

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**MEGAPROYECTO GC-R17:
“Sistema háptico de control a distancia”**

Trabajo de graduación en modalidad de Megaproyecto
presentado por:

Irma Elena Martínez Sanabria (Licenciatura en Ingeniería Electrónica)
Eugenio Antonio Aristondo Argueta (Licenciatura en Ingeniería Electrónica)
Daniel Joaquín Castellanos Mayén (Licenciatura en Ingeniería Electrónica)
Erick Chang Cheng (Licenciatura en Ingeniería Electrónica)
Elisa Beatriz Zea Bobadilla (Licenciatura en Ingeniería Industrial)

para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Electrónica y Licenciatura en
Ingeniería Industrial

Guatemala
2,009

**MEGAPROYECTO GC-R17:
“Sistema háptico de control a distancia”**

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**MEGAPROYECTO GC-R17:
“Sistema háptico de control a distancia”**

Trabajo de graduación en modalidad de Megaproyecto
presentado por:

Irma Elena Martínez Sanabria (Licenciatura en Ingeniería Electrónica)
Eugenio Antonio Aristondo Argueta (Licenciatura en Ingeniería Electrónica)
Daniel Joaquín Castellanos Mayén (Licenciatura en Ingeniería Electrónica)
Erick Chang Cheng (Licenciatura en Ingeniería Electrónica)
Elisa Beatriz Zea Bobadilla (Licenciatura en Ingeniería Industrial)

para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Electrónica y Licenciatura en
Ingeniería Industrial

Guatemala
2,009

Vo.Bo.

(f) _____
MSc. Carlos Alberto Esquit Hernández

(f) _____
Ing. Marie André Destarac Eguizabal

(f) _____
Ing. Roberto Delgado Rüegg

(f) _____
Ing. Gustavo Antonio Prera Sierra

(f) _____
Ing. Otto Armando Girón González

(f) _____
Ing. Ingrid de León

Fecha de aprobación: 12 de noviembre de 2,009.

PREFACIO

Este trabajo de graduación surge por la motivación de seguir con la línea de investigación propuesta por los estudiantes graduados de Ingeniería Electrónica en el año 2,008 bajo la modalidad de Megaproyecto el trabajo de graduación titulado *Prótesis Biónica de una Mano Humana*, el cual consistió en el diseño de una prótesis para una mano, conformada por un brazo, palma y los cinco dedos que cuentan con sensores de presión incorporados en cada uno de ellos para tener conocimiento de esta información.

Este trabajo va dirigido al área farmacéutica para la manipulación de sustancias que resultan nocivas para el ser humano y donde se requiere preferiblemente no tener contacto con ellas y poder manipularlas desde lugares remotos. El diseño además de contemplar los movimientos de los dedos como en una mano real comprende el recubrimiento para los dedos y la incorporación de sensores de presión y temperatura. El módulo desarrollado tiene un enfoque mecánico y electrónico para elaborar un modelo funcional capaz de ser aplicado dentro del área farmacéutica para la manipulación de sustancias.

Dedicamos este trabajo a nuestros padres por su amor, la confianza y apoyo incondicional durante estos cinco años de carrera. A nuestros catedráticos que con su sabiduría nos guiaron durante todos estos años de estudio.

ÍNDICE

Temas	Página No.
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
ÍNDICE DE TABLAS	xxi
RESUMEN	xxiii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	5
A. GENERAL	5
B. ESPECÍFICOS	5
III. MARCO TEÓRICO.....	7
A. MÓDULO DE PLANIFICACIÓN.....	7
1. Definición de la administración de proyectos.....	7
2. Estructuración de proyectos.....	8
3. Estructuración de la división del trabajo.....	8
4. Gráficas de control del proyecto.....	9
6. Definiciones para redes.....	10
7. Métodos CPM y PERT.....	10
8. Cálculos para la ruta crítica (CPM).....	11
B. MÓDULO DE MECATRÓNICA.....	13
1. Anatomía humana de la mano.....	13
a. Mano.....	13
b. Huesos y articulaciones de muñeca y mano.....	13
c. Articulaciones Interfalángicas (IF).....	14
d. Vainas y poleas.....	14

e. Vainas de los tendones flexores de los dedos	15
f. Articulaciones Metacarpofalángicas (MCF).....	15
2. Músculos	15
a. Músculos flexores.....	15
3. Amplitud de movimientos.....	17
4. Arquitectura de la mano.	17
5. Antropomorfismo.....	18
6. Mecanismos de transmisión de movimiento	19
a. Mecanismo.....	19
b. Definición de un mecanismo de transmisión de movimiento.....	19
c. Mecanismo de barras fijas.	19
d. Mecanismo con motor en cada junta o articulación.....	21
e. Mecanismo de transmisión circular.	21
f. Mecanismo de transmisión por cadena.	21
g. Mecanismo de transmisión por correa.	22
h. Mecanismo de transmisión por engranajes.	22
i. El tornillo sin fin.....	22
j. Mecanismo de transmisión por poleas.	22
k. Mecanismo por tendones.	24
7. Torque y equilibrio del cuerpo rígido	25
8. Cuerpo rígido.....	26
9. Torque de una fuerza	26
10. Actuador para el movimiento	28
11. Modulación por ancho de pulsos	29
a. Duty cycle	29
12. Esfuerzo	30
13. Módulo elástico (Modulo de Young o de elasticidad).....	30
14. Relación de ángulos entre falanges.....	31
15. Baterías.....	32
a. Baterías de Iones de Litio.	32
b. Prolongando la duración de la batería a través de la moderación.....	33

c.	Efecto de memoria	34
d.	Profundidad de descarga (DOD-Depth Of Discharge)	34
16.	Microcontrolador	35
a.	El procesador	36
b.	Memoria	36
c.	Puertas de entrada y salida	36
d.	Reloj principal	36
e.	Recursos especiales	37
17.	Neopreno	37
a.	Guantes con recubrimiento de Neopreno/Látex	39
b.	Látex	40
<i>C.</i>	<i>MÓDULO DE INTERFAZ</i>	<i>41</i>
1.	Robots	41
a.	Progreso en robots	41
b.	Comunicación	42
2.	Sensor magnético Ascension 3D Guidance medSAFE	42
a.	Detalles importantes del sensor	43
b.	Localización del sensor magnético	43
3.	Brazo Robótico R17	47
4.	Roboforth II	48
<i>D.</i>	<i>MÓDULO DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA</i>	<i>48</i>
1.	Tecnología ZigBee	48
2.	Componentes de una IEEE 802.15.4 WPAN	49
3.	Tipos de topología de redes en ZigBee (IEEE 802.15.4)	49
a.	Configuración estrella	49
b.	Configuración Cluster-Tree	50
c.	Configuración Malla (Mesh)	50
d.	Configuración Punto a Punto	51
4.	Arquitectura de redes WPAN 802.15.4	51
a.	Capa Física (PHY)	51
b.	Subcapa MAC (Medium Access Control)	53

E.	<i>MÓDULO SENSORIAL</i>	53
1.	Sensores y transductores	54
a.	Sensor.....	54
b.	Transductor.....	54
c.	Diferencia.....	54
d.	Tipos.....	54
e.	Características.....	55
f.	Aplicaciones.....	56
2.	Sistemas de control.....	57
a.	Conceptos básicos.....	57
b.	Elementos de un sistema de control.....	57
c.	Sistemas de control a lazo abierto y lazo cerrado.....	58
d.	Análisis en el dominio del tiempo.....	59
e.	Análisis en el dominio de la frecuencia.....	62
f.	Acciones básicas de control.....	63
IV.	DELIMITACIÓN E IMPACTO DEL TEMA.....	69
V.	METODOLOGÍA.....	71
A.	<i>MÓDULO DE PLANIFICACIÓN</i>	71
1.	Primera fase	71
2.	Segunda fase	72
a.	Publicidad del Megaproyecto:.....	72
b.	Propuesta.....	72
B.	<i>MÓDULO DE MECATRÓNICA</i>	72
1.	Diseño experimental	72
a.	Diagrama de bloques del Módulo de Mecatrónica.....	72
b.	Herramienta de diseño.....	73
c.	Material para la elaboración de los dedos.....	73
d.	Especificaciones del diseño.....	76
e.	Enfoque de acoplar los dedos robóticos al R-17.....	77

f.	Diseño de los topes para las articulaciones.....	78
g.	Diseño final de las falanges (Proximal, Media y Distal)	78
h.	Bases para la mano robótica.	79
i.	Diseño de la palma.	79
j.	Diseño del motor.....	80
l.	Resorte para la extensión de los dedos.....	80
m.	Hilo.	81
n.	Cálculos matemáticos.....	81
o.	Análisis matemático realizado.....	82
p.	Planos del diseño elaborado para las piezas.	86
q.	Consumo de corriente de los motores.....	90
r.	Microcontrolador.	91
s.	Etapa de potencia.....	91
t.	Reguladores de voltaje.....	91
u.	Control de carga de la batería de Ion-Litio.....	92
v.	Señal de control para servomotores.	92
w.	Guante con recubrimiento de Neopreno.	93
x.	Látex.....	93
C.	<i>MÓDULO DE INTERFAZ</i>	94
1.	Fase 1: Comunicación con el sensor magnético.....	94
a.	Diseño.....	94
2.	Fase 2: Comunicación y manejo del brazo robótico R-17	98
a.	Diseño.....	98
3.	Fase 3: Acople de las dos fases anteriores	104
a.	Diseño.....	104
D.	<i>MÓDULO DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA</i>	106
1.	Etapa de investigación.....	106
2.	Etapa de desarrollo	107
E.	<i>MÓDULO SENSORIAL</i>	109
1.	Estudio de sensores de temperatura	109

a.	Propuestas.....	109
b.	Pruebas y experimentación.....	111
2.	Estudio de sensores de presión.....	114
a.	Propuestas.....	114
b.	Síntesis de propuestas para sensores de presión.....	116
c.	Pruebas y experimentación.....	116
3.	Estudio de sensores de flexión.....	118
a.	Propuestas.....	118
b.	Síntesis de propuestas para sensores de flexión.....	118
c.	Pruebas y experimentos.....	119
4.	Desarrollo del guante controlador.....	120
5.	Recolección de información.....	121
6.	Instalación de sensores en la mano robótica.....	121
7.	Desarrollo del sistema de control digital.....	122
8.	Desarrollo del software de monitoreo.....	123
VI.	RESULTADOS.....	124
A.	<i>MÓDULO DE PLANIFICACIÓN.....</i>	<i>124</i>
1.	Primera Fase.....	125
a.	Descripción de los módulos.....	125
b.	Determinación de los recursos.....	126
c.	Negociaciones con las instituciones interesadas en financiar el Megaproyecto.....	129
2.	Segunda Fase.....	130
a.	Publicidad del Megaproyecto.....	130
b.	Publicidad por medio de mantas.....	130
c.	Publicación de información.....	132
B.	<i>MÓDULO DE MECATRÓNICA.....</i>	<i>132</i>
C.	<i>MÓDULO DE INTERFAZ.....</i>	<i>134</i>
1.	Software utilizado.....	134
2.	Inicialización.....	134
3.	Petición de datos.....	134

4.	Decodificación de la trama recibida.....	135
5.	Visualización de las coordenadas.....	137
D.	<i>MÓDULO DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA</i>	139
E.	<i>MÓDULO SENSORIAL</i>	140
1.	Estudio de sensores de temperatura.....	140
a.	Experimento 1.....	140
b.	Experimento 2.....	141
c.	Experimento 3.....	142
2.	Estudio de sensores de presión.....	142
a.	Experimento 1.....	142
b.	Experimento 2.....	143
3.	Estudio de sensores de flexión.....	143
a.	Experimento 1.....	143
b.	Experimento 2.....	144
4.	Desarrollo del guante controlador.....	144
5.	Recolección de información de los sensores.....	148
6.	Instalación de sensores en la mano robótica.....	153
7.	Desarrollo del sistema de control digital.....	156
8.	Desarrollo del software de monitoreo.....	158
VII.	DISCUSIÓN.....	163
VIII.	CONCLUSIONES.....	168
IX.	RECOMENDACIONES.....	170
X.	BIBLIOGRAFÍA.....	171
XI.	APÉNDICE.....	176
1.	Primeros diseños-falanges y articulación.....	176
2.	Especificaciones del motor.....	177
3.	ServoManual.....	178

4.	Figuras del diseño final de las piezas de la mano robótica.....	182
5.	Motores.....	186
6.	Especificaciones de motores.....	188
	a. Hitec HS-85MG+ Servo Motor.....	188
	b. Hitec HS-422 Servo Motor.....	189
7.	Piezas Maquinadas.....	190
8.	Presupuesto del Proyecto.....	193
9.	Instalación del sensor magnético 3D Guidance medSAFE.....	194
	a. Conectar el transmisor.....	194
	b. Conectar el sensor preamplificador.....	194
	c. Conectar el pre-amplificador a la unidad central.....	195
	d. Conexión hacia la computadora.....	195
10.	Cálculos de circuitos convertidores de nivel.....	196
	a. Conversión de 0V a 3.3V – transistor PNP 2N3906.....	196
	b. Conversión de 5V a 0V – transistor PNP 2N3906.....	198
	c. Conversión de 3.3V a 0V – transistor NPN 2N3904.....	198
	d. Conversión de 0V a 5V – transistor NPN 2N3904.....	200
XII.	GLOSARIO.....	201

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No.		Página No.
1.	Diagrama de bloques del Megaproyecto.	2
2.	Gráfica de Gantt para actividades individuales	9
3.	Fases de planeación de un proyecto con CPM o Pert.....	11
4.	Huesos y articulaciones de muñeca y mano	13
5.	Vista palmar	14
6.	Vista lateral de los huesos y articulaciones del dedo índice de una mano.....	14
7.	Arcos de movimiento de la muñeca.....	14
8.	Ejes de flexión de las articulaciones MF e IF.....	15
9.	Convergencia de los dedos sobre el tubérculo.....	15
10.	Aparato Flexor de los dedos	16
11.	Vinculas vasculares, con las tres zonas de vascularización más precaria.	16
12.	Aparato extensor de los dedos	17
13.	Mecánica del aparato extensor	16
14.	Arcos de la mano	18
15.	Mano en estado pinza	18
16.	Representación del esfuerzo y carga	20
17.	Relaciones del mecanismo de barras fijas	20
18.	Mecanismo de transmisión por poleas	23
19.	Mecanismo de transmisión por tendones.....	25
20.	Fuerzas aplicadas a una regla	26
21.	Diagrama vectorial del torque	27
22.	Sentido del torque	27
23.	Control del servomotor	29
24.	Modulación por ancho de pulsos	30
25.	Grafico de resistencia-deformación	31

26.	Duración de litio-ion en función de la carga y descarga	33
27.	Estructura general de un microcontrolador	36
28.	Escala de dureza	38
29.	Aplicaciones de brazos robóticos	42
30.	Aplicación del sensor microBIRD	43
31.	Transmisor del sensor magnético	44
32.	Dimensiones de alcance óptimo del sensor magnético.....	44
33.	Articulaciones del R17.....	47
34.	Comandos utilizados en Roboforth.....	48
35.	Topología Estrella.....	49
36.	Topología Cluster-Tree.....	50
37.	Topología Punto a Punto.....	51
38.	Topología Malla (Mesh).	50
39.	Bandas de frecuencia	53
40.	Sistema de control a bucle abierto	58
41.	Sistema de control a lazo cerrado	59
42.	Diagrama de bloques de un sistema de primer orden	59
43.	Respuesta a escalón unitario e impulso de un sistema de primer orden	60
44.	Diagrama de bloques de un sistema de segundo orden	60
45.	Respuesta a escalón unitario de un sistema de segundo orden	62
46.	Diagrama de bloques de un sistema en el dominio de la frecuencia	63
47.	Representación de un sistema de control proporcional	64
48.	Diagrama de bloques de un controlador integral	64
49.	Diagrama de bloques de un sistema de control proporcional-integral.....	65
50.	Respuesta a la función escalón de un controlador proporcional-integral	66
51.	Diagrama de bloques para un sistema proporcional-derivativo.....	66
52.	Respuesta a entrada escalón de un controlador proporcional-derivativo	67
53.	Representación en diagrama de bloques para un controlador PID	68

54.	Respuesta a entrada escalón de un controlador PID	68
55.	Diagrama de bloques del Módulo de Mecatrónica	73
56.	Topes para cada falange.....	78
57.	Diseño final de la falange distal.....	78
58.	Diseño final de la falange media.....	78
59.	Diseño final de la falange proximal.....	79
60.	Diseño de la base para el brazo robótico	79
61.	Diseño final de la palma	80
62.	Palma, motores y dedos acoplados	80
63.	Resorte helicoidal para la extensión	81
64.	Diagrama de fuerzas para la falange distal	83
65.	Descripción geométrica de la articulación	85
66.	Falange Proximal	87
67.	Falange Media.....	87
68.	Falange Distal	88
69.	Soporte para el dedo pulgar	88
70.	Polea.....	89
71.	Base de la palma	89
72.	Base brazo robótico R-17	90
73.	PIC18F4431	91
74.	Diagrama del circuito utilizado.....	92
75.	Guante de látex con recubrimiento de Neopreno	93
76.	Guantes de látex	93
77.	Selección del protocolo de comunicación	96
78.	Configuración inicial para comunicar con el sensor.....	96
79.	Petición de datos	97
80.	Configuración para iniciar comunicación con el R17	100
81.	Monitoreo de la inicialización del R17.....	101

82.	Posición HOME esperada.....	103
83.	Partes del módulo ZigBee.....	107
84.	Pruebas de desarrollo de módulo “Comunicación inalámbrica”.....	108
85.	Características de la primera propuesta de sensores de temperatura.....	110
86.	Características generales, segunda propuesta de sensores de temperatura.....	110
87.	Características físicas, segunda propuesta de sensores de temperatura.....	111
88.	Sensores de la marca Shadow robot.....	115
89.	Divisor de voltaje armado para realizar el experimento 1 de presión.....	117
90.	Divisor de voltaje implementado para el experimento 2 de presión.....	117
91.	Circuito implementado en el experimento 1 de flexión.....	119
92.	Diagrama de bloques del Megaproyecto.....	125
93.	Logo del Megaproyecto GC - R17.....	130
94.	Diseño de manta para la Feria de la Ciencia y Tecnología.....	131
95.	Vista de la página del Departamento de Ingeniería Electrónica.....	132
96.	Mano robótica con mecanismo de transmisión de movimiento.....	133
97.	Vista lateral de la mano robótica.....	133
98.	Pedido y respuesta del sensor magnético (POINT).....	135
99.	Entrada mostrando su equivalente decimal.....	136
100.	Diagrama de flujo para decodificar x, y y z.....	136
101.	Diagrama de bloques para la decodificación de ángulos.....	137
102.	Interfaz para uso del sensor magnético.....	138
103.	Diagrama de flujo del software de control del sensor magnético.....	138
104.	Conectores tipo macho soldados a placas.....	139
105.	Conectores tipo hembra para interconexión entre circuitos impresos.....	139
106.	Aislamiento del sensor de temperatura tipo C.....	140
107.	Colocación de los sensores de temperatura (tipo C y M) en el sistema.....	140
108.	Sensor LM 335.....	141
109.	Pruebas del sensor de flexión.....	143

110.	Sistema armado en el experimento 2 de sensores de flexión.....	144
111.	Refuerzo para estrés físico del sensor de presión	144
112.	Sensores de presión instalados en el guante control	145
113.	Sensor de flexión a punto de ser implementado en el guante	145
114.	Sensores de flexión instalados en el guante controlador	145
115.	Adaptaciones para la creación de la interfaz de cables.....	146
116.	Incorporación de la interfaz al guante controlador	146
117.	Adaptación de la interfaz de cables del guante controlador	146
118.	Guante controlador finalizado	147
119.	Utilización de pines en el guante controlador (DE-9 hembra)	147
120.	Uso de la memoria del micro-controlador 16F877A	148
121.	Diagrama de flujo del programa en el micro controlador PIC16F877A	149
122.	Circuito regulador de acople.....	151
123.	Circuito amplificador de acople.....	151
124.	Circuito implementado en el lado del guante controlador	152
125.	PCB del circuito implementado en el lado del guante controlador	152
126.	Placa impresa, capa superior e inferior.....	153
127.	Creación de moldes para las yemas	153
128.	Creación de las yemas con sensores de temperatura	153
129.	Sensores a instalar en la mano robótica	154
130.	Sensores instalados en los dedos robóticos.....	154
131.	Finalización de la instalación de sensores en la mano robótica.....	155
132.	Utilización de pines., conector RJ 45 hembra	155
133.	Diagrama de flujo, programa en el PIC18LF4431 para prueba de PWM	156
134.	Interfaz del programa de recepción de datos para prueba de PWM	157
135.	Diagrama de flujo, programa de recepción de datos para pruebas con PWM...	157
136.	Interfaz del programa de monitoreo GC R-17	158
137.	Diagrama de flujo, lógica implementada en Microsoft Visual C# 2008	159

138.	Diagrama de flujo, programa en el PIC18LF4431 para prueba de PWM	161
139.	Interfaz del programa de recepción de datos para prueba de PWM	161
140.	Diagrama de flujo, programa de recepción de datos	162
141.	Primer diseño de la articulación.....	176
142.	Segundo diseño para la articulación del dedo.....	176
143.	Primer diseño para uno de los dedos	176
144.	Falange distal	182
145.	Falange media.....	182
146.	Falange proximal	183
147.	Palma vista frontal	183
148.	Palma vista lateral.....	184
149.	Motor HS 422	184
150.	Motor HS 85MG.....	185
151.	Mano vista lateral.....	185
152.	Palma vista frontal	186
153.	Motor HS 422	186
154.	Motor HS 85MG.....	187
155.	Mano vista lateral.....	187
156.	Palma vista frontal	188
157.	Motor HS-85 MG	188
158.	Motor HS-422	189
159.	Falange distal	190
160.	Falange media.....	190
161.	Falange proximal	190
162.	Base para el brazo robótico vista inferior	191
163.	Base para el brazo robótico vista superior	191
164.	Base para la palma vista superior	191
165.	Base para la palma vista lateral.....	192

166.	Mano robótica sin recubrimiento y sensores	192
167.	Conexión del transmisor	194
168.	Conexión entre sensor y preamplificador	195
169.	Conexión del preamplificador a la unidad central	195
170.	Conexión hacia la computadora.....	196

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla No.	Página No.
1.	Rango de movimiento de los cuatro últimos dedos 17
2.	Rendimiento Mecánico del mecanismo de barras fijas 20
3.	Relación de fuerza en el mecanismo de transmisión por poleas 23
4.	Cuadro comparativo de los mecanismos de transmisión de movimiento 25
5.	Ciclos de vida 35
6.	Estado de carga de las baterías vs voltaje/gravedad específica 35
7.	Propiedades del neopreno 38
8.	Índice de protección de guantes con recubrimiento de Neopreno 40
9.	Configuración por defecto del sensor magnético 46
10.	Clasificación de sensores por su vida 55
11.	Propiedades mecánicas del UHMW a 23°C 74
12.	Propiedades térmicas del UHMW 75
13.	Propiedades eléctricas del UHMW 75
14.	Propiedades químicas del UHMW 75
15.	Medidas aproximadas de las falanges del dedo índice y pulgar 76
16.	Pin para sujetar resorte e hilo metálico 81

17.	Falange distal	82
18.	Falange media	82
19.	Falange proximal	82
20.	Palma	82
21.	Consumo máximo por motor	90
22.	Propuestas de sensores de presión	116
23.	Propuesta de sensores de flexión	119
24.	Presupuesto estimado.....	127
25.	Presupuesto detallado	128
26.	Configuración serial para sensor magnético	134
27.	Datos importantes de la hoja del fabricante para	141
28.	Relación de sensores con salidas del conector DE-9 (hembra)	147
29.	Resistencias de salida de los sensores.....	148
30.	Resultados obtenidos en el segundo experimento de sensores de presión	150
31.	Salidas resistivas de los sensores de presión instalados en la mano robótica....	155
32.	Valores a escribir en los registros para control PWM	158
33.	Manejo de datos recibidos por el software	160
34.	Valores a escribir en los registros para control PWM	162
35.	Presupuesto del Módulo de mecatrónica	193

RESUMEN

El Megaproyecto *GC R-17: Sistema háptico de control a distancia* consiste en la elaboración de un sistema háptico a distancia para controlar el brazo robótico R-17 por medio de un guante utilizado por el usuario. Para desarrollar este Megaproyecto se formó un equipo de cuatro estudiantes de Ingeniería Electrónica y uno de Ingeniería Industrial. Cada integrante del equipo fue responsable del desarrollo de un módulo, los cuales son: Planificación, Mecatrónica, Interfaz, Comunicación Inalámbrica y Sensorial

El módulo de “Planificación” es el encargado de la planificación y calendarización de las actividades del Megaproyecto. Así mismo, se encarga de la determinación y cuantificación de los recursos que son necesarios para llevar a cabo el Megaproyecto como lo son: recursos humanos, los físicos y los financieros. Así mismo está encargado del área mercadológica del Megaproyecto (creación del logo, publicidad en vallas, páginas web, etc.). También es el encargado de realizar todas aquellas negociaciones con las instituciones que estén interesadas en financiar el Megaproyecto.

El módulo de “Mecatrónica” tiene como objetivo realizar el modelo mecánico de los tres dedos, cuidando que el sistema sea eficiente y práctico. Los dedos construidos son acoplados al robot industrial R-17. Además, determina la transmisión mecánica de movimiento, el tipo de actuadores y el material a ser usado en los dedos robóticos.

El módulo “Interfaz” tiene como objetivo registrar las coordenadas en el espacio de un sensor magnético adherido a un guante. Con esta información se logran reproducir en el robot industrial R-17 los movimientos que el usuario del guante realiza.

El módulo “Comunicación inalámbrica” consiste en la implementación de una red inalámbrica de dos nodos, que tiene el propósito de controlar remotamente un sistema háptico desde un guante. Por dicha red se transmiten mensajes desde el guante controlador hacia los dedos robóticos acoplados en el robot industrial R-17 y viceversa. La red se implementa utilizando el protocolo ZigBee™ de ZigBee Alliance, que cumple con el estándar IEEE 802.15.4. Los mensajes transmitirán la información de los sensores colocados en los dedos robóticos hacia el control, y los comandos emitidos desde el control hacia actuadores colocados en los dedos.

El módulo “Sensorial” consiste en la evaluación e instalación de tres tipos de sensores: flexión, presión y temperatura. La información de estos tres tipos de sensores serán señales utilizadas por un sistema de control para posicionar los servomotores de los dedos robóticos de tal forma que reproduzcan la flexión y la fuerza ejercida por el usuario del guante.

Entre los resultados que se obtuvieron se pueden mencionar.

1. El aporte de la planificación fue una ejecución programada, hizo posible llevar un control de avance más cercano y acertado de todas las actividades involucradas en el proceso.
2. Las propiedades del material utilizado en el maquinado de las piezas, permanecen dentro de parámetros aceptables, debido al mínimo efecto que tienen las fuerzas que actúan sobre cada una de ellas
3. Se llevó a cabo la selección del motor como actuador de movimiento para cada uno de los dedos los cuales cumplen con los requerimientos del proyecto.

4. Se desarrolló un software que cuenta con un módulo automático que permite que el brazo robótico R17 replique los movimientos capturados por el sensor magnético de posición 3D Guidance, ubicado en un guante manejado por un usuario.

5. La tecnología ZigBee satisface las necesidades para transmitir los datos de los sensores en dos vías, puesto que cumple con el envío de datos desde el guante controlador hacia los dedos robóticos a distancia, con una tasa de transferencia aceptable. Por esta razón, fue seleccionada esta tecnología para el desarrollo de la comunicación inalámbrica de este Megaproyecto.

6. Se diseñó e implementó una red de sensores en la mano robótica para recolectar datos sobre el objeto manipulado (temperatura y presión).

Con base a todo lo anteriormente expuesto calificamos de exitoso el presente Megaproyecto, debido a que se logró el funcionamiento del mismo, para su pronta aplicación hacia las farmacéuticas que puedan presentar interés por el uso del GC R-17.

I. INTRODUCCIÓN

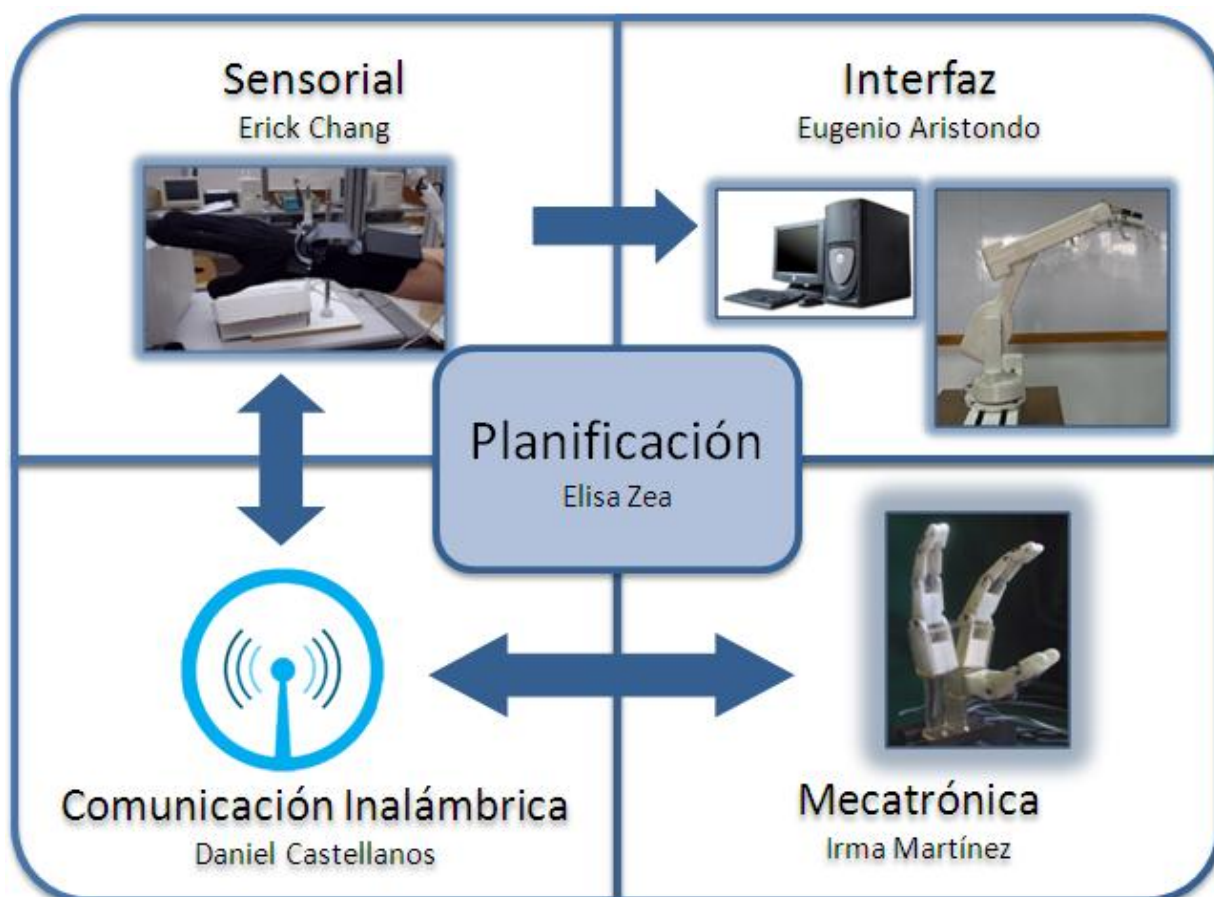
Actualmente se puede dar un vistazo hacia los años atrás y se observará la forma en la que se confrontaba la automatización de la industria y la robótica en aplicaciones médicas. Al pasar los años han ido surgiendo diversas formas de diseñar herramientas de trabajo con el único fin de evitar la exposición del trabajo humano dentro de áreas restringidas y la forma de reemplazar una parte del cuerpo humano con el objeto de suplir su función y conservar la imagen corporal.

A todo lo que se ha desarrollado en esas áreas se le llama robot, y surge el interés de realizar proyectos enfocados en ayudar al ser humano, el Megaproyecto con el nombre *Prótesis Biónica de una Mano Humana* en el año 2,007 inicia una línea de investigación en prótesis humanas.

Con la investigación inicial en la robótica médica surge la motivación por hacer un proyecto acoplando una mano robótica al brazo robótico industrial R-17, el enfoque del Megaproyecto está inclinado al área industrial. El Megaproyecto involucra cuatro tipos de conocimientos: la electrónica, mecánica, informática y anatomía humana. El usuario podrá manipular la mano robótica desde un guante el cual brindará la información necesaria mediante comunicación inalámbrica para replicar los movimientos en el brazo robótico y mano robótica.

El Megaproyecto GC R-17 está conformado por cinco módulos que al integrarse cumplirán el objetivo general, que es desarrollar un sistema háptico de control a distancia. A continuación, se presenta el diagrama de bloques del Megaproyecto.

Figura 1: Diagrama de bloques del Megaproyecto.



El diagrama de bloques describe cada una de las áreas de enfoque del módulo, como primera instancia está la herramienta que se utiliza para la elaboración del diseño de cada una de las partes que conforman la mano robótica, con el diseño culminado y los análisis que respaldan un diseño confiable se lleva a cabo la reproducción del diseño en el material seleccionado, procede el acoplamiento de las piezas con el mecanismo de transmisión de movimiento y el actuador, finalmente se tiene el diseño de la mano robótica que se acoplará al brazo robótico R-17.

El módulo de planificación consiste en la planificación y calendarización de las actividades del Megaproyecto, además se encarga de la búsqueda de aplicaciones industriales y el control del presupuesto.

El módulo de mecatrónica comprende en la investigación y elaboración del diseño ideal para la construcción de los dedos que irán acoplados al brazo robótico R-17, para el diseño se escoge la herramienta ideal de diseño para obtener un análisis completo del modelo elaborado, culminado el diseño se selecciona el material adecuado para el maquinado de las piezas considerando sus propiedades mecánicas.

El módulo de interfaz tiene como objetivo registrar las coordenadas en el espacio de un sensor magnético colocado en el guante controlador y así reproducir en el brazo robótico industrial R-17 los movimientos que el usuario realiza.

El módulo de comunicación inalámbrica consiste en la implementación de una red inalámbrica de dos nodos que tiene el propósito de transmitir datos de las señales de sensores desde el guante controlador hacia el sistema háptico para que éste sea controlado.

El módulo sensorial consiste en la evaluación e instalación de sensores de temperatura, presión y flexión para el control de los dedos robóticos, diseño del guante controlador y desarrollo del sistema de control mediante la comparación de las señales provenientes de los sensores desde el guante controlador y los dedos robóticos.

Con la unión de los módulos anteriormente expuestos se logró la construcción de un sistema háptico de control a distancia el cual consiste en la adaptación de la mano de tres dedos al brazo robótico R-17. Este robot podrá ser manipulado a distancia por medio del guante diseñado, que brinda toda la información necesaria para conocer las acciones y movimientos realizados por el usuario. Dicho guante cuenta con cuatro sensores de flexión los cuales fueron colocados; uno en la palma de la mano y los otros tres en los en los dedos correspondientes (pulgar, índice y medio). Luego de colocados los sensores

fueron recubiertos cosidos en la posición correspondiente, esto con el fin de evitar que por algún movimiento brusco pudieran moverse. Así mismo, fueron colocados los demás accesorios con que cuenta (conectores, roseta de teléfono, sensores etc.). Como detalle final para la creación del guante controlador se recubrió la parte lógica con otro guante.

II. OBJETIVOS

A. GENERAL

- Desarrollar un sistema háptico a distancia para controlar el brazo robótico R-17 por medio de un guante que el usuario manipula y aplicar el proyecto terminado en las áreas de farmacia o química.

B. ESPECÍFICOS

- Diseñar tres dedos robóticos apoyados en la mecánica para la construcción de cada una de sus partes (falanges proximales, intermedias y distales) y de la electrónica para su control y funcionamiento.
- Diseñar una palma como soporte para los dedos robóticos y actuadores de movimiento.
- Desarrollar una interfaz en la computadora que permita al usuario manejar el R-17 de forma manual o automática utilizando el cambio de posición de un sensor magnético.
- Implementar una red inalámbrica de dos nodos.
- Manejar datos de sensores de presión, temperatura y flexión, y transmitirlos a través de la red inalámbrica. Buscar aplicaciones industriales del proyecto GC-R17.
- Desarrollar y ejecutar el presupuesto para el proyecto GC- R17.

- Negociar y obtener fondos con instituciones dedicadas al desarrollo de proyectos científicos.
- Crear publicidad del Megaproyecto para dar a conocer el desarrollo científico de la Universidad del Valle de Guatemala y captar estudiantes y entidades interesadas.
- Preparación de la propuesta para la siguiente fase del Megaproyecto GC R-17.
- Poner a disposición del módulo Sensorial la información de los sensores para ser procesada y utilizada en el control de los dedos robóticos.
- Diseñar e implementar un sistema de control digital para regular y controlar la fuerza y presión de agarre de la mano robótica de acuerdo a las instrucciones del usuario generadas por medio del guante control.
- Diseño de un software de monitoreo para analizar el sistema en tiempo real por medio de comunicación USART.

III. MARCO TEÓRICO

A. MÓDULO DE PLANIFICACIÓN

El módulo de planificación consiste en la planificación y calendarización de las actividades del Megaproyecto, además se encarga de la búsqueda de aplicaciones industriales y el control del presupuesto.

1. Definición de la administración de proyectos. Para entender el significado de la administración de proyectos, se procederá a dar la definición de proyecto. Un proyecto se define como las actividades que tienen alguna relación entre sí. Estas actividades están dirigidas hacia un resultado en común y se desarrollan en un periodo significativo. [1]

La administración de proyectos es la planeación, dirección y control de recursos, los recursos personas, equipo o material; tomando en cuenta las restricciones técnicas, de costos y de tiempo. [1]

El costo es un componente muy importante en la administración de proyectos y se define como la cantidad de dinero que el cliente acuerda pagar por los productos que se ha acordado producir. Este costo se basa en un presupuesto, en el cual están detalladas todas las estimaciones del valor de los recursos que se utilizarán en este proyecto (sueldos, equipo, herramientas, etc.).

La planeación detallada incluye los siguientes aspectos:

- Definir con claridad el objetivo del proyecto.

- Dividir y subdividir el alcance del proyecto en paquetes de trabajo. La estructura de la división de las actividades se encarga de identificar a la organización o persona responsable de cada paquete de trabajo.
- Definir las actividades específicas que debe realizar cada paquete de trabajo para lograr el objetivo del proyecto.
- Representación gráfica de las actividades mediante un diagrama de red.
- Estimar el tiempo requerido para completar una actividad.
- Estimar el costo de cada actividad.
- Calcular un programa de proyecto y presupuesto y determinar si puede ser realizado dentro del tiempo requerido, fondos asignados y recursos disponibles.

2. Estructuración de proyectos. Cuando se empieza un proyecto, la administración decide que estructura organizacional se utilizará con la empresa matriz. Existen tres estructuras organizacionales: Proyecto puro, Proyecto funcional y Proyecto matriz. [1]

En el proyecto puro un equipo autónomo trabaja tiempo completo en la realización del proyecto. En el escenario del proyecto funcional, éste se alberga dentro de una división funcional. Por último, el proyecto matriz trata de combinar las propiedades de las estructuras del proyecto funcional y del proyecto puro. [1]

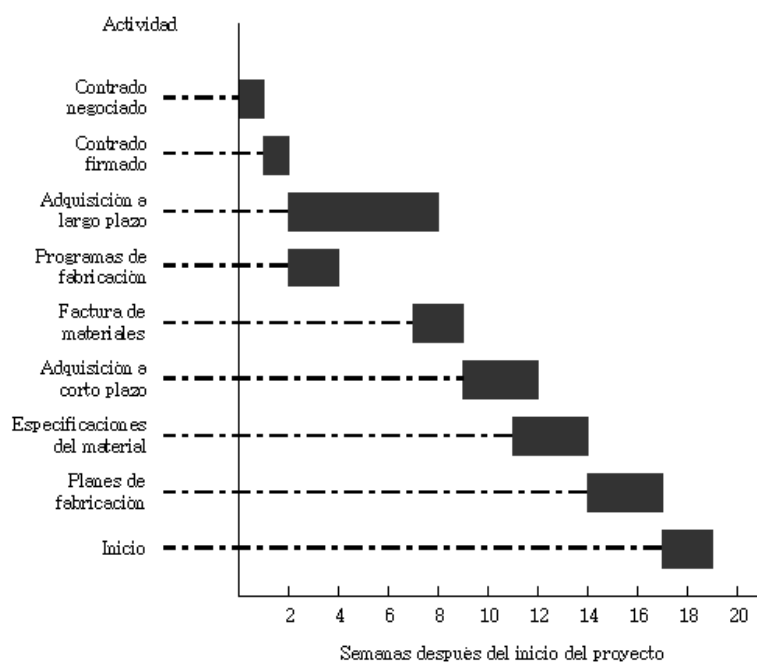
3. Estructuración de la división del trabajo. El inicio de un proyecto lo marca una declaración del trabajo SOW (por sus siglas en inglés) o Manifiesto de Trabajo, que es una descripción por escrito que incluye los objetivos a cumplir y una descripción breve del trabajo que se realizará y del programa presupuesto.

En el Manifiesto de Trabajo SOW se especifican también las fechas de inicio y terminación del proyecto. Para organizar de manera más efectiva un proyecto es necesario dividirlo en partes más específicas llamadas tareas.

4. Gráficas de control del proyecto. Con el objetivo de hacer la organización del proyecto más sencilla se utilizan gráficas de control, debido a que su presentación visual se comprende con mucha facilidad. [1]

En la figura que se muestra a continuación, se puede observar una gráfica de Gantt. En las gráficas de Gantt, o gráficas de barras, se puede observar la cantidad de tiempo involucrado y la secuencia en la que se realizan las actividades. [1]

Figura 2: Gráfica de Gantt para actividades individuales



5. Modelos de planeación en Red. Existen muchas situaciones que pueden ser modeladas y resueltas como redes o nodos conectados por ramas. La resolución de estas situaciones se hace con la ayuda de algoritmos de optimización de redes. Existen 5 algoritmos para la optimización de redes:

- Árbol de expansión mínima.
- Algoritmo de la ruta más corta.
- Algoritmo del flujo máximo.
- Algoritmo de red capacitada con costo mínimo.
- Algoritmo de la ruta crítica. [2]

6. Definiciones para redes. Una red se puede definir como una serie de nodos enlazados con arcos o ramas y cada red se le asocia un tipo de flujo. La capacidad de sus arcos, limitan el flujo de una red y estos pueden ser finitos o infinitos. [2]

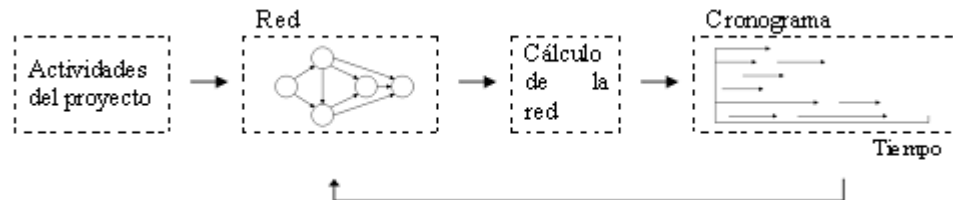
A la sucesión de arcos distintos que unen dos nodos pasando por otros nodos se le llama ruta y no depende de la dirección de flujo de cada arco. Asimismo, un ciclo se forma cuando se conecta un nodo consigo mismo y pasa por otros nodos. [2]

Ahora, haciendo referencia a lo mencionado en los párrafos anteriores, la red en que cada dos nodos distintos están conectados al menos por una ruta se le llama red conectada. A la red conectada que consiste sólo en un subconjunto de todos los nodos se le llama árbol y se le llama árbol de expansión cuando éste enlaza todos los nodos de la red. Tanto en el árbol como en el árbol de expansión, no se permiten los ciclos. [2]

7. Métodos CPM y PERT. Existen dos métodos, basados en redes, que ayudan en la planeación, programación y control de proyectos. El primero es el método de la ruta crítica o del camino crítico, más conocido como CPM por sus siglas en inglés (*critical path method*). El segundo es la técnica de evaluación y revisión de programa o PERT por sus siglas en inglés (*program evaluation and review technique*). Estos dos métodos mencionados tienen como objeto contar con un método analítico para programar las actividades de cada proyecto. [2]

La diferencia entre el PERT y el CPM radica en que el primero supone duraciones probabilísticas y, el segundo, supone duraciones determinísticas. Estas dos técnicas fueron desarrolladas independientemente. [2]

Figura 3: Fases de planeación de un proyecto con CPM o Pert



El uso de los métodos mencionados anteriormente implica tres pasos: en el primero se definen las actividades del proyecto, las relaciones de precedencia y necesidades de tiempo; en el segundo es necesario traducir el proyecto en términos de una red para que se muestren las relaciones de precedencia entre cada una de las actividades; y por último, se procede a formar la base del desarrollo del programa del proyecto, que implica cálculos específicos de redes. Todo lo anterior se desarrolla en función del tiempo. [2]

Es necesario incluir un bucle, lazo o ciclo de retroalimentación entre la fase de programa y la de red. Esto es importante porque, como en cualquier proyecto puesto en práctica, el programa puede o no cumplirse, según lo planeado. El no cumplir con lo programado causa que algunas actividades se adelanten o atrasen y será necesario actualizar el programa para que se refleje la realidad. [2]

8. Cálculos para la ruta crítica (CPM). Para lograr la formulación o construcción del programa del proyecto, que sería el resultado final de CPM, es necesario realizar cálculos especiales con los que se obtiene lo siguiente:

- Duración total necesaria para terminar el proyecto.
- Clasificación de las actividades del proyecto en críticas y no críticas. [2]

La definición de las actividades críticas y no críticas es crucial en la determinación de la fecha de terminación de todo el proyecto. Se dice que una actividad es no crítica si se permite alguna holgura en su programación, es decir, que se puede adelantar o retrasar, según sea el caso, sin afectar la duración total de todo el proyecto. Por el otro lado, se dice que una actividad es crítica si no existe margen en la determinación de sus tiempos de inicio y terminación. [2]

Se dice que un evento es un momento en el tiempo en el que se terminan unas actividades y se inician otras. Para efectuar los cálculos necesarios, en términos de redes, se puede definir un evento como un nodo. Se define lo siguiente:

\square_j = Tiempo más temprano de ocurrencia del evento j

Δ_j = Tiempo más tardío de ocurrencia del evento j

D_j = Duración de la actividad (i, j) [2]

Las definiciones anteriores son relativas a las fechas de inicio y terminación de todo el proyecto. [2]

El cálculo de la ruta crítica se realiza en dos pasos: el paso hacia delante y el paso hacia atrás. En el paso hacia delante se determinan los tiempos más tempranos de ocurrencia de los eventos. En el paso hacia atrás se determinan los tiempos más tardíos de ocurrencia de los eventos. [2]

B. MÓDULO DE MECATRÓNICA

Comprende la investigación y elaboración del diseño ideal para la construcción de los dedos que irán acoplados al brazo robótico R-17, para el diseño se escoge la herramienta ideal de diseño para obtener un análisis completo del modelo elaborado, culminado el diseño se selecciona el material adecuado para el maquinado de las piezas considerando sus propiedades mecánicas.

