

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS**

**CARRERA:**  
**INGENIERIA EN ELECTRÓNICA**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA CON  
MENCION EN SISTEMAS COMPUTACIONALES**

**TEMA:**  
**MANO ROBÓTICA INALÁMBRICA**

**AUTOR:**  
**FERNANDO ALBERTO ALVARADO CLAVIJO**

**DIRECTOR:**  
**ING. LUIS CÓRDOVA RIVADENEIRA**

**GUAYAQUIL, OCTUBRE 2011**

## **DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD**

“Los conceptos desarrollados, análisis realizados y las conclusiones del presente trabajo, son de exclusiva responsabilidad del autor FERNANDO ALBERTO ALVARADO CLAVIJO; y el patrimonio intelectual de este trabajo a la UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE GUAYAQUIL”

Guayaquil, Febrero 20 del 2010.

---

**Fernando Alberto Alvarado Clavijo**  
**C.I. 0921972915**

AÑO	TITULO	ALUMNO/ S	DIRECTOR DE TESIS	TEMA TESIS
<b>26 de Octubre de 2011</b>	INGENIERO EN ELECTRÓNICA CON MENCIÓN EN SISTEMAS COMPUTACIONALES	FERNANDO ALBERTO ALVARADO CLAVIJO	ING. LUIS CÓRDOVA RIVADENEIRA	“MANO ROBÓTICA INALÁMBRICA”

## TEXTO ABSTRAC

MANO ROBÓTICA INALÁMBRICA, tiene como objetivo general, diseñar y construir una mano robótica que será capaz de emular los movimientos básicos de una mano humana, controlada por un guante sensorizado. El guante sensorizado es un elemento provisto con sensores fotoeléctricos, los cuales determinan la posición de cada dedo de una mano diestra. La mano robótica fue construida con un material de acrílico que en su interior consta de los micros servomotores que generan los movimientos de los dedos de la mano robótica.

Para controlar las señales de entrada y salida tanto de la mano robótica como del guante sensorizado se empleo un microcontrolador PIC16F877A el cual se lo programa en la plataforma de MICROCODE y para establecer el envío y recepción de datos se utilizo el dispositivo inalámbrico XBEE el cual utiliza la comunicación serial (RX y TX).

Este proyecto si lo sabemos usar bien podemos encontrarle un sin numero de aplicaciones entre las cuales tenemos: Control de procesos industriales, elaboración de productos y también lo podemos emplear en la medicina.

Nos da muchas facilidades ya que nosotros operamos a la mano robótica y una gran ventaja es que puede ser controlada a distancia, ahorramos energía, mayor control y maximizamos producción.

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar quiero darle gracias a DIOS por haberme iluminado y bendecido a lo largo de mi carrera estudiantil, a mis PADRES por estar conmigo en todo momento y apoyarme en todo y a mis familiares y amigos que me ayudaron a llevar a cabo la realización de este trabajo y muy especialmente al Ing. Luis Córdova Rivadeneira Director de mi Tesis, por su invaluable aporte.

# **DEDICATORIA**

Esta Tesis se la dedico:

A mis PADRES  
A mi HERMANA  
A mis TIAS  
A mis ABUELOS

Y en especial a mi abuelo ALBERTO ALVARADO INFANTE y  
a mi primo CARLOS FARIAS

# ÍNDICE

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	8
<b>GENERALIDADES SOBRE LA MANO HUMANA</b> .....	8
1.1 LA MANO HUMANA Y SUS MOVIMIENTOS .....	8
1.1.1 PARTES DE LA MANO HUMANA .....	9
1.1.1.1 CARPO .....	9
1.1.1.2 METACARPO .....	9
1.1.1.3 DEDOS .....	10
1.1.2 MOVIMIENTOS .....	12
1.2 LA ROBÓTICA .....	13
1.3 ROBÓTICA MÉDICA .....	14
1.3.1 ROBOTS DE REHABILITACIÓN .....	14
1.3.1.1 ROBOTS ASISTENTES .....	14
1.3.1.2 PRÓTESIS .....	15
1.3.1.3 ORTOSIS .....	16
1.3.2 ROBOTS DE REHABILITACIÓN ASISTIDA .....	17
1.3.3 ROBOTS QUIRÚRGICOS .....	18
1.3.3.1 ROBOTS QUIRÚRGICOS CLASE I .....	19
1.3.3.2 ROBOTS QUIRÚRGICOS CLASE II .....	20
1.3.3.3 ROBOTS QUIRÚRGICOS CLASE III .....	20
1.3.4 ROBOTS DE ENTRENAMIENTO MÉDICO .....	20
1.4 MANOS ROBÓTICAS .....	20
1.4.1 MANO BELGRADE/USC (1969) .....	21
1.4.2 MANO STANDFORD/JPL (SALISBURY) (1981) .....	22
1.4.3 MANO UTAH/MIT DEXTROUS (1982) .....	22
1.4.4 MANO ROBOT MATSUOKA (1995) .....	23
1.4.5 MANO ROBONAUT (1999) .....	24
1.4.6 MANO DLR (2000) .....	24
1.5 GUANTES SENSORIZADOS .....	25
1.5.1 GUANTE CYBERGLOVE .....	26
1.5.2 GUANTE CYBERTOUCH .....	26
1.5.3 GUANTE CYBERGRASP .....	27
1.5.4 GUANTE CYBERFORCE .....	27
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	29
<b>DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA MANO ROBÓTICA Y</b> .....	29
<b>GUANTE SENSORIZADO</b> .....	29
2.1 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL GUANTE SENSORIZADO .....	29
2.1.1 ARQUITECTURA DEL SISTEMA .....	29
2.1.2 GUANTE .....	30
2.1.3 DISEÑO DEL DISPOSITIVO FOTOELÉCTRICO SENSOR .....	30
2.1.3.1 EMISOR-RECEPTOR DE LUZ .....	30
2.1.3.2 DUCTO ELÁSTICO .....	31
2.1.3.3 CONSTRUCCIÓN .....	31
2.1.4 UBICACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS SENSORES EN EL GUANTE ..	31
2.1.5 FUENTE DE ALIMENTACIÓN DEL GUANTE SENSORIZADO .....	32
2.1.6 ACONDICIONAMIENTO DE LOS DISPOSITIVOS SENSORES .....	33
2.1.7 SELECCIÓN DE DATOS .....	37
2.1.8 MICROCONTROLADOR PIC 16F877A .....	38

2.1.9 INTERFAZ INALÁMBRICA XBEE .....	47
2.1.10 CIRCUITO IMPLEMENTADO EN EL GUANTE SENSORIZADO .....	51
2.2 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA MANO ROBÓTICA .....	56
2.2.1 ARQUITECTURA DEL SISTEMA .....	56
2.2.2 ESTRUCTURA MECÁNICA.....	57
2.2.3 MICRO SERVOMOTORES .....	62
2.2.4 FUENTES DE ALIMENTACIÓN DE LA MANO ROBÓTICA .....	66
2.2.4.1 FUENTE DE LA ETAPA DE CONTROL .....	66
2.2.4.2 FUENTE DE LA ETAPA DE POTENCIA .....	66
2.2.5 INTERFAZ XBEE .....	67
2.2.6 MICROCONTROLADOR PIC16F877A .....	68
2.2.7 CIRCUITO IMPLEMENTADO EN LA MANO ROBÓTICA.....	69
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	74
<b>DESARROLLO DEL PROGRAMA DE CONTROL</b> .....	74
3.1 DISEÑO DEL PROGRAMA DEL PIC16F876A (PIC1) UTILIZADO EN EL GUANTE SENSORIZADO .....	74
3.1.1 PROGRAMA PRINCIPAL DEL PIC1 .....	74
3.2 DISEÑO DEL PROGRAMA DEL PIC 167F87A (PIC2) PARA EL CONTROL DE LA MANO ROBOTICA .....	77
3.2.1 PROGRAMA PRINCIPAL DEL PIC2 .....	77
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	80
<b>PRUEBAS Y RESULTADOS</b> .....	80
4.1 POSICIÓN INICIAL.....	80
4.2 COMUNICACIÓN GUANTE - MANO ROBÓTICA .....	81
4.3 RESPUESTA DE LOS DEDOS AL GUANTE SENSORIZADO .....	82
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	88
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	88
5.1 CONCLUSIONES.....	88
5.2 RECOMENDACIONES .....	88
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	89
<b>ANEXOS</b>	
ANEXO A ESQUEMÁTICOS Y CIRCUITOS IMPRESOS	
ANEXO B HOJA DE DATOS DEL XBEE	
ANEXO C HOJA DE DATOS DEL CIRCUITO INTEGRADO CD40106BE	
ANEXO D HOJA DE DATOS DEL SENSOR SG-BC	

# **CAPÍTULO 1**

## **GENERALIDADES SOBRE LA MANO HUMANA**

El presente proyecto de titulación tiene como objetivo general, diseñar y construir una mano mecánica capaz de emular el movimiento de una mano humana, controlada por un guante sensorizado y por un computador.

En este capítulo se presentan los conceptos generales que intervienen en el desarrollo del proyecto, partiendo desde el estudio de la mano humana y sus destrezas, hacia los conceptos relacionados con la robótica, manos robóticas y guantes con sensores existentes.

### **1.1 LA MANO HUMANA Y SUS MOVIMIENTOS.**

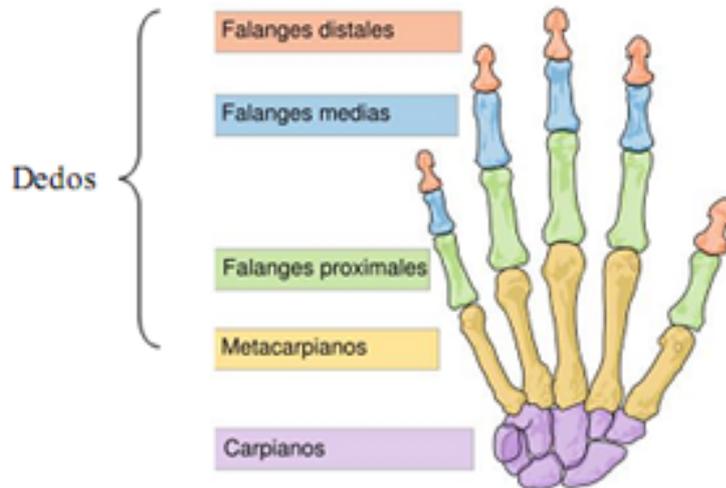
El estudio de la anatomía de la mano humana es muy amplio y complejo, debido a la cantidad de huesos que intervienen en ella. El presente proyecto requiere conocer los aspectos básicos de la estructura anatómica de la mano, así como sus movimientos. Por ello, a continuación se describen brevemente los mismos.

Las manos son dos importantes partes del cuerpo humano, prensiles y con cinco dedos cada una, localizadas en los extremos de los antebrazos. Abarcan desde la muñeca hasta la yema de los dedos en el ser humano. Son el principal órgano para la manipulación física del medio. La punta de los dedos contiene algunas de las zonas con más terminaciones nerviosas del cuerpo humano, son la principal fuente de información táctil sobre el entorno, por eso el sentido del tacto se asocia inmediatamente con las manos.

Como en los otros órganos pares (ojos, oídos, piernas), cada mano, está controlada por el hemisferio cerebral del lado contrario del cuerpo. Siempre hay un hemisferio cerebral dominante sobre el otro, el cual se encargará de actividades como la escritura manual, el manejo de los utensilios al alimentarse, entre otras. De esta forma, el individuo podrá ser zurdo, si la predominancia es de la mano izquierda (sinistra) o diestro si es de la derecha (diestra); este es un rasgo personal de cada uno.

### 1.1.1 PARTES DE LA MANO HUMANA

La mano humana se divide en tres regiones secundarias: carpo, metacarpo y dedos. En la Figura 1.1 se ilustra una gráfica con las partes de la mano humana.



Fuente: Scheme human hand bones-en.svg 12/03/2010

**Figura 1.1** Partes de la mano

#### 1.1.1.1 CARPO

Lo forman 8 huesos cortos dispuestos en dos filas superpuestas entre sí. De afuera hacia adentro, la primera fila está constituida por los huesos escafoides, semilunar, piramidal y pisiforme, y la fila inferior, por los huesos: trapecio, trapezoide, hueso grande y hueso ganchoso.

El carpo se articula por arriba directamente con el radio e indirectamente con el cubito y por abajo, con los cinco metacarpianos.

#### 1.1.1.2 METACARPO

Parte de la mano comprendida entre el carpo y los dedos, lo forman los huesos metacarpianos que presentan un cuerpo y dos extremidades. De afuera hacia adentro se numeran del 1 al 5 y tienen la forma de huesos largos que se articulan próximamente con el carpo y distalmente con las primeras falanges.

### 1.1.1.3 DEDOS

Son cada una de las prolongaciones que se encuentran en la mano. El nombre de los cinco dedos de fuera a dentro, con la palma hacia arriba son los siguientes: Pulgar, también conocido como “dedo gordo”; Índice, Corazón también conocido como "dedo medio", "mayor" o "cordial"; Anular y Meñique también conocido como “dedo pequeño”.

El esqueleto de los dedos está constituido por las falanges, que pueden ser denominadas de las tres maneras: proximal, media y distal; primera, segunda y tercera; falange, falangina y falangeta. Esto se puede observar en la Figura 1.2.



Fuente: Resurrection Health Care 12/03/2010

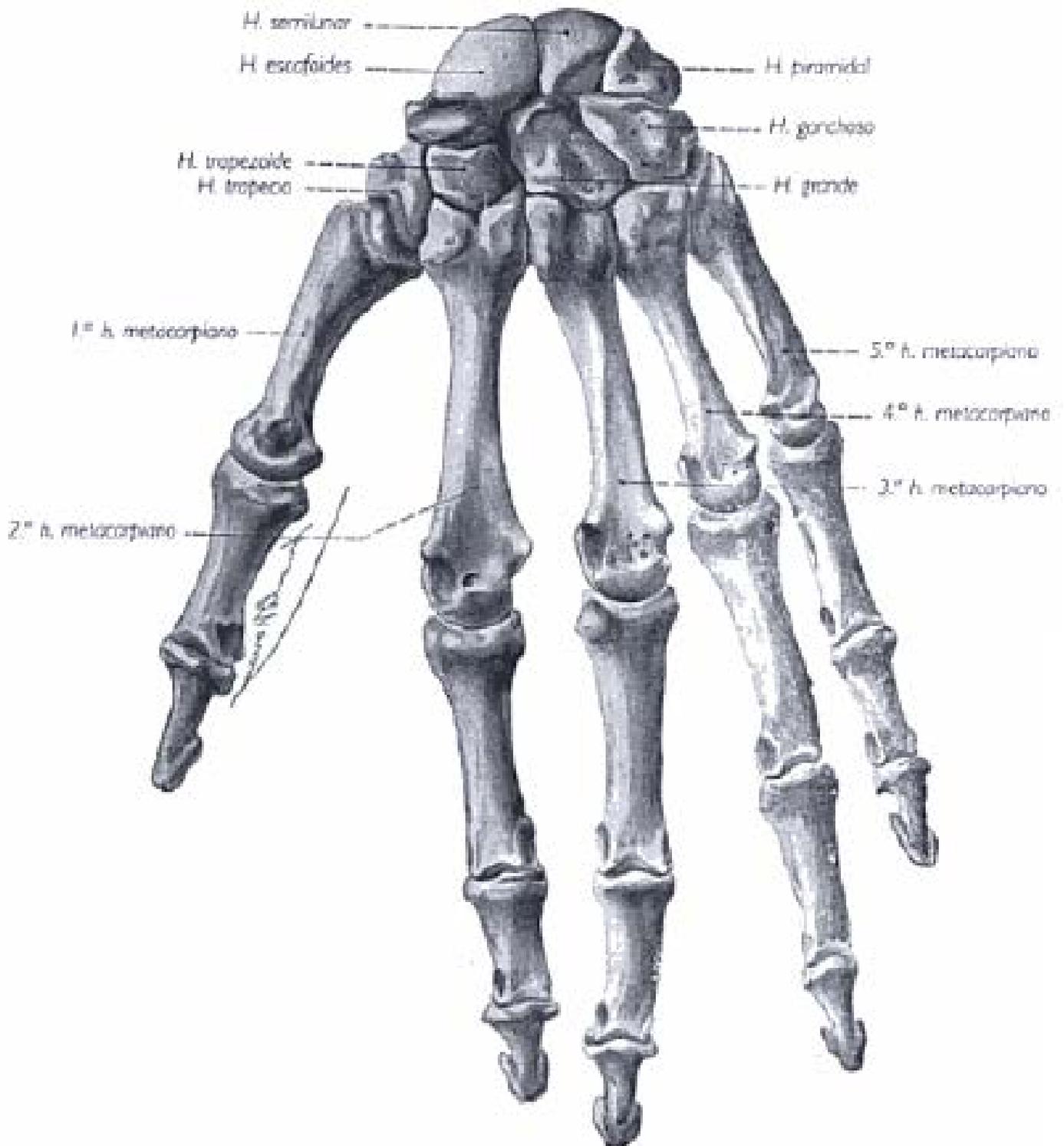
**Figura 1.2** Anatomía del dedo humano

Existen tres falanges en los cuatro últimos dedos, y en el primer dedo o pulgar está ausente la falange media y solo presenta la proximal y distal.

Estas falanges se unen mediante articulaciones. El dedo humano está compuesto por tres articulaciones principales:

1. Articulación metacarpofalangeal (MCP): Que une la falange metacarpiana y la proximal de un dedo o pulgar.
2. Articulación interfalángica proximal (PIP): localizada entre las falanges media y proximal del dedo.
3. Articulación interfalángica distal (DIP): ubicada entre las falanges media y distal del dedo.

En la Figura 1.3 se puede observar con más detalle cada uno de los huesos que conforman la mano humana.



Fuente: ROUVIERE Henry, Anatomía Humana 12/03/2010

**Figura 1.3** Huesos de la mano humana

### 1.1.2 MOVIMIENTOS

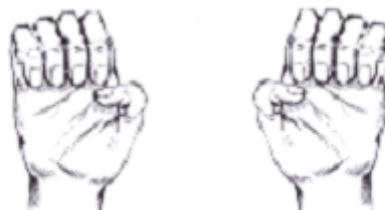
En cuanto a los movimientos de la mano, la articulación de la muñeca tiene dos grados de libertad y soporta la totalidad de cualquier esfuerzo que se realiza con la mano. Los dedos también tienen dos grados de libertad en su articulación con la palma, llamada también articulación metacarpofalangeal, ya que articula la falange proximal con el hueso metacarpiano. Un grado de libertad corresponde a los movimientos de abducción y adducción, movimientos laterales que permiten abrir los dedos, este movimiento es muy limitado. El otro grado de libertad corresponde al movimiento de flexión el cual es muy amplio.

Las Figuras 1.4 y 1.5 ilustran los movimientos de los dedos.



Fuente: PALASTANGA Niguel, Anatomía y movimiento humano 12/03/2010

**Figura 1.4** Movimientos de abducción de los dedos



Fuente: PALASTANGA Niguel, Anatomía y movimiento humano 12/03/2010

**Figura 1.5** Movimiento de flexión de los dedos

El pulgar tiene una gran movilidad la cual es clave para el agarre de los objetos y, los otros cuatro dedos se mueven de manera limitada en sentido lateral aunque su capacidad de flexión, para abrir y cerrar la mano es muy buena.

Esta capacidad de flexionar los dedos es muy importante para la habilidad de atrapar objetos y mantenerlos con seguridad. Las técnicas de agarre fueron clasificadas por Schlesinger en seis categorías distintas: agarre cilíndrico, de punta, de gancho, de palma, esférico y de lado, como es mostrado en la Figura 1.6.



Fuente: TAYLOR G.L., The anatomy and mechanics of the human hand 12/03/2010

**Figura 1.6** Configuraciones de agarre de la mano humana

## 1.2 LA ROBÓTICA

Se define como robótica a la ciencia encaminada a diseñar y construir aparatos y sistemas capaces de realizar tareas propias de un ser humano.

El término robótica se le atribuye a Isaac Asimov, así mismo este término procede de la palabra "robot" cuya definición adoptada por el Instituto Norteamericano de Robótica aceptada internacionalmente es: "Manipulador multifuncional y reprogramable, diseñado para mover materiales, piezas, herramientas o dispositivos especiales, mediante movimientos programados y variables que permiten llevar a cabo diversas tareas".

La palabra "robot" aparece por primera vez en 1921 en la obra teatral R.U.R (Rossum's Universal Robots) del novelista checo Karel Capek en cuyo idioma la palabra "robota" significa fuerza de trabajo o servidumbre. Desde entonces se ha empleado la palabra robot para referirse a una máquina que realiza trabajos para ayudar a las personas o efectúa tareas difíciles o desagradables para los humanos.

En el término robot confluyen las imágenes de máquinas para la realización de trabajos productivos y de imitación de movimientos y comportamientos de seres vivos. Los robots existentes en la actualidad son obras de ingeniería y, como tales, son diseñados para producir bienes y servicios o explotar recursos naturales.

En la actualidad, los avances tecnológicos y científicos no han permitido todavía construir un robot realmente inteligente, aunque existen esperanzas de que esto sea posible algún día. Hoy por hoy, una de las finalidades de la construcción de robots es su intervención en los procesos de fabricación.

Estos robots, que no tienen forma humana en absoluto, son los encargados de realizar trabajos repetitivos en las cadenas de proceso de fabricación. En una fábrica sin robots, los trabajos antes mencionados los realizan técnicos especialistas en cadenas de producción. Con los robots, el técnico puede librarse de la rutina y el riesgo que sus labores acarrearán, con lo que la empresa gana en rapidez, calidad, precisión y seguridad del personal.

Como medida de protección para los seres humanos Isaac Asimov planteó los tres principios o leyes de la robótica. Estas leyes son:

1. Un robot no debe dañar a un ser humano o, por su inacción, dejar que un ser humano sufra daño.
2. Un robot debe obedecer las órdenes que le son dadas por un ser humano, excepto si estas órdenes entran en conflicto con la Primera Ley.
3. Un robot debe proteger su propia existencia, hasta donde esta protección no entre en conflicto con la Primera o la Segunda Ley.

Estas leyes surgen por temor que el ser humano desarrollaría frente a unas máquinas que hipotéticamente pudieran rebelarse y alzarse contra sus creadores. En teoría, estas leyes serían programadas en el robot y de intentar siquiera desobedecer una de las leyes, el cerebro del robot resultaría dañado irreversiblemente y el robot dejaría de funcionar.

## 1.3 ROBÓTICA MÉDICA

Un campo que abarca la robótica es aquel que está destinado a la medicina, ya sea para reemplazar miembros perdidos, realizar delicados procedimientos quirúrgicos, dar terapias de neurorehabilitación para pacientes golpeados, ayudar a los niños con discapacidades en el aprendizaje, realizar un creciente número de tareas relacionadas con la salud.

De acuerdo al tipo de actividad que va a desempeñar el robot se puede dividirlos en: robots de rehabilitación, robots de rehabilitación asistida, robots quirúrgicos y también robots destinados al entrenamiento médico. A continuación se dará una breve explicación de cada uno de ellos.

### 1.3.1 ROBOTS DE REHABILITACIÓN

La más extensa utilización de la robótica para fines médicos ha sido en la rehabilitación, que incluye tradicionalmente robots asistentes, prótesis, ortosis y robots terapéuticos.

#### 1.3.1.1 ROBOTS ASISTENTES

Actualmente están disponibles en el mercado un buen número de sistemas robóticos para asistencia a individuos con severas incapacidades. El más ampliamente usado es el Handy 1, el cual fue desarrollado por Topping en 1987.

Este dispositivo da habilidad a las personas que tienen poca o ninguna movilidad manual para completar por si mismos tareas diarias como comer, beber, lavar, afeitarse y lavarse los dientes. La Figura 1.7 muestra el robot Handy 1.



Fuente: CASALS Alicia, Robótica y personas con discapacidad 12/03/2010

**Figura 1.7** Robot Handy 1

También se tiene el robot MANUS que es una silla de ruedas, en la cual, se monta un manipulador de propósito general, con seis GDL (Grados de Libertad y dos dedos de agarre. También fue diseñada para asistir a personas con discapacidades en tareas completas de la vida diaria. Más de 100 personas han usado MANUS en sus hogares en Holanda, Francia y otros países. La Figura 1.8 muestra una ilustración de este robot.



Fuente: CASALS Alicia, Robótica y personas con discapacidad 12/03/2010

**Figura 1.8** Robot MANUS

El Raptor es una silla de rueda robótica con 4 DOF que permite a personas con discapacidades alimentarse ellos mismos y alcanzar objetos en el piso, sobre una mesa o sobre sus cabezas.

### 1.3.1.2 PRÓTESIS

Una prótesis es un dispositivo mecánico que sustituye una parte perdida del cuerpo humano, estos son usualmente usados para proveer movilidad o habilidades de manipulación cuando un miembro es perdido. La Utah Arm es un computador controlado, una prótesis sobre el codo diseñada en la universidad de Utah en 1980, Hoy en día es utilizada comercialmente y es controlada usando realimentación con sensores de electromiografía que miden la respuesta de un músculo a la estimulación nerviosa. La misma empresa ha fabricado la prótesis de una mano con dos dedos que es controlada usando señales mioeléctricas (prótesis que sustituye a un músculo y tiene un funcionamiento eléctrico) del miembro remanente. Muchas industrias están diseñando actualmente manos robóticas con movimientos muy similares a la de humanos. Esta prótesis se la puede observar en la Figura 1.9.



Fuente: Revista electrónica "In Motion" 12/03/2010

**Figura 1.9** Prótesis Utah Arm

Las prótesis robóticas también pueden ser de miembros inferiores. En los laboratorios del MIT (Instituto Tecnológico de Massachusetts) se está probando una prótesis de rodilla inteligente que permite a personas con amputaciones caminar y subir escaleras más natural adaptándose al movimiento de la rodilla.

