

CAPÍTULO IV
RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

CAPÍTULO IV

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

En este capítulo se presentan y analizan los resultados de las diferentes fases de la metodología luego de la aplicación y utilización de las diferentes técnicas e instrumentos de recolección de datos, los cuales permitirán cumplir con el conjunto de objetivos propuestos para la finalización del proyecto de investigación.

1. ANÁLISIS DE LOS DATOS

A continuación se presentan las evidencias obtenidas después de la aplicación de los diferentes instrumentos de investigación necesarios para el desarrollo de cada una de las fases de la metodología aplicada.

1.1. APLICACION DE LAS FASES DE LA METODOLOGICA

Para dar cumplimiento al primer objetivo específico de la investigación, dirigida a **Analizar la información relacionada con manos robóticas antropomórficas, microcontroladas y sistemas de impulsión** conjuntamente con la primera fase de la metodología titulada **definición de las especificaciones** se realizaron diferentes actividades como lo son las entrevistas realizadas a profesionales en el área de la robótica y control, visitas entre otras, realizando preguntas desde un punto general referentes a

la robótica en Venezuela y el mundo en el área industrial y la medicina, explican primeramente los objetivos específicos a alcanzar en la investigación para luego recolectar a través de la entrevista guiada aplicada a través de preguntas cerradas.

Los expertos entrevistados profesionales de empresas publicas que desarrollan actividades en el área de automatización y control, profesores de la Universidad del Zulia que se desempeñan el área de la robótica con doctorados en robótica y profesores maestrías y doctorados en el área de controles y automatismo.

Referente al primer ítem de la entrevista, se puede observar en la tabla 5 que una gran mayoría constituida por el 80% de la población entrevistada, considera que en la industria venezolana la robótica no es aplicada. Mientras que sólo 20% de la población encuestada sí considera que la robótica es aplicada a la industria.

Referente al segundo ítem de la encuesta, se puede observar en la tabla 6 el 80% de la población entrevistada está de acuerdo que en Venezuela el estudio de la robótica con respecto al estudio mundial es deficiente mientras que 20% considera que se encuentra en un nivel intermedio.

Tabla 5
Aplicación de la robótica

ÍTEMS	¿Considera usted que en Venezuela la robótica es aplicada a la industria?		
	RESPUESTAS	FRECUENCIAS	PORCENTAJES
1	SI	1	20%
	NO	4	80%
	Total	5	100%

Fuente: Espinel, González, Portillo (2010)

Tabla 6
Avances del estudio en Venezuela

ÍTEMS	¿Cómo considera el avance de los estudios en el área de la robótica en Venezuela con respecto al mundo?		
	RESPUESTAS	FRECUENCIAS	PORCENTAJES
2	Inexistente	0	0%
	Deficiente	4	80%
	Intermedio	1	20%
	Avanzado	0	0%
	Total	5	100%

Fuente: Espinel, González, Portillo (2010)

Referente al tercer ítem de la encuesta, se puede observar en la tabla 7 el 80% de la población considera que el nivel de aplicación de la robótica a la industria es deficiente, es decir, el 20% considera que se encuentra en un nivel intermedio donde se evidencia el poco conocimiento en el área y que puede beneficiar al mejoramiento de la calidad, eficiencia y/o eficacia, donde esto puede contribuir a la no utilización de una reingeniería al momento de realizar modificaciones en el proceso.

Tabla 7
Relación Venezuela y el Mundo

ÍTEMS	¿Cómo considera usted el nivel de aplicación de la robótica en las industrias venezolanas?		
	RESPUESTAS	FRECUENCIAS	PORCENTAJES
3	Inexistente	0	0%
	Deficiente	4	80%
	Intermedio	1	20%
	Avanzado	0	0%
	Total	5	100%

Fuente: Espinel, González, Portillo (2010)

Referente al cuarto ítem de la encuesta, se puede observar en la tabla 8 el 60% de la población considera que el nivel de aplicación de la robótica en

la medicina venezolana es inexistente, un 20% considera que se encuentra en un nivel intermedio, y el 60% opina que es deficiente, esto evidencia poco conocimiento en el área y que puede beneficiar al mejoramiento de la calidad, eficiencia y/o eficacia, donde esto puede contribuir a la no exportación de estos productos desde otros países.

Tabla 8
Robótica en la medicina en Venezuela.

ÍTEMS	¿Cómo considera usted el nivel de aplicación de la robótica en la medicina específicamente como prótesis en Venezuela?		
	RESPUESTAS	FRECUENCIAS	PORCENTAJES
4	Inexistente	1	20%
	Deficiente	3	60%
	Intermedio	1	20%
	Avanzado	0	0%
	Total	5	100%

Fuente: Espinel, González, Portillo (2010)

Basándose en la información recopilada por los distintos medios y asociándolos a los objetivos y limitaciones se puede definir el área de aplicabilidad que tendrá esta investigación la cual estará dirigida al desarrollo de una mano robótica antropomórfica, que tiene como finalidad aplicaciones protésicas para futuras investigaciones.

De igual forma referente al quinto ítem de la encuesta, se puede observar en la tabla 9 el 80% de la población si conoce que de aplicaciones en el área de la medicina y solo el 20% desconoce sobre su uso.

Esta investigación dejará como beneficio el desarrollo de bases teóricas, que podrán ser implementadas en el futuro como complemento esencial para otras investigaciones, con el objeto de desarrollar una interfaz avanzada que siga contribuyendo con el desarrollo de esta investigación, dando así, una gran contribución a nivel intelectual, aplicado al área de la robótica con fines protésicos generados en el país opinión que se confirma como se muestra en la tabla 10.

Tabla 9
Robótica en la medicina

ÍTEMS	¿Conoce sobre la robótica aplicada en el área de la medicina (prótesis de manos)?		
	RESPUESTAS	FRECUENCIAS	PORCENTAJES
5	SI	4	80%
	NO	1	20%
	Total	5	100%

Fuente: Espinel, González, Portillo (2010)

De igual forma en la automatización y control en procesos industriales donde una posible reingeniería podría ser evitada gracias a la funcionalidad

que poseería en el momento de la implementación una mano robótica antropomórfica, la movilidad y diferentes grados de libertad que posee, en los que se habla de 10 grados de libertad. Como lo demuestra la opinión de los expertos cuando se aplicó el instrumento.

Tabla 10
Contribución Intelectual

ÍTEMS	¿Considera usted que el desarrollo de una mano robótica antropomórfica en Venezuela contribuye al incremento intelectual de dicha rama favoreciendo hacia futuras investigaciones y aportando bases teóricas para la misma?		
	RESPUESTAS	FRECUENCIAS	PORCENTAJES
11	SI	5	100%
	NO	0	0%
	Total	5	100%

Fuente: Espinel, González, Portillo (2010)

Seguido al análisis de los datos realizados anteriormente en el primer objetivo de esta investigación se presenta ahora, el cumplimiento del segundo objetivo específico de la investigación, dirigido a **determinar los requerimientos del sistema planteado en la investigación**, conjuntamente con la primera fase de la metodología titulada **definición de las especificaciones**. En la cual al aplicarla a este objetivo se realizaron diferentes actividades; como lo son: revisión documental, observación y estudio de caso.

En función de las actividades definidas, se contó con diferentes recursos, los cuales permitieron dar un vistazo a los estándares, tanto a nivel de tecnologías avanzadas como de las limitaciones que se podrían presentar en la investigación a realizar. Dentro de los estas destacan los siguientes; textos de internet, observación, estudio de caso y guía de entrevista.

Dentro de la entrevista se orienta 5 preguntas para obtener información relevante. Las respuestas obtenidas indican en que en la tabla 11 el 100% de la población considera que el uso del Nitinol como efector es intermedio por su alto consumo de energía para realizar el calentamiento, el mismo puede no ser lineal cuando su uso es muy continuo, ya que el mismo no se contrae directamente por el efecto de la corriente, sino que este se contrae por efecto de la temperatura producida por el efecto Joule.

Tabla 11
Uso del Flexinol

ÍTEMS	¿Cómo considera usted el uso del Nitinol basándose en la eficiencia como efector final robótico aplicado al desarrollo de una mano robótica antropomórfica controlada por medio de un PC?		
	RESPUESTAS	FRECUENCIAS	PORCENTAJES
6	Deficiente	0	0%
	Intermedio	5	100%
	Avanzado	0	0%
	Total	5	100%

Fuente: Espinel, González, Portillo (2010)

Referente al séptimo ítem de la encuesta, se puede observar en la tabla 12 el 100% de la población considera que el uso del PC por lo que se puede realizar las simulaciones respectivas de procesos o acciones, esto facilita el control del proceso, el dinamismo y las pruebas necesarias para el correcto funcionamiento del mismo.

Tabla 12
Uso de PC

ÍTEMS	¿Valida usted el uso de un PC como interface entre el proceso de control y las variables de entrada?		
	RESPUESTAS	FRECUENCIAS	PORCENTAJES
7	SI	5	100%
	NO	0	0%
	Total	5	100%

Fuente: Espinel, González, Portillo (2010)

Referente al octavo ítem de la encuesta, se puede observar en la tabla 13 el 80% de la población considera que el uso del microcontrolador es apropiado, existiendo otras posibilidades de puente de comunicación por los posibles problemas que pueden presentarse, mientras que el 20% considera que es ideal ya que el mismo solo manejará variables de operación. Donde serán enviados a través de él 8 bits, que definen cada una de las operaciones a realizar a través de la correcta combinación que se enviarán

por medio del ordenador o PC para realizar las acciones necesarias de control.

