



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

**DESARROLLO DEL PROTOTIPO DE
UN BRAZO ELECTROMECAÁNICO
ANTROPOMÓRFICO CAPAZ DE
EMULAR MOVIMIENTOS
DEL BRAZO HUMANO.**

Autor: Gonzalez Amador, Kelvin Daniel
C.I: 23.795.109

Urb. Yuma II, Calle N° 3, Municipio San Diego
Teléfono: (0241) 8714240 (Master) - Fax: (0241) 8712394



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**DESARROLLO DEL PROTOTIPO DE UN BRAZO ELECTROMECAÁNICO
ANTROPOMÓRFICO CAPAZ DE EMULAR MOVIMIENTOS DEL BRAZO
HUMANO.**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
INGENIERO ELECTRÓNICO**

Autor: Gonzalez Amador, Kelvin Daniel

C.I: 23.795.109

Tutor: Ing. Giménez Dinorah

San Diego, Octubre 2015



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

APROBACIÓN DEL TUTOR

Quien suscribe, Ingeniero Ing. Giménez Dinorah portador de la cédula de identidad N° 4.071.295, en mi carácter de tutora del trabajo de grado presentado por el ciudadano GONZALEZ AMADOR, KELVIN DANIEL, portador de la cédula de identidad N° 23.795.109 titulado, **DESARROLLO DEL PROTOTIPO DE UN BRAZO ELECTROMECAÁNICO ANTROPOMÓRFICO CAPAZ DE EMULAR MOVIMIENTOS DEL BRAZO HUMANO**. Presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Electrónico, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, a los 15 días del mes de Octubre del año dos mil quince

Ing. Giménez Dinorah

C.I: 4.071.295

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por todo el apoyo que me han dado durante toda la carrera y para la elaboración de este proyecto.

A Pedro Salas (El chino) por toda su colaboración brindada para el diseño de una mano metálica funcional.

A la profesora de Microcontroladores Dinorah Giménez por aceptar la tutoría de este proyecto.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	Pp
RESUMEN	xii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO	
I EL PROBLEMA	
1.1 Planteamiento del Problema.....	3
1.2 Formulación del Problema.....	4
1.3 Objetivos de la Investigación.....	4
1.3.1 Objetivo General.....	4
1.3.2 Objetivos Específicos.....	4
1.4 Justificación.....	4
1.5 Alcance.....	5
1.6 Limitaciones.....	5
II MARCO TEÓRICO	
2.1 Antecedentes.....	6
2.2 Bases Teóricas.....	7
2.2.1 Robot Antropomórfico.....	7
2.2.2 Motor de corriente directa.....	7
2.2.2.1 Motor DC de imanes permanentes.....	8
2.2.3 Puente H.....	8
2.2.3.1 Puente H con relé.....	9
2.2.4 Potenciómetro.....	9
2.2.4.1 Tipos de potenciómetros de mando.....	10
2.2.5 Microcontrolador.....	11
2.2.5.1 Microcontroladores PIC.....	11

2.2.6 Sistema de Control.....	12
2.2.6.1 Sistema de control de lazo abierto	12
2.2.6.2 Sistema de control de lazo cerrado.....	13
2.2.7 Control On-Off.....	13
2.2.7.1 Control On-Off con histéresis.....	14
2.2.7.2 Control de tres posiciones.....	14
2.3 Definición de términos básicos.....	15
III MARCO METODOLÓGICO	
3.1 Tipo de Investigación.....	16
3.2 Diseño de la Investigación.....	16
3.3 Población y muestra.....	17
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	18
3.5 Fases Metodológicas.....	19
IV RESULTADOS	
4.1 FASE I: Describir los movimientos básicos del brazo humano y características de prototipos electromecánicos existentes.....	20
4.1.1 Características del brazo humano.....	20
4.1.2 Características de prototipos electromecánicos existentes...	22
4.2 FASE II: Diseñar un control electrónico que permita el manejo de los movimientos por imitación	23
4.2.1 Modulo de Actuadores.....	24
4.2.2 Modulo de Potencia.....	25
4.2.3 Modulo de Sensores.....	25
4.2.4 Modulo de Control.....	26
4.2.5 Modulo de Alimentación.....	27
4.3 FASE III: Construir el prototipo con materiales reciclados.....	27
4.3.1 Construcción de la estructura mecánica.....	28

4.3.1.1	Cuerpo Antropomórfico.....	28
4.3.1.2	Movimientos del Brazo y Codo.....	28
4.3.1.3	Movimientos de los Dedos.....	29
4.3.1.4	Giro de la Muñeca.....	30
4.3.1.5	Aspecto Antropomórfico del Brazo Robótico.....	31
4.3.1.6	Prenda de Sensores.....	31
4.3.1.7	Acoplamiento del control electrónico.....	32
4.3.1.8	Calibración.....	34
4.3.2	Movimientos del sistema electromecánico.....	35
4.3.2.1	Flexión y extensión del codo.....	35
4.3.2.2	Flexión y extensión del hombro.....	36
4.3.1.3	Rotación del hombro.....	36
4.3.1.4	Pronación y supinación del codo.....	37
4.3.2.5	Flexión y extensión de los dedos.....	37
4.3.3	Límites de carga.....	37
 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		
	Conclusiones.....	39
	Recomendaciones.....	40
	Referencias Bibliografías.....	41
 ANEXOS		
	ANEXO A: Programa desarrollado en C para el microcontrolador PIC 16f887 para el manejo de 7 motores del módulo de control.....	43
	ANEXO B: Programa desarrollado en C para el microcontrolador PIC 16f887 para el manejo de 2 motores del módulo de control.....	49
	ANEXO C: Diagrama esquemático del módulo de control.....	52
	ANEXO D: Diagramas esquemáticos del módulo de Potencia.....	53
	ANEXO E: Diagrama esquemático de los módulos de sensores y Alimentación	55
	ANEXO F: Fotografías del prototipo ensamblado y su control.....	56

ÍNDICE DE FIGURAS

CONTENIDO	Pp
Figura 1. Puente H con Relé.....	9
Figura 2. Potenciómetros deslizantes.....	10
Figura 3. Diagrama de Bloques de un Control ON-OFF.....	13
Figura 4. Diagrama de Bloques de Control ON-OFF con Histéresis.....	14
Figura 5. Movimientos de flexión y extensión.....	20
Figura 6. Movimientos de aducción y abducción.....	21
Figura 7. Movimientos de rotación interna y externa.....	21
Figura 8. Movimientos de pronación y supinación.....	22
Figura 9. a) motor por guaya. B) motor por cremallera.....	24
Figura 10. Potenciómetro acoplado a un eje paralelo del motor del codo.....	25
Figura 11. Prenda con potenciómetros para captar movimiento de los dedos del operador.....	26
Figura 12. Módulo de control montado en Protoboard.....	26
Figura 13. Resultado de la simulación del Módulo Fuente de Alimentación.....	27
Figura 14. Cuerpo antropomórfico.....	28
Figura 15. Motores para los movimientos del brazo y codo.....	29
Figura 16. Foto de un dedo.....	29
Figura 17. Dedos con los resortes.....	30
Figura 18. Vista del esqueleto del Brazo.....	31
Figura 19. Vista completa del brazo.....	31
Figura 20. Potenciómetro para captar apertura del brazo.....	32
Figura 21. Vista interna del robot.....	33
Figura 22. Grafica PM vs PR.....	35
Figura 23. Desplazamiento total del codo.....	35
Figura 24. Desplazamiento total del brazo.....	36

Figura 25. Rotación total del hombro.....	36
Figura 26. Desplazamiento total de la muñeca y dedos.....	37
Figura 27. Carga de 5Kg del hombro.....	38
Figura 28. Carga de 10Kg del codo.....	38
Figura F1. Sistema Electromecánico imitador de movimientos.....	56
Figura F2. Prenda con sensores que se coloca el operador encima de su ropa....	56
Figura F3. Manejo del robot.....	57
Figura F4. Control del robot.....	57



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**DESARROLLO DEL PROTOTIPO DE UN BRAZO ELECTROMECAÁNICO
ANTROPOMÓRFICO CAPAZ DE EMULAR MOVIMIENTOS DEL BRAZO
HUMANO.**

Autor: Gonzalez Amador, Kelvin Daniel

Tutor: Ing. Giménez Dinorah

Fecha: Octubre, 2015

RESUMEN

Esta investigación tiene como propósito el diseño y desarrollo del prototipo de un brazo electromecánico antropomórfico, capaz de emular mediante imitación algunos de los movimientos del brazo humano, con el fin de crear una herramienta que ayude a los trabajadores de aquellas empresas donde se manipulan objetos o sustancias que pueden ser peligrosas para su salud e integridad física. La construcción del prototipo se realizó de manera artesanal y se utilizó gran cantidad de piezas mecánicas y eléctricas recicladas, con el propósito de reducir los costos de elaboración y además demostrar la utilidad e importancia del reciclaje. Se construyó un brazo electromecánico capaz de manipular objetos con un peso de hasta 10Kg, que consta de movimientos en el hombro, codo, muñeca y dedos de la mano, los cuales funcionan de forma independiente, accionados por motores DC, que son gobernados por microcontroladores PIC, bajo una lógica de control de tres posiciones con histéresis, todo esto logrado mediante la aplicación de un método de observación experimental donde se aislaban las variables de estudio. Además para que el sistema imite los movimientos, se elaboró una prenda con sensores que se debe colocar encima de la ropa el operador del brazo electromecánico para captar su actividad.

Descriptores: Brazo antropomórfico electromecánico

INTRODUCCIÓN

En todo el mundo existen leyes y normativas cuyo objetivo principal es proteger la integridad de los trabajadores. En el caso de Venezuela, la Ley Orgánica de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo (LOPCYMAT), se encarga de regir todo el ámbito relacionado a la salud y seguridad laboral. Dicha Ley aplica especialmente en los ambientes industriales, donde los niveles de riesgos son muy elevados, garantizando las condiciones de seguridad, salud y bienestar dentro de un contexto propicio para el ejercicio pleno de las facultades físicas y mentales de los empleados.

Además en Venezuela hay otra institución que se encarga de la normalización y control de calidad, que es FONDONORMA anteriormente COVENIN, la cual posee una norma que publico COVENIN que es la COVENIN 2275-91 que habla sobre las industrias o actividades consideradas como peligrosas o insalubres, donde se expone las posibles consecuencias de una mala manipulación de diferentes tipos de sustancias y materiales. Entre las consecuencias destacables se encuentran: quemaduras, explosiones, incendios y accidentes, trayendo como efectos negativos para el trabajador posibles lesiones, envenenamiento, intoxicaciones, daños en la piel, contracción de enfermedades, etc.

En la actualidad gracias a las normas y leyes de seguridad laboral industrial se ha disminuido la cantidad de accidentes y los espacios de trabajo son más seguros. Sin embargo aún persisten muchos trabajos peligrosos, por lo cual esta investigación tiene como objetivo la construcción de una herramienta para contribuir con el progreso de la seguridad laboral, mediante la elaboración del prototipo de un brazo electromecánico que puede emular mediante imitación, algunos de los movimientos del brazo humano. Esta herramienta sería usada por un trabajador para manipular los materiales o sustancias peligrosas a una distancia segura.

A continuación se presenta la estructura de este trabajo de investigación, la cual está conformada por los siguientes capítulos:

Capítulo I, donde se expone el análisis del problema que se plantea, su justificación, objetivo general, objetivos específicos, alcance y limitaciones.

Capítulo II, marco teórico el cual presenta las bases teóricas que fundamentan el trabajo, algunas investigaciones relacionadas con el tema y la definición de términos básicos.

Capítulo III, marco metodológico, en él se presentan las bases metodológicas utilizadas para la realización de esta investigación. Asimismo, las fases necesarias para alcanzar los objetivos establecidos.

Capítulo IV se exponen los procedimientos y resultados obtenidos en cada una de las etapas de la investigación.

Por último se expresan las conclusiones y recomendaciones para futuras investigaciones relacionadas con el tema.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del Problema

El ser humano tiene como característica de su naturaleza, la creación de herramientas a partir de materiales que encuentra en su entorno, con el fin de facilitar sus labores, haciéndolas menos agotadoras y más eficientes. Esta creación de herramientas a lo largo de la historia, ha traído como consecuencia el desarrollo de sistemas cada vez más complejos, como las máquinas y recientemente los robots.

Los prototipos y robots con aspecto humano más avanzados del mundo se encuentran en Japón, donde la inversión en robótica comenzó hace más de 40 años, de la que están recogiendo sus frutos en la actualidad.

Los países desarrollados disfrutarán de avances en robótica y sus aplicaciones tanto industriales, laborales y domésticas mucho antes que América Latina.

En algunas industrias suele ser común la manipulación de materiales y sustancias con características tóxicas, pesadas, radioactivas, explosivas, corrosivas, calientes, entre otras, que pueden causar daños a la salud de los operadores y al medio ambiente. Esta manipulación de materiales y sustancias puede llevarse a cabo de una forma segura mediante la utilización de un robot manipulador, que evita el contacto directo y un alto esfuerzo físico por parte de los trabajadores, de este modo protegen su integridad.

Venezuela es un país que no se caracteriza por hacer grandes inversiones en investigación y desarrollo de sistemas automatizados como los robots y menos aquellos con aspecto humanoide. En la actualidad aquellos investigadores que buscan realizar aportes al país se encuentran con un fuerte control cambiario, escasez de materiales y herramientas, baja calidad y un elevado costo en la adquisición de componentes, lo que dificulta a un mas esta tarea. Vista la importancia de la robótica

en los tiempos actuales y las limitaciones antes descritas a nivel regional, se presenta la siguiente interrogante.

1.2 Formulación del Problema

¿Cómo se pueden emular algunos movimientos del brazo humano para mejorar la realización de trabajos donde se manipulan materiales y sustancias peligrosas para la salud de los trabajadores?

