



**UNIVERSIDAD MICHUACANA DE SAN
NICOLÁS DE HIDALGO**

**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA MECÁNICA

SISTEMA DE ACTUACIÓN DE UNA MANO ARTIFICIAL

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA MECÁNICA

PRESENTA:

ING. ALEJANDRO AGUILAR REYES

ASESOR:

DR. IGNACIO JUÁREZ CAMPOS

MORELIA, MICHUACÁN, MARZO 2010





UNIVERSIDAD MICHOACANA
DE
SAN NICOLAS DE HIDALGO

*Bicentenario de la Independencia y Centenario de la Revolución Mexicana 1810-1910-2010
44 años Impulsando el Desarrollo de la Ingeniería Mecánica.*

División de Estudios de Posgrado
Fac. de Ing. Mec. Num. Ofic. 91/02/10

ING. ALEJANDRO AGUILAR REYES
ALUMNO DEL PROGRAMA DE ESTUDIOS
DEL POSGRADO DE LA FACULTAD
DE INGENIERÍA MECÁNICA

P R E S E N T E

La Coordinación de la División de Estudios de Posgrado, se permite dar contestación a su solicitud del 11 de febrero de 2010, para informarle que se aprueba el tema de tesis propuesto "Sistema de Actuación de una Mano Artificial", para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecánica. Fungiendo como asesor de tesis el .Dr. Ignacio Juárez Campos.

Sin otro particular y por el momento le envió un cordial saludo.

Morelia, Mich., a 12 de febrero del 2010

A T E N T A M E N T E

DR. GILDARDO SOLORIO DÍAZ
COORDINADOR DEL PROGRAMA DE LA MAESTRÍA
EN CIENCIAS EN INGENIERÍA MECÁNICA DE LA U. M. S. N. H.



DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO
FAC. DE ING. MECÁNICA

DEDICATORIAS

Cuando miro atrás, me doy cuenta que las cosas que recibo cuando me puse en manos de Dios son mejores de lo que me hubiera imaginado.

A DIOS por darme la oportunidad de existir y guiarme en el camino de la vida.

A mi madre María felicitas Reyes N. de quien he recibido el apoyo durante este tiempo y sobretodo su confianza, ser incondicional dentro de todas cosas que he hecho en la vida.

Gracias madre porque sin ti no sería lo que soy.

A mi hermano Ing. Amado L. por ser un ejemplo a seguir en la vida.

A Maribel por haberme alentado a iniciar esta odisea en un capítulo mas de mi vida y por el tiempo que estuvo alentándome, gracias.

À Ale qui dans le moment indiqué est arriv e ma vie, pour me rappeler tant de choses et enseigne-moi plus et chacun des moments pass s ensemble et en faisant de bons souvenirs.

Et qui m'accompagné   la fin de cette travers e avec sa lumière. Remercier Alejandra

Reuelta Hurtado ma petite Morita.  [mi siL nc;o azuL, tu jnos nc;a azuL...](#) 

AGRADECIMIENTOS

A mis amigos y compañeros Carlos, Miguel  ngel, Daniel, Mauricio, Edgar y todos los demás que me alentaron para realizar este trabajo, a Verónica A. gracias por su apoyo.

Al Dr. Ignacio Juárez Campos asesor del presente trabajo, por su colaboración y su tiempo empleado en la elaboración de este proyecto, gracias por la confianza depositada en mí.

Al grupo 24 horas Morelia y a cada uno de sus integrantes por tener la paciencia que siempre han tenido conmigo y su apoyo incondicional.

A la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo por ser la cuna de grandes Nicola tas y a la Facultad de Ingeniería Mecánica por darme nuevamente la oportunidad de escribir un capítulo en mí formación profesional.

A los catedráticos de la Facultad de Ingeniería Mecánica por compartir sus conocimientos y su importante ayuda en la realización de este trabajo.

ÍNDICE

Resumen

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes.	2
1.1.1 Historia de las prótesis.	3
1.1.2 Clasificación de las prótesis.	5
1.2 Estado del Arte.	7
1.3 Justificación.	13
1.4 Objetivos.	13
1.4.1 Objetivos específicos.	13
1.5 Establecimiento de hipótesis.	14
1.6 Estructura de la Tesis.	14

CAPITULO II: DESCRIPCIÓN DE LA MANO ARTIFICIAL

2.1 La Mano Humana.	15
2.1.1 Movimientos de la Mano.	17
2.1.2 Función de la Mano y músculos del antebrazo.	18
2.2 Descripción general del diseño de la Mano Artificial.	22
2.2.1 Mecanismo de Cuatro Barras Articuladas.	24
2.3 Especificaciones de la Mano Artificial.	25
2.3.1 Características generales de la Mano Artificial.	26

CAPITULO III: DISEÑO DEL SISTEMA DE ACTUACIÓN

3.1 Análisis de la necesidad.	32
3.1.1 Cinemática de La Mano Humana.	32
3.2 Diseño conceptual.	34
3.2.1 Etapas de Diseño conceptual.	35
3.3 Diseño de detalle.	37
3.3.1 Definición y determinación de parámetros principales	38
3.3.1.1 Distancia o desplazamiento de cada una de las articulaciones.	39
3.3.1.2 Fuerza necesaria para mover las articulaciones.	40
3.3.1.3 Determinación de dimensiones y diseño base Músculos.	42
3.3.2 Estructura y principio del funcionamiento del musculo neumático.	48
3.3.2.1 Modelo Geométrico estático.	54
3.3.2.2 Modelado Membrana Músculo Neumático.	56
3.3.2.2.1 Ensayos de materiales.	57
3.3.2.2.2 Análisis de esfuerzos membrana.	62
3.3.2.2.3 Diseño de molde para el musculo.	66

3.3.2.4 Diseño de conexión aire y anclaje, y Análisis de esfuerzos.	67
3.4 Componentes del sistema de actuación.	71
3.4.1 Válvulas Neumáticas.	71
3.4.2 Líneas hidráulicas (Mangueras).	75
3.4.3 Conexiones.	77

CAPITULO IV PROTOTIPO Y PRUEBAS

4.1 Prototipo del músculo neumático.	79
4.1.1 Pruebas del músculo.	81
4.2 Construcción del prototipo sistema de actuación.	84
4.3 Prueba de movimiento del sistema.	86
4.4 Integración del sistema de control.	87
4.4.1 Procesos del reconocimiento de voz.	87
4.5 Diferentes Sistemas para mover una mano.	90

CONCLUSIONES

Trabajo a futuro.	92
-------------------	----

Bibliografía.
Apéndice.

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1. Mano realizada en el proyecto Desarrollo Mecatrónico de una Mano Artificial con Propósitos Biomédicos: Parte Mecánica.	1
1.2. Prototipo mano artificial.	1
1.3. Mano a nivel del codo llamada Le petit Loraine.	3
1.4. Brazo del tipo conde Beafort.	4
1.5. Gancho desarrollado por Dorrance en 1912.	4
1.6. Prótesis de silicón del tipo cosmético.	5
1.7. Electrodo conectado a la piel de la persona.	6
1.8. Prótesis mioeléctrica.	6
1.10. Mano de Canterbury.	7
1.11. Manipulador desarrollado en la Universidad de Reading, Inglaterra.	8
1.12. Manipulador Antropomórfico teleoperado (MAT), UNAM.	8
1.13. Se muestra una serie de fotografías de la mano artificial llamada The i-Limb Hand una de las prótesis más avanzadas en la actualidad.	9
1.14. Mano artificial llamada Shadow Dextrous.	9
1.15. Se observan los sensores de presión Son los círculos de color negro.	10
1.16. Sensor táctil, en la punta de los dedos.	10
1.17. Fotografía de Gifu Hand III.	11
1.18. Prototipo de brazo MaximumOne, laboratorio de inteligencia artificial y robótica, politécnico di Milano, Italia.	11
2.1. La Mano Humana.	15
2.2. Estructura ósea de la mano.	16
2.3. Movimientos de la mano.	17
2.4. De izquierda a derecha, movimientos de pinza fina, prensión gruesa, gancho y llave, respectivamente.	18
2.5. Músculo cubital anterior.	19
2.6. Músculo extensor común de los dedos (ECD).	20
2.7. Músculo flexor largo profundo común de los dedos (FLPCD).	21
2.8. Músculo flexor largo superficial común de los dedos (FLSCD).	21
2.9. Músculo palmar mayor.	22
2.10. Esquema Final de la Prótesis.	23
2.11. Formas del mecanismo de cuatro barras.	24
2.12. En la parte inferior se muestra el diseño de la mano artificial con cuatro dedos.	26
2.13. Modelo en computadora y parte del prototipo de la mano artificial.	27
2.14. Modelo de la mano artificial.	27
2.15. Modelo de la Mano Artificial parte baja.	27
2.16. Movimientos de la mano artificial.	28
2.17. Dedo Anular de la Mano Artificial.	28
2.18. Base de la mano artificial.	29
2.19. Vistas de la base de la mano.	29
2.20. Módulo de sistema de actuación para la mano artificial.	29
3.1. Esqueleto de la Mano (cara anterior).	33