Tabla 13
Uso del microcontrolador

ÍTEMS	¿Qué opina usted acerca de la implementación de un microcontrolador como puente de comunicación entre el sistema de recolección de variable y el sistema de control?		
	RESPUESTAS	FRECUENCIAS	PORCENTAJES
8	Apropiado	4	80%
	Inapropiado	0	0%
	Eficiente	0	0%
	Ideal	1	20%
	Total	5	100%

Fuente: Espinel, González, Portillo (2010)

Referente al octavo ítem de la encuesta, se puede observar en la tabla 14 el 40% de la población considera que su uso es apropiado, otro 40% opina que es eficiente, mientras solo un 20% considera que es inapropiado. Aunque las opiniones fueron muy desiguales, se puede elegir como correcto el uso del controlador proporcional integrativo.

Referente al octavo ítem de la encuesta, se puede observar en la 15 el 40% de la población considera que su uso es apropiado, otro 40% opina que es eficiente, mientras solo un 20% considera que es inapropiado. Aunque las

opiniones fueron muy desiguales, se puede elegir como correcto el uso del software Visual Basic 6.0.

Tabla 14
Aplicación del Controlador PI

ÍTEMS	¿Cómo considera usted el uso de un sistema de control PI a lazo cerrado para la estabilización de los efectores finales que actúan sobre los enlaces (dedos)?		
	RESPUESTAS	FRECUENCIAS	PORCENTAJES
9	Apropiado	2	40%
	Inapropiado	1	20%
	Eficiente	2	40%
	Ideal	0	0%
	Total	5	100%

Fuente: Espinel, González, Portillo (2010)

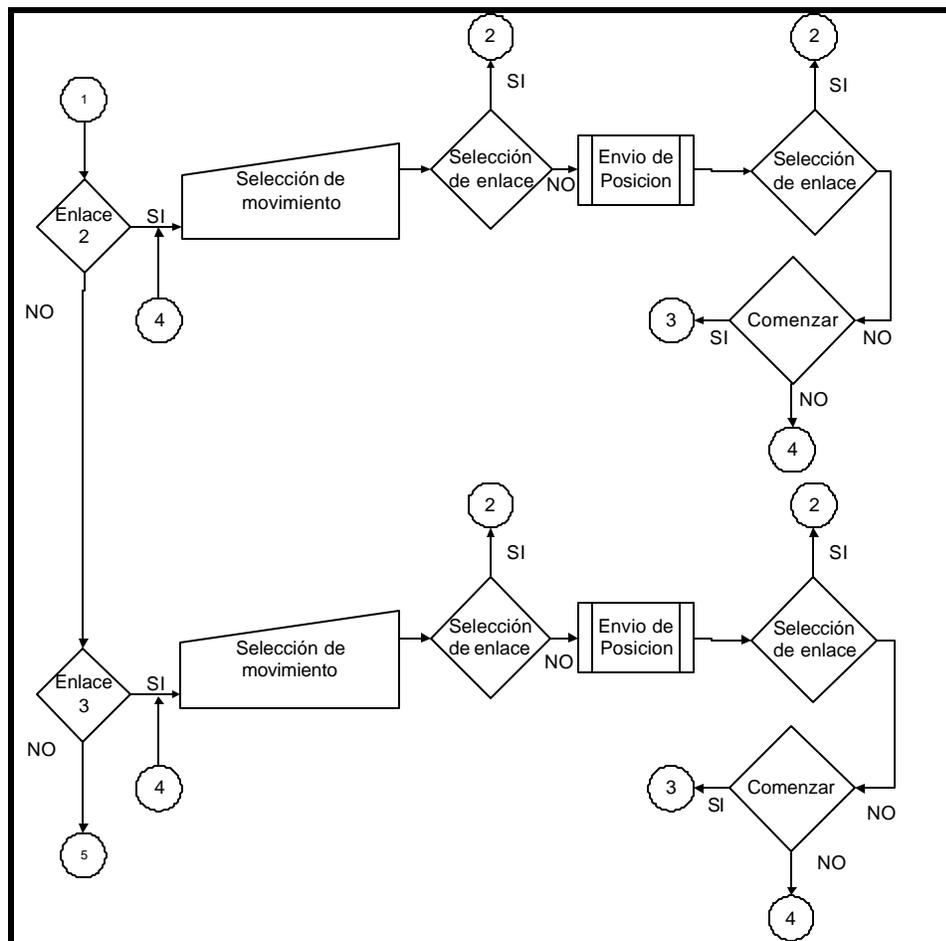
Tabla 15
Aplicación del Software

ÍTEMS	¿Considera usted apropiado la implementación del software Visual Basic 6.0 con una interfaz grafica, como elemento principal de recolección, procesamiento y transmisión de datos en el desarrollo de una mano robótica antropomórfica controlada por medio de una PC?		
	RESPUESTAS	FRECUENCIAS	PORCENTAJES
10	Apropiado	2	40%
	Inapropiado	1	20%
	Eficiente	2	40%
	Ideal	0	0%
	Total	5	100%

Fuente: Espinel, González, Portillo (2010)

Inicialmente se realiza la selección de la articulación o enlace que se desea mover, estos son identificados y guardados en un registro, donde los cuatro dígitos más significativos son los que identificarán el enlace o articulación que se desea mover, seguidamente se seleccionará los grados de cierre que se desean, los mismos serán guardados en los cuatro dígitos menos significativos, dando opciones desde 0 a 15 pulsos.

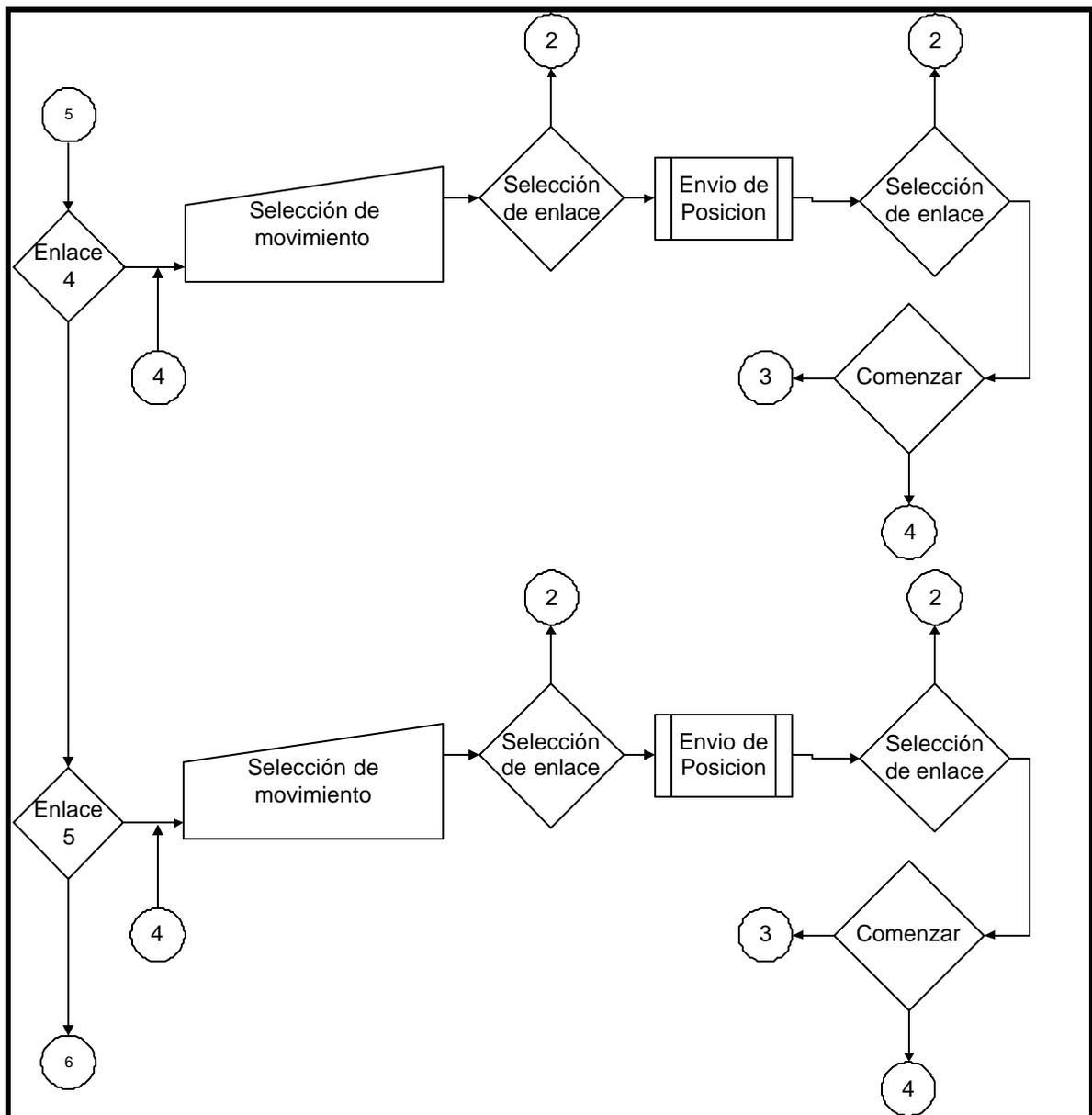
Figura 13. Cont. Diagrama de flujo del programa



Fuente: Espinel, González, Portillo (2010)