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1 Objetivos General

Desarrollar el prototipo de un brazo electromecánico antropomórfico capaz de emular movimientos del brazo humano.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Describir los movimientos básicos del brazo humano y características de prototipos electromecánicos existentes.
- Diseñar un control electrónico que permita el manejo de los movimientos por imitación.
- Construir el prototipo con materiales reciclados.

1.4 Justificación del Problema

La necesidad de crear una herramienta capaz de hacer seguro la realización de trabajos peligrosos y que demandan un alto esfuerzo físico por parte de los trabajadores, es uno de los factores que motiva ésta investigación. Asimismo, demostrar que con materiales reciclados se puede construir un prototipo funcional que explore las potencialidades, que un proyecto con estas características puede ofrecer al país. Además de realizar un aporte en el desarrollo de avances tecnológicos y sus aplicaciones, en una investigación que demanda conocimientos en dos ramas de la ingeniería como la electrónica y la mecánica.

En Venezuela este tipo de proyectos está en etapa de crecimiento, es por ello que es importante estudiarlos, comprenderlos y aprovecharlos para así poder establecer una independencia tecnológica.

1.5 Alcance

El alcance de la investigación va a depender de los materiales encontrados para la realización del proyecto, ya que persigue generar un prototipo funcional con materiales que sean en su mayoría reciclados para reducir los costos y de esta manera diseñar una herramienta para atender la problemática planteada anteriormente. El proyecto constara de un brazo formado por una mano, un antebrazo, un codo y un hombro el cual ira acoplado a un torso antropomórfico, manejado por un control electrónico.

Se busca explicar con claridad las partes y el funcionamiento del diseño electrónico y detallar los procedimientos realizados para el cumplimiento de los objetivos planteados.

Finalmente se busca exponer los resultados de las pruebas de operatividad del prototipo terminado, para que de este modo crear una base que sirva de guía para futuras investigaciones.

1.6 Limitaciones

Se cuenta con un bajo presupuesto, el tiempo para la realización de la investigación es de dos semestres académicos y conocimientos limitados en ingeniería mecánica.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

Se revisaron diversos trabajos que sirvieron como base y orientación para la realización de este proyecto. En esta sección se hace referencia a los antecedentes investigados, los cuales son considerados como los más importantes.

Hernández C. y Montoya C. (2007) en su trabajo como requisito para la obtención del grado de: Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica titulado **Diseño de un Sistema Emulando el Movimiento Articulado de una Mano, Brazo y Antebrazo**, el cual fue desarrollado en el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico Cuernavaca, Morelos, México, presentaron el diseño de un sistema robótico antropomórfico, que consta de un brazo de 7 grados de libertad (gdl) y una mano con 15 gdl, cuya finalidad es reproducir algunos de los movimientos que realizan el brazo y la mano humana.

De esta investigación se toma lo referente a los prototipos que han sido desarrollados hasta la fecha, anexando sus características, aplicaciones y limitaciones. Además, posee detallada información sobre la realización del sistema robótico emulador de movimientos, cuyos resultados finales sirven de ejemplo y guía para esta investigación.

Asimismo, Cols J. (2012) en su trabajo como requisito para optar al título de Ingeniero Electrónico, titulado **Sistema Robótico Móvil Esférico Teleoperado con Capacidad de Telemetría y Posicionamiento por Geolocalización**, expone los resultados del diseño y fabricación de un robot móvil esférico teleoperado mediante una aplicación para computador. El objetivo de la investigación consistió en diseñar y

ensamblar un sistema robótico teleoperado, con el fin de brindar una plataforma de exploración para las actividades industriales de la región.

Este trabajo se considera de gran aporte por la cantidad de información relacionada con la construcción de un robot, se consigue la utilización de diversos softwares como el PIC C Compiler para la programación de los microcontroladores en lenguaje C. Además sirvió como guía para la consulta de información de diversos dispositivos electrónicos y fuentes bibliográficas.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Robot antropomórfico

Un robot antropomórfico (androide) es un robot con apariencia humanoide. Por ahora son dispositivos con poca utilidad práctica, se destinan fundamentalmente al estudio y experimentación. Los campos en los que se está trabajando son en conseguir el equilibrio de estos robots al andar, subir y bajar escaleras, manipulación de objetos, reconocimiento facial, interacción con humanos, entre otros. Pueden ser accionados por cilindros neumáticos o por motores eléctricos como los servomotores, motores paso a paso, motores DC, etc.

2.2.2 Motor de corriente directa

El motor de corriente continua denominado también motor CC o motor DC, es una máquina que gracias a la interacción de campos magnéticos, convierte la energía eléctrica en mecánica, provocando un movimiento rotatorio.

Un motor de corriente continua se compone principalmente de dos partes que son el estator y rotor. El estator da soporte mecánico al aparato y contiene los devanados principales de la máquina, conocidos también con el nombre de polos, que pueden ser de imanes permanentes o devanados con hilo de cobre sobre núcleo de hierro. El rotor es generalmente de forma cilíndrica, con un núcleo donde se enrolla un devanado, que es alimentado con corriente directa mediante el uso de escobillas. Dichas escobillas hacen contacto sobre unas láminas separadas entre sí llamadas delgas.

Los motores de corriente continua se utilizan en la construcción de servomotores y motores paso a paso. Además existen motores DC sin escobillas. Es posible controlar la velocidad y el par de estos motores utilizando técnicas de DC.

2.2.2.1 Motor DC de imanes permanentes

Los imanes permanentes son materiales que poseen una gran capacidad de almacenamiento de energía magnética, que perdura en el tiempo y que su degradación no es significativa. Un aspecto importante es la curva característica de magnetización o curva de histéresis, curva que es particular para cada tipo de material magnético.

Los motores de imanes permanentes son motores eléctricos que utilizan la combinación de campos magnéticos de naturaleza permanente en los polos del estator y campos magnéticos inducidos producidos por la corriente de excitación externa que fluye a través de los devanados del rotor.

Los motores de imanes permanentes pueden ser excitados tanto con señales eléctricas continua o alterna, sin embargo es importante notar que las aplicaciones de motores de excitación alterna son los más empleados y eficientes en términos de conversión de energía disponibilidad, y mantenimiento.

Los motores de imán permanente tienen algunas ventajas de rendimiento frente a los motores de corriente continua de tipo excitado y han llegado a ser el predominante en las aplicaciones de potencia fraccionaria. Son más pequeños, más ligeros, más eficaces y fiables que otras máquinas eléctricas alimentadas individualmente.

2.2.3 Puente H

Es un circuito electrónico que consta de interruptores mecánicos o electrónicos como los transistores, montados de tal forma que se asemejan a la letra H. Permiten a los motores DC arrancar, detenerse y girar en ambos sentidos. Además, dependiendo de la velocidad de conmutación de los interruptores usados, pueden realizar un control dinámico de los motores. Son ampliamente usados en robótica y como convertidores de potencia. Los puentes H están disponibles como circuitos integrados, pero también pueden construirse a partir de componentes discretos.

2.2.3.1 Puente H con relé

Es una configuración circuital que consta de un par de relés, transistores BJT y diodos (Ver Figura 1).

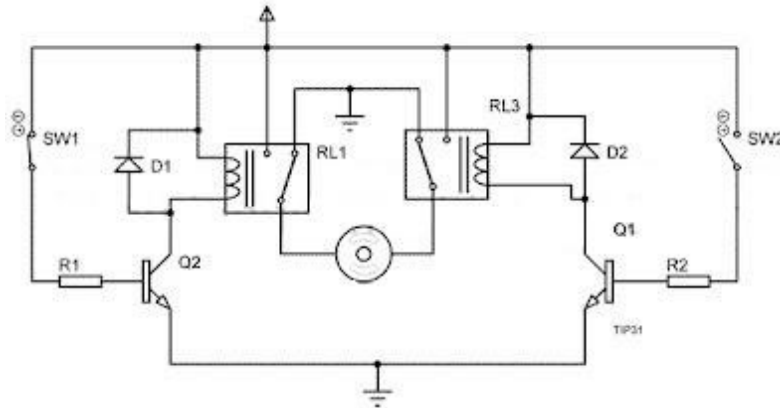


Figura 1. Puente H con relé.

Fuente: <http://blog.rolandopalermo.com/2012/03/puenteh-motor-dc.html>

Este circuito permite invertir el sentido de giro de un motor de corriente directa mediante dos señales discretas para activar los transistores Q1 y Q2. Cuando las 2 señales de entradas están activas o no al mismo tiempo no se mueve el motor; cuando se activa una de las entradas por ejemplo la de Q1 y Q2 se deja desactivada, se cierra el circuito de alimentación del motor y empieza a girar, para invertir el sentido de giro hay que activar el transistor Q2 y apagar el transistor Q1. Este tipo de circuitos presentan algunas ventajas sobre los puentes H controlados por transistores que son: una caída de tensión menor lo que supone un pequeño ahorro en los sistemas alimentados por baterías, admiten una mayor potencia por un costo más bajo y no se calientan. Las desventajas más importantes son la velocidad con la que pueden hacer la conmutación y el desgaste mecánico.

2.2.4 Potenciómetro

Es un dispositivo pasivo, ya que es un resistor cuyo valor de resistencia es variable. De esta manera, indirectamente, se puede controlar la intensidad de corriente que fluye por un circuito si se conecta en paralelo, o la diferencia de potencial al conectarlo en serie. Normalmente, los potenciómetros se utilizan en

circuitos de poca corriente. Para circuitos de corrientes mayores, se utilizan los reóstatos, que pueden disipar más potencia.

Existen dos tipos de potenciómetros los impresos y los bobinados. Los impresos son realizados con una pista de carbón sobre un soporte duro como papel baquelizado, fibra, alúmina, etc. La pista tiene sendos contactos en sus extremos y un cursor conectado a un patín que se desliza por la pista resistiva. Los potenciómetros bobinados consisten en un arrollamiento toroidal de un hilo resistivo (por ejemplo, constantán) con un cursor que mueve un patín sobre el mismo.

Los potenciómetros son destinados a dos grandes aplicaciones, el mando y el ajuste. Los potenciómetros de mando son utilizados por los usuarios de dispositivos para cambiar parámetros por ejemplo subir y bajar el volumen. Los potenciómetros de ajuste son agregados en aparatos para que estos con el tiempo no pierdan las características de fábricas.

2.2.4.1 Tipos de potenciómetros de mando

Potenciómetros rotatorios se controlan girando su eje. Son los más habituales pues son de larga duración y ocupan poco espacio.

Potenciómetros deslizantes. La pista resistiva es recta, de modo que el recorrido del cursor también lo es. Han estado de moda hace unos años y se usa, sobre todo, en ecualizadores gráficos, pues la posición de sus cursores representa la respuesta del ecualizador. Son más frágiles que los rotatorios y ocupan más espacio. Además suelen ser más sensibles al polvo. (Ver Figura 2).



Figura 2. Potenciómetros deslizantes. **Fuente:** Elaboración Propia.

2.2.5 Microcontrolador

Es un circuito integrado programable que contiene todos los componentes necesarios para controlar el funcionamiento de una tarea determinada, como el control de una lavadora, un teclado de ordenador, una impresora, un sistema de alarma, un control de temperatura, etc. Para esto, el microcontrolador utiliza muy pocos componentes asociados. Un sistema microcontrolador debe disponer de memoria donde se almacena el programa que gobierna las funciones del mismo, que una vez programado y configurado, solo sirve para realizar la tarea asignada. La utilización de un microcontrolador en un circuito reduce notablemente el tamaño y el número de componentes y, en consecuencia, disminuye el número de averías y el volumen y el peso de los equipos, entre otras ventajas.

2.2.5.1 Microcontroladores PIC

Los Microcontroladores PIC (Peripheral Interface Controller) son una familia de Microcontroladores que han tenido gran aceptación y desarrollo en los últimos años gracias a sus buenas características, bajo precio, reducido consumo, pequeño tamaño, gran calidad, fiabilidad, abundancia de información y sobre todo por su comodidad y sencillez de utilización. Son fabricados por Microchip Technology Inc.

Estos Microcontroladores se caracterizan por su arquitectura Harvard con memorias de programa y de datos independientes, lo que permite la accesibilidad simultánea y la diversidad en la longitud de las posiciones y el tamaño de ambas memorias. Genéricamente los Microcontroladores se clasifican según el tamaño de los datos que manejan el repertorio de instrucciones y existen cuatro grandes grupos de 4, 8, 16 y 32 bits.

Para los Microcontroladores de 8 bits existen tres grandes calificaciones en diferentes gamas que son: baja, media y mejorada, con un total de 300 modelos diferentes que contienen distintas capacidades de memoria, periféricos y distintos tipos de encapsulados.

Normalmente son alimentados con 5 voltios, se comunican con el mundo exterior a través de puertos que el diseñador puede escoger como utilizarlos, ya sean

como entradas o como salidas, algunos de estos puertos incluyen muchas funciones como son las interrupciones, convertidores analógico-digital, comunicaciones por distintos protocolos, reset, salidas controladas por moduladores por ancho de pulso (PWM), etc.

2.2.6 Sistema de control

Es un conjunto de dispositivos encargados de administrar, ordenar, dirigir o regular el comportamiento de otro sistema, con el fin de reducir las probabilidades de fallo y obtener los resultados deseados. Por lo general, se usan sistemas de control industrial en procesos de producción industriales para controlar equipos o máquinas.

Existen dos clases comunes de sistemas de control, sistemas de lazo abierto y sistemas de lazo cerrado. En los sistemas de control de lazo abierto la salida se genera dependiendo de la entrada; mientras que en los sistemas de lazo cerrado la salida depende de las consideraciones y correcciones realizadas por la retroalimentación. Un sistema de lazo cerrado es llamado también sistema de control con realimentación. Los sistemas de control más modernos en ingeniería automatizan procesos sobre la base de muchos parámetros y reciben el nombre de controladores de automatización programables.