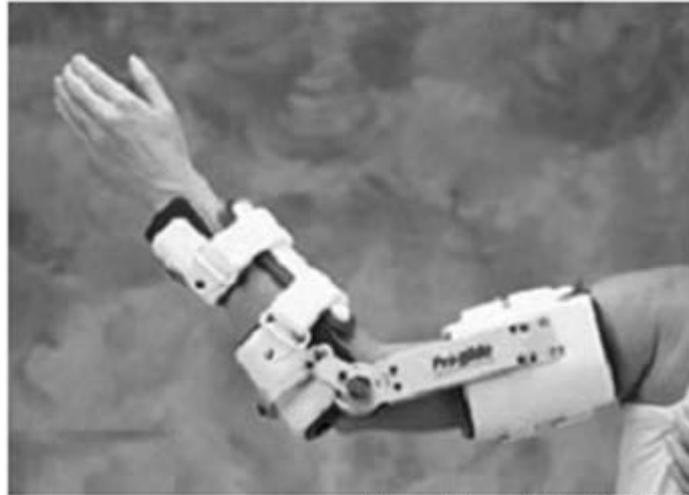
Un reto en el área de investigación de las prótesis es lograr el control de la acción que efectuó una prótesis por medio del cerebro humano.

Uno de los logros es que la Universidad del Noroeste de Chicago ha diseñado una interfaz pez-máquina que permite a un robot ser controlado por el cerebro de un pez. En el Centro Médico Universitario Duke, en Carolina del Norte, se ha desarrollado un sistema que usa electrodos implantados para medir las señales cerebrales en un mono, con los cuales se controla un brazo robótico que trata de alcanzar un poco de comida. Estas investigaciones pueden eventualmente conducir a una interfaz cerebro-máquina que pueda controlar prótesis.

### **1.3.1.3 ORTOSIS**

Una ortosis es un mecanismo usado para asistir o ayudar a una junta, músculo o miembro débil o ineficiente. Se puede utilizar una ortosis para proveer estabilidad alrededor de una articulación o para promover el movimiento deseado y disuadir o limitar el movimiento no deseado de una articulación. Muchas ortosis utilizan tecnología robótica y ellas usualmente toman la forma de un esqueleto externo, un conjunto antropomórfico (con apariencia humana) muy poderoso que es llevado por el paciente. Estos poseen vínculos y articulaciones que corresponden a las de los seres humanos y actuadores que ayudan al paciente con el movimiento de sus extremidades o el levantamiento de cargas externas.

Un ejemplo de estos es el Wrist-Hand Orthosis (WHO) que usa actuadores con aleaciones que proveen la función de agarre para pacientes cuadripléjicos, que se presenta en la Figura 1.10.



Fuente: Hanger INC. 12/03/2010

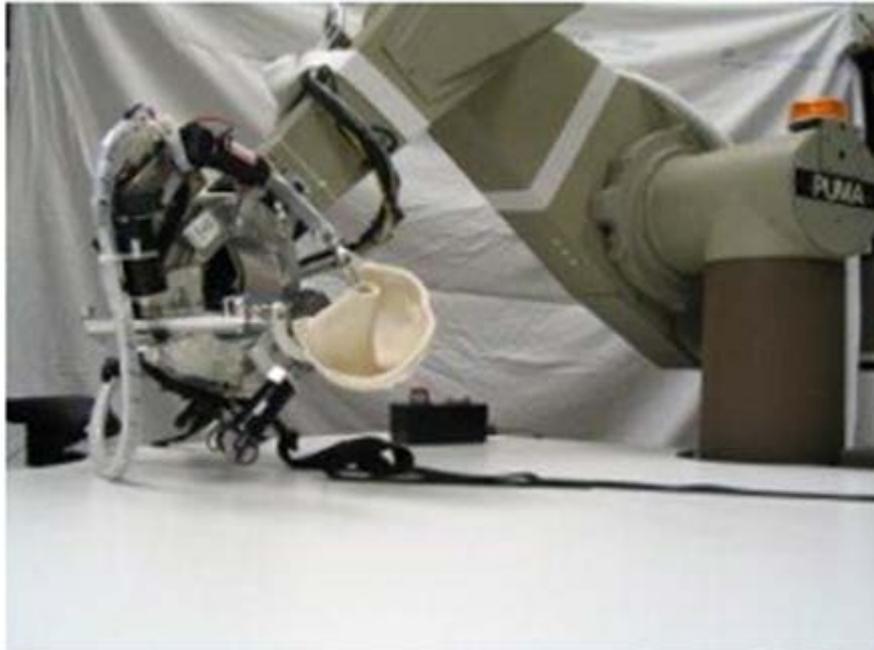
**Figura 1.10** Ortesis Wrist-Hand

### **1.3.2 ROBOTS DE REHABILITACIÓN ASISTIDA**

Los robots tienen la cualidad de ser herramientas valiosas para terapias de rehabilitación. Podrían mejorar las técnicas tradicionales de tratamiento por terapias de habilitación más precisas y consistentes, especialmente en las que se realizan movimientos de entrenamiento altamente repetitivos. Las nuevas técnicas de terapia pueden ser diseñadas usando dispositivos robóticos que pueden asistir y/o resistir activamente el movimiento del paciente. Los robots terapéuticos también pueden recolectar datos continuamente para poder ser usados en mediciones del progreso del paciente a lo largo del proceso de recuperación. Un ejemplo de este tipo de robots es el MIME (Mirror-Image Motion Enabler) el cual usa seis grados de libertad para interactuar con el miembro perjudicado.

Este sistema puede operar en tres modos unilaterales y un modo bilateral. Los modos unilaterales son pasivos, en los cuales el paciente permanece pasivo o quieto cuando el robot mueve el miembro a lo largo de una ruta programada; asistencia activa, en la cual el paciente inicia los movimientos y el robot asiste y guía los movimientos a lo largo de una ruta programada; y, activo-forzado, en el cual el robot se resiste al movimiento del paciente a lo largo de la ruta.

Este sistema fue usado en ensayos clínicos para comparar la diferencia entre la terapia tradicional y la asistida robóticamente en pacientes golpeados y los resultados mostraron grandes progresos en la terapia con robots que los tradicionales. La Figura 1.11 muestra el robot MIME.



Fuente: ZD Net 12/03/2010

**Figura 1.11** Robot MIME

### **1.3.3 ROBOTS QUIRÚRGICOS**

En la última década, la cirugía y los robots han alcanzado un gran avance y hoy en día se los diseña para ser manipulados desde una nueva clase de sala de operación. Este nuevo ambiente incluye robots para cirugía local y telecirugía, telecomunicación audiovisual para telemedicina y teleconsulta, sistemas robóticos integrados con imágenes para computadores de cirugía mejorados y simuladores de realidad virtual mejorados para entrenamiento quirúrgico.

La reciente evolución de la cirugía robótica es el resultado de profunda investigación en el campo de la robótica y telerobótica durante las últimas cuatro décadas. Examinando la lista de fortalezas y debilidades de los seres humanos y robots en la Tabla 1.1 es evidente que la combinación en un solo sistema puede beneficiar el nivel de atención de salud entregada durante la cirugía.

**Tabla 1.1** Fortalezas y debilidades de humanos vs. Robots

Característica	Humano	Calif	Robot	Calif
Coordinación	Visual/motriz limitada	-	Geométrica y altamente precisa	+
Destreza	Alta en el rango de información captada	+	Limitada por el número y tipo de sensores. El rango excede la percepción humana	+
Integración de información	Alto Nivel – Alta capacidad	+	Alto Nivel – limitado por algoritmos	-
	Bajo Nivel – Baja capacidad	-	Bajo Nivel – Alta capacidad	+
Adaptabilidad	Alta	+	Limitada por el diseño	-
Desempeño estable	Se degrada rápido en función del tiempo	-	Se degrada lentamente en función del tiempo	+
Escalabilidad	Relativamente limitado	-	Diseñado para exceder la capacidad humana	+
Esterilización	Aceptable	+	Aceptable	+
Precisión	Relativamente limitada	-	Diseñado para exceder la capacidad humana	+
Ocupación de espacio	Limitado al espacio del cuerpo	+	Normalmente excede el volumen necesario para reemplazar a un operador humano.	-
Exposición	Susceptible a la radiación e infección	-	No susceptible a los peligros ambientales	+
Especialidad	Genérica	+	No especializado	-

Fuente: SPEICH John, Medical Robotica 12/03/2010

### 1.3.3.1 ROBOTS QUIRÚRGICOS CLASE I

Similares a los robots industriales, el set de herramientas de un robot quirúrgico operado en modo semiautomático (clase I) es predefinido basado en una representación visual de la anatomía adquirida por un dispositivo de imagen y planeada antes de ser operada. Una vez que la ruta es definida, las localizaciones relativas de la estructura anatómica y el robot son registradas y el robot ejecuta la tarea usando comandos de posición sin ninguna intervención más allá de la establecida por el cirujano. Por obvias razones de seguridad, el cirujano puede parar la acción pero alterando la ruta requerida por ello se requiere replantear la operación. Los sistemas robóticos semiautomáticos son apropiados para procedimientos ortopédicos cirugía neurológica con estructuras anatómicas bien forzadas como tejidos duros y huesos o con tejidos como el cerebro, confinado por el cráneo.

### **1.3.3.2 ROBOTS QUIRÚRGICOS CLASE II**

Los robots quirúrgicos pueden ser usados en sistemas guiados (Clase II) en casos donde una alta precisión es requerida, como: microcirugía, reconstrucción microvascular, oftalmología y urología. El cirujano interactúa directamente con el brazo robótico y mueve la herramienta en el espacio. El brazo quirúrgico provee estabilidad y movimientos de precisión. Las fuerzas y torques aplicados en el sistema por la mano del cirujano son sensados y trasladados a un control de velocidad del robot.

### **1.3.3.3 ROBOTS QUIRÚRGICOS CLASE III**

La arquitectura de los robots quirúrgicos teleoperados (Clase III) está formado por tres componentes fundamentales: consola de cirugía, brazos robóticos y sistema de visualización. El cirujano genera comandos de posición al robot mediante el movimiento de los dispositivos de entrada localizados en la consola del cirujano. Los comandos de posición son transferidos hacia el controlador de los brazos robóticos los cuales tienen actuadores para moverlos y herramientas quirúrgicas adecuadas. En algunos sistemas la realimentación de fuerza puede ser generada por actuadores añadidos a la entrada permiten al cirujano sentir las fuerzas entre la herramienta y el tejido.

### **1.3.4 ROBOTS DE ENTRENAMIENTO MÉDICO**

En la actualidad existen maniqués robóticos para simular el entrenamiento médico, muy útiles para estudiantes con carreras afines a la medicina.

Los maniqués permiten a los estudiantes realizar actividades de entrenamiento antes de tratar con un ser humano. Muchos de ellos tienen características electromecánicas controladas computacionalmente, incluyendo ojos que pueden abrir y cerrarse, brazos que se mueven, brazos y piernas que se hinchan y pulmones embebidos en el pecho que respiran ocasionalmente.

## **1.4 MANOS ROBÓTICAS**

Hay grandes esfuerzos en todo el mundo para mejorar la capacidad de manipulación de los robots, tratándose siempre de emular lo más perfectamente posible a la destreza de las manos. A continuación se muestra en orden cronológico algunos ejemplos de manos robóticas.

### 1.4.1 MANO BELGRADE/USC (1969)

La mano robótica Belgrado/USC fue diseñada por la University of Southern California y la University of Novi-Sad at Belgradetiene por ello su nombre. Tiene cuatros dedos, cada uno con tres ejes de juntas paralelas y un GDL (Grado de Libertad) que permite la flexión de todas las juntas de la unión.

Esta configuración disminuye la destreza de la mano. Cada par de dedos adyacentes es manejado por un solo motor el cual actúa en los pares más próximos a los nudillos. Un sistema de conexión separada en cada dedo transmite la potencia a las juntas más distantes. Un mecanismo de brazo balanceado acopla dos pares de dedos mecánicamente.

La mano es controlada usando una estrategia PD (proporcional derivativo) simple con un microcontrolador 332. Esta mano no posee sensores táctiles pero incorpora doce sensores de fuerza. La Figura 1.12 muestra esta mano robótica.



Fuente: USC Robotics Research Lab 12/03/2010

**Figura 1.12** Mano Belgrade/USC

#### 1.4.2 MANO STANDFORD/JPL (SALISBURY) (1981)

El sistema conecta cuatro cables de acero flexible con chaqueta de teflón que se originan desde un servo motor remotamente situado ensamblando a las juntas de cada uno de los tres dedos con 3 grados de libertad. De esta manera, la mano es capaz de adherir configuraciones de  $N+1$  tendones, en los cuales,  $N+1$  cables y motores son requeridos para  $N$  grados de libertad. Cada dedo tiene una doble junta en los nudillos la misma que provee  $90^\circ$  de inclinación y otro nudillo más distal con un rango de  $135^\circ$ . Aunque la modularidad de los dedos los hace simples de construir, la destreza es sacrificada porque los ejes de las juntas no tienen intersecciones. Además, el ensamblaje para manejarlo es torpe y los cables flexibles que se utilizan para su construcción son de limitada fiabilidad y capacidad de transmisión de potencia. El mecanismo sensor de la tensión del cable basado en calibradores de fuerza asegura un control exacto de fuerza en los dedos. La Figura 1.13 muestra la mano Standford/JPL.



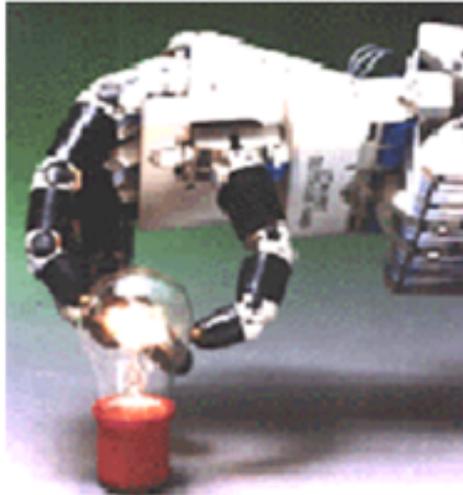
Fuente: Robotica Research Group 12/03/2010

**Figura 1.13** Mano Standford/JPL

#### 1.4.3 MANO UTAH/MIT DEXTROUS (1982)

Esta mano posee dedos exteriormente paralelos con 4GDL, aunque con un diseño no antropomórfico desde los nudillos. La inclusión de tres dedos minimiza la dependencia de la fricción y añade un soporte redundante para las tareas de manipulación. Cada dedo con  $N$ -GDL es controlado por  $2N$  actuadores independientes y cables de tensión como tendones. Estos tendones son parte de un complejo sistema de manejo de cables proporcionado por 32 cilindros de vidrio neumáticos especialmente diseñados y válvulas de tubo tipo jet. Los sensores de rotación de efecto hall montados en cada junta de cada dedo transmiten la medida del ángulo de la junta.

Aunque los dedos exhiben una alta ejecución dinámica, con yemas de fuerza para trabajo excesivo de 7 lb. Y componentes de frecuencia que exceden los 20 Hz, su implementación es incómoda. La Figura 1.14 muestra la mano UTAH/MIT Dextrous.



Fuente: Laboratoire de robotique de l'université Laval 12/03/2010

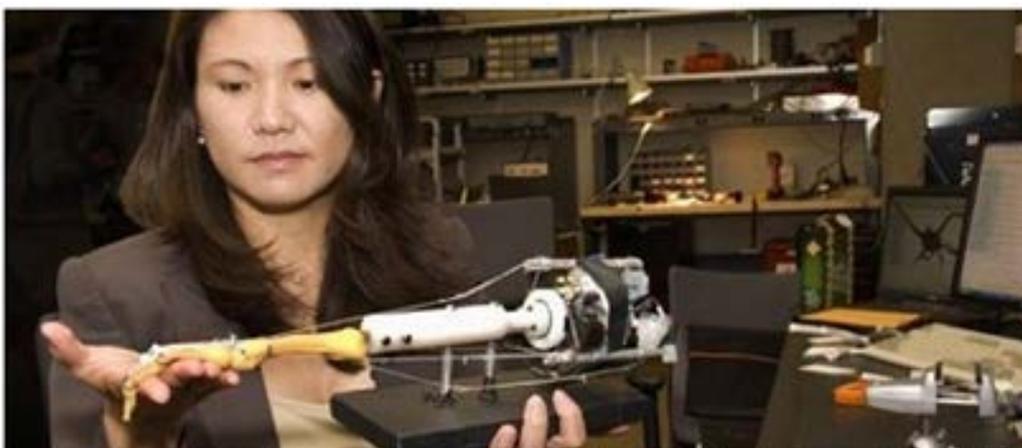
**Figura 1.14** Mano UTAH/MIT Dextrous

#### **1.4.4 MANO ROBOT MATSUOKA (1995)**

Esta mano robótica fue construida en el laboratorio de Inteligencia Artificial de MIT. Cada dedo está compuesto de dos falanges y dos juntas articuladas.

Estas articulaciones son controladas por un sistema cable/polea motor que imparte 2 GDL aparentes al dispositivo y es capaz de generar un torque equivalente a 0.5 lb en las yemas. La plataforma es autosuficiente aunque los motores de los dedos dan mucho peso y tamaño a la correspondiente mano.

La fuerza y precisión reducidas de estos dedos es aceptable porque los objetivos de la mano Matsuoka es la simulación de movimientos para manipulación. En la Figura 1.15 se puede observar la mano robot Matsuoka.



Fuente: Wired Science 12/03/2010

**Figura 1.15** Mano robot Matsuoka

#### 1.4.5 MANO ROBONAUT (1999)

Esta mano robótica fue diseñada para combinar tamaño, cinemática y fuerza de la mano de un astronauta, está dividida en dos secciones. El set de trabajo para la manipulación diestra incluye dos dedos con 3-GDL; el set de agarre estable incluye dos dedos con 1-GDL. Un eje flexible de acero inoxidable acoplado a un motor DC sin escobillas alojado en el antebrazo transmite la potencia a cada uno de los dedos, las juntas de la base de los dedos permiten  $\pm 25^\circ$  de desvío y  $100^\circ$  de declive. Las segundas y terceras articulaciones son directamente ligadas para cerrar con ángulos iguales. Los dedos de agarre tienen tres articulaciones de flexión que cierran con aproximadamente ángulos iguales sobre un rango de  $90^\circ$ . Debido a la geometría compleja de la mano, muchas de sus partes fueron moldeadas en aluminio directamente. Los sensores de posición absoluta están embebidos en cada articulación de la mano, encoders incrementales sobre los motores, celdas de carga y sensores táctiles proveen la realimentación de posición y fuerza para el control. La Figura 1.16 muestra la mano Robonaut.



Fuente: How Stuff Works 12/03/2010

**Figura 1.16** Mano Robonaut

#### 1.4.6 MANO DLR (2000)

La mano DLR es una mano articulada multisensor con cuatro dedos, es controlada por un guante de datos. Está diseñada con actuadores lineales integrados en la palma y en la falange proximal que permiten manipular las articulaciones de los dedos. Cada dedo tiene una articulación de base de 2-GDL capaz de flexionar  $\pm 45^\circ$  y  $\pm 30^\circ$  de abducción/aducción, un nudillo de 1-GDL capaz de flexionar  $115^\circ$  y una articulación distal capaz de flexionar  $110^\circ$ .

La articulación distal es manejada pasivamente debido al acoplamiento Inter-articulaciones. El control de posición, fuerza y rigidez es llevado a cabo por el uso de un medidor de fuerza basado en sensores de torque, sensores ópticos de posición de las articulaciones y sensores táctiles. En la Figura 1.17 se puede observar la mano DLR.



Fuente: service-robots.org 12/03/2010

**Figura 1.17** Mano DLR

## 1.5 GUANTES SENSORIZADOS

Los primeros guantes electrónicos se crearon con la intención de reducir las limitaciones de los elementos periféricos de las computadoras, las cuales imponían en el uso de las manos. La realidad virtual es uno de los campos en donde más se utilizan guantes electrónicos, por ello la mayoría de guantes son diseñados para este fin, pero eso no implica que puedan ser usados para otras aplicaciones, en si vienen a constituir un periférico mas de entrada de datos.

En cuanto a su evolución, los primeros guantes empleaban elementos magnéticos muy precisos pero sensibles a objetos metálicos cercanos que provocaban la distorsión del campo y generaban errores. Posteriormente se diseñaron guantes que manejaban sonidos de alta frecuencia en triangulación, eran muy precisos pero deficientes ante los rebotes acústicos por las paredes y objetos cercanos. Luego aparecieron los guantes que funcionaban con principios fotoeléctricos (elementos sensibles a la luz), usando tubos flexibles con una fuente de luz en un extremo y una fotocelda en el otro, esto generó un método efectivo de control multidimensional. Luego, se empleó la fibra óptica donde cada fibra posee un emisor de luz al inicio y un sensor al final, de modo que se pueden determinar los giros por la intensidad de luz recibida. Posee bastante flexibilidad y portabilidad, pero la identificación de la posición deber realizarse con un rastreador adicional.

Hoy en día también se utilizan bandas resistivas flexibles con lo cual se facilita el sensado de datos obteniéndose una buena resolución sin un hardware complicado. Adicionalmente también se diseñaron exoesqueletos los cuales tienen una estructura mecánica paralela y sobrepuesta a la mano con rotores y sensores en cada articulación. Poseen una alta precisión por lo que se utilizan en aplicaciones delicadas.

A continuación se mencionan algunos guantes existentes en el mercado.

### 1.5.1 GUANTE CYBERGLOVE

El último guante sensorizado lanzado al mercado es el Caber Glove II el cual transforma el movimiento de las manos y dedos a un dato en tiempo real de cada junta. Posee la característica de tener una transmisión inalámbrica lo cual facilita el movimiento. Tiene 18 a 22 sensores resistivos flexibles, con una resolución menor a un grado, trabaja con tecnología inalámbrica de 2.4 GHz, usa una interface USB para receptor wireless. Entre sus usos se encuentra, la animación, captura de movimientos, realidad virtual, estudios biomecánicas y entrenamiento médico y militar. La Figura 1.18 muestra una fotografía de este guante.



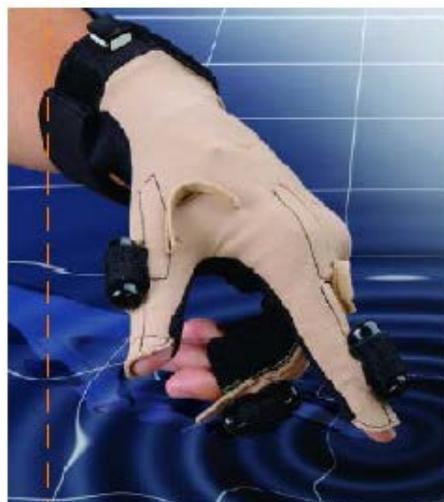
Fuente: Immersion Corporation 12/03/2010

**Figura 1.18** Guante CyberGlove

### 1.5.2 GUANTE CYBERTOUCH

Este es un guante que además de sensar el movimiento de los dedos y guantes, utiliza una realimentación dando una sensación táctil con objetos computacionales generados en 3D. Posee una realimentación vibro táctil que crea un ambiente mas realista a los usuarios. Consiste de seis actuadores vibro táctiles, uno en cada dedo y en la palma. Cada actuador puede ser programado individualmente para proveer el nivel de realimentación deseado.

Los actuadores pueden generar pulsos, vibración sostenida o patrones de vibración personalizados. La comunicación se la realiza mediante una interfaz RS-232 con una velocidad máxima de 115.2 Kbaud. La Figura 1.19 muestra una fotografía de este guante.



Fuente: Immersion Corporation 12/03/2010

**Figura 1.19** Guante CyberTouch

### 1.5.3 GUANTE CYBERGRASP

Este guante posee un sistema innovador de realimentación de fuerza para los dedos y la mano. Es un exoesqueleto que se lo monta sobre el guante CyberGlove y provee una realimentación de fuerza de agarre en cada dedo con relación a la palma. Con este sistema el usuario es capaz de sentir el tamaño y la forma de objetos generados en la computadora, en un mundo de realidad virtual. Las fuerzas de agarre son producidas por una serie de tendones enlazados a los dedos a través del exoesqueleto. Posee cinco actuadores, uno por cada dedo, los cuales pueden ser individualmente programados. A continuación, en la Figura 1.20 se muestra este tipo de guante.



Fuente: Immersion Corporation 12/03/2010  
**Figura 1.20** Sistema CyberGrasp

### 1.5.4 GUANTE CYBERFORCE

Este es un sistema que posee realimentación de fuerza, es muy utilizado en ambientes aeroespaciales, militares, automotriz y aplicaciones de simulación medica, ingeniería de diseño y prototipos virtuales.

Es un sistema que incluye 22 sensores los cuales se ubican en el guante mas un exoesqueleto que provee seis grados de libertad, tres que corresponden a la traslación y tres para la rotación de la mano, además la resolución de la posición es de 0.06mm. A continuación, se muestra en la Figura 1.21 este sistema.



Fuente: Immersion Corporation 12/03/2010

**Figura 1.21** Guante CyberForce

En este capítulo se ha estudiado la anatomía de la mano humana, se presentaron conceptos relacionados con la robótica y la importancia de ésta en la medicina. Además, se mostró los guantes con sensores existentes en el mercado y sus características.

A continuación en el siguiente capítulo se realizará el diseño del guante sensorizado, la mano robótica y los circuitos electrónicos necesarios para su funcionamiento.

## **CAPÍTULO 2**

### **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA MANO ROBÓTICA Y GUANTE SENSORIZADO**

Una vez entendidos los conceptos básicos necesarios para la realización de este proyecto, en este capítulo se describe la construcción tanto del guante sensorizado como de la mano robótica, así como todo el hardware necesario para realizar las tareas de control.