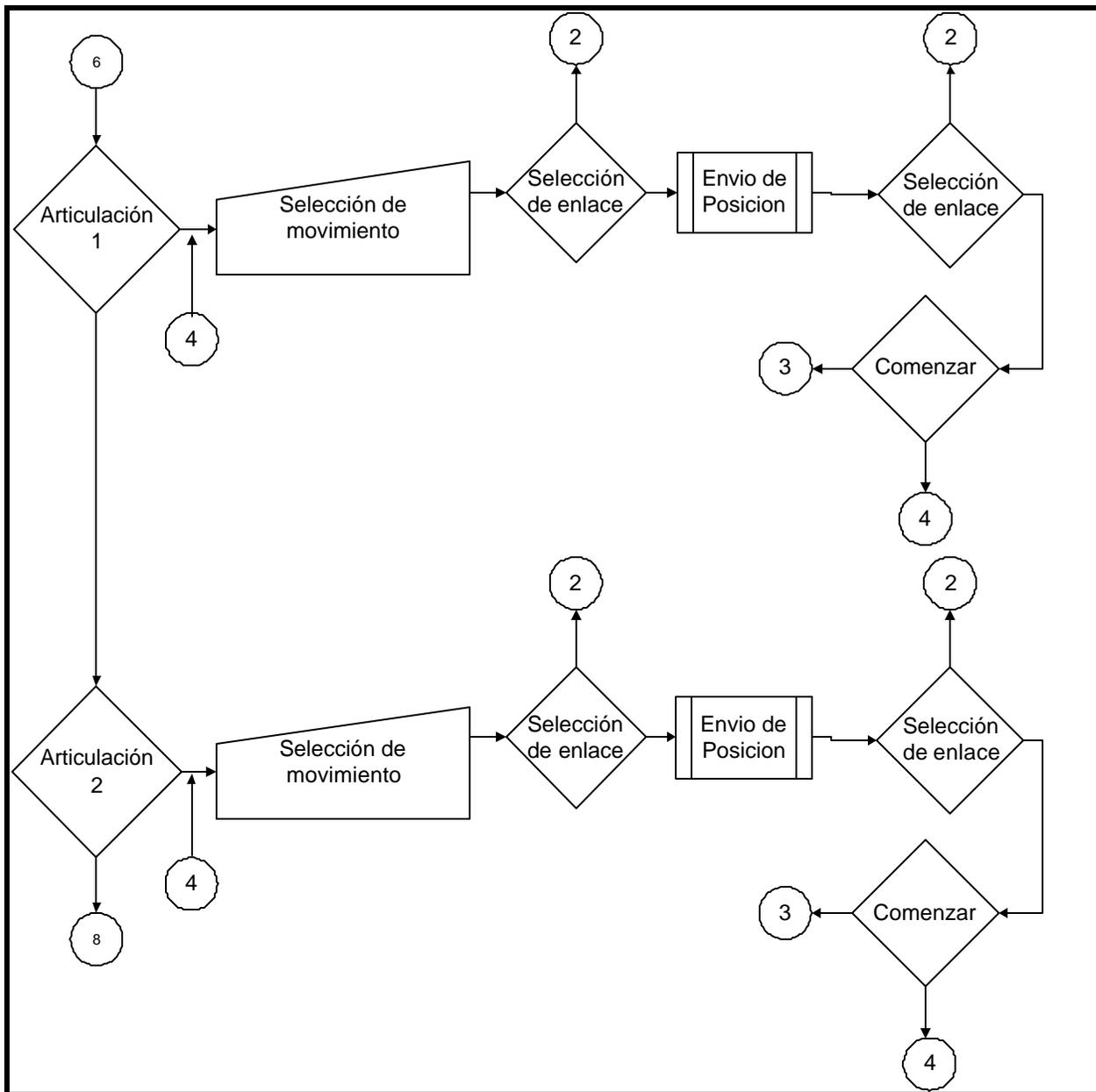
Para este caso se utilizaran porcentajes de cierre con incrementos o decrementos del 10% donde el 0% indicaría que la mano se encuentra abierta en su totalidad y el 100% cerrada.

Figura 14. Cont. Diagrama de flujo del programa



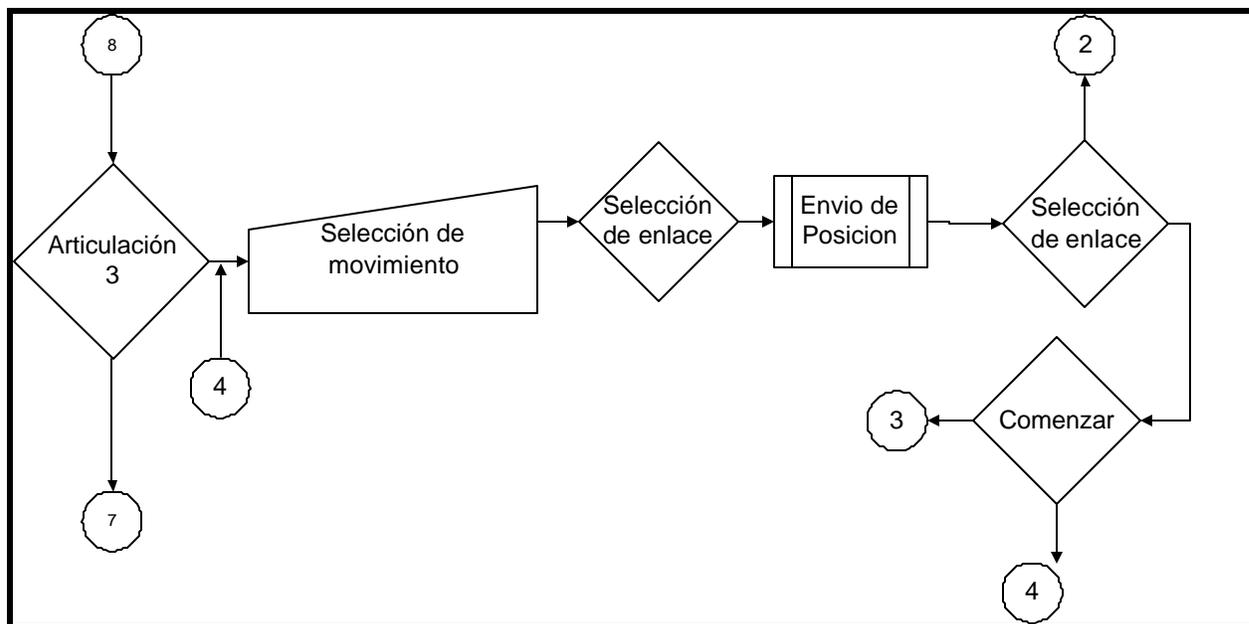
Fuente: Espinel, González, Portillo (2010)

Figura 15. Cont. Diagrama de flujo del programa



Fuente: Espinel, González, Portillo (2010)

Figura 16. Cont. Diagrama de flujo del programa



Fuente: Espinel, González, Portillo (2010)

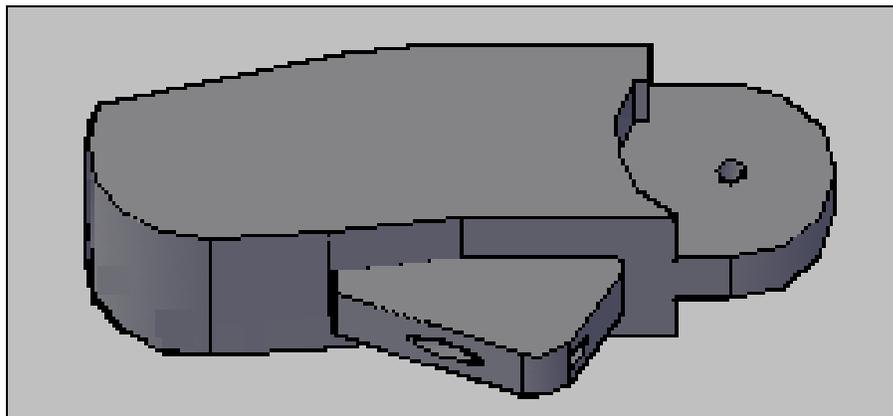
Al finalizar de ingresar los movimientos que se desean realizar se tendrá la elección de poder repetir el mismo al ingresar la opción de repetición de proceso. Se toma en cuenta que no podrá realizar selección de ningún otro movimiento una vez que entre en el ciclo de repetición o hasta que este finalice.

Seguidamente se presenta, la realización del cuarto objetivo específico de la investigación, dirigido a **establecer el diseño del hardware y las partes mecánicas del sistema**, conjuntamente con la fase 2 y 6 de la metodología titulada **Esquema General de Hardware e implementación de hardware** respectivamente. Al aplicarla a este objetivo se realizaron

diferentes actividades tales como: **revisión documental, observación y estudio de caso.**

En función de las actividades definidas los autores se basaron en las experiencias obtenidas a través de la cátedra de Laboratorio de Automatización, para la fabricación de cada uno de las falanges antropomórficas, que de igual forma basándose en la información recopilada para la aplicación y desarrollo del mismo.