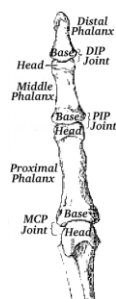
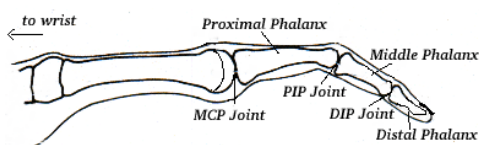
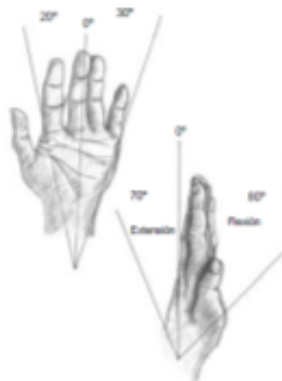
1. Anatomía humana de la mano

a. Mano. Los movimientos realizados por el hombro, el codo y la muñeca tienen como fin proporcionar a la mano la posición, la orientación y la estabilidad necesaria para llevar a cabo una actividad. El esqueleto de los dedos forman las falanges, huesos largos de pequeñas dimensiones. Hay tres para cada dedo, menos para el primero (pulgar), que tiene dos y son: falange o F1, falangina o F2 y falangeta o F3 (que soporta el pulpejo de los dedos y la uña). Cada falange tiene la base excavada por una cavidad articular y una cabeza en forma de tróclea (menos la F3). [3]

b. Huesos y articulaciones de muñeca y mano. La siguiente figura es una representación clara de los huesos y articulaciones que conforman la muñeca y mano:

Figura 4: Huesos y articulaciones de muñeca y mano



Figura 5: Vista palmar**Figura 6: Vista lateral de los huesos y articulaciones del dedo índice de una mano****Figura 7: Arcos de movimiento de la muñeca**

c. Articulaciones Interfalángicas (IF). Son articulaciones trocleares (de funcionamiento similar a una bisagra) que se establecen entre las falanges. Hay dos articulaciones Interfalángicas en los cuatro últimos dedos. [3]

d. Vainas y poleas. Estas estructuras no son exclusivas de la mano, pero en esta zona son las más típicas. Tienen una función primordial para la movilidad de los dedos, sobre todo para la flexión. [3]

e. Vainas de los tendones flexores de los dedos. Representan un sistema de poleas destinado a retener estos tendones en su recorrido por las correderas osteofibrosas palmares que forma el esqueleto de la mano. Las poleas impiden el desplazamiento en “cuerda de arco” de estos tendones durante la contracción de la musculatura flexora de los dedos y son imprescindibles para la mecánica de la flexión digital. Esto se representa en la siguiente figura.

Figura 8: Ejes de flexión de las articulaciones MF e IF.

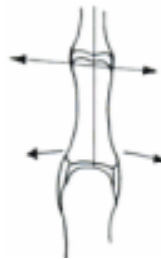


Figura 9: Convergencia de los dedos sobre el tubérculo



f. Articulaciones Metacarpofalángicas (MCF). Las articulaciones metacarpofalángicas de los dedos son unas articulaciones de tipo cóndilo entre las cabezas de los metacarpianos y la base de las falanges proximales. [3]

2. Músculos

a. Músculos flexores. La musculatura flexora intrínseca de la muñeca y los dedos tiene su origen en la cara anterior del antebrazo. El músculo flexor

común profundo, flexor común superficial y flexor largo del pulgar son los que realizan la flexión de los dedos e indirectamente de la muñeca. El flexor común profundo pasa por el canal carpiano dividiéndose en cuatro tendones que van a insertarse en la cara palmar de las falanges distales de los dedos índice, medio, anular y meñique. El flexor común superficial se inserta mediante dos lengüetas tendinosas en las caras laterales de la falange media de cada dedo. [3]

Figura 10: Aparato Flexor de los dedos



Figura 11: Vinculas vasculares, con las tres zonas de vascularización más precaria.

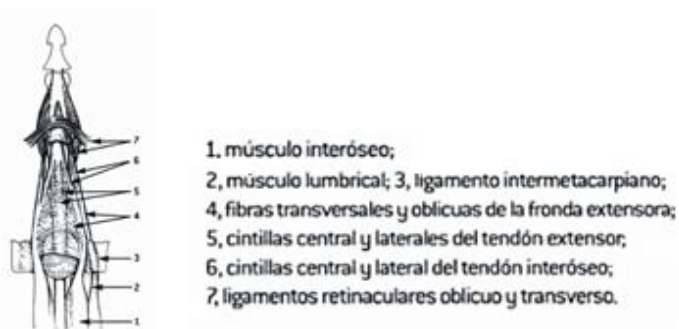


El flexor largo del pulgar tras pasar por el canal carpiano se inserta en la cara palmar de la base de la falange distal del pulgar. [3]

b. Músculos extensores. La musculatura extensora de los dedos es básicamente extrínseca, extienden las articulaciones Interfalángicas (IF) a la vez que flexionan las articulaciones metacarpofalángicas (MCF). [3]

Figura 12: Mecánica del aparato extensor [3]



Figura 13: Aparato extensor de los dedos [3]

3. Amplitud de movimientos. La movilidad activa de los cuatro últimos dedos en los adultos jóvenes, según Green se muestran en la Tabla 1. [3]

Tabla 1: Rango de movimiento de los cuatro últimos dedos [3]

		Índice	Medio	Anular	Meñique
MCF	Extensión	22°	18°	23°	19°
	Flexión	86°	91°	99°	105°
IFP	Extensión	7°	7°	6°	9°
	Flexión	102°	105°	108°	106°
IFD	Extensión	8°	8°	8°	8°
	Flexión	72°	71°	63°	65°
MAT	Varones	284°	288°	294°	297°
	Mujeres	305°	311°	318°	323°

- IFD-Articulación Interfalángica Distal
- IFP-Articulación Interfalángica Proximal
- MAT-Movilidad Activa Total
- MFC-Articulación Metacarpofalángicas

4. Arquitectura de la mano. La mano debe adaptar su forma al objeto que pretende para tomar, desde una superficie plana a una cilíndrica o esférica. Para ello su arquitectura dispone de arcos de tres tipos: transversales, longitudinales y oblicuos. [3]

Figura 14: Arcos de la mano [3]

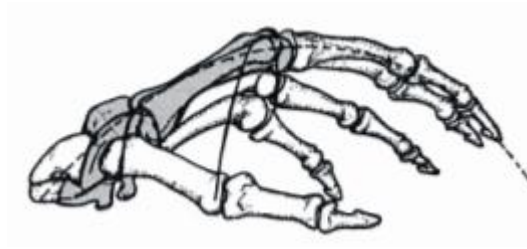
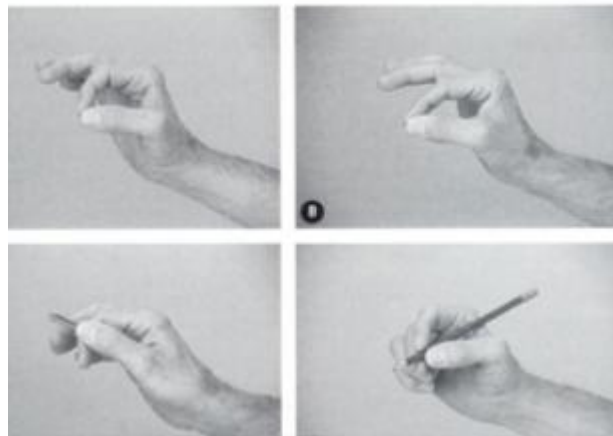


Figura 15: Mano en estado pinza [3]



Gracias a los movimientos que puede realizar el primer dedo de nuestras manos, se puede realizar la pinza con los cuatro restantes, empuñar, formando un potente gancho, mientras que con el pulgar se forma una pinza de precisión, que nos es indispensable para escribir, dibujar, etc. [4]

5. Antropomorfismo. Según el diccionario de la lengua española, la palabra antropomorfismo es la tendencia a atribuir rasgos y cualidades humanos a las cosas. [5]

Actualmente el diseño de robots con cualidades humanas se ha convertido en un desafío tecnológico y de robustez mecánica. El hombre se ha empeñado en reproducir los movimientos y forma de los dedos para crear herramientas para su beneficio. Al intentar reproducir un diseño ideal para los dedos uno de los problemas más grandes es la construcción de los mismos que va relacionado con el desarrollo y fabricación del

mecanismo para la transmisión de movimiento para cada una de las articulaciones que lo conformaran.

6. Mecanismos de transmisión de movimiento.

a. Mecanismo. Según el diccionario de la real academia española un mecanismo es un conjunto de las partes de una máquina en su disposición adecuada o estructura de un cuerpo natural o artificial, y combinación de sus partes constitutivas. Y una maquina es un conjunto de aparatos combinados para recibir cierta forma de energía y transformarla en otra más adecuada, o para producir un efecto determinado. [5]

En otras palabras un mecanismo es todo aquello móvil o fijo que realiza una determinada misión dentro de una máquina, es decir, un conjunto de elementos capaces de producir o transmitir un movimiento o realizar una función determinada. [4]

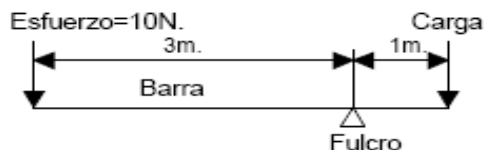
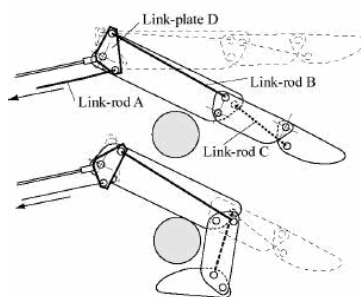
b. Definición de un mecanismo de transmisión de movimiento. Estos mecanismos aunque se pueden considerar por sí solos máquinas, es más preciso considerarlos como partes mecánicas o conjuntos mecánicos de una máquina que tienen como función básica transmitir el movimiento modificando su valor o su forma. Es decir, estos mecanismos transmiten el movimiento de un punto a otro. [6]

c. Mecanismo de barras fijas. Este tipo de mecanismo se caracteriza por ser muy fácil de implementar pero presenta limitaciones en la reproducción de los movimientos, es muy utilizado dentro del diseño de manos robóticas con un limitado número de grados de libertad (dedos de uno o dos grados de libertad), esto se debe a que el movimiento efectuado desde la primera articulación se extiende al mismo tiempo para el resto de las articulaciones, de esta forma se reduce la maniobrabilidad de la mano. Este tipo de mecanismo ha sido muy utilizado en la construcción de prótesis robóticas. [7]

Para el diseño de mecanismos de barras fijas, se debe tomar en cuenta la ley de la palanca. [8]

$$\text{Esfuerzo} * d_E = \text{Carga} * d_C \quad \text{En general podemos decir que: } E * d_E = C * d_C$$

[8]

Figura 16: Representación del esfuerzo y carga [9]**Figura 17: Relaciones del mecanismo de barras fijas [8]**

El rendimiento mecánico de una palanca $E = \frac{C * d_C}{d_E}$ se define como la relación que hay entre la carga y el esfuerzo. [8]

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Carga}}{\text{Esfuerzo}}$$

Se pueden distinguir tres casos de rendimiento mecánico, en función de las distancias del esfuerzo y la carga hasta el punto de apoyo, lo cual se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 2: Rendimiento Mecánico del mecanismo de barras fijas [9]

Distancia	Rendimiento	Esfuerzo
$d_E = d_C$	$R = 1$	Esfuerzo = Carga
$d_E > d_C$	$R > 1$	Esfuerzo > Carga
$d_E < d_C$	$R < 1$	Esfuerzo < Carga

d. Mecanismo con motor en cada junta o articulación. Utilizado en robots industriales a gran escala. Este mecanismo consiste en colocar motores en cada una de las articulaciones o juntas rotacionales, es una estrategia de diseño funcional ya que se puede lograr efectuar cualquier magnitud de fuerza seleccionando el tipo de motor adecuado. [8]

e. Mecanismo de transmisión circular. Transmiten el movimiento de un elemento a otro de manera circular. [8]

- Relación de transmisión: Es la relación que existe entre la velocidad a la que gira el eje conducido y el eje motriz. Se designa por “*i*”. [8]

$$i = \frac{W_{conducido}}{W_{motriz}}$$

$\omega_{Conducido}$ = velocidad angular del eje conducido

ω_{Motriz} = velocidad angular del eje motriz

- También podemos calcular la relación de transmisión en función del número de dientes (*Z*) o del diámetro de las poleas (*D*). [8]

$$i = \frac{Z_{motriz}}{Z_{conducido}} = \frac{D_{motriz}}{D_{conducido}}$$

f. Mecanismo de transmisión por cadena. Está formado por una rueda con dientes, llamada plato o corona (es la rueda motriz) que transmite la fuerza a otra rueda, llamada piñón (es la rueda conducida), también con dientes, por medio de una cadena. [8]

g. Mecanismo de transmisión por correa. Está formado por dos poleas conectadas por medio de una correa. Para conseguir que las poleas giren en sentido contrario, se cruza la correa. [8]

h. Mecanismo de transmisión por engranajes. Un engranaje es una rueda que lleva dientes tallados en su perímetro. Para transmitir el movimiento entre dos ejes, se hacen coincidir los dientes del engranaje que va a transmitir el movimiento (engranaje motriz) con los del engranaje que lo va a recibir (engranaje conducido). Cuando se hace esta unión se dice que los dos engranajes están acoplados o engranados. [8]

i. El tornillo sin fin. Se trata de un tornillo que se engrana a una rueda dentada. Por cada vuelta del tornillo sin fin, la rueda dentada acoplada gira un diente. Con el tornillo sin fin se consigue una gran reducción en la velocidad de giro. En este mecanismo, el tornillo sin fin siempre es el motriz y la rueda es la conducida; además el número de dientes del tornillo sin fin es uno, normalmente. [8]

j. Mecanismo de transmisión por poleas. Está formado por dos poleas conectadas por medio de un cordel. Para conseguir que las poleas giren en sentido contrario, se cruza el cordel. Es utilizada para elevar cargas con facilidad. Para este tipo de mecanismo las cuerdas que se utilizan para la transmisión en las poleas deben ir unidas en un punto fijo para evitar el deslizamiento y lograr el que el movimiento sea transmitido. [7]

Entre las ventajas que presenta este mecanismo son que es fácil de implementar y disminuye el peso del mecanismo. Para realizar el análisis de este mecanismo de transmisión de movimiento es necesario considerar que cuando el eje de una máquina motriz o motor gira a una velocidad de rotación V_r , una polea que se encuentra acoplada al mismo también gira a la misma velocidad de rotación V_r , y la velocidad tangencial V_t en la periferia de la polea dependerá del radio de la misma. La polea por medio de

fricción a través de una cuerda o cordón puede transmitir su movimiento a otra polea que esté montada sobre el eje de otro mecanismo receptor del movimiento, el cual según sea la relación de transmisión, podrá adquirir menor, igual o mayor velocidad de rotación que el primero. La polea que transmite el movimiento se denomina motora o conductora, en tanto que la que recibe el movimiento recibe el nombre de conducida. [8]

$V_M = \omega_M * r_M$ y $V_C = \omega_C * r_C$ como ambas velocidades son iguales podemos decir que:

$$\boxed{\omega_M * r_M = \omega_C * r_C} \quad [8]$$

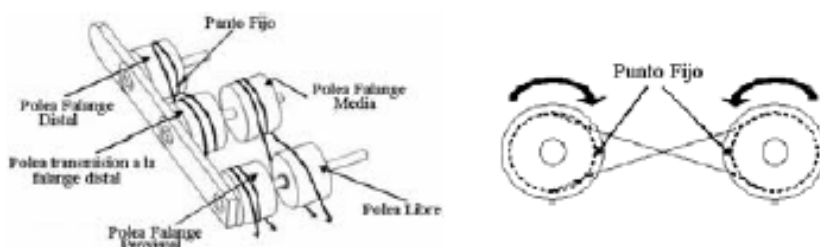
La reducción o aumento de velocidades también afecta a la fuerza que puede ejercer cada eje, de forma que un aumento de velocidad implica reducción de fuerza, y por el contrario una reducción de velocidad implica un aumento de fuerza. [9]

El motivo para emplear un sistema de poleas puede ser tanto **aumentar o reducir la velocidad**, como **aumentar o reducir la fuerza** del eje que recibe el movimiento. [9]

Tabla 3: Relación de fuerza en el mecanismo de transmisión por poleas [9]

Tamaño de las Poleas	Relación de Velocidades	Eje Conducido
$R_M = R_C$	$R_V = 1$	=Fuerza=Velocidad
$R_M < R_C$	$R_V > 1$	+Fuerza-Velocidad
$R_M > R_C$	$R_V < 1$	-Fuerza+Velocidad

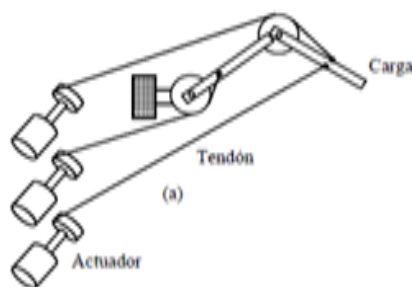
Figura 18: Mecanismo de transmisión por poleas [8]



k. Mecanismo por tendones. La transmisión mediante tendones ha sido la más utilizada dentro de la robótica ya que representa un mecanismo que puede entregar grandes cantidades de fuerza y permite control en la entrega, típicamente se configura como una única hebra de alambre que reproduce la estructura de un tendón de un dedo. Los tendones representan una estructura adecuada para la entrega de robustas cantidades de fuerza de un punto a otro, generalmente esto se hace utilizando poleas u otro tipo de dispositivos que le permiten a los tendones soportar una amplia gama de movimientos a una distancia considerable. Para la generación de movimiento es necesaria una fuente de energía como motores. Es aconsejable que cada movimiento que se desee efectuar se lleve a cabo con un tendón activado mediante un motor, también se debe buscar el motor adecuado para ejercer la fuerza necesaria a través de lo largo del tendón. Para este mecanismo de transmisión el movimiento angular depende de la tensión aplicada al cable. [9]

La principal ventaja de este tipo de transmisión antes mencionado es la de localizar los actuadores remotamente del dedo. Esto permite reducir el tamaño, peso y la inercia del dedo. Como desventaja deben superar los inconvenientes relacionados con la flexibilidad de los tendones, tales como las vibraciones, holgura del tendón y el rozamiento que origina una pérdida de potencia en la transmisión. De hecho, los sistemas biológicos se caracterizan por tener un alto rendimiento de transmisión, ya que la fricción entre los tendones y las vainas de transmisión de estos sobre las articulaciones es ínfima. La holgura del tendón es corregido aplicando un pre-tensionado apropiado en los tendones. [9]

Los manipuladores robóticos accionados bajo tendones, presentan tres configuraciones principales de cadenas cinemáticas. Estas pueden ser clasificadas en configuraciones de n , $n+1$ y $2n$ actuadores (m), donde n representa el número de grados de libertad (GdL). [9]

Figura 19: Mecanismo de transmisión por tendones [9]

La siguiente tabla describe el cuadro comparativo de las ventajas y desventajas para cada uno de los mecanismos de transmisión de movimiento citados.

Tabla 4: Cuadro comparativo de los mecanismos de transmisión de movimiento

Barras fijas	Motores en cada junta	Poleas	Tendones
Fácil de implementar	Utilizado para diseños a gran escala	Fácil de implementar	La más utilizada en robótica
Limitaciones en la reproducción de movimientos	Es funcional con el motor adecuado	Reducción de peso	Permite entregar grandes cantidades de fuerza
Útil para un diseño de uno o dos grados de libertad	Incremento de Costo	Pueden generarse problemas de fricción	Se necesita una fuente de energía adecuada
Poca maniobralidad de la mano	Incremento de peso en la estructura	Relación de Velocidades	Se pueden localizar los actuadores distantes
La fuerza se reparte		Estructuras grandes	Gran reducción de tamaño, peso e inercia del dedo
Pérdida de fuerza si se incrementa el número de barras			Desventajas (flexibilidad, vibraciones y holgura)
Análisis del rendimiento mecánico			Si hay rozamiento se pierde potencia

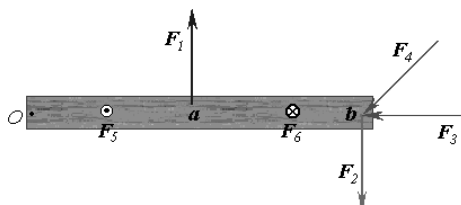
7. Torque y equilibrio del cuerpo rígido. En general un cuerpo puede tener tres tipos distintos de movimiento simultáneamente. De traslación a lo largo de una trayectoria; de rotación mientras se está trasladando; y de vibración de cada parte del cuerpo mientras se traslada y gira. [10]

Cuando un cuerpo está en rotación, cada punto tiene un movimiento distinto de otro punto del mismo cuerpo, aunque como un todo se esté moviendo de manera similar, por lo que ya no se puede representar por una partícula. Pero se puede representar como un objeto extendido formado por un gran número de partículas, cada una con su propia velocidad y aceleración. Al tratar la rotación del cuerpo, el análisis se simplifica si se considera como un objeto rígido y se debe tener en cuenta las dimensiones del cuerpo. [10]

8. **Cuerpo rígido.** Se define como un cuerpo ideal cuyas partes (partículas que lo forman) tienen posiciones relativas fijas entre sí cuando se somete a fuerzas externas, es decir no deformable. Con esta definición se elimina la posibilidad de que el objeto tenga movimiento de vibración. Este modelo de cuerpo rígido es muy útil en muchas situaciones en las cuales la deformación del objeto es despreciable. [10]

9. **Torque de una fuerza.** Cuando se aplica una fuerza en algún punto de un cuerpo rígido, el cuerpo tiende a realizar un movimiento de rotación en torno a algún eje. La propiedad de la fuerza para hacer girar al cuerpo se mide con una magnitud física que llamamos torque o momento de la fuerza. Se prefiere usar el nombre torque y no momento, porque este último se emplea para referirnos al momento lineal, al momento angular o al momento de inercia, que son todas magnitudes físicas diferentes para las cuales se usa el mismo término. [10]

Figura 20: Fuerzas aplicadas a una regla [10]



Se define el **torque** τ de una fuerza F que actúa sobre algún punto del cuerpo rígido, en una posición r respecto de cualquier origen O , por el que puede pasar un eje sobre el cual se produce la rotación del cuerpo rígido, al producto vectorial entre la posición r y la fuerza aplicada F , por la siguiente expresión: [10]

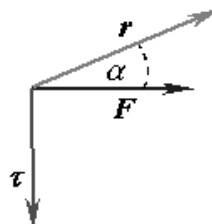
$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F} \quad [10]$$

El *torque* es una magnitud vectorial, si α es el ángulo entre \mathbf{r} y \mathbf{F} , su valor numérico, por definición del producto vectorial, es: [10]

$$\tau = rF \text{sen}(\alpha) \quad [10]$$

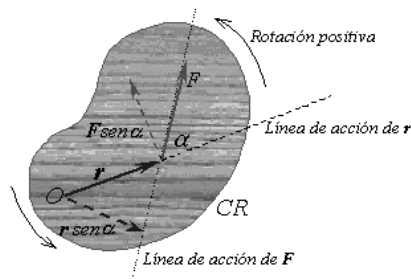
Su dirección es siempre perpendicular al plano de los vectores \mathbf{r} y \mathbf{F} , cuyo diagrama vectorial se muestra en la siguiente figura, su sentido esta dado por la regla del producto vectorial, la regla del sentido de avance del tornillo o la regla de la mano derecha. En la regla de la mano derecha los cuatro dedos de la mano derecha apuntan a lo largo de \mathbf{r} y luego se giran hacia \mathbf{F} a través del ángulo α , la dirección del pulgar derecho estirado da la dirección del torque y en general de cualquier producto vectorial. [10]

Figura 21: Diagrama vectorial del torque [10]



Por convención se considera el torque positivo (negativo) si la rotación que produciría la fuerza es en sentido antihorario (horario); esto se ilustra en la siguiente figura. La unidad de medida del torque en el SI es el Nm (igual que para trabajo, pero no se llama joule). [10]

Figura 22: Sentido del torque [10]



El torque de una fuerza depende de la magnitud y dirección de F y de su punto de aplicación respecto a un origen O . Si la fuerza F pasa por O , $r = 0$ y el torque es cero. Si $\alpha = 0$ o 180° , es decir, F está sobre la línea de acción de r , $F \sin(\alpha) = 0$ y el torque es cero. $F \sin(\alpha)$ es la componente de F perpendicular a r , sólo esta componente realiza torque, y se le puede llamar F_{\perp} . De la figura anterior también se ve que $r_{\perp} = r \sin(\alpha)$ es la distancia perpendicular desde el eje de rotación a la línea de acción de la fuerza, a r_{\perp} se le llama brazo de palanca de F . Entonces, la magnitud del torque se puede escribir como:

$$\tau = r(F \sin \alpha) = F(r \sin \alpha) = rF_{\perp} = r_{\perp}F \quad [10]$$

10. Actuador para el movimiento. Se estudia el actuador adecuado que permite generar el movimiento de cada una de las partes de los dedos. Generalmente un actuador llega a controlar únicamente un grado de libertad. Es necesario tomar en cuenta varios parámetros al momento de elegir el actuador adecuado ya que el movimiento se consigue ejerciendo fuerza.

El tipo de actuador que se utiliza es el servomotor. Se presenta una descripción breve de este tipo de actuador.

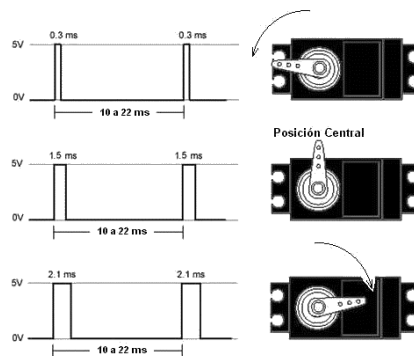
Un Servomotor es un dispositivo pequeño que tiene un eje de rendimiento controlado. Puede ser llevado a posiciones angulares específicas al enviar una señal codificada. Mantiene la posición angular del engranaje hasta que la señal codificada cambia. Son muy utilizados en el área de la robótica, se caracteriza por un bajo consumo de energía. Cuenta con tres alambres de conexión externa, uno es para alimentación positiva (V_{cc}), conexión a tierra (GND) y el de control. [11]

El motor del servo tiene algunos circuitos de control y un potenciómetro que está conectado al eje central del servo motor. El potenciómetro permite a la circuitería de control supervisar el ángulo actual del servo motor. Si el eje está en el ángulo correcto, el motor permanecerá apagado, de lo contrario si el circuito indica que el ángulo no es el

correcto, el motor girará en la dirección adecuada hasta llegar al ángulo correcto. El eje del servo es capaz de llegar de 0° a 180° grados. Algunos servomotores llegan a alcanzar los 210° grados. [11]

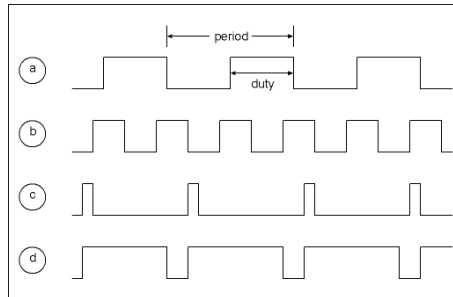
El cable de control se usa para comunicar el ángulo, este está determinado por la duración de un pulso que se aplica al cable de control. A esto se le llama Modulación por ancho de Pulsos (PWM-Pulse Width Modulation). El servomotor espera que se repita el pulso a un ritmo entre 10 a 22 ms. La longitud del pulso determinará el giro del motor. Un pulso de 1.5 ms, por ejemplo, hará que el motor gire a la posición de 90° grados (llamada posición neutra). Si el pulso es menor de 1.5 ms, entonces el motor se acercará a los 0° grados y si el pulso es mayor a 1.5 ms, el eje se acercará a los 180° grados. [11]

Figura 23: Control del servomotor [11]



11. Modulación por ancho de pulsos (PWM-Pulse Width Modulation). Es una técnica de modulación en la que se modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica para, entre otras cosas, variar la velocidad de un motor. El ciclo de trabajo (Duty Cycle) de una señal periódica es el ancho relativo de su parte positiva en relación al período. Cuando más tiempo pase la señal en estado alto, mayor será la velocidad del motor. [12]

a. Duty cycle. Recibe este nombre la relación de tiempos entre el estado alto y bajo de la señal utilizada. Se expresa como un porcentaje entre el periodo y el ancho del pulso. [12]

Figura 24: Modulación por ancho de pulsos

12. **Esfuerzo.** El esfuerzo se define como la intensidad de las fuerzas componentes internas distribuidas que resisten un cambio en la forma de un cuerpo. El esfuerzo se define en términos de fuerza por unidad de área. Fuerza por unidad de área (σ)

$$\sigma = \frac{P}{A}. \quad [13]$$

13. **Módulo elástico (Modulo de Young o de elasticidad).** El Módulo elástico describe la inflexibilidad o rigidez relativa de un material, que se mide mediante el plano inclinado de la región elástica del grafico de resistencia-deformación. La siguiente figura en la zona en línea recta representa la deformación elástica reversible porque la fuerza sigue siendo inferior al límite proporcional, la región curva representa la deformación plástica irreversible que no se recupera cuando el alambre se fractura al aplicar cierta fuerza. La deformación elástica se recupera totalmente cuando se elimina la fuerza aplicada o una vez que el alambre se fractura. El modulo de elasticidad se define como esfuerzo dividido entre deformación unitaria, tiene las mismas unidades que el esfuerzo (Newton por metro cuadrado). [14]

El Módulo de elasticidad del Acero inoxidable está entre 192-200 GPa. [14]

Figura 25: Gráfico de resistencia-deformación [14]



14. Relación de ángulos entre falanges. La siguiente ecuación describe la posición angular para cada una de las falanges (θ_q), θ_{RMF} es el ángulo máximo desarrollado por cada una de las falanges:

$$\theta_q = \theta_{RMF} / 2 (\cos(\omega t + \pi)) + \theta_{RMF} / 2$$

Las ecuaciones que describen a cada una de las falanges son las siguientes: [15]

$$\theta_{FP} = \pi / 6 (\cos(\omega t + \pi)) + \pi / 6$$

$$\theta_{FM} = \pi / 4 (\cos(\omega t + \pi)) + \pi / 4$$

$$\theta_{FD} = 7\pi / 72 (\cos(\omega t + \pi)) + 7\pi / 72$$

Así se puede obtener una relación entre falanges de la siguiente manera:

- Relación entre falange media y falange proximal [15]

$$\theta_{FM} = \frac{3}{2} \theta_{FP}$$

- Relación entre falange distal y falange [15]

$$\theta_{FD} = \frac{7}{12} \theta_{FP}$$

- Relación entre falange distal y falange media [15]

$$\theta_{FD} = \frac{7}{18} \theta_{FM}$$

15. Baterías

a. **Baterías de Iones de Litio.** El litio es el más ligero de los metales, tiene el mayor potencial electroquímico y proporciona la mayor densidad de energía por peso.

Ion-Litio es una batería de bajo mantenimiento. No hay efecto de memoria ni control del número de ciclos para prolongar la vida de la batería. Además, la auto-descarga es inferior a la mitad en comparación con el níquel-cadmio, eso hace que las baterías de ion-Litio sean adecuadas para aplicaciones modernas. Las celdas de iones de litio causan poco daño cuando son descartadas de uso. [16]

- Ventajas [16]
 - Alta densidad de energía.
 - Una carga regular es todo lo que se necesita cuando son nuevas.
 - Relativamente baja auto-descarga - menos de la mitad que el de las baterías basadas en níquel.
 - Bajo mantenimiento - no es necesario descargar periódicamente la batería, no hay efecto de memoria.
 - Celdas especializadas pueden proporcionar corriente alta si la aplicación lo requiere.

- Limitaciones [16]
 - Requiere de protección para mantener la tensión y corriente dentro de límites seguros.
 - Sujetas a envejecimiento, aun cuando no están en uso – Si se almacenan en un lugar fresco y con un 40% de la carga se reduce el efecto de envejecimiento.
 - Restricciones de transporte - el envío de mayores cantidades pueden estar sujetos a control reglamentario.

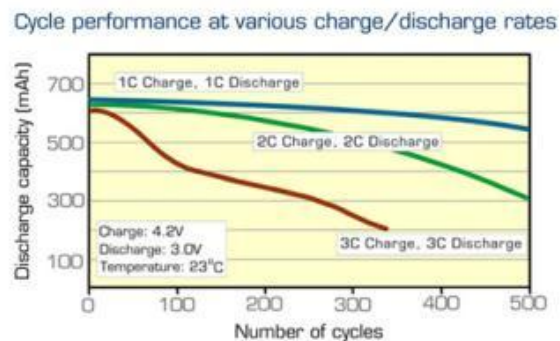
- Se eleva el costo de fabricación aproximadamente el 40 por ciento más que el costo de níquel-cadmio.

b. Prolongando la duración de la batería a través de la moderación. Las condiciones de carga tienen un efecto negativo sobre la vida de la batería. La longevidad es a menudo un resultado directo de las tensiones ambientales aplicadas.

Las siguientes directrices sugieren maneras para prolongar la duración de la batería.

- El momento en que la batería se mantiene en 4.20V/celda debe ser lo más breve posible. Prolongado el alto voltaje promueve la corrosión, especialmente a temperaturas elevadas. [16]
- 3.92V/celda es el umbral de voltaje superior de tensión a base de cobalto de ion-Litio. Recargar las baterías a este nivel de voltaje se ha demostrado que mantienen doble ciclo de vida. [16]
- La carga de las baterías de ion-Litio debe ser moderada (0.5C). La menor carga de corriente reduce el tiempo en el que la celda reside en 4.20V. [16]
- No descargar las baterías de Ion-Litio tan profundo, en su lugar recargarlas frecuentemente. Las baterías de iones de litio no tienen problemas de memoria. No son necesarias las descargas profundas. [16]

Figura 26: Duración de litio-ion en función de la carga y descarga [16]



Una carga y descarga moderada pone menos tensión en la batería, resultando en una vida más larga del ciclo.

c. Efecto de memoria. Pérdida paulatina de autonomía de baterías debido a las recargas parciales de la misma. Las baterías de litio no sufren este efecto. [17]

d. Profundidad de descarga (DOD-Depth Of Discharge).

1) Baterías de ciclo profundo. Se refiere en general a las baterías que tienen la capacidad de descargarse completamente cientos de veces. Una batería ciclo profundo puede ser usada en varias aplicaciones, como en energía solar de lanchas, casas móviles, casas de campaña, zonas rurales, etc. [18]

2) Ciclo. Un ciclo es una carga y descarga de una batería a cualquier porcentaje de descarga. La cantidad de descarga de la batería (en porcentaje) comparada a su capacidad cuando está llena determina la necesidad para una carga pequeña, moderada o profunda. A esto se le llama la profundidad de descarga de la batería (DOD) y es medida en porcentaje. Por ejemplo, 40% DOD indica una batería que ha sido descargada por un 40% de su capacidad total y tiene una carga remanente del 60%. [18]

3) Tipos de ciclos. Existen tres tipos primarios de ciclos de descarga de las baterías, pequeña, moderada y profunda. Estos términos nos ayudaran para comprender el tipo de ciclo que las baterías requerirán. El ciclo pequeño ocurre cuando solo un pequeño porcentaje del total de la capacidad de la batería es descargado. Los ciclos moderado y profundo es donde las baterías son descargadas a un mayor porcentaje del total de la capacidad de la batería respectivamente. [19]

4) Ciclos de vida. Es difícil calcular los ciclos de vida de las baterías ya que dependen de muchos factores como son: el mantenimiento, el porcentaje de descarga, temperatura de la batería, cantidad de veces que se descarga, vibración, etc. [19]

Tabla 5: Ciclos de vida [19]

% de descarga (DOD)	Ciclos
25	2200
50	1000
75	550
100	325

5) Determinando el porcentaje de carga de las baterías. El DOD de las baterías (en porcentaje) es lo contrario al estado de carga de las baterías. Por ejemplo si la batería tiene un 70 % de carga, la profundidad de descarga es el 30% siendo que el total debe ser igual a 100% (ver *Error! Reference source not found.*). [19]

Tabla 6: Estado de carga de las baterías vs voltaje/gravedad específica [19]

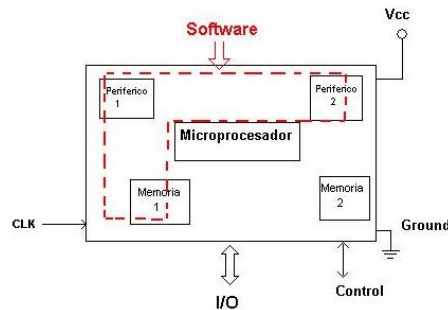
VOLTAJE	GRAVEDAD ESPECÍFICA	ESTADO DE CARGA	DOD
12.66	1.265	100%	0%
12.45	1.225	75%	25%
12.25	1.190	50%	50%
12.05	1.145	25%	75%
11.90	1.100	0%	100%

La carga superficial se refiere a una carga inflada en un nivel inmediato superior después de que una batería ha sido cargada completamente. Para remover la carga superficial de la batería, es recomendable aplicarle una carga por un periodo de tiempo, permitirle a la batería reposar y medir su nuevo voltaje. [19]

16. Microcontrolador. Un microcontrolador es un circuito integrado que contiene todos los componentes de un computador. Se emplea para controlar el funcionamiento de una tarea determinada y, debido a su reducido tamaño, suele ir incorporado en el propio dispositivo al que gobierna. Esta última característica es la que le confiere la denominación de «controlador incrustado» (embedded controller). Se dice

que es “la solución en un chip” porque su reducido tamaño minimiza el número de componentes y el costo. [20]

Figura 27: Estructura general de un microcontrolador [20]



a. El procesador. Es el elemento más importante del microcontrolador y determina sus principales características a nivel de hardware y de software. Se encarga de direccionar la memoria de instrucciones, recibir el código de operación de la instrucción en curso, su decodificación y la ejecución de la operación que implica la instrucción, así como la búsqueda de operandos y el almacenamiento del resultado. [20]

b. Memoria. En los microcontroladores la memoria de instrucciones y datos está integrada en el chip. Una parte debe ser no-volátil, tipo ROM, y se destina a contener el programa de instrucciones que gobierna la aplicación. Otra parte de memoria será tipo RAM, volátil, y se destina a guardar las variables y los datos. [20]

c. Puertas de entrada y salida. La principal utilidad de los pines del microcontrolador es soportar las líneas de entrada y salida que comunican al computador interno con los periféricos exteriores. [20]

d. Reloj principal. Todos los microcontroladores poseen un circuito oscilador que genera una onda cuadrada de alta frecuencia, que configura los impulsos de reloj usados en la sincronización de todas las operaciones del sistema. Generalmente está

incorporado y sólo se necesitan unos pocos elementos exteriores para seleccionar y estabilizar la frecuencia de trabajo. [20]

e. Recursos especiales. Cada fabricante ofrece diferentes versiones de la arquitectura básica de un microcontrolador, ampliando las memorias, incorporando nuevos recursos, reduciendo las prestaciones, etc. Lo principales periféricos son: temporizador, perro guardián (watchdog Timer), protección ante fallo de alimentación, estado de reposo o de bajo consumo, conversor A/D, conversor D/A, comparador analógico, modulador PWM, puertas de E/S digitales, puertas de comunicación. [20]

17. Neopreno. En 1928, el Dr. Wallace Hume Carothers (1896-1937) encabezó la primera década de investigación en química orgánica de DuPont. Un par de años más tarde descubrió el caucho sintético neopreno. [21]

Policloropreno neopreno es una versátil goma sintética, con más de 75 años de desempeño probado en un amplio espectro de la industria. Originalmente fue desarrollado como un aceite sustituto resistente para la goma natural. El neopreno se caracteriza por una combinación única de propiedades, que ha llevado su uso en miles de aplicaciones en ambientes diversos. [22]

Una combinación equilibrada de propiedades se presenta a continuación: [22]

- Es útil en un amplio rango de temperaturas
- Resiste la quema intrínsecamente mejor que la quema de hule de hidrocarburos
- Excelente resistencia a los daños causados por la flexión y torsión
- Resiste a la degradación del sol, el ozono y el clima
- Tiene un buen desempeño en contacto con aceites y muchos productos químicos.

La composición química de la goma sintética de neopreno es policloropreno. La estructura del polímero puede ser modificada por copolimerización del cloropreno con azufre o con 2,3-di cloro-1,3-butadieno para producir una familia de materiales con una amplia gama de propiedades químicas y físicas. Mediante una selección y formulación de estos polímeros, el compuesto puede lograr un rendimiento óptimo para un determinado uso. El neopreno está disponible como un sólido y como líquido de dispersión. [22]

Tabla 7: Propiedades del neopreno [23]

PROPIEDADES	NEOPRENO
Dureza shore a	30-90
Resistencia al desgarro	B
Resistencia a la abrasión	MB
Resistencia a la presión (kg/cm)	E
Deformación permanente	B
Resistencia a los ácidos	
Ácidos diluidos	R a B
Ácidos concentrados	R a B
Resistencia a los disolventes	
Hidrocarburos alifáticos	P
Hidrocarburos aromáticos	P
Oxigenados (cetonas)	R a B
Aceites y gasolina	P
Resistencia a:	
Ozono	R a B
Calor	B
Frio	E
Absorción de agua	MB

E: EXCELENTE / MB: MUY BUENO / B: BUENO / R: REGULAR / P: POBRE

Figura 28: Escala de dureza [23]



a. Guantes con recubrimiento de Neopreno/Látex. Los guantes con recubrimiento de neopreno sometidos conforme EN374-3, demuestra cómo se desempeñó el material de los guantes frente a productos químicos específicos bajo condiciones controladas en un laboratorio.