En un inicio se trató de construir sensores fotoeléctricos basados en la percepción de una fuente luminosa constante a través de un ducto elástico, con un LED en un extremo y una foto resistencia en el otro, pero, la implementación física en el guante era muy difícil e incómoda debido principalmente al espacio reducido que se tiene. Por lo tanto, se procedió a utilizar otro método mediante sensores infrarrojos de reflexión utilizados comúnmente en robots seguidores de línea. Su reducido tamaño y sencillez de acondicionamiento fueron factores claves para su selección.

Se utilizó conceptos muy generales en cuanto al diseño de la parte mecánica de la mano robótica, debido a que este proyecto está enfocado principalmente a las tareas y algoritmos de control de la misma.

#### **2.1 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL GUANTE SENSORIZADO**

##### **2.1.1 ARQUITECTURA DEL SISTEMA**

El guante sensorizado es un elemento provisto con sensores fotoeléctricos, los cuales determinan la posición de cada dedo de una mano diestra. Las señales de los sensores son acondicionadas, procesadas y transmitidas a través de un dispositivo inalámbrico llamado XBEE cuando la etapa de control lo requiera.

El hardware está formado por un guante diestro flexible, sobre el cual son montados estratégicamente los sensores fotoeléctricos. Son en total 6 sensores fotoeléctricos cuya salida acondicionada será amplificada con el integrado CD40106BE.

Una vez digitalizados los datos estos son procesados, almacenados y actualizados continuamente en el PIC16F877A para ser transmitidos a través del dispositivo inalámbrico XBEE cuando la etapa de control de la mano robótica los requiera.



Fuente: Autor

**Figura 2.1** Arquitectura del guante sensorizado

En la Figura 2.1 se muestra un diagrama con la arquitectura del guante sensorizado.

### 2.1.2 GUANTE

Para el desarrollo del guante sensorizado se utilizó un guante diestro, el cual está confeccionado con 60% de nylon y 40% de poliuretano en la palma; y, 96% de poliéster y 4% de Spandex en el dorso. Se eligió este tipo de guante debido a la flexibilidad que se requiere. Este guante se lo puede observar en la Figura 2.2.



Fuente: Autor

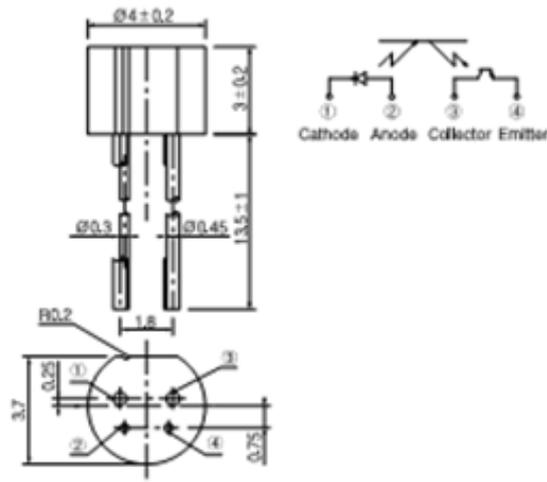
**Figura 2.2** Guante utilizado

### 2.1.3 DISEÑO DEL DISPOSITIVO FOTOELÉCTRICO SENSOR

El dispositivo fotoeléctrico sensor consta de un emisor-receptor de luz y un ducto elástico.

#### 2.1.3.1 EMISOR-RECEPTOR DE LUZ

Se utilizó como dispositivo fotoeléctrico emisor-receptor de luz al circuito integrado SG2BC, el cual es un sensor óptico reflectivo; es decir, presenta una variación en su señal de salida por la menor o mayor reflexión de luz infrarroja emitida por una fuente de luz infrarroja constante. Su salida es de tipo transistor.



Fuente: Autor

Para este proyecto se utilizan 6 sensores ópticos los cuales son ubicados estratégicamente en el guante sensor con el fin de sensor la flexión de cada uno de los movimientos. Cada sensor es conectado a una etapa de acondicionamiento.

### 2.1.3.2 DUCTO ELÁSTICO

Para el presente proyecto se utilizó un ducto elástico de color negro debido a que se requiere evitar cualquier interferencia externa hacia el dispositivo sensor, así como cualquier fuga de luz hacia el exterior. Debido a que la fuente luminosa es constante, las paredes del ducto incrementan o decrementan el número de rayos reflejados por las paredes hacia el receptor según el ángulo de flexión del ducto. Analizando los movimientos de los dedos se llegó a la conclusión que la medida ideal del ducto es de 1 a 1.5 cm. Siendo un total de 6 unidades.

### 2.1.3.3 CONSTRUCCIÓN

Para la construcción se procede a cerrar un extremo del ducto elástico y en el otro extremo se procede a colocar el dispositivo emisor-receptor. Todos se adherieron de una forma firme con el fin de evitar errores debido al movimiento indebido de alguno de ellos. En la Figura 2.3 se muestra uno de los 6 dispositivos fotoeléctricos sensores.



Fuente: Autor

**Figura 2.3** Sensor fotoeléctrico

### 2.1.4 UBICACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS SENSORES EN EL GUANTE

La ubicación de los dispositivos sensores es de vital importancia, debido a que deben estar acordes con la ubicación de los dedos para poder sensor la flexión de los mismos.

La ubicación de los dispositivos fue realizada mediante marcas hechas en cada articulación con el guante insertado en la mano. Una vez seleccionada la ubicación se procedió a confeccionar en tela espacios diseñados para la inserción de los sensores a manera de bolsillos. La Figura 2.4 muestra la ubicación de los sensores en una mano diestra.



Fuente: Autor

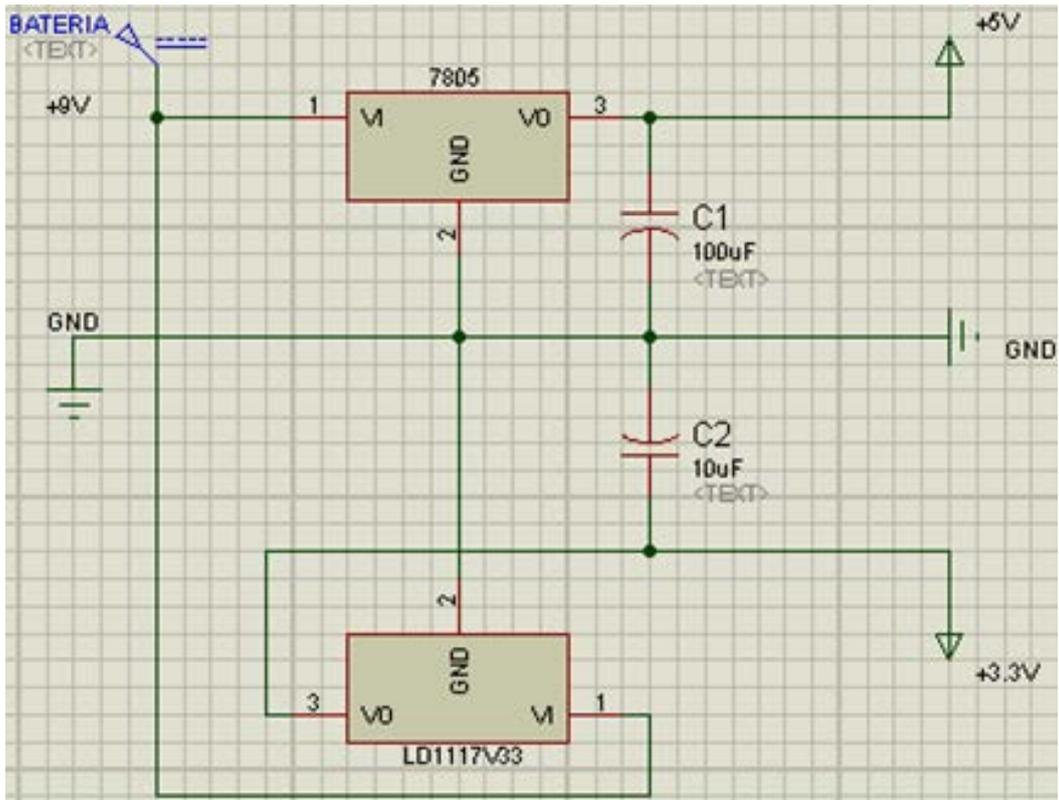
**Figura 2.4** Ubicación de los sensores

### **2.1.5 FUENTE DE ALIMENTACIÓN DEL GUANTE SENSORIZADO**

Se utiliza una fuente de alimentación externa en este caso una batería de +9V. Para garantizar la estabilidad del voltaje y reducir el rizado que puede tener la fuente externa se optó por incluir un circuito regulador para +5V y GND, basado en el circuito integrado regulador de voltaje 7805 el cual servirá para la alimentación de los sensores, el integrado CD40106BE, el PIC16F877A y los diodos indicadores de cada sensor .

Para el dispositivo inalámbrico XBEE se necesita manejar otro valor de voltaje el cual es +3.3V este es el valor sugerido por el fabricante pero puede alimentarse máximo hasta +3.6V. Para garantizar la estabilidad del voltaje y reducir el rizado que puede tener la fuente externa se optó por incluir un circuito regulador para +3.3V y GND, basado en el circuito integrado regulador de voltaje LD1117V33, en el cual los dos últimos dígitos de su nombre nos indica el valor de voltaje que obtendremos a la salida de este regulador en este caso los +3.3V que nosotros deseamos obtener.

La Figura 2.5 muestra el esquema de la fuente de alimentación para el circuito del guante sensorizado.

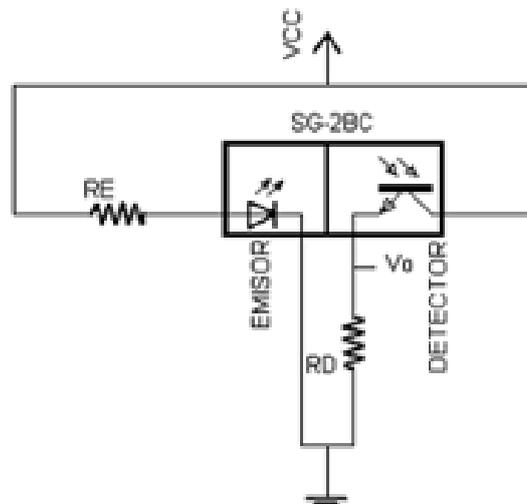


Fuente: Autor

**Figura 2.5** Circuito de la fuente de alimentación

### 2.1.6 ACONDICIONAMIENTO DE LOS DISPOSITIVOS SENSORES

Para el acondicionamiento de los dispositivos sensores se utilizó la estructura de un circuito básico de aislamiento por opto acoplador, basado en la configuración no inversora de la señal que ingresa hacia el receptor IR. Este esquema se lo puede observar en la Figura 2.6.



Fuente: Autor

**Figura 2.6** Conexión del sensor fotoeléctrico

Revisando las hojas de datos del dispositivo, para el diseño se tiene:

**Circuito emisor:**

$$V_{CC} = R_E I_{Led} + V_{Led}$$

Sea  $V_{CC} = 5V$ ,  $V_{Led} = 1.1V$ ,  $I_{Led} = 20mA$

$$R_E = \frac{V_{CC} - V_{Led}}{I_{Led}} = \frac{5V - 1.1V}{20mA} = 195\Omega$$

Se escoge una resistencia estándar de  $R_E = 200\Omega$ . Con este valor la corriente que circula a través del Led IR es de  $I_{Led} = 19.5mA$ .

**Circuito detector:**

Sea,  $V_{CC} = 5V$ ,  $I_{Led} = 19.5mA$ ,  $CTR = 3\%$ , datos tomados de la hoja de datos del elemento en condiciones de máxima reflexión, entonces:

$$I_{RD} = I_{Led} \cdot CTR = 19.5mA \cdot 3\% = 0.58mA$$

$$R_D = \frac{V_{CC}}{I_{RD}} = \frac{5V}{0.58mA} = 8.6K\Omega$$

Para asegurar la saturación se escoge una resistencia estándar de  $R_D = 10K\Omega$ .

Sin embargo, la salida cada sensor tiene un rango de variación sumamente pequeño en el orden de los milivoltios. Por ello, la señal de salida de los sensores debe ser amplificada hasta llegar a niveles en los cuales pueda ser utilizable.

Cada sensor tiene un valor de salida diferente. Para una mejor identificación se procedió a numerar los sensores como muestra la Figura 2.7.



Fuente: Autor

**Figura 2.7** Identificación de los sensores.

Las siguientes imágenes nos ilustran físicamente como fueron colocados los sensores en el guante.

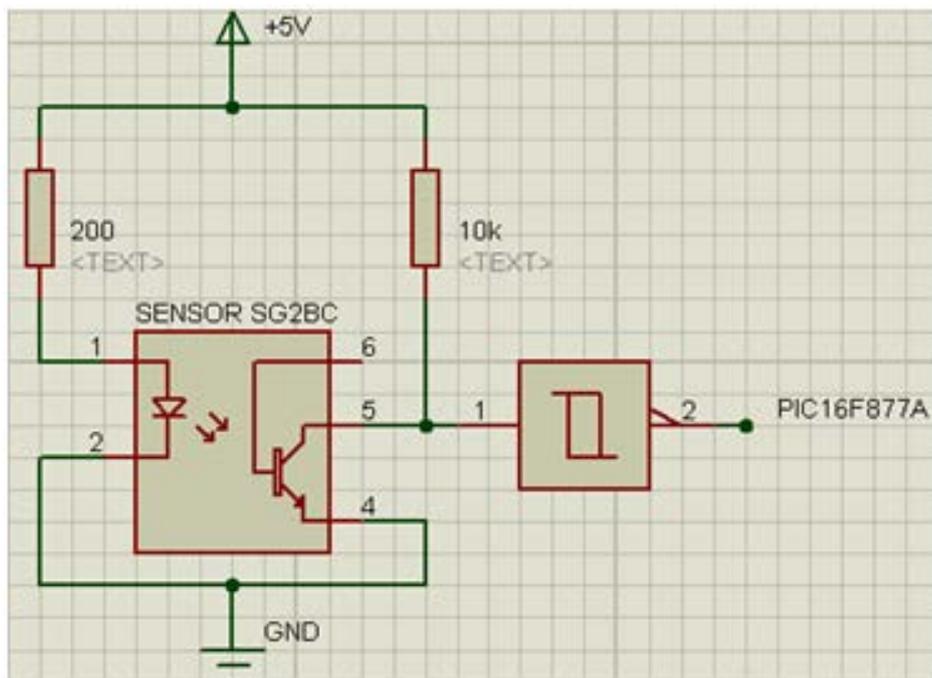


Fuente: Autor



Fuente: Autor

La **Figura 2.8** Muestra el esquema del amplificador utilizado para el acondicionamiento de cada sensor.



Fuente: Autor

**Figura 2.8** Esquema del amplificador

### 2.1.7 SELECCIÓN DE DATOS

Los datos de los sensores son seleccionados en base a una tabla lógica realizada por cada uno de ellos, esto se lo hace debido al número de sensores y a la disponibilidad de entradas digitales en el microcontrolador.

En base a los valores lógicos de “1” y “0” obtenidos de esta tabla nosotros podemos comenzar a programar nuestro PIC16F877A esos valores nos indican cuando se activa o desactiva un sensor y dependiendo de dichos valores se pondrán en funcionamiento cada motor.

Las siguientes tablas nos indican las funciones que deberán ejercer cada motor dependiendo de que sensor se active o desactive.

VALOR LOGICO	FUNCION
1	DESACTIVADO
0	ACTIVADO

## SENSORES MICRO SERVOMOTORES

S1	S2	S3	S4	S5	S6		M1A	M1B	M2A	M2B	M3A	M3B	M4A	M4B	M5A	M5B
1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	1	1	1	1	1		0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
0	1	1	1	1	0		0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
1	0	1	1	1	1		1	1	0	0	1	1	1	1	1	1
1	1	0	1	1	1		1	1	1	1	0	0	1	1	1	1
1	1	1	0	1	1		1	1	1	1	1	1	0	0	1	1
1	1	1	1	0	1		1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
1	0	0	0	0	0		1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0		1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
1	1	1	0	0	0		1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
1	1	1	1	0	1		1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
0	1	0	0	0	0		0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
1	1	0	1	1	0		1	1	1	1	0	0	1	1	1	1
0	0	1	1	1	1		0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
0	1	1	0	0	0		0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0		0	0	0	0	1	1	0	0	0	0

### 2.1.8 MICROCONTROLADOR PIC 16F877A

Se denomina microcontrolador a un dispositivo programable capaz de realizar diferentes actividades que requieran del procesamiento de datos digitales y del control y comunicación digital de diferentes dispositivos.

Los microcontroladores poseen una memoria interna que almacena dos tipos de datos; las instrucciones, que corresponden al programa que se ejecuta, y los registros, es decir, los datos que el usuario maneja, así como registros especiales para el control de las diferentes funciones del microcontrolador.

Los microcontroladores se programan en Assembler y cada microcontrolador varía su conjunto de instrucciones de acuerdo a su fabricante y modelo. De acuerdo al número de instrucciones que el microcontrolador maneja se le denomina de arquitectura RISC (reducido) o CISC (complejo).

Los microcontroladores poseen principalmente una ALU (Unidad Lógico Aritmética), memoria del programa, memoria de registros, y pines I/O (entrada y/o salida). La ALU es la encargada de procesar los datos dependiendo de las instrucciones que se ejecuten (ADD, OR, AND), mientras que los pines son los que se encargan de comunicar al microcontrolador con el medio externo; la función de los pines puede ser de transmisión de datos, alimentación de corriente para el funcionamiento de este o pines de control específico.

En este proyecto se utilizó el PIC 16F877A. Este microcontrolador es fabricado por MicroChip familia a la cual se le denomina PIC. El modelo 16F877A posee varias características que hacen a este microcontrolador un dispositivo muy versátil, eficiente y práctico para ser empleado en la aplicación que posteriormente será detallada.

Algunas de estas características se muestran a continuación:

- Soporta modo de comunicación serial, posee dos pines para ello.
- Amplia memoria para datos y programa.
- Memoria reprogramable: La memoria en este PIC es la que se denomina FLASH; este tipo de memoria se puede borrar electrónicamente (esto corresponde a la "F" en el modelo).
- Set de instrucciones reducidas (tipo RISC), pero con las instrucciones necesarias para facilitar su manejo.

## CARACTERÍSTICAS

En la siguiente tabla pueden observar las características más relevantes del dispositivo:

CARACTERÍSTICAS	16F877A
Frecuencia máxima	DX-20MHz
Memoria de programa flash palabra de 14 bits	8KB
Posiciones RAM de datos	368
Posiciones EEPROM de datos	256
Puertos E/S	A, B, C, D, E
Número de pines	40
Interrupciones	14
Timers	3
Módulos CCP	2
Comunicaciones Serie	MSSP, USART
Comunicaciones paralelo	PSP
Líneas de entrada de CAD de 10 bits	8
Juego de instrucciones	35 Instrucciones
Longitud de la instrucción	14 bits
Arquitectura	Harvard
CPU	Risc
Canales Pwm	2
Pila Hardware	-
Ejecución En 1 Ciclo Máquina	-

## DESCRIPCIÓN DE LOS PUERTOS

### Puerto A:

- Puerto de e/s de 6 pines
- RA0 è RA0 y AN0
- RA1 è RA1 y AN1
- RA2 è RA2, AN2 y Vref-
- RA3 è RA3, AN3 y Vref+
- RA4 è RA4 (Salida en colector abierto) y T0CKI(Entrada de reloj del modulo Timer0)
- RA5 è RA5, AN4 y SS (Selección esclavo para el puerto serie síncrono)

### Puerto B:

- Puerto e/s 8 pines
- Resistencias pull-up programables
- RB0 è Interrupción externa
- RB4-7 è Interrupción por cambio de flanco
- RB5-RB7 y RB3 è programación y debugger in circuit

### Puerto C:

- Puerto e/s de 8 pines
- RC0 è RC0, T1OSO (Timer1 salida oscilador) y T1CKI (Entrada de reloj del modulo Timer1).
- RC1-RC2 è PWM/COMP/CAPT
- RC1 è T1OSI (entrada osc timer1)
- RC3-4 è IIC
- RC3-5 è SPI
- RC6-7 è USART

### Puerto D:

- Puerto e/s de 8 pines
- Bus de datos en PPS (Puerto paralelo esclavo)

### Puerto E:

- Puerto de e/s de 3 pines
- RE0 è RE0 y AN5 y Read de PPS
- RE1 è RE1 y AN6 y Write de PPS
- RE2 è RE2 y AN7 y CS de PPS

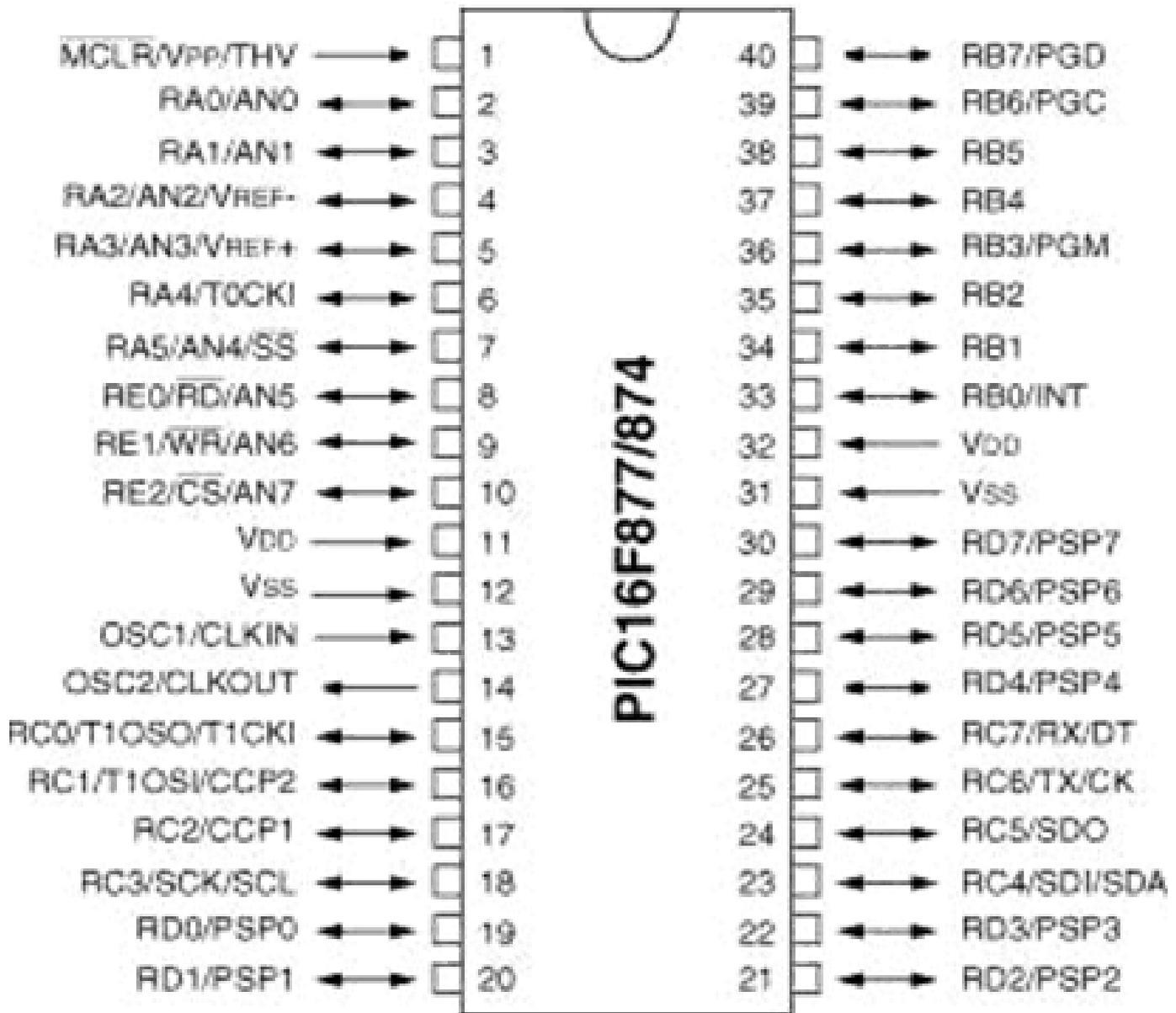
## **DISPOSITIVOS PERIFÉRICOS**

- Timer0: Temporizador-contador de 8 bits con preescaler de 8 bits
- Timer1: Temporizador-contador de 16 bits con preescaler que puede incrementarse en modo sleep de forma externa por un cristal/clock.
- Timer2: Temporizador-contador de 8 bits con preescaler y postescaler.
- Dos módulos de Captura, Comparación, PWM (Modulación de Anchura de Impulsos).
- Conversor A/D de 10 bits.
- Puerto Serie Síncrono Master (MSSP) con SPI e I<sup>2</sup>C (Master/Slave).
- USART/SCI (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter) con 9 bit.
- Puerta Paralela Esclava (PSP) solo en encapsulados con 40 pines



## DESCRIPCIÓN DE PINES

En la Fig. 2.9 se ilustra todos los pines y funciones que tiene este microcontrolador