Figura 18. Falange uno antropomórfica vista 3D



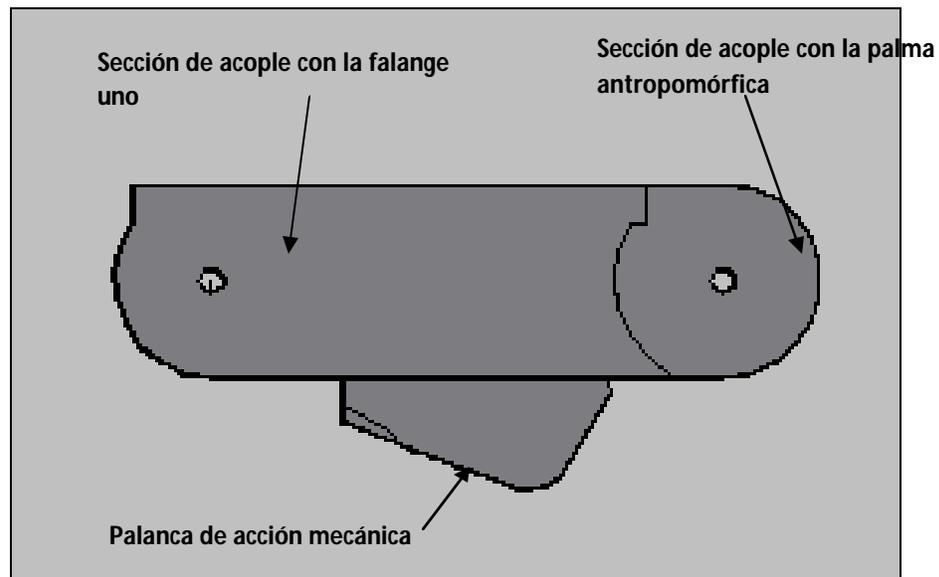
Fuente: Espinel, González, Portillo (2010)

Esta mano consta de cinco (5) dedos o enlaces los cuales poseen cada uno dos (2) articulaciones y dos (2) falanges respectivamente, esto se debe a que, a menor número de articulaciones presentes dentro del dedo se facilitaría su creación y control. A pesar de que al utilizar sólo dos (2) articulaciones no se refleja con precisión la forma antropomórfica, esto se

contrarrestó incluyendo una pequeña curvatura, la cual asemeja la articulación y falange ausente en el extremo superior de cada dedo.

Los dedos fueron diseñados en auto CAD, para facilitar después su fabricación, al poder realizar las acotaciones en el software que maneja de fresadora. A continuación se mostrarán y explicarán las diferentes partes del dedo, donde en principio sólo será utilizado un enlace realizado en auto CAD para explicar las diferentes partes, luego se mostrará cada uno de los diseños implementados a través del software que maneja la fresadora para luego ser mecanizados.

Figura 19. Falange dos antropomórfica vista frontal



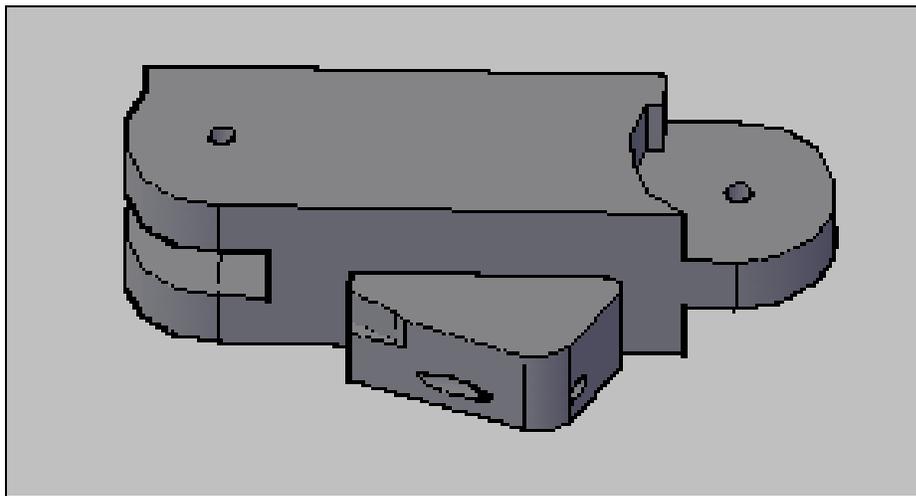
Fuente: Espinel, González, Portillo (2010)

En la figura 18 y 19 se muestra la falange antropomórfica, que simula las dos falanges más extremas de la mano humana una se muestra en dos

dimensiones y la siguiente se muestra en tres dimensiones para observar con detalle cada uno de sus partes y accionadores. En la figura 20 y 21 se mostrará la segunda falange de la mano antropomórfica la cual será la conexión entre la palma antropomórfica y la falange más extrema.

A nivel físico es de gran importancia destacar que cada falange posee una protuberancia que tiene como función incrementar el torque ejercido por los actuadores,

Figura 20. Falange dos antropomórfica vista 3D



Fuente: Espinel, González, Portillo (2010)

que en este caso lo constituye el Nitinol; por su practicidad y eficiencia, dicha protuberancia separa el punto de acción del eje de la articulación. Esto permite realizar movimientos tomando en cuenta las limitaciones anteriormente mencionadas, pero razonados en los movimientos básicos y necesarios que realizaría una mano protésica.

Por otro lado, destaca el sistema de recolección de variables, el cual gobierna sobre todos los movimientos que será capaz de realizar la mano. En función de la información recolectada y el estudio del caso realizado, se concluyó que la opción más factible para la culminación de esta investigación, teniendo como limitación el tiempo disponible, era el uso de un PC como medio de recolección de variables, a través de una interfaz gráfica la cual recibe, procesa y transmite las variables introducidas. Estas variables son transmitidas por medio de un puente de comunicación, el cual realiza un registro de las posiciones exactas que debe tener cada una de las falanges, según lo procesado en la etapa anterior. Seguidamente será procesado, controlado y sentido por el sistema de control, que mantendrá la estabilidad de cada uno de los tendones en función del entorno en el que se encuentre sometida la mano.

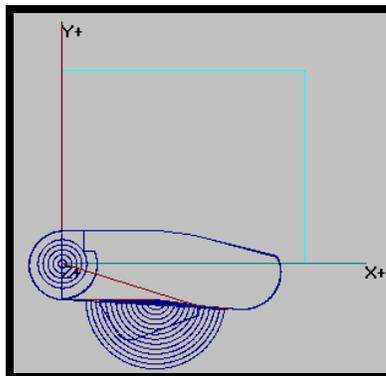
Para la fabricación de la estructura de la mano (forma antropomórfica), se utilizó cera de alta densidad, para ser mecanizada por medio de una fresadora utilizando el Software Mill Level 4, tal como se puede observar en el anexo 1. La programación utilizada para el desarrollo de los enlaces (dedos), está dividida en cuatro mecanizados por cada uno de los enlaces, dos de las secciones del mecanizado conforman las dos primeras falanges de la sección del enlace (sección A1 y A2), las otras dos restantes conforman la falange de la sección final de la misma (sección B1 y B2), esto se debe a que la fresadora no realiza cambio de rotación de eje conllevando a la realización de dos mecanizados por sección. En cada uno de las falanges se

CUADRO 6
PROGRAMACIÓN DEL MECANIZADO DEL ENLACE INDICE A1
PARA EL ENLACE DEL DEDO INDICE SECCIÓN A1

M06 15	M97 DEDO	Y-18.8	
G00	G01	Z-5	X0 Y-9.4
M04 1200	Z8.5	M99	X0 Y-18.8
G71	X43.6 Y-2.7	M98 DEDO	M99
G01	Z-2.5	G01	M98 PALANCA
Z2.5	G83 0 2.5	Z-3	G01
X0 Y0	X-19.1 Y2.7 Z-5	G01	Z-1
Z0	X-38.6 Y2.7	X10.6 Y0	Y-2.6
G91	G01	G01	X-17 Y-6.4
\EJE	Z2.5	Z8	G02
G01	X11.3 Y-1.6	G01	X-1.1 Y3.7
X0 Y7.5	Z-7.5	X25 Y-1.6	X-4.1 Y1.2
G83 0 2.5	G01	G01	G01
X0 Y-7.5 Z-5	M97 PALANCA	Z-8	X-4.7 Y7.7
X0 Y0	G01	G01	G02
G01	M97 PALANCA	X11.4 Y-0.9	X0.9 Y0.6
Z2.5	M30	G01	X0.8 Y1.7
X0 Y-9.4	M98 TACO	G03	G01
Z-2.5	G01	X1 Y10	Z9
G01	Z-2.5	X9.9 Y14.3	X24.8 Y-1.6
M97 TACO	G03	G01	Z-9
G01	Y9.4	X-21.9 Y5.6	M99
M97 TACO	X8.6 Y13	G01	
G01	G01	X-9.3 Y1.3	
Z5	X-2.9	G01	
G01	Y5.6	X-25.7	
M97 DEDO	X-5.7	G01	
G01	Z5	G03	

Fuente: Espinel, González, Portillo (2010)

FIGURA 21. DEDO INDICE SECCION A1



Fuente: Espinel, González, Portillo (2010)

encuentra una pestaña en la parte inferior que servirá como punto de acción de aplicación de fuerza para ser posible la operación movimientos.

A continuación se mostrará la programación utilizada para el mecanizado de los enlaces. Se tomará en cuenta que sólo se mostrará en dos dimensiones para la facilitación, comprensión de lectura y observación. Primeramente se mostrará el desarrollo del algoritmo utilizado, seguidamente por el resultado arrojado por el software Mill level 4, utilizando la fresadora para el mecanizado de las piezas.