3.2 Mano artificial mostrando los cables que permiten el movimiento de la mano artificial.	33
3.3. Músculo Neumático.	36
3.4. Bosquejo del sistema de actuación para la mano artificial.	37
3.5. Obtención del desplazamiento del cable para mover la articulación.	39
3.6. Mano artificial identificación de partes.	40
3.7. Fuerza requerida para mover la articulación.	41
3.8. Arquitectura del Hombre de Vitruvio.	44
3.9. Mano artificial distancia del palmar.	45
3.10. Base de músculos neumáticos.	46
3.11. (a, b). Base de músculos neumáticos mallado simple.	46
3.12. Localización de las cargas.	47
3.13. Resultado del 1er esfuerzo Von Mises.	47
3.14. Base de músculos neumáticos.	48
3.15. Estructura de los actuadores por músculo neumático.	49
3.16. Disposición de la malla de fibras en forma de rombo.	49
3.17. a) Músculo neumático en su longitud nominal. b) Músculo contraído por el efecto de la presión interior.	50
3.18. Tipos de mallas.	50
3.19. Distribución del trenzado de la malla.	51
3.20. Diagrama de movimiento de las cuerdas.	52
3.21. Diagrama de movimiento de las cuerdas con el valor de l obtenido en mm.	53
3.22. Diagrama de movimiento del ángulo de las cuerdas.	53
3.23. Caracterización del Músculo neumático propuesto.	54
3.24. Cambio de ángulo y desplazamiento del músculo.	55
3.25. Ángulo de la Malla de vinilo.	55
3.26. Malla de vinilo reforzado.	56
3.27. Molde para fabricar las probetas.	57
3.28. Molde con probeta de látex, durante el proceso de fragua.	58
3.29. Probetas de silicón.	58
3.30. Probetas de Látex y silicón.	58
3.31. Maquina universal de ensayos.	59
3.32. Ensayo de probeta de silicón.	59
3.33. Ensayo de probeta de látex.	59
3.34. Probetas después de ensayos.	60
3.35. Grafica de materiales silicón y látex.	61
3.36. Geometría y áreas del musculo que se analiza por medio elemento finito.	62
3.37. Mallado de las áreas a analizar.	62
3.38. Restricciones y presión en el tubo de silicón.	63
3.39. Elemento PLANE182.	63
3.40. Desplazamiento en el interior del tubo de silicón.	64
3.41. Resultado por Solución de Elementos.	64
3.42. Resultado por Solución Nodal.	65
3.43. Resultado por Solución Nodal en Von Mises Esfuerzo Elástico.	65
3.44. Moldes para vulcanizado de suela de zapato.	66
3.45. Molde para Vulcanizar un tubo corrugado de silicón.	66
3.46. (a) Parte inferior del Molde, (b) centro o corazón del molde.	67

3.47. Cavidades y centro del molde completo.	67
3.48. Conexiones para mangueras.	68
3.49. Mallado y aplicación de cargas.	68
3.50. Distribución de esfuerzos en Nodal Solution.	69
3.51. Mallado y aplicación de cargas.	69
3.52. Distribución de esfuerzos en Nodal Solution.	70
3.53. Conexiones de anclaje, parte inferior.	70
3.54. Conexiones parte inferior y superior del músculo.	70
3.55. Válvulas marca NORGREN.	72
3.56. Sub-base NORGREN.	73
3.57. Sub-base NORGREN con las electroválvulas.	74
3.58. Algunos tipos de mangueras de nylon, también se muestran algunos coples.	76
3.59. Manguera Rexroth.	77
3.60. Conexiones usadas en el sistema.	77
4.1. Parte interna del músculo neumático.	79
4.2. Parte del musculo recubierto con la malla.	80
4.3. Músculo neumático terminado.	80
4.4. Conjunto de Músculos Neumáticos.	80
4.5. Peso del Músculo neumático.	81
4.6. Peso final de los 11 músculos.	81
4.7. Prueba del Músculo neumático.	82
4.8. Prueba de desplazamiento del músculo neumático.	82
4.9. Medida tomada para realizar la prueba de desplazamiento.	82
4.10. Músculo levantando un peso de 2 kg.	83
4.11. Construcción del prototipo del sistema.	84
4.12. Arreglo de los músculos neumáticos.	85
4.13. Prototipo de Sistema de Actuación Terminado.	85
4.14. Secuencia de movimientos del aductor dedo índice.	86
4.15. Componentes de una aplicación.	88
4.16. Circuitos electrónicos reconocimiento de voz.	89
4.17. Integración final del prototipo con el reconocimiento de voz.	89
4.18. Movimientos del aductor por medio del comando de voz.	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Principales características de diseños de manos Robóticas en las últimas décadas.	12
Tabla 3.1 Desplazamiento para mover cada parte de la mano.	40
Tabla 3.2 Fuerza para mover las articulaciones.	42
Tabla 3.3 Propiedades del Aluminio 6061.	46
Tabla 3.4 Propiedades Típicas del Silicón.	57
Tabla 3.5 Resultados de la maquina universal de ensayos.	60
Tabla 3.6 Diámetro de mangueras disponibles Rexroth.	77
Tabla 4.1 Desplazamiento de los músculos.	83

RESUMEN

El proyecto se centro en el desarrollo de un sistema que permite el movimiento de las articulaciones de la prótesis de una mano, la cual tiene cuatro dedos y consta de once falanges sujetas a movilidad y tres de las cuales están sujetas a un mecanismo de cuatro barras, dentro de la revisión bibliográfica se encuentran varios tipos de sistemas que van desde la utilización de servomotores, motores eléctricos en cada una de las falanges e inclusive músculos neumáticos, que cumplen esta función pero de costos elevados y que se encuentran fuera de la región, la realización del estudio de la mano y del funcionamiento necesario para el desarrollo de un sistema de actuación que nos permita la funcionalidad de la prótesis de la mano y que cumpla con los requerimientos necesarios de la misma, por medio de un programa computacional de elemento finito se estudiaron y analizaron tipos de materiales que sirvieron para la fabricación de un músculo neumático de 5 mm de diámetro y un espesor de pared de 1.5 mm con una longitud de 16 cm, de la membrana el material utilizado se realizo pruebas de tracción en la maquina universal de ensayos, el músculo funciona con aire a una presión de 7 bar, se realizo pruebas en cada uno de los músculos realizados obteniendo así su desplazamiento.

Se construyo un prototipo de actuación constituido de once músculos neumáticos accionados por un banco de electroválvulas y este banco controlado por un sistema de control de voz, el cual se integra al final para lo cual el programa original del comando de voz fue adaptado para accionar las electroválvulas.

Palabras clave: Prótesis mecatrónica, mano artificial, músculo neumático, interfaz por reconocimiento de voz, método de elementos finitos.

ABSTRACT

The project focuses on developing a system that allows movement of the joints of the prosthetic hand, which has four fingers and phalanges contains eleven subject to mobility and three of which are subject to a four-bar mechanism, within the literature review found several types of systems ranging from the use of servo motors in each of the phalanges and even pneumatic muscles that perform this function but high costs and which are outside the region, the study of the hand and the operation necessary for the development of a performance system which allows the functionality of the prosthetic hand and meets the necessary requirements thereof, by means of a finite element computer program were studied and analyzed types of materials used to manufacture a pneumatic muscle 5 mm in diameter and a wall thickness of 1.5 mm with a length of 16 cm, the membrane material used tensile test was performed on the machine Universal testing, muscle operates with air at a pressure of 7 bar test was performed in each muscle performed thus obtaining their displacement.

Built a prototype of performance consisting of eleven pneumatic muscles activate by a electric-valve bank and this bank controlled by a voice control system, which integrates the end for which the original program was adapted voice command to activate the electric-valve.

Keywords: Prosthesis mechatronics, artificial hand, pneumatic muscle, voice recognition interface, finite element method.

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

El desarrollo e investigación de prótesis humanas en el país es muy limitada, la necesidad de prótesis es latente en nuestra sociedad, así mismo de los diferentes mecanismos para la acción de los movimientos, la realización de un Sistema de Actuación de una Mano Artificial, es la continuación del proyecto desarrollado por el Dr. Ignacio Juárez Campos y el Ing. José Angel Espinoza Arceo con el nombre de “*Desarrollo Mecatrónico de una Mano Artificial con Propósitos Biomédicos: Parte mecánica*” figura 1.1, y proyectos realizados anteriormente.