Fuente: Autor

Fig. 2.9 Distribución de pines del Microcontrolador PIC16F877A

NOMBRE DEL PIN	PIN	TIPO	TIPO DE BUFFER	DESCRIPCIÓN
<b>OSC1/CLKIN</b>	13	I	ST/MOS	Entrada del oscilador de cristal / Entrada de señal de reloj externa
<b>OSC2/CLKOUT</b>	14	O	-	Salida del oscilador de cristal
<b>MCLR/Vpp/THV</b>	1	I/P	ST	Entrada del Master clear (Reset) o entrada de voltaje de programación o modo de control high voltaje test
<b>RA0/AN0</b> <b>RA1/AN1</b> <b>RA2/AN2/ Vref-</b>  <b>RA3/AN3/Vref+</b>  <b>RA4/T0CKI</b>  <b>RA5/SS/AN4</b>	2 3 4  5  6  7	I/O I/O I/O  I/O  I/O  I/O	TTL TTL TTL  TTL  ST  TTL	PORTA es un puerto I/O bidireccional RA0: puede ser salida analógica 0 RA1: puede ser salida analógica 1 RA2: puede ser salida analógica 2 o referencia negativa de voltaje RA3: puede ser salida analógica 3 o referencia positiva de voltaje RA4: puede ser entrada de reloj el timer0. RA5: puede ser salida analógica 4 o el esclavo seleccionado por el puerto serial síncrono.
<b>RBO/INT</b>  <b>RB1</b> <b>RB2</b> <b>RB3/PGM</b>  <b>RB4</b> <b>RB5</b> <b>RB6/PGC</b> <b>RB7/PGD</b>	33  34 35 36  37 38 39 40	I/O  I/O I/O I/O  I/O I/O I/O I/O	TTL/ST  TTL TTL TTL  TTL TTL TTL/ST TTL/ST	PORTB es un puerto I/O bidireccional. Puede ser programado todo como entradas RB0 puede ser pin de interrupción externo.  RB3: puede ser la entrada de programación de bajo voltaje Pin de interrupción Pin de interrupción Pin de interrupción. Reloj de programación serial
<b>RCO/T1OSO/T1CK I</b> <b>RC1/T1OS1/CCP2</b>  <b>RC2/CCP1</b>  <b>RC3/SCK/SCL</b>  <b>RC4/SD1/SDA</b>  <b>RC5/SD0</b>	15 16 17  18  23  24	I/O I/O I/O  I/O  I/O  I/O	ST ST ST  ST  ST  ST	PORTC es un puerto I/O bidireccional RCO puede ser la salida del oscilador timer1 o la entrada de reloj del timer1 RC1 puede ser la entrada del oscilador timer1 o salida PWM 2 RC2 puede ser una entrada de captura y comparación o salida PWN  RC3 puede ser la entrada o salida serial de reloj síncrono para modos SPI e I2C RC4 puede ser la entrada de datos SPI y modo I2C RC5 puede ser la salida de datos SPI RC6 puede ser el transmisor asíncrono

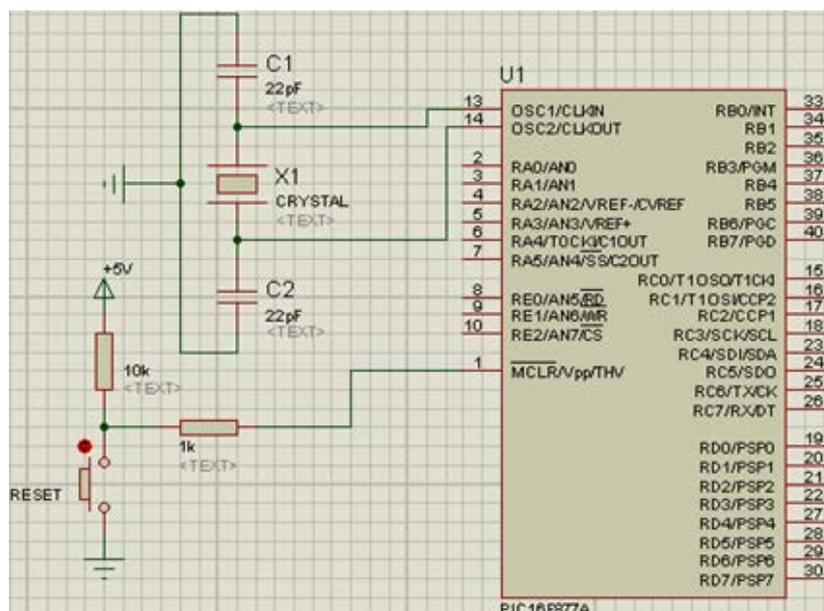
<b>RC6/Tx/CK</b>	25	I/O	ST	USART o el reloj síncrono. RC7 puede ser el receptor asíncrono USART o datos síncronos
<b>RC7/RX/DT</b>	26	I/O	ST	
<b>RD0/PSP0</b> <b>RD1/PSP1</b> <b>RD2/PSP2</b> <b>RD3/PSP3</b> <b>RD4/PSP4</b> <b>RD5/PSP5</b> <b>RD6/PSP6</b> <b>RD7/PSP7</b>	19 20 21 22 27 28 29 30	I/O I/O I/O I/O I/O I/O I/O	ST/TTL ST/TTL ST/TTL ST/TTL ST/TTL ST/TTL ST/TTL	PORTD es un puerto bidireccional paralelo
<b>RE0/RD/AN5</b>  <b>RE1/WR/AN</b>  <b>RE2/CS/AN7</b>	8  9  10	I/O  I/O  I/O	ST/TTL  ST/TTL  ST/TTL	PORTE es un puerto I/O bidireccional RE0: puede ser control de lectura para el puerto esclavo paralelo o entrada analógica 5 RE1: puede ser escritura de control para el puerto paralelo esclavo o entrada analógica 6 RE2: puede ser el selector de control para el puerto paralelo esclavo o la entrada analógica 7.
<b>Vss</b>	12.3 1	P	-	Referencia de tierra para los pines lógicos y de I/O
<b>Vdd</b>	11.3 2	P	-	Fuente positiva para los pines lógicos y de I/O
<b>NC</b>	-	-	-	No está conectado internamente

## RECURSOS UTILIZADOS

NOMBRE	PIN	DESIGNACIÓN	FUNCIÓN
<b>CONTROL DE SENSORES</b>			
RB0	33	ENTRADA	Señal del sensor S1
RB1	34	ENTRADA	Señal del sensor S2
RB2	35	ENTRADA	Señal del sensor S3
RB3	36	ENTRADA	Señal del sensor S4
RB4	37	ENTRADA	Señal del sensor S5
RB5	38	ENTRADA	Señal del sensor S6
<b>PULSANTES</b>			
RC1	16	ENTRADA	Encendido / Apagado
MCLR	1	ENTRADA	Reset del microcontrolador
<b>LED'S</b>			
RB6	39	SALIDA	Indica el envío de datos
<b>COMUNICACIÓN SERIAL</b>			
RC6 / TX	25	SALIDA	Línea de transmisión inalámbrica
<b>CONEXIONES BÁSICAS</b>			
VDD	11 y 32	ALIMENTACIÓN	Alimentación positiva
VSS	12 Y 31	ALIMENTACIÓN	Referencia o tierra
OSC1	13	ENTRADA	Oscilador
OSC2	14	ENTRADA	Oscilador

El microcontrolador requiere de un circuito básico para su funcionamiento, esto quiere decir que necesita de ciertos componentes como un circuito de reset, circuito oscilador y líneas de alimentación.

Los valores de estos elementos son recomendados por el fabricante y se utilizó un oscilador de cuarzo con una frecuencia de oscilación de 20MHz, la máxima permitida para este microcontrolador. La Figura 2.10 muestra el circuito básico, necesario para el funcionamiento del microcontrolador.



Fuente: Autor

Figura 2.10 Circuito básico para la operación del microcontrolador

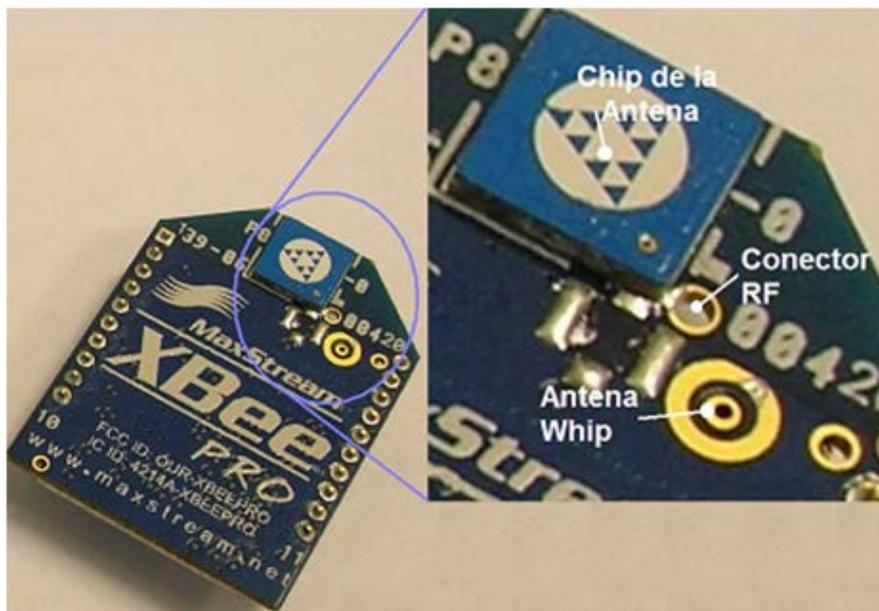
## 2.1.9 INTERFAZ INALÁMBRICA XBEE



Fuente: Autor

Es necesario un medio de transmisión para enviar la información del estado de activación de los sensores del guante a la mano robótica. Para este fin se utilizó dos dispositivos inalámbricos XBEE, uno de ellos sirve como emisor que está colocado en el guante con los sensores y el otro sirve como receptor que está colocado en la mano robótica con los micro servomotores.

En la Fig. 2.11 se observan los elementos del Xbee. El chip de la antena en la parte superior, el conector para la antena RF, y el conector para una antena integrada Whip.



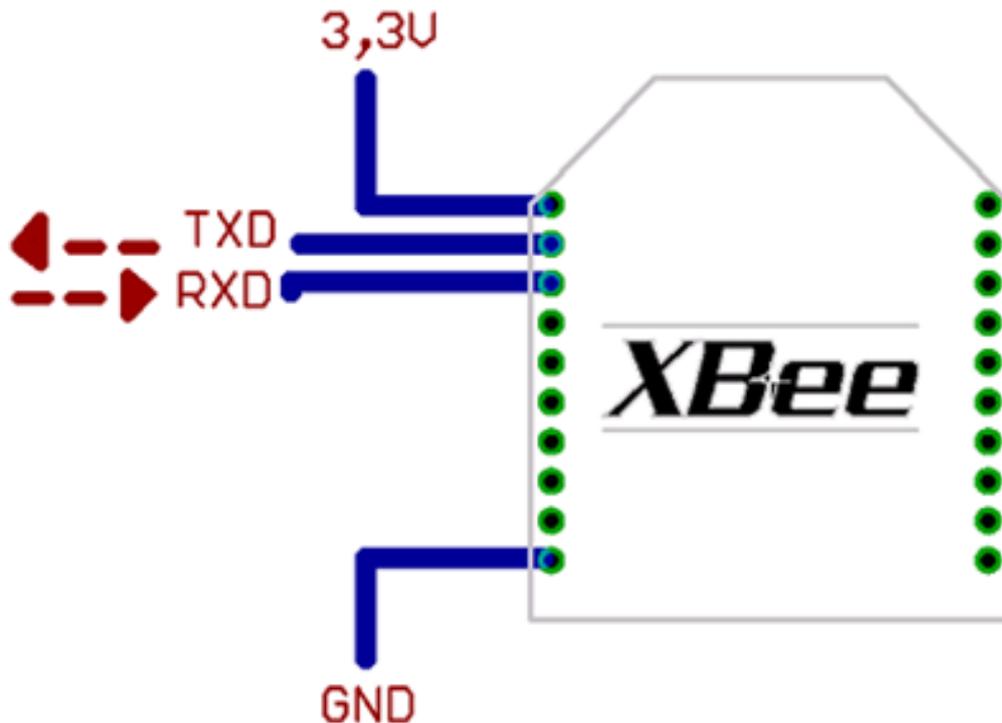
Fuente: [www.olimex.cl](http://www.olimex.cl) 24/05/2010

**Fig. 2.11** Elementos del XBEE

Existen los llamados módulos Xbee PRO de la Serie 1 que se diferencian en la capacidad de alcance, permitiendo en algunos casos doblar la distancia de transmisión, ya que poseen una mayor potencia en la señal. Con los módulos Xbee PRO de la Serie 2, es posible crear redes más complejas, como las llamadas MESH. Estas permiten acceder a un punto remoto, utilizando módulos intermedios para llegar como routers. Además los módulos automáticamente generan la red entre ellos, sin intervención humana alguna, permitiendo la reparación de la red en caso de que algún nodo falle. Al mismo tiempo la red por sí sola resuelve la mejor ruta para un determinado paquete.

## CIRCUITO BÁSICO PARA EL XBEE

La figura 2.12 muestra las conexiones mínimas que necesita el módulo Xbee para poder ser utilizado. Luego de esto, se debe configurar según el modo de operación adecuado para la aplicación requerida por el usuario.



Fuente: Autor

**Fig. 2.12** Conexiones mínimas requeridas para el manejo del XBEE.

El módulo requiere una alimentación desde 2.8 a 3.4 V, la conexión a tierra y las líneas de transmisión de datos por medio del UART (TXD y RXD) para comunicarse con un microcontrolador, o directamente a un puerto serial utilizando algún convertor adecuado para los niveles de voltaje.

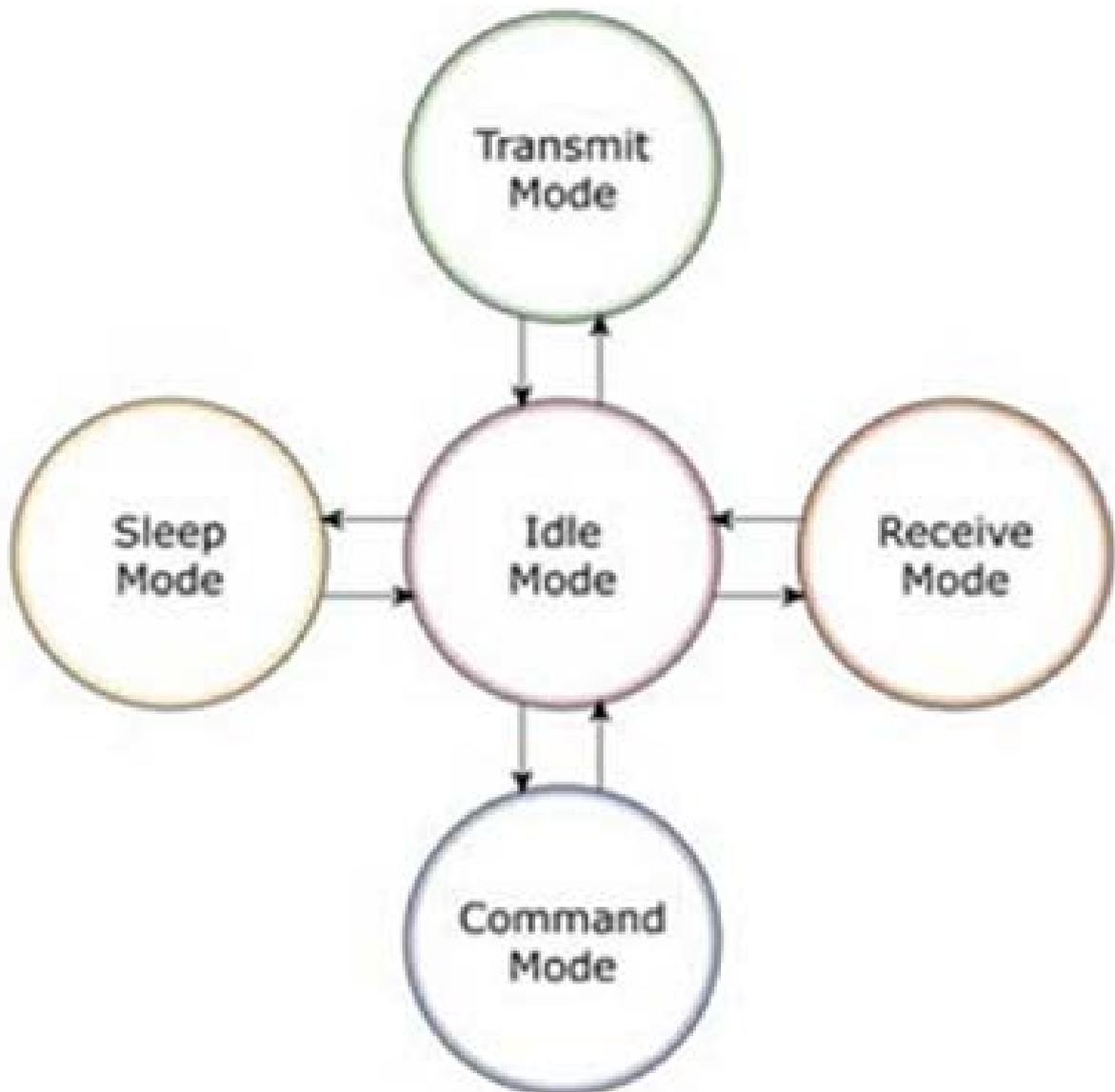
Esta configuración, no permite el uso de Control de Flujo (RTS & CTS), por lo que ésta opción debe estar desactivada en el ODEM do y en el módulo Xbee. En caso de que se envíe una gran cantidad de información, el buffer del módulo se puede sobrepasar.

Para evitar esto existen dos alternativas:

- bajar la tasa de transmisión
- activar el control de flujo.

## MODOS DE OPERACIÓN

Los módulos Xbee, pueden operar en los siguientes 5 modos:



Fuente: [www.olimex.cl](http://www.olimex.cl) 24/05/2010

- Modo RECIBIR
- Modo TRANSMITIR.
- Modo de Bajo Consumo (Sleep Mode).
- Modo de Comando.
- Modo Transparente

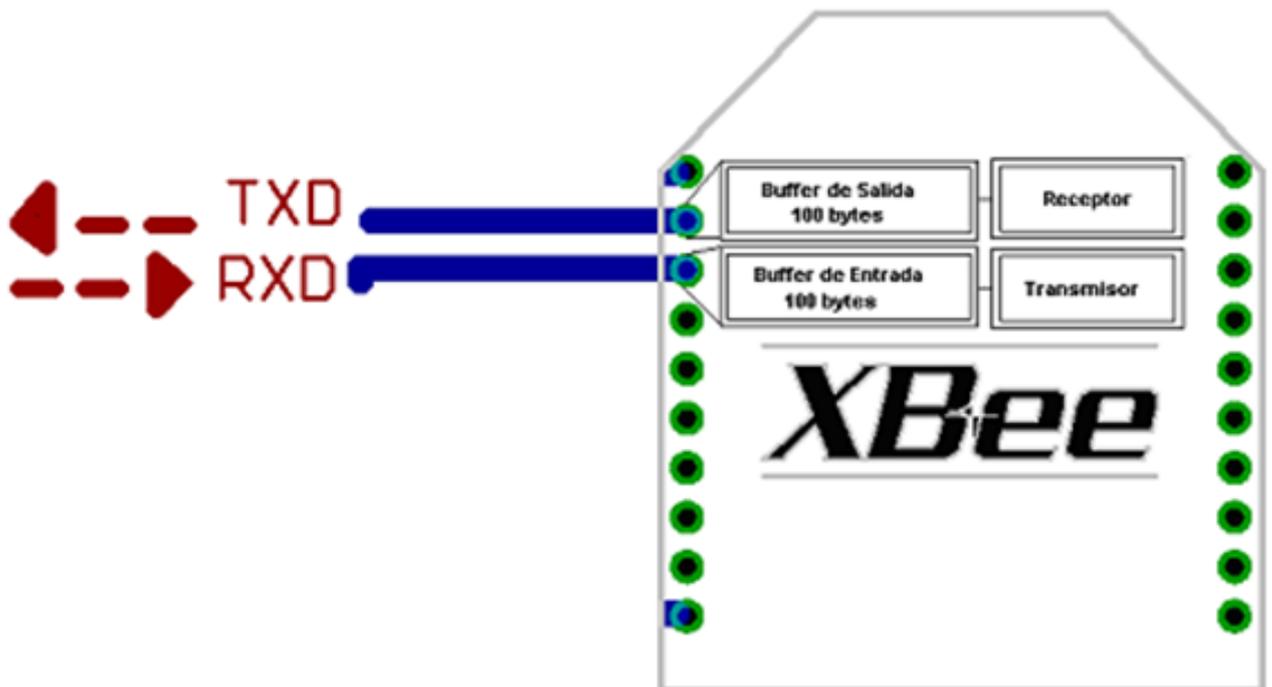
En este proyecto utilizaremos el Modo de Recibir / Transmitir ya que es lo que necesitamos en nuestros circuitos tanto del guante como en la mano robótica.

## **MODO RECIBIR/TRANSMITIR.**

Se encuentra en estos modos cuando el módulo recibe algún paquete RF a través de la antena(modos Receive) o cuando se envía información serial al buffer del pin 3 (UART Data in) que luego será transmitida (modo Transmit).

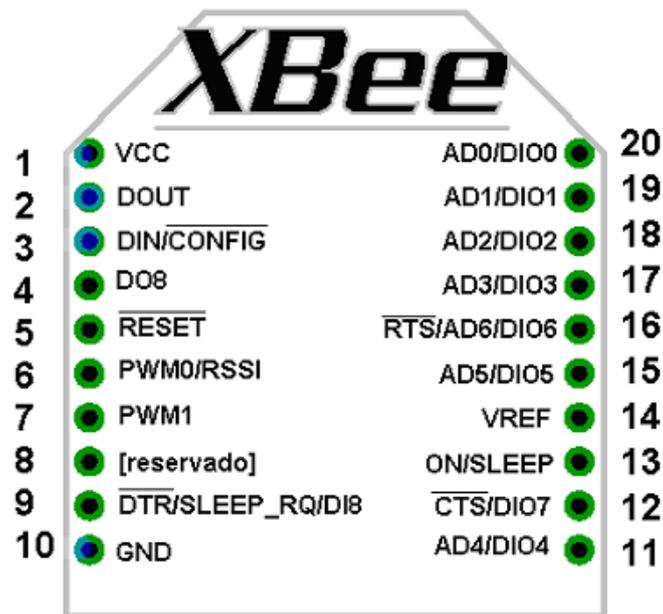
La información transmitida puede ser Directa o Indirecta. En el modo directo la información se envía inmediatamente a la dirección de destino. En el modo Indirecto la información es retenida por el módulo durante un período de tiempo y es enviada sólo cuando la dirección de destino la solicita.

Además es posible enviar información por dos formas diferentes. Unicast y Broadcast. Por la primera, la comunicación es desde un punto a otro, y es el único modo que permite respuesta de quien recibe el paquete RF, es decir, quien recibe debe enviar un ACK (paquete llamado así, y que indica que recibió el paquete, el usuario no puede verlo, es interno de los módulos) a la dirección de origen. Quien envió el paquete, espera recibir un ACK, en caso de que no le llegue, reenviará el paquete hasta 3 veces o hasta que reciba el ACK. Después de los 3 intentos se incrementa el registro de fallas ACK en uno. Para ver el conteo se utiliza el comando EA (ATEA en el Modo de Comandos- ACK Failures), el cual se satura hasta 0xFFFF (65535 decimales). Para resetear el registro se debe ingresar ATEA0. En el modo Broadcast la comunicación es entre un nodo y a todos los nodos de la red. En este modo, no hay confirmación por ACK.