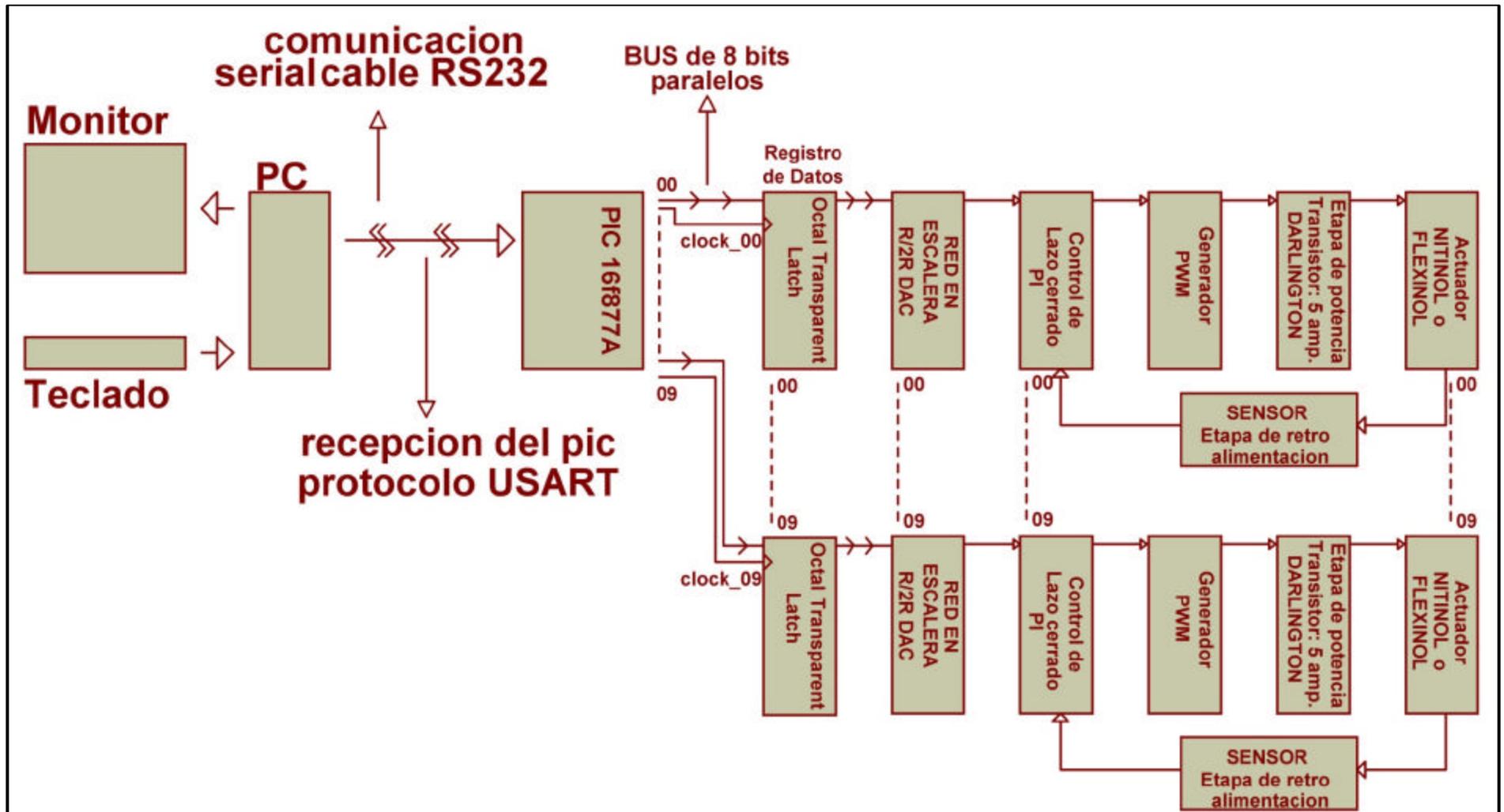
El mecanizado de la palma no fue posible a través de la fresadora por lo que el mismo debió ser realizado por medio de la fundición de la cera. Este proceso se realizó en dos partes, para luego girar la pieza y continuar con el mismo. El mecanizado de todos los enlaces se mostrara desde el anexo B hasta el anexo L.

Para realizar la palma la cera es calentada vaciada en un molde realizado previamente con plastilina y sucesivamente con yeso creando el molde para la realización de la misma.

ORDINOGRAMAS GENERAL DEL SISTEMA

A continuación se explicarán cada una de las partes que componen el hardware del sistema de control de la mano antropomórfica, ver figura 22.

FIGURA 22. ORDINOGRAMAS GENERAL DEL SISTEMA



Fuente: Espinel, González, Portillo (2010)

MONITOR

El monitor o pantalla de ordenador, aunque también es común llamarlo "pantalla", es un dispositivo de salida que, mediante una interfaz gráfica, muestra los resultados del procesamiento y las variables a ingresar.

TECLADO

Un teclado es un periférico o dispositivo, que permite ingresar las variables de control al ordenador.

PC

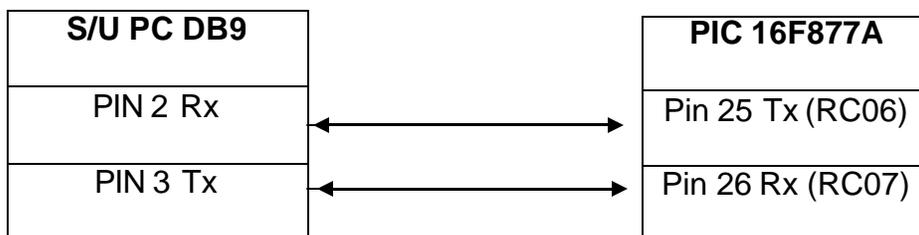
La PC, se encargará de recibir (por medio del teclado), procesar datos y mostrar los datos por medio de una interfaz gráfica. El procesamiento de datos será realizado y visualizado a través del software Visual Basic 6.0 que puede ejecutar con exactitud, rapidez y de acuerdo a lo indicado por un usuario por medio de secuencias o automáticamente por medio de rutinas de instrucciones que son ordenadas, organizadas y sistematizadas en función a las aplicaciones prácticas y precisamente determinadas que realizará la mano antropomórfica. Cabe destacar que el ordenador, necesita de datos específicos que deben ser suministrados, y que son requeridos al momento de la ejecución.

COMUNICACIÓN CABLE SERIAL RS 232

RS-232 es una interfaz que designa una norma para el intercambio serie de datos

binarios entre el equipo terminal de datos (ordenador) y el equipo de comunicación de datos (PIC 16F877A). La norma a utilizar será para el ordenador, la transmisión de datos (Tx) Pin 3 y de recepción de datos (Rx) Pin 2, para el microcontrolador Rx será Pin 26 (RC07) y Tx el Pin 25 (RC06), el conector a utilizar será un adaptador DB9 que será conectado a través de un convertidor Serial/USB como se muestra en la figura 23.

Figura 23. Diagrama de conexión entre el ordenador y el PIC.



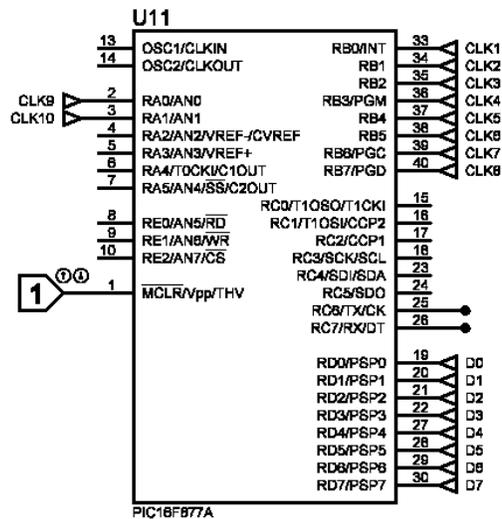
Fuente: Espinel, González, Portillo (2010)

MICROCONTROLADOR PIC16F877A

Se denomina microcontrolador a un dispositivo programable capaz de realizar diferentes actividades que requieran del procesamiento de datos digitales y del control y comunicación digital de diferentes dispositivos. Los microcontroladores poseen una memoria interna que almacena dos tipos de datos; las instrucciones, que corresponden al programa que se ejecuta, y los registros, es decir, los datos que el usuario maneja, así como registros especiales para el control de las diferentes funciones del microcontrolador. La programación se realizó en Assembler. En este proyecto se utilizó el PIC 16F877. Este microcontrolador es fabricado por MicroChip familia a la cual se le

denomina PIC. El modelo 16F877 posee varias características que hacen a este microcontrolador un dispositivo muy versátil, eficiente y práctico para ser empleado en la aplicación.

Figura 24. Diagrama de pines del PIC.



Fuente: Espinel, González, Portillo (2010)

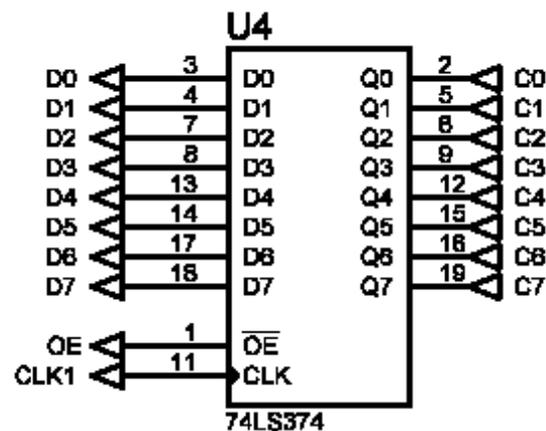
Algunas de estas características, como soportar modo de comunicación serial, poseen dos pines para ello, Amplia memoria para datos y programa. Estas características del microcontrolador PIC16F877A son las que se evaluaron para ser utilizado como puente de comunicación de los datos enviados por el PC, los cuales serán enviados en grupos de ocho bits donde los más significativos indicarán cuál es la sección o dedo que debe moverse, y los otros cuatro bits menos significativos indicarán los grados mecánicos que los dedos deben de moverse, cuando el proceso ocurra este mismo activará un bit que indicará en qué registro de memoria será guardado el dato

para poder ejecutar el movimiento. En la figura 24 se muestra como será conectado el microcontrolador.

REGISTRO DE DATOS

Un biestable, también llamado báscula (flip-flop en inglés), es un multivibrador capaz de permanecer en un estado determinado o en el contrario durante un tiempo indefinido. Esta característica se utilizará para memorizar la información enviada. El paso de un estado a otro se realiza variando sus entradas. Además de las entradas de control posee una entrada de sincronismo o de reloj. Si las entradas de control dependen a la entrada de sincronismo puede ser activada por nivel (alto o bajo) o por flanco (de subida o de bajada). Esto facilitará el manejo de datos lográndose borrar y seguidamente cargar un nuevo registro para el control de posición. En la figura 25 se muestra como será conectado el registrador.