2.2.6.1 Sistema de control de lazo abierto

Es aquel sistema en que solo actúa el proceso sobre la señal de entrada y da como resultado una señal de salida independiente a la señal de entrada, pero basada en la primera. Esto significa que no hay retroalimentación hacia el controlador para que éste pueda ajustar la acción de control. Es decir, la señal de salida no se convierte en señal de entrada para el controlador.

Estos sistemas se caracterizan por:

- Ser sencillos y de fácil concepto.
- Nada asegura su estabilidad ante una perturbación.
- La salida no se compara con la entrada.
- Ser afectado por las perturbaciones. Éstas pueden ser tangibles o intangibles.
- La precisión depende de la previa calibración del sistema.

2.2.6.2 Sistema de control de lazo cerrado

Son los sistemas en los que la acción de control está en función de la señal de salida. Los sistemas de circuito cerrado usan la retroalimentación desde un resultado final para ajustar la acción de control en consecuencia. El control en lazo cerrado es imprescindible cuando se da alguna de las siguientes circunstancias:

- Cuando un proceso no es posible de regular por el hombre.
- Una producción a gran escala que exige grandes instalaciones y el hombre no es capaz de manejar.
- Vigilar un proceso es especialmente difícil en algunos casos y requiere una atención que el hombre puede perder fácilmente por cansancio o despiste, con los consiguientes riesgos que ello pueda ocasionar al trabajador y al proceso.

Sus características son:

- Ser complejos, pero amplios en cantidad de parámetros.
- La salida se compara con la entrada y le afecta para el control del sistema.
- Su propiedad de retroalimentación.
- Ser más estable a perturbaciones y variaciones internas.

2.2.7 Control On-Off

La acción de control On-Off es también conocida por su nombre en español Encendido-Apagado o Todo-Nada. Para esta acción de control el elemento final de control sólo tiene dos posiciones fijas que en la mayoría de los casos son: apagado y encendido. Este control es relativamente simple y barato, por lo cual su uso es muy extendido en sistemas de control tanto industriales como domésticos (Ver Figura 3).

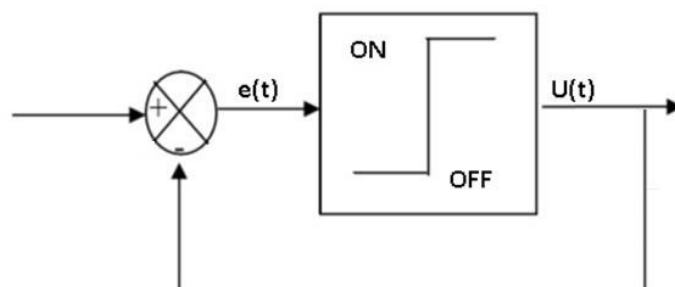


Figura 3. Diagrama de Bloques de un Control ON-OFF. **Fuente:** Elaboración propia

2.2.7.1 Control On-Off con histéresis

La histéresis o banda muerta es el rango en el que debe moverse la señal de error antes de que ocurra la conmutación. La banda provoca que la salida del controlador conserve su valor presente hasta que la señal de error se haya desplazado ligeramente más allá del punto de conmutación.

La histéresis en el control On-Off es usada con frecuencia para evitar una conmutación demasiado frecuente del mecanismo de encendido y apagado. Para una acción de control On-Off con Banda Muerta la relación entre la salida del controlador $U(t)$ y la señal de error $e(t)$ es:

$$U(t) = \text{ON}, \text{ para } e(t) + B/2 > 0$$

$$U(t) = \text{OFF}, \text{ para } e(t) - B/2 < 0$$

donde B es la brecha diferencial. La magnitud de la banda muerta debe determinarse a partir de consideraciones tales como la precisión requerida y la vida del componente, ya que la reducción de la banda diferencial aumenta la cantidad de conmutaciones de encendido y pagado por minuto y reduce la vida útil del componente. (Ver Figura 4).

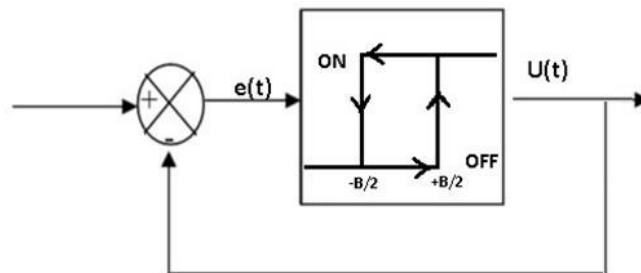


Figura 4. Diagrama de Bloques de Control ON-OFF con Histéresis.

Fuente: Elaboración propia

2.2.7.2 Control de tres posiciones

Permite controlar una válvula (u otro actuador) con un motor eléctrico controlado por dos relés de salida del controlador. Las tres posiciones suelen usarse para hacer girar el motor a la derecha, a la izquierda y detenerlo.

2.2 Definición de términos básicos

Antropomórfico: es la atribución de características y cualidades humanas a los animales de otras especies, objetos o fenómenos naturales.

Electromecánico: La primera definición de electromecánico en el diccionario de la real academia de la lengua española es dicho de un dispositivo o de un aparato mecánico: Accionado o controlado por medio de corrientes eléctricas. Electromecánico es también técnica de las máquinas y dispositivos mecánicos que funcionan eléctricamente.

Histéresis: Fenómeno por el cual un material presenta un estado de evolución que no depende solo de la causa que lo provoca, sino también de sus estados anteriores.

Imitación: La palabra imitación tiene su origen en el concepto latino *imitatio* y está asociada al verbo imitar. Éste último hace referencia a la acción que se realiza intentando copiar otra o tomándola como ejemplo. En este sentido, una imitación es una cosa o un acto que se encarga de copiar a otro, que generalmente está considerado como mejor o de más valor.

Microcontrolador: Es un sistema cerrado, lo que quiere decir que en un solo circuito integrado se encierra un sistema digital completo programable.

PIC: Controlador de Interface Periférico.

Relé: Dispositivo mecánico operado eléctricamente, cuyos contactos se abren y cierran basándose en la presencia de una señal eléctrica.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de Investigación

La presente investigación es de tipo Proyectiva, ya que su objetivo general busca proponer y ejecutar una solución ante un problema existente. Además, dicha solución es el resultado de un proceso investigativo realizado previamente. Barrera (2010), no lo pudo haber explicado de forma más clara al decir que:

Este tipo de investigación propone soluciones a una situación determinada a partir de un proceso de indagación. Implica explorar, describir, explicar y proponer alternativas de cambio, más no necesariamente ejecutar la propuesta (...) Todas las investigaciones que implican el diseño o creación de algo con base en un proceso investigativo, también entran en esta categoría. (p. 114)

En base a lo anteriormente descrito, se puede reafirmar que éste trabajo es de tipo proyecto, debido a que proporciona una alternativa para la construcción de brazos electromecánicos, describe y explica el diseño propuesto y además expone al prototipo construido.

Es importante no confundir el presente trabajo con un proyecto especial o un proyecto de acción. Como lo dice Barrera (2010), un proyecto especial tiene las siguientes características: “(...) consiste en diseñar algo que permite resolver un problema práctico, pero ese diseño no requiere de una investigación previa para ser elaborado (...)” (p. 115). Como se dijo en el párrafo anterior, fue necesaria la investigación previa para la ejecución de los objetivos, por esto se diferencia de un proyecto especial

3.2 Diseño de la investigación

Así como el tipo de investigación se define en base al objetivo de la investigación, el diseño de la investigación se define considerando el procedimiento

seguido durante su ejecución. Se consideraron dos aspectos al momento de definir el diseño de investigación: Fuente; de dónde se obtuvo la información, y temporalidad; cuándo se obtuvo la información.

El diseño de investigación es de fuente mixta y contemporánea. Es de fuente mixta porque la información se recoge tanto de un ambiente artificial (laboratorio), así como también de fuentes no vivas (documentos). Igualmente es contemporánea, pues las pruebas realizadas al prototipo son un evento actual y se ejecutan en un espacio de tiempo fijo (no evolutivo). Barrera (2010).

Además, cabe destacar que el diseño de investigación también cuenta con un carácter experimental, pues Barrera (2010) señala que:

El investigador interviene sobre las variables independientes o sobre los procesos causales y los modifica de manera intencional y planifica para ver los efectos, pero además hace un control estricto de variables extrañas para descartar que los cambios hayan sido originados por otros factores distintos a las variables independientes. (p. 152).

Ya que durante el proceso de diseño del control electrónico fue necesario la realización de pruebas cuyo objetivo era aislar la variable estudiada (corriente de alimentación, señal de los sensores, entre otros...) y además se intervino sobre cada una de ellas para analizar su comportamiento, de acuerdo a lo dicho por Barrera (2010) se reafirma el carácter experimental del diseño de investigación.

En síntesis el diseño de investigación del presente trabajo es de fuente mixta, contemporánea, y experimental.

3.3 Población y muestra

Del universo de industrias que aplican trabajos donde se requiere el manejo cargas, objetos o sustancias por parte de trabajadores de forma directa y donde una mala manipulación puede ocasionar serios daños, este trabajo se enfoca en aquellas donde las cargas no superen los 10 kilogramos, debido a las limitaciones de peso que el brazo electromecánico puede levantar.

Se tomó como muestra el prototipo desarrollado con los materiales que se encontraban a disposición para esta investigación.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Las técnicas empleadas en la recolección de información fueron las siguientes:

Revisión Documental: Para Hurtado (2008, p. 427), es una técnica en la cual se recurre a información escrita, ya sea bajo la toma de datos que pueden haber sido producto de mediciones hechas por otros o como texto que en sí mismo constituyen los eventos de estudio. Una vez hecha la conceptualización del sistema a desarrollar, se realizó una recopilación de información de origen documental. Dicha recopilación indicó que una cantidad considerable de trabajos investigativos referentes a la temática fueron llevados a cabo en universidades mexicanas y españolas. También se recopilaron artículos especializados entre otros medios impresos digitales mediante el uso de portales de búsqueda dedicados exclusivamente al indexado de documentos de carácter técnico o científico.

Observación Experimental: también llamada estudio de intervención o estudio experimental, es un análisis prospectivo, el cual se caracteriza por la manipulación indirecta, superficial de un factor de estudio por el investigador. En el diseño electrónico es común contar con un ambiente de trabajo en el cual es posible aislar las variables que son objeto de estudio. De las técnicas de captación de datos descritas, posiblemente la Observación Experimental es la que se impone como la de mayor relevancia.

Mediante ésta técnica fue posible estudiar el diseño circuital, visualizar su comportamiento o respuesta, y poder tomar acciones correctivas para mejorar su desempeño. Bajo esta metodología de “ensayo y error” experimental, se sometieron a prueba las diferentes partes del circuitos. Esta técnica también fue complementada por la simulación, que igualmente es una forma más de observación experimental.

Instrumentos utilizados

Al aplicar la técnica de observación experimental fue preciso utilizar como instrumento de captación y registro: un cuaderno de notas, multímetros digitales,

osciloscopios analógicos, programadores de Microcontroladores, fuentes de alimentación y generadores de señales. Para la construcción de la estructura mecánica se usaron las siguientes herramientas: máquina de soldar, esmeriles, taladros, sierras eléctricas, alicates de presión, pinzas, martillos, seguetas, cortadoras de láminas de metal, tenazas, entre otras.

3.5 Fases Metodológicas

A continuación se describen los pasos a seguir para el logro de cada objetivo propuesto. Se explican procedimientos y métodos, así como también las herramientas y materiales que se emplearon para la realización de las tareas planteadas.

Fase I: “Describir los movimientos básicos del brazo humano y características de prototipos electromecánicos existentes.”

Esta investigación se realizara con la recopilación de información por medio de fuentes digitales o impresas. Es de suma importancia ya que permite establecer los posibles movimientos que emulará el robot y estudiar los prototipos que ya han sido construidos, permitiendo conocer sus limitaciones, funciones y aplicaciones.

Fase II: “Diseñar un control electrónico que permita el manejo de los movimientos por imitación.”

Con la información recolectada anteriormente se procederá a diseñar un boceto general del sistema planificando cómo será la estructura mecánica con aspecto antropomórfico y cuáles movimientos hará. Se definirá cuáles son los actuadores a utilizar que cumplan con los criterios de selección. Una vez establecidos los actuadores se procederá a diseñar un control electrónico para gobernar el robot a cierta distancia y que imite los movimientos, dicho control pasara por pruebas en simuladores especializados y en físico para determinar la fiabilidad del sistema.

Fase III: “Construir el prototipo con materiales reciclados.”

Paralelamente al diseño, construcción y pruebas del control electrónico se ira armando la estructura física del sistema con los materiales que se encuentren a disposición. Una vez finalizada la etapa de construcción de la estructura y las pruebas en el control electrónico, se acoplaran para proceder a calibrar el sistema.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

En el presente capítulo se expondrán los resultados obtenidos para cada una de las fases del proyecto. Dichos resultados fueron logrados mediante el análisis de datos teóricos, simulaciones de circuitos digitales, pruebas experimentales y finalmente la implementación de dichos diseños.

4.1 FASE I: Describir los movimientos básicos del brazo humano y características de prototipos electromecánicos existentes

Para el cumplimiento de este objetivo se utilizó en su mayoría fuentes digitales, de donde se obtuvo la información que se presenta a continuación.

4.1.1 Características del brazo humano

En el ser humano existen 3 ejes corporales llamados: eje transversal, eje antero-posterior y eje vertical o longitudinal.

Dependiendo el sentido y el eje en el que rota cada movimiento el cuerpo humano recibe un nombre diferente como por ejemplo: flexión, extensión, aducción abducción, rotación interna, rotación externa, pronación y supinación

A) Movimientos de flexión y extensión

Son los movimientos que se realizan en el eje transversal (Ver Figura 5).