Fuente: [www.olimex.cl](http://www.olimex.cl) 24/05/2010

## DETALLES FÍSICOS



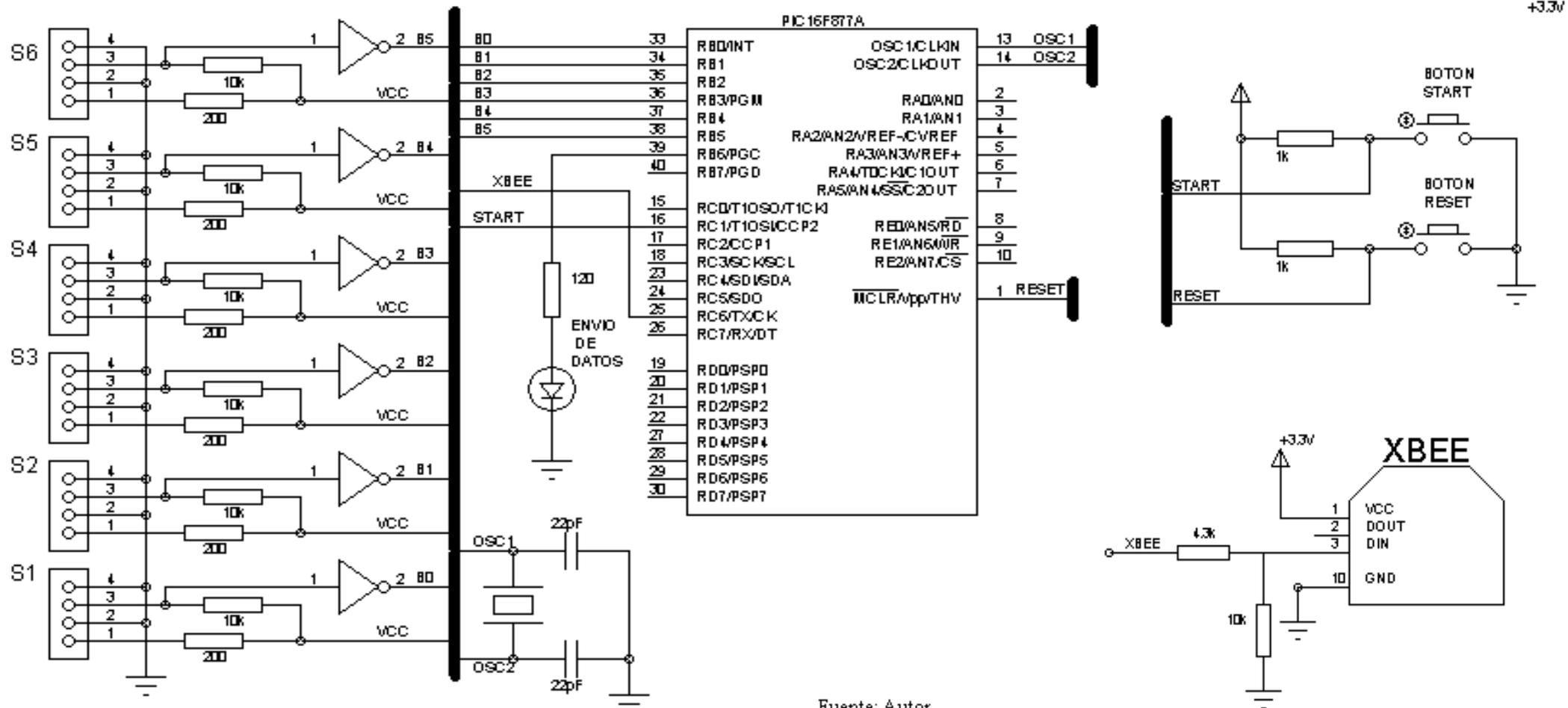
Pin #	Name	Direction	Description
1	VCC	-	Power supply
2	DOUT	Output	UART Data Out
3	DIN / CONFIG	Input	UART Data In
4	DO8*	Output	Digital Output 8
5	RESET	Input	Module Reset (reset pulse must be at least 200 ns)
6	PWM0 / RSSI	Output	PWM Output 0 / RX Signal Strength Indicator
7	PWM1	Output	PWM Output 1
8	[reserved]	-	Do not connect
9	DTR / SLEEP_RQ / DI8	Input	Pin Sleep Control Line or Digital Input 8
10	GND	-	Ground
11	AD4 / DIO4	Either	Analog Input 4 or Digital I/O 4
12	CTS / DIO7	Either	Clear-to-Send Flow Control or Digital I/O 7
13	ON / SLEEP	Output	Module Status Indicator
14	VREF	Input	Voltage Reference for A/D inputs
15	Associate / AD5 / DIO5	Either	Associated Indicator, Analog Input 5 or Digital I/O 5
16	RTS / AD6 / DIO6	Either	Request-to-Send Flow Control, Analog Input 6 or Digital I/O 6
17	AD3 / DIO3	Either	Analog Input 3 or Digital I/O 3
18	AD2 / DIO2	Either	Analog Input 2 or Digital I/O 2
19	AD1 / DIO1	Either	Analog Input 1 or Digital I/O 1
20	AD0 / DIO0	Either	Analog Input 0 or Digital I/O 0

Fuente: [www.olimex.cl](http://www.olimex.cl) 24/05/2010

### 2.1.10 CIRCUITO IMPLEMENTADO EN EL GUANTE SENSORIZADO

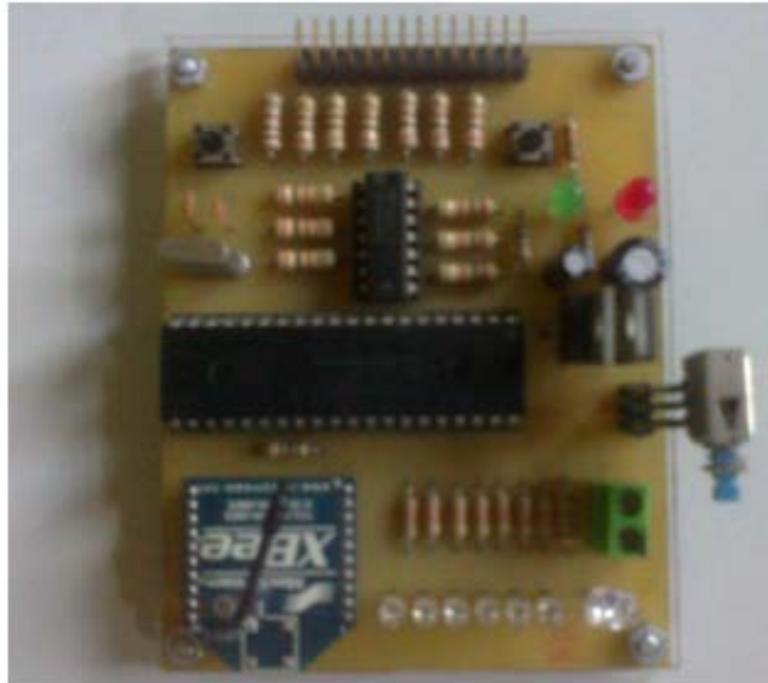
Una vez diseñados todos los circuitos para la captura de datos y su transmisión desde el guante sensorizado; a continuación, la Figura 2.13 muestra el diagrama esquemático del circuito implementado en el guante sensorizado

Fig. 2.13 Diagrama esquemático del circuito implementado en el guante



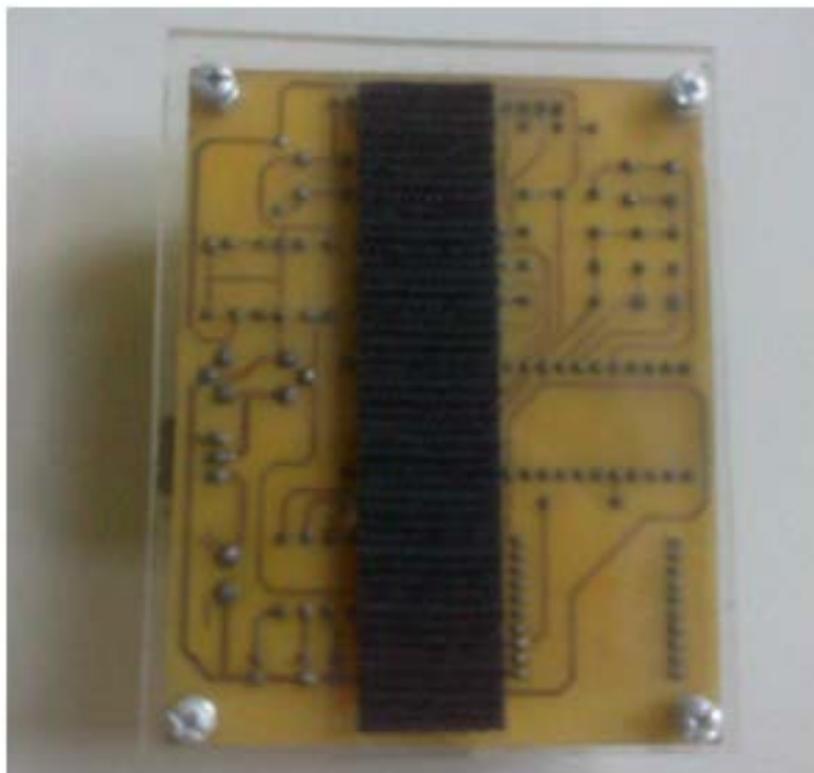
Fuente: Autor

Aquí tenemos la imagen de cómo quedó nuestra tarjeta implementada para el control del guante sensorizado.



Fuente: Autor

La tarjeta controladora del guante fue colocada sobre una placa tomada a medida de acrílico, para poder colocarle velcro al acrílico y así poder montarla en el guante con los sensores



Fuente: Autor

Las siguientes imágenes ilustran como quedo el guante sensorizado descrito en este capítulo



Fuente: Autor

En las imágenes podemos observar que los cables de datos de los sensores están cubiertos con tubos térmicos, los cuales al aplicarles calor se contraen y sirven como protección para cualquier tipo de cableado que hagamos o tengamos.



Fuente: Autor

## 2.2 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA MANO ROBÓTICA

### 2.2.1 ARQUITECTURA DEL SISTEMA

Una segunda parte de este proyecto de titulación corresponde a la mano robótica, la cual está formada por: una etapa de control y una etapa de control de los micro servomotores las cuales se encuentran debidamente separadas en la tarjeta impresa.

La primera de ellas, la etapa de control, se encarga de realizar todas las operaciones necesarias para el funcionamiento de la mano robótica, para lo cual toma los datos enviados por el guante sensorizado a través de una interfaz inalámbrica obtenida del XBEE, adquiere la señal del estado de los sensores del guante sensorizado, ejecuta el algoritmo de control y genera una señal de control tipo PULSO la cual será enviada a la etapa de control de los micro servomotores.

La segunda etapa corresponde al circuito de control de micros servomotores, el cual funciona con una fuente independiente. Esta etapa toma las señales de PULSO enviadas por el PIC16F877A estos PULSOS ingresan a los micros servomotores y de acuerdo a los pulsos generados se moverán cada dedo de la mano robótica dependiendo cual se active o no. La Figura 2.14 muestra la arquitectura de la mano robótica.

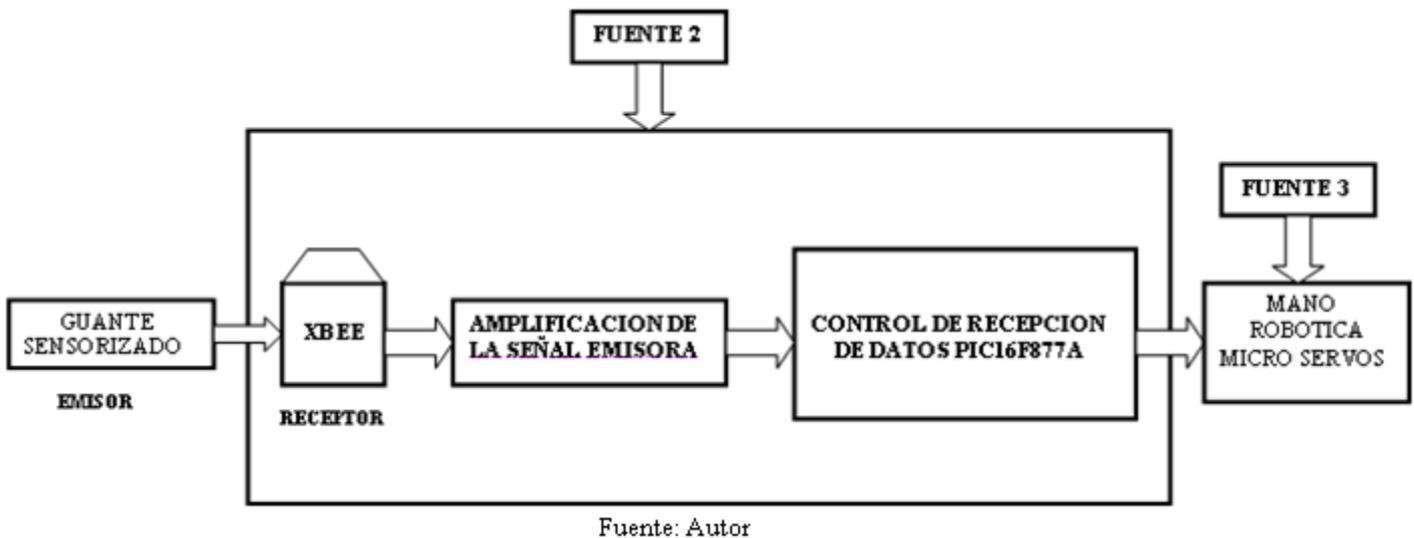


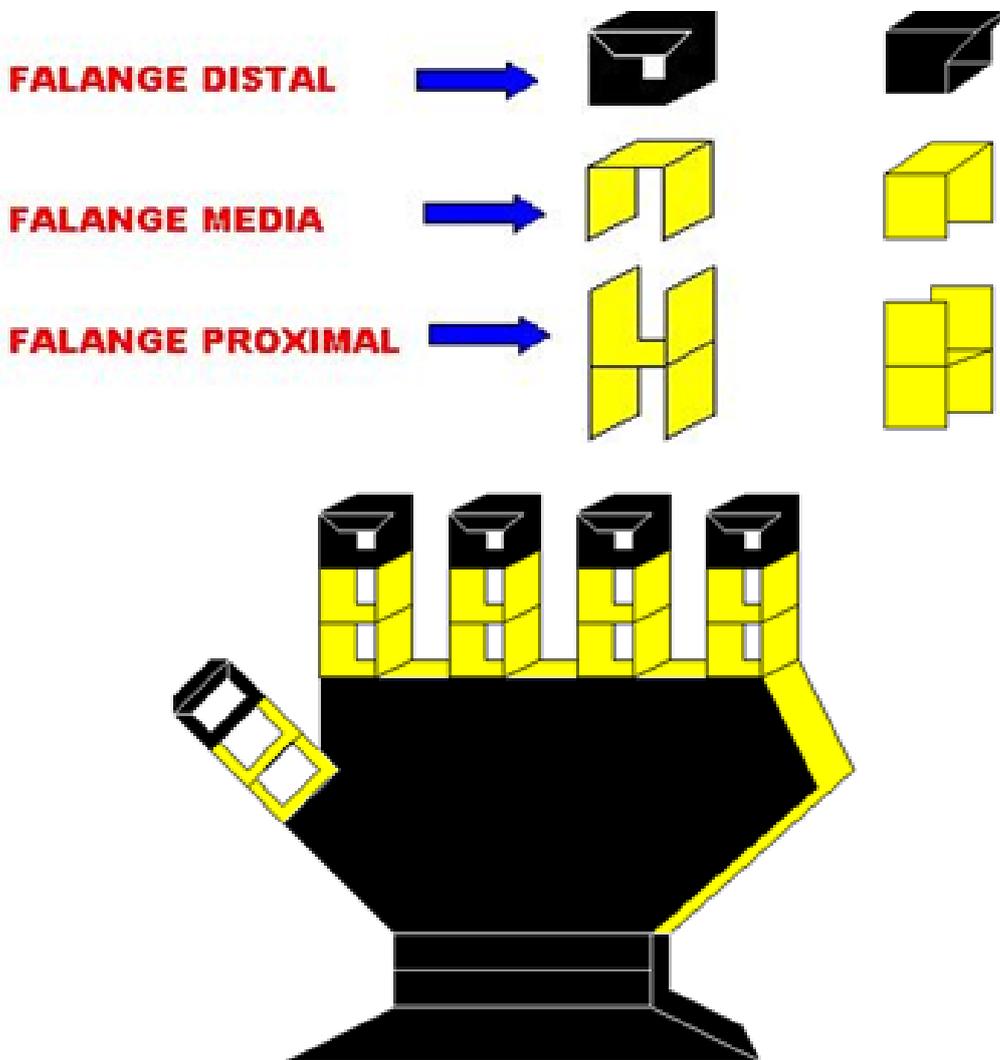
Fig. 2.14 Arquitectura del sistema

### 2.2.2 ESTRUCTURA MECÁNICA

Para el diseño de la estructura mecánica de la mano robot se tomó en cuenta que no podrá hacer los mismos movimientos complejos de una mano humana, por el momento solo podrá realizar los movimientos básicos, ya que la mecánica para realizar estos movimientos es muy compleja. El material que elegí para construir la mano robótica fue el acrílico debido a que es fácil de manipular, es más presentable, resistente y también son pocos los proyectos que emplean este tipo de material. Cada pieza hecha de acrílico tiene un espesor de 2 mm.

La mano robótica diseñada tiene cinco dedos ubicados sobre una superficie plana la cual viene a ser la palma de la mano. Para el tamaño de los dedos se tomó como referencia el tamaño de los micros servomotores. La mano robótica se la vera un poco robusta debido al tamaño de los micro servomotores usados.

La figura 2.15 nos ilustra el diseño acabado de la mano robótica.



Fuente: Autor

Fig. 2.15 Diseño de la mano robótica

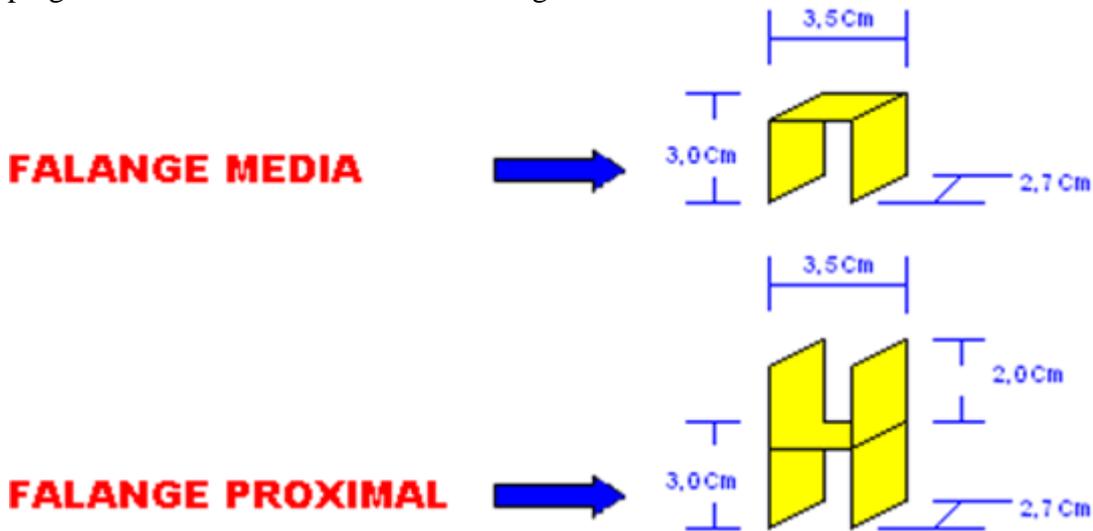
Cada falange en la mano humana corresponde también a una falange en la mano robótica. Las falanges distales de los cinco dedos de la mano robótica son iguales, tienen la misma medida, su forma y dimensiones en cm. Se las puede observar en la Figura 2.16.



Fuente: Autor

**Fig. 2.16** Falange distal utilizada en los dedos de la mano robótica

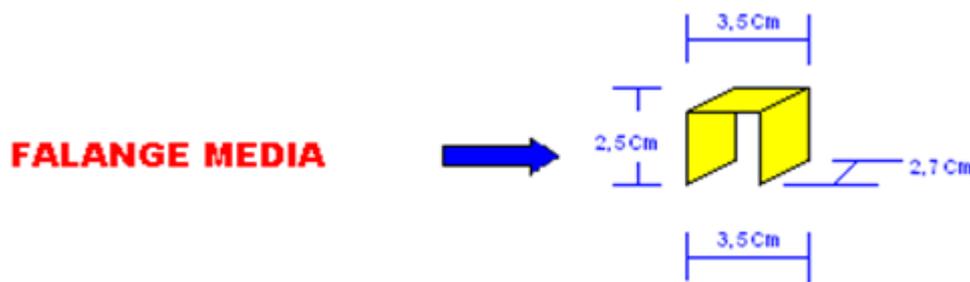
Así mismo, las falanges medias de los dedos: índice y anular; así como la falange proximal del dedo meñique, índice, medio y anular; todas son iguales. Su forma y dimensiones en cm. se las puede observar en la Figura 2.17. Cabe recalcar que el dedo pulgar de la mano humana no tiene falange media.



Fuente: Autor

**Fig. 2.17** Falanges media y proximal utilizadas en la mano robótica

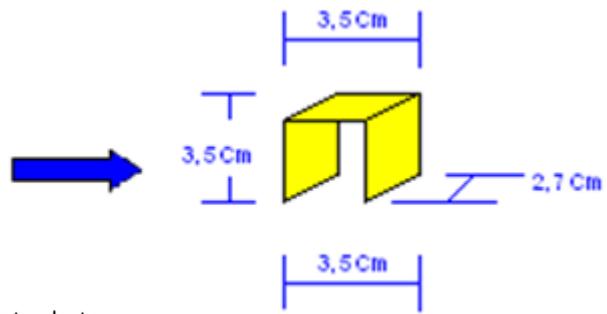
La falange media del dedo meñique y medio tiene diferentes dimensiones así como también la falange proximal del dedo pulgar. Su forma y dimensiones en cm. para cada una de ellas se las puede observar en las Figuras 2.18, 2.19 y 2.20.



Fuente: Autor

**Fig. 2.18** Falange media del dedo meñique

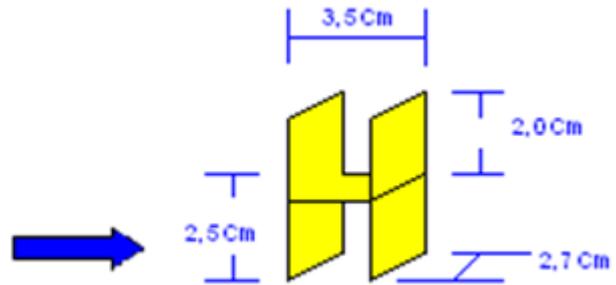
## FALANGE MEDIA



Fuente: Autor

Fig. 2.19 Falange media del dedo medio

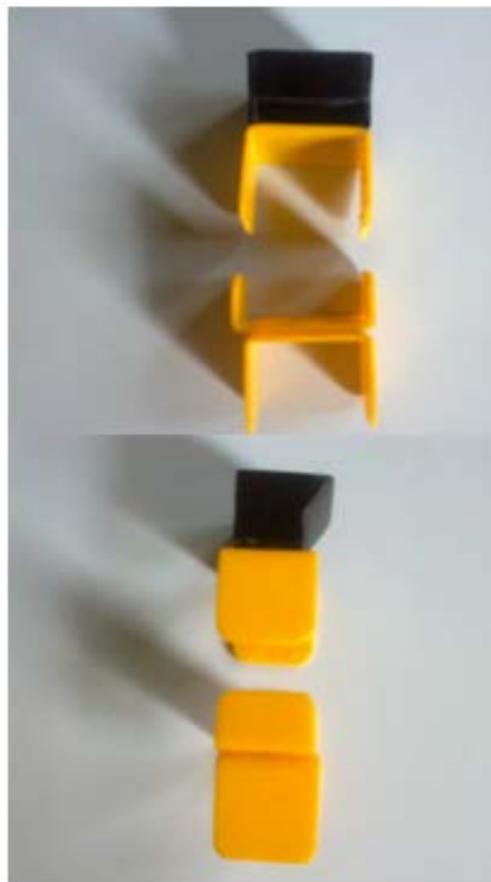
## FALANGE PROXIMAL



Fuente: Autor

Fig.20 Falange proximal del dedo pulgar

Las siguientes imágenes muestran como quedo la estructura de la mano robótica con sus respectivos dedos colocados.

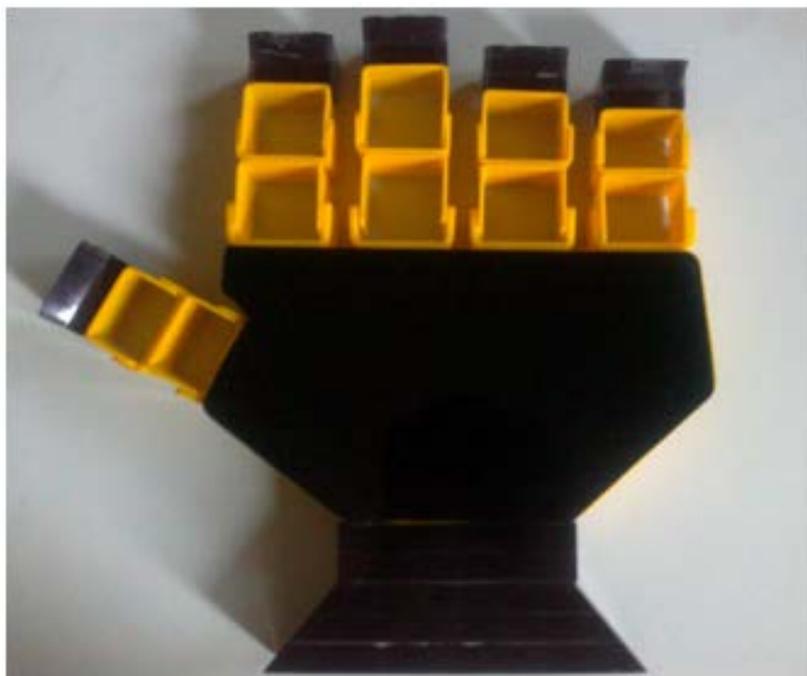


Fuente: Autor



Fuente: Autor

La imagen ilustra la base de la mano robótica donde van a ir colocados los micros servomotores y las falanges anteriormente nombradas.



Fuente: Autor

En los espacios en blanco serán colocados los micro servomotores el orden de cada servo se ilustra en la siguiente imagen.



Fuente: Autor

Como podemos observar esta indicado la ubicación de cada micro servomotor con la cual realizamos la tabla lógica del guante sensorizado, de esta manera la mano robótica imitara los movimientos que hagamos con el guante.