Figura 25. Diagrama de pines del registro de datos.

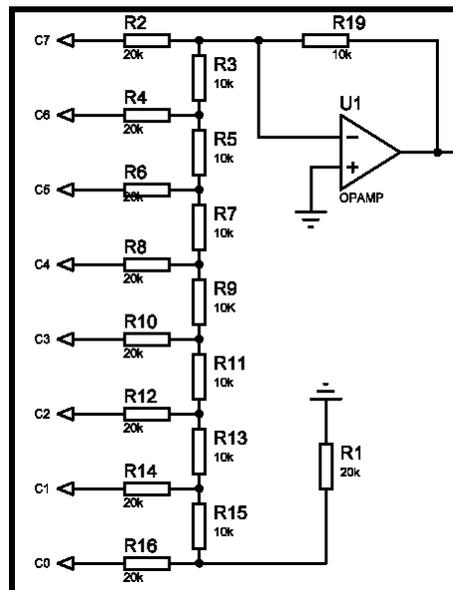


Fuente: Espinel, González, Portillo (2010)

CONVERTIDOR DIGITAL ANALOGICO

Mediante una suma ponderada de los dígitos de valor 1 se consigue, en forma muy simple, un conversor digital-analógico rápido; la ponderación puede hacerse con una serie de resistencias en progresión geométrica (cada una mitad de la anterior), lo cual obliga a utilizar un amplio rango de resistencias, o bien mediante una red R-2R que efectúa sucesivas divisiones por 2. Este caso se trata de una red R-2R donde puede convertirse una tensión en número binario a través de la comparación entre la tensión de entrada, se trata de aproximar el resultado analógico a aquel cuya correspondiente tensión analógica es igual a la de entrada. La realización del conversor con esta tecnología requiere sólo de disponer de un conjunto de resistencias de precisión de valores como se muestra a continuación en la figura 26.

FIGURA 26. Diagrama del R-2R



Fuente: Espinel, González, Portillo (2010)

ACTUADOR NITINOL O FLEXINOL

La función física del Nitinol se asemeja a los músculos biológicos. Cuando está activo éste se contrae, para activar el Nitinol se calienta por encima de su temperatura de transición (aproximadamente 70°C), donde una corriente eléctrica pasa a través de él para calentarlo. El movimiento de contracción se puede aplicar a cualquier tarea que requiera movimiento físico de baja o moderada velocidad, la facilidad de uso permite un funcionamiento silencioso para reemplazar los motores pequeños o solenoides.

Flexinol es un nombre comercial para los alambres de aleación con memoria de forma de actuador, hechos de níquel-titanio (Nitinol), estos alambres de poco diámetro contraen (típicamente entre el 2% y el 5% de su longitud) como músculos de accionamiento eléctrico cuando se calientan. Esta capacidad de flexión o acortar es una característica de ciertas aleaciones que cambian dinámicamente su estructura interna a determinadas temperaturas.

TABLA 16. PROPIEDADES DEL NITINOL

Diámetro (pulgadas)	Resistencia (Ohm/Pulg)	Máxima Aplicación (gramos)	Corriente	Tiempo de contracción (segundos)	Tiempo de apagado (70° C/segundo)	Tiempo de apagado (90°C/segundo)
			aproximada tomando en cuenta la temperatura			
0.015	0.2	2000	2750	1	13.0	10.0

Fuente: Espinel, González, Portillo (2010)

Hay que tomar en cuenta que la contracción en tiempo es directamente proporcional con la corriente eléctrica aplicada, las directrices son aproximadas, y que otros factores como la temperatura ambiente, corriente de aire, y la disipación de calor depende del dispositivo específico, las características necesarias se muestran en la tabla 16.

Cabe destacar que la vida útil del Nitinol se mide según el porcentaje de contracción que sea aplicado, dicho esto, si este es contraído entre en 8% y el 10% de su longitud total un millón (1.000.000) de veces se reducirá su acción entre el 5% y 6%.

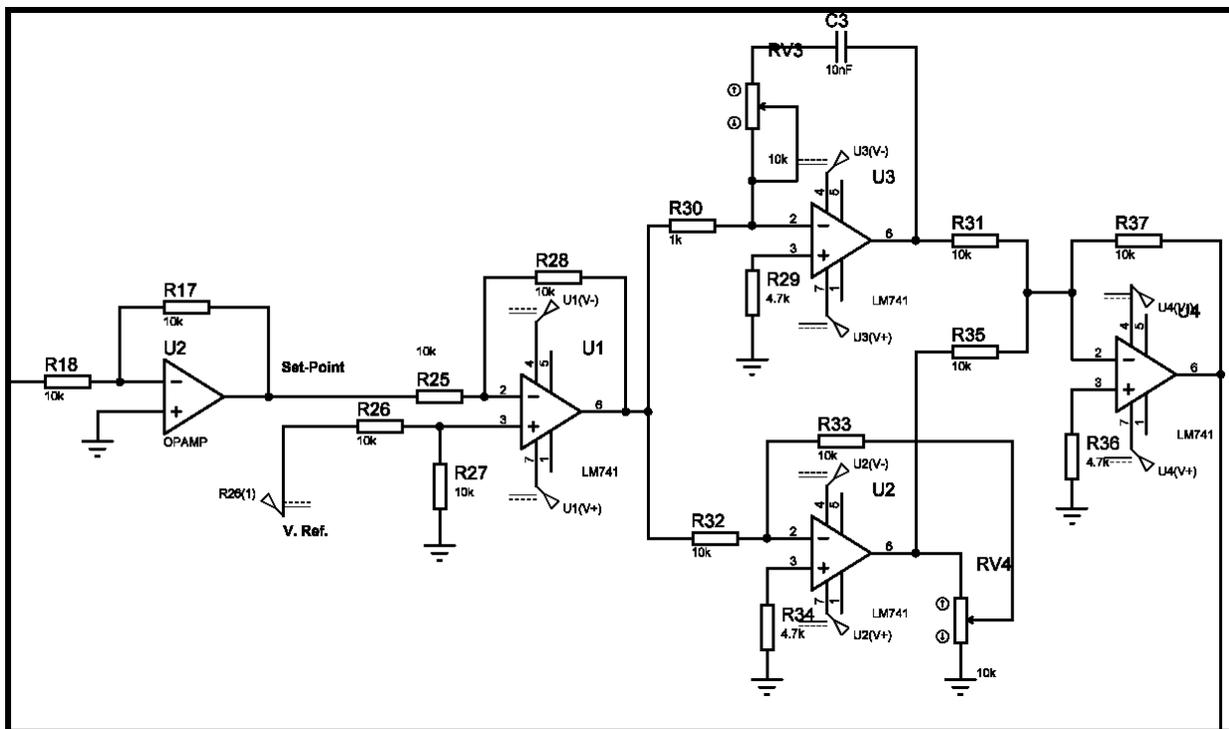
CONTROLADOR PI A LAZO CERRADO Y ETAPA DE RETROALIMENTACION

Un PI (Proporcional Integral) es un mecanismo de control por realimentación que se utiliza en sistemas de control. Un controlador PI corrige el error entre un valor medido y el valor que se quiere obtener calculándolo y luego sacando una acción correctora que puede ajustar al proceso acorde. El algoritmo de cálculo del control PI se da en dos parámetros distintos: el proporcional y el integral. El valor Proporcional determina la reacción del error actual. El Integral genera una corrección proporcional a la integral del error, esto asegura que aplicando un esfuerzo de control suficiente, el error de seguimiento se reduce a cero.

La suma de estas dos acciones es usada para ajustar al proceso vía un elemento de control como lo será un potenciómetro en la conexión de las falanges. La respuesta del controlador puede ser descrita en términos de respuesta del control ante un error, el grado al cual el controlador llega al "set point", y el grado de oscilación del sistema. El

uso de un controlador PI es particularmente eficaz, ya que la acción derivativa es muy sensible al ruido, y la ausencia del proceso integral puede evitar que se alcance al valor deseado debido a la acción de control. En la figura 27 se muestra el diseño y valores del controlador proporcional e integrativo a utilizar en el control de la mano robótica antropomórfica.

FIGURA 27. Diagrama del PI.



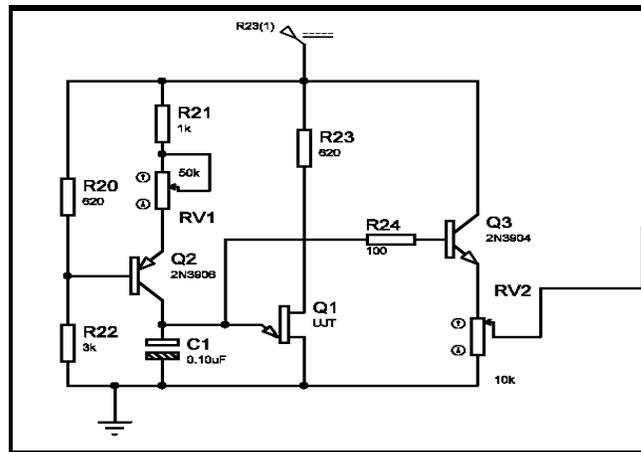
Fuente: Espinel, González, Portillo (2010)

GENERADOR PWM

Consiste en la modulación por ancho de pulsos de una señal que modificará el ciclo de trabajo de una señal periódica, para transmitir información a través de un

comparador para controlar la cantidad de energía que se enviara al Nitinol. El ciclo de trabajo de la señal periódica es el ancho relativo de su parte positiva en relación con el período.

FIGURA 28. Diagrama del PWM.