EN374-3 Guantes de protección contra productos químicos y microorganismos. Determinación de la resistencia a la permeabilidad de los productos químicos. Esta norma se aplica para determinar la resistencia de los materiales de los guantes a la permeabilidad por productos químicos no gaseosos, potencialmente peligrosos bajo condiciones de contacto continuo. La resistencia de la permeabilidad para un producto químico sólido o líquido se determina midiendo el tiempo de paso del producto químico a través del material del guante. [24]

En la versión 2003 de EN 374-3, un guante es resistente a los productos químicos si tiene un índice de resistencia por lo menos equivalente a 2 para tres productos químicos de prueba de la siguiente lista: [25]

- Código letra / Producto químico: [25]
 - A Metanol
 - B Acetona
 - C Acetonitrilo
 - D Diclorometano
 - E Carbono disulfuro
 - F Tolueno
 - G Dietilamina
 - H Tetrahidrofúrano
 - I Acetato de etilo
 - J n-Heptano
 - K Sosa cáustica 40 %
 - L Acido sulfúrico 96 %

Tabla 8: Índice de protección de guantes con recubrimiento de Neopreno [24]

Índice de protección	0	1	2	3	4	5	6
Penetración: Resiste o no resiste al paso de agua y aire	No resiste	Resiste					
Permeabilidad: Tiempo de paso (minutos)	<10	>10	>30	>60	>120	>240	>480

Los guantes se someten a pruebas: difusión a escala molecular de un producto químico a través del guante. Una muestra del guante separa dos compartimientos: uno contiene el producto químico, el otro gas o un líquido a partir del cual se va a detectar la cantidad de producto químico que ha atravesado la muestra (flujo de permeación). A partir de esta prueba se determina el tiempo de paso, medido en minutos, al que corresponde un índice de protección; cuanto más elevado es el índice, más resistente es el guante a la permeación. Se estima que un guante que resiste a la permeación, constituye una barrera eficaz contra los riesgos microbiológicos. [24]

b. **Látex.** Caucho ó Hule, sustancia natural o sintética que se caracteriza por su elasticidad, repelencia al agua y resistencia eléctrica. El caucho natural se obtiene de un líquido lechoso de color blanco llamado látex, que se encuentra en numerosas plantas. El caucho sintético se prepara a partir de hidrocarburos insaturados. [26]

1) **Propiedades físicas y químicas.** El caucho bruto en estado natural es un hidrocarburo blanco o incoloro. El compuesto de caucho más simple es el isopreno o 2-metilbutadieno, cuya fórmula química es C_5H_8 . A la temperatura del aire líquido, alrededor de $-195\text{ }^\circ\text{C}$, el caucho puro es un sólido duro y transparente. De 0 a $10\text{ }^\circ\text{C}$ es frágil y opaco, y por encima de $20\text{ }^\circ\text{C}$ se vuelve blando, flexible y translúcido. Al amasarlo mecánicamente, o al calentarlo por encima de $50\text{ }^\circ\text{C}$, el caucho adquiere una textura de plástico pegajoso. A temperaturas de $200\text{ }^\circ\text{C}$ o superiores se descompone. [26]

C.MÓDULO DE INTERFAZ

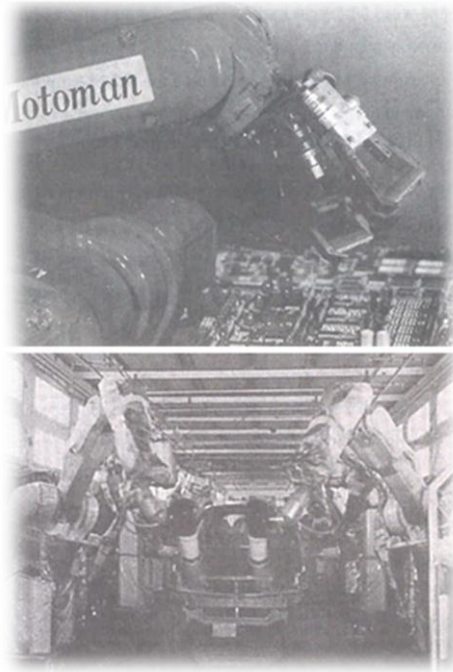
El módulo de interfaz tiene como objetivo registrar las coordenadas en el espacio de un sensor magnético colocado en el guante controlador y así reproducir en el brazo robótico industrial R-17 los movimientos que el usuario realiza.

1. Robots. Actualmente, no sólo se realizan investigaciones en los robots propiamente dichos, sino también, en todos los campos necesarios relacionados con los robots, como los métodos de desplazamiento, agarre de objetos, comunicación entre robots, inteligencia artificial y otras.

a. Progreso en robots. Hoy en día, no podrían existir robots sin el desarrollo de sistemas de computación y tecnología de control. Los ordenadores y la tecnología de control experimentaron un fuerte desarrollo durante la segunda guerra mundial. En la década de los 60, fueron fabricados por primera vez los circuitos integrados. Un simple chip tiene funciones equivalentes a varias docenas de transistores. Fue por aquella época cuando salieron al mercado a gran escala robots industriales y empezaron a ser utilizados en los Estados Unidos por los fabricantes de automóviles. Con la llegada de circuitos chips altamente integrados incluyendo LSI y VLSI, la velocidad de cálculo de los robots mejoró enormemente, junto con grandes avances en la miniaturización. Estos avances ayudaron a impulsar el desarrollo de los robots y más tarde plantearon la necesidad, relacionada con la tecnología de los robots, de la búsqueda de dispositivos equipados con funciones equivalentes a los cinco sentidos humanos para “ver, oír, tocar, oler y saborear” – es decir, “sensores”.

La mayoría de los robots fabricados actualmente son capaces de desarrollar ciertas rutinas o procedimientos de trabajo. Los robots industriales y brazos robóticos son buenos ejemplos, ya que realizan trabajos asignados en las posiciones predeterminadas, de manera que no necesitan estar contruidos como los humanos, que tienen cerebro, manos y piernas.

Figura 29: Aplicaciones de brazos robóticos



b. Comunicación. La investigación en el área de comunicación presenta dos aspectos: una es la comunicación entre robots; otra es la comunicación entre robots y humanos. Se realizan investigaciones sobre el intercambio de información y la coordinación de varios robots que operan conjuntamente. Cuando los robots se comunican con humanos, los robots necesitan entender por medio de sensores la inteligencia humana, englobando el lenguaje humano y la expresión de la cara.

2. Sensor magnético Ascension 3D Guidance medSAFE. El sensor magnético microBIRD es un sensor de rastreo altamente preciso fabricado y utilizado principalmente en aplicaciones médicas. Este sensor rastrea la posición y orientación de múltiples objetos dentro del rango de operación del transmisor, el cual posee seis grados de libertad. Un ejemplo de aplicación de estos sensores miniaturizados es habitualmente el uso en instrumentos médicos y catéteres, con el fin de aumentar la seguridad y minimizar la incertidumbre de seguimiento y localización.

Figura 30: Aplicación del sensor microBIRD



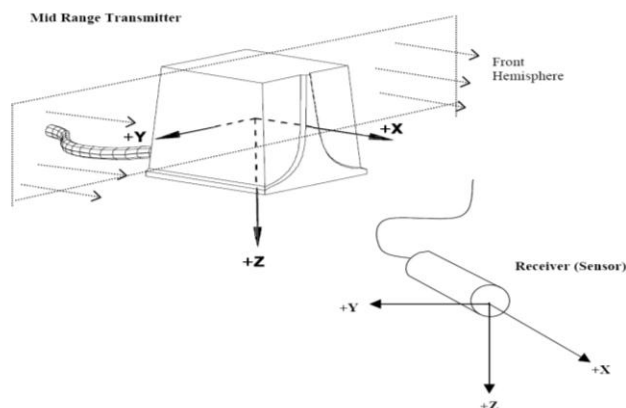
a. Detalles importantes del sensor.

- Sensor de posición que brinda 6 grados de libertad.
- Sensor ampliamente utilizado en aplicaciones medicas
- Puede utilizar 4 sensores simultáneamente
- Brinda coordenadas de una posición en 3 dimensiones, sin estar afectado por radiación ionizante.
- El sensor es flexible y no tiene como restricción el hecho de tener que ver al transmisor.

b. Localización del sensor magnético.

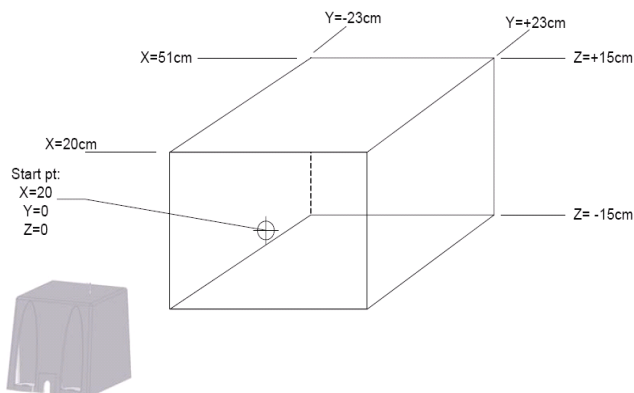
1) Transmisor. El transmisor de medio rango consiste en un núcleo altamente permeable que contiene 3 juegos de inductores. Cada juego de inductores posee un ángulo recto con respecto a los otros juegos de inductores y por lo tanto cada uno de estos conjuntos de inductores representan un eje de coordenadas. El campo magnético a lo largo de los ejes X, Y y Z del transmisor son creados cuando una corriente eléctrica atraviesa las bobinas. La mayor fuerza de este campo magnético se encuentra en los puntos cercanos a él, y la fuerza de este campo magnético decae con una relación del inverso al cubo de la distancia.

Figura 31: Transmisor del sensor magnético



Debido al decaimiento en la fuerza de los campos magnéticos generados, se asegura el correcto funcionamiento del sensor magnético si se mantiene dentro de un rango de coordenadas.

Figura 32: Dimensiones de alcance óptimo del sensor magnético



[27]

Para sensores que pertenecen al Modelo 180 lo rangos de coordenadas son:

X = 20 a 51cm desde el centro del transmisor

Y = ±23 cm desde el centro del transmisor

Z = ±15 cm desde el centro del transmisor

2) Ciclo que sigue el sensor magnético para cada medición:

- La bobina que representa el eje X se energiza.
 - Con esto una corriente atraviesa un set de bobinas que generan un campo magnético que crece hasta alcanzar un estado estable. Este estado estable se mantiene mientras el campo magnético envuelve metales que alteran este campo y se toma la medición cuando se tiene una salida estable del sensor.
- Se elimina la energía de la bobina X.
- Durante el tiempo transcurrido los valores en el sensor son medidos y sumados.
- La compensación en la calibración del sensor es aplicada a los valores obtenidos.
- Se aplican filtros para reducir el ruido.
- Los datos obtenidos son procesados por medio de un algoritmo que se encarga de traducirlos a coordenadas.
- Se repite el mismo procedimiento para los 2 ejes restantes.

3) Comandos aceptados por el sensor magnético

- ANGLES** Brinda solamente los ángulos
- STREAM** Mantiene desplegando continuamente las coordenadas.
- POINT** Brinda las coordenadas cada vez que se le piden.

4) Configuración por defecto para el sensor magnético

Tabla 9: Configuración por defecto del sensor magnético

BAUD RATE: (RS 232)	115200
TASA DE MEDICION	Transmisor de medio rango: 68.3 Hz
ESCALA	36 pulgadas
“SENSOR OFFSETS”	Offset de cero
ÁNGULO DE ALINEAMIENTO	Ángulos de cero
HEMISFERIO	FRONT (adelante)
“AC WIDE NOTCH”	Encendido
FILTRO ADAPTABLE:	Encendido

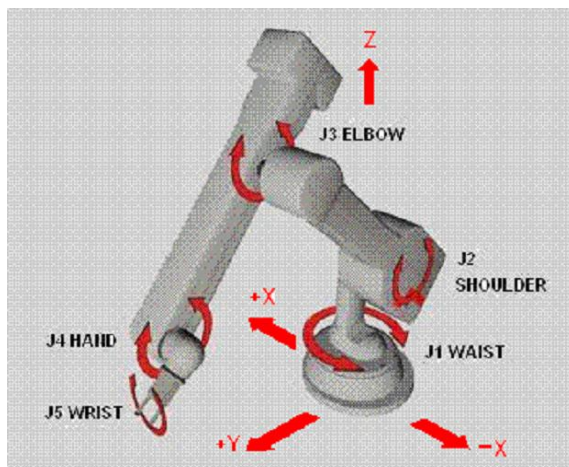
- **Baud rate:** Establece la velocidad en la comunicación serial.
- **Tasa de medición:** Ajusta la velocidad en la adquisición. Esta se puede modificar para optimizar o alterar la susceptibilidad a la distorsión ocasionada por ciertos metales.
- **Escala:** Determina el factor utilizado por microBIRD para reportar la posición del sensor con respecto al transmisor. Los valores validos son de 36 y 72, los cuales representan toda la escala de posiciones de salida y está representada en pulgadas.
- **“Sensor Offsets”:** Representa posición X, Y, Z del centro magnético del sensor, es decir, define el origen.
- **Ángulo de alineamiento:** Representa la posición inicial que toman los ángulos

- **Hemisferio:** Este parámetro es comunicarle al sensor el hemisferio en el cual está trabajando con respecto al transmisor. Este tiene seis hemisferios de los cuales se puede disponer: FRONT (adelante), BACK (atrás), TOP (arriba), BOTTOM (abajo), LEFT(izquierda) y RIGHT (derecha). Si no se especifica ningún hemisferio se utilizará FRONT por defecto.
- **“Ac wide notch”:** Se refiere a un filtro aplicado a los datos del sensor y que tiene como finalidad eliminar la señal sinusoidal con una frecuencia entre 30 y 72 hertz.
- **Filtro adaptable:** Cuando el sensor se enciende, inmediatamente se aplica un filtro pasa-bajas a los datos obtenidos del sensor, lo cual permite eliminar el ruido de altas frecuencias.

3. **Brazo Robótico R17.** El R17 es un revolucionario brazo robótico con un formato de articulaciones verticales. Formato que se asemeja a un brazo humano y sus partes, las cuales tienen el mismo nombre.

El R17 se compone de tres unidades principales: el robot, el controlador y la computadora. La computadora es usada para programar el software que controla el brazo.

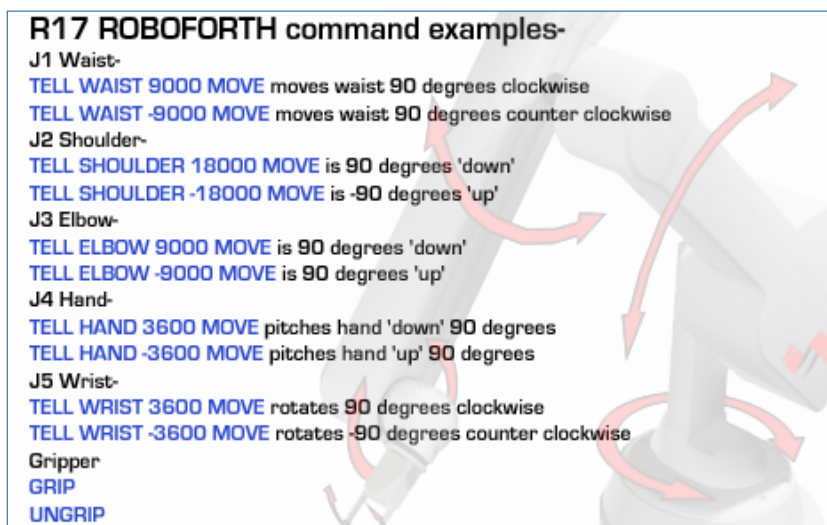
Figura 33: Articulaciones del R17



J1	Cintura (waist)
J2	Hombro (shoulder)
J3	Codo (elbow)
J4	Mano (hand)
J5	Muñeca (wrist)

4. **Roboforth II.** Es un lenguaje de cuarta generación orientado a listas, el cual tiene como base el lenguaje FORTH y consta de un diccionario de aproximadamente 450 palabras, las cuales determinan el trabajo que se desea hacer. Aunque se cuenta con un diccionario de palabras reservadas bastante reducido, éste es el lenguaje por excelencia utilizado en el manejo de robots y quizás sea el lenguaje más poderoso por medio del cual se puede desarrollar cualquier aplicación imaginable. Algo muy importante que hay que tomar en cuenta, todos los comandos utilizados tienen que ser escritos en mayúsculas (UPPER CASE), debido a las especificaciones del lenguaje ROBOFORTH.

Figura 34: Comandos utilizados en Roboforth



D.MÓDULO DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA

La comunicación inalámbrica es un tipo de comunicación en la que no se necesita un medio físico para propagar la información que se desea transmitir. Es decir, la tecnología inalámbrica utiliza ondas de radiofrecuencia (ondas electromagnéticas) que se propagan por el espacio sin ningún medio físico que conecte a los dos componentes, emisor y receptor, de la transmisión.

1. **Tecnología ZigBee.** La tecnología ZigBee es un protocolo de redes inalámbricas de baja velocidad de transferencia, bajo consumo de energía y bajo costo,

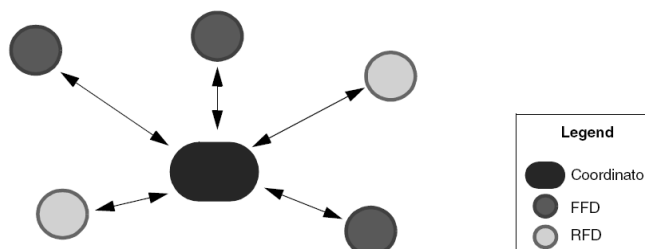
que está dirigido hacia la automatización y aplicaciones de control remoto. ZigBee puede transmitir en distancias de 10 a 75 metros, dependiendo del ambiente (otras ondas RF) y la potencia que demanda la aplicación. Opera mundialmente a una frecuencia de 2.4GHz con una velocidad de 250kbps y en América a una frecuencia de 915MHz con velocidad de 40kbps.

2. Componentes de una IEEE 802.15.4 WPAN. Un sistema que conforma este estándar consiste de varios componentes. La parte más básica es el dispositivo, que puede ser RFD o FFD. Dos o más dispositivos en un mismo espacio de operación personal (Personal Operating Space, POS), que se comunican a través de un mismo canal físico constituyen una WPAN. La red debe tener al menos un FFD, para hacer la función de coordinador de la red de área personal. A pesar que las la familia de las WPAN se caracterizan por estar definida típicamente para operar únicamente en un rango pequeño (alrededor de los 10 metros), este rango de operación se puede extender.

3. Tipos de topología de redes en ZigBee (IEEE 802.15.4)

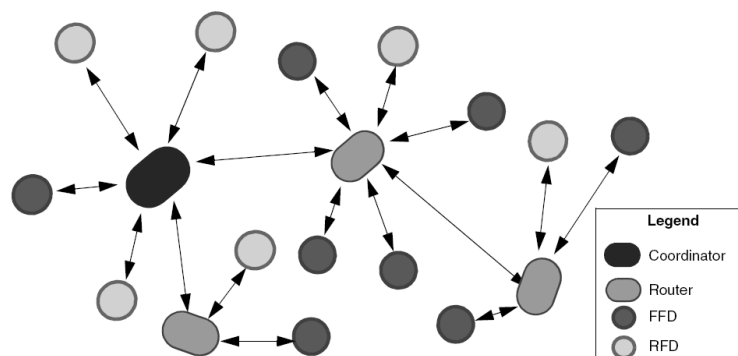
a. Configuración estrella. Una red en configuración estrella se compone de un coordinador central de la red de área personal y uno o más dispositivos terminales u ordinarios. La comunicación se establece entre los distintos dispositivos periféricos y el controlador central. Los dispositivos ordinarios pueden establecer comunicación solamente con el coordinador. Si un dispositivo ordinario necesita transferir datos hacia otro dispositivo ordinario, deberá hacerlo a través del coordinador.

Figura 35: Topología Estrella



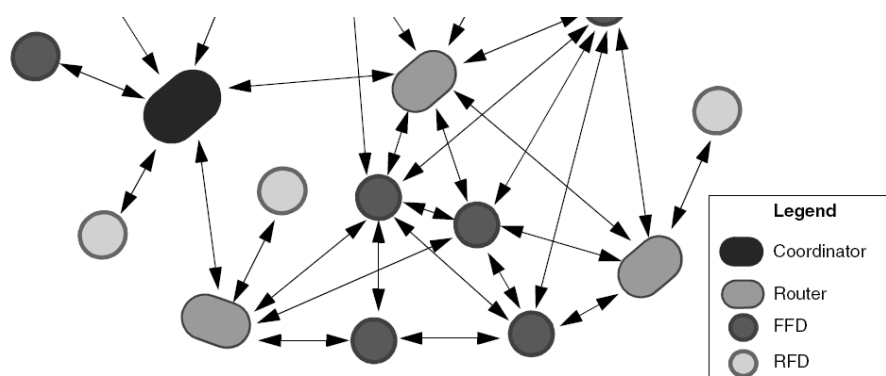
b. Configuración Cluster-Tree. En esta configuración, los dispositivos ordinarios pueden incluirse en la red principal del coordinador de la PAN o bien, pueden incluirse en las subredes establecidas por los routers.

Figura 36: Topología Cluster-Tree.



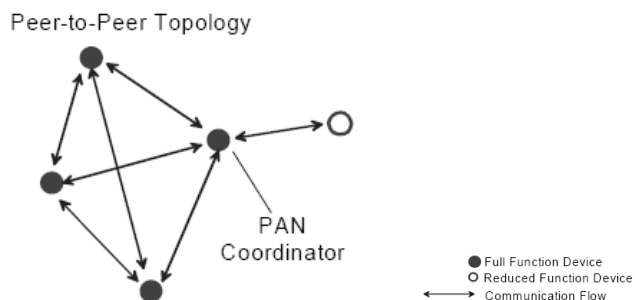
c. Configuración Malla (Mesh). Es similar a una red en configuración *cluster-tree*, con la diferencia que en esta topología, los FFD's pueden transferir información directamente con otros FFD's, sin la necesidad de seguir la estructura de árbol. La transferencia de datos hacia los RFD's se debe hacer a través de su FFD padre.

Figura 37: Topología Malla (Mesh).



d. Configuración Punto a Punto. La topología punto a punto debe tener también un coordinador, sin embargo difiere de las otras topologías, puesto que cualquier dispositivo puede comunicarse con cualquier dispositivo siempre que estos estén dentro de su rango de alcance. Esta topología permite la formación de redes más complejas, como las redes tipo malla.

Figura 38: Topología Punto a Punto.



4. Arquitectura de redes WPAN 802.15.4. La arquitectura está definida en términos del número de bloques para simplificar el estándar. Los bloques se llaman capas (layer). Cada capa es responsable de una parte del estándar y ofrece servicios para las capas superiores. El diseño de los bloques está basado en la interconexión abierta de sistemas (OSI) de siete capas. Las interfaces entre capas se utilizan para definir los enlaces lógicos que se describen en este estándar. Un dispositivo LR-WPAN tiene un PHY, que contiene la frecuencia de radio (RF) con el transmisor y el receptor junto con su mecanismo de control de bajo nivel. La otra subcapa es MAC. Esta provee acceso a los canales físicos de todo tipo para transmitir la información. Las capas superiores consisten de una capa de red, que provee la configuración de la red, manipulación y enrutamiento de mensajes, y una capa de aplicaciones, provee la función que implementa el dispositivo.

a. Capa Física (PHY). PHY es responsable de las siguientes tareas:

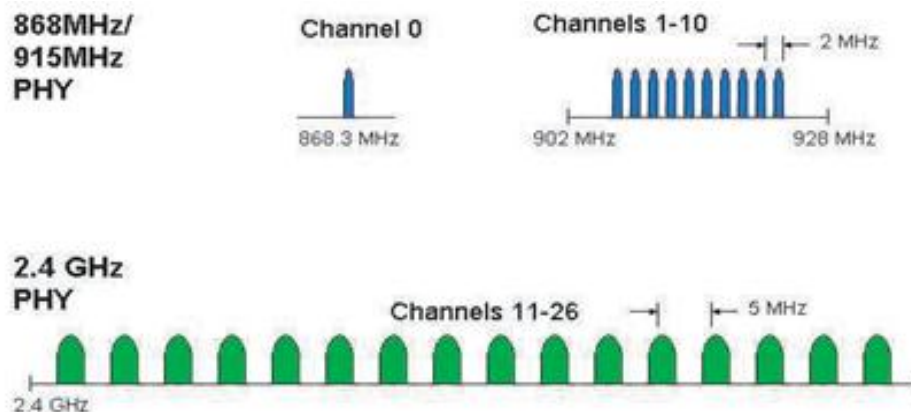
- Activación y desactivación del transmisor y receptor de radio.
- Detección de energía en el canal utilizado.

- Indicación de la calidad del enlace.
- Selección de un canal.
- Evaluación de los canales libres u ocupados.
- Envío y recepción de paquetes a lo largo del medio físico.

El estándar ofrece dos opciones de PHY basados en la banda de frecuencias en la que se este operando. Ambas están basadas en el espectro de secuencias directas difundidas. La velocidad de transferencia es de 250kbps a 2.4GHz, 40kbps a 915MHz y 20kbps a 868MHz. La velocidad de transferencia más alta se atribuye a un esquema de modulación de orden alto. Baja frecuencia proveen rangos de alcance mayores debido a que la señal se atenúa menos. Entonces, baja velocidad de transferencia se puede traducir a mejor transmisión y mayor área de cobertura. Mayor velocidad significa mayor tasa de transferencia, menor latencia de la señal o menor ciclo de trabajo. La sensibilidad del receptor es -85dBm con 2.4GHz y -92dBm con 868/915MHz.

Existe un solo canal entre los 868 y 868.6MHz, diez canales entre 902 y 928MHz y 16 canales entre 2.4 y 2.4825GHz para un total de 27 canales. Varios canales en las distintas bandas de frecuencia habilitan la traslación de la red dentro del espectro. También permiten la selección dinámica del canal, que es una función que paso a paso analiza la lista de canales en búsqueda de un emisor.

Figura 39: Bandas de frecuencia



b. Subcapa MAC (Medium Access Control). Esta subcapa maneja todo acceso al canal de radio físico y es responsable de las siguientes tareas:

- Generación de estación emisora de señal (radiofaros) en la red si el dispositivo es un coordinador.
- Sincronización de todos los radiofaros de la red.
- Soporte para la asociación y desasociación en la PAN.
- Soporte de seguridad de dispositivos.
- Emplear el mecanismo para acceder a los canales del espectro donde se opera.

E. MÓDULO SENSORIAL

El módulo sensorial consiste en la evaluación e instalación de sensores de temperatura, presión y flexión para el control de los dedos robóticos, diseño del guante controlador y desarrollo del sistema de control mediante la comparación de las señales provenientes de los sensores desde el guante controlador y los dedos robóticos.

1. Sensores y transductores

a. **Sensor.** El sensor es el elemento que se encuentra en contacto directo con la magnitud que se va a evaluar y tiene respuestas de distinta intensidad dependiendo de la magnitud de la variable que está censando.

b. **Transductor.** Este tiene la misión de traducir o adaptar un tipo de energía en otro más adecuado para el sistema, es decir que convierte una magnitud física que no sea interpretable o adecuada para un sistema en una que sí lo sea.

c. **Diferencia.** La diferencia entre sensor y transductor radica en que el grado de confianza de una medición incrementa cuando todos los factores de influencia de la medición son conocidos y completamente entendidos. Un sensor detecta las magnitudes físicas o químicas del entorno que se quiere medir o controlar y se las proporciona al transductor para que las transforme a señales (generalmente eléctricas) proporcionales a su entrada, todo esto para que puedan ser utilizadas posteriormente por el sistema que en un principio no era compatible. Tenemos que la diferencia entre estos dos dispositivos es marcada por su función.

d. **Tipos.**

1) **Por su funcionamiento:**

- **Analógicos:** proporcionan una señal cuyos valores varían continuamente en el tiempo, por ejemplo un voltaje o una corriente eléctrica.

- Digitales: Producen una señal de salida en la forma de un conjunto de bits de estado en paralelo o formando una serie de pulsaciones que pueden ser contadas.

2) Por su salida:

Tabla 10: Clasificación de sensores por su vida

Tipo	Ventajas	Desventajas
Resistivos	Salida potente, sencillos, pequeños, no susceptibles a ruido, económicos	Insensibles, requieren calibración constante
Capacitivos	Robustos, no requieren calibración constante, buena resolución	Susceptibles a ruidos, salida débil, susceptibles a temperatura, no lineales.
Inductivos	No requieren calibración constante, robustos	Corta vida útil, interferir a otros sensores, salida débil, caros, no lineales.
De potencial	No susceptibles a ruido, no requieren calibración constante, Resistentes a la temperatura.	Salida débil, poca repetitividad, baja escala y rangos, requiere de circuitería extra.

e. Características. Los sensores tienen ciertas características técnicas las cuales se pueden manejar para seleccionar el sensor que más se ajuste a la aplicación que se desea. Es necesario conocer a qué se refiere cada parámetro para no cometer un error al momento de adquirir un dispositivo de este tipo ya que puede que se esté haciendo una inversión más grande por características que no se necesitan (gasto innecesario) o por otro lado que se compre uno que no ejecuta las mediciones como se requieren. Los parámetros más importantes de los sensores y transductores se listan a continuación:

- Rango de medida: Representa el valor máximo y mínimo que el instrumento puede medir, el instrumento mostrará su medida más alta aún cuando la variable a medir tenga una magnitud mayor, de la misma manera el instrumento mostrará su medida más pequeña aún cuando la variable tenga una magnitud menor.
- Precisión: Capacidad de un instrumento de dar el mismo resultado en diferentes mediciones realizadas en las mismas condiciones a la misma variable a medir, es decir que un instrumento preciso proporcionará el mismo valor como resultado todas las veces que se mida una misma variable bajo las mismas condiciones.
- Exactitud: Capacidad de un instrumento de medir un valor cercano al valor del magnitud real, mientras más exacto sea el instrumento el porcentaje de error entre la medición hecha y el valor real irá tendiendo o acercándose a 0.
- Linealidad: Se refiere a la relación entre la entrada y la salida del dispositivo de medición, si en una grafica marcamos todos los valores de entrada posibles y relacionamos cada una con la salida correspondiente del dispositivo obtendremos la grafica de linealidad del dispositivo.
- Sensibilidad: Es una relación entre la magnitud de la respuesta del instrumento y la magnitud de la cantidad que se está midiendo.
- Resolución: Determina el cambio más pequeño que se puede detectar.
- Rapidez o velocidad de respuesta: Se refiere al tiempo que se toma el dispositivo en reaccionar a un cambio de la variable que está midiendo y mostrar el cambio en su salida.

f. Aplicaciones. Estos dispositivos tienen un amplio campo de aplicación ya que sirven para que dispositivos electrónicos tengan contacto con el mundo exterior, adicionalmente facilita y economiza muchos procesos industriales que requieran la toma de medidas físicas o químicas de una manera rápida constante y continua.

2. Sistemas de control

a. Conceptos básicos. Podemos decir que un sistema de control es el conjunto de dispositivos que colaboran en la realización de una tarea, donde el principio básico del control es la regulación automática o guía de sistemas dinámicos bajo condiciones de estados estacionarios y transitorios.

b. Elementos de un sistema de control. En todo sistema de control aparecen claramente diferenciados una serie de elementos característicos al mismo que es necesario clarificar:

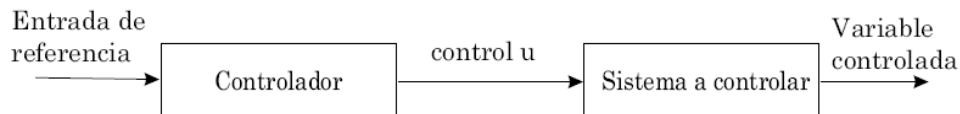
- Variable: Generalmente se le conoce como señal de salida. Constituye la señal que se desea controlar.
- Planta: Constituye el conjunto de elementos que realizan una determinada función. En el ejemplo propuesto la planta o sistema lo constituiría toda la vivienda en su conjunto.
- Sensor: Es el elemento que permite captar el valor de la variable a controlar en determinados instantes de tiempo.
- Señal de referencia: Es la señal consigna o valor que deseamos que adquiera la señal de salida (objetivo de control).
- Actuador: El actuador es el elemento que ejerce trabajo y actúa sobre el sistema, modificando de esta forma la señal de salida.
- Controlador: El controlador es el elemento que comanda al actuador en función del objetivo de control.

- Perturbación: Señal que tiende a afectar negativamente el valor de la salida del sistema.

Todos estos elementos aparecen de alguna u otra forma en casi todo sistema de control. Identificar y estudiar cada uno de ellos de una forma correcta resulta esencial para poder diseñar un controlador que permita alcanzar el objetivo de control deseado en todo instante.

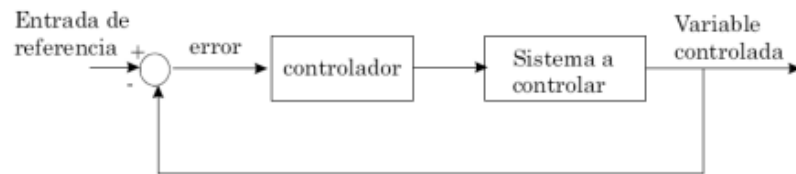
c. Sistemas de control a lazo abierto y lazo cerrado. Un sistema de control en lazo abierto es aquel en el que la señal de salida no influye sobre la acción de control. El controlador no tiene en cuenta el valor de la señal de salida de manera que ésta no se compara con la señal de referencia para decidir la actuación en todo instante sobre el sistema.

Figura 40: Sistema de control a bucle abierto



Evidentemente los sistemas de control en lazo abierto funcionarían razonablemente bien siempre y cuando hayan sido perfectamente estudiados y no exista ninguna alteración sobre el sistema.

En los sistemas de control en bucle cerrado existe una realimentación de la señal de salida o variable a controlar. En este tipo de sistemas se compara la variable a controlar con la señal de referencia de forma que en función de esta diferencia entre una y otra, el controlador modifica la acción de control sobre los actuadores de la planta o sistema. En el sistema de control en lazo cerrado ya no afectan tanto las variaciones en cada una de las características del proceso ya que el controlador debe actuar en todo instante en función de la diferencia entre la señal a controlar y la señal de referencia.

Figura 41: Sistema de control a lazo cerrado

d. Análisis en el dominio del tiempo. El análisis en el dominio del tiempo se relaciona con el estudio de la respuesta de los sistemas a señales aperiódicas tales como: entrada escalón, rampa, parábola e impulso.

1) Respuesta transitoria y respuesta en estado estable. Se entiende por régimen transitorio a la respuesta que va del estado inicial al estado final; y por régimen permanente a la manera en la cual se comporta la salida del sistema conforme el tiempo (t) tiende a infinito.

2) Sistemas de primer orden. Un típico sistema de primer orden está representado físicamente por un circuito RC, un sistema térmico o algo similar, su relación entrada salida se obtiene mediante:

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{1}{Ts + 1}$$

Su representación en diagrama de bloques es la mostrada en la siguiente figura.

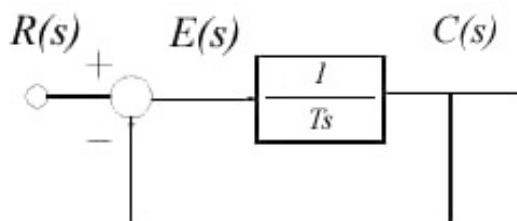
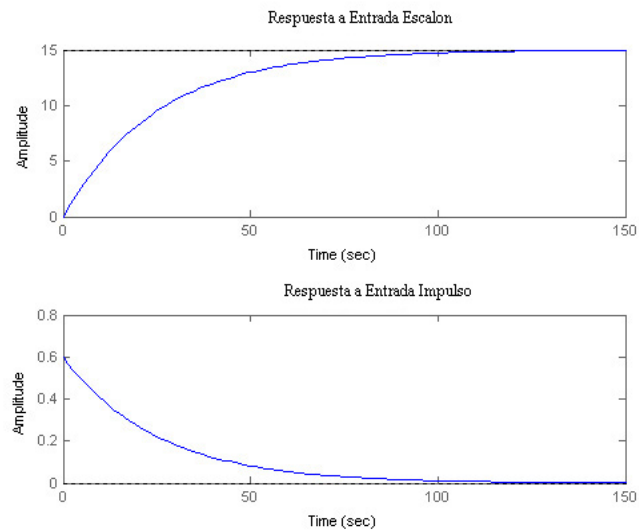
Figura 42: Diagrama de bloques de un sistema de primer orden

Figura 43: Respuesta a escalón unitario e impulso de un sistema de primer orden



3) Sistemas de Segundo Orden. La función de transferencia prototipo de un sistema de segundo orden en lazo cerrado es:

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{\omega_n}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$$

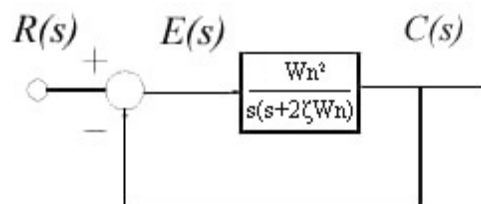
Donde:

ζ = Factor de Amortiguamiento Relativo

ω_n = Frecuencia Natural no Amortiguada

Su representación en diagrama de bloques es la mostrada en la siguiente figura.

Figura 44: Diagrama de bloques de un sistema de segundo orden



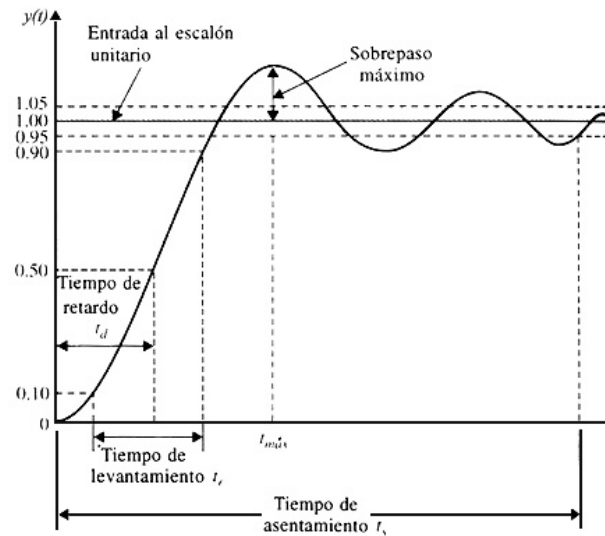
El comportamiento dinámico de un sistema de segundo orden se describe en términos de los parámetros ζ y w_n , con base a esto se clasifica el sistema de la siguiente manera:

- Caso Sub-amortiguado $0 < \zeta < 1$
- Caso Críticamente amortiguado $\zeta = 1$
- Caso Sobre amortiguado $\zeta > 1$

A continuación se muestra la respuesta típica al escalón unitario de un sistema de segundo orden donde:

- Tiempo de Retardo t_d : es el tiempo requerido para que la respuesta alcance la primera vez la mitad del valor final.
- Tiempo de Levantamiento t_r : es el tiempo requerido para que la respuesta pase del 10% al 90% (usual en sistema sobre amortiguados) del 5% al 95% o del 0% al 100% (usual en sistemas sub-amortiguados)
- Tiempo Pico t_p : es el tiempo requerido para que la respuesta alcance el primer pico del sobrepaso.
- Sobrepaso máximo M_p : es el valor pico máximo de la curva de respuesta medido a partir de la unidad. Si el valor final en estado estable de la respuesta es diferente de la unidad, es común usar el porcentaje de sobre paso máximo.
- Tiempo de Asentamiento T_s : es el tiempo que se requiere para que la curva de respuesta alcance un rango alrededor del valor final del tamaño especificado por el porcentaje absoluto del valor final y permanezca dentro de él.

Figura 45: Respuesta a escalón unitario de un sistema de segundo orden



e. Análisis en el dominio de la frecuencia. No es más que la respuesta de un sistema en estado estable a una entrada sinusoidal. En los métodos de la respuesta en frecuencia, la frecuencia de la señal de entrada se varía en un cierto rango para estudiar la respuesta resultante. El interés de tratar entradas sinusoidales está en que la respuesta del sistema a estas señales contiene información sobre la respuesta a señales más generales.

La salida en estado estable para una entrada sinusoidal viene dada por el sistema:

$$\frac{C(s)}{R(s)} = G(s)$$

La entrada $r(t)$ es sinusoidal y se obtiene mediante:

$$r(t) = a \sin(\omega t)$$

Si el sistema estable la salida $c(t)$ se obtiene a partir de:

$$c(t) = b \sin(\omega t + \phi)$$

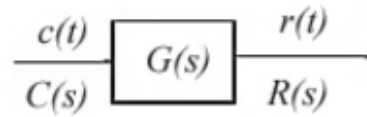
Donde:

$$b = a|G(j\omega)|, \text{ y}$$

$$\phi = \angle G(j\omega) = \tan^{-1} \frac{\text{parte imaginaria de } G(j\omega)}{\text{parte real de } G(j\omega)}$$

Su representación en diagrama de bloques es la mostrada en la siguiente figura.

Figura 46: Diagrama de bloques de un sistema en el dominio de la frecuencia



La función de transferencia sinusoidal, función compleja de la frecuencia se caracteriza por su magnitud y ángulo de fase, con la frecuencia como parámetro. Por lo general se usan representaciones graficas de las funciones de transferencias sinusoidales como por ejemplo trazas de Bode o Logarítmicas, traza de Nyquist o Polar, traza de Magnitud Logarítmica contra la fase, etc.

f. Acciones básicas de control. Empezaremos con una clasificación de los diferentes controladores industrial:

- De dos posiciones o de encendido y apagado (on-off)
- Proporcionales
- Integrales
- Proporcionales-Integrales
- Proporcionales-Derivativos
- Proporcionales-Integrales-Derivativos

1) Control proporcional. Se basa en la relación entre la señal de salida del controlador $u(t)$ y la señal de error $e(t)$.

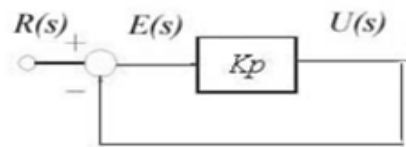
$$u(t) = K_p e(t)$$

Su equivalente en función de transferencia se obtiene aplicando transformada de Laplace.

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p$$

Donde K_p se considera la ganancia proporcional. Este tipo de controlador puede ser visto como un amplificador con una ganancia ajustable, su representación es la mostrada en la siguiente figura.

Figura 47: Representación de un sistema de control proporcional



3) Control integral. El valor de la salida del controlador $u(t)$ se cambia a una razón proporcional a la señal de error $e(t)$, es decir: [56]

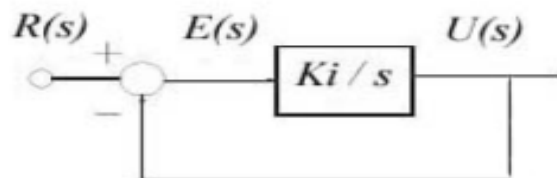
$$\frac{\delta u(t)}{\delta t} = K_i(t) \quad \text{o bien,} \quad u(t) = K_i \int_0^t e(t) \delta t$$

Donde K_i es una constante ajustable. La equivalente en función de transferencia es:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = \frac{K_i}{s}$$

Si se duplica el valor de $e(t)$, el valor de $u(t)$ varía dos veces más rápido, cuando $e(t) = 0$, el valor de $u(t)$ permanece estacionario, es decir que mantiene el valor de la entrada del proceso. En ocasiones este es denominado también control de reajuste (reset). La representación en diagrama de bloques de un controlador integral es el representado en la siguiente figura.

Figura 48: Diagrama de bloques de un controlador integral



4) Control proporcional-integral. La acción de este controlador se define mediante:

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) \delta t$$

Si su equivalente en función de transferencia es:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right)$$

Donde:

K_p = Ganancia proporcional

T_i = Tiempo integral

Ambos parámetros son ajustables; el tiempo integral ajusta la acción de control integral, mientras que un cambio en el valor de la ganancia proporcional, afecta las partes integral y proporcional de la acción de control. El inverso de T_i se denomina velocidad de reajuste; esta indica la cantidad de veces por minuto que se duplica la parte proporcional de la acción de control. La representación en diagrama de bloques de éste sistema es el siguiente.

Figura 49: Diagrama de bloques de un sistema de control proporcional-integral

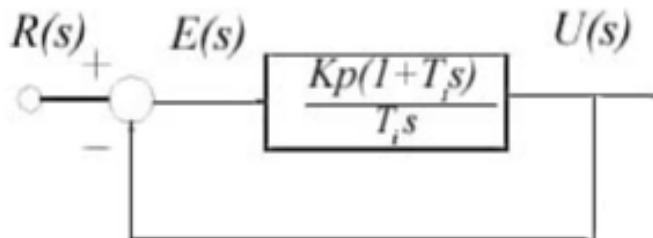
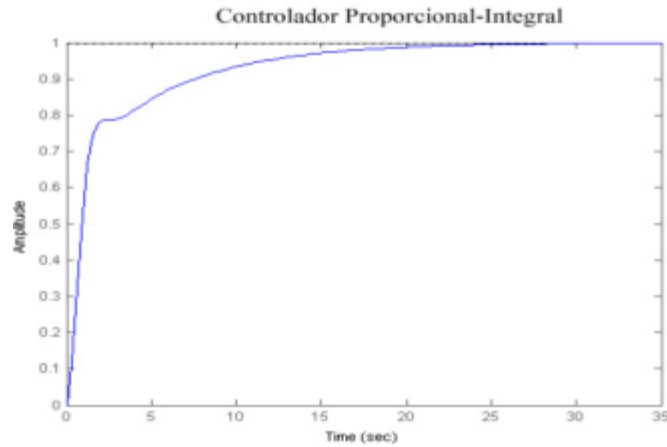


Figura 50: Respuesta a la función escalón de un controlador proporcional-integral



5) Control proporcional-derivativo. La ecuación que describe a éste tipo de sistemas es la siguiente:

$$u(t) = K_p e(t) + K_p T_d \frac{\delta e(t)}{\delta t}$$

Su función de transferencia es:

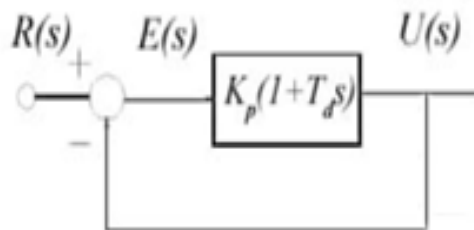
$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p(1 + T_d s)$$

Donde:

K_p = Ganancia proporcional

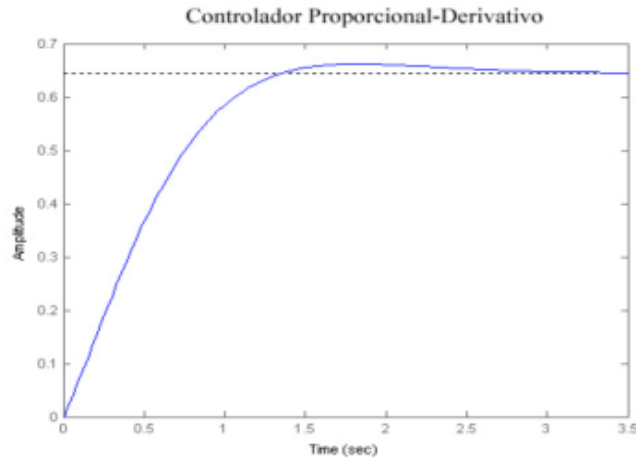
T_d = Tiempo derivativo

Figura 51: Diagrama de bloques para un sistema proporcional-derivativo



La magnitud de la señal de salida de este tipo de acción, también llamada control de velocidad, es proporcional a la velocidad de cambio de la señal de error. La constante es el intervalo de tiempo durante el cual la acción de la velocidad hace avanzar el efecto de la acción proporcional.