Figura 5. Movimientos de flexión y extensión. Fuente: Elaboración propia

B) Movimientos de aducción y abducción

Son los movimientos que se realizan en el eje antero-posterior. En el hombro se encuentra este movimiento para elevar el brazo lateralmente (Ver Figura 6)

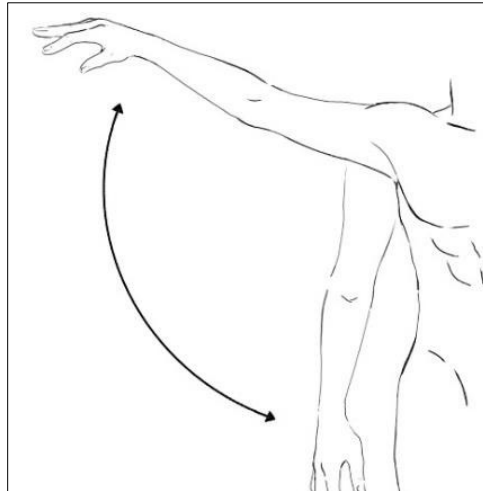


Figura 6. Movimientos de aducción y abducción. **Fuente:** Elaboración propia

C) Movimientos de rotación interna y externa

Los movimientos que se realizan en el eje vertical se denominan giro o rotación (rotación interna y externa) (Ver Figura 7).

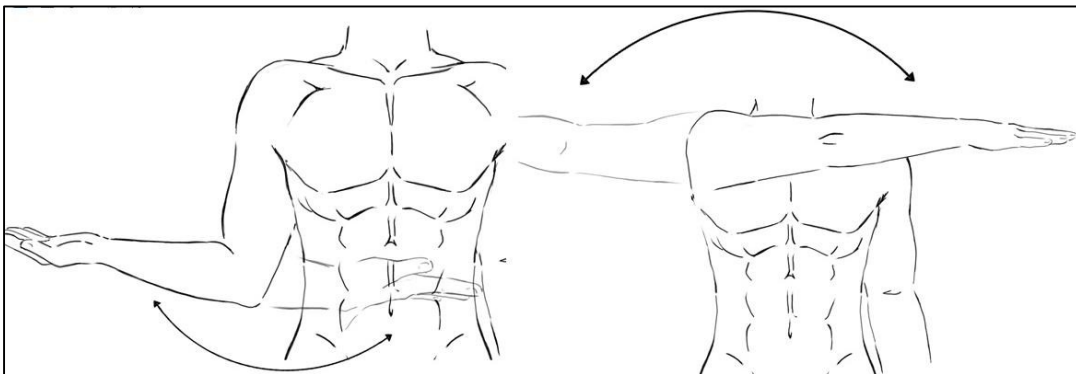


Figura 7. Movimientos de rotación interna y externa **Fuente:** Elaboración propia

D) Movimientos de pronación y supinación

Son movimientos de rotación que se realizan a expensas del plano transversal. En el brazo humano estos movimientos se encuentran en la muñeca tal como se muestra en la siguiente figura (Ver Figura 8).

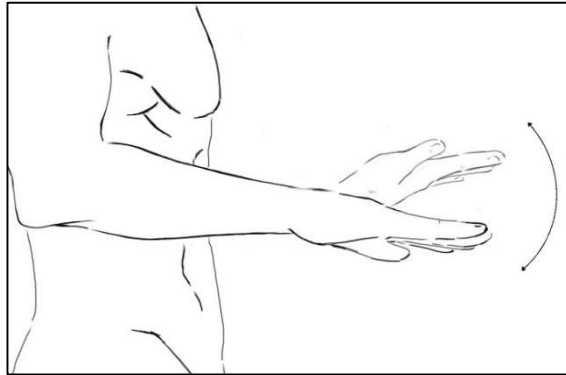


Figura 8. Movimientos de pronación y supinación. **Fuente:** Elaboración propia

4.1.2 Características de prototipos electromecánicos existentes

A) ROBONAUTA

Es un robot humanoide metálico desarrollado por la NASA, destinado a ser utilizado en el espacio exterior para reparar satélites y estaciones espaciales. Tiene brazos y manos flexibles utilizadas para manejar herramientas.

Dicho brazo utiliza motores DC para su funcionamiento, tiene siete grados de libertad, una mano antropomórfica y usa reductores armónicos acoplados en los motores para la transmisión. Pesa 12 Kg y es capaz de movilizar cargas del mismo peso.

B) WE-4RII

La Universidad de Waseda diseñó un brazo robótico llamado WE-4RII, donde el rango móvil de cada unión es como la de un humano, esto con el objetivo de obtener una expresión más emocional como la humana. Se diseñó el robot para tener las mismas dimensiones que un varón promedio y tener una apariencia natural.

Este brazo consta de motores DC acoplados a reductores armónicos, siete grados de libertad y una mano antropomórfica.

C) WHOLE

La Universidad de Southampton diseñó un brazo robótico con el objetivo principal de obtener conocimientos sobre las características del brazo y mano humana y que sea capaz de maniobrar 4 Kg en su efecto final.

Dicho brazo funciona con motores DC acoplados a reductores armónicos, tiene seis grados de libertad y una mano antropomórfica.

D) COG

La Universidad de Oxford diseñó un humanoide llamado COG con 2 brazos. Cada brazo tiene seis grados de libertad y están dispuestos de manera similar y tienen aproximadamente la misma longitud que el brazo humano. Utiliza motores DC acoplados a guayas, resortes, poleas y reductores.

Utiliza motores DC acoplados a cables, poleas y resortes, tiene 6 grados libertad y pinzas para manipular los objetos.

E) IROS

El Instituto Politécnico de Setúbal, Portugal diseñó un robot antropomórfico denominado IROS, que combina una cabeza binocular, un brazo y una mano, para investigación en aprendizaje por imitación. El objetivo fue producir un sistema semejante a la cinemática del brazo y mano. La cinemática inversa de este robot fue realizada en dos partes: posición de la muñeca y orientación de la mano, donde los tres primeros grados de libertad sirven para posicionar la muñeca y los otros tres para orientar la mano. Utiliza motores DC acoplados a guayas y correas, tiene 6 grados de libertad y una mano antropomórfica.

F) Robot construido con Powercubes

La universidad de Karlsruhe, Germany. Diseñaron un brazo robótico que consta de seis, así llamados, “Powercubes” por AMTEC y tiene siete grados de libertad en una configuración de forma humana. El brazo tiene una masa de 14.2 Kg y la carga máxima que puede levantar en el efector final es de 2 Kg.

4.2 Fase II: Diseñar un control electrónico que permita el manejo de los movimientos por imitación

Con la información recolectada en la fase anterior se planificó que el sistema a construir debía tener los movimientos de rotación del hombro, flexión y extensión del mismo, codo y dedos, supinación y pronación en la muñeca. Para lo cual el control deberá manejar nueve actuadores de forma independiente.

Así que para el cumplimiento de este objetivo, se diseñó un sistema de control electrónico dividido en varios módulos partiendo de los actuadores.

4.2.1 Modulo de Actuadores

El brazo antropomórfico consta de dos movimientos en el hombro, uno en el codo, uno en la muñeca y cada dedo de la mano, con lo cual se decidió utilizar como actuadores nueve motores de corriente directa. Se encontraron a disposición los motores que suben y bajan vidrios en las puertas de los carros (motores eleva vidrios) debido a su bajo costo, alto torque, voltaje de entrada estandarizado a 12V y además, traen un reductor armónico integrado, con lo cual solo les hace falta un control electrónico para que funcionen como un servomotor.

Existen varios tipos de estos motores, unos trabajan por guayas y otros tienen acoplado una cremallera en forma de semicírculo (Ver Figura 9). Para los movimientos de los dedos, el codo y los dos del hombro, se utilizan estos últimos, ya que permiten un acoplamiento al torso antropomórfico más sencillo. Solo para el movimiento de la muñeca se decidió utilizar un motor que trabaja por guaya.

Las pruebas experimentales dieron como resultado que cada motor de corriente directa sin carga consume aproximadamente tres amperios y con una carga de 20Kg consume alrededor de 14 amperios.

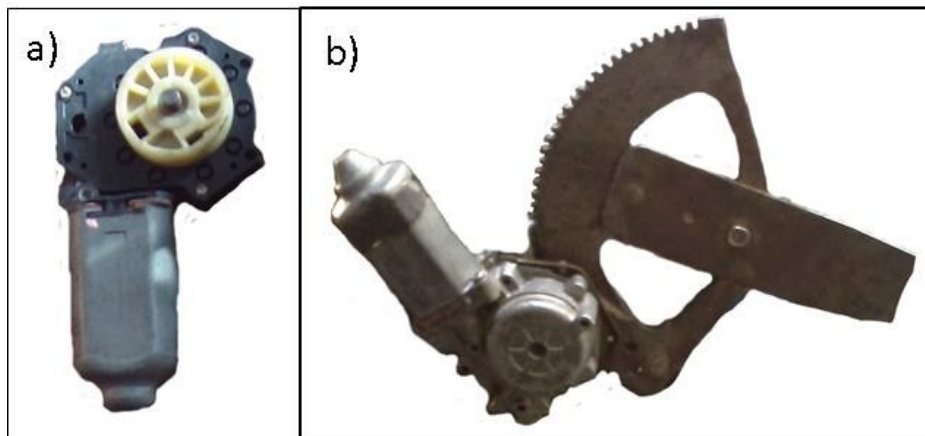


Figura 9. a) motor por guaya. B) motor por cremallera. **Fuente:** Elaboración propia

4.2.2 Modulo de Potencia

Para encender, apagar e invertir la polaridad de cada motor se decidió diseñar un conjunto de puentes H de relés, debido a que trabajan a una velocidad que no afecta al sistema y soportan por un precio mucho menor al de los transistores las demandas de corriente de cada motor. Se necesitaron nueve puentes, uno para cada motor, lo que suma un total de 18 relés. Son alimentados con 12V para entregar dicho voltaje a los motores. Cada puente H es activado y desactivado por el módulo de control. Para este módulo se utilizaron relés automotrices con capacidad de hasta 30 amperios, debido a su disponibilidad y bajo costo. En el anexo D se encuentra el diagrama de este módulo.

4.2.3 Modulo de Sensores

Se buscó que los motores DC funcionaran como servomotores por lo que fue necesario utilizar algún método para medir su posición. Se utilizaron potenciómetros rotatorios de 10Kohm, acoplados de tal forma que al encender el motor giran según su desplazamiento y así saber la posición. A cada potenciómetro se le diseño una base de acoplamiento en un eje paralelo al de los motores y se fijaron a estas bases mediante cinta adhesiva ya que esta cinta permite un leve desplazamiento en caso de que el potenciómetro no allá quedado exactamente centrado en el eje a censar, tal como se muestra en la siguiente figura (Ver Figura 10).



Figura 10. Potenciómetro acoplado a un eje paralelo del motor del codo.

Fuente: Elaboración propia.

Para medir la posición de los movimientos del brazo, codo, muñeca y dedos del operador se utilizó potenciómetros deslizantes de 10Kohm, pegados en una prenda que se colcola dicho operador sobre su ropa, que le permite mover los potenciómetros mediante guayas y gomas elásticas. (Ver Figura 11).

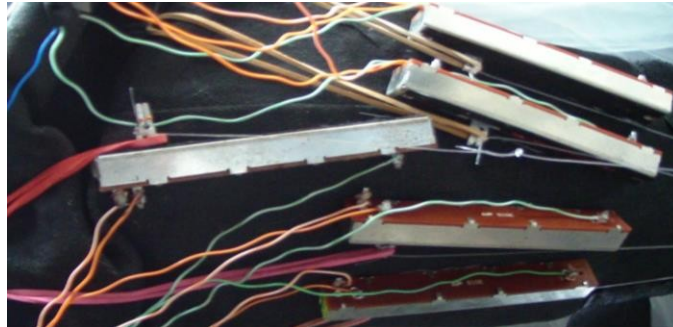


Figura 11. Prenda con potenciómetros para captar movimiento de los dedos del operador. **Fuente:** Elaboración propia

Todos los potenciómetros del sistema están alimentados con 5V y envían las señales al módulo de control. En el anexo E se encuentra el diagrama de este módulo.

4.2.4 Modulo de Control

El módulo de control consta de un par de PIC16F887 alimentados con 5V. Quienes se encargan de recibir las señales de los potenciómetros, realizar las respectivas conversiones analógicas a digital de cada señal, aplicar una lógica de control de 3 posiciones con histéresis para decidir si activar o no y en qué sentido mediante los puentes H, los motores del sistema electromecánico para que de esta forma el brazo robótico imite los movimientos del operador. Uno de los PIC16F887 controla siete motores y el otro controla dos motores. (Ver Figura 12).



Figura 12. Módulo de control montado en Protoboard **Fuente:** Elaboración propia

Este es el modulo más importante del sistema ya que es el cerebro del robot. Los Microcontroladores fueron programados en lenguaje C, los códigos de programación se encuentran en los anexos A y B.

4.2.5 Modulo de Alimentación

Como se ha podido apreciar en los módulos anteriores el sistema trabaja con 12V y 5V. Debido a que el consumo de corriente de los motores es elevado cuando se aumenta la carga, el brazo robótico puede llegar a consumir alrededor de 100 amperios, solo en el caso que los nueve motores trabajen a cargas elevadas. Por lo cual se decidió utilizar una batería de 12V de un automóvil ya que pueden soportar con facilidad esas demandas de corriente y le proporciona al sistema independencia de la red eléctrica y a sus fallos. Para obtener los 5V necesarios para alimentar el resto de los circuitos se utilizó el regulador de voltaje LM7805, dicho regulador a su salida proporciona 5V de corriente directa con una capacidad de 1.5 amperios. Para indicar que el sistema está conectado a la batería y que el regulador funciona correctamente se colocó un par de leds verdes. (Ver Figura 13).