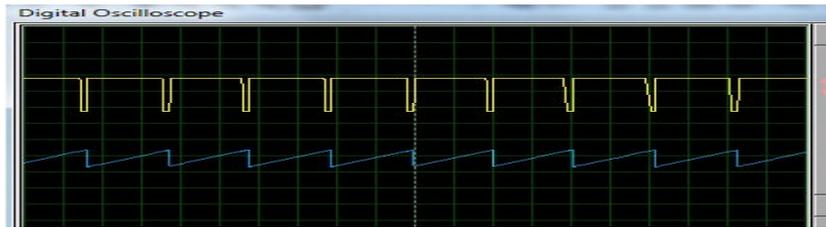


Fuente: Espinel, González, Portillo (2010)

La construcción típica de un circuito PWM se lleva a cabo mediante un comparador con dos entradas y una salida. Una de las entradas se conecta a un oscilador de onda dientes de sierra, mientras que la otra queda disponible para la señal moduladora. En la salida la frecuencia es generalmente igual a la de la señal dientes de sierra, y el ciclo de trabajo está en función de la portadora. En la figura 28 se muestra el diseño y valores del PWM.

Al momento de realizar la modulación de pulso mediante una resistencia que simularía el control se observa su correcto funcionamiento a través de la simulación realizada, la respuesta se observa en la figura 29 y 30 al momento de realizar la variación del potenciómetro.

Figura 29. Variación del PWM primer estado.



Fuente: Espinel, González, Portillo (2010)

Figura 30. Variación del PWM segundo estado.



Fuente: Espinel, González, Portillo (2010)

Seguidamente se presenta, la realización del quinto objetivo específico de la investigación, dirigido a **Realizar la materialización de los diseños propuestos.**, conjuntamente con la fase 4 y 8 de la metodología titulada **Adaptación entre el Hardware y el Software e Integración del Hardware con el Software** respectivamente. Al aplicarla a este objetivo se realizaron diferentes actividades tales como: **revisión documental, observación y estudio de caso.** El resultado de la aplicación del software anteriormente mostrado para realizar el mecanizado que se muestra en las figuras 31 y 32 muestra el acabado luego de terminada la pieza a través de la fresadora.

Figura 31. Vista frontal del enlace.



Fuente: Espinel, González, Portillo (2010)

Para la realización del orificio de conexión entre falange se acudió a la utilización de un dremel ya que la fresadora no disponía para su utilización una profundidad mayor a centímetro y medio.

Figura 32. Vista lateral derecha del enlace.



Fuente: Espinel, González, Portillo (2010)

Figura 33. Vista lateral izquierda del enlace.



Fuente: Espinel, González, Portillo (2010)

Continuando con el mecanizado se mostrará en la figura 33 el resultado de la falange que realiza la conexión con la palma de la mano, se procedió de igual forma a la utilización del dremel para realizar los orificios de conexión para cada uno de los puntos más extremos.

Figura 33. Vista lateral del enlace de conexión para la palma A1



Fuente: Espinel, González, Portillo (2010)

Al momento de realizar el canal de conexión entre las falanges se debió acudir nuevamente al dremel, ya que en la fresadora no poseía los grados de movimientos que permitieran la realización de esta sección, este proceso se realizó para las cinco falanges respectivamente en cada uno de los extremos para ser posible los movimientos de flexión y extensión, entre las falanges y la palma antropomórfica de la mano. Este proceso se puede observar en la figura 34 y su acabado en la figura 35.

Figura 34. Vista lateral del enlace de conexión para la palma A2



Fuente: Espinel, González, Portillo (2010)

Figura 35. Vista lateral del enlace de conexión para la palma con utilización del dremel.



Fuente: Espinel, González, Portillo (2010)

Posteriormente se realizo la conexión de las dos falanges realizadas a través de los dos procesos anteriormente descritos con el mecanizado utilizando la fresadora y el dremel como se muestra en la figura 36, 37 y 38 respectivamente .

Figura 36. Vista inferior de los enlaces.



Fuente: Espinel, González, Portillo (2010)

Figura 37. Vista invertida de los enlaces.



Fuente: Espinel, González, Portillo (2010)

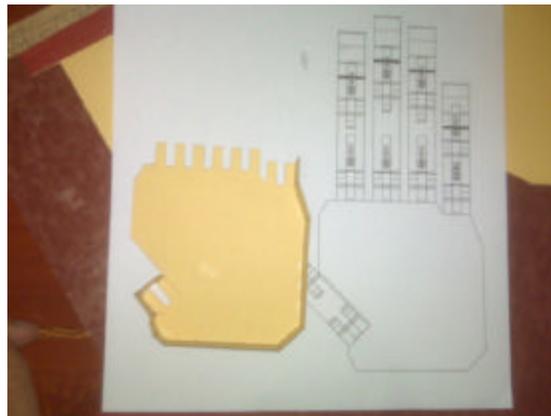
Figura 38. Vista superior de los enlaces.



Fuente: Espinel, González, Portillo (2010)

El proceso anteriormente descrito se realizó para cada uno de los enlaces hasta completar los cinco dedos antropomórficos que componen la mano. Para la realización de la palma se procedió a la realización de un molde como se muestra en la figura 39 para luego proceder al vaciado de la cera en estado líquido.

Figura 39. Molde de la palma.



Fuente: Espinel, González, Portillo (2010)

Para el calentamiento de la cera se recurrió a la utilización de un envase de aluminio como se muestra en la figura 40 para luego ser vertido en el molde como se muestra en las figuras 41.

Figura 40. Recipiente de la palma.



Fuente: Espinel, González, Portillo (2010)

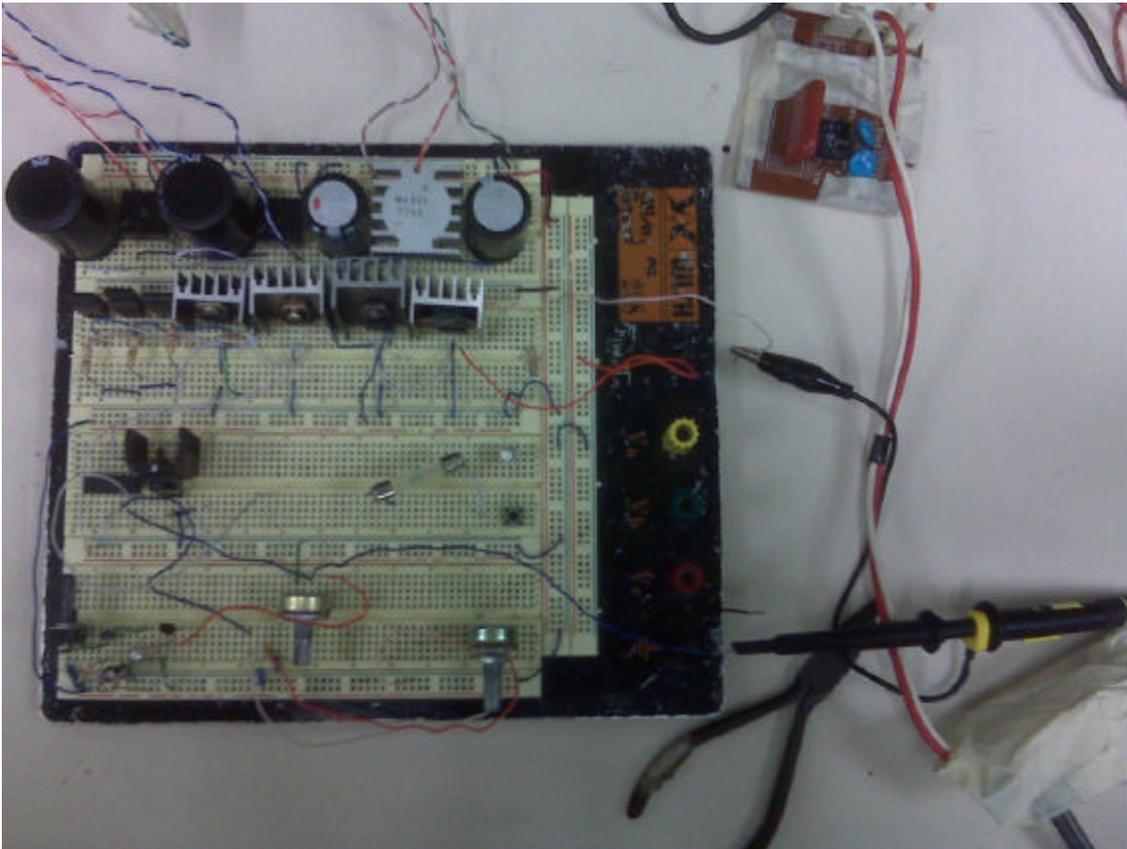
Figura 41. Molde de la palma vaciada.



Fuente: Espinel, González, Portillo (2010)

Para las pruebas del circuito se recurrió a la utilización de una tabla de prueba para observar el correcto funcionamiento de cada una de las etapas de los circuitos como se muestran a continuación en la figura 42.