Figura 52: Respuesta a entrada escalón de un controlador proporcional-derivativo



6) Control Proporcional-Integral-Derivativa (control PID). Esta acción combinada tiene las ventajas y efectos de las acciones de control PD y PI, su ecuación viene dada por: [56]

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) \delta t + K_p T_d \frac{\delta e(t)}{\delta t}$$

Su función de transferencia es:

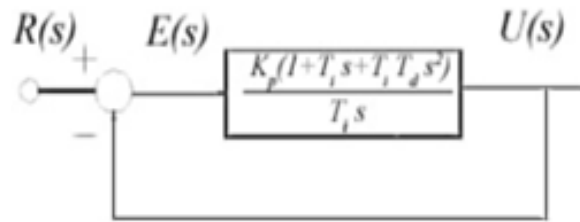
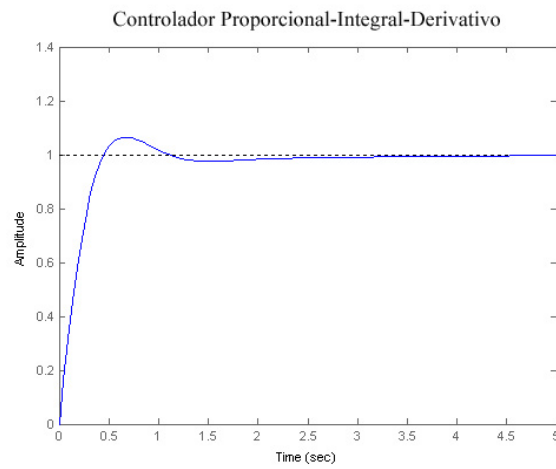
$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

Donde:

K_p = Ganancia proporcional

T_i = Tiempo integral

T_d = Tiempo derivativo

Figura 53: Representación en diagrama de bloques para un controlador PID**Figura 54: Respuesta a entrada escalón de un controlador PID**

IV. DELIMITACIÓN E IMPACTO DEL TEMA

El Megaproyecto *GC R-17, Sistema Háptico de Control a Distancia*, marca el inicio de una línea e investigación, debido a que en la actualidad el área de la robótica busca principalmente la innovación para poder así suplantar al ser humano en trabajos que puedan representar algún problema o que puedan ser nocivos para su salud.

Es por ello que se decidió enfocar el Megaproyecto al área farmacéutica, debido a que en este campo muchas veces es necesario trabajar con químicos que representan algún riesgo de las personas o se deben ejecutar procesos que requieren de un ambiente esterilizado. Este problema se soluciona con este Megaproyecto debido a que al tener un robot que funcione de forma inalámbrica se eliminaría este tiempo perdido, ya que este robot se tendría que esterilizar solamente una vez, y luego permanecerá en el área de trabajo. Esto da como resultado una mayor cantidad de tiempo aprovechado, reducción de costos y por ende un incremento en las ganancias de la industria.

Uno de los objetivos principales del GC R-17 es buscar fusionar la habilidad del ser humano para tomar decisiones en un ambiente de trabajo no controlado, con la fuerza, precisión y constancia de una máquina.

Esto se desea cumplir en un futuro no muy lejano, pero para ello es importante mencionar que para el desarrollo del Megaproyecto se deberán tener en cuenta varias limitantes, como lo son: la maniobrabilidad que se desea lograr, el peso de la estructura, material para el maquinado de las piezas, incorporación de los mecanismos de transmisión de movimiento, tipo de actuador y el costo para llevar a cabo el desarrollo de dicho proyecto para tenerlo a disposición de áreas a las cuales se desea dirigir.

El diseño del Megaproyecto *GC R-17, Sistema Háptico de Control a Distancia*, es una estructura semejante a la anatomía y funcionamiento de una mano real, y cuenta con tres dedos, el índice, el medio y el pulgar. El GC R-17 cuenta únicamente con estos tres dedos debido a que por ser los tres principales dedos se puede efectuar el agarre de los objetos con éxito, así mismo efectuar las acciones de sujetar y soltar.

V. METODOLOGÍA

El desarrollo del Megaproyecto *GC R-17 Sistema Háptico de Control a Distancia*, consta de cinco módulos para su culminación, siendo estos: módulo de planificación, módulo de mecatrónica, módulo de interfaz, módulo de comunicación inalámbrica y módulo sensorial, los cuales se detallan a continuación.

A. MÓDULO DE PLANIFICACIÓN

El módulo de “Planificación” consiste en la planificación y calendarización de las actividades del Megaproyecto. Además, está encargado de la búsqueda de aplicaciones industriales y la ejecución del presupuesto.

Las actividades a realizar por el Módulo de Planificación del Megaproyecto Sistema Háptico de Control a Distancia GC R-17 se dividen en tres fases. La primera de ellas comprende los preparativos, la segunda la ejecución, y la tercera la documentación de los resultados obtenidos.

1. Primera fase

- Determinación de las actividades que se realizarán en cada uno de los módulos que integra el Megaproyecto.
- Determinación de los recursos y costos en que se incurrirá en cada uno de los módulos que conforman el Megaproyecto. Se realizaron actualizaciones a cada quince días, según fue necesario, para así mantener el presupuesto y la planificación más apegados a la realidad.
- Negociaciones con las instituciones interesadas en financiar el Megaproyecto.

2. Segunda fase

a. Publicidad del Megaproyecto:

- Creación del logo;
- Creación de mantas publicitarias; y
- Publicación de información acerca del Megaproyecto en la página del Departamento de Ingeniería Electrónica.
- Las mantas publicitarias han sido utilizadas cuando se realizan actividades de ferias científicas o parecidas. Por otro lado, la información acerca del Megaproyecto se publicará en la página de Internet del Departamento de Ingeniería Electrónica.

b. Propuesta. Presentar una propuesta de Megaproyecto para la siguiente fase y la conformación de un grupo de estudiantes para la misma.

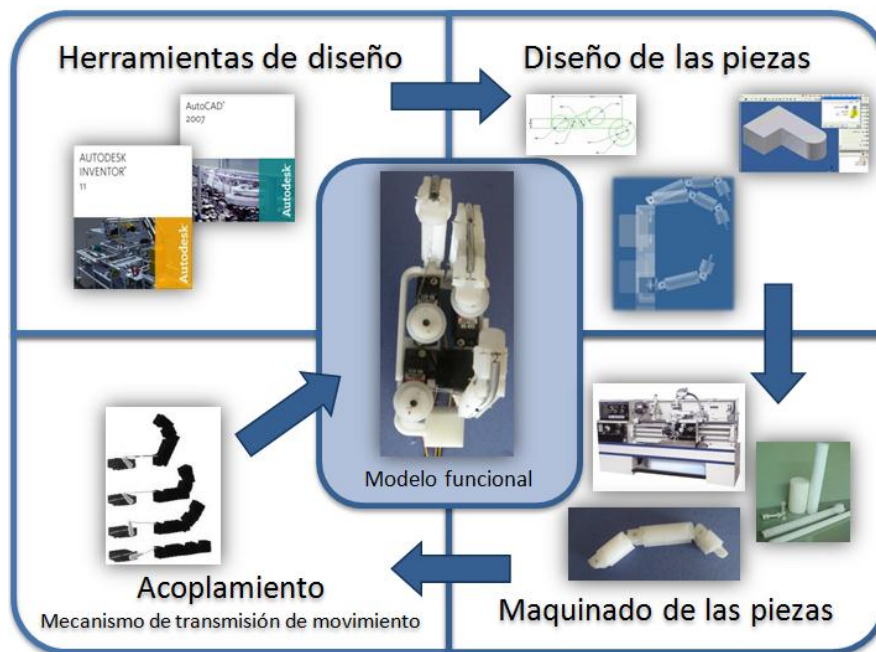
B. MÓDULO DE MECATRÓNICA

El módulo de mecatrónica comprende en la investigación y elaboración del diseño ideal para la construcción de los dedos que irán acoplados al brazo robótico.

1. Diseño experimental

a. Diagrama de bloques del Módulo de Mecatrónica.

Figura 55: Diagrama de bloques del Módulo de Mecatrónica



b. Herramienta de diseño.

1) Autodesk® Inventor®. La línea de productos Autodesk® Inventor® proporciona una gama completa y flexible de software para diseño mecánico 3D, simulación de productos, mecanizado y comunicación de diseños, los cuales ayudan a rentabilizar un flujo de trabajo de diseño de prototipos digitales para diseñar y fabricar mejores productos en menos tiempo. Así mismo, Autodesk® Inventor® permite integrar con seguridad los datos de AutoCAD® y 3D en un modelo digital único para crear un prototipo digital del producto final. [28]

c. Material para la elaboración de los dedos.

1) Plastidur 4.1. Es una estructura molecular muy especial formulada a partir de poliolefinas de alta densidad y elevado peso molecular (HD-UHMW), producido mediante variaciones del proceso Ziegler a baja presión, enfocados a generar

determinadas propiedades distintivas y específicas que lo conviertan en un plástico de ingeniería, único para ciertas aplicaciones. [29]

Plastidur 4.1 se usa comúnmente como revestimiento en contenedores de almacenamiento y en sistemas de manejo de materiales; es también un material excelente para usarse en piezas de máquinas y equipo que estén sujetas a desgaste. [29]

Propiedades Principales [29]

- Resistente a la corrosión
- Autolubricante
- Absorbente de impactos
- Resistente al desgaste
- De peso ligero

2) Polipropileno: Datos técnicos

Tabla 11: Propiedades mecánicas del UHMW a 23°C [30]

PROPIEDADES MECÁNICAS A 23°C	UNIDAD	ASTM	DIN	VALORES
PESO ESPECÍFICO	GR/CM ³	D-792	53479	0.93
RESIST. A LA TRACC.(FLUENCIA / ROTU	KG/CM ²	D-638	53455	200 / --
RES. A LA COMPRESIÓN (1 Y 2 % DEF)	KG/CM ²	D-695	53454	45 / 80
RESISTENCIA A LA FLEXIÓN	KG/CM ²	D-790	53452	--
RES. AL CHOQUE SIN ENTALLA	KG.CM/CM ²	D-256	53453	NO ROMPE
ALARGAMIENTO A LA ROTURA	%	D-638	53455	> 350
MÓDULO DE ELASTICIDAD (TRACCIÓN)	KG/CM ²	D-638	53457	6000
DUREZA	SHORE D	D-2240	53505	61 - 64
COEF. DE ROCE ESTÁTICO S/ACERO		D-1894		0.20 - 0.25
COEF. DE ROCE DINÁMICO S/ACERO		D-1894		0.15 - 0.20
RES. AL DESGASTE POR ROCE				MUY BUENA

Tabla 12: Propiedades térmicas del UHMW [30]

PROPIEDADES TÉRMICAS	UNIDAD	ASTM	DIN	VALORES
CALOR ESPECÍFICO	Kcal/Kg.°C	C-351		0.54
TEMP. DE FLEX. B/CARGA (18.5Kg/cm ²)	°C	D-648	53461	46
TEMP. DE USO CONTINUO EN AIRE	°C			-30 a 80
TEMP. DE FUSIÓN	°C			130
COEF. DE DILATACIÓN LINEAL DE 23 A 1	por °C	D-696	52752	0.0002
COEF. DE CONDUCCIÓN TÉRMICA	Kcal/m.h.°C	C-177	52612	0.36

Tabla 13: Propiedades eléctricas del UHMW [30]

PROPIEDADES ELÉCTRICAS	UND	ASTM	DIN	VALORES
CONSTANTE DIELECTRICA A 60 HZ		D-150	53483	2.3
CONSTANTE DIELECTRICA A 1 KHZ		D-150	53483	2.3
CONSTANTE DIELECTRICA A 1 MHZ		D-150	53483	2.3
ABSORCIÓN DE HUMEDAD AL AIRE	%	D-570	53472	< 0.01
RESISTENCIA SUPERFICIAL	Ohm	D-257	53482	> 10 a la 15
RESISTENCIA VOLUMÉTRICA	Ohms-cm	D-257	53482	> 10 a la 14
RIGIDEZ DIELECTRICA	Kv/mm	D-149		45

Tabla 14: Propiedades químicas del UHMW [30]

PROPIEDADES QUÍMICAS	OBSERVACIONES
RESISTENCIA A HIDROCARBUROS	REGULAR
RESISTENCIA A ÁCIDOS DÉBILES A TEMP. AMBIENTE	REGULAR
RESISTENCIA A ALCALIS DÉBILES A TEMP. AMBIENTE	BUENA
RESISTENCIA A PROD. QUÍMICOS DEFINIDOS	CONSULTAR
EFECTO DE LOS RAYOS SOLARES	LO AFECTAN
APROBADO PARA CONTACTO CON ALIMENTOS	SI
COMPORTAMIENTO A LA COMBUSTIÓN	ARDE FACILMENTE
PROPAGACIÓN DE LLAMA	MANTIENE LA LLAMA
COMPORTAMIENTO AL QUEMARLO	FUNDE GOTEA Y SE DESCOMPONE
COLOR DE LA LLAMA	AMARILLA
OLOR AL QUEMARLO	NO TIENE

d. Especificaciones del diseño. El diseño estará conformado por tres dedos que cumplirán el papel del dedo índice, medio y pulgar. El dedo índice y medio cuentan con las tres falanges (proximal, media y distal), el dedo pulgar con dos falanges (proximal y distal).

Tabla 15: Medidas aproximadas de las falanges del dedo índice y pulgar

Falange	Dedo índice (cms)	Dedo pulgar (cms)
Proximal	4.36	4.36
Media	2.47	-----
Distal	1.97	3

El diseño que se realizará contará con tres dedos como se mencionó anteriormente, se realizaran dos dedos de la misma medida siendo estos los dedos índice y medio, cada uno contará con las falanges descritas y la medida para cada una de ellas será aproximadamente de 1.25 veces de su medida real, esto se debe a que el brazo robótico industrial R-17 tiene una medida proporcional de 1.25 veces a la de un brazo real.

Para establecer las especificaciones y requerimientos fue necesario detallar ciertas consideraciones:

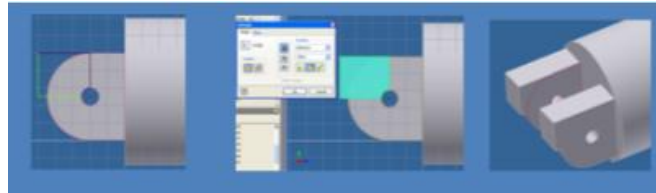
- Las medidas del área que ocupa cada sensor y el resorte en la estructura de los dedos.
- Elaborar el diseño para cada una de las falanges (Proximal, Media y Distal) que incluya el espacio respectivo para la colocación de los sensores de presión y temperatura; y el resorte para la extensión.

- Incorporar en la estructura del dedo el espacio para introducir el hilo que realizara la fuerza necesaria para la flexión del dedo.
- Incorporar en el diseño de las falanges el tope para cada articulación.
- Considerar cada una de las fuerzas que actúan sobre cada una de las falanges de la estructura del dedo.
- Reproducir el análisis de estrés en el programa Inventor con las fuerzas sobre las piezas, procesar la información y brindar una forma visual de cómo afectan en la estructura de los dedos.
- Reproducir el análisis de estrés en el programa Inventor para observar los resultados del efecto que tienen las fuerzas en los topes del diseño de la estructura de los dedos.
- Diseño de un prototipo para la palma que contempla la colocación de los motores en la palma utilizando la misma herramienta de diseño.
- Diseño de la polea para los motores utilizando la misma herramienta de diseño.
- Elaboración de los planos necesarios para las medidas de cada una de las piezas de la mano robótica.
- Implementación del circuito de potencia para los motores.
- Colocación del recubrimiento para la mano robótica.

e. Enfoque de acoplar los dedos robóticos al R-17. El proyecto no se ve reducido a una sola aplicación, la idea de acoplar tres dedos robóticos al brazo robótico industrial R-17 es brindarle versatilidad con la cual no contaba el brazo robótico industrial al tener únicamente la pinza.

f. Diseño de los topes para las articulaciones. A continuación se muestra cada uno de los pasos para la elaboración de los topes en cada una de las falanges.

Figura 56: Topes para cada falange



g. Diseño final de las falanges (Proximal, Media y Distal). Las siguientes figuras representan el diseño final para cada una de las falanges que conforman los dedos de la mano robótica, estas se presentan a continuación:

Figura 57: Diseño final de la falange distal



Figura 58: Diseño final de la falange media

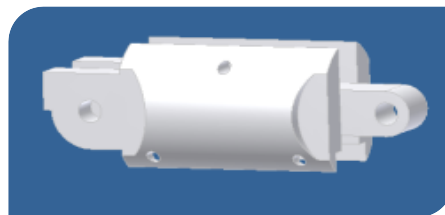
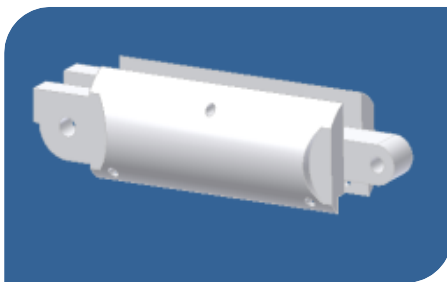
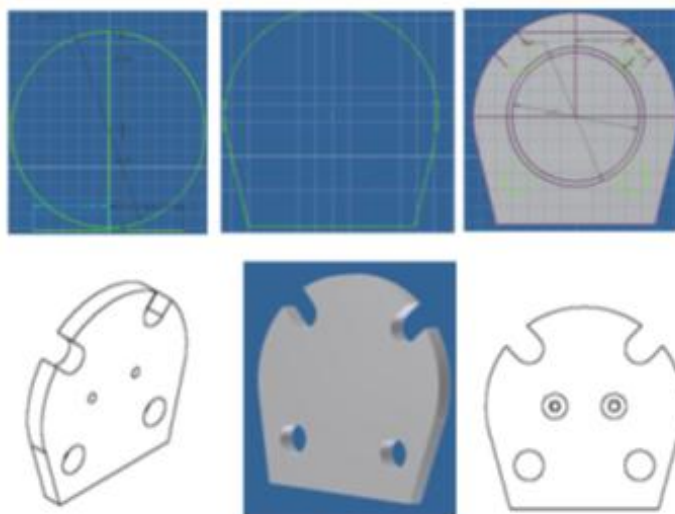


Figura 59: Diseño final de la falange proximal



h. Bases para la mano robótica. Para el diseño de la base para la palma fue necesario tomar las medidas de la estructura que sujeta las pinzas en el brazo robótico para acoplar el diseño completo de la mano.

Figura 60: Diseño de la base para el brazo robótico



i. Diseño de la palma. La siguiente figura muestra el diseño final de la palma para la mano robótica, ésta además de incorporar el espacio para los motores también incluye las piezas donde estos estarán sujetos.

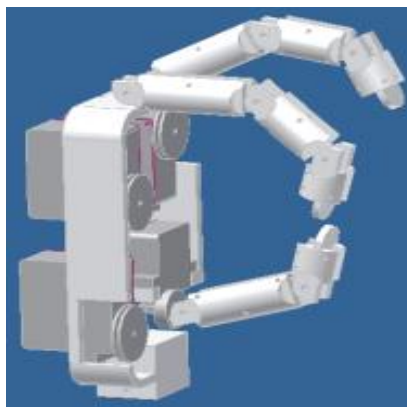
Figura 61: Diseño final de la palma



j. Diseño del motor. El motor se elaboró en la herramienta de diseño de Inventor para poder incorporarlo a la estructura de la palma considerando las medidas reales del motor según las descripciones del mismo.

k. Diseño de la mano robótica incorporada. La siguiente figura muestra el diseño completo de la estructura que conformara la mano robótica, dicha estructura incorpora los motores.

Figura 62: Palma, motores y dedos acoplados



l. Resorte para la extensión de los dedos. La siguiente figura representa el resorte helicoidal utilizado como medio para llevar los dedos a su posición natural, es decir la extensión de los dedos.

Figura 63: Resorte helicoidal para la extensión

m. Hilo. El hilo utilizado para efectuar la flexión de cada uno de los dedos es el hilo metálico para joyas, el cual va acoplado a uno de los pines inferiores de cada falange y a la polea unida al motor el cual al girar reduce el largo del hilo produciendo la flexión de las tres falanges. El hilo metálico tiene la característica de ser fabricado por siete alambres trenzados de acero fino en miniatura con revestimiento de nylon, y se destaca por su flexibilidad y fuerza [31].

n. Cálculos matemáticos.

1) Medidas de las piezas diseñadas

- Datos generales

Tabla 16: Pin para sujetar resorte e hilo metálico

Dimensiones aproximadas	1.6 mm 1.6 mm 12.0 mm
Masa	1.949e-004 kg
Volumen	24.13 mm ³

Tabla 17: Falange distal

Dimensiones aproximadas	18.01 mm 15.97 mm 35.0 mm
Masa	3.254e-003 kg
Volumen	3461 mm ³

Tabla 18: Falange media

Dimensiones aproximadas	18.01 mm 15.97 mm 46.0 mm
Masa	5.003e-003 kg
Volumen	5323 mm ³

Tabla 19: Falange proximal

Dimensiones aproximadas	18.01 mm 15.97 mm 62.0 mm
Masa	7.606e-003 kg
Volumen	8091 mm ³

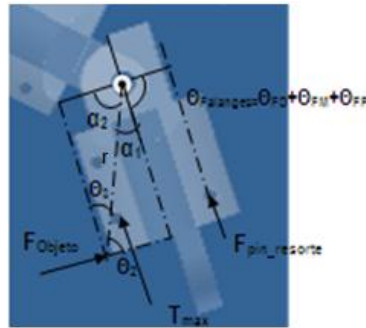
Tabla 20: Palma

Dimensiones aproximadas	70.0 mm 145.0 mm 24.0 mm
Masa	4.558e-002 kg
Volumen	4.849e+004 mm ³

o. Análisis matemático realizado.

1) Relación entre la fuerza aplicada al dedo debido al objeto con el ángulo de flexión de la falange distal. Para calcular la fuerza máxima del objeto (F_{objeto}) para que el sistema este en equilibrio fue necesario elaborar un análisis en la falange distal, de la siguiente forma:

Figura 64: Diagrama de fuerzas para la falange distal



$$r = \sqrt{9^2 + 19^2} = 21.02 \text{ mm}$$

$$\frac{r}{\text{Sen}\left(\frac{\pi}{2}\right)} = \frac{9}{\text{Sen}(\alpha_1)}$$

Despejando para α_1

$$\alpha_1 = 25.35^\circ$$

Esto se obtiene tomando la suposición que la fuerza del objeto en la falange estará a una distancia de 19 mm desde la articulación.

$$\alpha_2 = 180 - \alpha_1 - \Theta_{\text{Falanges}}$$

Con la relación entre los ángulos de las falanges se obtiene θ_2 de la siguiente manera:

$$\theta_{FP} = \frac{12}{7} \theta_{FD}$$

$$\theta_{FM} = \frac{18}{7} \theta_{FD}$$

$$\theta_{FP} = \frac{12}{7} \theta_{FD}$$

$$\theta_{FM} = \frac{18}{7} \theta_{FD}$$

$$\alpha_2 = 154.65 - \frac{37}{7} \theta_{FD}$$

$$\theta_3 = 180 - \alpha_2 - 90$$

$$\theta_3 = 90 - \alpha_2$$

$$\theta_2 = 90 - \theta_3$$

$$\theta_2 = \alpha_2$$

Se toman en cuenta los momentos de torsión debidos al resorte para la extensión, la fuerza debido al objeto y la tensión ejercida por el hilo de flexión.

- Momento de flexión debido a la fuerza de reacción

$$M_{F_{Objeto}} = rF_{Objeto} \text{Sen}(\theta)$$

$$M_{F_{Objeto}} = F_{Objeto} * r * \text{Sen}(\theta_2)$$

- Momento de flexión del resorte

$$M_{Resorte} = F_{Pin_resorte} * d_1$$

$$M_{Resorte} = 1.18N * 8.743mm = 10.32 N * mm$$

- Momento de flexión debido al hilo para flexión

$$M_{Tension} = T_{max} * d_2$$

$$M_{Tension} = 4.1N * 8.8mm = 36.08 N * mm$$

Donde d es la distancia desde el eje central de la falange al canal por el cual pasara el hilo.

Con las relaciones obtenidas se obtiene la ecuación que describe la fuerza de aplicación máxima en el dedo. Para que el sistema este en equilibrio se lleva a cabo la sumatoria de los momentos de flexión igualados a cero

$$\sum \tau = M_{F_{Objeto}} + M_{Resorte} - M_{Tension} = 0$$

$$M_{F_{Objeto}} = M_{Tension} - M_{Resorte}$$

De esta ecuación se obtiene la Fuerza debido al objeto en relación al ángulo de la falange distal y así obtener un sistema en equilibrio.

$$F_{objeto} = \frac{T_{max} * d - F_{Pin_resorte} * d}{r * Sen(\theta_2)}$$

En esta última ecuación se pueden reemplazar los valores para cada variable con las relaciones alcanzadas anteriormente y así obtener una descripción para la fuerza máxima aplicada con el objeto y el ángulo de la falange distal.

Suponiendo un ángulo en la falange distal de 20° se obtiene $\alpha_2 = 48.93^\circ$, $\theta_3 = 41.07^\circ$, $\theta_2 = 48.93^\circ$

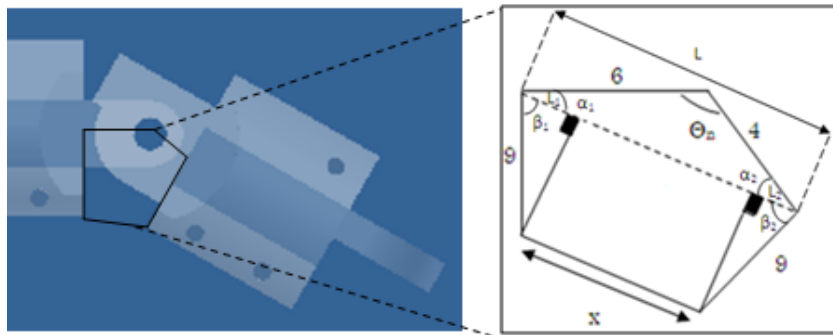
$$F_{objeto} = 1.34N \approx 0.3lbs$$

Si se reduce el valor de r, la fuerza aplicada por el objeto puede ser mayor.

2) Relación entre el ángulo de giro del motor con respecto al cambio de longitud del hilo para flexión

Entre cada articulación se puede obtener la siguiente relación geométrica, en este caso se toma la falange distal.

Figura 65: Descripción geométrica de la articulación



$$\theta_n = 180 - \theta_{FD}$$

$$L^2 = 0.004^2 + 0.006^2 - 2(0.006)(0.004)\cos(\theta_n)$$

$$L = \sqrt{0.004^2 + 0.006^2 - 2(0.006)(0.004)\cos(\theta_n)}$$

$$\frac{0.004}{\text{Sen}(\alpha_1)} = \frac{L}{\text{Sen}(\theta_n)}$$

$$\alpha_1 = \frac{\text{Sen}(\theta_n) * 0.004}{L}$$

$$\frac{0.006}{\text{Sen}(\alpha_2)} = \frac{L}{\text{Sen}(\theta_n)}$$

$$\alpha_2 = \frac{\text{Sen}(\theta_n) * 0.006}{L}$$

$$\beta_1 = 90 - \alpha_1$$

$$\beta_2 = 90 - \alpha_2$$

$$\text{Cos}(\beta_2) = \frac{L_2}{0.009} \rightarrow L_2 = 0.009 \text{Cos}(90 - \alpha_2)$$

$$\text{Cos}(\beta_1) = \frac{L_1}{0.009} \rightarrow L_1 = 0.009 \text{Cos}(90 - \alpha_1)$$

$$\Delta x_1 = L_1 + L_2$$

Este mismo procedimiento se realiza para cada una de las falanges donde

- $\theta_n = 180 - \theta_{FM}$ para falange Media
- $\theta_n = 180 - \theta_{Fp}$ para falange Proximal
-

Por lo tanto el $\Delta L = \Delta x_1 + \Delta x_2 + \Delta x_3$

$$\Delta L = \theta_{servo} r_{polea}$$

p. Planos del diseño elaborado para las piezas.

1) Falanges (proximal, media y distal), palma, poleas y bases. Se presentan los planos que describen cada una de las piezas con las medidas correspondientes al diseño final.

Figura 66: Falange Proximal

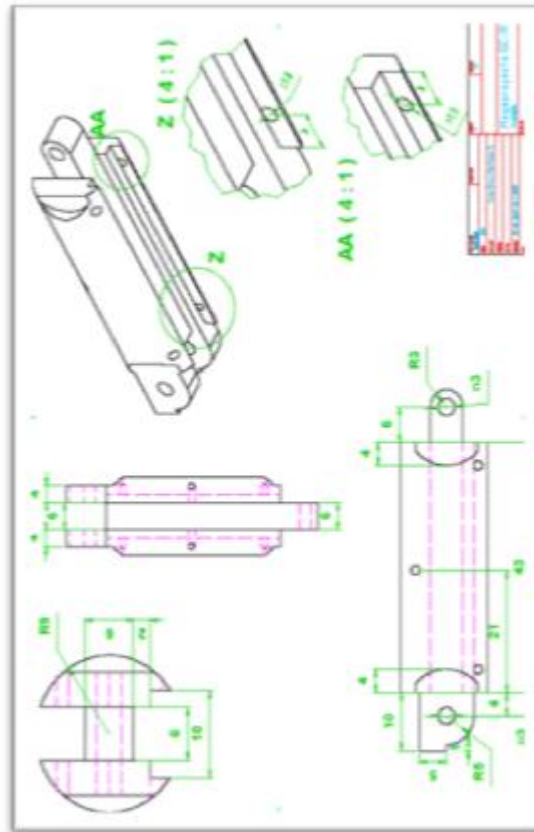


Figura 67: Falange Media

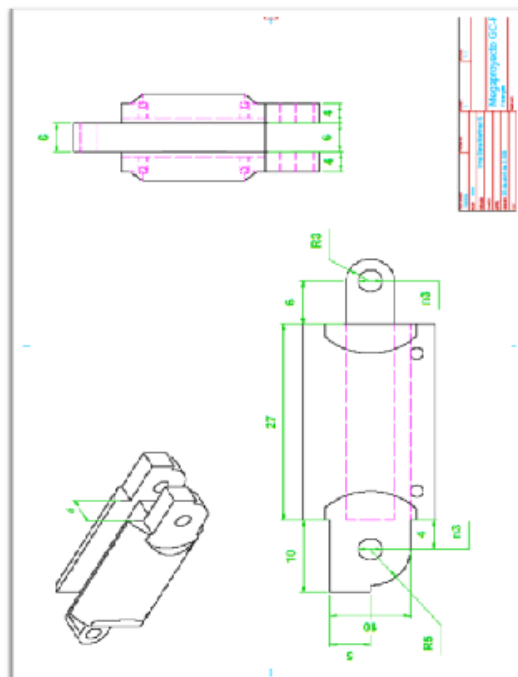


Figura 68: Falange Distal

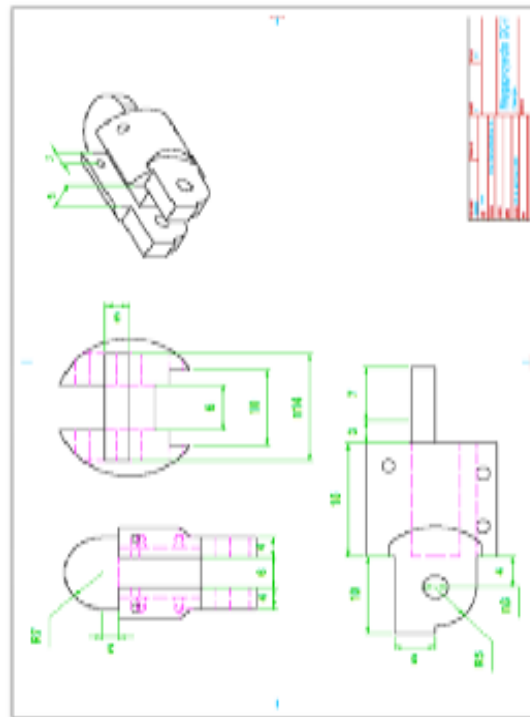


Figura 69: Soporte para el dedo pulgar

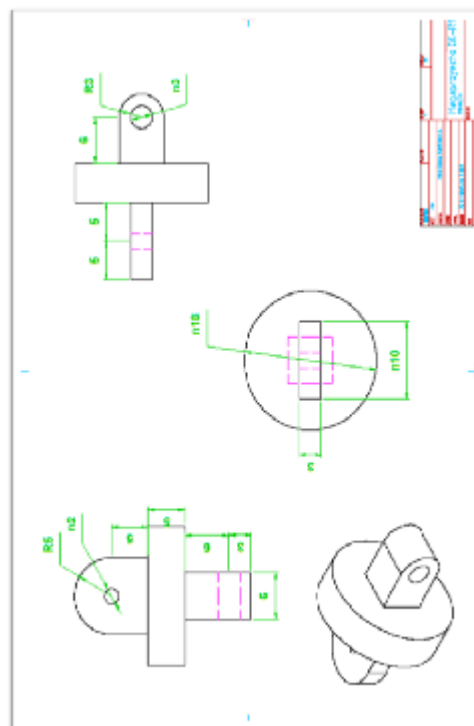


Figura 70: Polea

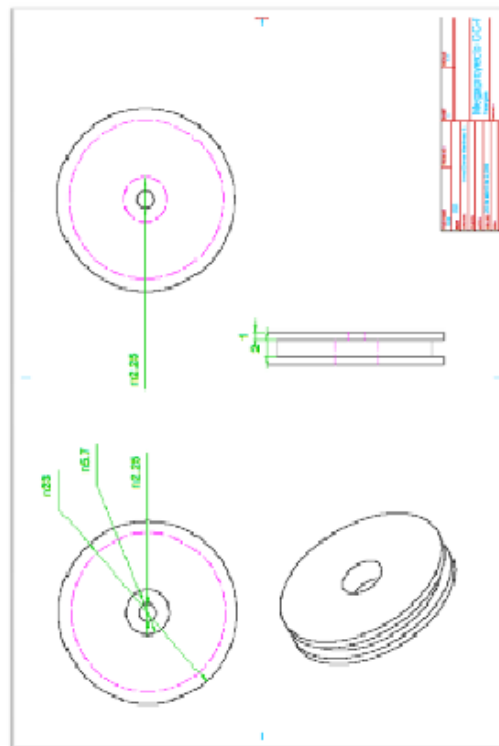
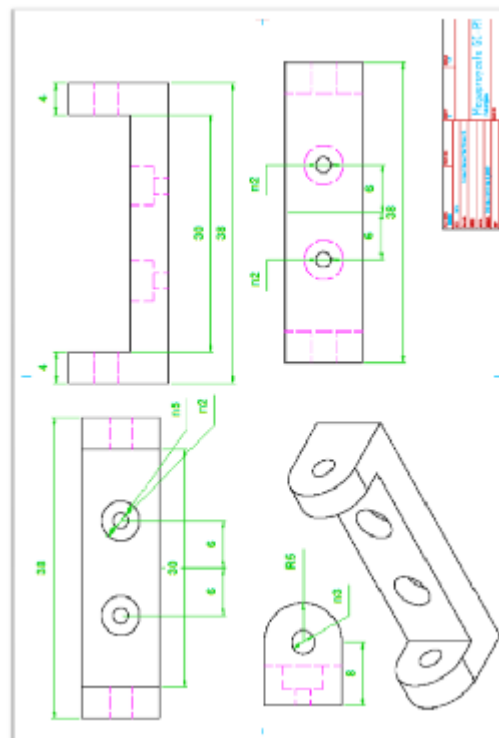


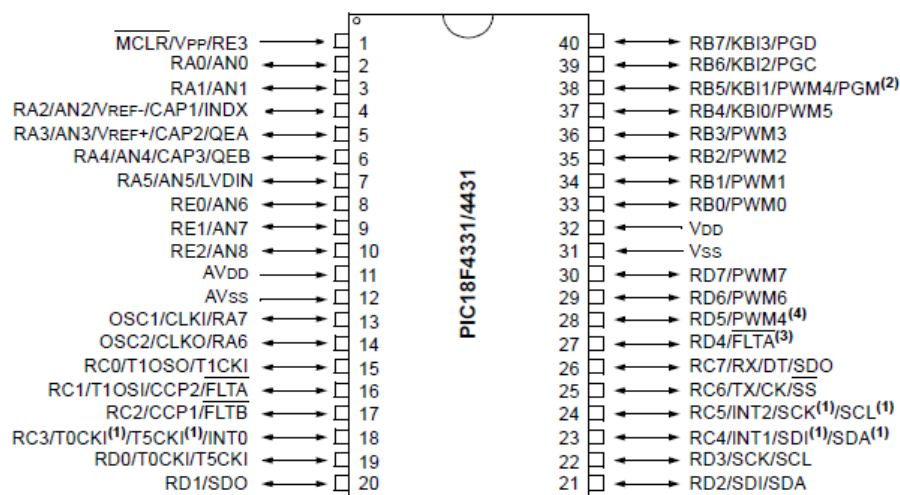
Figura 71: Base de la palma



Los valores descritos en la tabla se utilizan como referencia para la selección de las baterías que sirven como alimentación del circuito de potencia.

r. Microcontrolador. El Microcontrolador utilizado para el control de los servomotores es el PIC18F4431, éste se caracteriza por contar con PWM y A/D de alto rendimiento.

Figura 73: PIC18F4431 [32]

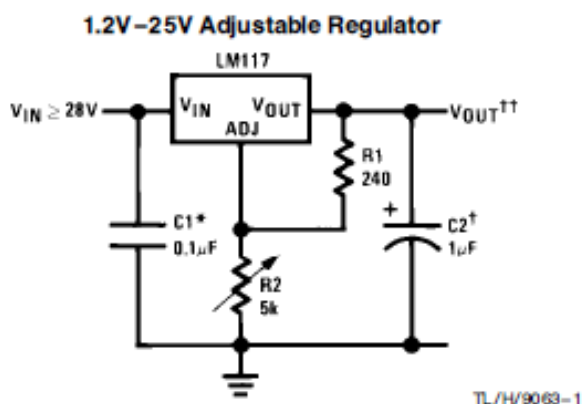


s. Etapa de potencia. Para la etapa de potencia se utilizan reguladores de voltaje (LM317) para reducir el voltaje proporcionado por la batería de Ion-Litio (7.4 Voltios y 6600 mAh), fijando el voltaje al valor máximo soportado para cada uno de los servomotores.

t. Reguladores de voltaje. La serie LM117 reguladores de voltaje ajustable positivo de 3 terminales es capaz de suministrar más de 1.5A sobre una gama de 1.2V a 37V de salida. Son excepcionalmente fáciles de uso y sólo se necesitan dos resistencias externas para fijar el voltaje de salida. Además, tanto la línea y la regulación de la carga son mejores que los reguladores estándares fijos. El LM117 es empacado en paquetes estándar de transistores que son fáciles de montar y manejar. Además de mayor rendimiento que los

reguladores fijos, la serie LM117 ofrece una protección de sobrecarga completa disponible solamente en los CI. Incluido en el chip están límite de corriente, protección térmica de sobrecarga y la protección de zona de seguridad. Todos los circuitos de protección de sobrecarga siguen siendo plenamente funcionales, incluso si la terminal de ajuste está desconectada. [33]

Figura 74: Diagrama del circuito utilizado [33]



u. Control de carga de la batería de Ion-Litio. El control de carga de la batería se elabora internamente en el PIC18F4431 donde se controla cada cierto tiempo el nivel de voltaje de la batería mediante un divisor de voltaje para tener un rango entre 0-5 Voltios, este valor se introduce por una entrada analógica al PIC y mediante la utilización del modulo ADC (Analog to Digital Converter-Convertor Analógico a Digital) se determina cuando la batería alcanza una profundidad de descarga del 40%.

v. Señal de control para servomotores. La señal que controla el ángulo de rotación de cada uno de los servomotores se genera con el PIC18F4431, mediante la utilización del módulo PWM. Para generar el movimiento del servomotor es necesario hacer comparaciones de las señales que aportan los sensores de flexión, temperatura y presión, estas determinan a que ángulo se posicionara el servomotor (Módulo Sensorial).

w. Guante con recubrimiento de Neopreno. El tipo de guantes utilizados para el recubrimiento de la mano robótica están elaborados de Latex recubiertos de Neopreno, material que tiene características especiales para el contacto con diversos químicos.

Los guantes resistentes a Químicos de KleenGuard® se adaptaron perfectamente al diseño elaborado, brindando un recubrimiento para poder tratar sustancias químicas. Cabe mencionar que en las articulaciones del diseño no se puede recubrir del mismo material debido a que impiden el libre movimiento de las articulaciones impidiendo el buen funcionamiento de las mismas, es por tal motivo que en la parte de las articulaciones se utiliza látex para una mayor flexibilidad sin dejar a un lado la protección de la pieza.

x. Látex. No es tan resistente como el neopreno aunque tienen su principal uso en los trabajos relacionados con elementos químicos, solventes ligeros y procesamiento de alimentos, laboratorio y doméstico.

Figura 75: Guante de látex con recubrimiento de Neopreno [34]



Figura 76: Guantes de látex [35]



C.MÓDULO DE INTERFAZ

El objetivo del módulo “Interfaz”, es detectar la posición actual del brazo del usuario, y con esta información replicar los movimientos en el brazo robótico.

El módulo “Interfaz” fue dividido en tres fases principales que son:

- Fase 1: Comunicación con el sensor magnético
- Fase 2: Comunicación y manejo del brazo robótico R-17
- Fase 3: Acople de las dos fases anteriores.

1. Fase 1: Comunicación con el sensor magnético

a. Diseño. El sensor magnético utilizado cuenta con un software que tiene el fin de brindar comunicación entre el sensor magnético y una computadora en la cual se despliegan las coordenadas del sensor.

Aunque este software realiza las tareas que este Megaproyecto busca, es imposible utilizarlo, debido a que no se tiene acceso al código utilizado. Es por ello que es necesario crear un código que realice solamente la tarea específica deseada, es decir, obtener las coordenadas en cualquier momento y tener disponible toda la información en una computadora, quien será la unidad central de este módulo.

Para la realización del presente módulo fue indispensable la lectura del manual de usuario del sensor magnético de posición utilizado. Ya que en él se encuentra toda la información básica para su manejo.

- **Instalación.** Para garantizar el correcto funcionamiento del sensor magnético, se necesita su correcta instalación.
- **Cuidados importantes del sensor.** Se necesita tomar en cuenta factores que pueden afectar el correcto funcionamiento de este sensor.
- **Búsqueda de opciones para la petición de datos.** El sensor magnético de posición cuenta con varios tipos para la petición de datos, y debido a esto se buscó información de la funcionalidad de cada uno de estos comandos y sus diferencias entre sí.
- **Configuración por defecto.** La comunicación con el sensor magnético se realiza a través del protocolo de comunicación RS-232, y para se necesita tener una configuración inicial, que garantice una comunicación exitosa.

Para descubrir la forma de comunicación entre la computadora y la unidad central del sensor magnético, se procedió a utilizar el software de fábrica y a monitorear toda la comunicación serial entablada entre el sensor y la computadora. Éste es un paso fundamental en el desarrollo de este proyecto porque a partir de estos pasos se determinaron los comandos que se utilizarán para pedir coordenadas al sensor magnético de posición.

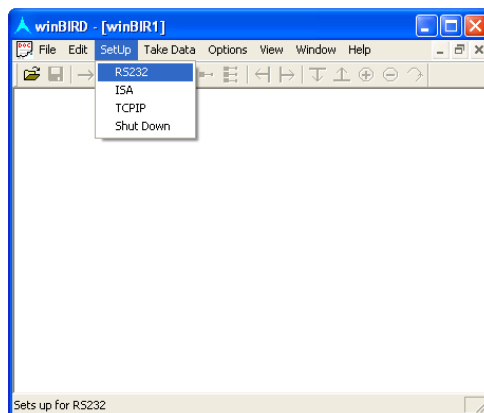
Paso No. 1: Abrir y configurar el monitor de puerto

La configuración del monitor de puertos “Free Serial Monitor”, consisten en la elección del puerto serial que se desea monitorear y se elije entre las opciones de visualización de datos.

Paso No. 2: Abrir y configurar el software del sensor magnético “WinBinrd”

- Selección del protocolo de comunicación.

Figura 77: Selección del protocolo de comunicación



- Configuración inicial.

Elección del puerto serial correcto y utilizando la velocidad de muestreo que el manual de usuario del sensor indica.

Figura 78: Configuración inicial para comunicar con el sensor



Con el seguimiento correcto de los pasos anteriores se observará el mensaje “Setup complete”, y se puede corroborar en el monitor de puertos quien muestra el mensaje “Puerto abierto mediante la aplicación WinBird.exe”.