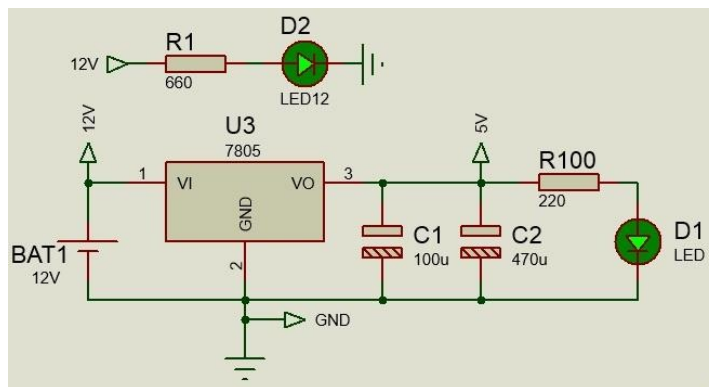


Figura 13. Resultado de la simulación del Módulo Fuente de Alimentación. Fuente:

Elaboración propia

4.3 Fase III: Construir el prototipo con materiales reciclados

Para la realización de este objetivo se utilizaron una gran cantidad de materiales reciclados, con el fin de reducir los costos del proyecto. Se reciclaron tanto piezas metálicas de diferentes formas y tamaños, piezas eléctricas y electrónicas.

Todo el proyecto fue elaborado de manera artesanal partiendo de un diseño base, construido con los materiales que se encontraban a disposición.

Para muchos de los movimientos se utilizaron mecanismos reciclados, más que todo de los mecanismos que utilizan los motores elevavidrios para realizar su trabajo. Muchas de las piezas metálicas fueron adquiridas de los desechos de empresas.

4.3.1 Construcción de la estructura mecánica

4.3.1.1 Cuerpo Antropomórfico

El objetivo principal fue construir una estructura metálica que sería el soporte del sistema electromecánico, proporcionándole estabilidad y lugar para el acoplamiento del brazo, con un aspecto semejante a la del cuerpo humano (más ancho en la parte superior que en la parte inferior) y cuente con espacio suficiente para la batería automotriz, el control electrónico y los motores. (Ver Figura 14).



Figura 14. Cuerpo antropomórfico. Fuente: Elaboración propia

4.3.1.2 Movimientos del Brazo y Codo

Para estos movimientos se utilizaron los motores con cremallera y gran parte del mecanismo que utilizan para subir y bajar los vidrios en los carros, de esta forma el acoplamiento al torso antropomórfico es más sencillo y la realización de los movimientos es natural al mecanismo que traen. Además en la estructura mecánica que traen de fábrica tienen un eje que se encuentra paralelo y distante al eje del

motor, lugar perfecto para acoplar potenciómetros y medir su posición, debido a que el ángulo de giro no supera los 360 grados. (Ver Figura 15)



Figura 15. Motores para los movimientos del brazo y codo. **Fuente:** Elaboración propia

4.3.1.3 Movimientos de los Dedos

Se buscó construir una mano metálica lo más parecida a la mano humana, esto quiere decir con cinco dedos y la capacidad de moverlos de forma independiente. Por lo cual se necesitó un motor para cada uno. Los dedos construidos tienen tres falanges al igual que los de dedos de la mano huma (Ver Figura 16).



Figura 16. Foto de un dedo. **Fuente:** Elaboración propia

Los motores que hacen funcionar a los dedos son con cremallera y llevan acoplado una guaya con la que halan el dedo para que este se flexione. Para que el

dedo se regrese a estado de reposo original lleva incorporado en su interior un resorte tal como se muestra en la siguiente figura (Ver Figura 17).



Figura 17. Dedos con los resortes. Fuente: Elaboración propia.

Para acoplar todos los motores de los dedos al cuerpo antropomórfico se diseñó una base metálica y en esta se atornilla cada motor en paralelo, en un lugar que les permite halar la guaya de cada dedo con facilidad independientemente del resto de los movimientos del brazo robótico.

4.3.1.4 Giro de la Muñeca

La mano metálica fue acoplada al antebrazo del robot mediante un muñón de carro reciclado, el cual le permite girar y moverse en un eje. Como solo se buscaba hacer girar la muñeca se limitó la cantidad de movimientos que el muñón puede hacer. Para que el brazo del robot lograra hacer este movimiento se realizaron varios métodos en busca del más eficiente, al final se utilizó un motor que trabaja con un carrete para enrollar un par de guayas. Una de las guayas hala en un sentido una polea que se colocó en la muñeca y la otra guaya en el sentido contrario. De esta manera la muñeca puede girar aproximadamente 180 grados.

4.3.1.5 Aspecto Antropomórfico del Brazo Robótico

Con el objetivo de que el brazo robótico no perdiera la forma y se asemejara a un brazo humano se le adaptaron piezas que le daban volumen y permitían que pasaran los cables por ellas. (Ver Figuras 18)

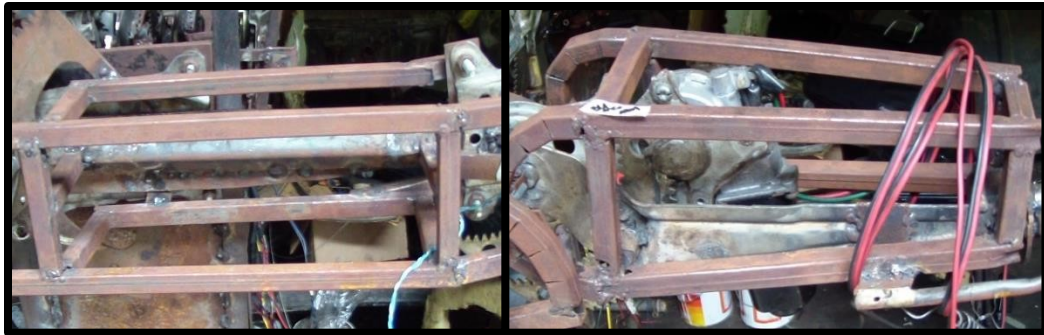


Figura 18. Vista del esqueleto del Brazo. Fuente: Elaboración propia

A esta estructura se la cubrió con láminas de metal para tapar lo mejor posible el esqueleto del robot, tal como se observa en la siguiente figura (Ver Figuras 19)



Figura 19. Vista completa del brazo. Fuente: Elaboración propia

4.3.1.6 Prenda de Sensores

Para que el robot pueda imitar y ser controlado por los movimientos del operador primero se deben captar dichos movimientos, por lo cual se diseñó una prenda con tela, cartón y sensores que se coloca encima de la ropa la persona que

valla a operar el robot. Para la selección de los sensores más convenientes de usar se investigó y se encontraron varias alternativas, la mejor de ellas era la utilización de los llamados sensores “flexiresistivos” que son ampliamente usados en sistemas con aplicaciones de imitación de movimiento en guantes, mangas, camisas, entre otros, la desventaja es que el mercado nacional no se encontraban dichos sensores con facilidad y quienes los tenían a disposición no contaban con una cantidad suficiente y su precio era elevado. Por lo cual se ideó una solución bastante práctica y eficiente con la utilización de potenciómetros deslizantes, los cuales son usados comúnmente en consolas de sonidos y aparatos musicales. Estos potenciómetros permiten cuantificar los movimientos del hombro, codo, muñeca y dedos de la mano del operador. Para que los potenciómetros pudieran captar los movimientos se les insertó una guaya que el operador hala naturalmente con los movimientos de su cuerpo y para que regresen a su posición inicial se les colocó una goma elástica tal como se muestra en la siguiente figura (Ver Figuras 20)

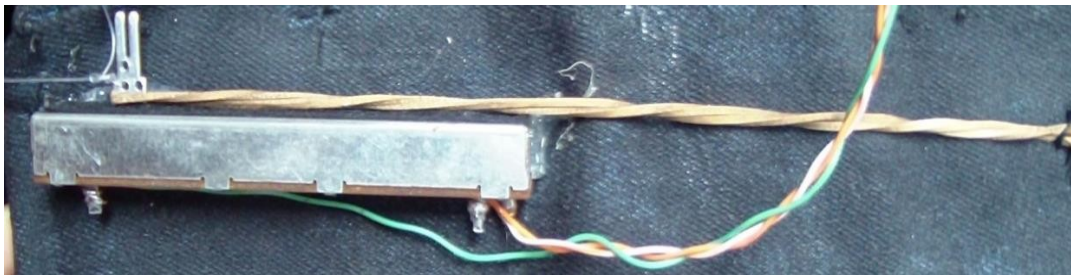


Figura 20. Potenciómetro para captar apertura del brazo. Fuente: Elaboración propia

4.3.1.7 Acoplamiento del control electrónico

El sistema electromecánico consta de un brazo robótico acoplado a un torso antropomórfico, dicho torso antropomórfico le da estabilidad al brazo cuando este realiza algún movimiento y levanta peso. Además, es en el torso donde se encuentra la mayor cantidad de motores, que controlan los movimientos de los dedos, el giro de la muñeca, la apertura lateral y elevación del brazo. De esta manera se reduce significativamente el peso total del brazo y aumenta la carga final que puede levantar.

El control Electrónico consta de partes que ocupan un gran espacio y otras muy pequeñas por ejemplo el módulo de control se montó sobre un protoboard de una regleta, en uno de los costados internos del robot. Lo cual facilitaba enormemente las pruebas realizadas al sistema a la hora de calibrarlo, ya que se tenían conectar y desconectar cables una y otra vez. El otro modulo electrónico que no ocupaba gran espacio fue el módulo de sensores, constituido por los potenciómetros. Los módulos de mayor tamaño son el de potencia debido a la gran cantidad de relés y el de alimentación debido al tamaño de la batería de carro. El uso de la batería de carro fue ventajoso al darle estabilidad al robot, ya que este al realizar un movimiento rápido o levantar peso tendía a balancearse buscando caerse, el peso de la batería sirve como contrapeso. Una vez lista la construcción mecánica del sistema y el control electrónico se procedió a ensamblarlo todo de la manera más eficiente, dando como resultado el sistema que se muestra en la siguiente figura (Ver Figura 21).

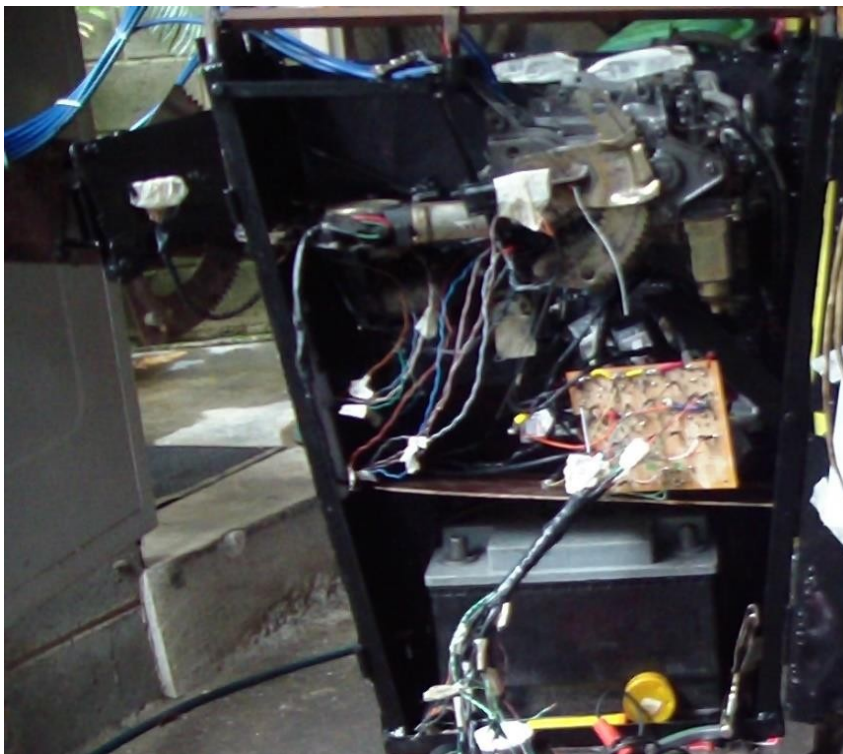


Figura 21. Vista interna del robot Fuente: Elaboración propia

4.3.1.8 Calibración

En esta sección se procederá a explicar el proceso de calibración para el movimiento de flexión y extensión del codo; este procedimiento es el mismo para los demás movimientos del brazo electromecánico.

El módulo de control se programó para que el motor mueva el potenciómetro acoplado a este (lo identificaremos como “PM”) hasta que el valor de su salida ajustable sea igual a la del potenciómetro de referencia (llamémosle “PR”), pero existe un problema, el PR toma valores que quedan fuera del rango de movimiento total del PM, tal como se muestra en los siguiente datos medidos:

PM: Voltaje mínimo (a 0°): **0.96V** y Voltaje máximo (a 95°): **2.62V**

PR: Voltaje mínimo (a 0°): **0V** y Voltaje máximo (a 95°): **5V**

Si el PR enviase al sistema de control el valor de 5V este activaría el motor del codo para buscar igualar las señales pero no lo lograría ya que el PM tiene un voltaje máximo de 2.6 debido a un tope mecánico impide que el codo llegue a esa posición, lo cual traería como consecuencia un calentamiento excesivo del motor y posiblemente se dañe, sin embargo es necesario que el PR haga su desplazamiento total para que el operador no se vea limitado hacer pequeños movimientos para controlar al robot sino que se mueve con algo holgura, por lo cual se programó el sistema de control para que interpole los valores máximos y mínimos del PR para que queden dentro del rango de movimiento del PM.

Primero se multiplican los valores medidos de ambos potenciómetros por 51 lo cual nos daría el valor de la conversión de 8 bits que realizará el PIC:

PM: Valor mínimo: **0.96(51)= 48.96** y Valor máximo: **2.62(51)= 133.62**

PR: Valor mínimo: **0(51)=0** y Valor máximo: **5(51)= 255**

Luego se busca redondear el valor mínimo del PM hacia arriba y el máximo hacia abajo para que exista un pequeño margen de tolerancia. Después se interpolan los valores del PR de la siguiente manera (Ver Figura 22):

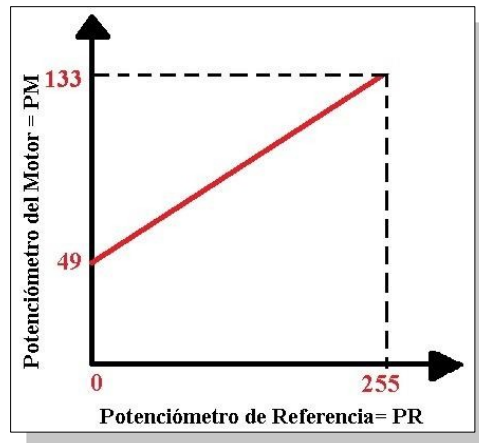


Figura 22. Gráfica PM vs PR Fuente: Elaboración propia

Buscando la ecuación de la recta se obtiene el siguiente resultado: $PM = ((28 * PR) / 85) + 49$. Esta ecuación se agrega a la programación tal como se aprecia en el anexo A, donde PR es el resultado de la conversión A/D y el PM pasa a hacer el nuevo valor de referencia.