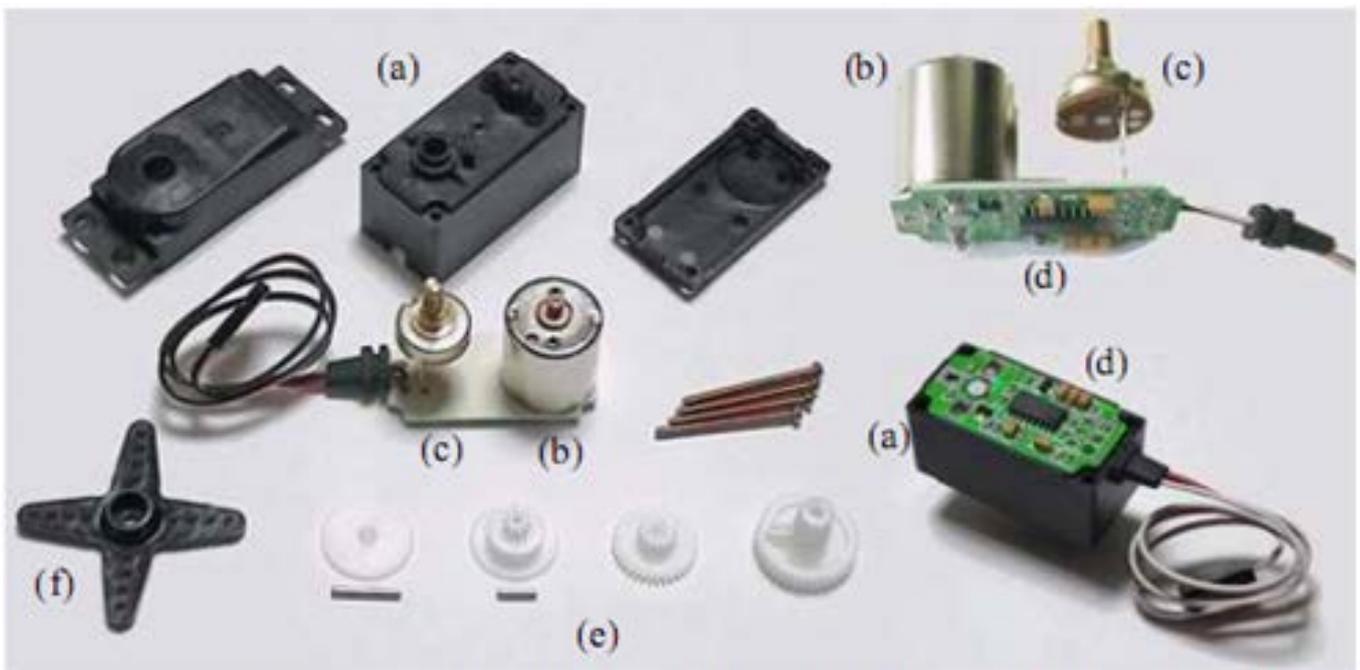
## 2.2.3 MICRO SERVOMOTORES

### DESCRIPCIÓN

Un servomotor (o servo) es un motor de corriente continua que tiene la capacidad de ser controlado en posición. Es capaz de ubicarse en cualquier posición dentro de un rango de operación (generalmente de 180°) y mantenerse estable en dicha posición. Los servos se suelen utilizar en robótica, automática y modelismo (vehículos por radio-control, RC) debido a su gran precisión en el posicionamiento.

En general, los servos suelen estar compuestos por 4 elementos fundamentales:

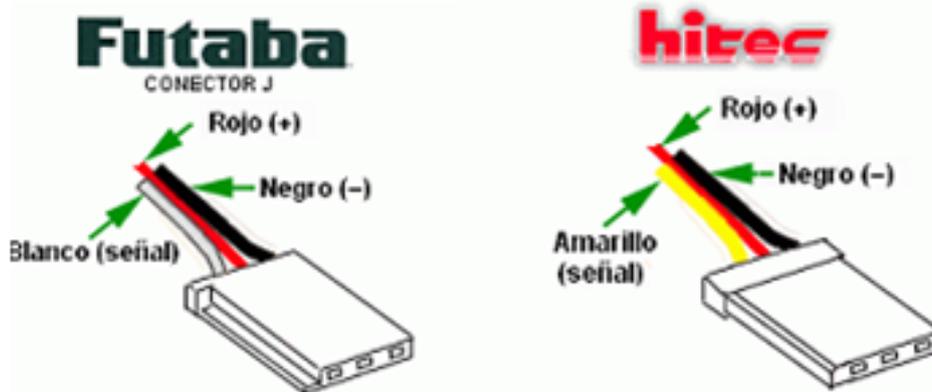
- **Motor de corriente continua (DC):** Es el elemento que le brinda movilidad al servo. Cuando se aplica un potencial a sus dos terminales, este motor gira en un sentido a su velocidad máxima. Si el voltaje aplicado sus dos terminales es inverso, el sentido de giro también se invierte.
- **Engranajes reductores:** Tren de engranajes que se encarga de reducir la alta velocidad de giro del motor para acrecentar su capacidad de torque (o par-motor).
- **Sensor de desplazamiento:** Suele ser un potenciómetro colocado en el eje de salida del servo que se utiliza para conocer la posición angular del motor.
- **Circuito de control:** Es una placa electrónica que implementa una estrategia de control de la posición por realimentación. Para ello, este circuito compara la señal de entrada de referencia (posición deseada) con la posición actual medida por el potenciómetro. La diferencia entre la posición actual y la deseada es amplificada y utilizada para mover el motor en la dirección necesaria para reducir el error.



Componentes de un servo: a) carcasa; b) motor DC; c) potenciómetro; d) circuito de control; e) tren reductor; f) brazo (elemento terminal en el eje).

Fuente: Autor

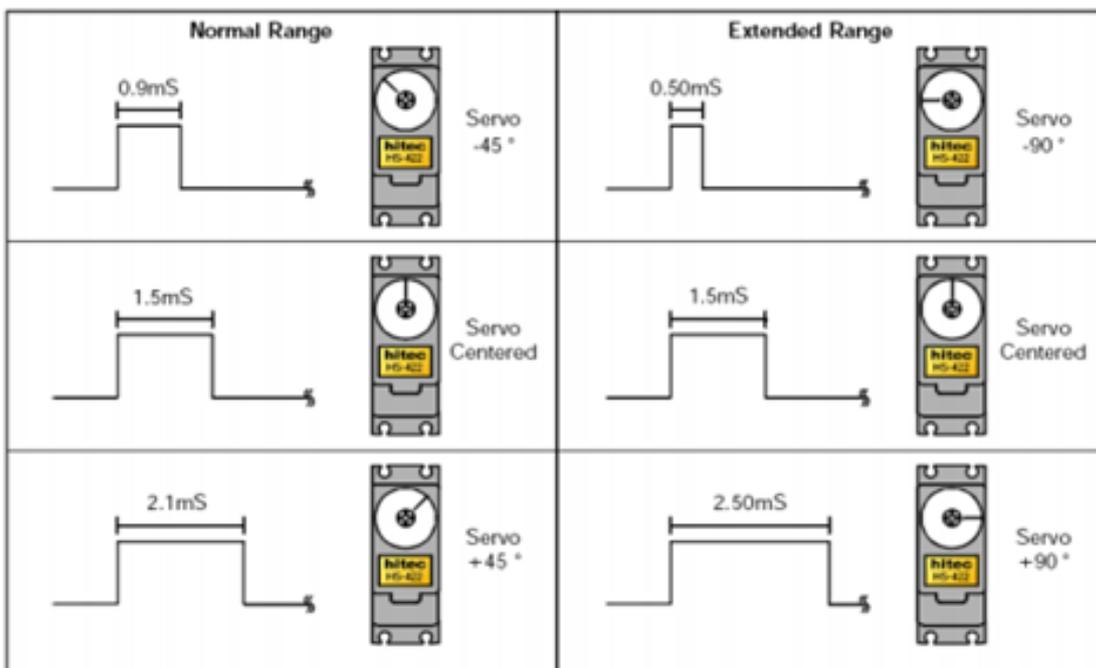
Los servos disponen de tres cables (Figura): dos cables de alimentación (positivo y negativo/masa) que suministran un voltaje 4.8-6V y un cable de control que indica la posición deseada al circuito de control mediante señales PWM (“Pulse Width Modulation”).



. Colores de los cables de los principales fabricantes de servos.

Fuente: Autor

Las señales PWM utilizadas para controlar los servos están formadas por pulsos positivos cuya duración es proporcional a la posición deseada del servo y que se repiten cada 20ms (50Hz). Todos los servos pueden funcionar correctamente en un rango de movimiento de 90°, que se corresponde con pulsos PWM comprendidos entre 0.9 y 2.1ms. Sin embargo, también existen servos que se pueden mover en un rango extendido de 180° y sus pulsos de control varían entre 0.5 y 2.5ms (Figura). Antes de utilizar un servo habrá que comprobar experimentalmente su rango de movimiento para no dañarlo. Para mantener fijo un servo en una posición habrá que enviar periódicamente el pulso correspondiente; ya que si no recibe señales, el eje del servo quedará libre y se podrá mover ejerciendo una leve presión.



Pulsos PWM para controlar servos.

Fuente: Autor

El micro servo es igual que un servo motor, la diferencia esta en que el micro servo es más pequeño, el modelo usado en la mano robótica es el micro servo modelo HXT900 de la marca HEXTRONIK.



Fuente: [www.hobbyking.com](http://www.hobbyking.com)

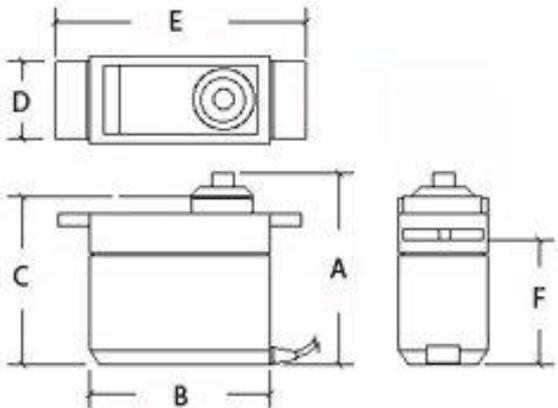
A continuación sus características:

- Size: 21x12x22 mm / 0.74x0.42x0.78 in
- Voltage: 3v ~ 6v
- Weight: 9g / 0.32oz
- Speed: 0.12 sec/60(4.8V)
- Torque: 1.6 kg-cm
- Working Temp: -30C~60C
- Teflon Bushing, 15cm wire, coreless motor



Fuente: [www.hobbyking.com](http://www.hobbyking.com)

Product Config Table	
Weight (g)	9
Torque (kg)	1.6
Speed (Sec/60deg)	0.12
A(mm)	29
B(mm)	23
C(mm)	26
D(mm)	12
E(mm)	32
F(mm)	16

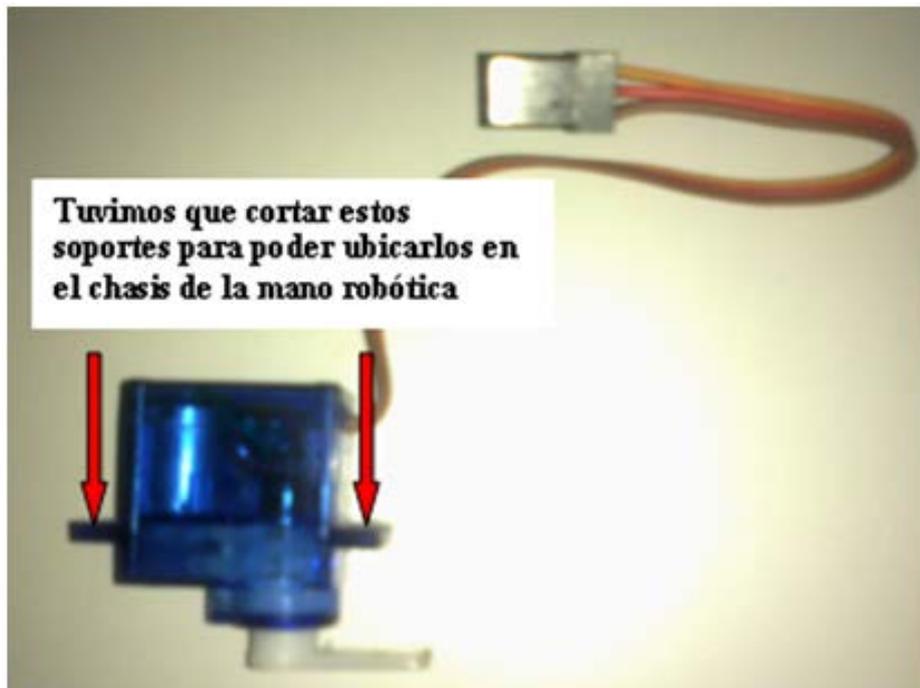


Sizes given are rounded to the nearest 'mm'.

Fuente: [www.hobbyking.com](http://www.hobbyking.com)

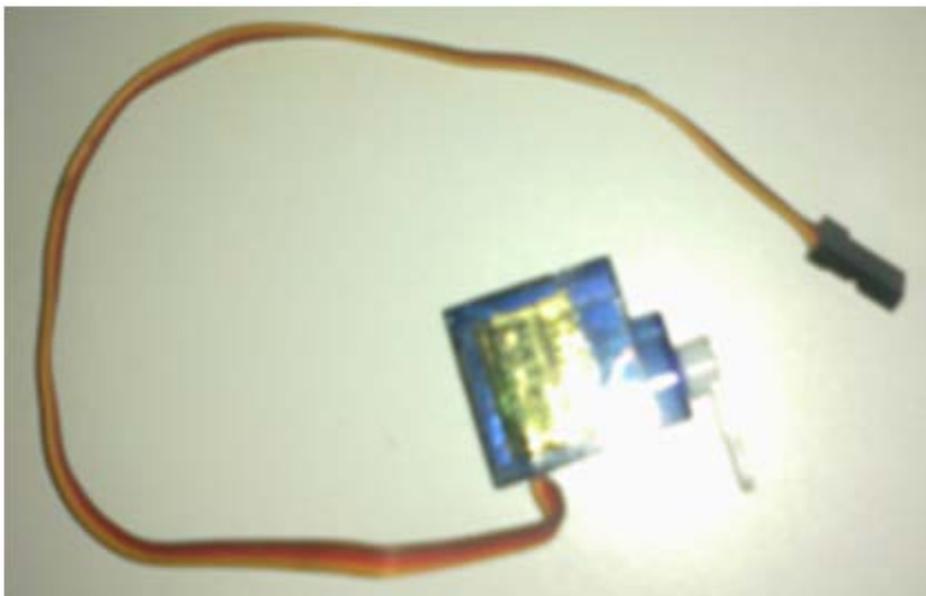
Lo bueno de trabajar con estos micros servos es que no consumen mucha corriente, poseen un juego de engranajes interno por eso tienen un buen torque, pueden posicionarse en cualquier ángulo comprendido entre 0 y 180 grados y son veloces dependiendo del pulso que se les de.

A los micros servos se les tuvo que modificar unas cosas las cuales mostraremos a continuación:



Fuente: Autor

Y los micros servos quedan de la siguiente manera



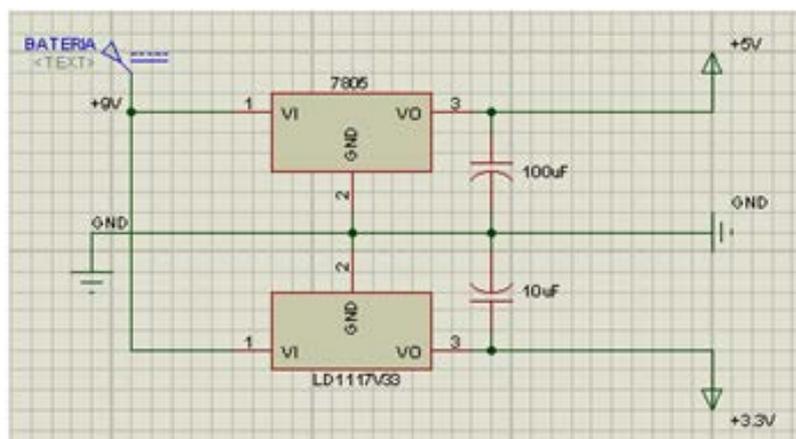
Fuente: Autor

## 2.2.4 FUENTES DE ALIMENTACIÓN DE LA MANO ROBÓTICA

En esta etapa del proyecto se utilizan dos fuentes de alimentación externas, la primera de ellas polariza a toda la etapa de control. Pero, se implementa un circuito regulador con el fin de mantener constante el voltaje de alimentación; y, la segunda fuente alimenta a la etapa de potencia, ésta fuente es la que provee a los micro servomotores

### 2.2.4.1 FUENTE DE LA ETAPA DE CONTROL

Es una fuente cuya función principal es alimentar a la etapa de control de la mano robótica. El voltaje de entrada se lo obtiene a través de una fuente externa en este caso una batería de +9V. Para garantizar la estabilidad del voltaje se optó por incluir un circuito regulador de +5V, basado en el circuito integrado regulador 7805 y otro circuito regulador de +3.3V que los obtenemos del integrado LD1117V33. Por ello el voltaje de la fuente externa debe ser superior a 7V debido a que este es el voltaje mínimo al que el regulador empieza a funcionar y menor de 40V debido a que es el voltaje máximo que soporta este dispositivo. La Figura 2.21 muestra la fuente de alimentación para la etapa de control de la mano robótica.

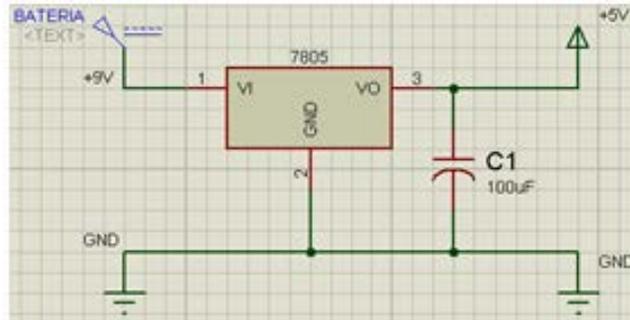


Fuente: Autor

Fig. 2.21 Circuito de la fuente para la etapa de control

### 2.2.4.2 FUENTE DE LA ETAPA DE POTENCIA

La etapa de potencia utiliza una fuente independiente a la etapa de control. Una de las ventajas de estos micro servos es que no consumen mucha corriente ni voltaje, así que solo los alimentaremos con +5V, recordando que su capacidad máxima es de +6V. La figura 2.22 muestra el circuito de la fuente.



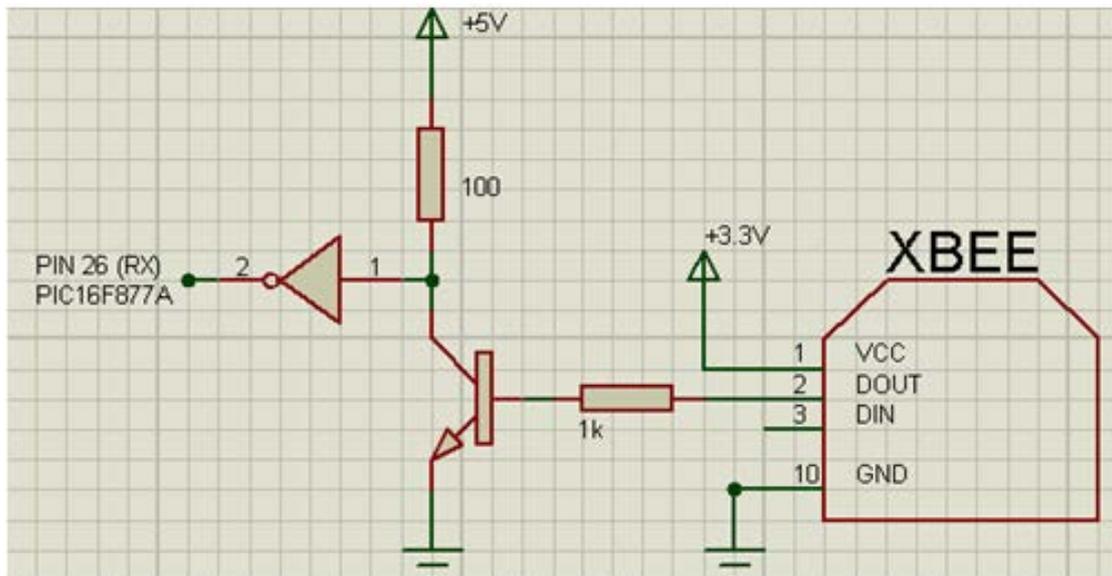
Fuente: Autor

**Fig. 2.22** Circuito de la fuente para la etapa de potencia

### 2.2.5 INTERFAZ XBEE

Para este fin se utilizo dos dispositivos inalámbricos XBEE, uno de ellos sirve como emisor que esta colocado en el guante con los sensores y el otro sirve como receptor que esta colocado en la mano robótica con los micro servomotores.

Tanto el XBEE EMISOR como el XBEE RECEPTOR necesitan ser configurados para poder enviar y recibir información, anteriormente ya se configuro el XBEE EMISOR ahora vamos a configurar el XBEE RECEPTOR la figura 2.23 nos muestra el circuito para poder recibir información inalámbrica.

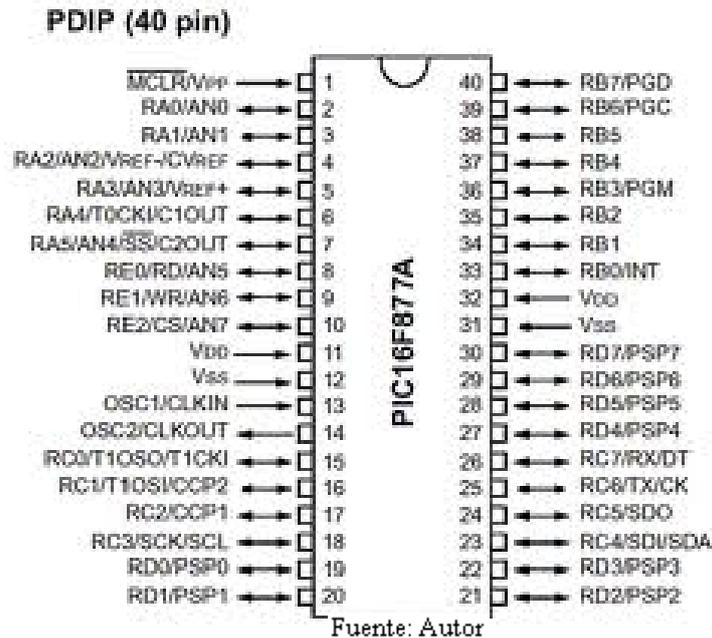


Fuente: Autor

**Fig. 2.23** Circuito receptor de información.

Con la información que le llega al pin 26 del Microcontrolador, nosotros ya podemos empezar a programar nuestro PIC y así poder establecer los pulsos para cada Micro servomotor.

## 2.2.6 MICROCONTROLADOR PIC16F877A



La función principal de este microcontrolador es la de realizar el algoritmo de control en base a los datos obtenidos a través de la comunicación inalámbrica del XBEE, del guante sensorizado. Y de esta manera podemos generar los pulsos para los micros servos. Los recursos utilizados por este microcontrolador son mostrados en la Tabla

<b>NOMBRE</b>	<b>PIN</b>	<b>DESIGNACIÓN</b>	<b>FUNCIÓN</b>
<b>CONTROL DE MICRO SERVOMOTORES</b>			
RD0	19	SALIDA	Micro servo M1A
RD1	20	SALIDA	Micro servo M2A
RD2	21	SALIDA	Micro servo M3A
RD3	22	SALIDA	Micro servo M4A
RB7	40	SALIDA	Micro servo M5A
RB0	33	SALIDA	Micro servo M1B
RB1	34	SALIDA	Micro servo M2B
RB2	35	SALIDA	Micro servo M3B
RB3	36	SALIDA	Micro servo M4B
RB4	37	SALIDA	Micro servo M5B
<b>PULSANTES</b>			
MCLR	1	ENTRADA	Reset del microcontrolador
<b>LED'S</b>			
RB6	39	SALIDA	Indica que recibe datos
<b>COMUNICACIÓN SERIAL</b>			
RC7 / RX	26	ENTRADA	Línea de recepción inalámbrica
<b>CONEXIONES BASICAS</b>			
VDD	11 y 32	ALIMENTACION	Alimentación positiva
VSS	12 Y 31	ALIMENTACION	Referencia o tierra
OSC1	13	ENTRADA	Oscilador
OSC2	14	ENTRADA	Oscilador

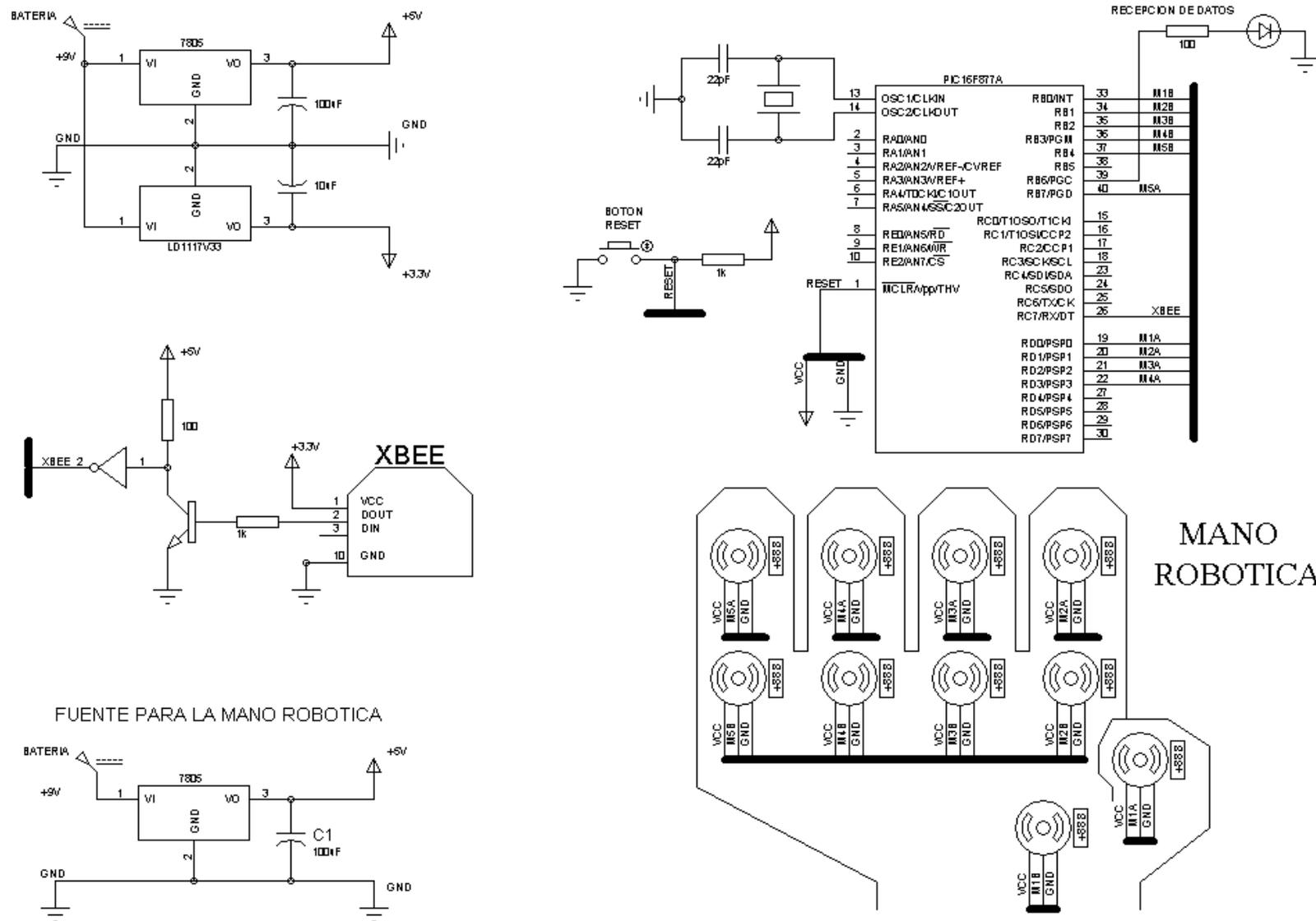
### **2.2.7 CIRCUITO IMPLEMENTADO EN LA MANO ROBÓTICA**

Diseñados todos los circuitos que conforman tanto la etapa de control como la etapa de potencia, la Figura 2.24 muestra el diagrama esquemático del circuito implementado en la mano robótica.