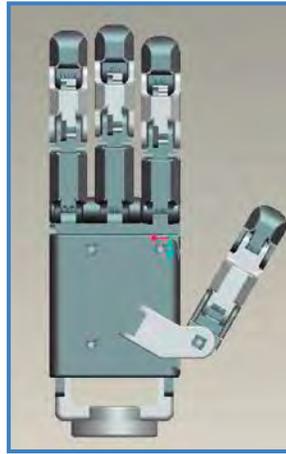


Figura 1.1. Mano prototipo en el proyecto Desarrollo Mecatrónico de una Mano Artificial con Propósitos Biomédicos: Parte Mecánica. [1]

Se parte de las necesidades particulares de la mano artificial, obtener la fuerza y desplazamiento requerido para mover cada una de las articulaciones, mediante un Sistema de Actuación que proporcione el movimiento de las articulaciones, cumpliendo con las necesidades mecánicas y ergonómicas.

En la figura 1.2 se observa un prototipo de la mano artificial del proyecto donde los cables, (en blanco) representan los tendones de la mano que efectúan los movimientos de los dedos a través de un sistema de actuación.



Figura 1.2. Prototipo mano artificial.

1.1. Antecedentes

La Discapacidad se reconoce como un problema mundial. Las Naciones Unidas reconocen que para alcanzar los objetivos de desarrollo, es importante considerarlos como parte integrante de la sociedad. Independientemente del lugar del mundo en el que se encuentren, la vida de los discapacitados con frecuencia se ve limitada por obstáculos físicos o sociales.

La Discapacidad: Es cualquier restricción o impedimento de realizar una actividad en forma o dentro del margen que se considera normal para el ser humano. Esta se caracteriza por excesos o insuficiencias en el desempeño de una actividad rutinaria normal.

En México, cifras del INEGI señalan que en el año 2000, en México vivían 1.8 millones de personas con discapacidad, de las cuales 52.6% eran hombres y 47.4% mujeres. Generalmente en los distintos grupos de edad existe un mayor porcentaje de hombres con discapacidad en relación con las mujeres, excepto en la población de 60 años y más [2].

La discapacidad se clasifica en:

Motriz 45.3 %,
Visual 26 %
Mental 16.1 %
Auditiva 15.7 %
Del lenguaje 4.9 %

La discapacidad motriz: la limitación de movimiento de aquellas personas que por causa de enfermedad, accidente o como resultado de haber participado en algún conflicto armado estén únicamente limitados en su normal desplazamiento físico, y necesitan para ello el uso de silla de ruedas, muletas, prótesis, etc.

Los resultados del Censo del INEGI, del 2000, indican que hay ocho personas con discapacidad motriz por cada mil habitantes en el país, es decir, poco más de 814 mil personas. De ellas, 76.2% vive en localidades urbanas y 23.8% en rurales. Cabe señalar que la mitad de la población con discapacidad motriz (50.4%) es mayor de 60 años, lo que permite suponer que ésta se encuentra asociada al proceso de envejecimiento; por otro lado, 38.5% se concentra en la población en edad laboral y 10.1% es menor de 15 años. Los traumatismos constituyen una de las principales causas de la discapacidad motriz.

Las principales causas de traumatismos son:

Los accidentes automovilísticos y laborales
Heridas por arma blanca y de fuego
Las guerras
Ataques terroristas
Desastres naturales
Enfermedades (como la diabetes)
Muerte de tejidos por envenenamiento

Niveles de Amputación en los miembros superiores, en general son:

- A nivel de los dedos
- A nivel de la muñeca
- A nivel del Codo (Antebrazo)
- A nivel del Hombro

Una prótesis es un elemento desarrollado con el fin de mejorar o reemplazar una función, una parte o un miembro completo de un cuerpo afectado, por lo tanto, una prótesis para el paciente y en particular para el amputado, también colabora con el desarrollo psicológico del mismo, creando una percepción de totalidad al recobrar movilidad y al mismo tiempo completar su imagen corporal

1.1.1. Historia de las prótesis

La primera prótesis de miembro superior registrada data del año 2000 a. C., fue encontrada en una momia egipcia; la prótesis estaba sujeta al antebrazo por medio de un cartucho adaptado al mismo.

Con el manejo del hierro, el hombre pudo construir manos más resistentes y que pudieran ser empleadas para portar objetos pesados, tal es el caso del general romano *Marcus Sergius*, que durante la Segunda Guerra Púnica (218-202 a. C.) fabricó una mano de hierro para él, ésta es la primera mano de hierro registrada

No es sino hasta el siglo XVI, que el diseño del mecanismo de las prótesis de miembro superior se ve mejorado considerablemente, gracias al médico militar francés *Ambroise Paré*, quien desarrolló el primer brazo artificial móvil al nivel de codo, llamado "*Le petit Loraine*" mostrado en la figura 1.3.



Figura 1.3. Mano a nivel del codo llamada *Le petit Loraine*.

En el siglo XIX se emplean el cuero, los polímeros naturales y la madera en la fabricación de prótesis; los resortes contribuyen también al desarrollo de nuevos mecanismos para la fabricación de elementos de transmisión de la fuerza, para la sujeción, entre las innovaciones más importantes al diseño de las prótesis de miembro superior, se encuentra la del alemán *Peter Beil*. El diseño de la mano cumple con el cierre y la apertura de los dedos pero, es controlada por los movimientos del tronco y hombro contra lateral, dando origen a las prótesis autopropulsadas. Otra modificación importante en el diseño de prótesis de miembro

superior fue la del escultor holandés *Van Petersen*, que logra el movimiento de flexo-extensión a nivel de codo con el sistema de autopropulsión. Más tarde, el Conde *Beafort* da a conocer un brazo con flexión del codo activado al presionar una palanca contra el tórax, aprovechando también el hombro contra lateral como fuente de energía para los movimientos activos del codo y la mano. La mano constaba de un pulgar móvil utilizando un gancho dividido sagitalmente, parecido a los actuales ganchos *Hook*. La cual se muestra en la figura 1.4.

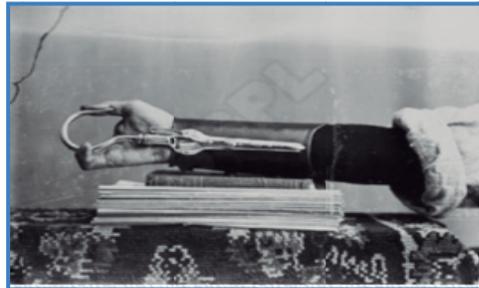


Figura 1.4 Brazo del tipo conde Beafort.

Para el siglo XX, el objetivo de que los amputados regresaran a su vida laboral, es alcanzado gracias a los esfuerzos del médico francés *Gripoulleau*, quien realizó diferentes accesorios que podían ser usados como unidad terminal, tales como anillos, ganchos y diversos instrumentos metálicos, que brindaban la capacidad de realizar trabajo de fuerza o de precisión.

En el año de 1912, Dorrance en Estados Unidos desarrolló el gancho (*Hook*), que es una unidad terminal que permite abrir activamente, mediante movimientos de la cintura escapular, además se cierra pasivamente por la acción de un tirante de goma. El cual se muestra en la figura 1.5.



Figura 1.5. Gancho desarrollado por Dorrance en 1912.

Casi al mismo tiempo fue desarrollado en Alemania el gancho *Fischer* cuya ventaja principal era que poseía una mayor potencia y diversidad en los tipos de prensión y sujeción de los objetos. Cinco años más tarde, en Estados Unidos se fundó la “*American Limb Makers Association*”, lo que produjo una revolución en los materiales empleados para la construcción de prótesis humanas, volviéndose más ligeros y dúctiles. En esta época se generaliza la utilización de fibras sintéticas, polímeros y aleaciones de aluminio.

El origen de las prótesis activadas por los músculos del muñón se da en Alemania gracias a *Sauerbruch*, logra idear cómo conectar la musculatura flexora del antebrazo con el mecanismo de la mano artificial, mediante varillas de marfil que hacía pasar a través de túneles cutáneos, haciendo posible que la prótesis se moviera de forma activa debido a la contracción muscular.

Es hasta 1946 cuando se crean sistemas de propulsión asistida, dando origen a las prótesis neumáticas y eléctricas. Un sistema de propulsión asistida es aquel en el que el movimiento es activado por algún agente externo al cuerpo. Uno de los sistemas protésicos de propulsión asistida es el neumático, el cual fue empleado de manera recurrente durante la crisis de dismelia (anomalía congénita caracterizada por la carencia ó excesiva encogimiento de las extremidades), en Alemania en 1962, debido a que ésta brindaba la opción de que el paciente mantuviera la función táctil activa, gracias a las prótesis de terminal abierto, las cuales son un sistema de fijación en el que el muñón asoma por el final de la prótesis.