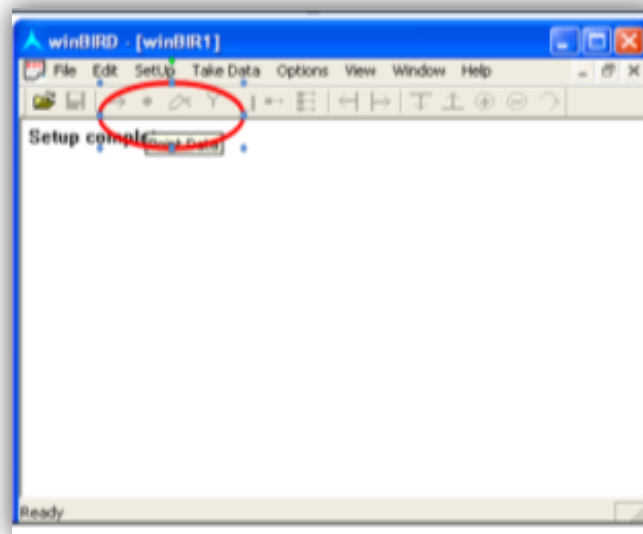
Paso No. 3: Visualización en el monitor de puertos de todo el proceso de inicialización.

Después de configurar el software WinBird y verificar el monitor de puertos, se observó que el proceso de inicialización entre el sensor magnético y la computadora, consiste en una serie de tramas enviadas y recibidas por la computadora.

Paso No. 4: Exploración del software

Partiendo de la información brindada por el manual de usuario se concentró la atención en la búsqueda de los comandos: POINT, STREAM y ANGLES

Figura 79: Petición de datos



Paso No.5: Monitoreo del puerto serial al utilizar los comandos POINT y STREAM.

Conociendo la información de los comandos antes mencionado se procedió a realizar pruebas y utilizar el monitor de puertos, con el fin de observar los comandos de que entran y salen del puerto serial.

Paso No.6: Elección de uno de los dos comandos antes mencionados.

El comando seleccionado para este módulo fue el comando POINT, debido a esto se centro toda la atención en la trama de entrada y salida al enviar el comando POINT.

Paso No.7: Visualización de la trama de salida, al utilizar el comando POINT.

Observar la trama enviada desde la computadora hacia el sensor, visualizando el área de peticiones mostrada por el monitor de puertos.

Paso No.8: Visualización de la trama de respuesta, al utilizar el comando POINT.

Observar la trama recibida en el puerto serial, visualizado el área de respuestas mostrada por el monitor de puertos.

2. Fase 2: Comunicación y manejo del brazo robótico R-17

a. Diseño. Esta fase pretendía originar un código que brindara comunicación con el brazo robótico R17 y que desde él se pudieran mandar comandos que el R17 ejecutara.

Antes de cualquier cosa es indispensable la lectura del manual de usuario del R17, y por ningún motivo se recomienda encenderlo y utilizarlo sin tener por lo menos un conocimiento básico de este brazo robótico.

1) Búsqueda de información básica para el uso del R17:

- Precauciones que se deben tomar al utilizarlo. Lo primero que se debe saber al iniciar a usar el R17, es lo que no se debe hacer, esto con el objetivo de evitar todo riesgo en contra del R17.
- Configuración del puerto serial para la correcta comunicación con el brazo robótico. Este brazo robótico utiliza una comunicación serial, por lo que es necesario conocer la configuración inicial del puerto serial, claramente mostrada en el manual de usuario.
- Lenguaje utilizado por el brazo robótico. Este brazo robótico se rige al lenguaje ROBOFORTH, y debido a esto fue necesaria la búsqueda de información de este lenguaje y de los comandos utilizados para la comunicación.
- Comandos básicos para su funcionamiento. Revisión del diccionario de ROBOFORTH, anotando los comandos que parecieran útiles.

El objetivo de las pruebas con el software RobWin64 es la utilización del monitor de puertos, con el fin de verificar toda la comunicación entre la computadora y el brazo robótico.

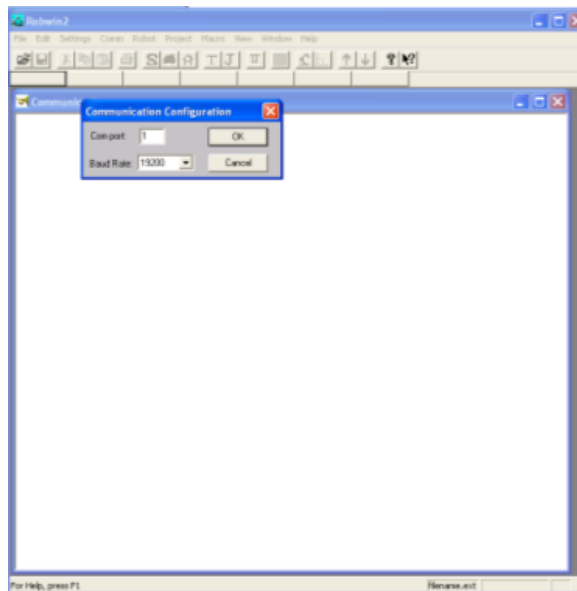
Paso No. 1: Abrir y configurar el monitor de puerto

La configuración del monitor de puertos “Free Serial Monitor”, consisten en la elección del puerto serial que se desea monitorear y se elije entre las opciones de visualización de datos.

Paso No. 2: Abrir y configurar el software RobWin64

La siguiente figura muestra que para utilizar RobWin64 es necesario elegir el puerto que se utilizará y la velocidad con que estará trabajando el puerto serial.

Figura 80: Configuración para iniciar comunicación con el R17



Paso No. 3: Verificación de la inicialización utilizando el monitor de puertos

Al ingresar los datos anteriores correctamente se observa que la computadora inicia todo el proceso necesario para la comunicación con el brazo robótico. Y utilizando el monitor de puerto se observa que la inicialización consiste solamente en el envío de dos palabras contenidas en el diccionario de ROBOFORTH.

Paso No. 4: Experimentación y monitoreo utilizando RobWin64

- Con el fin de observar la forma de comunicación se experimentó con el software que el brazo robótico tiene de fábrica, y se utilizaron ciertas partes de este software que permiten el movimiento independiente de cada una de las extremidades del R17.

- Al monitorear las entradas y salidas del puerto serial, se encontraron los comandos que permiten mover las articulaciones del R17.
- Se observó que los comandos aceptados por el R-17 son exactamente los comandos comprendidos en el diccionario de ROBOFORTH II, y además estos comandos utilizan solamente las letras mayúsculas (UPPER CASE).

2) Pruebas utilizando hyper terminal. Se obtuvo información sumamente importante de los pasos anteriores y para verificar su correcto funcionamiento se procedió a utilizar la hyper terminal con el fin de verificar que la comunicación serial se realice de una forma correcta.

- Envío de la trama de inicialización.

- ROBOFORTH + Enter

Con este comando se le define el lenguaje que se utilizará en la comunicación. La respuesta obtenida es “ROBOFORTH OK”, lo cual nos dice que el brazo robótico recibió y aceptó el lenguaje propuesto.

- START + Enter

- Revisión de respuestas.

Al utilizar el monitor de puertos se observa si se obtuvieron los resultados esperados.

Figura 81: Monitoreo de la inicialización del R17

```

Resposta:26/01/2009 02:37:07 p.m. 11664 (+0.0938 seconds)
20 0D 3E 52 4F 42 4F 46 4F 52 54 48 20 4F 4B 0D  -->ROBOFORTH OK.
0A 3E
Pedido:26/01/2009 02:37:07 p.m. 11664 (+0.0000 seconds)
53
Resposta:26/01/2009 02:37:07 p.m. 14764 (+0.0313 seconds)
53
Pedido:26/01/2009 02:37:07 p.m. 14764 (+0.0000 seconds)
54
Resposta:26/01/2009 02:37:07 p.m. 16264 (+0.0156 seconds)
54
Pedido:26/01/2009 02:37:07 p.m. 16264 (+0.0000 seconds)
41
Resposta:26/01/2009 02:37:07 p.m. 19464 (+0.0313 seconds)
41
Pedido:26/01/2009 02:37:07 p.m. 19464 (+0.0000 seconds)
52
Resposta:26/01/2009 02:37:07 p.m. 20964 (+0.0156 seconds)
52
Pedido:26/01/2009 02:37:07 p.m. 20964 (+0.0000 seconds)
54
Resposta:26/01/2009 02:37:07 p.m. 22564 (+0.0156 seconds)
54
Pedido:26/01/2009 02:37:07 p.m. 22564 (+0.0000 seconds)
0D
Resposta:26/01/2009 02:37:08 p.m. 22564 (+1.0000 seconds)
20 0D 0A 05 0A 52 4F 42 4F 46 4F 52 54 48 20 49 ...ROBOFORTH I
49 20 56 31 30 2E 32 54 20 66 6F 72 20 52 31 37 I V10.2T For R17
20 20 44 65 75 63 61 6C 65 6F 6E 29 20 72 6F 62 (Dispositivo) End
6F 74 2E 20 2D 20 28 43 29 20 44 2E 4E 2E 53 61 ot. - (C) D.M.Sa
6E 64 73 20 31 29 33 20 32 20 34 00 0A 0D hda 1983-2004...
0A 49 8E 69 74 69 61 8C 69 7A 69 6E 67 20 73 65 .Initializing pe
74 74 69 6E 67 73 2C 20 44 53 55 2C 20 67 72 69 kInput: DEP: get
70 70 65 72 2C 20 65 6E 63 6F 64 65 72 73 2C 20 ppev: encode:
64 6F 6E 65 2E 23 00 0A 3E 53 54 41 52 54 4F 56 done. -->STARTOK
45 52 20 4F 4B 0D 0A 3E ER OK. -->
Pedido:26/01/2009 02:38:12 p.m. 67864 (+64.4531 seconds)

```

3) Pruebas enviando comandos de movimiento. Una prueba realizada fue el envío serial de “TELL TRACK 9000 MOVE”, lo que produjo que el brazo robótico se moviera 900 milímetros. Y al observar la respuesta en el monitor de puertos se pudo ver que el brazo robótico contesta “OK” al terminar de realizar el movimiento pedido.

4) Los pasos que se siguieron en el desarrollo de este software fueron:

- Configuración del puerto de comunicación entre el R-17 y la computadora.
- Diseño de la parte visual del software
 - Botones. Utilizados para definir tareas específicas que se desean realizar, en este caso estos botones definen la articulación que se desea mover.
 - Barras de desplazamiento. Cada barra de desplazamiento representa una articulación, por lo que la cantidad de movimiento de una articulación depende del desplazamiento que se esté haciendo en esta barra.
 - Cuadros de texto. Utilizados para que el usuario ingrese la cantidad de movimiento que desea en una articulación específica.
- Movimiento de cada extremidad utilizando barras de desplazamiento. Este procedimiento es muy parecido al anterior, pero ahora al detectar desplazamiento en cualquier barra que represente una articulación, se genera un evento en el cual se determina el desplazamiento total de la barra y este dato es usado para mover la articulación con el mismo comando mostrado anteriormente.

- Posición HOME. El objetivo de este botón es que al presionarlo el brazo robótico inmediatamente busque la posición home, y esto es bastante fácil de hacer porque solamente se envía serialmente “HOME” + Enter.

Al realizar muchas pruebas con el R17 se encontraron algunos problemas que se detallan a continuación:

Figura 82: Posición HOME esperada



Al escribir el comando “HOME” se esperaba tener una respuesta parecida a la **Error! Reference source not found.**, pero debido a la falta de mantenimiento y uso inapropiado del brazo robótico la posición home se encontraba mal calibrada.

A partir de experimentación se encontró que el brazo robótico determina la posición “HOME” utilizando la posición detectada al momento de encender el R17. Por esta razón, es necesario que antes de encender el R17 se verifique que se encuentre en la posición “HOME”, y si esto no ocurre, entonces colocar manualmente el R17 en la posición deseada.

Debido a lo antes mencionado, el último comando enviado al R17 antes de cerrar el software es el comando “HOME”, con lo cual se garantiza tener la misma posición “HOME” al iniciar y finalizar el programa.

5) Mala calibración. Al realizar las pruebas se notó que el robot no utilizaba ningún mecanismo de defensa contra movimiento que lo pueda afectar físicamente, es decir, golpes con su estructura o entre sus mismas extremidades.

Debido a esta razón se trató de calibrar siguiendo los pasos especificados en el manual, pero nunca fue posible completar la calibración. Ya que mientras se lleva a cabo este procedimiento el robot no responde adecuadamente, llegando al extremo de golpearse.

Al no poderse calibrar se tiene el problema que el brazo robótico no cuenta con límites, lo cual implica que un mal uso del software puede causar daños físicos al R17.

3. Fase 3: Acople de las dos fases anteriores

a. Diseño. Unión del código desarrollado en las dos aplicaciones mencionadas en las fases anteriores. El software desarrollado para el manejo del sensor magnético no se utilizó completamente, porque para los fines deseados no es necesario desplegar las coordenadas, debido a esta razón se eliminaron los cuadros de texto que mostraban estos resultados.

1) Construcción de la interfaz gráfica del software final. Para esto se tomo como base la interfaz gráfica del software de control para el R17, a la cual se agregaron todos los componentes adicionales que se necesitan para cumplir los objetivos de este trabajo de graduación, entre ellos un botón y un y un “checkboxbutton” que determinan el uso del modo automático. Por supuesto, que en este punto aun no se encuentra implementado este modo automático.

2) Configuración cada uno de los puertos seriales utilizados.

3) Hasta ahora se tiene un control individual de cada una de las articulaciones, pero lo que se desea es leer una coordenada en el espacio y que el R17 sea capaz de llegar a esta coordenada. Claro está que esto se puede lograr moviendo cada una

de las articulaciones por aparte, pero se tiene el problema que existen muchas posibilidades de movimiento para llegar a la misma coordenada, y ésta es una solución poco elegante y que agregaría retardo en la respuesta del R17. Por ello se evalúan las siguientes opciones: cinemática inversa, comandos predefinidos para el R17.

Una muy buena solución al problema arriba planteado es la utilización de cinemática inversa. Pero se descartó esta solución porque se encontraron comandos aceptados por el R17 que realizan la tarea deseada.

4) Módulo de pruebas. Consiste en un cuadro de texto y un botón. El cuadro de texto sirve para ingresar el comando que se desea probar y cuando se termina de escribir se presiona el botón y se verifica la respuesta del R17 visualmente.

5) Elección del comando apropiado. A partir de la experimentación se pudo observar que algunos comandos se basan en posiciones absolutas, es decir, que siempre buscan la coordenada ingresada con respecto a un punto de origen. En cambio otros comandos están basados en posiciones relativas, es decir, que realizan el movimiento deseado tomando como origen el último punto en posición del R17.

6) Implementación del módulo automático. Teniendo el comando que mueva al R17 hacia una coordenada en el espacio específica ya se pudo realizar la implementación del módulo automático, que sigue los siguientes pasos:

- Se ejecuta el posicionamiento automático mientras el “checkboxbutton” se encuentre seleccionado.
- Se pide al sensor magnético la coordenada de posición actual
- Se decodifica la información recibida.

- Utilizando da la orden del movimiento al R17 utilizando la coordenada obtenida.

7) Problemas encontrados con el uso del modo automático. Aunque no el sensor magnético este en reposo, el brazo robótico se mantiene realizando pequeños movimientos. Y esto se debe a que el sensor magnético presente pequeñas variaciones en todo tiempo.

8) Se agregó también una forma automática de salir de este modo. Para esto se evalúa el desplazamiento en el sensor magnético, y si no existe desplazamiento durante aproximadamente 5 segundo, esto quiere decir que el usuario desea salir de este modo.

D. MÓDULO DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA

El módulo Comunicación Inalámbrica consiste en la implementación de una red inalámbrica de dos nodos, que tiene el propósito de controlar remotamente un sistema háptico desde un guante. Por dicha red se transmiten mensajes desde el guante controlador hacia los dedos robóticos acoplados en el robot industrial R-17 y viceversa. La red se implementa utilizando el protocolo ZigBee™ de ZigBee Alliance, que cumple con el estándar IEEE 802.15.4. Los mensajes transmitirán la información de los sensores colocados en los dedos robóticos hacia el control, y los comandos emitidos desde el control hacia actuadores colocados en los dedos. El módulo de comunicación inalámbrica se desarrolló en tres etapas las cuales se desarrollan a continuación.

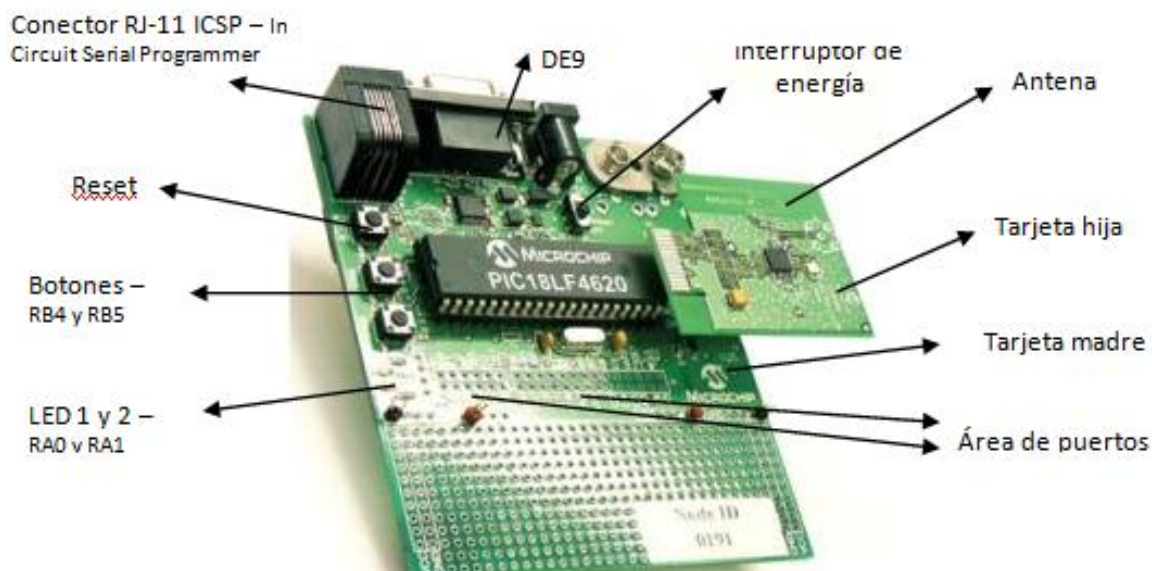
1. Etapa de investigación. Durante esta etapa se realizó una investigación básica de los protocolos de comunicación inalámbrica Bluetooth, ZigBee y WiFi. La investigación, tuvo como objetivo determinar el protocolo que se utilizaría para crear la conexión inalámbrica entre los nodos Control y Dedos Robóticos.

Se llevó a cabo un análisis comparativo de los aspectos técnicos de los protocolos como lo son: la velocidad de transferencia de datos, alcance de la señal, frecuencia de operación, consumo de energía, cantidad de nodos que puede haber dentro de la red y el tiempo de respuesta en un nodo apagado. Este análisis permitió determinar que el protocolo ZigBee es el que mejor se adecua a las necesidades de este Megaproyecto.

2. Etapa de desarrollo. Una vez se seleccionó el protocolo ZigBee de ZigBee Alliance para la comunicación, se inició el proceso de desarrollo del módulo. El método utilizado para el desarrollo fue una serie de pruebas preliminares. Las pruebas preliminares tuvieron el propósito de facilitar la comprensión del protocolo y así, desarrollar una aplicación definitiva que cumple con los objetivos de este módulo y del Megaproyecto GC-R17 completo.

Las pruebas se realizaron sobre el PICDEM™ Z 2.4 GHz Demonstration Kit de Microchip, que contiene dos nodos ZigBee con emisor y transmisor para construir una red de dos nodos (punto a punto). Estas pruebas se realizaron de forma independiente con la finalidad de asegurar el acople exitoso entre el módulo Comunicación Inalámbrica y el módulo Sensorial.

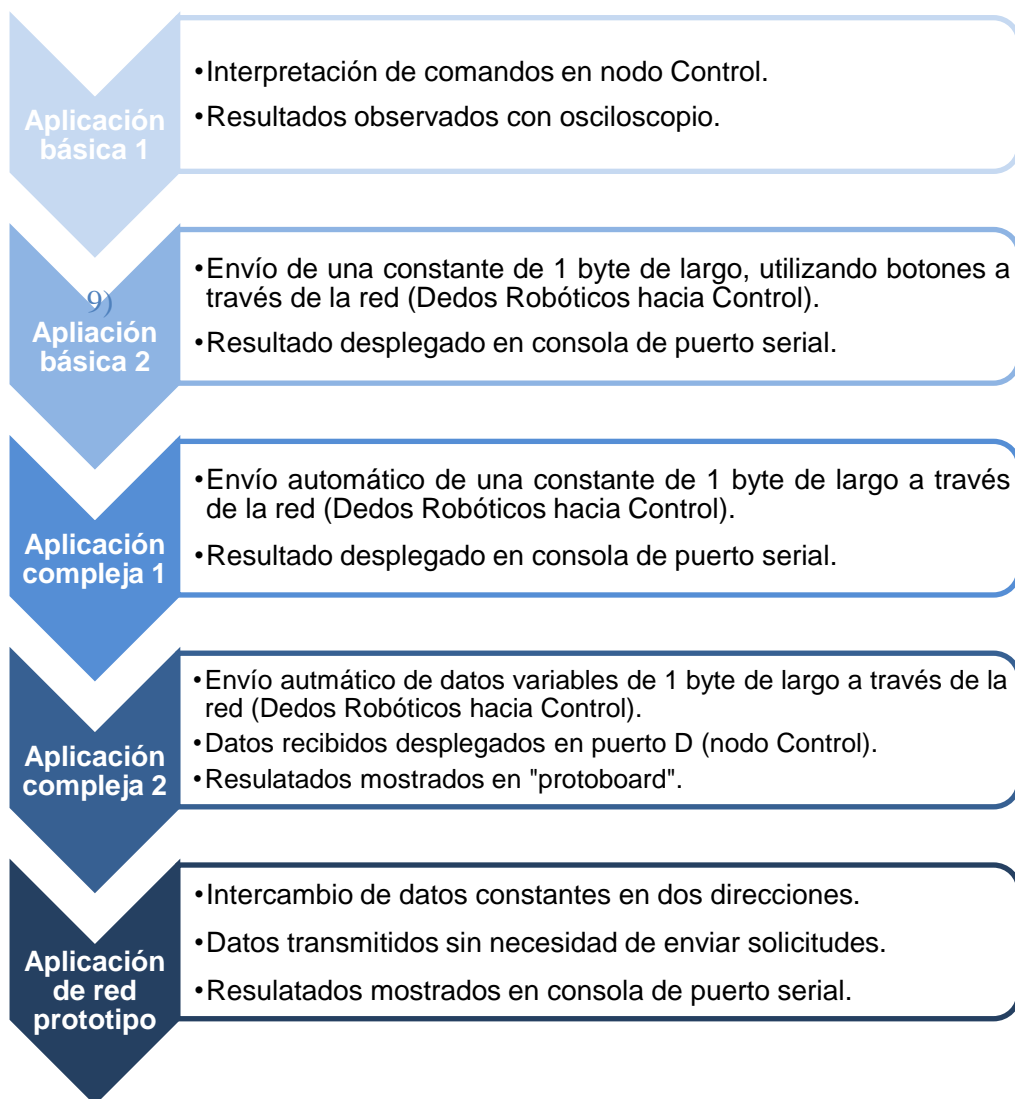
Figura 83: Partes del módulo ZigBee.



Se realizó una secuencia de pruebas de desarrollo. Las primeras fueron básicas y se diseñaron modificando ligeramente la aplicación original del kit. A partir de las pruebas básicas, se determinó la necesidad de desarrollar una aplicación menos compleja y mejor orientada hacia las especificaciones establecidas para este Megaproyecto. La primera aplicación sobre la que se trabajó fue la del nodo coordinador de la red, denominado en este trabajo, nodo *Control*.

Luego se efectuaron pruebas cada vez más complejas, hasta lograr el diseño adecuado para la red capaz de acoplarse al módulo de Sensorial.

Figura 84: Pruebas de desarrollo de módulo “Comunicación Inalámbrica”.



E. MÓDULO SENSORIAL

El módulo sensorial tiene relación directa con otros tres módulos. Además de controlar los motores que mueven la mano robótica desarrollado por el módulo de mecatrónica, el módulo debe contar con una transmisión y recepción de información exitosa para realizar las peticiones del usuario; lo anterior exige un acople exitoso con el módulo de comunicación. Finalmente el sensor magnético utilizado por el módulo de interfaz para controlar el brazo robótico industrial R-17 es instalado en el guante controlador desarrollado por el modulo sensorial.

1. Estudio de sensores de temperatura.

a. Propuestas.

1) Propuesta A: “Heraeus Platinum Thin-Film sensor Type C (Cryo)”

- Características generales:
 - Rango de medición: -196 a 150 Grados centígrados.
 - Salida: resistiva proporcional a temperatura
 - Considera efectos de auto-calentamiento
 - Resolución: 0.1 °C ó 0.24 ohm
 - No sensible a humedad ni clima
 - Resistentes a impacto
 - Precisión alta 0.04%
 - Personalización disponible

Figura 85: Características de la primera propuesta de sensores de temperatura

Tolerance class B from -196 °C to +150 °C														
Name		Order number		Dimensions in mm					Self-heating	Response time in seconds				
Type	Design	Nominal resistance	Plastic box/ Plastic bag	Leads	L	W	H	LL	LØ	Ice water 0 °C in K/mW	Water: v = 0,4m/s		Air: v = 2m/s	
											t _{0,5}	t _{0,9}	t _{0,5}	t _{0,9}
C	420	Pt 1000	32207502	AgPd	3.9	1.9	1.0	15	0.25	0.3	0.08	0.25	3.50	15
C	220	Pt 100	32207399	AgPd	2.3	1.9	1.0	10	0.25	0.4	0.06	0.20	3.00	13

Tolerances:

L: ± 0.15 • W: ± 0.2 • H: + 0.3/-0.2 • LL: ± 1.0 • LØ: ± 0.02

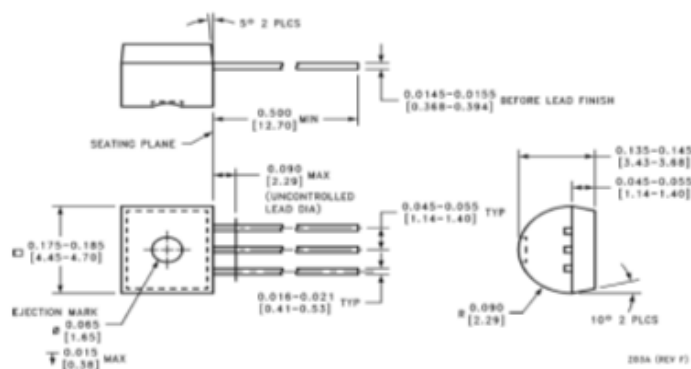
2) Propuesta B: “LM 335”

- Características generales:
 - Rango -40 a 100 °C
 - Lineal
 - Calibrado en °K
 - Menos de 1 °C de error en el rango

Figura 86: Características generales, segunda propuesta de sensores de temperatura

Temperature Accuracy (Note 1)								
LM335, LM335A								
Parameter	Conditions	LM335A			LM335			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Operating Output Voltage	T _C = 25°C, I _R = 1 mA	2.95	2.98	3.01	2.92	2.98	3.04	V
Uncalibrated Temperature Error	T _C = 25°C, I _R = 1 mA		1	3		2	6	°C
Uncalibrated Temperature Error	T _{MIN} ≤ T _C ≤ T _{MAX} , I _R = 1 mA		2	5		4	9	°C
Temperature Error with 25°C Calibration	T _{MIN} ≤ T _C ≤ T _{MAX} , I _R = 1 mA		0.5	1		1	2	°C
Calibrated Error at Extended Temperatures	T _C = T _{MAX} (Intermittent)		2			2		°C
Non-Linearity	I _R = 1 mA		0.3	1.5		0.3	1.5	°C

Figura 87: Características físicas, segunda propuesta de sensores de temperatura



3) Propuesta C: “700 series platinum RTDs”

- Características generales:
 - Resistencia linealmente dependiente a la temperatura
 - Rango: -70 °C a 500 °C
 - Estabilidad: 0.04% después de 1000h a 500 °C
 - Resistencia a vibraciones: 2000Hz (depende de la instalación)
 - Para ambientes secos
 - Resistencia del aislante 100MΩ a 20°C mayor a 2MΩ a 500°C
 - Tiempo de respuesta: 10s (90%) en corriente de 2 m/s y 0.15s (90%) en corriente de 0.4 m/s (depende del medio portado de la variable)

b. Pruebas y experimentación.

1) Experimento A: Funcionamiento de sensores Heraeus (Tipo C y tipo M).

- Diseño experimental

- Se soldaron las terminales del sensor tipo C a dos alambres de cobre.
- Los alambres de cobre se pasaron por el interior de la pajilla dejando el sensor por fuera a un extremo de la pajilla.
- Se colocó el sensor en el interior de dos bolsas de plástico pequeñas, las bolsas se fijaron con tape alrededor de la pajilla. (entre la primera y la segunda bolsa se puso un papel absorbente).
- Se hizo el procedimiento 1-4 para el sensor tipo M.
- Se llenó un Becker con hielo y se colocó sobre una estufa.
- Con ayuda de un soporte universal y unas pinzas para soporte se insertó y se fijó un termómetro en el Bécquer con hielo.
- Con ayuda de las pinzas para soporte se colocaron ambos sensores de temperatura en el Bécquer con hielo, procurando que quedaran lo más cercano al termómetro posible.
- Adicionalmente y de la misma manera se insertó un termómetro digital al Bécquer.
- Se conectó uno de los cables de cada sensor a una misma terminal del multímetro.
- El alambre sobrante de cada sensor se conectó a terminales diferentes de un switch.
- La terminal sobrante del multímetro se conectó a la terminal común del switch.
- Se esperó a que el termómetro analógico y el termómetro digital marcaran 0°C.
- Se prendió la estufa y se empezó a tomar las mediciones. Para cada cambio de interés se tomaron tanto las temperaturas indicadas por los termómetros como los valores de resistencia que adquirieron los sensores (labor facilitada por el switch).
- Al llegar al punto más alto posible de temperatura, se tomaron algunos datos en el proceso de enfriamiento.

2) Experimento B: Funcionamiento de sensores LM 335.

- Diseño experimental
 - Se calibró el sensor a temperatura ambiente.
 - Se colocó hielo en un recipiente de vidrio y se le agregó agua hasta cubrir todo el hielo, posteriormente éste recipiente se colocó sobre una estufa eléctrica.
 - Con ayuda de un soporte universal y unas pinzas para soporte se insertaron y se fijaron dos termómetro (uno digital y uno analógico) y el sensor de temperatura dentro del recipiente con hielo.
 - Se conectó la terminal del sensor a la fuente de potencia (en 5 voltios).
 - Se colocó un multímetro en modo de medición de voltaje.
 - Se esperó a que el termómetro análogo y el termómetro digital marcaran 0°C
 - Se prendió la estufa y se procedió a la toma de mediciones, para cada cambio de interés se tomaron tanto las temperaturas indicadas por los termómetros como el valor voltaico de salida del sensor.
 - Al llegar al punto más alto posible de temperatura, se tomaron algunos datos en el proceso de enfriamiento (histéresis).

3) Experimento C: Tiempo de respuesta LM 335 con y sin recubrimiento. Para el tercer experimento se planteó el objetivo de conocer el tiempo de respuesta del LM 335, éste experimento se realizó con dos sensores (uno con recubrimiento y otro sin recubrimiento) con el motivo de conocer el efecto de la cubierta de silicón en los resultados.

- Diseño experimental
 - Se conectaron y calibraron los sensores de temperatura (con y sin recubrimiento)
 - Se calculó el voltaje deseado de salida de los sensores para 9 temperaturas.
 - Se calculó el 80% del valor deseado de voltaje de salida para las 9 temperaturas.
 - Se colocó agua en un recipiente.
 - Se llevó la temperatura del agua al valor de temperatura deseado.
 - Se insertaron los sensores al recipiente con agua.
 - Se tomó el tiempo que requieren los sensores para marcar el valor de voltaje de salida calculado (80% y 100%).
 - Se repitieron los pasos 5,6 y 7 para los 8 valores restantes de temperatura.
 - Para una temperatura de 65°C, se registró la salida del sensor continuamente hasta que éste alcanzara la medición correspondiente a la temperatura seleccionada.
 - Se graficaron y analizaron los resultados (cambio de voltaje contra tiempo).

2. Estudio de sensores de presión.

a. Propuestas.

1) Propuesta A: “Ts22TRT-1, TS22FRT-01, TS34T-01 y TS32F-01”

- Características generales
 - Rango amplio de medición y buena sensibilidad (ya que utiliza “quantum tunneling composite”)
 - Hechos de poliuretano cuya dureza depende de la capa donde se encuentre el material.

- Se producen en dos formas estándares (grueso para simular el pulgar y mediano para los demás dedos), y cada una de estas dos formas se producen con 34 ó 22 elementos (distribuidos distintamente entre el modelo grande y el pequeño).
- Se pueden hacer sensores personalizados.
- Cada táctil es sensitivo a cargas desde 0.1 N a 25 N con una sensibilidad de 0.1 Newton.
- Frecuencia de lectura de todo el sensor 50 HTZ
- Salida digital comunicación serial.
- Precio promedio 6000\$ cada sensor.

Figura 88: Sensores de la marca Shadow robot



2) Propuesta B: “Interlink Standard 400 FSR”

- Características generales
 - Grosor: 0.008" a 0.050" (0.20 a 1.25 mm)
 - Rango de sensibilidad fuerza: <100 g a >10 kg
 - Resolución: mayor a 0.5% de su escala máxima
 - Fuerza de activación: 20 g to 100 g (0.7 oz to 3.5 oz)
 - Tiempo de respuesta: 1-2 msec (mecánico)
 - Tiempo de vida: >10 millones de activaciones
 - Precio \$ 75.00 (mínimo de compra)

3) Propuesta C: “Force Sensing Resistors (FSR)”

- Características generales
 - Tamaño variable hecho a la medida
 - Rango de sensibilidad de fuerza 1 onza a 20 libras
 - Ciclo de vida: un millón de activaciones
 - Tiempo de respuesta 1 mili segundo
 - Rango resistivo (activo): 100K a 1M ohm.

b. Síntesis de propuestas para sensores de presión. En general, no es necesario que el rango de presiones medibles sea muy alto (en el Megaproyecto se limita por el rango de torques de los servo motores), se desea un buen tiempo de respuesta, un bajo costo, largo ciclo de vida y tamaño adecuado para la instalación.

Tabla 22: Propuestas de sensores de presión

Empresa	Precio	Rango de fuerza (N)
The Shadow robot Company Ltd.	6000\$ (C/U)	0.1 a 25
Interlink	100\$ (Kit)	<0.11 a 100
Sensitronic	400\$ (10 sensores)	0.27 88

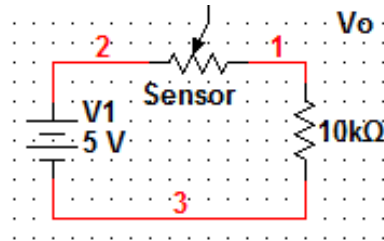
c. Pruebas y experimentación.

1) Experimento A: Funcionamiento cualitativo de los sensores de presión Interlink y sensitronic.

- Diseño experimental
 - Se armó en el protoboard el siguiente circuito para cada tipo de sensor.
 - Se conectó la punta de osciloscopio en la salida

- Se observaron las señales de salida para distintos estímulos de entrada (impulso, estímulo sostenido, presión mantenida y luego retirada, impulsos en serie con distintas presiones y respuesta a través del tiempo)

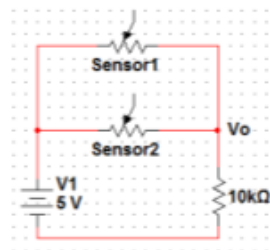
Figura 89: Divisor de voltaje armado para realizar el experimento 1 de presión



2) Experimento 2: Funcionamiento cuantitativo y repetitividad de los sensores de presión Interlink y Sensitronic.

- Diseño experimental
 - Se armó el siguiente circuito para cada tipo de sensor:

Figura 90: Divisor de voltaje implementado para el experimento 2 de presión



- Se le aplicaron distintas fuerzas a cada uno de los sensores.
- Se anotó la salida voltaica del circuito.
- Se analizaron los resultados.

3. Estudio de sensores de flexión.

a. Propuestas.

1) Propuesta A: “Sensor, Flex, Odeg: 10K, part number: 150551”

- Características generales
 - Se puede doblar mas de 360 grados
 - Resistencia Nominal 10 K Ω
 - Nivel de flexión directamente proporcional a la resistencia
 - 30 – 40 K Ω a 90 grados (max)
 - Temperatura de operación -45F a 125F
 - Precio 12.89\$ C/U (11.65\$ si se ordenan más de 10 unidades)

2) Propuesta 2: “Flexible bend sensor”

- Características generales
 - Resistencia Nominal 5.0, 19, 32 K Ω a 14.0, 46, 65 K Ω (depende del modelo).
 - Nivel de flexión directamente proporcional a la resistencia.
 - Vida útil mayor a dos millones de ciclos (Variable).
 - Resolución de 1° de flexión.

b. Síntesis de propuestas para sensores de flexión. La recolección de información sobre la flexión ejercida en el guante se utilizara para aproxima la mano

robótica al tamaño del objeto que se desea tomar, por ésta razón no es necesario contar con mucha resolución. Es deseable que el rango de medición se encuentre desde que la mano del usuario esté extendida, hasta que esté totalmente flexionada. El tamaño de los sensores debe ser menor al largo de un dedo (aproximadamente 5 cm) para que ninguna parte del sensor salga de la superficie del dedo al momento de tener la mano extendida. De la misma manera que en casos anteriores se busca un sensor de bajo costo y largo tiempo de vida.

Tabla 23: Propuesta de sensores de flexión

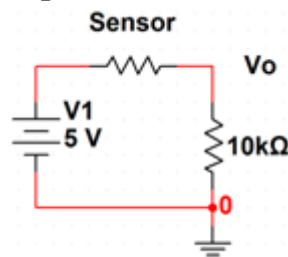
Empresa	Precio	Rango resistivo (K Ω)
Flexpoint Sensor Systems, Inc.	Bajo	30-40
Jameco electronics	Bajo	a 14, 19 a 46 y 32 a 65

c. Pruebas y experimentos.

1) Experimento A: Funcionamiento cualitativo de los sensores Flexpoint.

- Diseño experimental
 - Utilizando el sensor de flexión, se armó el siguiente circuito

Figura 91: Circuito implementado en el experimento 1 de flexión



2) Experimento B: Funcionamiento cuantitativo de los sensores Flexpoint.

- Diseño experimental
 - Con ayuda de una varilla plana de metal maleable se creó un ángulo de 15°
 - Se colocó el sensor de flexión sobre ésta varilla
 - Se midió y anotó el valor resistivo de salida del sensor
 - Se movió el sensor a distintas alturas para ver el cambio resistivo.
 - Se repitieron los pasos del 1-4 para ángulos de 25° , 35° , 45° , 55° , 65° , 75° , 85° , 95° , 105° , 115° y 125°

4. Desarrollo del guante controlador. Posterior a la selección de los sensores adecuados para el proyecto, se procedió a implementar el guante controlador. Éste sirve para registrar los movimientos de la mano del usuario para posteriormente poder utilizar las señales en el sistema de control.

- Diseño experimental
 - Se instalaron refuerzo de plástico en la base de los sensores de presión.
 - Se instaló un sensor de presión en cada yema del guante correspondiente al dedo medio, índice y pulgar.
 - Se instaló un sensor de flexión en la parte superficial de cada dedo correspondiente al medio, índice y pulgar.
 - Se instaló un sensor de flexión en la palma del guante.
 - Se construyó una caja para la organización de los cables de los sensores utilizando como salida un conector DE 9.
 - Se recubrió la parte lógica con otro guante de mayor tamaño.

- Se midieron las salidas resistivas aproximadas para el guante en un estado de máxima y mínima presión, y máxima y mínima flexión.

5. Recolección de información. En esta sección se tratará únicamente la red de sensores instalada en el guante controlador; la manera de manipular los datos proporcionados por los sensores instalados en la mano robótica se tratan más adelante.

- Diseño experimental
 - Se escribió el programa para implementar la red de sensores instalada en el guante controlador.
 - Se diseñó el circuito para implementar la red de sensores instalada en el guante controlador.
 - Se diseñó el circuito de acople entre el módulo sensorial y el módulo de comunicación.
 - Se diagramó el esquemático del circuito completo.
 - Se creó el PCB del circuito.
 - Se soldaron los componentes.

6. Instalación de sensores en la mano robótica. Se debió instalar una red de sensores (presión y temperatura) en la mano robótica con el fin de conocer la temperatura aproximada del objeto manipulado y para proporcionar una retroalimentación de la fuerza de agarre del objeto al sistema de control.

- Diseño experimental
 - Se creó una plantilla con plastilina cuyas medidas son las deseadas para la implementación, en el prototipo fue incluido el sensor.

- Se vertió yeso líquido sobre el prototipo y se esperó a que éste seicara.
- Se removió el prototipo de la base de yeso (molde).
- Se colocó un sensor lm335 en el molde y se rellenó el molde con Sanisil® y se esperó a que seicara, luego se rompió el molde y se extrajo la pieza.
- Se repitieron los pasos 2-4 para dos sensores más.
- Se soldaron cables finos y flexibles a los sensores de presión y temperatura.
- Se instalaron los sensores de presión en el extremo del dedo, sobre los sensores de presión, se instalaron las yemas con los LM 335.
- Se ordenaron los cables y se probó el sistema.

7. Desarrollo del sistema de control digital. Posterior a la creación del circuito correspondiente al guante controlador, fue necesario diseñar e implementar un sistema que fuera capaz de utilizar e interpretar la información proporcionada por el mismo (por medio del módulo de comunicación). Se diseñó entonces el circuito encargado de ejecutar el sistema de control con base a los datos recibidos y a los recolectados en la mano robótica.

- Diseño experimental
 - Se implementó el software necesario para realizar pruebas con el módulo PWM del micro-controlador seleccionado.
 - Se hicieron mediciones para conocer la manera adecuada para manipular los motores eléctricamente.
 - Se diseñó un sistema de control digital.
 - Se diagramó el esquemático del circuito a implementar.
 - Se creó el PCB.
 - Se soldaron los componentes.

8. Desarrollo del software de monitoreo. Con el fin de monitorear las variables manejadas por el guante controlador y desplegar la temperatura enviada por la mano robótica, se escribió un programa en Microsoft visual C# 2008.

- Diseño experimental
 - Se diseñó e implementó un software para monitorear las variables manejadas en el sistema.

VI. RESULTADOS

El Megaproyecto *GC R-17 Sistema Háptico de Control a Distancia* tiene como objetivo construir tres dedos robóticos y acoplarlos al brazo mecánico R-17. De esta manera se podrán manipular objetos más grandes que los que actualmente es capaz de manipular el R-17.

El control y manejo de la estructura existente del R-17 se efectuará mediante un sensor magnético y se desarrollará el software para interpretar y traducir los movimientos tridimensionales del mismo. Asimismo se plantea el objetivo de controlar los dedos robóticos inalámbricamente; éstos recibirán instrucciones transmitidas desde un guante que será manipulado por el usuario. El brazo robótico finalmente tendrá la capacidad de interpretar y entender los siguientes comandos efectuados por el usuario:

1. Cerrar (agarrar)
2. Abrir (Soltar)
3. Presión (ejercer la presión de agarre que el usuario efectúe en el guante sobre un objeto representativo)
4. Temperatura en los dedos (Informar al usuario de éste dato que puede tener aplicaciones para la industria química, por ejemplo)

Los resultados obtenidos en cada uno de los módulos que conforman el Megaproyecto se describen a continuación.

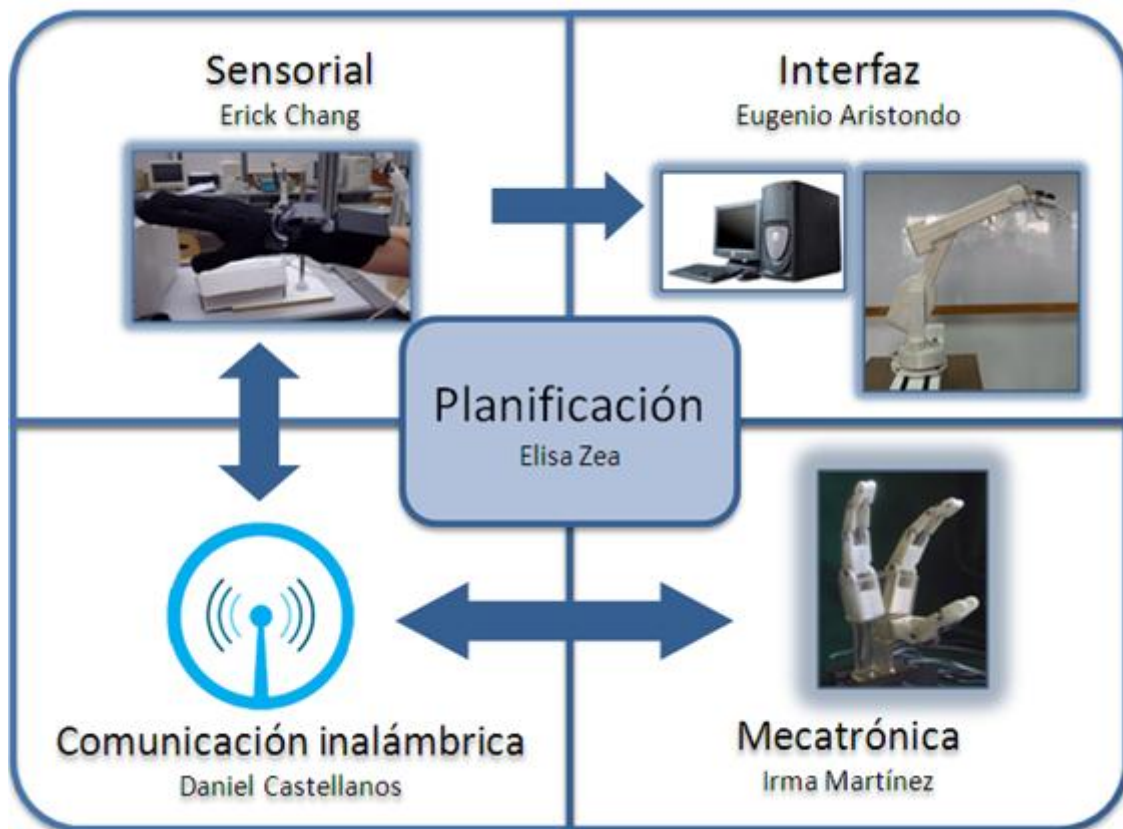
A. MÓDULO DE PLANIFICACIÓN

La planificación del Megaproyecto se divide en dos fases, las cuales se describen a continuación.