En este capítulo se diseñó el hardware, tanto del guante sensorizado como de la mano robótica. También se realizó el diseño de los circuitos de control, comunicación y aislamiento del guante sensorizado y de la mano robótica. Además, se diseñaron todos los circuitos necesarios para la conversión D/A (Digital-Analógica) utilizando la técnica de pulsos, esto incluye la etapa de potencia.

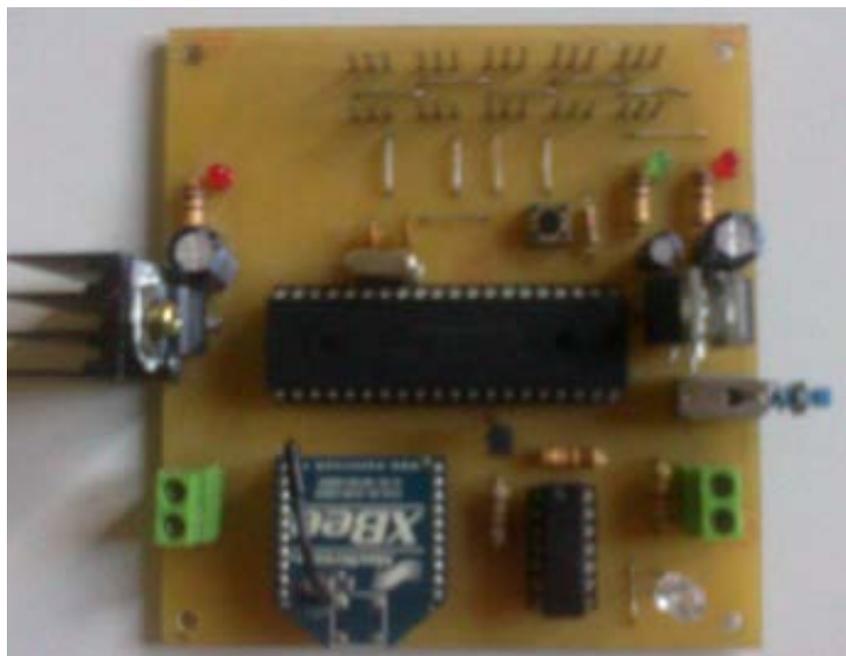
En el siguiente capítulo se diseñará todo el software de soporte de los microcontroladores 1 y 2 para controlar el sistema.

Fig. 2.24 Circuito implementado en la mano robótica.

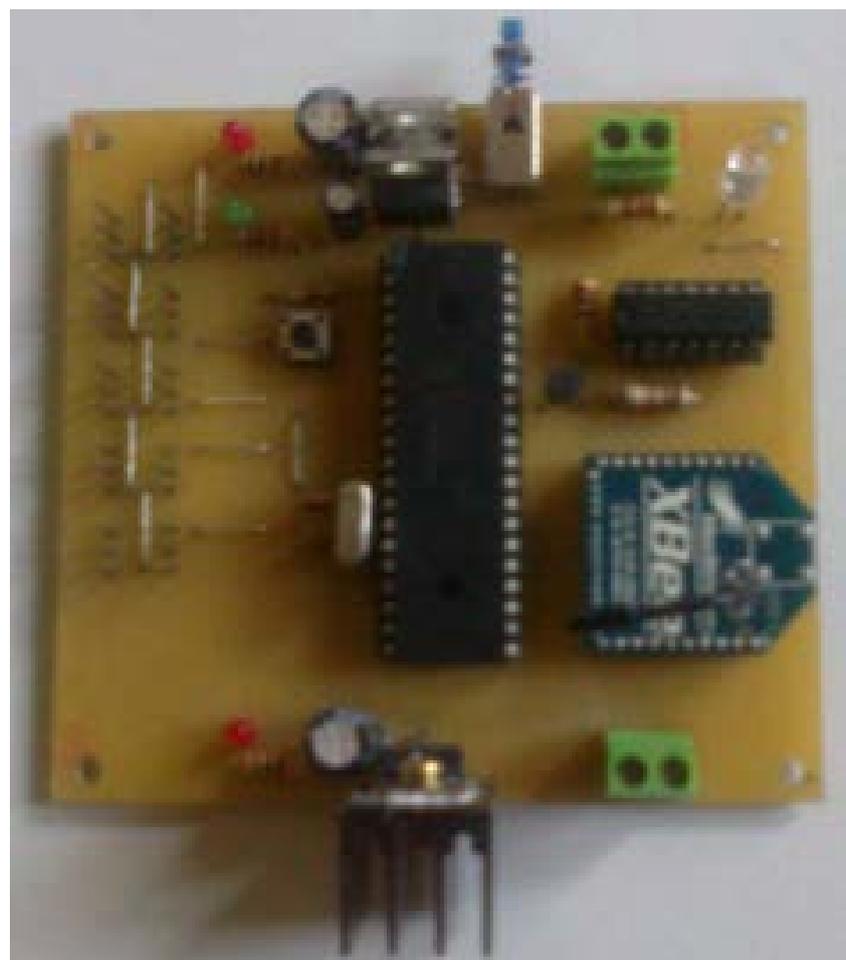


Fuente: Autor

Aquí tenemos la imagen de cómo quedó nuestra tarjeta implementada para el control de la mano robótica.



Fuente: Autor



Fuente: Autor

Las siguientes imágenes ilustran como quedo la mano robótica descrita en este capítulo



Fuente: Autor



Fuente: Autor



Fuente: Autor

Aquí esta la imagen de cómo quedo la mano robótica con los micros servomotores incorporados, las falanges colocadas y la mano robótica forrada de acrílico.

## **CAPÍTULO 3**

### **DESARROLLO DEL PROGRAMA DE CONTROL**

Una vez diseñado todo el hardware necesario, en el presente capítulo se describen los requerimientos del software para alcanzar los objetivos planteados.

Todas las funciones a realizarse en el guante sensorizado son realizadas con la ayuda de un programa de control implementado en un microcontrolador PIC16F877A (PIC1).

El PIC16F877A (PIC 2) encargado de las tareas de control y encargado de generar las señales de pulsos necesarias para el manejo de los Microservos de la mano robótica.

El compilador utilizado en la elaboración de los programas de los PIC's 1 y 2 fue MicroCode Studio, dicho compilador puede trabajar con instrucciones alto y bajo nivel (Basic y Ensamblador).

#### **3.1 DISEÑO DEL PROGRAMA DEL PIC16F876A (PIC1) UTILIZADO EN EL GUANTE SENSORIZADO**

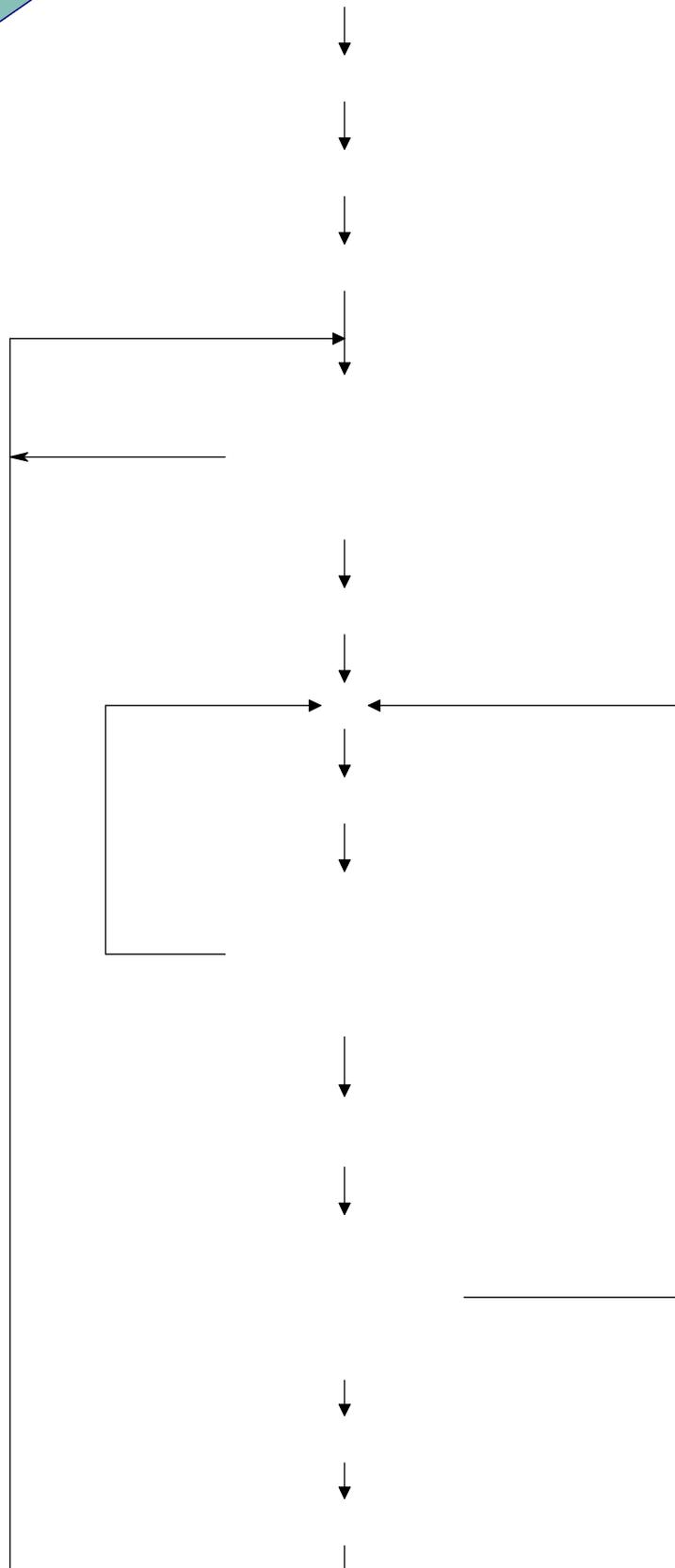
El programa de control utilizado en el guante sensorizado es el encargado de seleccionar y procesar las señales acondicionadas enviadas por los sensores fotoeléctricos ubicados en el guante. Adicionalmente, el PIC1 ejecuta una selección de instrucciones de cada uno de los sensores y transmite estos valores cuando el control de la mano robótica lo requiere.

##### **3.1.1 PROGRAMA PRINCIPAL DEL PIC1**

El programa principal en su primera etapa se encarga de declarar todas las variables y etiquetas que serán utilizadas en el programa, luego configura los puertos y registros; y, los limpia para evitar errores durante el programa. Una vez realizadas todas estas tareas el PIC espera hasta que la tecla de START sea presionada. Si la tecla de START ya fue presionada el PIC actualiza el valor de los LED'S.

El PIC realiza todo este proceso en una forma continua mientras no se detecte un pulso en el botón de RESET. Si el botón de RESET es presionado, el PIC deja de leer las entradas, actualiza los LED'S y se encierra en un lazo infinito hasta que la tecla de START sea nuevamente presionada.

La Figura 3.1 muestra el algoritmo del programa principal implementado en el PIC1.



Fuente: Autor

**Figura 3.1** Algoritmo del programa principal PIC1

El algoritmo del programa principal del PIC1 se lo amplía a continuación en lenguaje estructurado.

***Declarar variables y etiquetas***

Declarar todas las variables que se van a usar en el programa.

Declarar todas las etiquetas que se utilizaran en el programa.

***Fin tarea***

***Configurar registros y puertos***

Configurar los registros que se utilizarán en el programa

Configurar los puertos del PIC, como entradas o salidas

***Fin tarea***

***Limpiar puertos y registros***

Limpiar todos los registros que se utilizaran en el programa

Establecer condiciones iniciales en los puertos

***Fin tarea***

***Actualizar LED de datos***

Apagar LED indicador de ENVIO DE DATOS

***Fin tarea***

***Obtener datos de los sensores***

Chequea el estado de cada sensor si esta activo o no

Repite la tarea hasta obtener todas las combinaciones ingresadas en el programa

***Fin tarea***

***Realizar comparación con la tabla ingresada en el programa***

Compara el estado de cada sensor con el ingresado en la tabla del programa

Dependiendo de las combinaciones dependerá la función de salida a cada micro servo

***Fin tarea***

***Actualizar LED de dato de Salida***

Encender LED indicador de ENVIO DE DATOS

***Fin tarea***

***Envío de datos por el XBEE***

Envía los datos seleccionados por el programa a partir de la tabla lógica

Establece comunicación inalámbrica con la mano robótica

***Fin tarea***

## **3.2 DISEÑO DEL PROGRAMA DEL PIC 167F87A (PIC2) PARA EL CONTROL DE LA MANO ROBÓTICA**

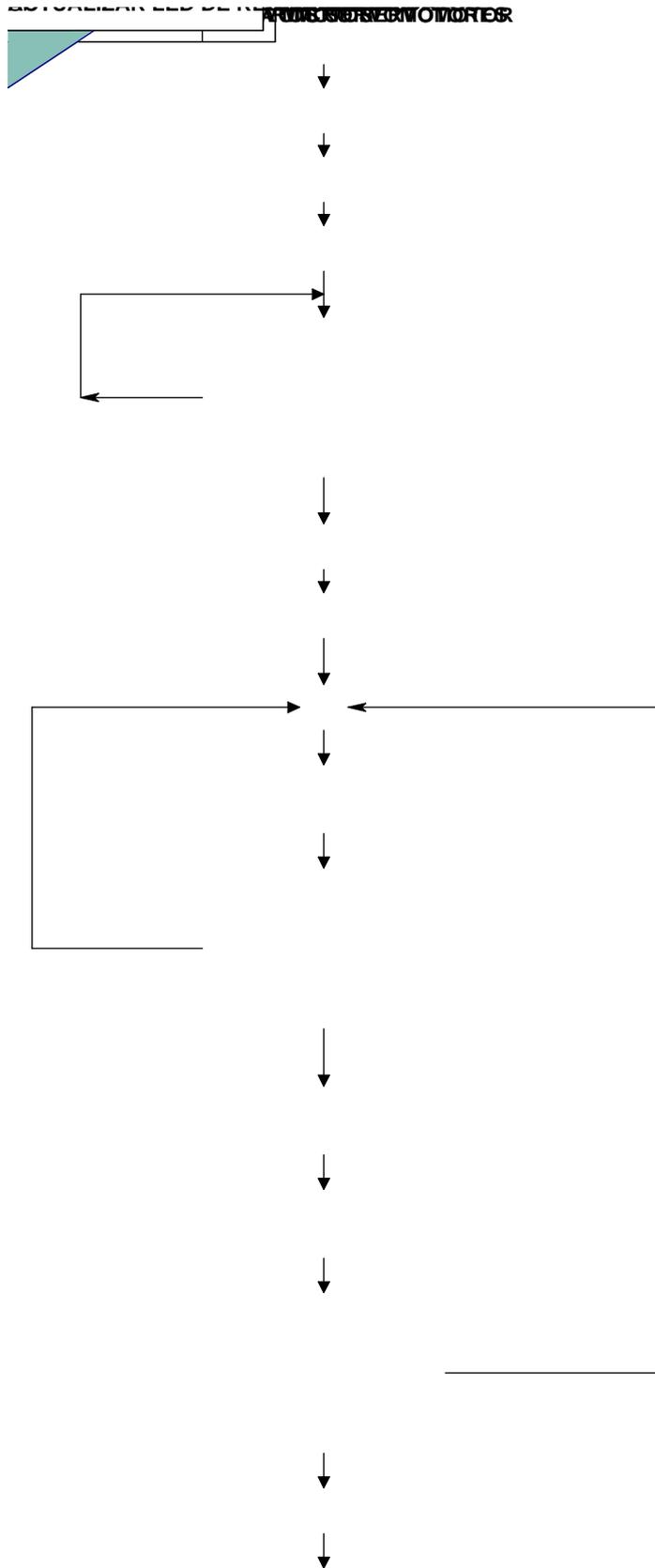
El programa de control del PIC2 es el encargado realizar el algoritmo de control necesario para el control de la mano robótica. Para ello se comunica de manera inalámbrica con el guante sensorizado para obtener los datos del estado de cada sensor y también de acuerdo a esta información el PIC2 podrá saber que función es seleccionada para el manejo de cada dedo de la mano robótica.

### **3.2.1 PROGRAMA PRINCIPAL DEL PIC2**

El programa principal en su primera etapa se encarga de declarar todas las variables y etiquetas que serán utilizadas en el programa. Una vez declaradas todas las variables y etiquetas necesarias se procede a la configuración de puertos y registros, así como su limpieza y condiciones iniciales.

Recepta los datos enviados por el guante sensorizado y de esta manera obtiene las secuencias de activación para cada micro servomotor. Una vez procesada toda esta información el PIC2 genera pulsos de salida para los micros servos de la mano robótica.

La Figura 3.2 muestra el algoritmo del programa principal implementado en el PIC2.



Fuente: Autor

**Figura 3.2** Algoritmo del programa principal PIC2

El algoritmo del programa principal del PIC2 se lo amplía a continuación en lenguaje estructurado.

***Declarar variables y etiquetas***

Declarar todas las variables que se van a usar en el programa.

Declarar todas las etiquetas que se utilizaran en el programa.

***Fin tarea***

***Configurar registros y puertos***

Configurar los registros que se utilizarán en el programa

Configurar los puertos del PIC, como entradas o salidas

***Fin tarea***

***Limpiar puertos y registros***

Limpiar todos los registros que se utilizaran en el programa

Establecer condiciones iniciales en los puertos

***Fin tarea***

***Recepción de datos por el XBEE***

Recibe los datos enviados por el guante sensorizado

***Fin tarea***

***Actualizar LED de recepción de datos***

Apagar LED indicador de RECEPCION DE DATOS

***Fin tarea***

***Obtener las secuencias de activación de los micros servos***

Compara datos enviados del PIC1 con los datos establecidos en el PIC2

***Fin tarea***

***Buscar subrutinas de activación para cada micro servo***

La información de cada dato recibido establece una función de salida

***Fin tarea***

***Generar pulsos de salida para cada micro servo***

Mediante la instrucción PULSOUT se genera los pulsos de salida a cada micro servo

***Fin tarea***

***Actualizar LED de dato de Salida***

Encender LED indicador de RECEPCION DE DATOS

***Fin tarea***

## CAPÍTULO 4

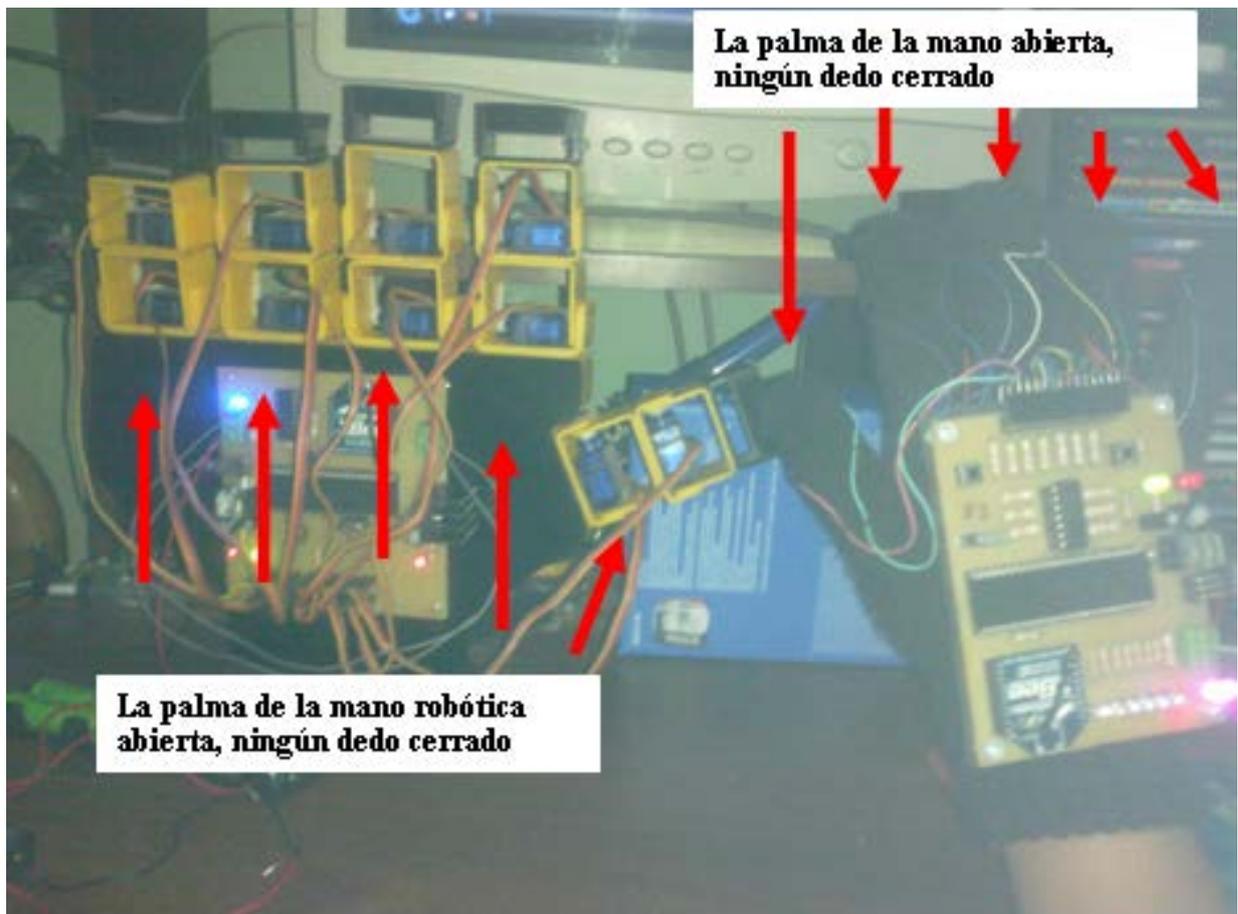
### PRUEBAS Y RESULTADOS

A fin de determinar si la mano robótica satisface los objetivos planteados es necesario someterla a una serie de pruebas con el propósito de observar su comportamiento ante diferentes circunstancias.

Por ello se realizaron las siguientes pruebas:

#### 4.1 POSICIÓN INICIAL

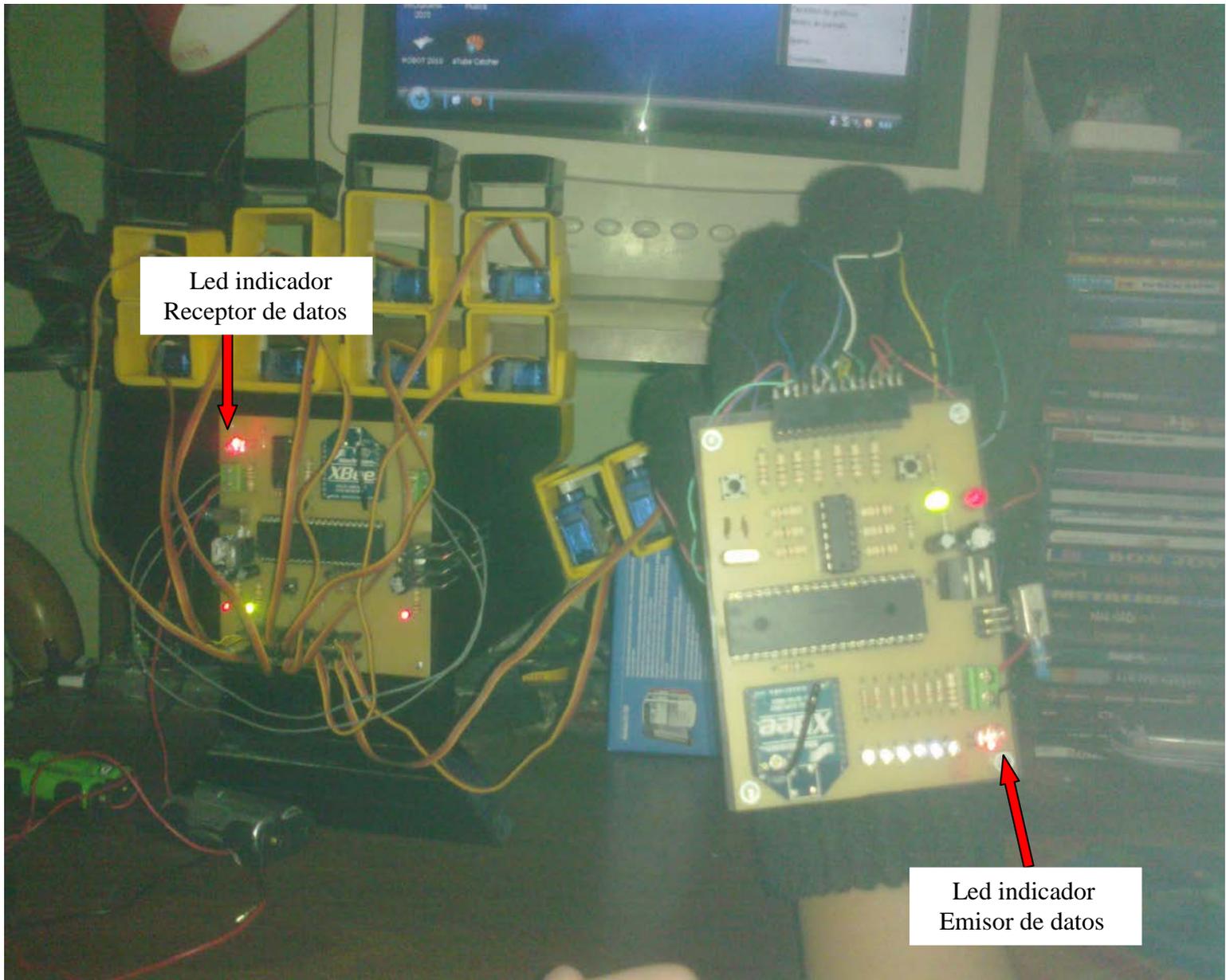
En la prueba de posición inicial se buscó determinar la correcta ejecución del algoritmo encargado de este propósito. En la Figura 4.1 se puede ilustrar la posición de los dedos.