Las prótesis con mando mioeléctrico comienzan a surgir en el año de 1960 en Rusia. Esta opción protésica funciona con pequeños potenciales extraídos durante la contracción de las masas musculares del muñón, siendo estos conducidos y amplificados para obtener el movimiento de la misma. En sus inicios, este tipo de prótesis solo era colocada para amputados de antebrazo, logrando una fuerza prensora de dos kilos.

En 1962 surgen las prótesis de esqueleto cilíndrico, las cuales poseen un armazón formado por tubos metálicos o de diferentes materiales sintéticos, cubiertos de una sustancia esponjosa, logrando así una apariencia más cercana a la de un brazo sano. Esta prótesis se desarrolló en la Universidad de Münster, Alemania.

1.1.2. Clasificación de las prótesis

Algunas pueden ser más apropiadas que otras dependiendo de muchos factores, incluyendo el nivel de amputación, el estado de la extremidad residual, las metas y los requerimientos de trabajo individuales.

No todas las personas son buenas candidatas para recibir una prótesis y aun cuando lo sean, muchas deciden no usar su prótesis. La mitad de todos los amputados de extremidad superior reciben alguna vez servicios protésicos. De esos amputados, casi la mitad decide no usar su prótesis después de haberla recibido.

1. Prótesis cosmética: La restauración cosmética o reproducción del brazo o la mano contra lateral es una opción protésica muy popular. Esto implica reemplazar lo que se perdió con la amputación o la deficiencia congénita usando una prótesis que tenga un aspecto similar al brazo o la mano no afectada y proporcione un sencillo dispositivo de ayuda para el equilibrio y la carga de objetos ligeros.



Figura 1.6. Prótesis de silicón del tipo cosmético

2. Prótesis accionada por el cuerpo: Una prótesis accionada por el cuerpo, a la que se le denomina en ocasiones prótesis convencional, es accionada y controlada por los movimientos generales del cuerpo.

Las prótesis accionadas por el cuerpo encierran varias ventajas. Debido a su diseño sencillo, este tipo de prótesis es sumamente duradera y puede usarse para tareas que implican el contacto con el agua y el polvo y en otros ambientes potencialmente nocivos.

3. Prótesis híbrida: Una prótesis híbrida combina la acción del cuerpo con el accionamiento por electricidad en una sola prótesis. En su gran mayoría, las prótesis híbridas sirven para individuos que tienen amputaciones o deficiencias arriba del codo.

4. Prótesis accionada por electricidad: Esta categoría de prótesis usa pequeños motores eléctricos para proporcionar funcionalidad. Estos motores pueden hallarse en el dispositivo terminal (la mano o el gancho), la muñeca o el codo. Una prótesis accionada por electricidad utiliza un sistema de batería recargable para alimentar los motores.

El *control mioeléctrico* se basa en el concepto de que siempre que un músculo en el cuerpo se contrae o se flexiona, se produce una pequeña señal eléctrica (**EMG**) que es creada por la interacción química en el cuerpo. Esta señal es muy pequeña (5 a 200 micro voltios). Un micro voltio es una millonésima parte de un voltio.

El uso de sensores llamados electrodos que entran en contacto con la superficie de la piel permite registrar la señal EMG. Una vez registrada, esta señal se amplifica y es procesada después por un *controlador* que conmuta los motores encendiéndolos y apagándolos en la mano, la muñeca o el codo para producir movimiento y funcionalidad.

En las figura 1.7. Se muestra la implantación de los sensores a los músculos para registrar la señal eléctrica y permitir el funcionamiento de la prótesis. En la figura 1.8. Se observa la prótesis mioeléctrica. [3]



Figura 1.7. Electrodo conectados a la piel de la persona



Figura 1.8. Prótesis mioeléctrica

Con controles teleoperados usan interruptores, los cuales hacen accionar a los servomotores, este funcionamiento se da mediante un dispositivo de accionamiento o interruptores los cuales se conectan mediante un arnés, de los servomotores y al control. [4]

5. Prótesis Específica a una Actividad: Esta opción protésica está diseñada específicamente para una actividad, en la cual el uso de prótesis accionadas por el cuerpo o accionadas por electricidad o prótesis híbridas impondría limitaciones inaceptables sobre la funcionalidad o la durabilidad. [5]

1.2. Estado del Arte

La mano de Canterbury, utiliza eslabones mecánicos movidos directamente para actuar los dedos en forma similar a la mano humana. El movimiento directo de los eslabones se utiliza para reducir los problemas que presentan otros diseños de manos. Cada dedo de esta mano tiene 2.25 grados de libertad, la parte fraccionaria se debe al mecanismo para extender los dedos que es compartido por cuatro dedos. Los motores de corriente directa tienen una reducción por engranes 16:1, su tamaño es de 65 mm de largo y 12 mm de diámetro. (Figura 1.10.)

Los dedos cuentan con sensores de presión en cada articulación y en la punta de los dedos, lo que hace que cada dedo tenga cuatro sensores de presión, dos motores de corriente directa, dos codificadores ópticos y un sensor de efecto Hall. El pulgar tiene un motor y tres sensores de fuerza, mientras que la palma tiene las funciones de abrir todos los dedos y la rotación del pulgar, lo cual implica dos motores, dos codificadores ópticos, dos sensores de efecto Hall y tres sensores de fuerza. Todo esto da un total de 91 cables, por lo que se requirió un sistema de control distribuido utilizando Semiconductores Cypress. Este microprocesador actualmente es capaz de controlar la posición y velocidad, mientras que la cinemática y comandos complejos se calculan en una computadora.

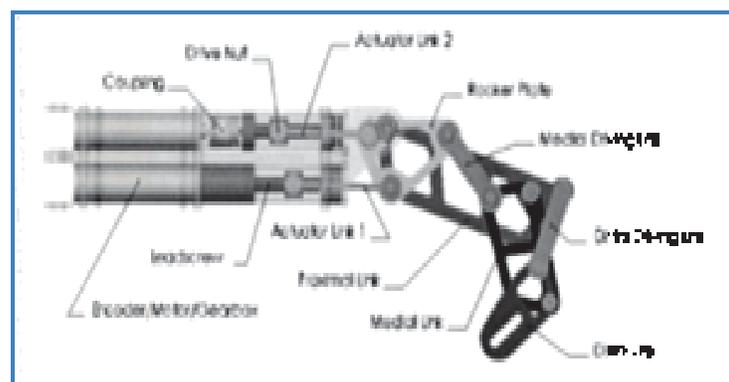


Figura 1.10. Mano de Canterbury.

El manipulador desarrollado en la Universidad de Reading Inglaterra, propone el uso de cables Bowden (chicotes) dirigidos a cada unión como el medio para actuar los dedos. Este diseño simplifica el control de la mano al eliminar el acoplamiento entre juntas y permite la

traslación directa y precisa entre las juntas y los motores que mueven los cables. La cinemática de los dedos se simula con mayor precisión al permitir dos grados de libertad con el mismo centro de rotación en el nudillo más grande de la mano. Esta mano incluye sensores en las yemas de los dedos para incrementar la precisión en la sujeción. En la figura 1.11. Se muestra el prototipo de esta mano.

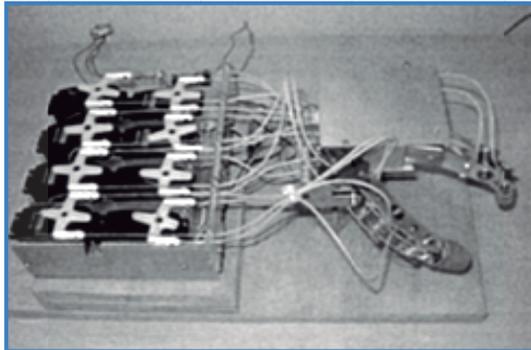


Figura 1.11. Manipulador desarrollado en la Universidad de Reading, Inglaterra

En octubre del 2006, un grupo de investigadores del Instituto Politécnico Nacional llevan a cabo la construcción de una mano robótica multiarticulada con movimientos de precisión única a nivel mundial, que podrá tener un desempeño similar a una extremidad humana y aplicaciones en procesos de producción industrial, médica y en labores cotidianas de hogar.