4.3.2 Movimientos del sistema electromecánico

4.3.2.1 Flexión y extensión del codo

El desplazamiento total para el movimiento de flexión y extensión de codo del sistema electromecánico es de 95 grados. (Ver Figura 23)

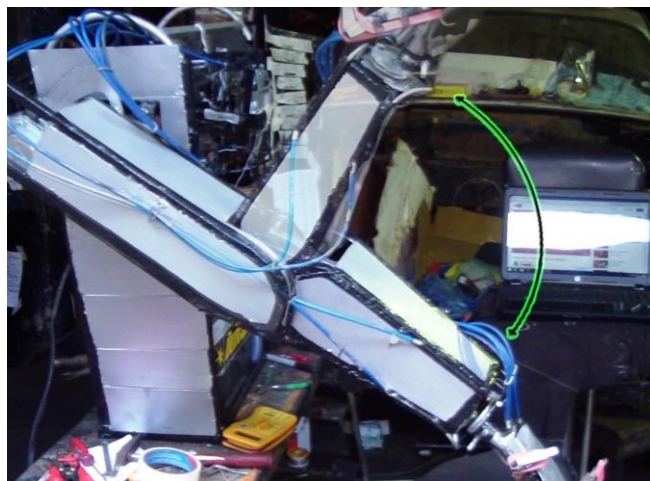


Figura 23. Desplazamiento total del codo Fuente: Elaboración propia

4.3.2.2 Flexión y extensión del hombro

El desplazamiento total para el movimiento de flexión y extensión del hombro del sistema electromecánico es de 75 grados. (Ver Figura 24)

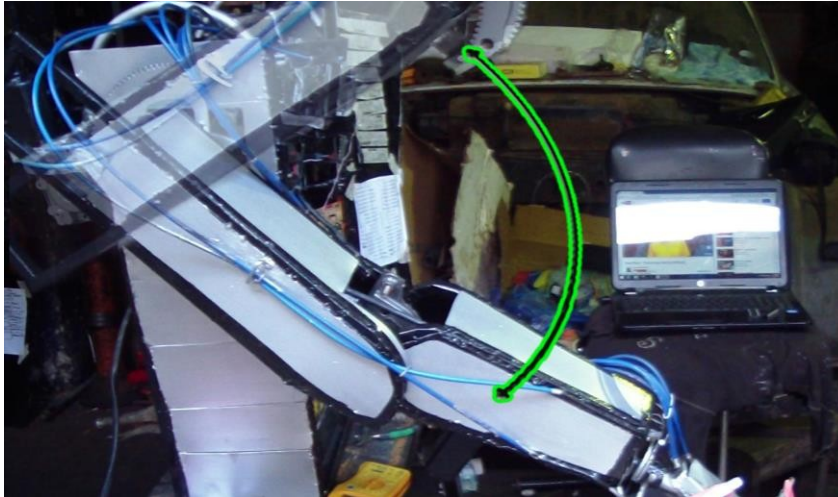


Figura 24. Desplazamiento total del brazo Fuente: Elaboración propia

4.3.2.3 Rotación del hombro

El desplazamiento total para el movimiento de rotación interna y externa del hombro del sistema electromecánico es de 70 grados. (Ver Figura 25)

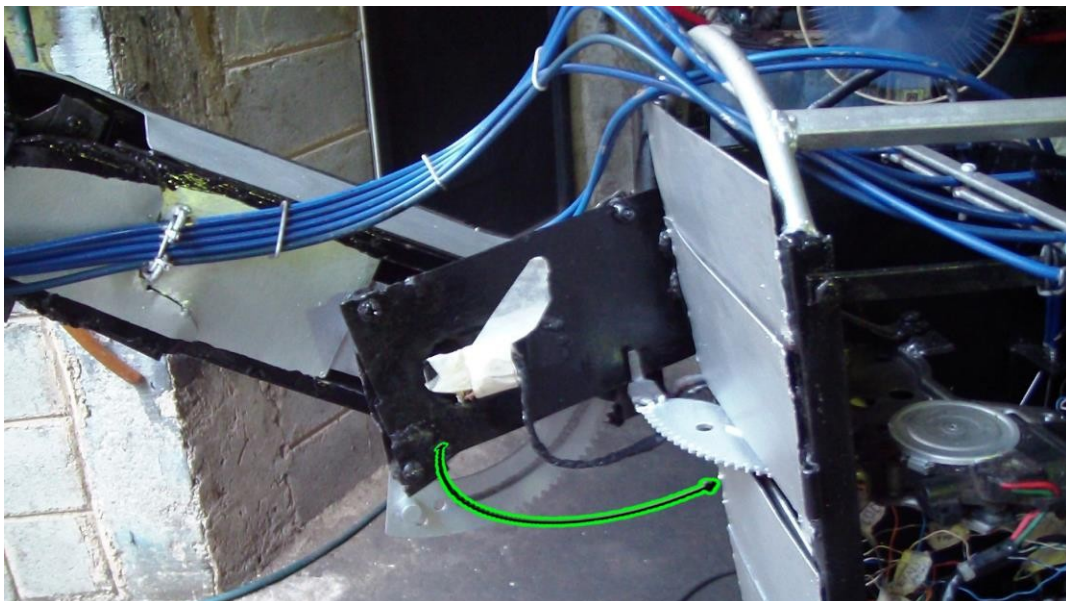


Figura 25. Rotación total del hombro Fuente: Elaboración propia

4.3.2.4 Pronación y supinación del codo

El desplazamiento total para el movimiento de Pronación y supinación del codo del sistema electromecánico es de 155 grados. (Ver Figura 26)

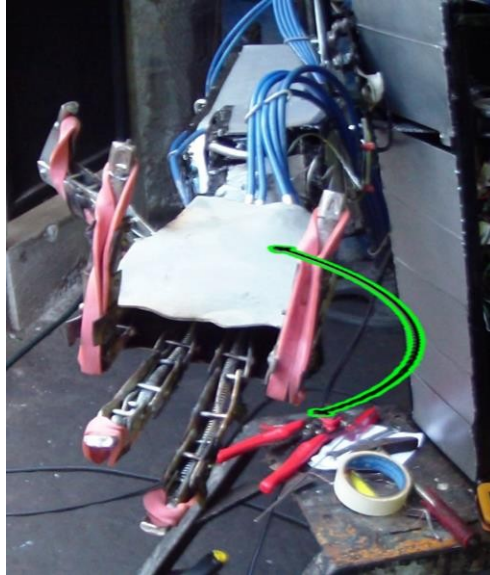


Figura 26. Desplazamiento total de la muñeca y dedos. **Fuente:** Elaboración propia

4.3.2.5 Flexión y extensión de los dedos

El sistema electromecánico consta de una mano antropomórfica con 5 dedos al igual que la mano humano (Ver Figura 26). Cada dedo se flexiona y extiende de forma independiente.

4.3.3 Límites de carga

Una vez funcionando tanto la parte electrónica y la parte mecánica de la mejor manera posible se realizaron pruebas para saber cuáles son los límites de carga que el sistema puede manipular en efecto final. Estos límites brindan una amplia gama de aplicaciones y utilidades donde se puede utilizar el brazo antropomórfico siempre y cuando se trabaje por debajo de dichos límites. Los resultados mostrados a continuación fueron logrados con la batería cargada al 100% de su capacidad. A medida que se va reduciendo la carga de la batería, menor debe ser la carga para que el sistema pueda manipularla. Para el movimiento de flexión y extensión del hombro se determinó que la carga máxima es de 5Kg (Ver Figura 27).



Figura 27. Carga de 5Kg del hombro. **Fuente:** Elaboración propia

Para el movimiento de flexión y extensión del codo la carga máxima fue de 10Kg tal como se muestra en la siguiente figura (Ver Figura 28). En el anexo F se encuentran fotos del sistema completo y de su manejo.

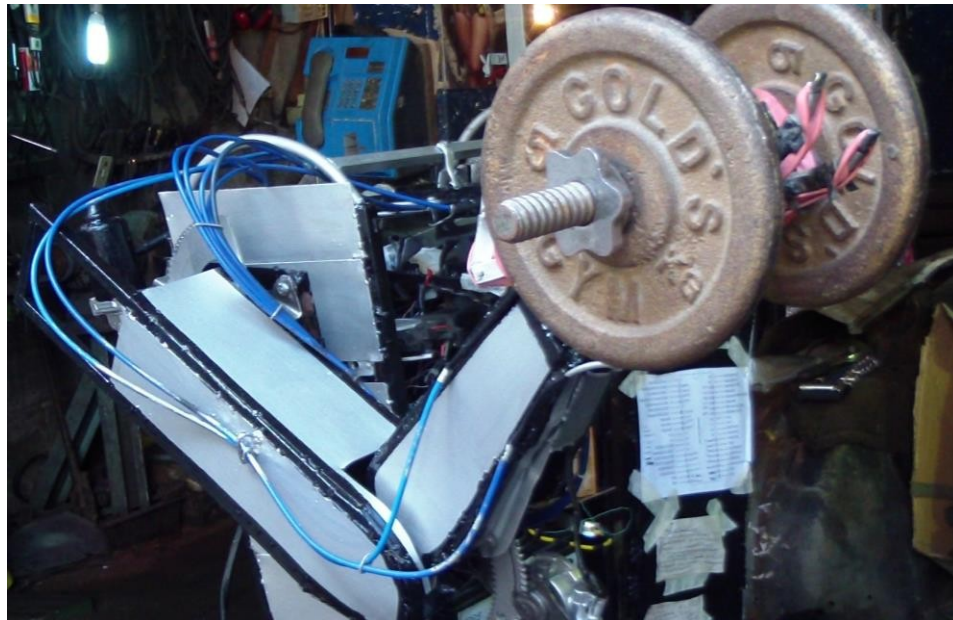


Figura 28. Carga de 10Kg del codo. **Fuente:** Elaboración propia

CONCLUSIONES

Después de la ejecución de la metodología expuesta para la realización de este proyecto, se ha demostrado el cumplimiento de los objetivos planteados. En base a los resultados obtenidos se exponen las siguientes conclusiones.

Para que un sistema electromecánico de un brazo antropomórfico imite lo mejor posible al brazo del ser humano, debe tener por lo mínimo un movimiento en cada eje corporal, al menos un movimiento en el eje transversal, uno en el eje antero-posterior y otro en el eje longitudinal.

Los prototipos de brazos electromecánicos existentes estudiados tienen un efecto final de carga que varía entre 2Kg hasta 15Kg. En su mayoría utilizan motores DC acoplados a guayas, poleas, resortes y reductores armónicos para realizar los movimientos.

La estructura mecánica del sistema electromecánico de esta investigación se construyó con materiales reciclados, con el aspecto de un brazo humano, teniendo movimientos en tres ejes corporales; Capaz de realizar los movimientos de flexión y extensión en el hombro, codo y dedos, la rotación interna y externa del hombro y adicionalmente los movimientos de supinación y pronación del codo para mover la muñeca. Todos los movimientos del sistema son realizados por motores DC acoplados a sistemas de engranajes y guayas.

Se diseñó un sistema de control electrónico gobernado por Microcontroladores PIC 16F887, los cuales aplicando un lógica de control de tres posiciones con histéresis son capaces de controlar nueve motores de manera independiente y simultánea.

Se construyó una prenda con sensores para capta los movimientos del operador, la cual funciona como interfaz de control entre el hombre y el sistema electromecánico.

El sistema electromecánico construido sirve como herramienta para la manipulación de objetos de peso moderado y sustancias peligrosas. Protegiendo así la salud e integridad física de los operadores.

RECOMENDACIONES

Para que el sistema electromecánico siga mejorando sus características se sugieren las siguientes recomendaciones, que deben ser estudiadas para su futura implementación.

- Realizar una interfaz para poder controlar el sistema por computador.
- Utilizar algún medio de comunicación inalámbrico para eliminar el cable de comunicaciones entre la prenda con sensores y el robot.
- Cambiar los potenciómetros de desplazamiento lineal por sensores resistivos flexibles para realizar la captación de movimientos del usuario.
- Colocar un medidor de carga para la batería.
- Diseñar puentes H con transistores para lograr un control dinámico de los motores.
- Realizar una comunicación entre los microcontroladores.
- Diseñar tarjetas de circuito impreso para los módulos del sistema.
- Cambiar los potenciómetros que miden la posición en los motores por otro sistema de medición de mejor calidad.
- Mejorar el sistema mecánico de retorno a la posición inicial en los dedos de la mano.
- Reducir el tamaño y peso del brazo para aumentar su carga final útil.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aristizabal, D. (2009): **Diseño de un brazo robótico para aplicaciones fitosanitarias**. Universidad politécnica de Valencia. España.
- Batz, C. (2005): **Diseño y construcción de un brazo robótico**. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Herrera, J. (2008): **Brazo Robótico Controlado por una Computadora en un Ambiente de Realidad Virtual**. Instituto politécnico nacional, México.
- Martínez A. Gloria M., Jáquez O. Sonia A., Rivera M. José y Sandoval R. Rafael. (2008): **Diseño propio y construcción de un brazo robótico de 5 gld**. Revista de ingeniería eléctrica, electrónica y computación, vol. 4 no. 1, México.
- Montoya C. Hernandez C. (2007): **Diseño de un Sistema Emulando el Movimiento Articulado de una Mano, Brazo y Antebrazo**. Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico. México.
- Sánchez, A. (2011): **Diseño y Construcción de un brazo robot articulado de seis grados de libertad**. Tec-Magazine Vol. 2 No. 1, pp. 171-184. México.