1. Primera Fase.

a. Descripción de los módulos. Para tener una mejor visión a continuación se presenta el diagrama de bloques del Megaproyecto Sistema Háptico de Control a Distancia GC R- 17.

Figura 92: Diagrama de bloques del Megaproyecto



1) Módulo de mecatrónica: El objetivo principal de este módulo es investigar el diseño ideal y material adecuado para la construcción de los dedos que irán acoplados al R-17. El diseño debe contemplar las medidas de cada una de las partes de un dedo y la colocación del material que actuará como tendones, investigando las fuerzas máximas, fatiga y torque involucrados en el funcionamiento de estos en el cuerpo humano para hacer un modelo cercano a la realidad.

2) Módulo de interfaz. En este módulo se tiene como finalidad utilizar sensores magnéticos para leer los movimientos del guante y saber cuál es su posición. La salida de este sensor es una trama serial que se traduce para brindar comunicación con el brazo robótico R-17 y replicar los movimientos.

3) Módulo de comunicación inalámbrica. En esta parte se investigaron los distintos sistemas de comunicación inalámbrica existentes, con el fin de encontrar el idóneo con el que se obtengan los mejores resultados de acuerdo a las necesidades del proyecto. Se implementó una red inalámbrica de dos nodos, por la cual se transmiten mensajes desde el guante hacia los dedos robóticos, utilizando el protocolo ZigBee.

4) Módulo sensorial. Se construyó un guante que contiene sensores de presión y el módulo se encarga de evaluarlos e instalarlos. Los sensores de presión y temperatura captan y transmiten los datos de movimiento y fuerza recopilados a los dedos robóticos. Estos, a su vez, utilizan los datos como fuente de información para una imitación de las acciones del usuario. Los datos recopilados los pone a disposición del Módulo de comunicación inalámbrica mediante el desarrollo de un sistema bidireccional de comunicación, y este sistema se encarga de igualar la presión ejercida por el usuario y los dedos robóticos.

b. Determinación de los recursos. Para este Megaproyecto se disponía de Q24, 000 de fondos por parte del Departamento de Ingeniería Electrónica para utilizar en la compra de materiales y equipo para la realización del Megaproyecto GC R-17. Estos fondos tenían que ser repartidos entre todos los Megaproyecto que se están realizando durante el mismo periodo. Adicionalmente se contaba con Q. 6,000.00 para los Módulos ZigBee.

A continuación se muestran los rubros del presupuesto estimado durante la etapa de planificación del Megaproyecto, es decir, durante el primer semestre de trabajo. En este presupuesto se incluyen materiales y equipo que se tenía planificado adquirir y sus montos estimados. Como se podrá observar en la Tabla 20 se detalla el rubro de materiales y equipo que fueron adquiridos. La diferencia entre el monto total real y estimado es de Q36,338.05.

Tabla 24: Presupuesto estimado

Rubro	Módulo	Tipo	Total
Motores	Mecatrónica	Equipo	Q1,500
Infraestructura red inalámbrica	Comunicación inalámbrica	Equipo	Q6,500
Sensores magnéticos	Sensorial	Material	Q15,000
Acero/Aluminio	Mecatrónica	Material	Q1,500
Tornillos/Cojinetes	Mecatrónica	Material	Q500
Circuitos eléctricos	-	Material	Q1,300
Sensores temperatura	Sensorial	Material	Q5,000
Sensores de presencia	Interfaz	Material	Q5,000
Sensores de presión	Sensorial	Material	Q5,000
Materiales para tendones	Mecatrónica	Material	Q1,500
Materiales para guante	Sensorial	Material	Q1,800
Microcontroladores	Comunicación inalámbrica	Material	Q1,500
Componentes electrónicos	-	Material	Q3,000
Total			Q49,100

Tabla 25: Presupuesto detallado

Rubro	Módulo	Tipo	Costo
Resortes para extensión y flexión de los dedos	Mecatrónica	Material	Q36.00
Aluminio	Mecatrónica	Material	Q276.20
Motores	Mecatrónica	Equipo	Q1,112.20
Kit de ZigBee	Comunicación inalámbrica	Equipo	Q2,712.69
Sensores de presión Interlink	Sensorial	Material	Q54.60
Sensores de presión sensitronics	Sensorial	Material	Q1,365.00
Sensores de temperatura	Sensorial	Material	Q85.00
Acero inoxidable	Mecatrónica	Material	Q7.00
Convertidor de señal USB- Serial*	Comunicación inalámbrica	Material	Q120.00
Microcontroladores	Comunicación inalámbrica	Material	Q80.00
Diodos Zener	Comunicación inalámbrica	Material	Q7.30
Conectores hembra	Comunicación inalámbrica	Material	Q308.26
Conectores macho	Comunicación inalámbrica	Material	Q99.52
Potenciómetros Digitales no volátiles	Sensorial	Material	Q220.45
Potenciómetros Digitales volátiles	Sensorial	Material	Q131.47
Sockets para microcontrolador de 40 pines	Sensorial	Material	Q225.43
Gastos varios Módulo Mecatrónica*	Mecatrónica	Material	Q222.00
Maquinado de piezas y material	Mecatrónica	Material	Q5,446.43
Guantes (2 pares)*	Mecatrónica	Material	Q40.00
Guantes Módulo Sensorial	Sensorial	Material	Q55.00
Roseta	Sensorial	Material	Q9.40
Cable serial macho- hembra (DB 9)	Sensorial	Material	Q38.00
Gastos varios Módulo Sensorial*	Sensorial	Material	Q40.00
Gastos de publicidad*	Planificación	Material	Q70.00
Total			Q12,761.95

Nota: El Material o Equipo con * fueron comprados con fondos mutuos de los integrantes de cada módulo

En el Módulo de mecatrónica se invirtió un total de Q7,139.83. Se debe tener en cuenta que este es el módulo en el que más presupuesto se invirtió y entre los gastos está incluido el material y maquinado de las piezas que conforman la mano.

c. Negociaciones con las instituciones interesadas en financiar el Megaproyecto. La primera propuesta fue presentada al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYT), que es una entidad nacional que forma parte del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología (SINCYT). El CONCYT se encarga del desarrollo científico y tecnológico del país y realiza convocatorias en las que se presentan proyectos científicos con necesidad de financiamiento. La propuesta del Megaproyecto GC R-17 fue presentada durante el primer semestre de trabajo, para la convocatoria del 27 de agosto de 2,008. Esta propuesta presentada fue rechazada, por lo que se buscó otras entidades interesadas en financiar el Megaproyecto.

La segunda entidad a la que se le presentó el Megaproyecto fue National Instruments, que es una empresa líder en la tecnología de instrumentación virtual. Esta empresa estaba interesada en financiar un proyecto, pero no estuvo dispuesta a aceptar nuestras propuestas.

Debido a que no se encontró ninguna entidad interesada en financiar el Megaproyecto, se tomó la decisión de utilizar fondos del Departamento de Ingeniería Electrónica. El Megaproyecto no iba a efectuar gastos con montos muy elevados y el presupuesto del Departamento de Ingeniería Electrónica era suficiente para realizarlo, Q492.00 de estos gastos fueron realizados con fondos propios, como lo fueron los gastos de publicidad por parte del Módulo de planificación y gastos varios de los Módulos sensorial y de mecatrónica.

2. Segunda Fase.

a. Publicidad del Megaproyecto.

1) Logo del Megaproyecto GC R-17. La creación del logo del Megaproyecto se realizó gracias a la ayuda de Paolo Melini del Departamento de Relaciones Públicas de la Universidad del Valle. Debido a que este logo no cumplió con los requerimientos de los otros módulos del grupo de Megaproyecto, se tomó la decisión de modificarlo, pues se llegó a la conclusión que no transmitía en su totalidad los objetivos del Megaproyecto.

Figura 93: Logo del Megaproyecto GC - R17



b. Publicidad por medio de mantas. La creación de una manta para la publicidad del Megaproyecto fue realizada por la Arquitecta Lourdes Fletes. La finalidad de esta manta era la de ser utilizada en eventos publicitarios: Ferias científicas, entrevistas, publicaciones, etc.

Figura 94: Diseño de manta para la Feria de la Ciencia y Tecnología.

GUANTE CONTROLADOR GC-R17

1. Mecatrónica
Construcción de mano
robótica con 3 dedos

2. Comunicación
Red inalámbrica: Guante-Mano
Robótica



3. Posicionamiento
Sistema de posicionamiento
del brazo robótico por medio
de un sensor magnético

4. Sensores
Sistema de control y lectura de
temperatura, flexión y presión

1. Irma Martínez 2. Daniel Castellanos 3. Eugenio Aristondo 4. Erick Chang Elisa Zea

c. **Publicación de información.** Parte de la publicidad que se realizó para este Megaproyecto está la publicación de información del mismo en la página del departamento de Ingeniería Electrónica. Cuando se empezó a buscar maneras de publicarla no estaba definido el lugar en donde ésta iba a ser publicada. Se llegó a la conclusión que es muy importante que se encuentre publicada en la página del departamento de Ingeniería Electrónica porque es allí en donde tanto estudiantes y potenciales estudiantes de la UVG, como entidades dedicadas a la investigación buscan nuevas ideas y proyectos para el desarrollo. La información se encuentra publicada en la siguiente dirección <http://www.ime.uvg.edu.gt/electronica/home/>

Figura 95: Vista de la página del Departamento de Ingeniería Electrónica



La página muestra la información publicada acerca del Megaproyecto GC R-17

B. MÓDULO DE MECATRÓNICA

Finalizadas las fases de diseño, maquinado y acoplamiento del mecanismo de transmisión de movimiento se obtiene la mano robótica que se acoplará en el brazo robótico Industrial R-17.

Figura 96: Mano robótica con mecanismo de transmisión de movimiento

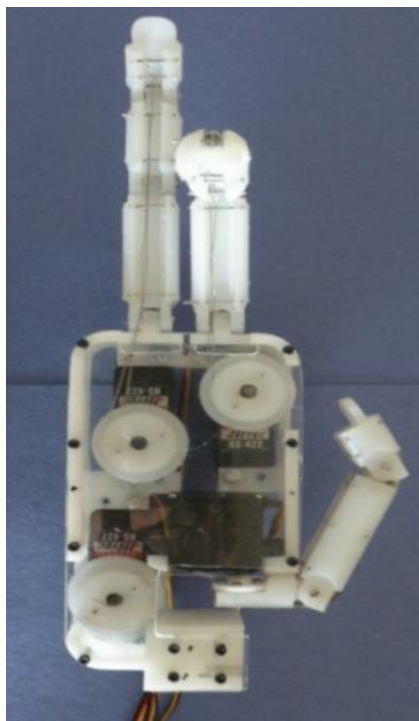
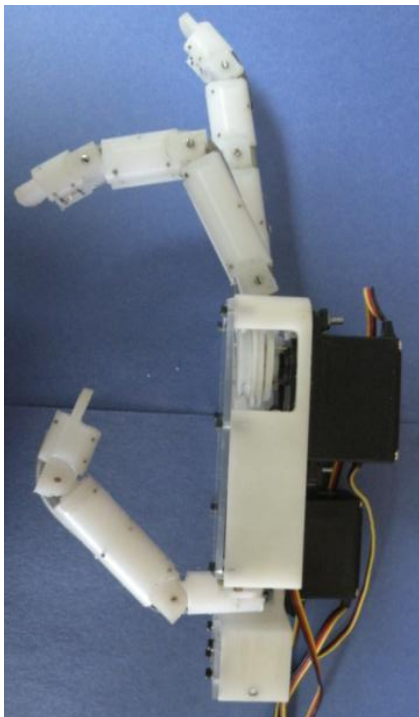


Figura 97: Vista lateral de la mano robótica



C. MÓDULO DE INTERFAZ

La Tabla 26 muestra la configuración inicial del puerto serial para tener una comunicación exitosa con el sensor magnético.

Tabla 26: Configuración serial para sensor magnético

Bits por segundo = 115200
Bits de datos = 8
Paridad = Ninguna
Bit de parada (“Stop Bit”) = 1

Al utilizar la hyperterminal para replicar las peticiones de datos se pudo observar el correcto funcionamiento en la comunicación.

1. Software utilizado. Para la realización de software se utilizo Visual Basic 6.
2. Inicialización. Teniendo la configuración arriba mencionada y el puerto abierto, es necesario escribir una serie de tramas iniciales para configurar la comunicación entre la computadora y el sensor magnético.
 - 2.1. Escribir 2 veces “0.”
 - 2.2. Escribir 1 vez “FN”
 - 2.3. Escribir 29 veces más “0.”

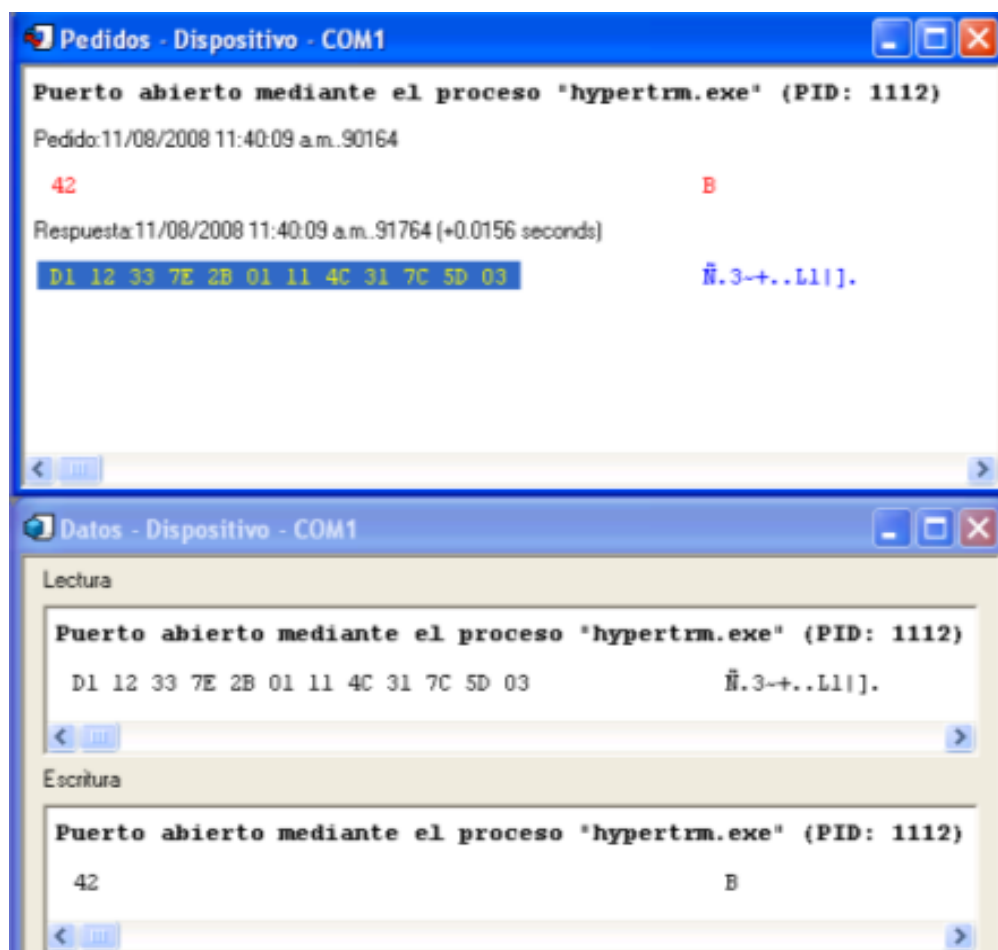
Cuando se haya terminado todo este envío, el sensor estará configurado y listo para iniciar con la transmisión de recepción de datos.

3. Petición de datos. Se eligió el comando POINT, para la petición de coordenadas. La justificación de esta elección se muestra en la discusión de este experimento.

Del monitoreo del puerto realizado se encontró que para hacer una petición de este tipo, basta solamente con enviar al puerto serial la letra “B” .

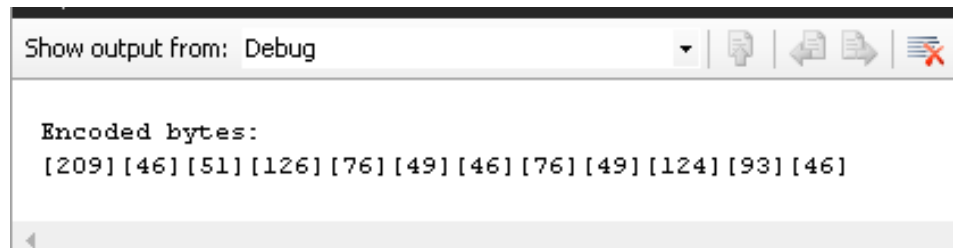
Al hacer esta petición el sensor magnético contesta con una trama de 12 bytes expresados con su código ascii. Cada pareja adyacente de esta trama muestra la información de las coordenadas X, Y, Z, Azimuth, Elevation y Roll.

Figura 98: Pedido y respuesta del sensor magnético (POINT)



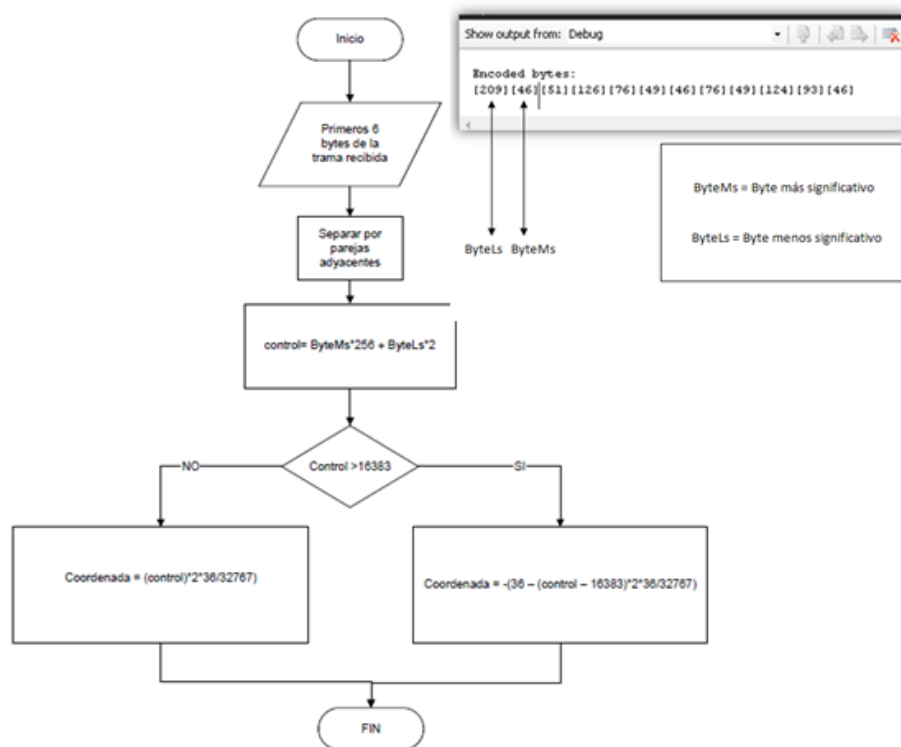
4. Decodificación de la trama recibida. Se leen los doce bytes recibidos del puerto serial y son convertidos a su equivalente decimal, para poder decodificarla.

Figura 99: Entrada mostrando su equivalente decimal



Los primero 6 bytes representan las coordenadas X, Y, Z. Estas coordenadas son representadas en el orden descrito y cada coordenada está representada por dos bytes adyacentes.

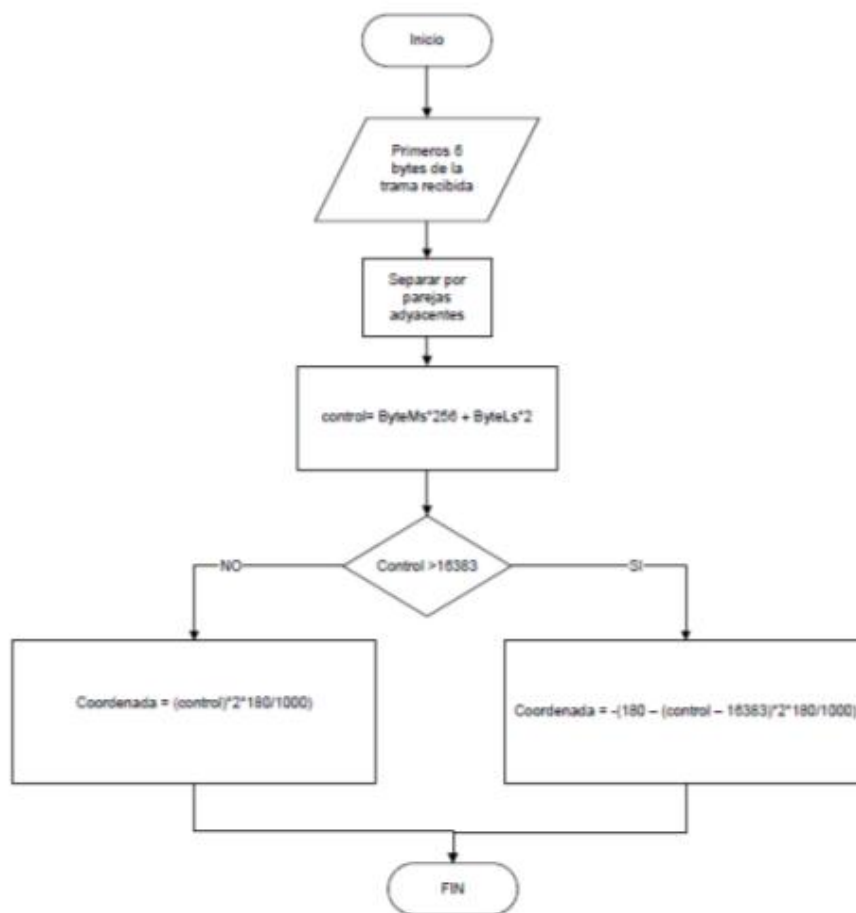
Figura 100: Diagrama de flujo para decodificar x, y y z



Esta es la razón por la que solamente se toman los primeros 6 bytes de la trama recibida. Y la operación para la decodificación es distinta si la coordenada que se está decodificando es positiva o negativa.

Los 6 bytes restantes representan los ángulos y su decodificación se muestra en el siguiente diagrama de bloques.

Figura 101: Diagrama de bloques para la decodificación de ángulos

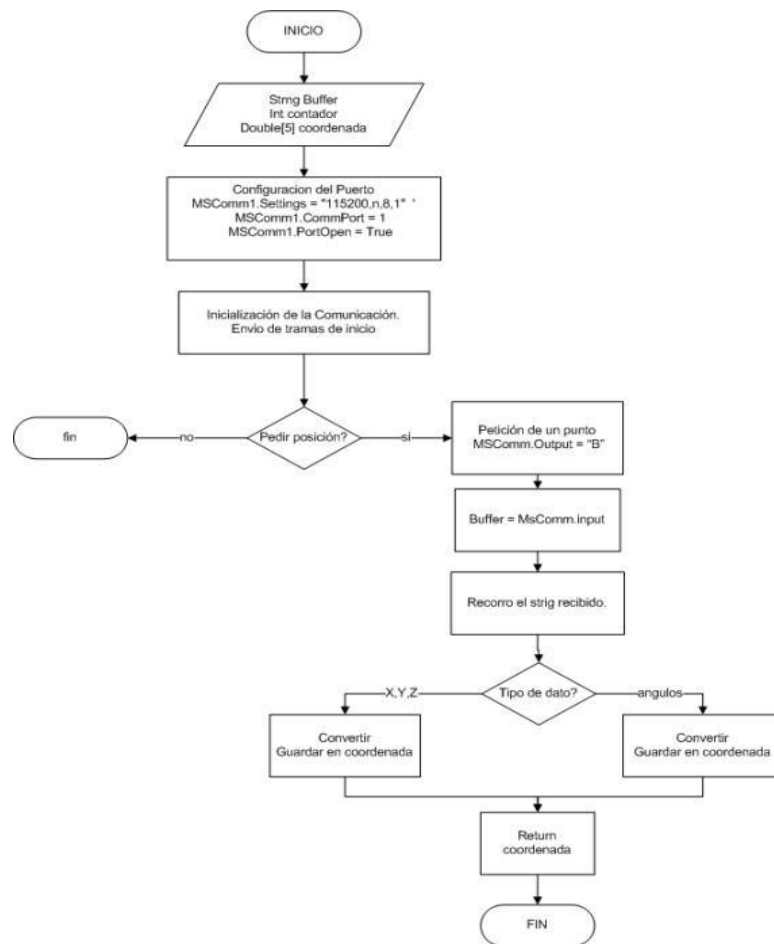


5. Visualización de las coordenadas. Al finalizar la decodificación se termina con un arreglo que contiene las coordenadas de posición brindadas por el sensor. Y el trabajo final consiste en utilizar cajas de texto para desplegar los datos obtenidos.

Figura 102: Interfaz para uso del sensor magnético



Figura 103: Diagrama de flujo del software de control del sensor magnético



D. MÓDULO DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA

Para alcanzar el en el módulo de comunicación inalámbrica, se soldaron pines de conexión tipo macho en el área de puertos integrada en la tarjeta madre de los nodos ZigBee. Además, se construyeron conectores tipo hembra para interconectar las tarjetas de los dos nodos con las tarjetas de los circuitos impresos del módulo sensorial, a través de los pines soldados.

Figura 104: Conectores tipo macho soldados a placas.

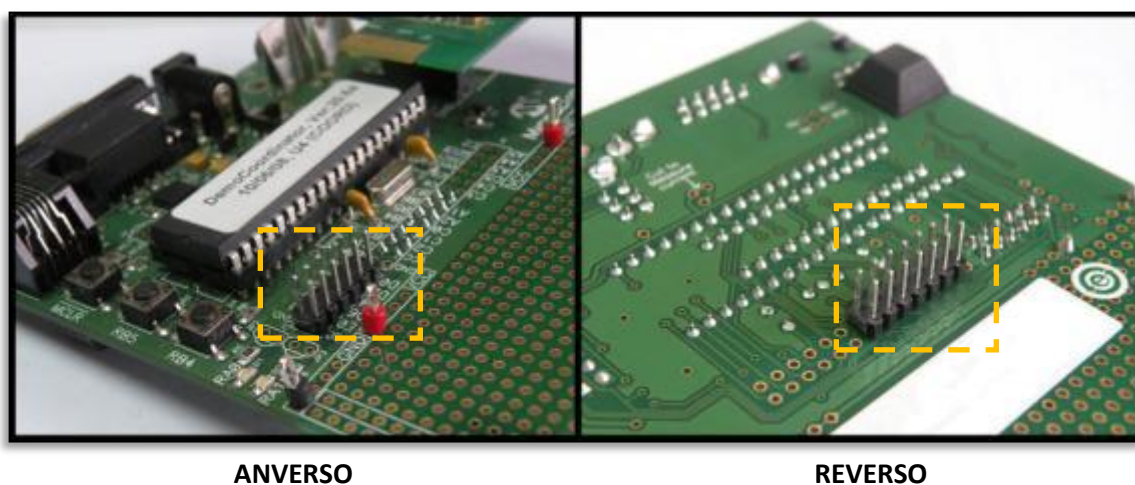
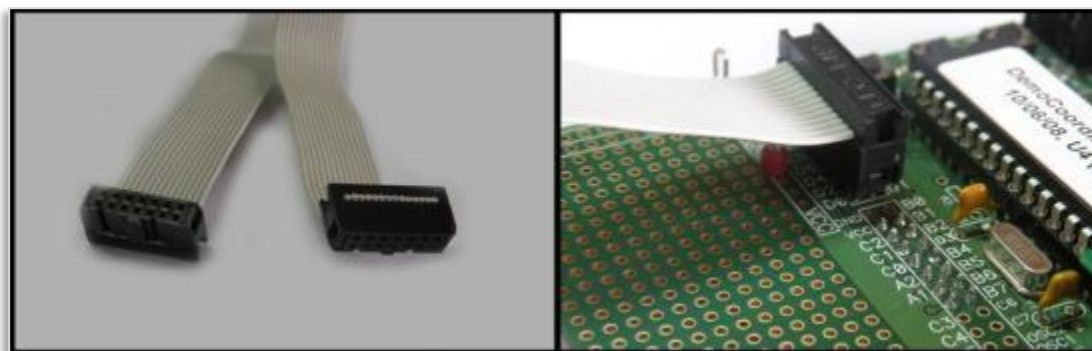


Figura 105: Conectores tipo hembra para interconexión entre circuitos impresos.



Finalmente, se determinó la colocación más adecuada del módulo ZigBee del nodo Dedos Robóticos sobre el brazo del robot industrial R-17. Para esto, fue necesario

experimentar en varias posiciones, hasta encontrar la ubicación idónea, tal que la tarjeta no represente obstáculo ni carga para el robot.

E. MÓDULO SENSORIAL

1. Estudio de sensores de temperatura.

a. Experimento 1. Fundamento de sensores Heraeus (tipo C y tipo M). Para evitar problemas de cortocircuitos entre los conectores de los sensores de temperatura, estos se insertaron dentro de bolsas plasticas, alternativamente se pudo utilizar silicón o algun otro producto similar.

Figura 106: Aislamiento del sensor de temperatura tipo C



Los sensores fueron colocados lo mas cercano posible a los termómetros (digital y analógico) para evitar porcentajes de error (ya que se utilizaron bloques de hielo para alcanzar bajas temperaturas).

Figura 107: Colocación de los sensores de temperatura (tipo C y M) en el sistema



$$V_{\text{outT}} = \frac{2.982\text{V}}{298.15^\circ\text{K}} * (233.15^\circ\text{K}) \approx 2.33\text{V (salida a } -40^\circ\text{C)}$$

De la misma manera:

$$V_{\text{outT}} = \frac{2.982\text{V}}{298.15^\circ\text{K}} * (373.15^\circ\text{K}) \approx 3.73\text{V (salida a } 100^\circ\text{C)}$$

El rango de temperatura de -40 a 100°C ofrece 140° en la escala, el rango de voltajes de 2.33V a 3.73V ofrece 1.4V Voltios en la escala de manera que:

$$\frac{1.4\text{V}}{140^\circ\text{C}} = 0.01 \frac{\text{V}}{^\circ\text{C}}$$

De lo cual se puede concluir que (como era esperado), por cada cambio de 10 milivoltios se obtiene el cambio de un grado centígrado. Las salidas esperadas del sensor son de 2.33V a 3.73V .

c. Experimento 3. Tiempo de respuesta LM 335 con y sin recubrimiento. El experimento fue creado para estudiar los retrasos de medición del sensor LM 335 tomando como base las medidas del termómetro digital. Lo esperado en este experimento fue que la relación entre la temperatura y el tiempo de respuesta del sensor (para registrar el valor exacto correspondiente) fueran directamente proporcionales.

2. Estudio de sensores de presión.

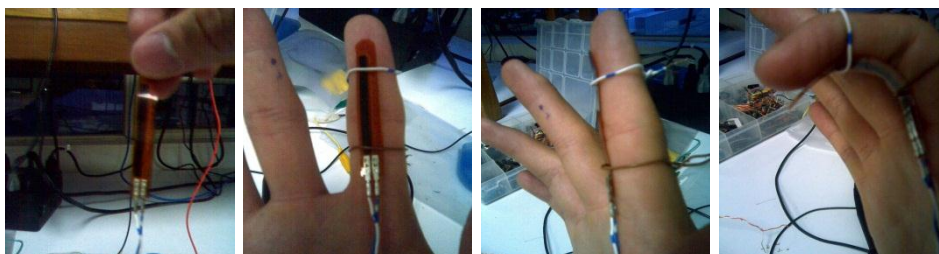
a. Experimento 1. Funcionamiento cualitativo de los sensores de presión Interlink y sensitronic. Según los resultados se puede decir que la velocidad de respuesta de los sensores es suficientemente alta para el proyecto, ya que por cada estímulo aplicado a los sensores se obtenía inmediatamente una respuesta en la salida del circuito divisor de voltaje.

b. Experimento 2. Funcionamiento cuantitativo y repetitividad de los sensores de presión Interlink y Sensitronic. Los sensores de la marca Sensitronic son más consistentes en su medición que los de la marca Interlink, ya que la gráfica correspondiente a estos últimos posee una cantidad mayor de datos atípicos que los de la marca Sensitronic. La consistencia es muy importante debido a que la aplicación requiere un comportamiento predecible para lograr diseñar un buen sistema de control.

3. Estudio de sensores de flexión.

a. Experimento 1. Funcionamiento cualitativo de los sensores Flexpoint.

Figura 109: Pruebas del sensor de flexión



Durante la realización de las pruebas se notó que la implementación de éstos sensores en el guante controlador es complicado ya que el sensor requiere cierta movilidad y libertad de deslizamiento, el diseño y metodología de cómo se incorporaron los sensores al guante es un tema que se trata en otra sección de éste informe. Aspectos importantes a notar son que la disminución del voltaje de salida se producía al flexionar el sensor de la cara que no está pintada y que no importa el sentido en que se conecten las terminales del sensor, la respuesta y el comportamiento del sensor será el mismo. Basándonos en este experimento, debido al bajo costo, facilidad de implementación y tamaño adecuado, se consideró que los sensores de la marca flexpoint son una buena propuesta para medir flexión.

b. Experimento 2. Funcionamiento cuantitativo de los sensores Flexpoint. Se pretendió estudiar el comportamiento del sensor, en especial el valor de su salida resistiva al crear distintos ángulos en distintos lugares a lo largo del sensor.

Figura 110: Sistema armado en el experimento 2 de sensores de flexión



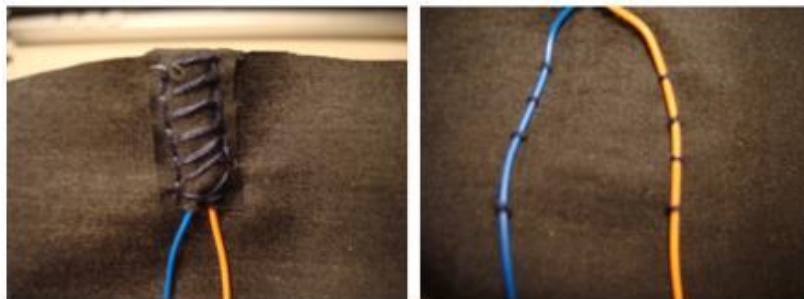
Aunque el estudio cuantitativo de los sensores no es de vital importancia en éste proyecto, se decidió diseñar un experimento de manera que se pudiera percibir de una manera más específica el funcionamiento de los sensores.

Debido a que los sensores de la marca flexpoint fueron proporcionados gratuitamente y presentan un funcionamiento adaptable al proyecto se decidió implementarlos sin hacerle pruebas a los sensores propuestos de la marca Jameco.

4. Desarrollo del guante controlador. Se instalaron refuerzos de plástico debido a que los sensores de presión son un poco frágiles en la parte inferior donde se encuentran los conectores para soldar.

- Se recubrieron los sensores con tela para facilitar su instalación.

Figura 111: Refuerzo para estrés físico del sensor de presión



- Se instalaron los de presión en el guante controlador

Figura 112: Sensores de presión instalados en el guante control



- Se instaló un total de cuatro sensores de flexión en el guante controlador; uno en la palma de la mano, y uno por cada dedo correspondiente a pulgar, índice y medio; cada sensor de flexión fue relacionado con un motor de la mano robótica. Para facilidad de la instalación, primero se cosió el sensor de flexión a un pedazo de tela.

Figura 113: Sensor de flexión a punto de ser implementado en el guante



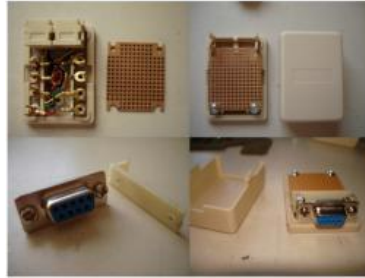
- Posteriormente se cosió cada sensor al guante controlador. Éstos fueron colocados en la superficie de los dedos.

Figura 114: Sensores de flexión instalados en el guante controlador



- Para la organización de los cables se utilizó un conector DE-9 cuya descripción de pines se detalla más adelante en éste capítulo. Para la base de la interfaz de cables se utilizó una roseta de teléfono y se adaptó con una tarjeta perforada y un conector DE-9.

Figura 115: Adaptaciones para la creación de la interfaz de cables



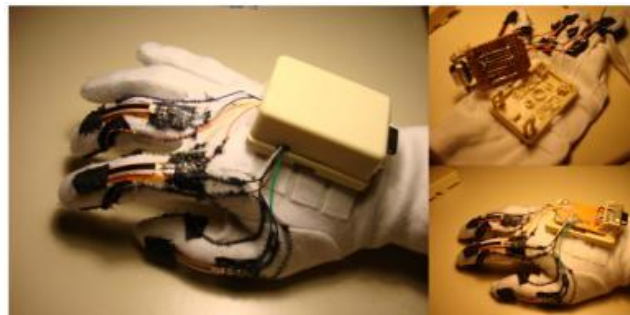
- Se incorporó la interfaz al guante utilizando velcro

Figura 116: Incorporación de la interfaz al guante controlador



- Se soldaron los cables y finalmente se contó con la parte funcional (lógica) del guante controlador.

Figura 117: Adaptación de la interfaz de cables del guante controlador



- Como detalle final para la creación del guante controlador se recubrió la parte lógica con otro guante.

Figura 118: Guante controlador finalizado

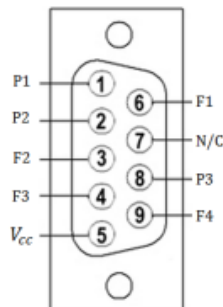


- Para cuestiones generales, se relacionó cada sensor instalado en la mano robótica con un pin de salida del conector DE-9 utilizado (hembra).

Tabla 28: Relación de sensores con salidas del conector DE-9 (hembra)

Numero de PIN	Sensor	Identificador
1	Presión dedo medio	P1
2	Presión dedo índice	P2
3	Flexión dedo índice	F2
4	Flexión dedo pulgar	F3
5	Común de sensores (V_{cc})	Común
6	Flexión dedo medio	F1
7	No utilizado	N/C
8	Presión pulgar	P3
9	Flexión palma	F4

Figura 119: Utilización de pines en el guante controlador (DE-9 hembra)



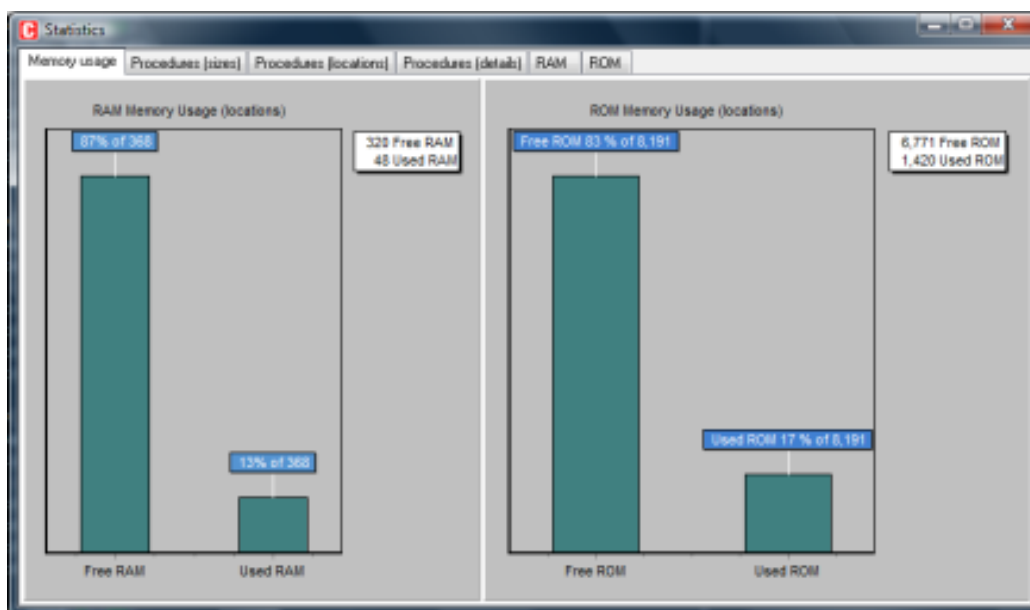
Las salidas resistivas aproximadas de cada sensor implementado en el guante se listan a continuación.

Tabla 29: Resistencias de salida de los sensores

Sensor	Identificador	R máxima Ω	R mínima Ω
Presión dedo medio	P1	1M>	3.0 K
Presión dedo índice	P2	1M>	2.5 K
Presión pulgar	P3	1M>	1.6K
Flexión dedo medio	F1	98.4 K	6.5 K
Flexión dedo índice	F2	90.1 K	9.1 K
Flexión dedo pulgar	F3	98.7 K	6.8 K
Flexión palma	F4	31.7 K	4.7 K

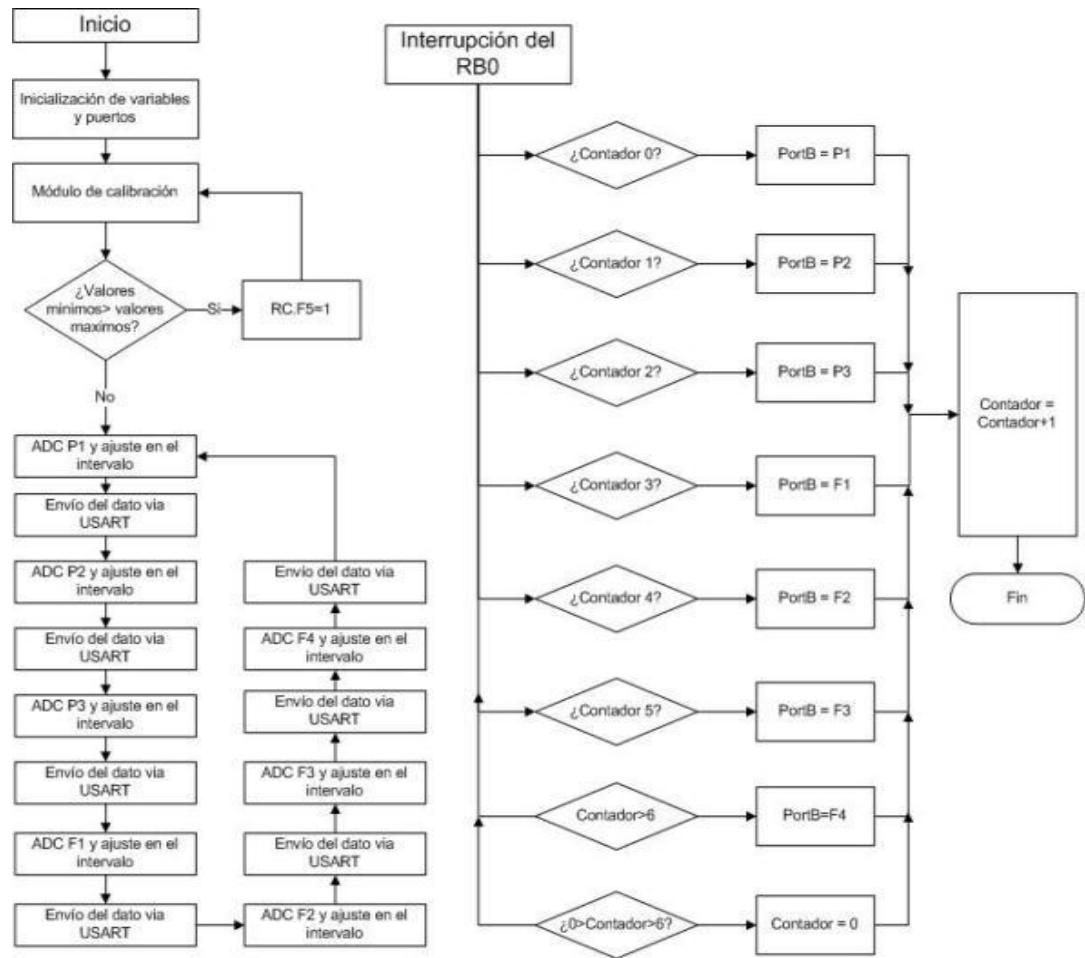
5. Recolección de información de los sensores. Para realizar la tarea de leer la información de los sensores, alimentar el software de monitoreo y proporcionar los datos a la red de comunicación, se utilizó un micro controlador PIC16F877A de la marca Microchip.