El Manipulador Antropomórfico Teleoperado (MAT), diseñado en el departamento de ingeniería mecatrónica de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, cuenta con trece grados de libertad, de los cuales cuatro están en el pulgar y tres en cada uno de sus otros tres dedos. Esta mano fue diseñada para teleoperación y no para una prótesis. La actuación de cada uno de los grados de libertad se realiza por medio de cables que funcionan como tendones, conectados a servomotores que no están montados sobre la mano, sino en un banco de actuadores. Para la instrumentación de este manipulador se utilizó un control PID. El MAT se muestra en la figura 1.12. [6]

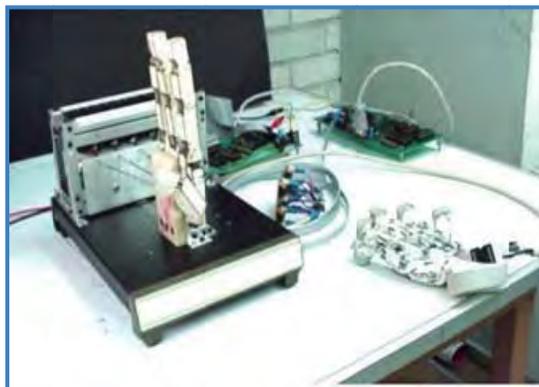


Figura 1.12. Manipulador Antropomórfico teleoperado (MAT), UNAM.

The i-Limb Hand, es una de las prótesis más avanzadas en la actualidad. Utiliza las últimas técnicas de Ingeniería Mecánica, es la primera prótesis en el mercado con motores individuales de cada dedo, está fabricada con polímeros de alta resistencia, es muy ligera y funcional, pero es costosa. [7]

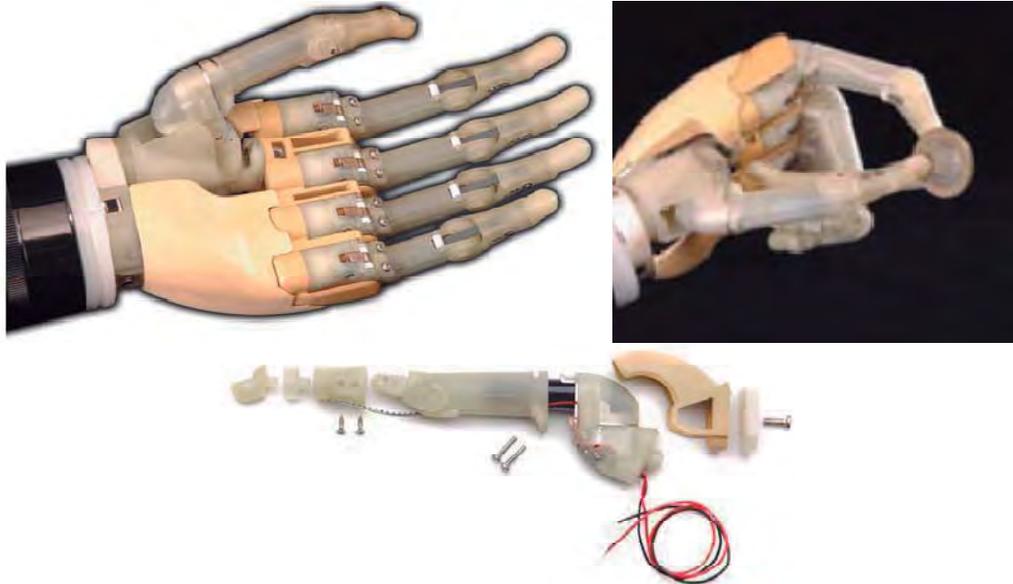


Figura 1.13. Se muestra una serie de fotografías de la mano artificial llamada *The i-Limb Hand* una de las prótesis más avanzadas en la actualidad.

La mano Shadow Dextrous, es un sistema de mano humanoide que reproduce 24 grados de libertad de movimientos de la mano de un humano, de la manera más exacta posible. La han diseñado para que tenga una fuerza y sensibilidad de movimiento, comparables a los de la mano humana, en las figuras 1.14, se muestra la mano artificial. [8]



Figura 1.14. Mano artificial llamada *Shadow Dextrous*,

Esta mano usa músculos de aire (Air Muscles) o mejor conocidos músculos neumáticos, se comportan de una manera muy similar a un músculo biológico. Cuando se les inyecta aire comprimido, se contraen hasta alcanzar un 40 % de su longitud original. A medida que se van contrayendo, la fuerza que ejercen se reduce, pero la primera parte del recorrido es suficientemente potente.

El avance tecnológico en los últimos años, en el desarrollo e investigación de las manos robóticas en el mundo es muy notable y la complejidad de ellas es muy elevada, usando sensores muy sofisticados para la sujeción de los objetos, en las figuras 1.15 y 1.16 se muestran dos ejemplos, su funcionamiento es muy variado, abarcando; gran parte de las áreas de ingeniería mecánicas, hidráulicas, neumáticas, electrónica, etc.

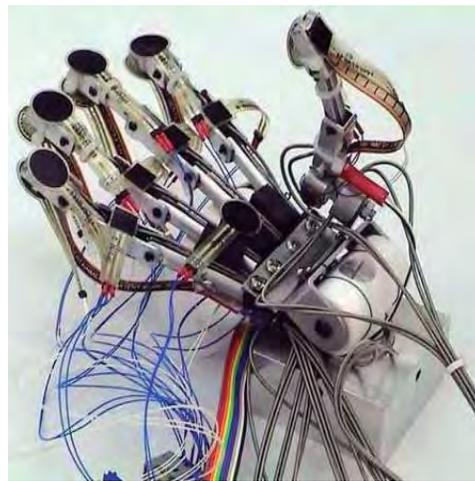


Figura 1.15. Se observan los sensores de presión. Son los círculos de color negro.

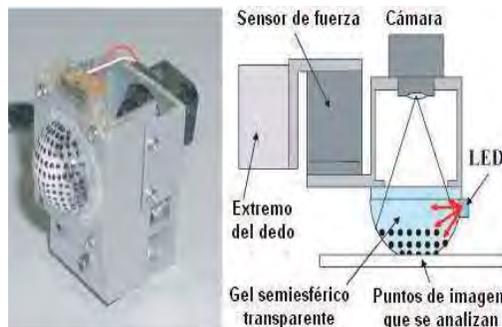


Figura 1.16. Sensor táctil, en la punta de los dedos.

La mano Gifu Hand III, esta mano artificial fue desarrollada en Japón, cuenta con 5 dedos, 20 articulaciones con 16 GDL. El pulgar tiene 4 articulaciones con 4 GDL, los 4 dedos restantes tienen 4 articulaciones y 3 GDL, esta mano artificial se ha desarrollado con el objeto de agarrar y manipular objetos, es pequeña y ligera con un peso de 1.4 kilogramos. Los movimientos de las articulaciones están dirigidos por pequeños servomotores acoplados dentro de las falanges, por lo que la hace ligera (Fig. 1.17) [9].

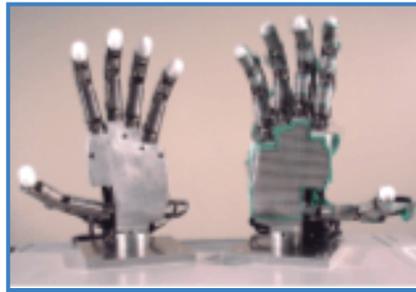


Figura 1.17. Fotografía de Gifu Hand III.

Prototipo de Brazo, desarrollado en el laboratorio del departamento Politécnico di Milano Italia, el cual considera la muñeca y mano; todavía está bajo desarrollo, las dos partes juntas dan un total de cuatro grados de libertad, el hombro consiste en una junta esférica con tres grados de libertad, y el codo con una junta rotacional de un grado de libertad, las juntas son movidas por tendones conectados con McKibben músculos artificiales, cada músculo está equipado con un sensor de fuerza montado en serie con el actuador, el sistema de actuación está compuesto por siete músculos, esto le permite una total actuación de las juntas pero al mismo tiempo tiene una mínima arquitectura, figura 1.18.[10]

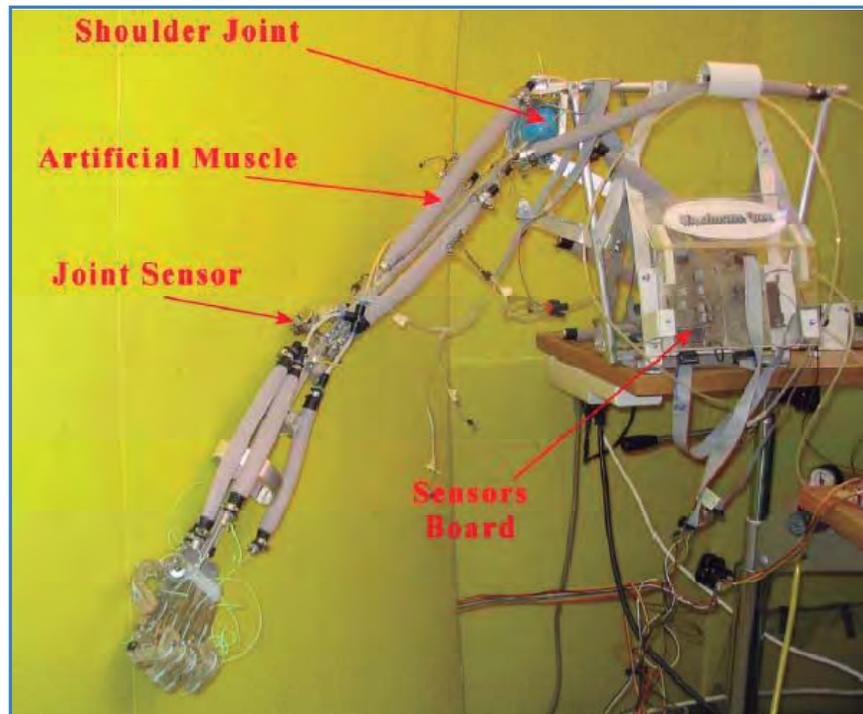


Figura 1.18. Prototipo de brazo MaximumOne, laboratorio de inteligencia artificial y robótica, politécnico di Milano, Italia.