Electrónicas

Acero José, <http://g-se.com/es/biomecanica/wiki/los-movimientos-basicos-del-ser-humano> Obtenido el 20 Marzo del 2015

Antropomorfismo. *Wikipedia, La enciclopedia libre*. Fecha de consulta: Abril 8, 2015. <https://es.wikipedia.org/wiki/Antropomorfismo>

Control si/no. *Wikipedia, La enciclopedia libre*. Fecha de consulta: Abril 10, 2015. https://es.wikipedia.org/wiki/Control_S%C3%AD/No

Histéresis. *Wikipedia, La enciclopedia libre*. Fecha de consulta: Marzo 15, 2015.

<https://es.wikipedia.org/wiki/Hist%C3%A9resis>

Maquinas Eléctricas. . *Wikipedia, La enciclopedia libre*. Fecha de consulta: Mayo 22,

2015. https://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%A1quina_el%C3%A9ctrica

Morera Leonardo, <http://www.monografias.com/trabajo87/analisis-anatomico-movimientos/analisis-anatomico-movimientos.shtm> Obtenido el 20 Marzo 2015

Motor de Corriente Continua. *Wikipedia, La enciclopedia libre*. Fecha de consulta:

Marzo 15, 2015. https://es.wikipedia.org/wiki/Motor_de_corriente_continua

Motor de Imanes Permanentes. *Wikipedia, La enciclopedia libre*. Fecha de consulta:

Marzo 15, 2015. https://es.wikipedia.org/wiki/Motor_de_imanes_permanentes

Microcontrolador PIC. *Wikipedia, La enciclopedia libre*. Fecha de consulta: Abril 21,

2015. https://es.wikipedia.org/wiki/Microcontrolador_PIC

PIC 16F887. MikroElektronika, development tools, compilers, books. Fecha de

consulta: Abril 21, 2015. <http://www.mikroe.com/chapters/view/81/capitulo-3-microcontrolador-pic16f887/>

Potenciómetro. *Wikipedia, La enciclopedia libre*. Fecha de consulta: Junio 2, 2015.

<https://es.wikipedia.org/wiki/Potenci%C3%B3metro>

Puente H, <http://blog.rolandopalermo.com/2012/03/puenteh-motor-dc.html> Obtenido el 15 abril 2015.

Sistema de Control. *Wikipedia, La enciclopedia libre*. Fecha de consulta: Abril 14,

2015. https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_control

ANEXO A

Programa desarrollado en C para el microcontrolador PIC 16f887 para el manejo de 7 motores del módulo de control

```
#include <16f887.h>
#fuses xt, nowdt, nobrownout
#device ADC=8
#use delay (clock=20M)
int16 REF1=0,REF2=0,REF3=0,REF4=0,REF5=0,REF6=0,REF7=0;
int16 CAD0, CAD2, CAD4, CAD6, CAD8, CAD10, CAD12;
int RM1=0, RM2=0, RM3=0, RM4=0, RM5=0, RM6=0, RM7=0, CAD1;
int CAD3,CAD5,CAD7,CAD9,CAD11,CAD13;

void toma_adc0(void) { // lectura del canal 0 REF1
    set_adc_channel(0);
    delay_us(20);
    CAD0=read_adc();}
void toma_adc1(void) { // lectura del canal 1 RM1
    set_adc_channel(1);
    delay_us(20);
    CAD1=read_adc();}
void toma_adc2(void) { // lectura del canal 2 REF2
    set_adc_channel(2);
    delay_us(20);
    CAD2=read_adc();}
void toma_adc3(void) { // lectura del canal 3 RM2
    set_adc_channel(3);
    delay_us(20);
    CAD3=read_adc();}
void toma_adc4(void) { // lectura del canal 4 REF3
    set_adc_channel(4);
    delay_us(20);
    CAD4=read_adc();}
void toma_adc5(void) { // lectura del canal 5 RM3
    set_adc_channel(5);
    delay_us(20);
```

```

        CAD5=read_adc();}
void toma_adc6(void) { // lectura del canal 6 REF4
    set_adc_channel(6);
    delay_us(20);
    CAD6=read_adc();}
void toma_adc7(void) { // lectura del canal 7 RM4
    set_adc_channel(7);
    delay_us(20);
    CAD7=read_adc();}
void toma_adc8(void) { // lectura del canal 8 REF5
    set_adc_channel(8);
    delay_us(20);
    CAD8=read_adc();}
void toma_adc9(void) { // lectura del canal 9 RM5
    set_adc_channel(9);
    delay_us(20);
    CAD9=read_adc();}
void toma_adc10(void) { // lectura del canal 10 REF6
    set_adc_channel(10);
    delay_us(20);
    CAD10=read_adc();}
void toma_adc11(void) { // lectura del canal 11 RM6
    set_adc_channel(11);
    delay_us(20);
    CAD11=read_adc();}
void toma_adc12(void) { // lectura del canal 12 REF7
    set_adc_channel(12);
    delay_us(20);
    CAD12=read_adc();
if (CAD12<61){ // Calibracion
    CAD12=61;
    }
if(CAD12>183){
    CAD12=182;
}}
void toma_adc13(void) { // lectura del canal 13 RM7
    set_adc_channel(13);

```

```

        delay_us(20);
        CAD13=read_adc();}

void main (void){
    setup_oscillator(OSC_4MHZ);
    setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);
    setup_adc_ports(0b111111); //Definidas como Entradas Analógicas
    output_c(0);
    set_tris_a(0b11111111);
    set_tris_b(0b11111111);
    set_tris_c(0b00000000);
    set_tris_d(0b00000000);
    set_tris_e(0b111);

while(true) {
    output_low(pin_d6);
    output_low(pin_d7);
    if(input(pin_a7)==0){ //Activa el Control por imitación

//MOTOR 1 CODO
    toma_adc0(); //LEE REF
    REF1=((CAD0*28)/85)+49; // Calibración
    toma_adc1(); //LEE RM
    RM1=CAD1;
    if(RM1<=REF1&&RM1>=REF1) { //Lógica control por histéresis
        output_low(pin_c0);
        output_low(pin_c1); }
    if(RM1>REF1+5){ //El 5 establece la sensibilidad
        output_low(pin_c0);
        output_high(pin_c1);}
    if (RM1<REF1-5){
        output_high(pin_c0);
        output_low(pin_c1); }

//MOTOR 2 Flexión y extensión Brazo
    toma_adc2();
    REF2=((CAD2*91)/255)+87;

```

```

toma_adc3();
RM2=CAD3;
if(RM2<=REF2&&RM2>=REF2) {
    output_low(pin_c2);
    output_low(pin_c3); }
if(RM2>REF2+5){
    output_low(pin_c2);
    output_high(pin_c3);}
if (RM2<REF2-5){
    output_high(pin_c2);
    output_low(pin_c3); }

```

//motor 3 Rotacion Hombro

```

toma_adc4();
REF3=((CAD4*8)/51)+67;
toma_adc5();
RM3=CAD5;
if(RM3<=REF3&&RM3>=REF3) {
    output_low(pin_c4);
    output_low(pin_c5); }
if(RM3>REF3+5){
    output_low(pin_c4);
    output_high(pin_c5);}
if (RM3<REF3-5){
    output_high(pin_c4);
    output_low(pin_c5); }

```

//MOTOR 4 DEDO Indice

```

toma_adc6();
REF4=((CAD6*-67)/255)+194;
toma_adc7();
RM4=CAD7;
if(RM4<=REF4&&RM4>=REF4) {
    output_low(pin_c6);
    output_low(pin_c7); }
if(RM4>REF4+5){
    output_low(pin_c6);

```

```

        output_high(pin_c7);}
    if (RM4<REF4-5){
        output_high(pin_c6);
        output_low(pin_c7); }

```

```
//MOTOR 5 DEDO MEDIO
```

```

    toma_adc8();
    REF5=((CAD8*-69)/85)+253;
    toma_adc9();
    RM5=CAD9;
    if(RM5<=REF5&&RM5>=REF5) {
        output_low(pin_d0);
        output_low(pin_d1); }
    if(RM5>REF5+5){
        output_low(pin_d0);
        output_high(pin_d1);}
    if (RM5<REF5-5){
        output_high(pin_d0);
        output_low(pin_d1); }

```

```
//Motor 6 DEDO Anular
```

```

    toma_adc10();
    REF6=((CAD10*-79)/255)+246;
    toma_adc11();
    RM6=CAD11;
    if(RM6<=REF6&&RM6>=REF6) {
        output_low(pin_d2);
        output_low(pin_d3); }
    if(RM6>REF6+5){
        output_low(pin_d2);
        output_high(pin_d3);}
    if (RM6<REF6-5){
        output_high(pin_d2);
        output_low(pin_d3); }

```

```
//MOTOR 7 DEDO Pulgar
```

```

    toma_adc12();

```

```
REF7=((CAD12*-81)/122)+(403/2);
toma_adc13();
RM7=CAD13;
if(RM7<=REF7&&RM7>=REF7) {
    output_low(pin_d4);
    output_low(pin_d5); }
if(RM7>REF7+5){
    output_low(pin_d4);
    output_high(pin_d5);}
if (RM7<REF7-5){
    output_high(pin_d4);
    output_low(pin_d5); }
    }
}
```

ANEXO B

Programa desarrollado en C para el microcontrolador PIC 16f887 para el manejo de 2 motores del módulo de control.

```
#include <16f887.h>
#fuses xt,nowdt,nobrownout
#device ADC=8
#use delay (clock=4M)
int16 REF8=0,REF9=0, CAD14, CAD16;
int RM8=0, RM9=0;
int CAD15,CAD17;

void toma_adc14(void) { // lectura del canal 0 REF8
    set_adc_channel(0);
    delay_us(20);
    CAD14=read_adc();
    if (CAD14<30){
        CAD14=31;
    }
    if (CAD14>199){
        CAD14=199;
    }
}

void toma_adc15(void) { // lectura del canal 1 RM8
    set_adc_channel(1);
    delay_us(20);
    CAD15=read_adc();}

void toma_adc16(void) { // lectura del canal 2 REF9
    set_adc_channel(2);
    delay_us(20);
    CAD16=read_adc();}

void toma_adc17(void) { // lectura del canal 3 RM9
    set_adc_channel(3);
    delay_us(20);
    CAD17=read_adc();}

void main (void){
    setup_oscillator(OSC_4MHZ);
    setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL); // configura el conversor
    setup_adc_ports(0b11); //entrada 0,1,2 y 3 Analógicas
```

```

    set_tris_a(0b11111111);
    set_tris_b(0b00000001);
    set_tris_c(0b000);
    set_tris_d(00);
    output_c(0);
while(true) {
    output_low(pin_b1);
    output_low(pin_b2);
    output_low(pin_b3);
    output_low(pin_4);
    output_low(pin_b5);
    output_low(pin_b6);
    output_low(pin_b7);
    output_low(pin_c0);
    if(input(pin_b0)==0){ //

//motor 8 Muñeca
    toma_adc14();          //LEE POT DE REF
    REF8=((CAD14*85)+4337)/84; //Calibración
    toma_adc15();          //LEE POT DE RM
    RM8=CAD15;
    if(RM8<=REF8&&RM8>=REF8) {
        output_low(pin_d0);
        output_low(pin_d1); }
    if(RM8>REF8+11){
        output_low(pin_d0);
        output_high(pin_d1);}
    if (RM8<REF8-11){          // El 11 establece la sensibilidad
        output_high(pin_d0);
        output_low(pin_d1); }

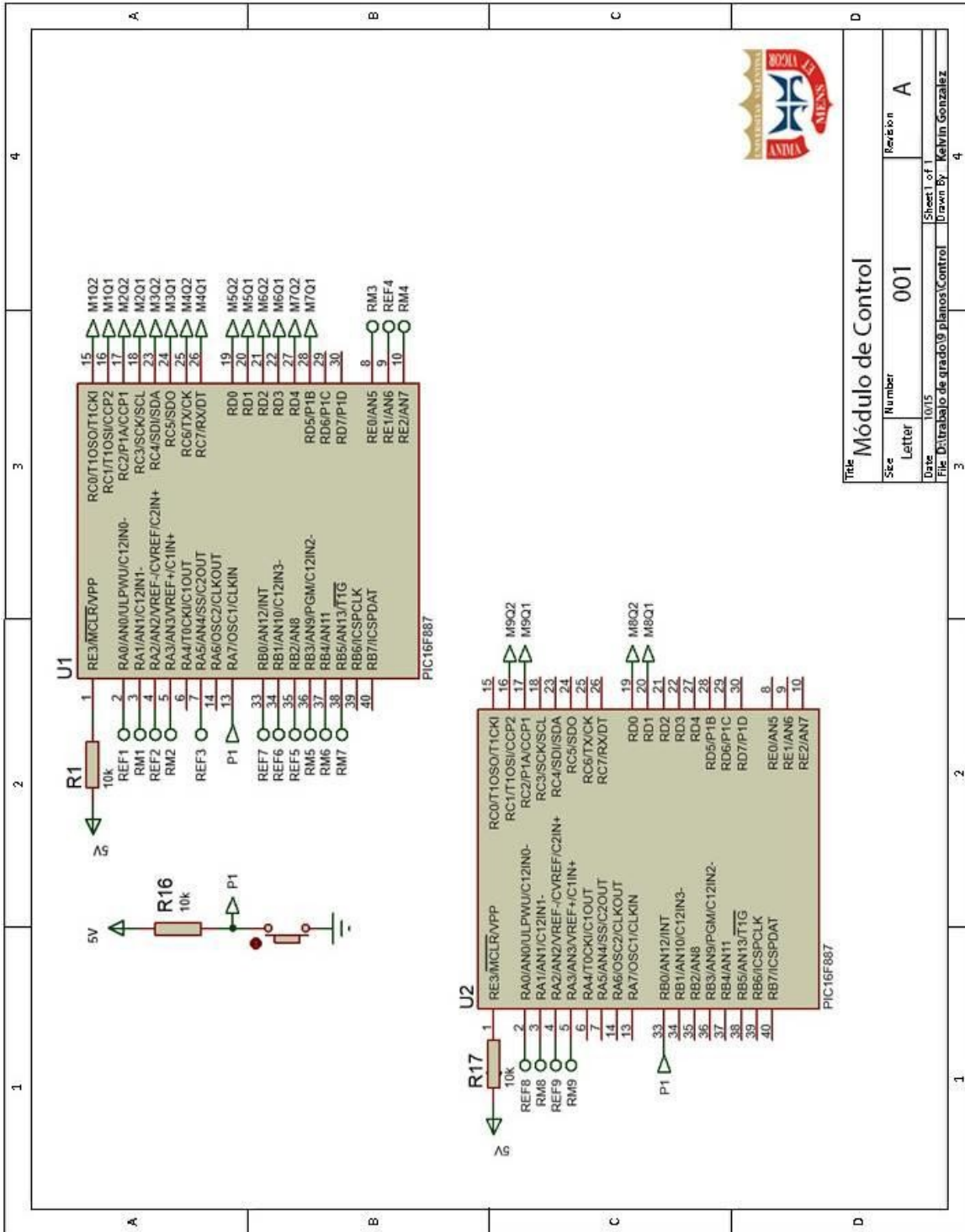
//MOTOR 9 DEDO Meñique
    toma_adc16();
    REF9=((CAD16*97)/255)+140;
    toma_adc17();
    RM9=CAD17;
    if(RM9<=REF9&&RM9>=REF9) {
        output_low(pin_c1);
        output_low(pin_c2); }
    if(RM9>REF9+11){