Fuente: Autor  
Figura 4.1 Posición inicial

## 4.2 COMUNICACIÓN GUANTE - MANO ROBÓTICA

Se comprobó la validez de la comunicación entre el guante sensorizado y la mano robótica mediante el encendido de diodos LED'S uno ubicado en la tarjeta del guante sensorizado y el otro ubicado en la tarjeta de la mano robótica.



Fuente: Autor

Figura 4.2 LED'S encendidos indican que existe comunicación inalámbrica.

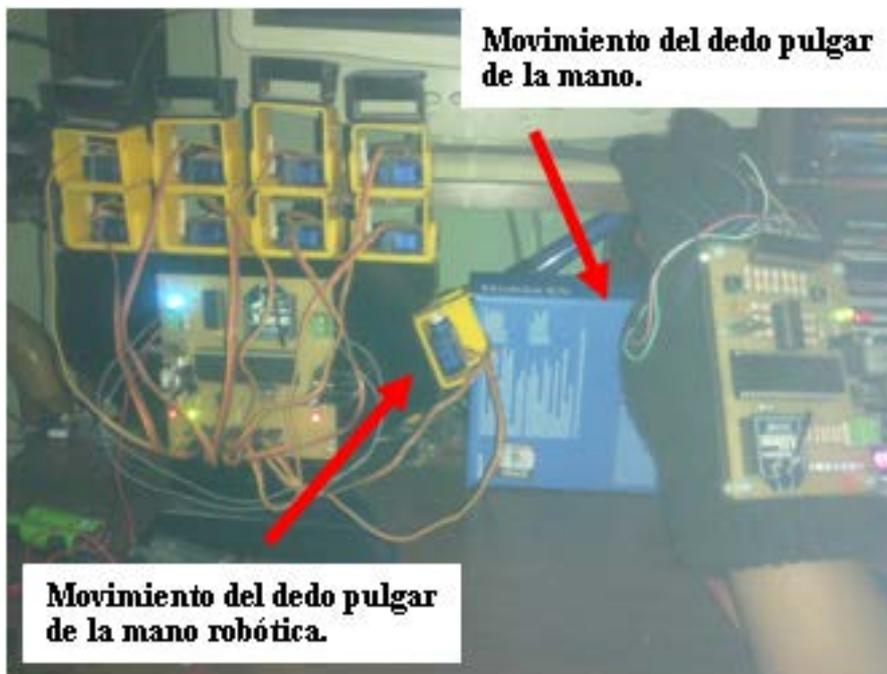
### 4.3 RESPUESTA DE LOS DEDOS AL GUANTE SENSORIZADO

En esta prueba se busco determinar la respuesta de los dedos de la mano robótica ante diferentes posiciones de los dedos de la mano usando el guante sensorizado.

Para determinar la movilidad de cada uno de los dedos primero se procedió a verificar su movilidad en forma independiente. Las Figuras 4.3 a 4.7 muestran la movilidad para cada dedo.



Fuente: Autor

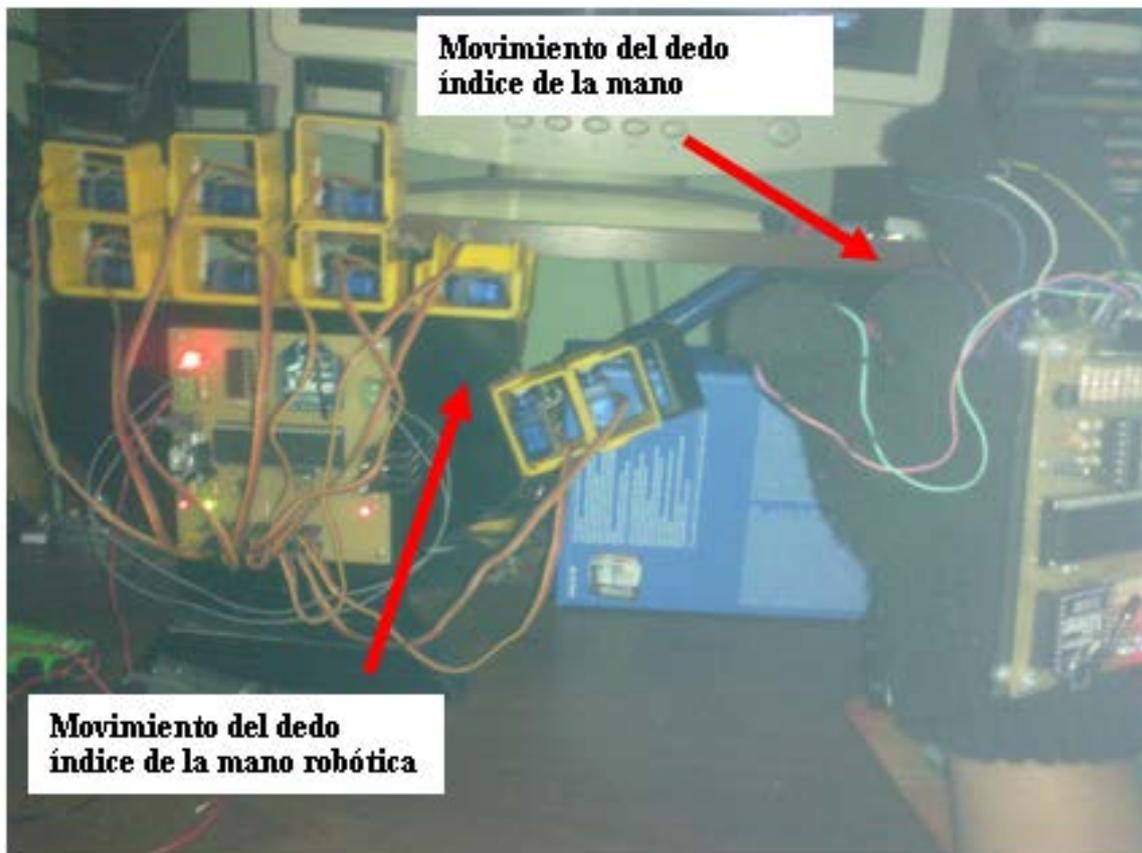


Fuente: Autor

Figura 4.3 Movimiento del dedo pulgar.



Fuente: Autor



Fuente: Autor

Figura 4.4 Movimiento del dedo índice.



Fuente: Autor

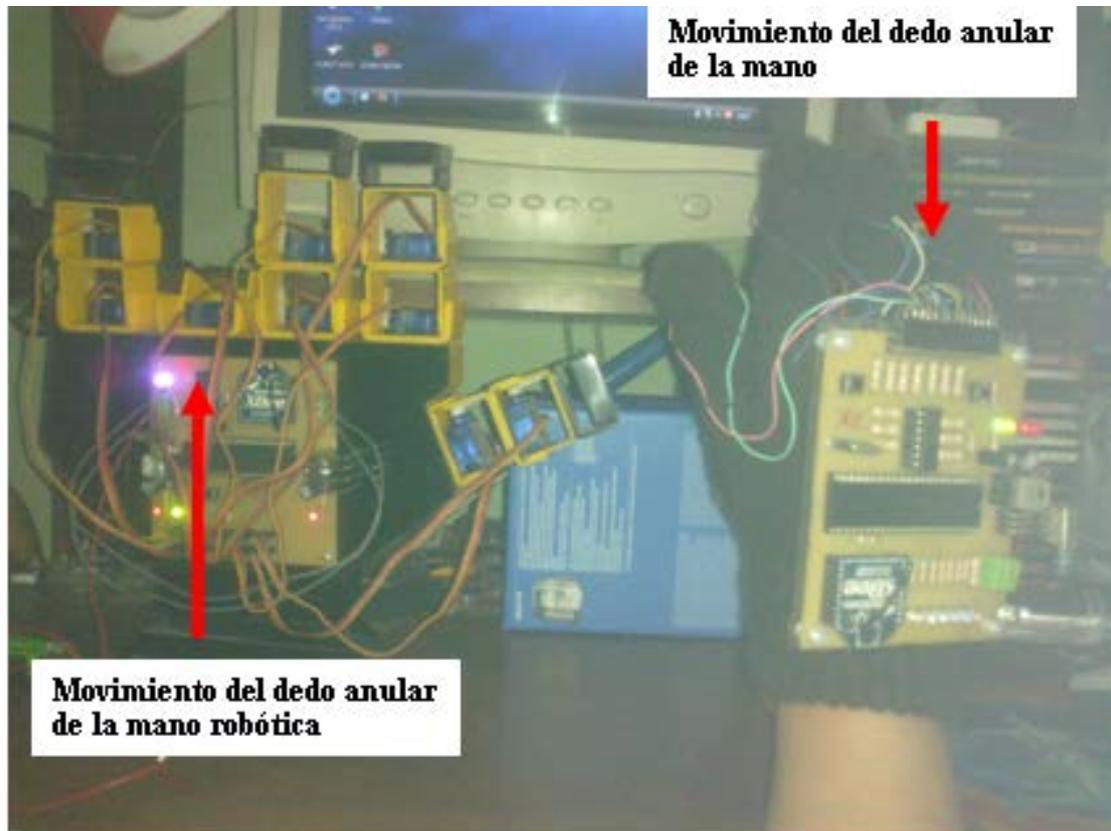


Fuente: Autor

Figura 4.5 Movimiento del dedo medio.



Fuente: Autor

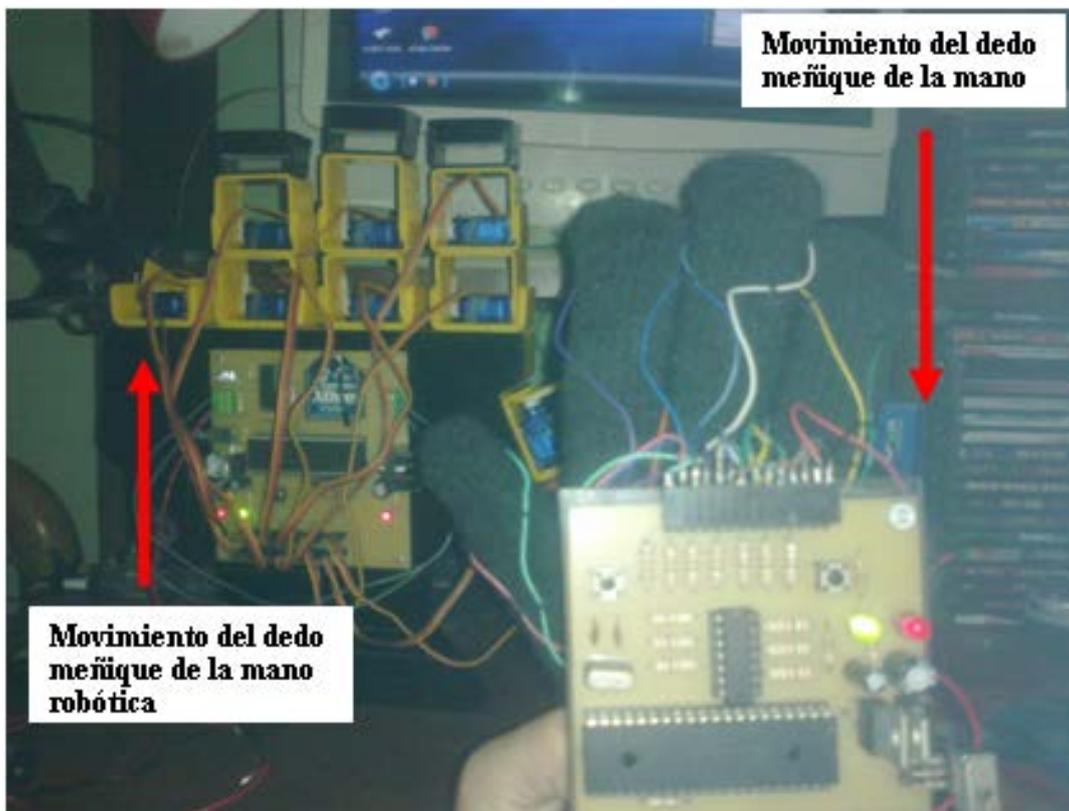


Fuente: Autor

Figura 4.6 Movimiento del dedo anular.



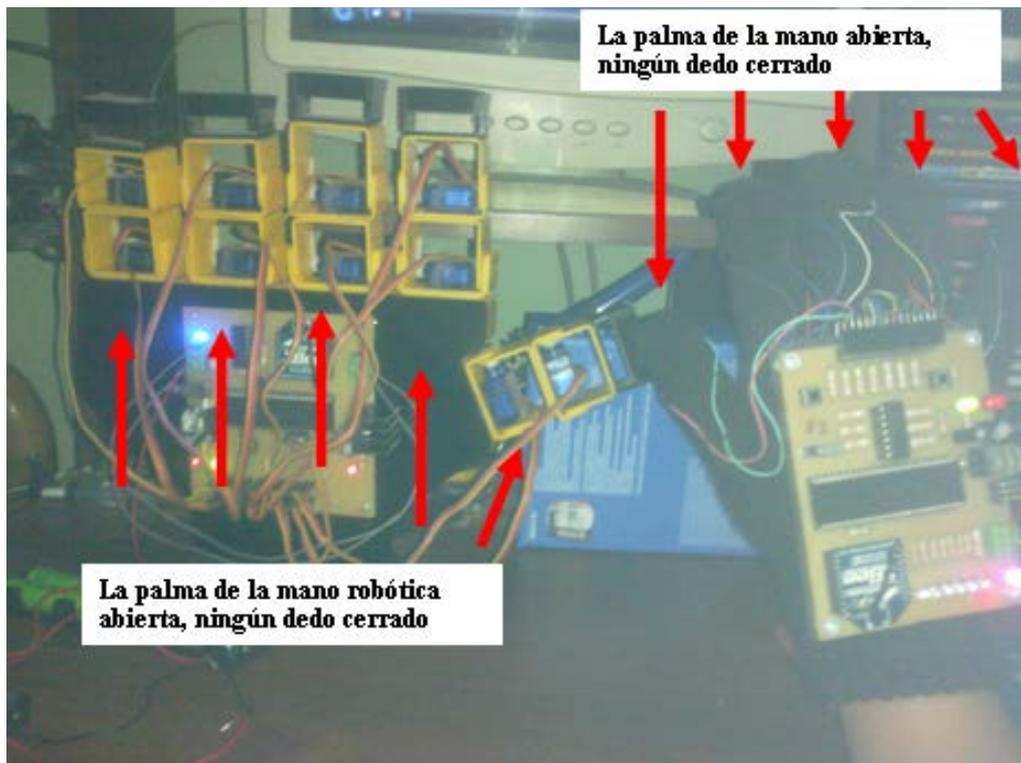
Fuente: Autor



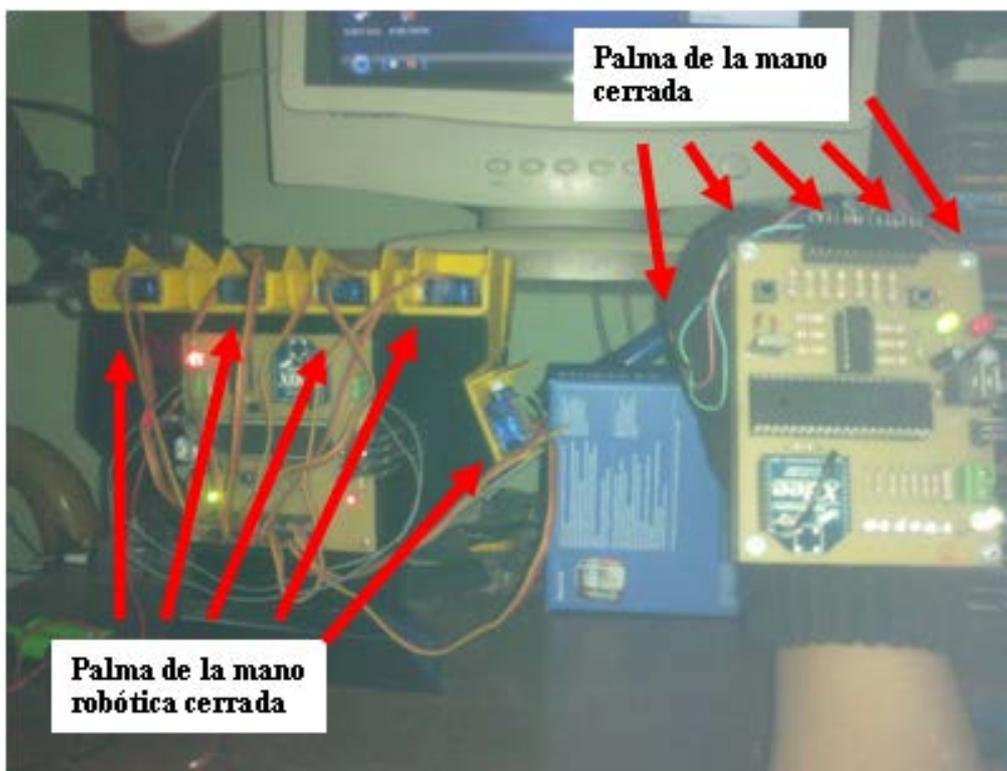
Fuente: Autor

Figura 4.7 Movimiento del dedo meñique

Posteriormente se procedió a probar todo el funcionamiento en conjunto. Esto se muestra en la Figura 4.8.



Fuente: Autor



Fuente: Autor

**Figura 4.8** Movimiento de todos los dedos.

## **CAPÍTULO 5**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

De las pruebas realizadas, los resultados y las experiencias obtenidas del trabajo práctico realizado, es posible extraer las conclusiones y recomendaciones siguientes:

#### **5.1 CONCLUSIONES**

- Las pruebas mostraron que la mano robótica imita los movimientos básicos de la mano humana, por lo tanto se puede concluir que el sistema construido logra el control inalámbrico de la mano robótica por medio de un guante sensorizado.
- Se diseñó y construyó un guante sensorizado que permite detectar el movimiento de los dedos.
- La cantidad de motores utilizados en la mano robótica hace que los requerimientos del sistema en cuanto a potencia sean elevados. Debido a esto; y, para evitar interferencias con la etapa de control se utilizó como solución una fuente de alimentación independiente.
- La comunicación inalámbrica tiene un pequeño retardo debido a que los XBEE vienen con una frecuencia establecida de fábrica y no es la misma del PIC, se probó usando varios cristales de cuarzo y con el que mejor funciona el PIC es con uno de 4Mhz.

#### **5.2 RECOMENDACIONES**

- Como mejora del proyecto desarrollado se plantea, para futuros proyectos, la implementación de un sistema que le permita a la mano robótica simular la sensación de tacto que posee una mano humana, con ello se podría realizar mejores tareas de agarre.
- En la realización de los proyectos de titulación, especialmente en aquellos relacionados con la robótica, es notoria la necesidad de conocimientos de mecánica, ya que son éstos los que incrementan el tiempo de ejecución del proyecto, pues, se ingresa a un campo totalmente desconocido y muchas veces las soluciones planteadas no necesariamente son las que satisfacen mejor el problema. Por lo tanto, es recomendable para nuestra carrera incluir una materia optativa que haga relación a sistemas mecánicos.
- También se podría aplicar lo que es el alambre muscular, esta es una nueva tecnología que recién a salido, y pues detecta perfectamente cada movimiento que realice nuestro cuerpo. La desventaja es que es muy costoso y escaso; tendremos que investigar más este tipo de componentes que son muy útiles especialmente en el campo de la medicina.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**TAPIA PUENTE, Jorge;** Anatomía Humana. Editorial Panorama S.A.  
Capítulo VI; 118p-130p

**LAUREN BANKS, Jessica.** Design and Control of an Anthropomorphic Robotic Finger with Multi-point Tactile Sensation.  
<http://www.ai.mit.edu/research/abstracts/abstracts2001/humanoid-robotics/03banks.pdf>  
Diseño de un dedo robótico antropomórfico planar con dos grados de libertad con sensación táctil.

**OLLERO BATURONE, Aníbal.** Robótica, manipuladores y robots móviles.  
Editorial Marcombo S.A. Capítulo 1; 1p-3p

Enciclopedia Universal Ilustrada Europeo-Americana, Editorial Espasa Calpe S.A.  
Página 1123

**SPEICH, John. Medical Robotics.**  
<http://brl.ee.washington.edu/publications/rep178.pdf>.  
Descripción del uso de robots en la medicina.

**Sensor fotoeléctrico aplicado al movimiento de las manos, Instituto Nacional de Rehabilitación, México.** <http://www.ejournal.unam.mx/cys/vol10-01/CYS10105.pdf>. Descripción de la construcción de un guante para interpretación del lenguaje por señas.

**Guante CyberGlove.**  
[http://www.immersion.com/3d/docs/cybergloveII\\_jul08v5-lr.pdf](http://www.immersion.com/3d/docs/cybergloveII_jul08v5-lr.pdf)  
Datos técnicos del guante CyberGlove

**Guante CyberTouch**  
[http://www.cyberglobesystem.com/pdf/cybertouch\\_bronchure\\_2008.pdf](http://www.cyberglobesystem.com/pdf/cybertouch_bronchure_2008.pdf).  
Datos técnicos del guante CyberTouch 133

**Guante CyberGrasp**  
[http://www.cyberglobesystem.com/pdf/cybergrasp\\_bronchure\\_2008.pdf](http://www.cyberglobesystem.com/pdf/cybergrasp_bronchure_2008.pdf).  
Datos técnicos del guante CyberGrasp

**Guante CyberForce.**  
[http://www.immersion.com/3d/docs/cyberforce\\_jul07v2-lr.pdf](http://www.immersion.com/3d/docs/cyberforce_jul07v2-lr.pdf).  
Datos técnicos del guante CyberForce

**COUGHLIN, Robert; DRISCOLL, Frederik.** Circuitos lineales y amplificadores operacionales, Filtros Activos, Editorial Prentice Hall, Segunda Edición, Capítulo 11

**Mano Artificial Inteligente MAI,** Universidad Politécnica de Cataluña, España. [iocnet.upc.edu/usuarios/raulsuarez/papers/ja03-POSTER.pdf](http://iocnet.upc.edu/usuarios/raulsuarez/papers/ja03-POSTER.pdf).

Descripción de la mano artificial inteligente creada en la Universidad Politécnica de Cataluña

**AVILES**, Oscar. Dedos para “Grippers” robóticos.

<http://www.utp.edu.co/php/revistas/ScientiaEtTechnica/docsFTP/152897-102>.

Diseño de un prototipo de dedo robótico antropomórfico.

**SUAREZ**, Raúl. Presión de objetos en robotica.

<http://webdiis.unizar.es/~neira/docs/RSuarez-CEDI2007.pdf>.

Investigación sobre presión y manipulación diestra de objetos mediante robots.

**SUAREZ**, Raúl; **ROA** Máximo, **CORNELLA**, Jordi. Grasp quality measures. España.

<https://upcommons.upc.edu/e-prints/bitstream/2117/316/1/Roa.pdf>. Calidad en las mediciones realizadas en tareas de agarre.

**DOLLAR**, Aaron; **HOWE**, Robert. Joint coupling design of underactuated grippers. ASME 2006 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference September 10-13, 2006, Philadelphia, Pennsylvania, USA. 134

<http://biorobotics.harvard.edu/pubs/DollarIDETC2006.pdf>.

Análisis de juntas en manos robóticas donde el ambiente y la posición no son bien conocidos.

**CECARRELLI**, Marco; **NAVA**, Néstor; **JUAREGUI**, Juan; **PARADA**, Jorge; **CARBONE**, Giuseppe. Diseño y experimentación de un dedo articulado antropomorfo con un grado de libertad para una mano robótica.

[http://www.uned.es/ribim/volumenes/Vol8N2Julio\\_2004/V8N2A02%20Ceccarelli.pdf](http://www.uned.es/ribim/volumenes/Vol8N2Julio_2004/V8N2A02%20Ceccarelli.pdf).

Diseño de un dedo con un grado de libertad y estudio de técnicas de agarre.

<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/30292c.pdf>. Manual del microcontrolador PIC16F877A.

[http://www.datasheetcatalog.org/datasheets/320/271333\\_DS.pdf](http://www.datasheetcatalog.org/datasheets/320/271333_DS.pdf).

Especificaciones técnicas del sensor reflectivo SG2BC.