En las últimas décadas el desarrollo de prótesis o manos artificiales para diferentes usos ha sido un continuo interés por diferentes instituciones y empresas privadas, donde las características de funcionamiento de las manos son similares y aunadas al desarrollo de nuevos materiales con los cuales se fabrican. En la tabla 1 se muestran los principales diseños durante las últimas décadas en la investigación y desarrollo de manos artificiales. [11]

Tabla 1.1 Principales características de diseños de manos Robóticas en las últimas décadas.

1	2	3	4	5	6	7	8
Mano Okada	Laboratorio electro-técnico, Japón	1979	4 (Y)	11	11	Motor eléctrico de giro	Okada 1986
Mano Stanford/JP L	Universidad Stanford	1983	3 (N)	9	9	Motor eléctrico de giro (DC)	Salisbury 1983 Chase 1997, Fearing 187
Mano Utah/MIT	Universidad Utah	1985	4 (Y)	16	16	actuadores Neumáticos	Jacobsen 1986, McCammon 1990, Johnston 1990
Mano Belgrade/USC	Universidad de Belgrado	1988	5 (Y)	18	4	DC Motors	Bekey 1990
Mano Barret	Barret Technology, Inc	1988	4 (N)	8	4	Motor eléctrico de giro (Brushless)	Townsend 2000 Barret Hand
Mano UB II	Universidad de Boloña	1992	4 (N)	13	13	Motor eléctrico de giro	Melchiorri 1992 Melchiorri 1993, Bonivento 1993
Mano DLR I	Centro aero espacial DLR-Alemania	1997	4 (Y)	16	13	Motor eléctrico de giro	Butterfass 1999 Liu 1999
Mano LMS	Université de Poitiers	1998	4 (Y)	17	16	Motor eléctrico de giro	Gazeau 2001
Mano DIST	DIST-Università di Genova	1998	5 (Y)	16	16	Motor eléctrico de giro	Caffaz 1998 Dist hand webpage
Mano Robonaut	NASA Johnson Centro Espacial	1999	5 (Y)	22	14	Motor eléctrico de giro (Brushless)	Lovchik 1999, Ambrose 2000 Robonaut pagina web
Mano Tokyo	Universidad de Tokyo	1999	5 (Y)	16	12	Músculos Neumáticos	Lee 1999
Mano DLR II	Centro aero espacial DLR-Alemania	2000	4 (Y)	17	13	Motor eléctrico de giro	Butterfass 2001
Mano Tuat/Karlsruhe	Universidades de Tokyo y Karlsruhe	2000	5 (Y)	24	1	Motor eléctrico de giro	Fukaya 2000
Mano Ultralight	Centro de Investigación Karlsruhe	2000	5 (Y)	18	13	Neumático	Kawasaki 2001
Mano Gifu	Universidad Gifu	2001	5 (Y)	20	16	Built-in DC Maxon y servomotores	Jacobsen 1986 Kawasaki 1999
Mano Shadow	Shadow Robot Company Ltd	2002	5 (Y)	23	23	Músculos Neumáticos	Shadow hand Pagina Web
GIFU HAND III	Touch Bionics	2007	5(Y)	26	26	Mioelectrico	Touch Bionics Pagina Web 2007

Columna 1: Nombre del Diseño, Columna 2: instituto de Investigación, Columna 3: Año, Columna 4: Numero de Dedos, Columna 5: Numero de juntas, Columna 6: Grados de libertad, Columna 7: Tipo de Actuador, Columna 8: Referencia

1.3. Justificación

El desarrollo e investigación de prótesis funcionales con propósitos biomédicos es reducida en el país, y las prótesis existentes son de un alto costo en el mercado. Asimismo, darle continuidad al proyecto “*Desarrollo Mecatrónico de una Mano Artificial con Propósitos Biomédicos*” e incorporar el Sistema de Actuación para el funcionamiento de la mano.

1. Satisfacer las necesidades inmediatas de un sistema de actuación de la mano que ayude a realizar funciones básicas en general como sujetar objetos pequeños y ligeros.

2. Parte del proyecto consiste en hacer que este tipo de equipos sea más accesible económicamente, esto se puede lograr haciendo que su fabricación sea local, se pretende usar materiales que sean accesibles y se puedan encontrar localmente

3. La posibilidad de construir y comercializar de la misma en un futuro, la creación de una industria que construya este tipo de equipo con tecnología básicamente mexicana.

1.4. Objetivo General

Diseñar un Dispositivo de Actuación para mover las Articulaciones de una Mano Artificial con propósitos biomédicos, con el cual se realice los movimientos de las articulaciones, teniendo en cuenta aspectos relacionados con funcionalidad, estética y peso.

1.4.1. Objetivos específicos

- ◆ Realizar un estudio de los movimientos necesarios que tiene la prótesis para efectuar actividades.
- ◆ Valorar el funcionamiento correcto del Sistema de Actuación para ejecutar los movimientos característicos de una mano humana.
- ◆ Construir el prototipo del sistema de actuación que permita el movimiento de las falanges de la mano.
- ◆ Realizar la publicación de los resultados, obtenidos del prototipo del sistema de actuación.
- ◆ Realización del trabajo de tesis para obtener el grado de Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica.

1.5. Establecimiento de la hipótesis

Es posible realizar un Sistema de Actuación hidráulico, neumático ó eléctrico, capaz de hacer los movimientos requeridos por las falanges de una prótesis de una mano, para que asemeje a la mano humana, con grados de movimiento y flexibilidad para que se adapte a diferentes formas de sujeción requeridas.

1.6. Estructura de la Tesis

El presente trabajo está dividido en cinco capítulos y un apéndice. Comprende desde la justificación así como el estado del arte actual en esta área. Descripción de la mano tanto como del prototipo actual, el diseño de los componentes del sistema de actuación, hasta llegar a un prototipo final.

El capítulo I

Hace referencia a la importancia de este proyecto como continuación “*Desarrollo Mecatrónico de una Mano Artificial con Propósitos Biomédicos*”, y antecedentes que se tienen para el desarrollo del mismo. Con lo concerniente a los antecedentes se hace una extensa investigación bibliográfica sobre los mecanismos y lo relevante a la historia de las prótesis. Además muestra lo relevante del estado del arte, en el cual se pueden encontrar prótesis muy funcionales de miembro superior que han sido desarrolladas en el mundo.

El capítulo II

En este apartado también se presenta una amplia explicación de la mano humana, así como los movimientos que realiza, y *la analiza la mano* artificial, así como la función de los músculos, el mecanismo de cuatro barras, las especificaciones y características de la mano artificial.

El capítulo III

Tomando en cuenta la necesidad de la cual se desarrolló este proyecto, así como las especificaciones para lo que fue planteado. Con esto se obtiene el diseño del sistema de actuación. Asimismo realizar de los diseños de los componentes del sistema de actuación y la selección de accesorios del mismo para su funcionamiento, el análisis computacional de las partes diseñadas, análisis del material usado para la fabricación de la membrana del músculo.

El capítulo IV

En este apartado se realiza la construcción del prototipo del músculo neumático, así mismo el sistema de actuación se presentan los desplazamientos de cada uno de ellos y la operación del sistema, la integración del sistema de control por medio de voz.

El capítulo V

Muestra las conclusiones generales obtenidas mediante el desarrollo de este trabajo, así como el posible trabajo a futuro a desarrollar.

El apéndice

Muestra los dibujos de detalle del sistema de actuación útiles para su fabricación y dibujos del molde necesario para el vulcanizado de la membrana del músculo.

CAPITULO II: DESCRIPCIÓN DE LA MANO ARTIFICIAL

La mano del hombre, en su complejidad, se ve como una estructura perfectamente lógica y adaptada a sus distintas funciones. Su arquitectura refleja el principio de economía universal. Es uno de los más bellos logros del universo.