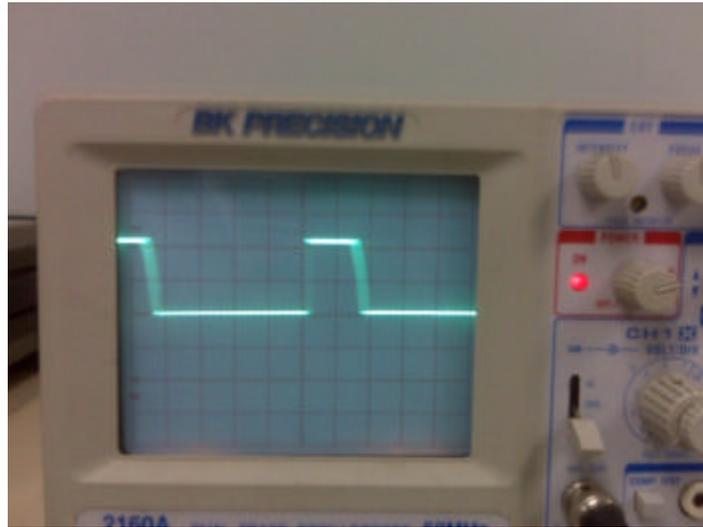
Figura 42. Circuitos de control de acción en la tabla de prueba



Fuente: Espinel, González, Portillo (2010)

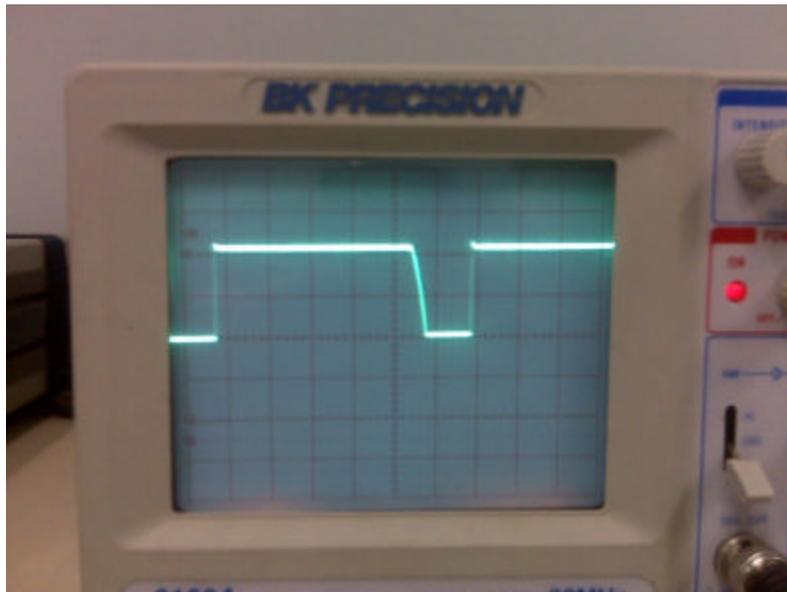
Al momento de energizar el circuito la respuesta del mismo junto al sistema de control realizado en la simulación fueron similares trascendiendo a la inexistencia de problemas a la hora de su aplicación como se muestra en las figuras 43 y 44.

Figura 43. Respuesta del sistema controlador junto al PC



Fuente: Espinel, González, Portillo (2010)

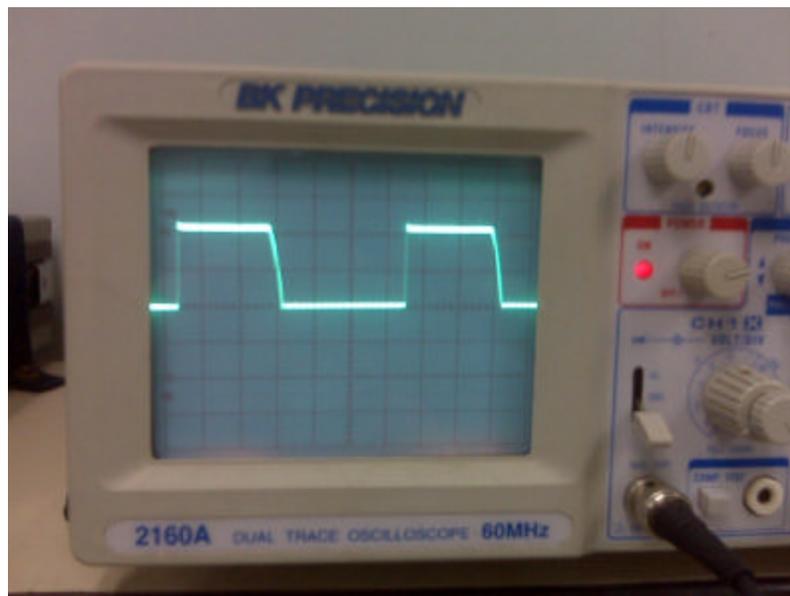
Figura 44. Respuesta del sistema controlador al momento de la variación A



Fuente: Espinel, González, Portillo (2010)

La integración del hardware y el software hasta la etapa de conexión con el Flexinol da resultados deseados, como se ha mostrado en las figuras 43, 44 y 45 respectivamente, aunque la respuesta del Flexinol hasta los momentos no se encuentra en una etapa lineal.

Figura 45. Respuesta del sistema controlador al momento de la variación B



Fuente: Espinel, González, Portillo (2010)

Seguidamente se presenta, la realización del sexto objetivo específico de la investigación, dirigido a **verificar mediante pruebas el correcto funcionamiento del sistema para su posterior depuración**, conjuntamente con la fase 7 y 9 de la metodología titulada **Depuración del software, Construcción del Prototipo definitivo**

y las **Pruebas Finales** respectivamente. Al aplicarla a este objetivo se realizaron diferentes actividades tales como: **observación y estudio de caso**.

El software no presentó mayores complicaciones ya que su respuesta fue la deseada como se observó en el capítulo anterior. Con respecto a cada uno de los circuitos cada uno fueron montados en baquelitas como se muestra en la figura 46, para ser factible y fiable su uso y movilidad.

Figura 46. Resultado final de montaje en baquelita

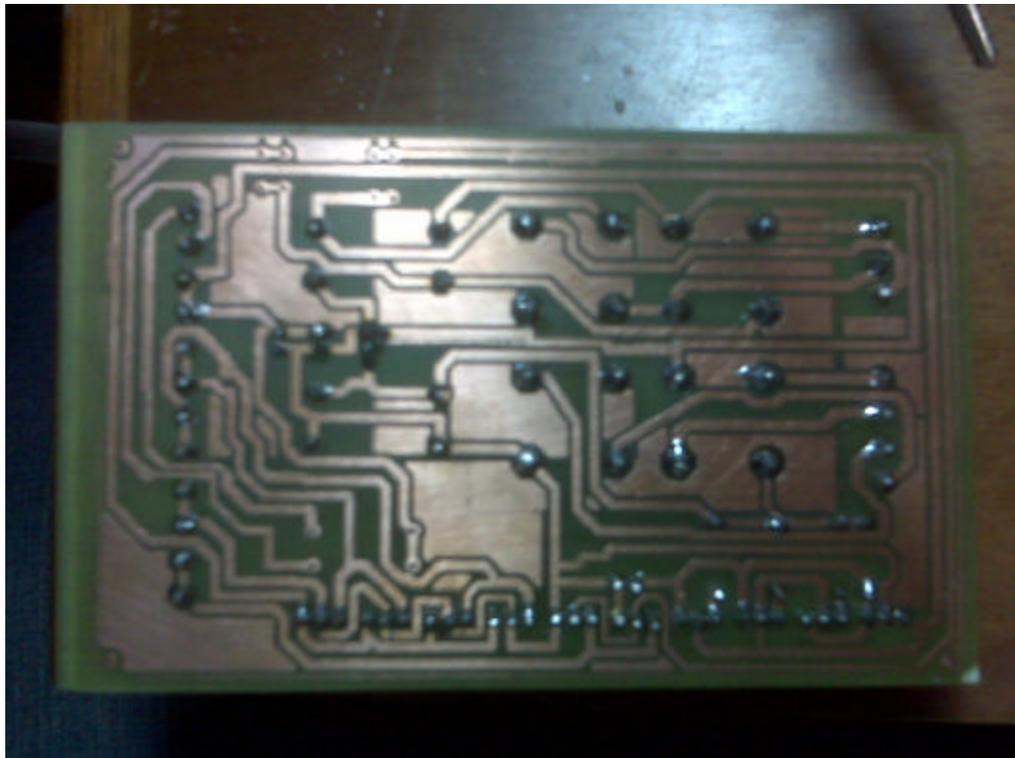


Fuente: Espinel, González, Portillo (2010)

De igual forma se realizó las soldaduras con estaño de 40 vatios, y con las técnicas de soldaduras aprendidas durante el transcurso de la carrera conjuntamente con los

diferentes laboratorios cursados, el resultado del mismo se puede observar en la figura 47.

Figura 47. Soldaduras de las placas



Fuente: Espinel, González, Portillo (2010)

Con respecto a los enlaces se realizó un tallado a mano de dos de los enlaces, ya que se dificultó la realización de los mismos por medio de la fresadora de igual forma se procedió a realizar el esculpido de los restantes falanges con la utilización de un bisturí para obtener una forma lo más posiblemente humana como se muestra en la figura 48 y

49 respectivamente donde se observaran los cinco enlaces seguidamente de otro ángulo de vista.

Figura 48. Esculpido con bisturí



Fuente: Espinel, González, Portillo (2010)

Figura 49. Esculpido de enlace Índice



Fuente: Espinel, González, Portillo (2010)

De igual forma se observa el resultado final de cada uno de los enlaces que componen la mano antropomórfica en la figura 50.

Figura 50. Enlace finales



Fuente: Espinel, González, Portillo (2010)

El resultado final de la conexión de los enlaces junto a la palma antropomórfica cumpliendo con el objetivo de la tesis del desarrollo de una mano antropomórfica controlada por medio de una PC se puede observar en la figura 51, donde se muestra las conexiones de cada una de las partes y la gran similitud que la misma posee con respecto a una mano humana, dando la posibilidad de ser utilizada en el área de la medicina como forma proteica para las personas que son lisiadas de la extremidades superiores, seguidamente en la figura 52 se muestra el resultado de la mano antropomórfica visualizándose los efectores finales.

Figura 51. Mano antropomórfica



Fuente: Espinel, González, Portillo (2010)

Figura 52. Mano antropomórfica con enlaces



Fuente: Espinel, González, Portillo (2010)