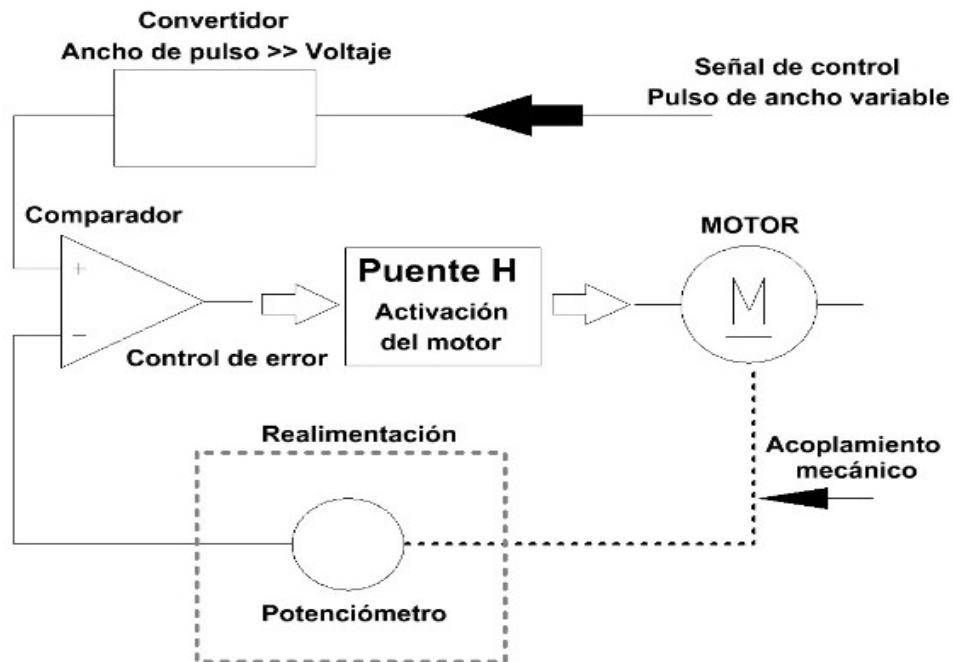
**Engranajes reductores:** se encargan de convertir gran parte de la velocidad de giro del motor de corriente continua en torque.

**Circuito de control:** este circuito es el encargado del control de la posición del motor. Recibe los pulsos de entrada y ubica al motor en su nueva posición dependiendo de los pulsos recibidos.

Tiene además de los circuitos de control un potenciómetro conectado al eje central del motor. Este potenciómetro permite a la circuitería de control, supervisar el ángulo actual del servo motor. Si el eje está en el ángulo correcto, entonces el motor está apagado. Si el circuito chequea que el ángulo no es correcto, el motor volverá a la dirección correcta,

hasta llegar al ángulo que es correcto. El eje del servo es capaz de llegar alrededor de los 180 grados. Normalmente, en algunos llega a los 210 grados, pero varía según el fabricante.

Figura 34 Diagrama de control de un servo.



Fuente: [www.neoteo.com/servomotores-el-primer-paso-hacia-tu-robot](http://www.neoteo.com/servomotores-el-primer-paso-hacia-tu-robot)

Un servo normal se usa para controlar un movimiento angular de 0° a 180°. El servomotor no es mecánicamente capaz de retornar a su lugar, si hay un mayor peso que el sugerido por las especificaciones del fabricante. Los torques de los servos varían entre 2.5 Kg/cm<sup>2</sup> y 15 Kg/cm<sup>2</sup> en modelismo. Los servomotores tienen 3 terminales:

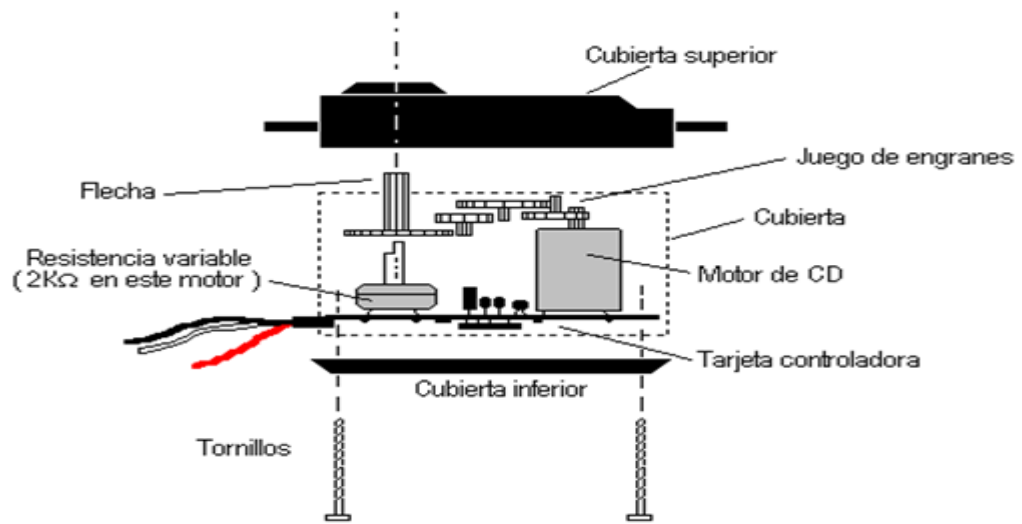
Terminal positivo: Recibe la alimentación del motor (4 a 8 voltios).

Terminal negativo: Referencia tierra del motor (0 voltios).

Entrada de señal: Recibe la señal de control del motor.

Los colores del cable de cada terminal varían con cada fabricante: el cable del terminal positivo siempre es rojo; el del terminal negativo puede ser marrón o negro; y el del terminal de entrada de señal suele ser de color blanco, naranja o amarillo.

Figura 35 Vista interna de un servomotor.



Fuente: [www.monografias.com/trabajos60/servo-motores](http://www.monografias.com/trabajos60/servo-motores)