Es una herramienta maravillosa, capaz de ejecutar innumerables acciones, por el conjunto de movimientos efectuados con la intención de asir un objeto. Para entender las funciones que debe ejercer una mano artificial se tiene que conocer los movimientos básicos realizados por la mano humana ya que en realidad son complejos.



Figura 2.1. La Mano Humana.

2.1. La Mano Humana

La mano está dotada de una gran riqueza funcional que le proporciona una superabundancia de posibilidades en las posiciones, los movimientos y las acciones. La facultad de prensión se debe a la disposición tan particular del pulgar, que se puede oponer a todos los demás dedos.

Desde el punto de vista fisiológico, la mano representa la extremidad efectora del miembro superior que constituye su soporte y le permite adoptar la posición más favorable para una acción determinada. Sin embargo, la mano no es únicamente un órgano de ejecución, también es un receptor funcional extremadamente sensible y preciso cuyos datos son impredecibles para su propia acción. Por último, gracias al conocimiento del grosor y de las distancias que le proporciona a la corteza cerebral. Es la educadora de la vista, permitiéndole controlar e interpretar las informaciones: sin la mano nuestra visión del mundo sería plana y sin relieve. Constituye la base de ese sentido tan específico que es la esterognosia, conocimiento del relieve, de la forma, del espesor, en una palabra del espacio. También es la educadora del cerebro debido a las nociones de superficie, peso y temperatura. Es capaz, por sí sola, de reconocer un objeto, sin recurrir a la vista.

La mano cuenta con cuatro dedos similares que son: índice, medio, anular y meñique, siendo la longitud la única diferencia existente entre ellos. Los cuatro cuentan con tres falanges, llamadas proximal, medial y distal.

Las articulaciones de estos dedos se le llaman articulaciones interfalángicas distales y proximales. Las articulaciones interfalángicas distales permiten un movimiento relativo entre la falange distal y la falange media, así como las interfalángicas proximales que de igual manera permiten el movimiento relativo de las falanges medial y proximal. En la articulación metacarpofalángicas las falanges proximales se acoplan con los huesos del metacarpo para lograr los movimientos de flexión y extensión, y la aducción y abducción.

El dedo restante es el pulgar el cual sólo está dotado de dos falanges proximal y distal, es decir, el pulgar no cuenta con la falange medial, por lo que sólo cuenta con una articulación interfalángica, y las articulaciones metacarpofalángica y trapeciometacarpal. Las dos articulaciones primeras permiten que el dedo pulgar tenga movimientos de flexión y extensión, mientras que la restante permite los movimientos de aducción y abducción.

El esqueleto de la mano está formado por ocho huesos cortos, cuyo conjunto constituye el esqueleto de la muñeca o carpo, cinco huesos largos que forman el metacarpo, por último catorce huesos, también largos, llamados falanges, que constituyen el esqueleto de los dedos (Figura. 2.2.). [14]

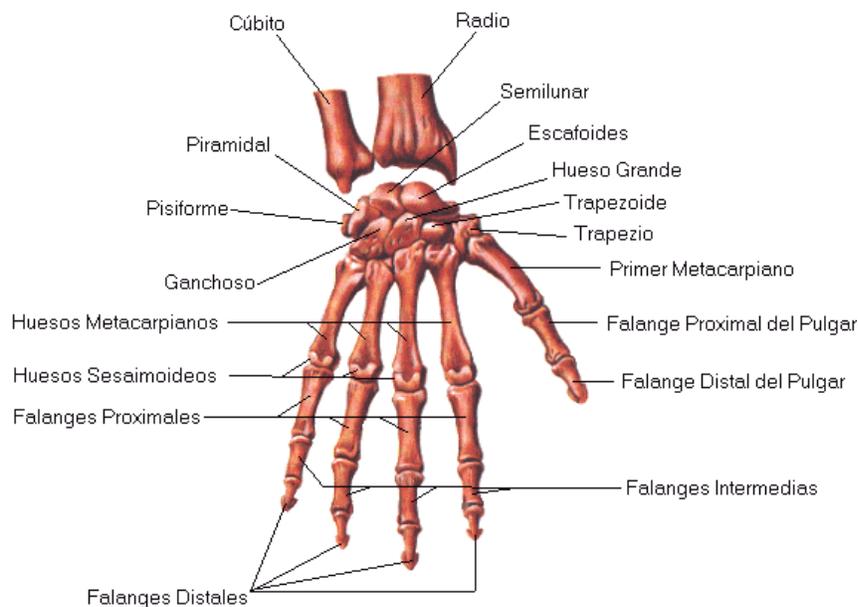


Figura 2.2. Estructura ósea de la mano.

Carpo

Los ocho huesos que lo integran están colocados en dos hileras superpuestas que, en conjunto, forman una masa ósea convexa por su cara posterior y cóncava, transversalmente, por la anterior; esta última constituye una especie de canal por donde pasan los tendones de los músculos flexores de los dedos. La hilera superior se haya formada, procediendo de afuera adentro, por los siguientes huesos; escafoides, semilunar, piramidal y pisiforme; en la hilera inferior procedido de la misma manera, se encuentran los siguientes; trapezio, trapezoide, hueso grande y hueso ganchudo. En general, los huesos del carpo poseen forma cúbica, distinguiéndose por eso en cada uno de ellos seis caras.

Metacarpo

Se halla formado por cinco huesos largos o huesos metacarpianos, que se designan como primero, segundo, tercero, cuarto y quinto, partiendo del pulgar, y forman el esqueleto de la palma y el dorso de la mano. Estos huesos se articulan proximalmente con huesos de la segunda fila del carpo. Se separan los unos de los otros para servir de base a cada uno de los cinco dedos.

Falanges

Son las que conforman los dedos, muy móviles, exceptuando el pulgar, los dedos restantes están conformados por tres falanges proximal, medial y distal, mientras que el pulgar cuenta con dos falanges proximal y distal.

2.1.1. Movimientos de la Mano

La articulación de la muñeca tiene dos grados de libertad de movimientos. Y soporta la totalidad de cualquier esfuerzo que se hace con la mano (más el propio peso de ella). Los dedos también tienen dos grados de libertad en su articulación con la palma (llamada metacarpofalángica en nuestra anatomía, ya que articula la falange proximal con el hueso metacarpiano). Uno de los movimientos (el lateral, que los permite abrir los dedos) es muy limitado, pero el otro (llamado de flexión) es extremadamente amplio (Figura 2.3.). [15]

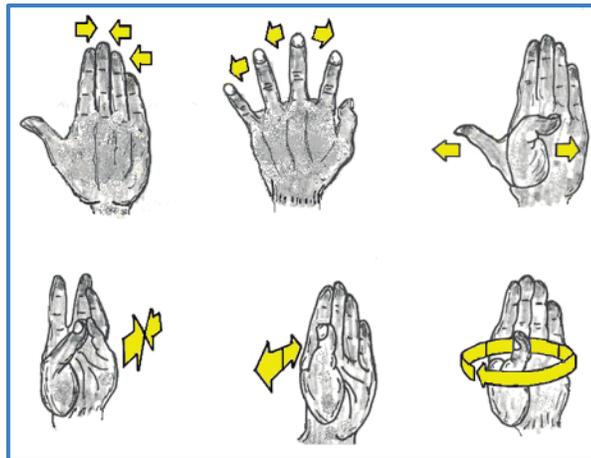


Figura 2.3. Movimientos de la mano.

El pulgar tiene una movilidad excepcional, por esto es absolutamente clave en las habilidades de manipulación, y los otros cuatro dedos se mueven de manera limitada en sentido lateral, aunque su capacidad de flexión (para abrir y cerrar la mano) es muy buena. Esta capacidad de flexionar así los dedos es muy importante para la habilidad de atrapar objetos y mantenerlos con seguridad.

En total son veintisiete elementos rígidos llamados huesos los conforman la mano humana, que son los ocho huesos que forman la muñeca de la mano o carpo (escafoides, semilunar, piramidal, pisiforme, trapecio, trapecoide, hueso grande y hueso ganchudo), cinco huesos con los que está conformado el metacarpo (primero, segundo, tercero, cuarto y quinto metacarpianos), de los cinco metacarpianos el primero es el más importante, ya que es de

suma importancia en la manipulación tan excepcional de la que es capaz de realizar la mano humana ya que este elemento permite la oposición del pulgar, los otros cuatro se pueden considerar como uno solo ya que, estos cuatro metacarpianos restantes son los que constituyen la palma de la mano. Y las falanges las cuales le dan la estructura a los dedos muy móviles (cinco falanges proximales, cuatro falanges mediales y cinco distales).

La palma de la mano es el soporte de los dedos humanos, los cuales tienen cuatro GDL cada uno, debido a esto que es altamente funcional, en total la mano cuenta con veinte GDL.