```

```
        output_low(pin_c1);
        output_high(pin_c2);}
if (RM9<REF9-11){
    output_high(pin_c1);
    output_low(pin_c2); }
    }
}
```

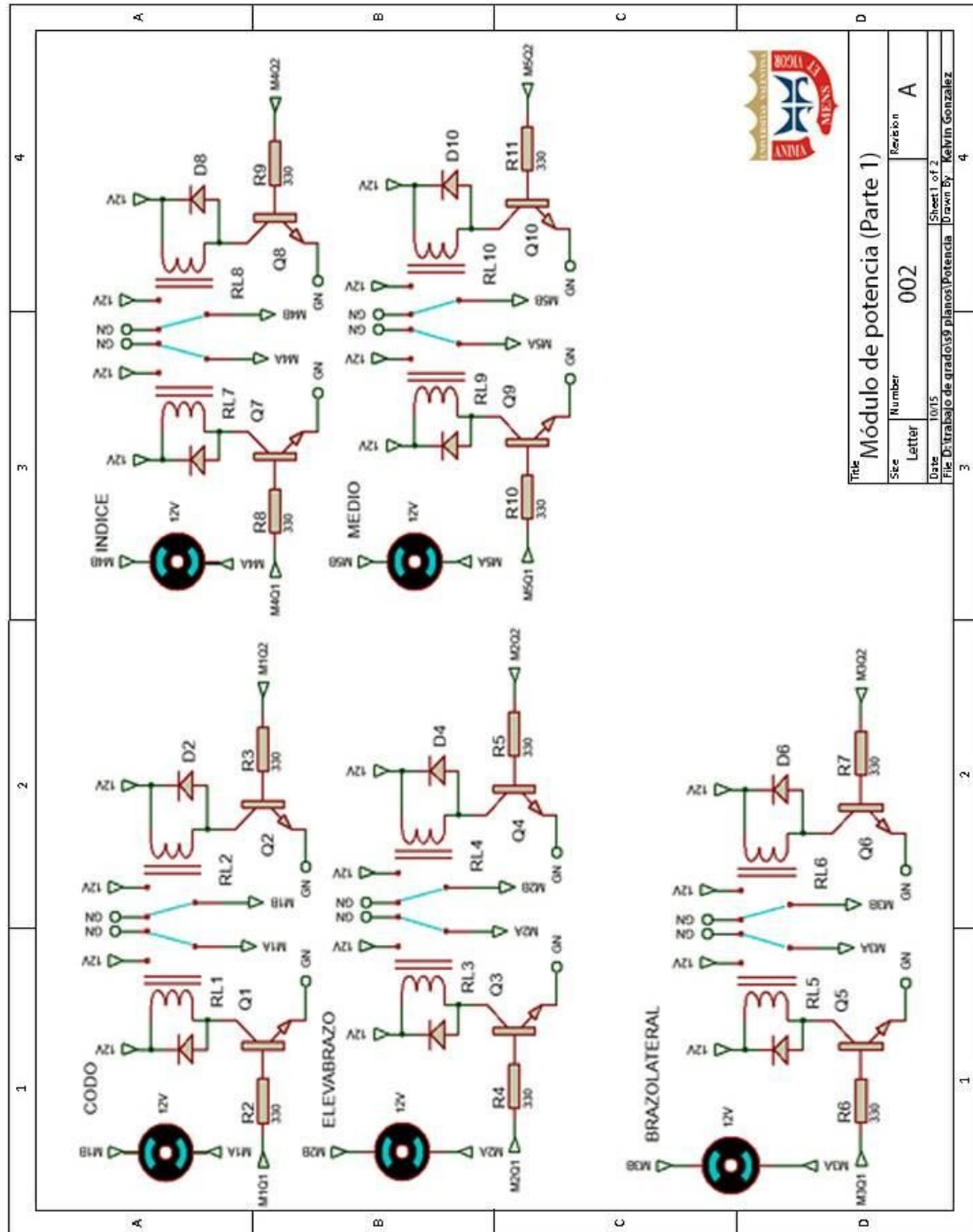
ANEXO C

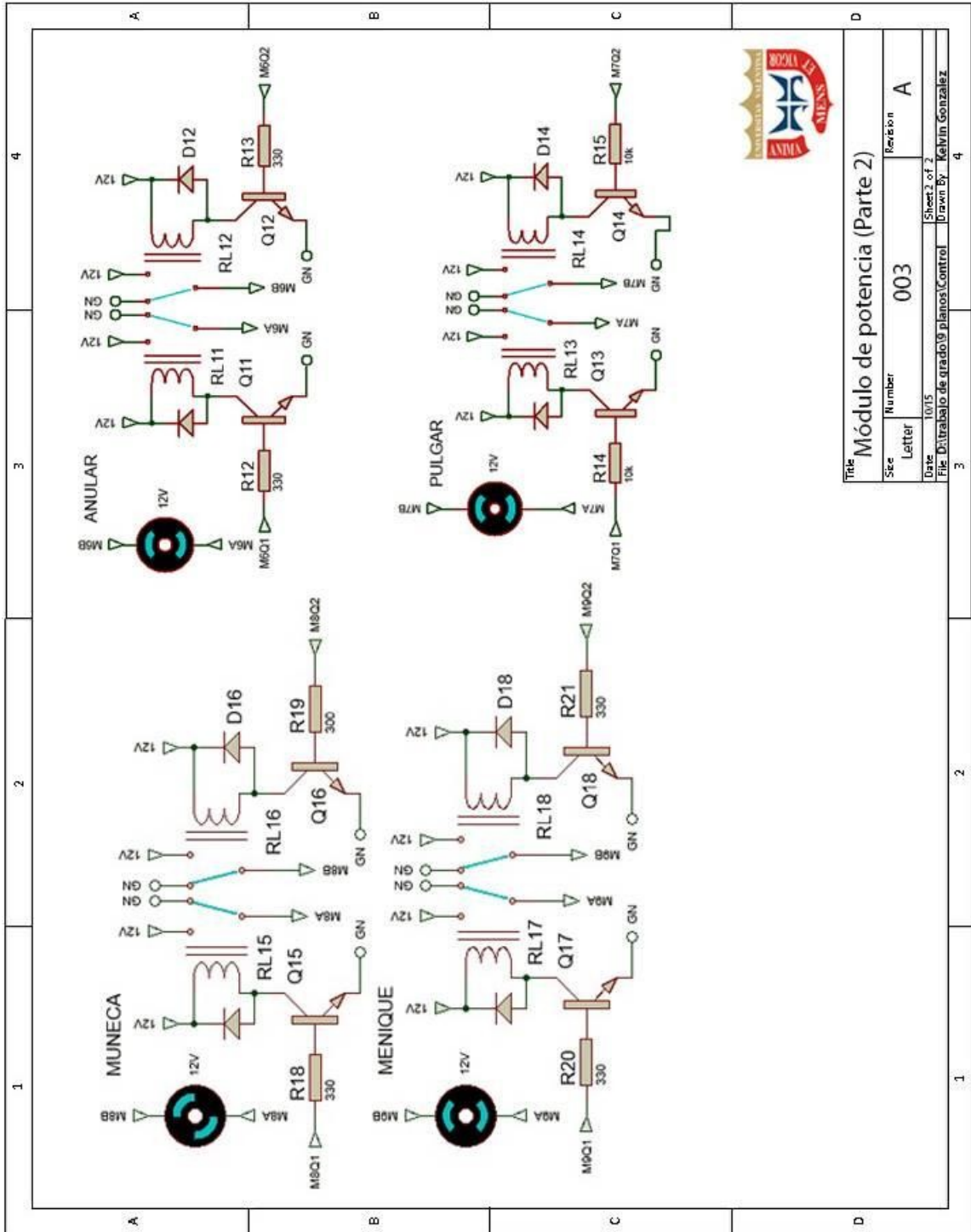
Diagrama esquemático del módulo de control



ANEXO D

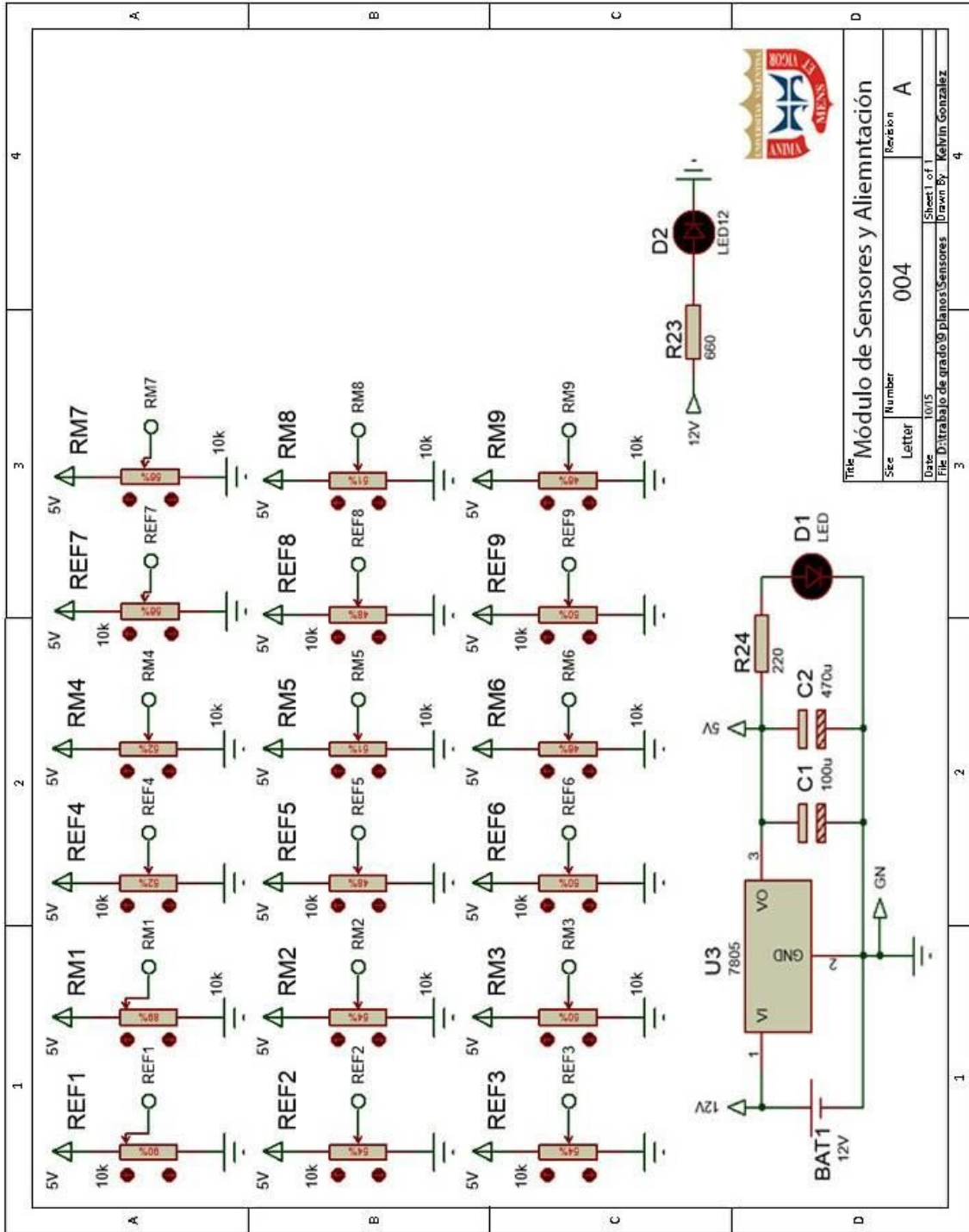
Diagramas esquemáticos del módulo de Potencia





ANEXO E

Diagrama esquemático de los módulos de sensores y alimentación



ANEXO F

Fotografías del prototipo ensamblado y su control



Figura F1. Sistema Electromecánico imitador de movimientos



Figura F2. Prenda con sensores que se coloca el operador encima de su ropa



Figura F3. Manejo del robot



Figura F4. Control del robot