Figura 120: Uso de la memoria del micro-controlador 16F877A



El flujo del programa implementado se muestra en la siguiente figura:

Figura 121: Diagrama de flujo del programa en el micro controlador PIC16F877A



La manera de utilizar los pines y puertos del micro-controlador y la función que éstos desempeñan se puede observar en la siguiente tabla:

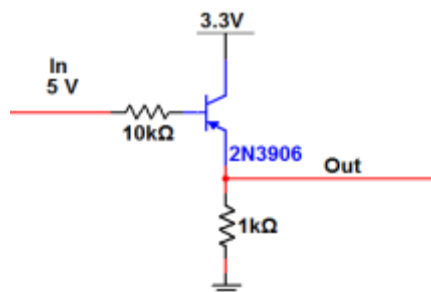
Tabla 30: Resultados obtenidos en el segundo experimento de sensores de presión

Puerto	Bit	Pin	Tipo	Función
Puerto A	RA0	2	Entradas	Conversión ADC de la presión del dedo medio P1
	RA1	3		Conversión ADC de la presión del dedo índice P2
	RA2	4		Conversión ADC de la presión del dedo pulgar P3
	RA3	5		Conversión ADC de la flexión del dedo medio F1
	RA4	6		No utilizado, disponible
	RA5	7		Conversión ADC de la flexión del dedo índice F2
Puerto B	RB0	33	Salidas	Interrupciones para cambiar datos del puerto
	RB1	34		Bits 0 al 6 del dato que se desea transmitir
	RB2	35		
	RB3	36		
	RB4	37		
	RB5	38		
	RB6	39		
Puerto C	RC0	15	Entrada	Botón de confirmación utilizado en la calibración
	RC1	16	Salidas	Salida que indica rutina de calibración
	RC2	17		Toma de valores con la mano extendida en la calibración
	RC3	18		Toma de valores con flexión máxima
	RC4	23		Toma de valores con presión máxima
	RC5	24		Se dio un error en la calibración
	RC6	25		Transmisión USART (Tx)
	Puerto D	RD0	19	Entradas
RD1		20		
RD2		21		
RD3		22		
RD4		27		
RD5		28		
RD6		29		
RD7		30		
Puerto E	RE0	8		Conversión ADC de la flexión del dedo pulgar F3
	RE1	9		Conversión ADC de la flexión de la palma F4
	RE2	10		No utilizado, disponible

Adicionalmente al micro-controlador, otros componentes fueron requeridos para la comunicación USART y el acoplamiento con el módulo de comunicación. Debido a que la lógica implementada para la recolección de información de los sensores (5V=1 y 0V=0) es distinta a la lógica utilizada por el modulo de comunicación (3.3V=1 y 0V=0); fue necesario utilizar circuitos acopladores entre módulos. Se tuvo que regular las salidas de la parte sensorial y amplificar las salidas de la parte de comunicación, con el fin de no dañar ningún componente. Para lo anterior se utilizaron los siguientes circuitos (uno para cada bit de salida o entrada de que se desee transmitir entre módulos). Es importante mencionar que los circuitos presentados tienen una lógica invertida.

- Regulador: regular las salidas lógicas del módulo sensorial de 5V a 3.3 V para que sea interpretado en el módulo de comunicación como un 1 lógico.

Figura 122: Circuito regulador de acople



- Amplificador: Amplificar las salidas lógicas del módulo de comunicación para que 3.3V sea un 1 lógico en el módulo sensorial.

Figura 123: Circuito amplificador de acople

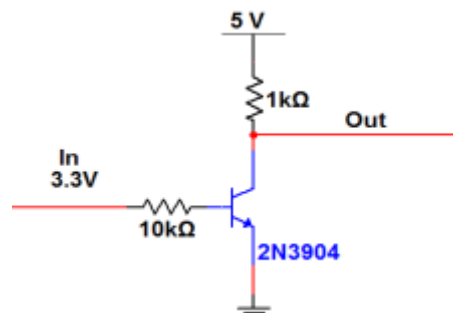
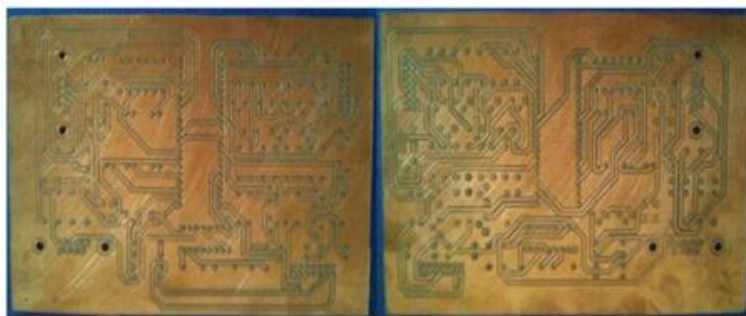


Figura 126: Placa impresa, capa superior e inferior



6. Instalación de sensores en la mano robótica.

- Se obtuvo el prototipo de plastilina deseado y se crearon los moldes.

Figura 127: Creación de moldes para las yemas



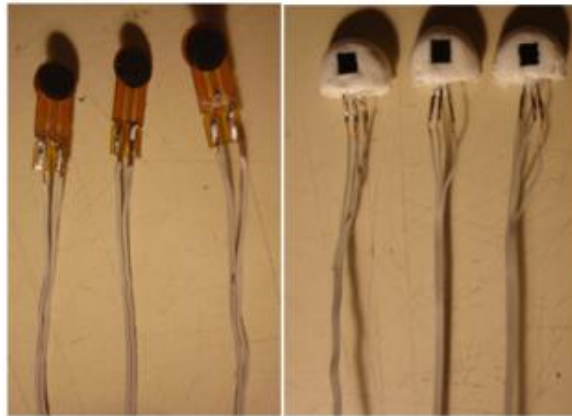
- Se introdujeron los sensores de temperatura a los moldes y se rellenó cada uno con Sanisil®. Luego a que secura el quimico, se extrajo cada una de las piezas.

Figura 128: Creación de las yemas con sensores de temperatura



- Se eligieron cables planos para conducir la información proveniente de los sensores, estos se soldaron en cada extremo de los tres sensores de presión y tres de temperatura.

Figura 129: Sensores a instalar en la mano robótica



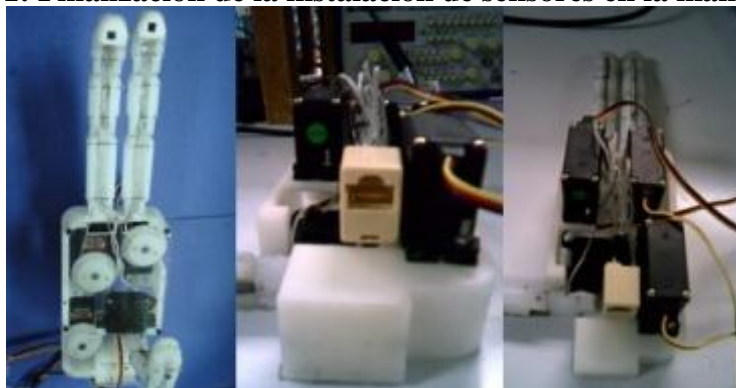
- Se instalaron los sensores en el extremo de cada dedo robótico

Figura 130: Sensores instalados en los dedos robóticos



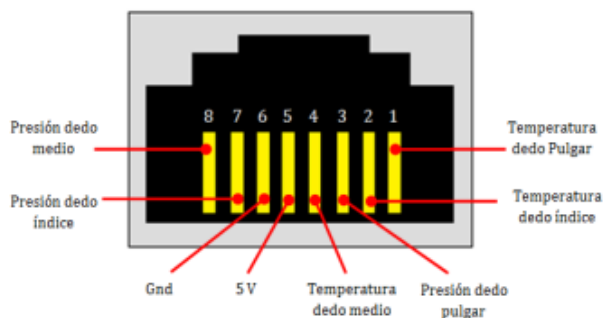
- Se ordenaron y organizaron los cables por medio de un conector RJ 45 instalado en la mano robótica.

Figura 131: Finalización de la instalación de sensores en la mano robótica



La utilización de los pines del conector se muestra en la siguiente figura.

Figura 132: Utilización de pines., conector RJ 45 hembra



Salida aproximada de cada sensor de presión instalado se muestra en la siguiente tabla; las pruebas fueron hechas generando una máxima presión(cierre completo de la mano robótica) a un cilindro de aproximadamente 10cm de diámetro.

Tabla 31: Salidas resistivas de los sensores de presión instalados en la mano robótica

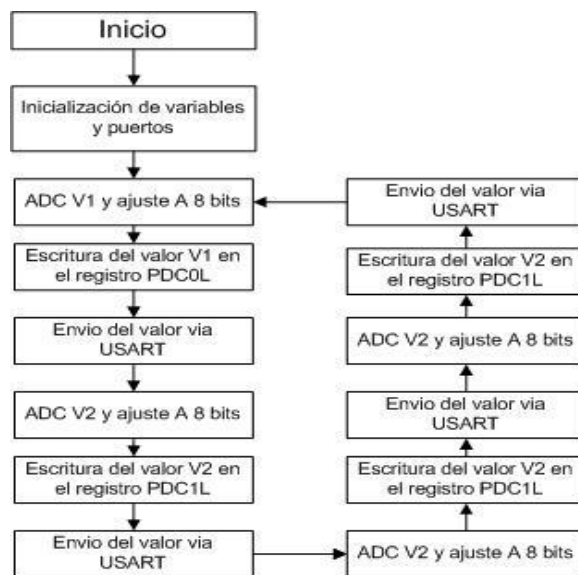
Sensor	Resistencia máxima Ω	Resistencia mínima Ω
Presión dedo medio	>1M	100 K
Presión dedo índice	>1M	28.3 K
Presión dedo pulgar	>1M	50.2K

El rango resistivo de los sensores es bastante amplio, lo cual es beneficioso para el sistema de control ya que se puede obtener un rango amplio de mediciones de presión. La utilización de conectores RJ 45 se debe a que cuenta con el número exacto de pines requeridos. Es importante notar que el rango de resistencias de salida mostrados en la tabla son aproximados y que seguramente variarán dependiendo del objeto manipulado

7. Desarrollo del sistema de control digital. El servo-motor funciona en base al ciclo de trabajo de una señal periódica, dependiendo del tiempo en que la señal está en alto, el motor gira y se sitúa en alguna posición angular. El micro-controlador utilizado (PIC18LF4431) fue elegido ya que posee varios módulos PWM donde se pueden generar señales periódicas cuyo periodo y ciclo de trabajo se pueden modificar dependiendo del número que se escriba en ciertos registros. Para conocer la magnitud de éstos valores para abarcar el rango posible de apertura y cierre de la mano robótica, fue necesario implementar dos programas; el primero en el micro controlador para el manejo de motores y el segundo en la computadora para el despliegue de datos.

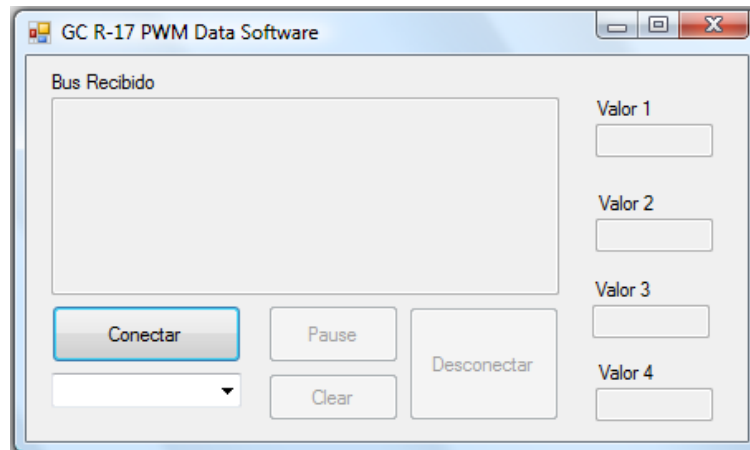
El funcionamiento del programa implementado en el micro-controlador se muestra en el diagrama de flujo en la siguiente figura.

Figura 133: Diagrama de flujo, programa en el PIC18LF4431 para prueba de PWM



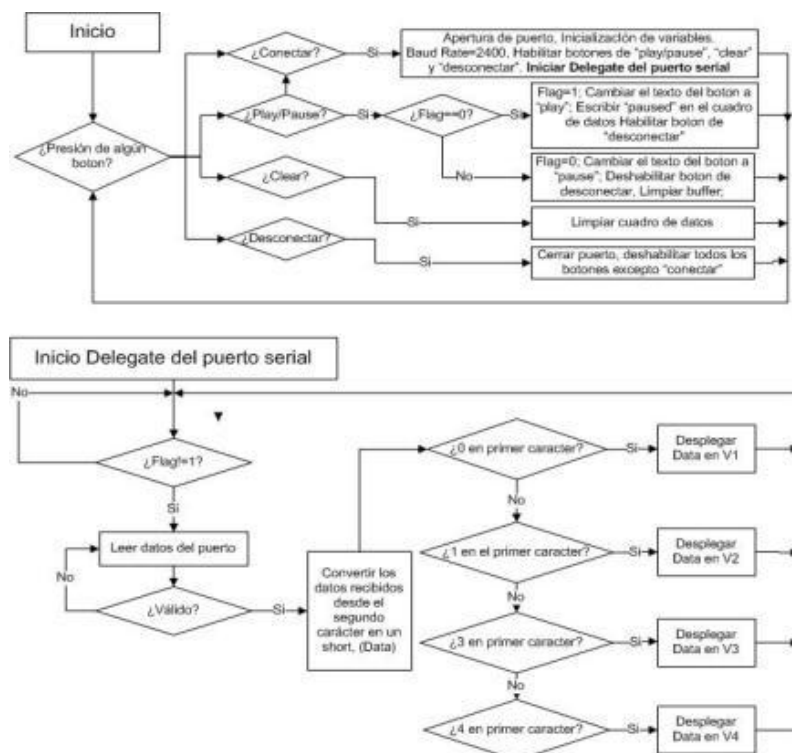
La interfaz del programa de recepción de datos en la computadora se muestra en la siguiente figura, la utilización del mismo es similar al del software de monitoreo.

Figura 134: Interfaz del programa de recepción de datos para prueba de PWM



El funcionamiento del programa de recepción de datos se muestra en el diagrama de flujo mostrado en la siguiente figura.

Figura 135: Diagrama de flujo, programa de recepción de datos para pruebas con PWM



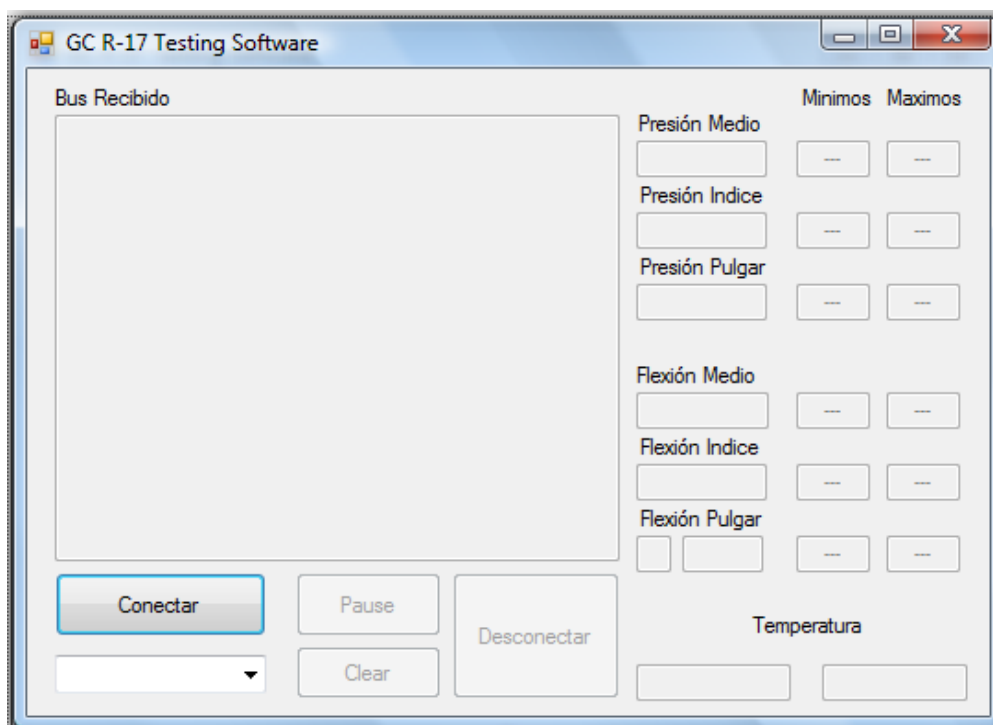
Experimentalmente los valores que se deben escribir en los registros para lograr flexiones maximas y mínimas en cada dedo de la mano robotica se muestran en la Tabla 16. El motor correspondiente a la palma solo puede tomar 3 valores posibles llamados “abierto” (extendido), “medio” y “Cerrado” (Contraído).

Tabla 32: Valores a escribir en los registros para control PWM

Dedo	Registro	Val max	Val min
Medio	PDC0L	68	170
Índice	PDC1L	50	170
Pulgar	PDC2L	80	110
Palma	PDC3L	Abierto: 50, Medio 95, Cerrado 84	

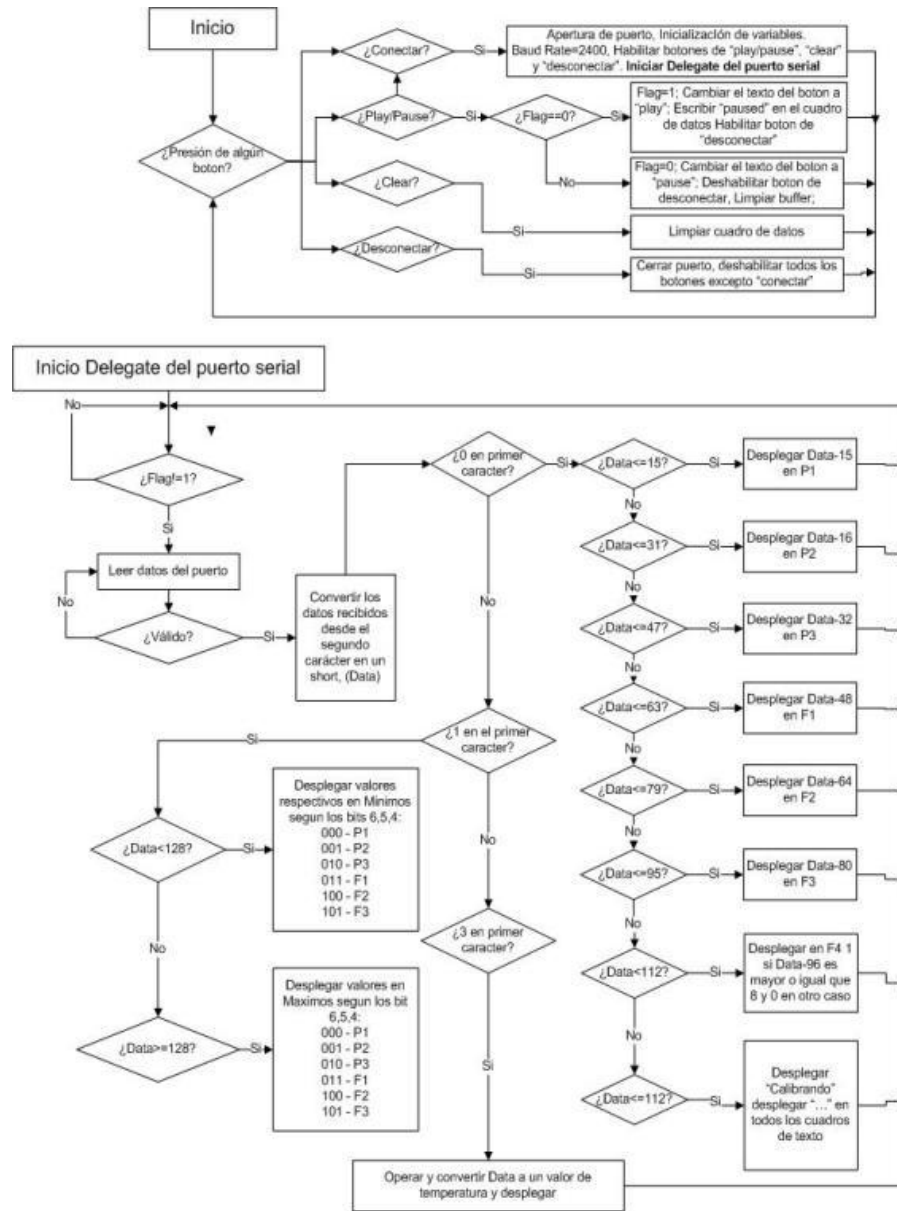
8. Desarrollo del software de monitoreo.
 - La interfaz del sistema se muestra en la siguiente figura.

Figura 136: Interfaz del programa de monitoreo GC R-17



- La lógica del programa se muestra en la siguiente figura.

Figura 137: Diagrama de flujo, lógica implementada en Microsoft Visual C# 2008

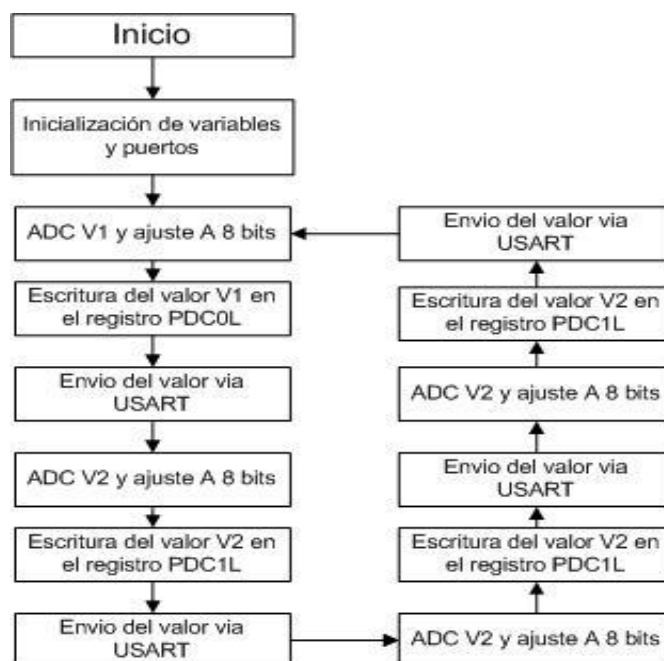


El bus de datos del micro-controlador 16F877A hacia la computadora consiste básicamente en 36 bits. Los datos contenidos en 2 bytes están encerrados por un principio y un final de trama; el inicio de trama en binario está dado por 11111111 (en decimal 255); mientras que el fin de trama está dado por 111111110 (en decimal 254). El significado de los 16 bits correspondientes a datos se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 33: Manejo de datos recibidos por el software

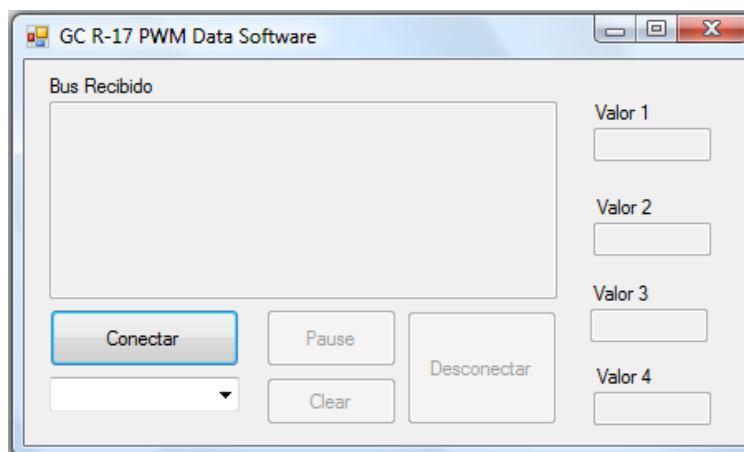
Primer byte		Segundo byte		Interpretación
Decimal	Binario	Decimal	Binario	
		0-15	0000XXXX	Datos de presión dedo medio (P1)
		16-31	0001XXXX	Datos de presión dedo índice (P2)
		32-47	0010XXXX	Datos de presión dedo pulgar (P3)
		48-63	0011XXXX	Datos de Flexión dedo medio (F1)
0	0	64-79	0100XXXX	Datos de Flexión dedo índice (F2)
		80-95	0101XXXX	Datos de Flexión dedo pulgar (F3)
		96-111	0110XXXX	Datos de Flexión palma (P4)
		112	1110000	Indicación de rutina de calibración
		0-15	0000XXXX	Mínimo de presión dedo medio (P1 en calibración)
		16-31	0001XXXX	Mínimo de presión dedo índice (P2 en calibración)
		32-47	0010XXXX	Mínimo de presión dedo pulgar (P3 en calibración)
		48-63	0011XXXX	Mínimo de Flexión dedo medio (F1 en calibración)
		64-79	0100XXXX	Mínimo de Flexión dedo índice (F2 en calibración)
		80-95	0101XXXX	Mínimo de Flexión dedo pulgar (F3 en calibración)
		96-111	0110XXXX	Mínimo de Flexión palma (P4 en calibración)
1	1	128-143	1000XXXX	Máximo de presión dedo medio (P1 en calibración)
		144-159	1001XXXX	Máximo de presión dedo índice (P2 en calibración)
		160-175	1010XXXX	Máximo de presión dedo pulgar (P3 en calibración)
		176-191	1011XXXX	Máximo de Flexión dedo medio (F1 en calibración)
		192-207	1100XXXX	Máximo de Flexión dedo índice (F2 en calibración)
		208-223	1101XXXX	Máximo de Flexión dedo pulgar (F3 en calibración)
		224-239	1110XXXX	Máximo de Flexión palma (P4 en calibración)
3	11	0-128	0XXXXXXXX	Temperatura

Figura 138: Diagrama de flujo, programa en el PIC18LF4431 para prueba de PWM



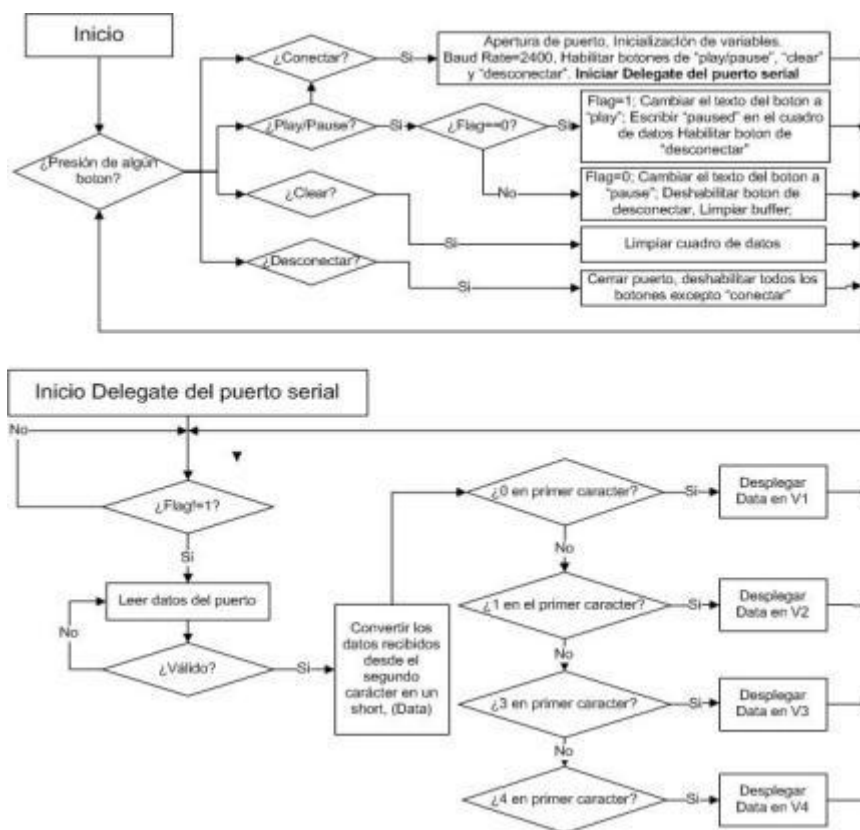
La interfaz del programa de recepción de datos en la computadora se muestra en la siguiente figura, la utilización del mismo es similar al del software de monitoreo.

Figura 139: Interfaz del programa de recepción de datos para prueba de PWM



El funcionamiento del programa de recepción de datos se muestra en el diagrama de flujo mostrado en la siguiente figura.

Figura 140: Diagrama de flujo, programa de recepción de datos



Experimentalmente los valores que se deben escribir en los registros para lograr flexiones máximas y mínimas en cada dedo de la mano robótica se muestran en la Tabla 30. El motor correspondiente a la palma solo puede tomar tres valores posibles llamados “abierto” (extendido), “medio” y “Cerrado” (Contraído).

Tabla 34: Valores a escribir en los registros para control PWM

Dedo	Registro	Val max	Val min
Medio	PDC0L	68	170
Índice	PDC1L	50	170
Pulgar	PDC2L	80	110
Palma	PDC3L	Abierto: 50, Medio 95, Cerrado 84	

VII. DISCUSIÓN

A.MÓDULO DE PLANIFICACIÓN

La publicidad del Megaproyecto está constituida por tres partes: la creación del logo, mantas publicitarias y publicación de información por medio de la página del Departamento de Ingeniería Electrónica. La publicación de avances en la planificación se hizo durante el segundo y tercer semestre por medio del sitio de trabajo Sakai. La manera estandarizada de realizarla fue quincenalmente y con esto se logró un control más detallado de la ejecución de las actividades. Así mismo, la planificación de las actividades del Megaproyecto fue realizada durante el primero y segundo semestre y actualizada hasta el final del segundo semestre.

Se determinó que las actividades que conformaban la ruta crítica eran, en su mayoría del Módulo de mecatrónica, a excepción del diseño de red y esto se debe a que las mismas estaban directamente relacionadas con el maquinado de la mano robótica y sus dedos. Así también, se tuvieron algunos retrasos debido a: el incremento en la investigación previa, la obtención de materiales importados y la búsqueda del servicio de maquinado de las partes de la mano mecánica.

En el momento en que se reprogramó, las actividades que eran de la ruta crítica dejaron de serlo. La ruta crítica ya no logró ser trazada nuevamente debido a que gran parte del Megaproyecto ya se habían ejecutado. La reprogramación combinó la parte de la ejecución que se había atrasado junto con la recopilación de los datos del último semestre. El resultado de lo anterior fue 514 días y no existe diferencia alguna con la programación original.

Además, debido a que el Megaproyecto no contaba con financiamiento exterior y a que los gastos atribuidos al mismo no eran excesivos, se tomó la decisión que el departamento de Ingeniería Electrónica iba a financiarlos en su totalidad. Se contaba con

Q24,000.00 de fondos para la ejecución, que tenían que ser repartidos entre los Megaproyecto que se estaban realizando durante el mismo periodo. Adicionalmente, se contaba con Q6,000.00 para gastos atribuidos a Módulos ZigBee.

B.MÓDULO DE MECATRÓNICA

Después de realizar varios cambios en la estructura del GC R17, se elaboró el modelo final el cual no utiliza el cojinete en cada una de sus articulaciones ya que no es necesario por el mecanismo de transmisión de movimiento y actuador implementados, mecanismo de transmisión por tendón y servomotor respectivamente. Se utiliza hilo metálico fino trenzado que sirve para la flexión y la extensión es mediante un resorte helicoidal posicionado en la parte dorsal del dedo.

En el análisis de estrés realizado para cada una de las falanges se muestra el comportamiento del material al aplicar las fuerzas que afectan la pieza, siendo estas la fuerza debido al resorte, hilo metálico y la presión debido al objeto. Las primeras tres imágenes de cada figura muestran el esfuerzo en dicho material, el esfuerzo es presión por unidad de área. Se observa en la falange distal que el máximo esfuerzo se refleja en la articulación, en el área donde se sujeta el pin para el resorte y en la pestaña donde se aplica la presión debida al objeto, muy débil en el área donde se sujeta el pin para el hilo metálico.

Con respecto a la deformación del material se puede observar que la máxima deformación se encuentra en la pestaña delantera de la falange, esto se debe a que hay una presión aplicada en dicho punto, es importante notar que la presión aplicada en las piezas es debido a una fuerza que va desde los 0.5 N a 60N aproximadamente lo cual da una idea de las propiedades mecánicas del material que se está utilizando, el valor de la presión se obtiene considerando el área de aplicación de la fuerza en la pieza ($P=F/A$), es de importancia notar que la pieza presenta deformación del material aunque se mantiene en el orden de 0.001mm hasta llegar a 1mm de deformación para una fuerza relativamente grande.

C.MÓDULO DE INTERFAZ

El software utilizado para el manejo del sensor magnético fue Visual Basic 6, y la razón principal de esta elección, es porque es un software amigable en el manejo del puerto serial y porque desde aquí también se puede generar toda la interfaz gráfica, de una forma bastante simple.

Se determinó que uno de los problemas que puede presentar este sensor magnético es la susceptibilidad al ruido, ya que por ser magnético es importante tenerlo aislado de campos electromagnéticos variantes que puedan afectar su correcto funcionamiento. Además también hay que tomar en cuenta que cualquier material ferro-magnético cercano a este sensor, puede ocasionar una medición incorrecta. Es por ello que se tiene que tener un especial cuidado con la ubicación y materiales que puedan alterar las mediciones de este sensor.

A pesar de la susceptibilidad al ruido, este es un sensor magnético de posición principalmente utilizado en aplicaciones médicas, particularmente en aplicaciones en donde se necesita saber la posición de alguna cámara o instrumento de exploración dentro de un cuerpo humano. Esto indica que es un sensor bastante rápido, confiable y preciso.

D.MÓDULO DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA

Etapa de Implementación, fue necesario crear circuitos que hicieran posible la interconexión de los módulos Comunicación Inalámbrica y Sensorial. Esto fue necesario puesto que los circuitos de las tarjetas de los nodos ZigBee utilizan un nivel de voltaje de 3.3 voltios para funcionar. Éstas operan con este voltaje principalmente por la tarjeta hija, donde está el MRF24J40. Este *transceiver* de radiofrecuencia es un dispositivo diseñado para consumir muy poca energía y es por esto que los fabricantes lo diseñaron para operar

a 3.3 voltios. Así que ambas tarjetas que conforman a un nodo ZigBee tienen un regulador de voltaje que hace que todo el circuito impreso tenga 3.3 voltios. Esto implica entonces, que la lógica manejada por el microcontrolador principal, el de la tarjeta madre, utilice también como valor “alto” de referencia 3.3 voltios y no la lógica usual TTL (Transistor Transistor Logic) de 0 – 5V. El regulador de voltaje mencionado imposibilita que estos dos niveles de voltaje lógicos puedan ser compatibles. Si al nodo ZigBee se le pusiera en algunos de sus puertos un nivel de lógica TTL, éste podría dañarse y dejar de funcionar. Por otro lado, los dispositivos utilizados por el módulo Sensorial sí utilizan la lógica TTL común.

E. MÓDULO SENSORIAL

Al realizar el estudio sensorial de temperatura, se realizó una comparación entre las mediciones hechas con el termómetro analógico y el digital, esto con el fin de comprobar la exactitud de los instrumentos. Notamos que las rectas se encuentran sumamente cercanas y tienen un coeficiente de correlación de casi 1 con sus respectivas regresiones lineales. Así mismo logramos determinar que en ambos si se da un cambio en la temperatura existe un cambio proporcional en la resistencia de ambos sensores. Así también como lo esperábamos se logró determinar que existe efecto de histéresis en los sensores. Al analizar las ecuaciones de la regresión lineal, se puede observar que éste efecto se hace más notorio en temperaturas altas que en temperaturas bajas (ya que el intercepto no varió significativamente).

En el estudio de sensores de presión y con base a los resultados se puede decir que la velocidad de respuesta de los sensores es suficientemente alta para el proyecto, ya que por cada estímulo aplicado a los sensores se obtenía inmediatamente una respuesta en la salida del circuito divisor de voltaje

Al realizar el estudio de sesión de flexión Se pudo notar que los sensores fueron diseñados para medir arcos y no ángulos de doblamiento, si se desea estudiar más

profundamente el funcionamiento cuantitativo de los sensores se recomienda diseñar un experimento que utilice un método de medición de arcos, procedimiento innecesario para este proyecto.

VIII. CONCLUSIONES

Después de realizado el Megaproyecto llegamos a las siguientes conclusiones:

1. En el módulo de planificación se determinó que el presupuesto real para llevar a cabo el Megaproyecto GC R-17 Sistema Háptico de Control a Distancia haciende a la cantidad de Q. 12,761.95 del cual es 55% corresponde al módulo de mecatrónica, el cual es el encargado de investigar el diseño ideal y material adecuado para la construcción de los dedos que irán acoplados al R-17.

2. En el módulo de mecatrónica se determinó el GC R-17 estará comprendido por tres dedos que cumplirán el papel de pulgar, índice y medio. Los mismos, serán elaborados en plastidur 4.1 debido a que este material es un reemplazo excelente al metal, cerámica y madera. Así mismo, es un material resistente a la corrosión y al rompimiento, de gran durabilidad y auto lubricante

3. En el módulo de interfaz se determinó, que el software utilizado para el manejo del sensor magnético es Visual Basic 6. La razón principal de esta elección se debe a que Visual Basic 6, es un software amigable en el manejo del puerto serial y porque desde ahí es factible generar toda la interfaz gráfica en una manera simple.

4. Después de la investigación realizada en el módulo de comunicación inalámbrica con respecto a que protocolo de comunicación inalámbrico (Bluetooth, ZigBee y WiFi), es el adecuado para crear una conexión entre los nodos de control y los dedos robóticos se determino implementación del protocolo ZigBee es el adecuado debido a que ZigBee satisface las necesidades para transmitir los datos de los sensores en dos vías, puesto que cumple con el envío de datos desde el guante controlador hacia los dedos robóticos a distancia, con una tasa de transferencia aceptable.

5. Durante la realización del módulo sensorial se estudiaron y seleccionaron los sensores de presión, flexión y temperatura adecuados para implementar en el proyecto, siendo estos los de la marca Sensitronic, Flexpoint y el LM335 respectivamente, los más adecuados.

IX. RECOMENDACIONES

Derivado de las conclusiones se presentan a continuación las recomendaciones del Megaproyecto.

1. Se recomienda buscar nuevas instituciones que deseen financiar el desarrollo y mejoramiento del Megaproyecto GC R-17 Sistema Háptico de Control a Distancia. Con los fondos recaudados se podrá invertir en nuevos experimentos que ayuden a perfeccionar el GC R-17

2. Se recomienda seguir realizando nuevas investigaciones, pruebas y experimentos, sobre los distintos materiales que puedan ayudar a perfeccionar el funcionamiento del GC R-17.

3. Se recomienda la utilización del comando de petición POINT en la utilización del software, debido a que por su sencillez, solamente se pedirá las coordenadas de posición única y exclusivamente en el momento en que estas se necesiten.

4. Se recomienda realizar una investigación con mayor profundidad acerca de la tecnología ZigBee, así como su funcionamiento, con el propósito de encontrar aplicaciones para otros usos.

5. Se recomienda modificar software para que el mismo permita manejar más variables y de esta manera pueda tener un control más general de todo el sistema.

X. BIBLIOGRAFÍA

- [15] A. J. M. C. E. e. a. Velázquez Sánchez. (2007, Oct.) Rango de Movilidad y función descriptiva del dedo Índice. Científica Vol 11, número 004. [Online]. <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=61411404&iCveNum=7657>
- [28] Autodesk Inc. (2009) Autodesk Inventor. [Online]. <http://www.autodesk.es/adsk/servlet/index?siteID=455755&id=12468947>
- [12] A. Palazzesi. (2008) PWM: Modulación por anchura de pulsos (pulse-width modulation). [Online]. <http://www.ucontrol.com.ar/wiki/index.php/PWM>
- [27] Ascension Technology Corporation. (2006, Oct.) 3D Guidance User Manual. [Online]. <http://www.ascension-tech.com/>
- [20] C. d. Ingeniería. (2008) Microcontroladores. [Online]. http://docs.google.com/gview?a=v&q=cache:MllyAoyAj7QJ:https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2009/1/EL41B/1/material_alumnos/objeto/37135+que+es+un+microcontrolador&hl=es&gl=gt&pid=bl&srcid=ADGEESiiHOul2Nph60EdgULRdN_kL2iUkIcAbBUMQbDHGUbHgPm1OM3Zdu31apsPAguko
- [6] C. y. tecnología., “*La clasificación de los mecanismos*”. Disponible en: <http://www.authorstream.com/Presentation/Shark-64593-la-clasificaci-de-los-mecanismos-trabajo-tecnolog-science-technology-ppt-powerpoint/>, 2002-2008.
- [5] D. d. I. R. A. Española., “*Mecanismo, Máquina y Antropomorfismo*”. Disponible en: <http://www.rae.es/rae.html>.
- [17] D. J. C. Inc. (2003, Sep.) GLOSARIO TELEFONÍA y WIRELESS. [Online]. <http://www.djcellular.com/?tc=ac&ac=2>
- [4] D. J. P. Tevar. (2001) Información Artrosis de mano. [Online]. <http://www.grupoaulamedica.com/aula/mano.pdf>

- [21] D. México. (2,009) Línea de Tiempo Científica. [Online]. http://www2.dupont.com/Mexico_Country_Site/es_MX/DuPont_Mexico/Ciencia/Linea_de_Tiempo/index.html
- [22] D. P. Elastomers. (2,009) Neoprene polychloroprene. [Online]. <http://www.dupontelastomers.com/products/neoprene/neoprene.asp>
- [39] Didatec "Tecnología Educativa". Robótica y Control. [Online]. www.quadernsdigitals.net/index.php?accionMenu=hemeroteca.DescargaArticuloIU.descarga&tipo=PDF&articulo_id=7771
- [24] Duerto. (2000-2007) Equipos de Protección Individual (EPI) EN 374-3. [Online]. <http://www.duerto.com/normativa/en/en374.asp>
- [29] E. S. A. P. d. Ingeniería. (2009) Plastidur 4.1. [Online]. <http://www.essaonline.com/ES/1000082.html>
- [19] Enalmex. (2000-2004) Energía Alternativa de México. Baterías. [Online]. <http://www.enalmex.com/paginas/baterias.htm>
- [26] Encarta®. (1993-2009) Caucho. [Online]. <http://es.encarta.msn.com/encnet/refpages/RefArticle.aspx?refid=761556347&vv=650>
- [9] F. J. M. A. J. J. J. P. R. J. e. a. García-Córdova. DISEÑO MECATRÓNICO DE UN DEDO ANTROPOMÓRFICO PARTE I: MECÁNICA. Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática. Universidad Politécnica de Cartagena.. [Online]. http://www.disa.bi.ehu.es/spanish/asignaturas/17219/Model_dedos-1.pdf
- [13] F. e. a. P. Beer, *Mecanica Vectorial para Ingenieros. Estatica*. Mexico: Mc Graw-Hill Interamericana 7ª. Edicion. , 2006.
- [31] Griffin. (2006) Hilos Metálicos para Joyas. [Online]. http://www.griffin.de/index.php/language/es/cat/c15_Schmuckdraht.html/XTCsid/0df43db1c4fb47a37e68f3874dcf90ee

- [11] H. INGENIUM. (2008) Servos Análogos. [Online].
http://www.tecnodidacticos.com/servo/servos_analogos.htm
- [25] HALECO. (2000) NORMA EN 374. Guantes para protección contra productos químicos y microorganismos. [Online].
http://docs.google.com/gview?a=v&q=cache:HjK2919cQ5kJ:www.haleco.es/wpc/img_basse_def/NORM_EN%2520374_es.pdf+EN+374-3&hl=es&gl=gt&pid=bl&srcid=ADGEESjFpZoxZ_jH4CmM9VB8ik4RPHIvTXUnzVCAYglv4Kzn3Y5BwTgprdQc4tn_kXs9HUT-30yZYcZ8OKjtsshFEzKvvVCEKh-iDLBAKGJhkCRa
- [37] Hitec. (2007) ServoManual. [Online].
<http://www.robotshop.ca/PDF/Servomanual.pdf>
- [16] I. Buchmann. (2003-2005) BatteryUniversity.com. [Online].
<http://www.batteryuniversity.com/partone-5.htm>
- [7] I. E. O. L. S. I. M. P. I. E. C. T. G. Aviles. (2005,) DEDOS PARA “GRIPPERS” ROBÓTICOS. [Online].
<http://www.utp.edu.co/php/revistas/ScientiaEtTechnica/docsFTP/152897-102.pdf>
- [30] I. JQ. (2006) Polipropileno. Datos Técnicos. [Online].
<http://www.jq.com.ar/Imagenes/Productos/Polipropileno/PoliProp/dtecnicos.htm>
- [8] I. VELSNIA. (España, 2009) Los Mecanismos. [Online].
<http://edu.jccm.es/ieso/velsinia/images/stories/depttec/apuntesmecanismos.pdf>
- [10] J. C. Inzunza. (2007) Física: Introducción a la Mecánica. Torque y Equilibrio de Cuerpo Rígido. [Online]. <http://www2.udec.cl/~jinzunza/fisica/>
- [34] K.-C. Proffesional. (2007) KleenGuard Neoprene/Latex Chemical Resistant Glove. [Online].
http://images.google.com.gt/imgres?imgurl=http://www.kcprofessional.com/us/images/products/97287.jpg&imgrefurl=http://www.kcprofessional.com/us/product-details.asp%3Fprd_id%3D97287&usg=__cx7ikc9Z42bo7OPm8aM0ObNEtDA=&

[h=275&w=300&sz=12&hl=es&start=1&sig2=Pl](#)

- [14] L. O. Berrocal, *Elasticidad y Resistencia materiales*, 3^ath ed. Mexico : Mc Graw-Hill Interamericana , 2007.
- [35] Macode. (2009) Catálogo de Productos Macode. [Online]. http://images.google.com.gt/imgres?imgurl=http://www.macode.es/images/guantes_de_latex_estandar.jpg&imgrefurl=http://www.macode.es/index.php%3FcPath%3D51%26osCsid%3Df4d3abf6ddec0f62dce70abae1ea6785&usq=__a72A05QhEpzhct7UM93FGWFuba8=&h=236&w=320&sz=34&hl=e
- [32] Microchip. (2,009) PIC18F4431. [Online]. <http://www.microchip.com/wwwproducts/Devices.aspx?dDocName=en010291>
- [33] N. Semiconductor. (2009) LM117/LM317A/LM317 3-Terminal Adjustable Regulator. [Online]. <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/nationalsemiconductor/DS009063.PDF>
- [1] R. ,. J. y. A. N. Chase, *Administración de la producción y Operaciones para una ventaja Competitiva*, 10th ed., S. A. d. C. V. Interamericana Editores, Ed. México: McGraw-Hill, 2004.
- [3] R. C. ,. M. R. I. Miralles Marrero, *Biomecánica Clínica de los Tejido y las articulaciones del aparato locomotor*, 2^ath ed. Masson.
- [38] R. D. Inc. (2003-2009) RobotShop. [Online]. <http://www.robotshop.ca/hitec-hs422-servo-motor.html>
- [2] R. y. G. P. Suarez. (2003) Instituto de Organización y Control de Sistemas Industriales. XXIV Jornadas de Automática, CEA-IFAC. [Online]. www.ioc.upc.es
- [36] RoboticShop. Specifications of HS 85MG. [Online]. <http://www.robotshop.ca/PDF/hs85.pdf>
- [23] S. T. C. P. S. A. S. T. d. Caucho. (2,007) Oficina Técnica. [Online]. <http://www.pradi.com/2oftec.htm>

- [40] St Robotics. (2006,) R17 Robot System User Manual. [Online].
<http://www.strobotics.com/r17.htm>
- [18] SYSCOM. (2008) ES-Baterías. [Online].
<http://www.syscom.com.mx/ingenieria/pdfs/ES-Baterias.pdf>

XI. APÉNDICE

1. Primeros diseños-falanges y articulación.

Figura 141: Primer diseño de la articulación

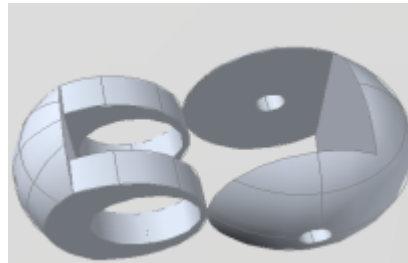


Figura 142: Segundo diseño para la articulación del dedo

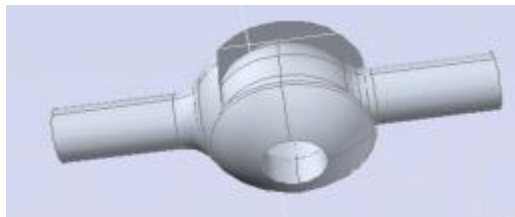
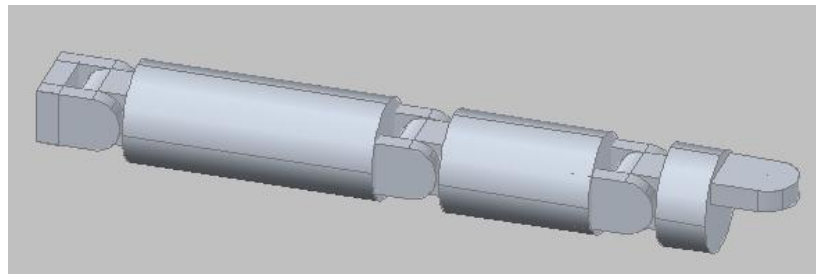


Figura 143: Primer diseño para uno de los dedos

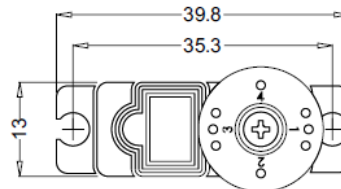
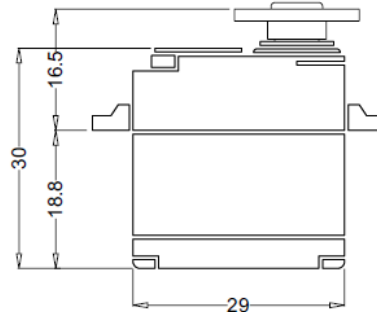


2. Especificaciones del motor. [36]

ANNOUNCED SPECIFICATIONS OF HS-85MG⁺ MIGHT MICRO METAL GEAR SERVO

1. TECHNICAL VALUES

CONTROL SYSTEM	:+PULSE WIDTH CONTROL 1500usec NEUTRAL	
OPERATING VOLTAGE RANGE	:4.8V TO 6.0V	
OPERATING TEMPERATURE RANGE	:-20°C TO +60°C	
TEST VOLTAGE	:AT 4.8V	AT 6.0V
OPERATING SPEED	:0.16sec/60° AT NO LOAD	0.14sec/60° AT NO LOAD
STALL TORQUE	:3.0kg.cm(41.66oz.in)	3.5kg.cm(48.60oz.in)
OPERATING ANGLE	:40°ONE SIDE PULSE TRAVELING 400usec	
DIRECTION	:CLOCK WISE/PULSE TRAVELING 1500 TO 1900usec	
CURRENT DRAIN	:8mA/IDLE AND 240mA NO LOAD RUNNING	
DEAD BAND WIDTH	:8usec	
CONNECTOR WIRE LENGTH	:160mm (6.29in)	
DIMENSIONS	:29x13x30mm (1.14x0.51x1.18in)	
WEIGHT	:21.9g (0.77oz)	



3. ServoManual. [37]



This document contains general servo information and frequently asked questions regarding the use and care of Hitec servos. Please note that modifying your servo will void the warranty.

General Servo Information

Pulse Data

All Hitec servos require 3-5V peak to peak square wave pulse. Pulse duration is from 0.9mS to 2.1mS with 1.5mS as center. The pulse refreshes at 50Hz (20mS).

Voltage Range

All Hitec Servos can be operated within a 4.8V-6V. range.

Only the HS-50 operates exclusively with 4 Nicad cells (4.8 volt).

Wire Color Meanings

On all Hitec servos the Black wire is 'ground', the Red wire (center) is 'power' and the third wire is 'signal'.

Direction of Rotation

All Hitec servos turn Clockwise direction (CW).

The Appropriate Servo for Your Application

One of the most frequently asked questions is "What servo should I use for...".

While there have been many magazine articles that attempted to provide a general rule of thumb to answer these questions, we offer you the following suggestions.

1. Servos are rated for Speed and Torque. In many cases, Hitec will create one servo and then gear it for speed and sacrifice torque, then create its twin, geared for torque at the sacrifice of speed, i.e. 525/545, 625/645, 925/945.
2. If you are not sure, it is better to have more torque than you need, as torque is your friend.
3. When in doubt ask your peers about servo application questions. Look at what others are using in comparable applications. Usually the kit manufacturer will suggest a servo of a certain physical size and torque value specification in the aircraft, car or boat plans. It is wise to follow their guidelines.
4. Even though micro servos like the HS-81 may offer 38oz/in of torque, they are not appropriate for larger powered aircraft due to the flight loads placed on the control surfaces during flight. The geartrain can fail under excessive flight loads. Smaller servos have thinner gears that are inherently more fragile than those of "standard" sized servos.

Digital Servo Information

In addition to our full line of analog servos, Hitec produces several digital servo products. These powerful servos offer programmable features such as, direction of rotation, center point, end points, failsafe option, speed and dead bandwidth adjustment using Hitec's proprietary programmer and servo tester device.(Model HFP-10).

What are the advantages of digital servos ?

1. Instantaneous Response

The digital micro processor sends out signals five times faster than analog servos. This results in much quicker response.

2. Precision Resolution

There are many more steps in the digital format compared to the conventional analog version. This means the servo is capable of finer adjustments.

3. Enormous Standing Torque

The standing torque of the digital servos is 3 times that of the analog counterpart. Check it out, try moving the transmitter stick or wheel and at the same time hold the servo horn to keep it from twisting.

You will not be able to prevent the horn from turning. Muy fuerte mi amigo!

4. Metal Servo Arm

Hitec is the first servo manufacturer to include metal horns as a standard accessory for our digital servo line. Not just any metal horn but our own design super horn.

Hitec engineers were not satisfied with the traditional plastic or composite servo arms as they would flex and fail long before the servo reaches its maximum torque capability. Just another very unique feature of Hitec digital servos.

Special Warning for Digital servos !!!

- (1) If you accidentally plug in the Hitec "S" type digital servo into the old Airtronics(Sanwa) receiver, this will blow up the servo circuits so please take special care.
- (2) Digital servos consume tremendous amount of power, so dry batteries cannot be used at all. Use large capacity Nicd batteries or better yet NiMH batteries.
- (3) Do not use BEC system built in most 2 channel receivers.
 - Make sure you bypass the BEC for stable operation.

Servo Maintenance

Changing Gears

Hitec offers gear sets for all our servos and these are available from your local hobby shop or from a mail order retailer. To replace the gears on any servo, carefully lay out the new gears on a clean work surface to have them available for re-assembly. You will also need a supply of servo gear lubricant. We suggest the Hitec lube part # 58450.

Loosen or remove the screws located on the bottom of the servo case enough to pop the upper case off and expose the gears. If any gears or shafts are stuck in the upper case, remove them and plug them back into position on the lower case. Now carefully remove the gears while placing them in approximate order on your work surface in front of you.



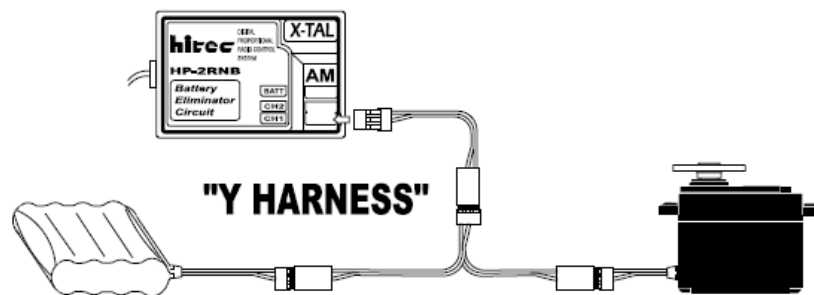
This is done so you can refer back to their positioning as you assemble the new set into the lower servo case. Clean all the old lubricant from the servo case in both the lower and upper case components. Be aware of small chunks of gear material that may be lodged in the lubricant and get it all cleaned out. Apply servo gear lube to the shafts and assemble the geartrain applying lube to all gear components. When complete, pop the case top back on and tighten up the case screws.

CAUTION: Do not force the case top back on. If it will not fit back on smoothly, chances are the gears were installed incorrectly.

How to by-pass the BEC circuit on the HAS-02MB/03MB and HP-2RNB receivers

The Hitec AM, model HAS-02MB, HAS-03MB and HP-2RNB receivers are built with a BEC or battery eliminator circuit built into the battery port of the receiver. This will limit the amount of power some of the larger servos can draw from the receiver.

It is suggested that using these receivers with large power consumption servos like the HS-805BB, HS-815BB or the high end, premium coreless motor servos and digital servos, a "Y" harness be used to connect the receiver battery / switch harness and servo to the receiver. Typically this is done by connecting one of the upper "Y" connectors to the servo, the other upper connector to the switch harness and the lower "Y" connector into receiver port 1,2 or 3, depending on what channel you wish the servo to operate. This will allow the BEC to be bypassed, your large servo will always have power and the rest of the servos and the receiver will be powered from the port you plug the "Y" into.



Too Many Servos

Modern coreless and digital servos have impressive torque values. This takes a lot of power. Receivers are capable of delivering only so much power to the servos plugged into it before the voltage draw down caused by the servo power consumption falls below what the receiver requires to "hear" the signal from the transmitter. When this occurs a "glitch" will result from loss of signal to the receiver. Large aircraft can easily use 6 or more powerful servos with some 1/3rd scale planes having multiple servos per control surface. There are several answers to this issue. Many modelers choose to use two receivers and others power the servos with a separate battery from that of the receiver. The point here is to be cautious when "Y" harnessing or "ganging" powerful servos together. Using larger capacity Nicad batteries as well as Heavy Duty switch harnesses are highly recommended in these applications.

Servo Grease

Use only specially designated servo grease when replacing servo gears. Using other type of grease not intended for servo gears may produce gas when used in sealed cases which may coat a nasty film on the motor brush that could stop the servo operation.

Coreless Motor Care

We would like to strongly discourage you from ever working on the coreless motors. Unlike conventional cored motors, the brush base of the coreless motors is extremely fragile and can be easily separated from the Printed Circuit Board. This is best left to authorized service technicians with the proper equipment.

Servo Trouble Shooting

Servo makes a grinding noise or acts erratic:Open the case and remove the gears. Examine them for broken teeth. If broken, replace with a new gear set.

Servo jitters:This may be a dirty potentiometer. Open the case and remove the gears. Spray a zero-residue tuner cleaner into and around the "pot" and work it in. Once the cleaner has dried, re-install the gears and close up the case.

Checking Servo Centering:Remove the servo from the plane or vehicle. With the arm still attached to the servo, place an ink dot towards the end of the wheel and another one on the case, these should be lined up for a reference point. Plug the servo into the receiver and move the corresponding transmitter gimbal stick or wheel from stop to stop. After each movement, check the reference points for alignment.

Servo is locked in place:Open the case and make sure the gears are properly aligned. Next check the case top for wear. If wear is evident, replace the case.

Servo hums under load:This can be normal, the servo is trying to hold position against the force of a load. If it hums when no load is applied, try loosening the servo case screws a quarter to a half a turn.

Servo gets hot:Get out the fire extinguisher! Check the servo wiring, it should match the receiver being used. The motor could be stalled due to a failed geartrain. Actually several things could be wrong, this sounds like a candidate for the service department.



4. Figuras del diseño final de las piezas de la mano robótica.

Figura 144: Falange distal

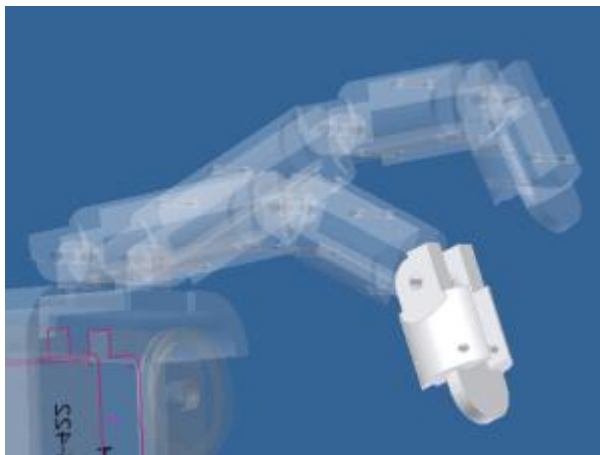


Figura 145: Falange media

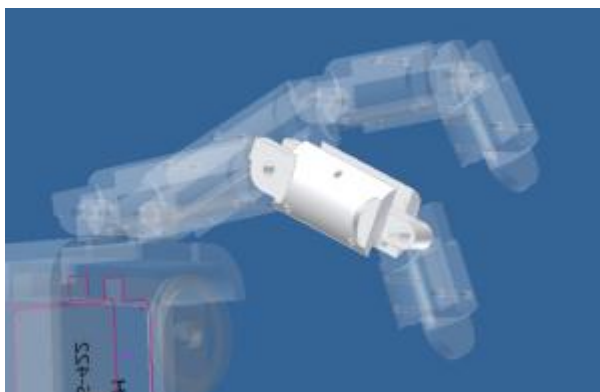


Figura 146: Falange proximal



Figura 147: Palma vista frontal

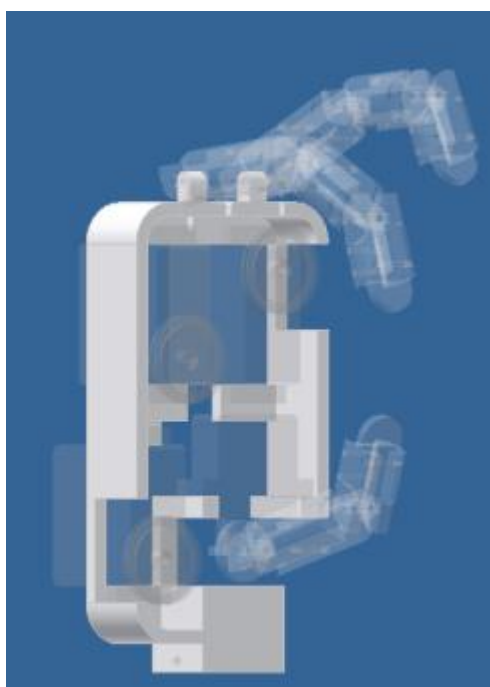


Figura 148: Palma vista lateral

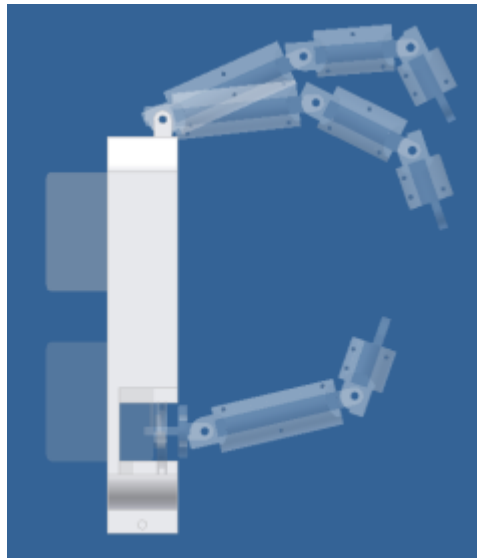


Figura 149: Motor HS 422

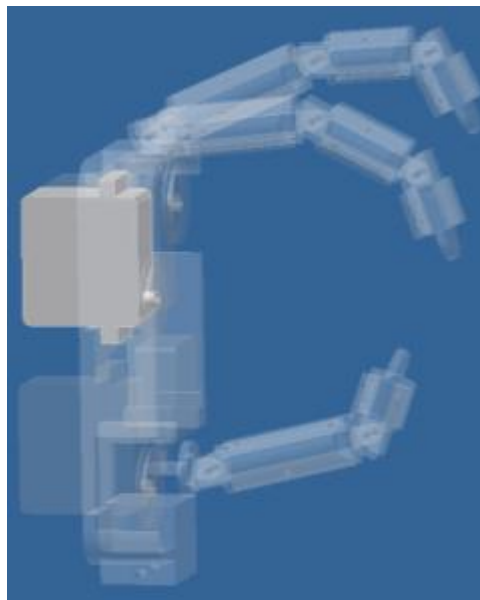


Figura 150: Motor HS 85MG

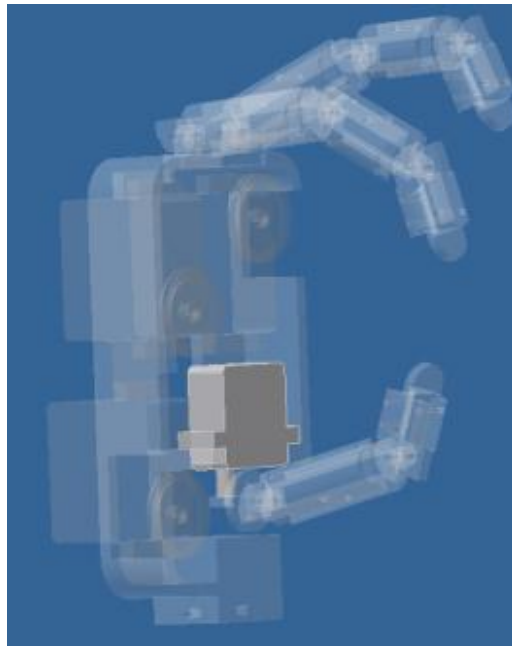


Figura 151: Mano vista lateral

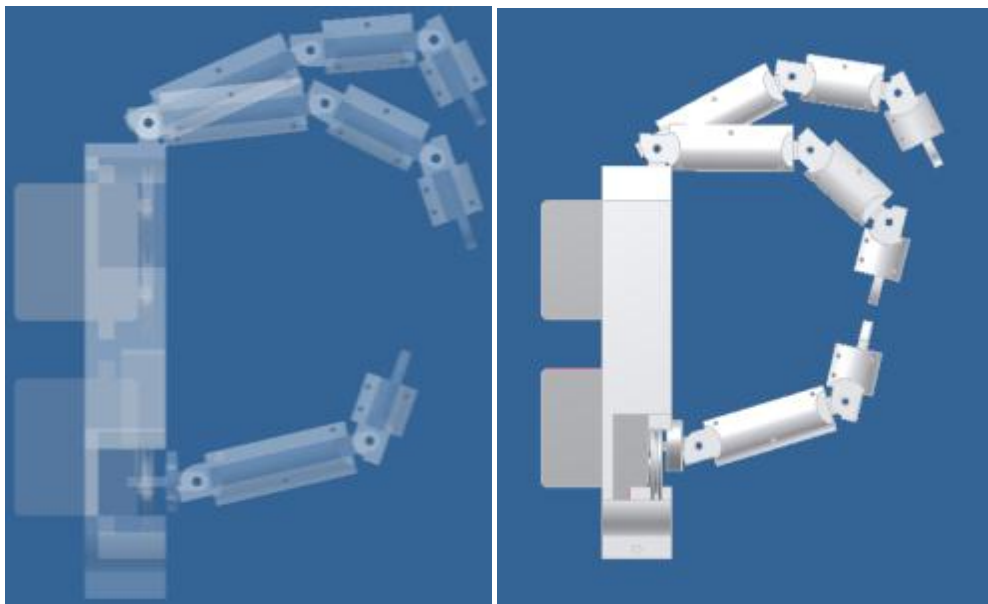
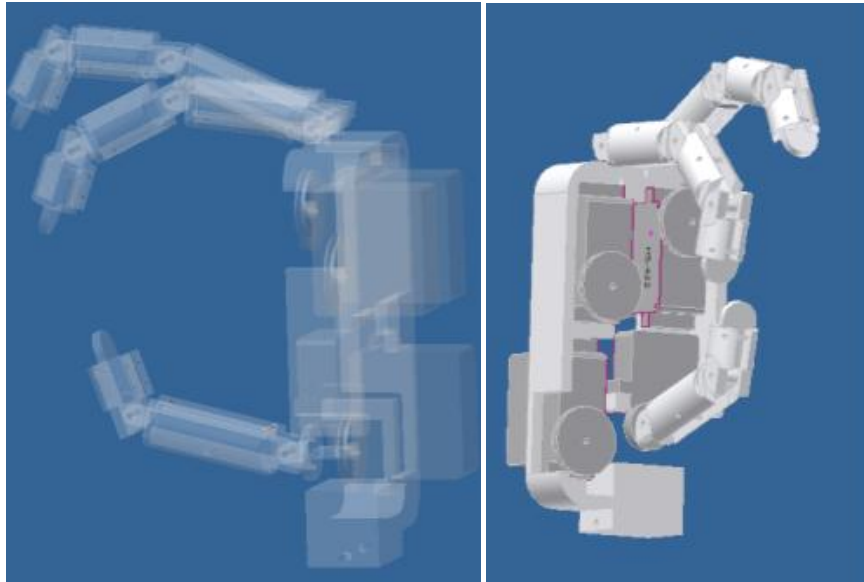


Figura 152: Palma vista frontal



5. Motores.

Figura 153: Motor HS 422

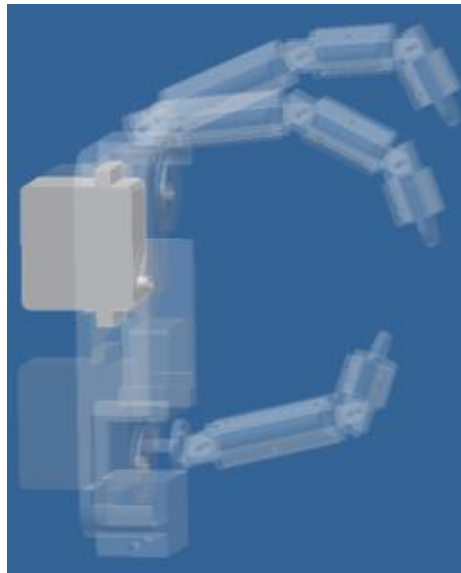


Figura 154: Motor HS 85MG

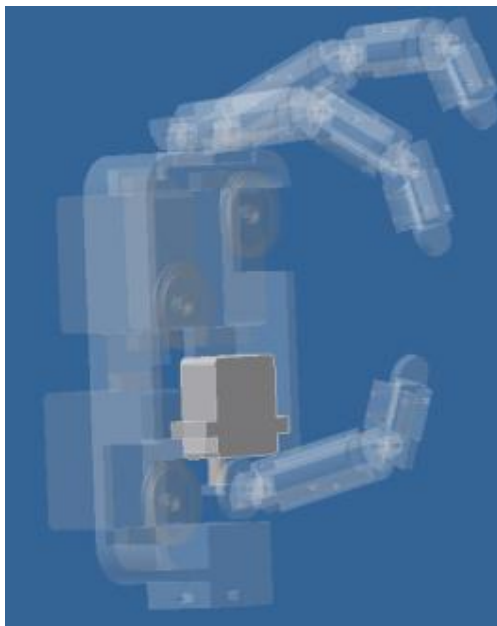


Figura 155: Mano vista lateral

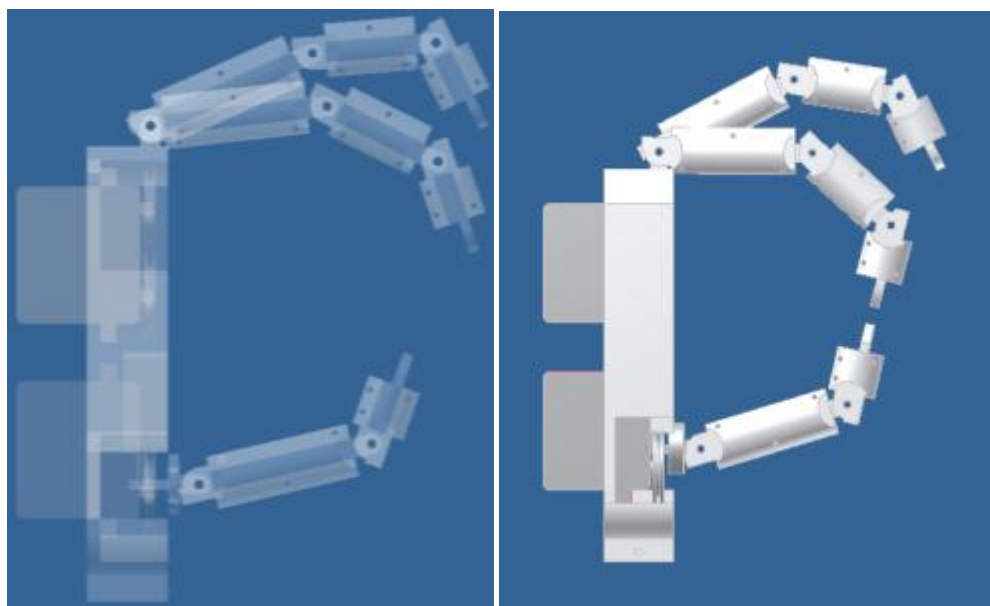
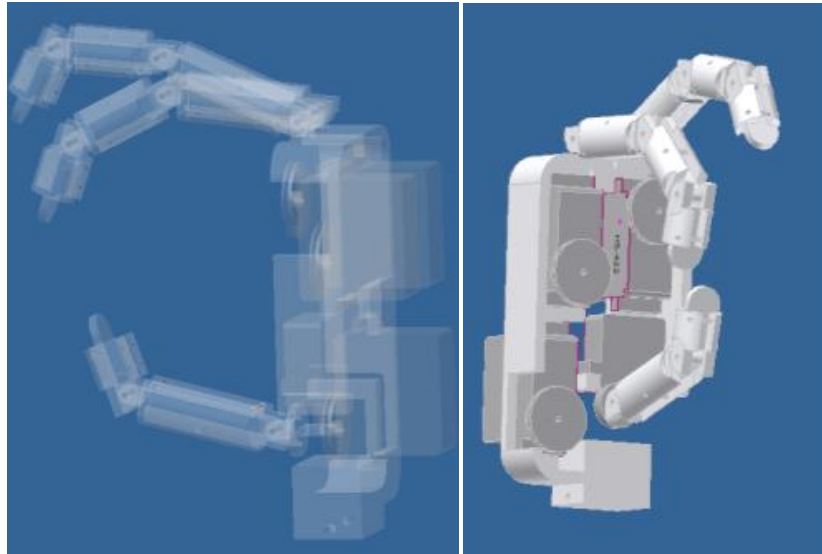


Figura 156: Palma vista frontal



6. Especificaciones de motores.

a. Hitec HS-85MG+ Servo Motor [36]

- Descripción
 - Velocidad: 0.16 - 0,14 sec @ 60 deg.
 - Torque: (4.8v/6v) 3 / 3.5 kg.cm
 - Medidas: 29 x 13 x 30mm
 - Peso: 22g

Figura 157: Motor HS-85 MG [36]



b. Hitec HS-422 Servo Motor [38]

- Descripción
 - Velocidad: 0.16 sec @ 60 deg.
 - Torque (Kg-cm/Oz-in): 4.1/57
 - Medidas (mm): 41 x 20 x 37
 - Peso (g/oz): 45.5/1.6

Figura 158: Motor HS-422 [38]



7. Piezas Maquinadas

Figura 159: Falange distal



Figura 160: Falange media



Figura 161: Falange proximal



Figura 162: Base para el brazo robótico vista inferior



Figura 163: Base para el brazo robótico vista superior



Figura 164: Base para la palma vista superior



Figura 165: Base para la palma vista lateral

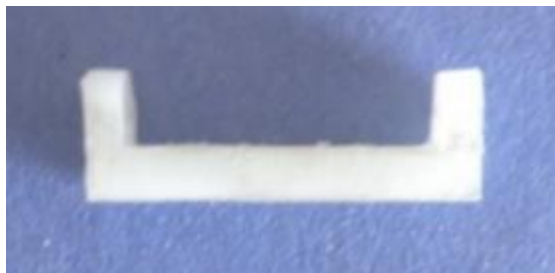
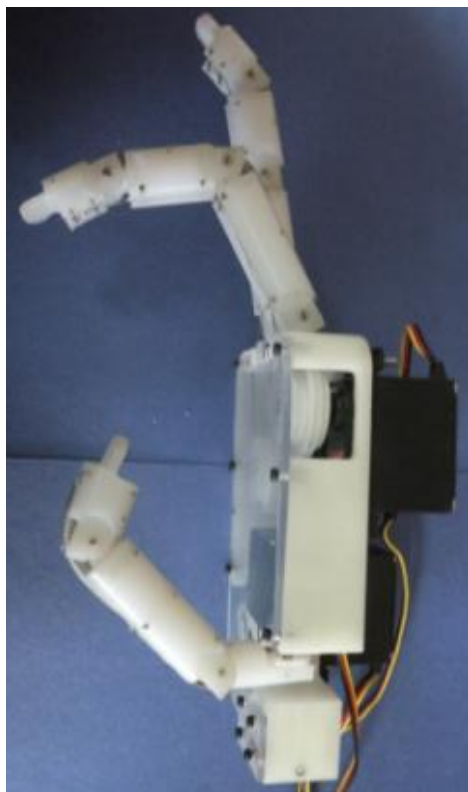


Figura 166: Mano robótica sin recubrimiento y sensores



8. Presupuesto del Proyecto

La Tabla 35 describe cada uno de los materiales utilizados para el diseño final de la mano robótica, contempla los materiales utilizados para la elaboración del diseño de las piezas, el material para el mecanismo de transmisión de movimiento y el actuador para el movimiento de cada uno de los dedos, componentes electrónicos en general como lo son microcontroladores, resistencias, capacitores, transistores, etc., es decir, todos aquellos componentes electrónicos que lleven a la realización del circuito de potencia para los motores y control de los dedos, material para el recubrimiento y otros. Se especifica si el material puede ser adquirido en Guatemala (Local) o en el extranjero.

Tabla 35: Presupuesto del módulo de Mecatrónica

Material	Descripción	Precio (Q.)	Local/Extranjero
Maquinado	Elaboración Piezas, material, impuestos	5,200.00	Local
Hilo metálico	4 yardas	30.00	Local
Resorte helicoidal		36.00	Local/Extranjero
Material para recubrimiento		80.00	Local
Componentes electrónicos	Circuitería en general	100.00	Local/Extranjero
Servomotores	Aprox. Torque 3.9 Kg.cm	1,100.00	Extranjero
Pines metálicos	30 pines	250.00	Local
Tornillos		20.00	Local
Baterías y cargador		725.00	Extranjero
Silicon y gomas		50.00	Local
TOTAL		7,591.00	

9. Instalación del sensor magnético 3D Guidance medSAFE

a. Conectar el transmisor.

- 1) Conectar este utilizando el conector de 37 pines, y conectándolo a la unidad principal.

Figura 167: Conexión del transmisor



b. Conectar el sensor preamplificador

- 1) Para asegurarse que esté conectado correctamente, se tiene que introducir hasta escuchar un “Click”.

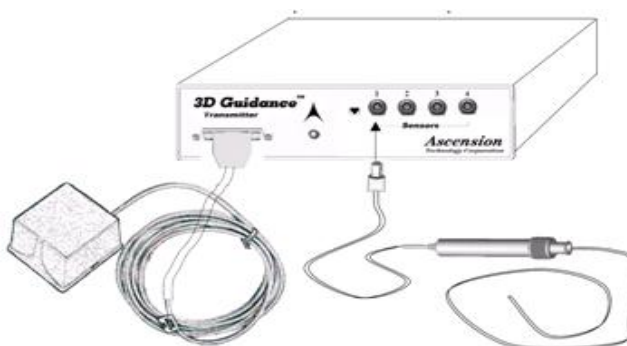
Figura 168: Conexión entre sensor y preamplificador



c. Conectar el pre-amplificador a la unidad central.

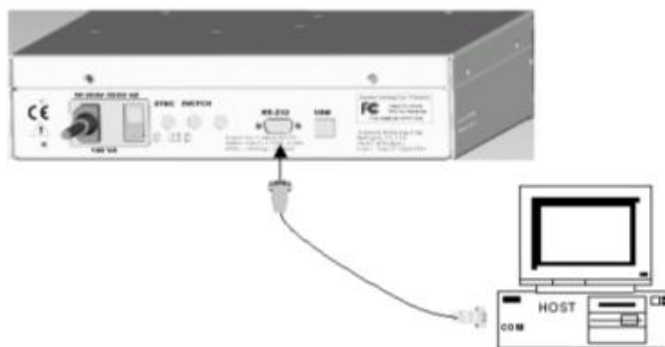
1) Conectar este preamplificador a cualquiera de las cuatro entradas de la unidad principal (“microBIRD Main Electronics Unit”).

Figura 169: Conexión del preamplificador a la unidad central



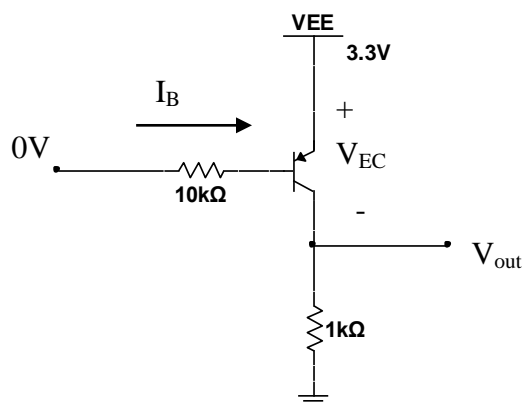
- 2) Para intercambiar información con la computadora es necesario conectar el cable serial (RS 232) en la parte posterior de la unidad principal.

Figura 170: Conexión hacia la computadora



10. Cálculos de circuitos convertidores de nivel

- a. Conversión de 0V a 3.3V – transistor PNP 2N3906



- Valores medidos en el diseño
 - Corriente de colector: $I_C = 3.2\text{mA}$

- Valores tomados de la hoja de datos de transistor 2N3906
 - Voltaje emisor-base: $V_{EC} = 0.75\text{V}$ (típico)

- Se requiere que el voltaje emisor-colector sea lo más pequeño posible ($V_{EC} \approx 0\text{V}$) para que $V_{out} \approx 3.3\text{V}$.
 - Voltaje de alimentación de microcontrolador: $V_{DD} = 3.3\text{V}$
 - Voltaje de salida mínimo: $V_{out\text{-mínimo}} = 0.25V_{DD} + 0.8\text{V} = 1.63\text{V}$

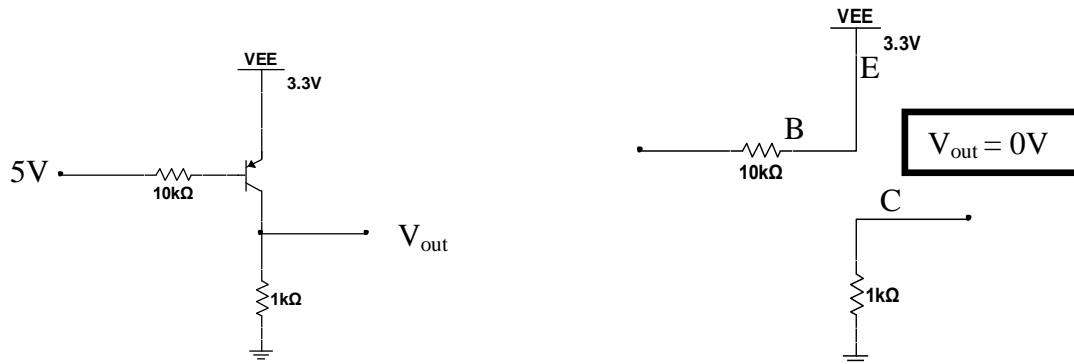
$$I_C = \frac{V_{EE} - V_{EC}}{1000} \longrightarrow V_{CE} = V_{EE} - 1000 * I_C$$

$$V_{EC} = 3.3\text{V} - 1000 * 0.00318 = 0.1\text{V}$$

Finalmente,

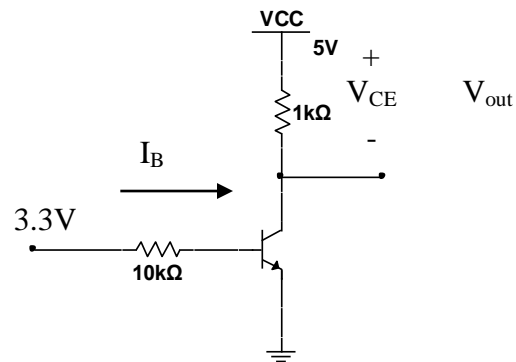
$$V_{out} = V_{EE} - V_{EC} = 3.3\text{V} - 0.1\text{V} = 3.2\text{V} > V_{out\text{-mínimo}}$$

b. Conversión de 5V a 0V – transistor PNP 2N3906



Este circuito no requiere de mucho análisis, por lo que con mostrar el circuito equivalente cuando el transistor está en corte es suficiente para determinar el voltaje de salida.

c. Conversión de 3.3V a 0V – transistor NPN 2N3904



- Valores medidos en el diseño
 - Corriente de colector: $I_C = 4.95\text{mA}$

- Valores tomados de la hoja de datos de transistor 2N3904
 - Voltaje emisor-base: $V_{EC} = 0.7\text{V}$ (típico)

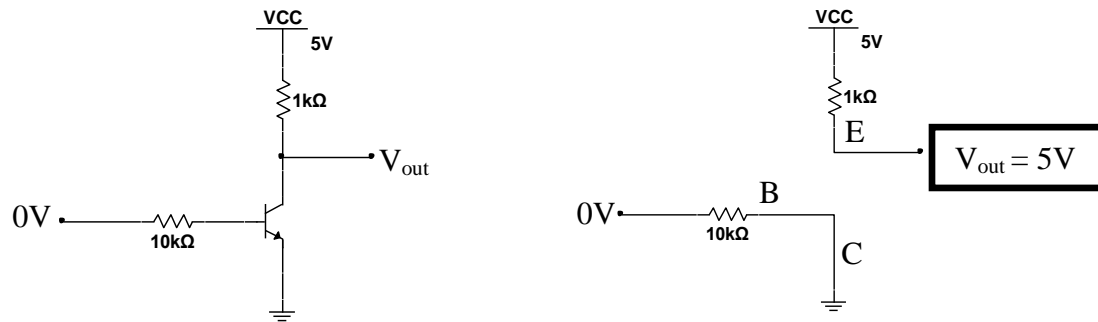
- Se requiere que el voltaje colector-emisor sea lo más pequeño posible ($V_{CE} \approx 0\text{V}$) para que $V_{out} \approx 0\text{V}$.
 - Voltaje de alimentación de microcontrolador: $V_{DD} = 5\text{V}$
 - Voltaje de salida mínimo: $V_{out\text{-máximo}} = 0.15V_{DD} = 0.75\text{V}$

$$V_{CE} = V_{CC} - 1000 * I_C = 5\text{V} - 1000 * 4.95 \times 10^{-3} = 0.05\text{V}$$

Finalmente,

$$V_{out} = V_{CC} + V_{CE} = 0\text{V} + 0.05\text{V} = 0.05\text{V} < V_{out\text{-máximo}}$$

d. Conversión de 0V a 5V – transistor NPN 2N3904



Este circuito no requiere de mucho análisis, por lo que con mostrar el circuito equivalente cuando el transistor está en corte es suficiente para determinar el voltaje de salida.

XII. GLOSARIO

1. **Análisis de Estrés:** Es una disciplina que determina el estrés en los materiales y estructuras sujetas a fuerzas o cargas estaticas o dinamicas.
2. **Bit:** Unidad mínima de información empleada en informática o en cualquier dispositivo digital. Es el acrónimo de Binary Digit.
3. **Byte:** Unidad básica de almacenamiento de información equivalente a ocho bits.
4. **Circuito impreso:** Medio para sostener mecánicamente y conectar eléctricamente componentes electrónicos a través de rutas o pistas de material conductor, grabado en hojas de cobre laminadas sobre un sustrato no conductor.
5. **Cóndilo:** Eminencia redondeada en la extremidad de un hueso, que forma articulación encajando en el hueco correspondiente de otro hueso.
6. **Correderas Osteofibrosas:** son canales que hay en ciertas regiones de algunos huesos, que se cierran en forma de tubo por tejido fibroso, por estos canales circula el tendón de algún musculo.
7. **Dato booleano:** Tipo de dato que puede representar valores de lógica binaria, es decir valores que representen verdadero o falso.
8. **Degradación:** Pérdida de propiedades mecánicas de un guante de protección, debido al contacto con un producto químico.
9. **Emulación:** Deseo intenso de imitar e incluso superar las acciones ajenas.
10. **Extensión:** En anatomía, extensión es un movimiento de separación entre huesos o partes del cuerpo, en dirección anteroposterior.
11. **Falange distal:** es el último hueso que forma cada uno de los dedos de la mano o del pie.

12. **Falange intermedia:** hueso situado entre la falange distal y la proximal, es decir, es el hueso medio de cada uno de los dedos de pies y manos.
13. **Falange Proximal:** es el primer hueso de cada uno de los dedos de las manos o pies. Son los que se articulan con los metacarpianos (mano) y los metatarsianos (pie).
14. **Falange:** Cada uno de los huesos de los dedos. Se distinguen con los adjetivos ordinales primera, segunda y tercera, comenzando a contar desde el metacarpo o el metatarso.
15. **Fibrocartílago:** Tejido constituido por células cartilaginosas pequeñas y ovoideas, separadas unas de otras por numerosos y apretados haces de fibras conjuntivas, a los cuales debe su gran resistencia.
16. **Flexión:** es el movimiento por el cual los huesos u otras partes del cuerpo se aproximan entre sí en dirección anteroposterior.
17. **Glóideo:** Formación y desarrollo del tejido fibroso.
18. **Hueso escafoide:** hueso del carpo de los mamíferos, que en el hombre es el más externo y voluminoso de la fila primera.
19. **Mecanismo:** Se llama mecanismo a un conjunto de elementos rígidos, móviles unos respecto de otros, unidos entre sí mediante diferentes tipos de uniones, llamadas pares cinemáticos (pernos, uniones de contacto, pasadores, etc.), cuyo propósito es la transmisión de movimientos y fuerzas
20. **Módulo de Young:** El módulo de elasticidad o módulo de Young es un parámetro que caracteriza el comportamiento de un material elástico, según la dirección en la que se aplica una fuerza.
21. **Permeabilidad:** Proceso por el cual un producto químico se mueve a través del material de un guante de protección a nivel molecular, implica:
22. **Pulpejo:** Parte carnosa y mollar de un miembro pequeño del cuerpo humano, y, más comúnmente, parte de la palma de la mano, de la que sale el dedo pulgar.

23. **Tróclea:** Articulación en forma de polea, que permite que un hueso adyacente pueda girar en el mismo plano.