2.1.2. Función de la Mano y músculos del antebrazo

La mano realiza principalmente dos funciones, la prensión y el tacto, las cuales permiten al hombre convertir ideas en formas, la mano otorga además expresión a las palabras, tal es el caso del escultor o el sordomudo. El sentido del tacto desarrolla totalmente la capacidad de la mano, sin éste nos sería imposible medir la fuerza prensora. Es importante mencionar que el dedo pulgar representa el miembro más importante de la mano, sin éste la capacidad de la mano se reduce hasta en un 40%.

Los principales tipos de prensión de la mano son de suma importancia, ya que la prótesis deberá ser diseñada para cumplirlos. A continuación se muestran cuatro formas básicas de prensión de la mano, que combinadas cumplen con todos los movimientos realizados por ésta, los cuales son: prensión en pinza fina con la punta de los dedos, prensión en puño, gruesa o en superficie, prensión en gancho y prensión en llave. Se muestran en la figura 2.4.



Figura 2.4. De izquierda a derecha, movimientos de pinza fina, prensión gruesa, gancho y llave, respectivamente.

El uso principal de las manos es el de tomar y sostener objetos, aunque de estos usos generales derivan muchos más, debido a la gran versatilidad de movimiento del que es capaz la mano, así como por la precisión que puede alcanzar en estos movimientos. Algunos ejemplos de usos de las manos son:

- Las manos y los dedos son "utensilios" primordiales para poder comer.
- Las manos se utilizan en múltiples costumbres, como el saludo.
- Con la mano se puede gesticular, e incluso existen lenguajes de señas para la comunicación con personas sordas o con problemas auditivos. Algunos gestos pueden ser especialmente obscenos (dependiendo del país o ámbito), como también ocurre con el lenguaje verbal.
- La mano también sirve como instrumento de medida. Una mano extendida es un palmo, aunque su longitud es muy variable según la persona.

- Las personas invidentes pueden utilizar sus manos como instrumentos de lectura mediante la escritura en Braille. En esta escritura, la sensibilidad de los dedos entra en acción ya que han de ser capaces de sentir los pequeños surcos en el papel de los que se compone.
- Una mano cerrada es un puño, y puede servir para golpear o para sujetar objetos pequeños. Una mano cerrada con el dedo índice extendido sirve para señalar o tocar algo.
- También se puede sujetar un lápiz u otro instrumento similar para escribir o dibujar. La escritura es una actividad que realmente exige una gran precisión y coordinación de los distintos músculos y articulaciones que componen la mano.
- Utilizarlas para comunicarse o aliviar el dolor mediante técnicas de masaje, también denominado "tacto estructurado".
- Otro uso es el de obtener placer físico.
- La mano ha dado surgimiento a la regla de la mano derecha, que es un convenio práctico empleado en Física y Mecánica.
- Debido a la versatilidad del movimiento de la mano, ésta puede ser usada para interpretar instrumentos musicales. Entre muchas otras actividades que tiene la mano humana.

No obstante para que la mano realice las funciones básicas como se indicó anteriormente y otros movimientos, es necesario que diversos músculos realicen una función para que la mano haga los movimientos requeridos.

Para los movimientos de la mano se tiene los siguientes músculos que efectúan los movimientos básicos. El estudio de los músculos crea una idea de cómo se puede conformar el sistema de actuación de la mano artificial, los músculos más característicos del brazo son los siguientes: [16]

Músculo: Cubital Anterior

Descripción

Se localiza en el borde interno del antebrazo. Es muy voluminoso y visible por detrás.

Origen

En la epitroclea, en el olécranon y en el borde posterior del cúbito.

Inserción

En el hueso piramidal, pisiforme, ganchoso y 5º metacarpiano.

Función

Sobre la muñeca actúa realizando flexión con aducción.

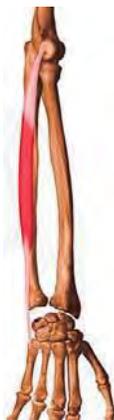


Figura 2.5. Músculo cubital anterior.

Músculo: Extensor común de los dedos (ECD)

Descripción

Se encuentra situado en la parte media de la superficie dorsal del antebrazo. Se observa por la cara posterior.

Origen

En el epicóndilo humeral.

Inserción

En la 3ª falange de los 4 últimos dedos mediante cuatro tendones que se separan después de pasar por la muñeca. Cada tendón se dirige hacia un dedo, en el que termina dividiéndose en 3 partes:

Una lengüeta central, que termina en la base de la primera y la segunda falanges.

Dos lengüetas laterales, que se vuelven a juntar en la base de la 3ª falange.

Durante su trayecto en el dorsal de la mano se emiten expansiones tendinosas entre los tendones de cada dedo, contribuyendo a generar más tensión en cada uno de los dedos. Se forma, así una maya extensora que mantiene una presión muy eficaz sobre los dedos de la mano.

En el dorso de cada dedo las expansiones tendinosas se abren a cada lado del dedo y contribuyen a recibir a tendones de músculos cortos de la mano (lumbricales e interóseos), formando otra maya extensora del dedo, llamada retináculo extensor.

Función

Extensión de la interfalángica proximal y de la muñeca. Si se mantiene flexionada la primera falange, extiende la otra. Sin embargo, si se permite la extensión de la primera falange su contracción tiene poco efecto sobre las otras dos. Además, es extensor accesorio del codo y extensor metacarpofalángico.

Como el extensor común de los dedos tiene mejor brazo de palanca sobre la muñeca. La extensión sinérgica de los dedos es imposible si no se impide que la muñeca se hiperextienda al contraerse el músculo.



Figura 2.6. Músculo extensor común de los dedos (ECD).

Músculo: Flexor Largo Profundo común de las Dedos (FLPCD)

Descripción

Está formado por dos vientres musculares aplanados y es menos potente que el superficial. Se originan en el tercio superior y cara anterior del cúbito. De ahí se forman 2 tendones que se

insertan en la cara palmar de las falanges distales de los cuatro dedos trifalángicos caminando detrás del flexor superficial.

Función

Flexión de la muñeca.

Flexión metacarpofalángica.

Flexión interfalángica proximal.

Flexión interfalángica distal.



Figura 2.7. Músculo flexor largo profundo común de los dedos (FLPCD).

Músculo: Flexor Largo Superficial común de los Dedos (FLSCD)

Función

Flexión de la muñeca.

Flexión metacarpofalángica.

Flexión interfalángica proximal.



Figura 2.8. Músculo flexor largo superficial común de los dedos (FLSCD).

Músculo: Palmar Mayor

Descripción

Se encuentra pegado al supinador largo.

Origen

En la epitroclea. Desde ahí se abre para con su borde exterior formar un ángulo con el supinador largo y para continuarse con un tendón en el 1/3 inferior del antebrazo.

Inserción

En la base del 2° metacarpiano.

Función

Flexor principal de la muñeca, pero con tendencia a la abducción de ésta.



Figura 2.9. Músculo palmar mayor.

2.2. Descripción general del diseño de la Mano Artificial

Toda prótesis por simple que está sea surgió de una necesidad, la necesidad de servir, y ser utilizada para realizar algunas actividades, como lo hacen las maravilla de extremidades superiores con las que cuenta el ser humano. Por lo cual la mano artificial propuesta en este trabajo pretende alcanzar el mayor número de capacidades motrices de la mano humana, tomando en cuenta que es impredecible conocer por completo las habilidades con las que cuenta ésta para poder hacer los movimientos a los que es sometida, de igual manera el número de partes que permiten tales movimientos.

En la mayor parte de las sujeciones de objetos que realiza el hombre con su mano primordialmente utiliza solamente tres dedos y estas sujeciones las hace de manera muy funcional y eficiente, siendo estos dedos los llamados pulgar, índice y medio.

Los dedos restantes (anular y meñique) tienen como función la de orientar el objeto, siendo el anular el correspondiente a realizar la mayoría del trabajo en la función de orientar los objetos. Se cree que en la evolución natural del hombre, el dedo meñique tienda a desaparecer debido a la poca utilidad que se le da a éste. El aspecto de la desaparición del dedo meñique se toma muy en cuenta en el desarrollo de manos artificiales, ya que se podrá reducir el número de movimientos a controlar de manera independiente y esto sería de gran ayuda para el control de dicha mano.

Observando los movimientos de la mano y la necesidad que se tiene para el desarrollo de la mano artificial y, además, contando con un estudio extra que es el estado del arte se cree que no es necesaria la utilización de cinco dedos. El movimiento de abducción de los dedos medio y anular lo podemos anular debido que es muy limitado, pero en el dedo índice no podemos descartar dicho movimiento ya que este dedo presenta un movimiento indispensable.

Omitiendo este movimiento en los dedos medio y anular se pueden quitar dos juntas que necesitan 2 GDL cada una para realizar su función, lo cual ayudaría a simplificar el número de GDL. Por otro lado, podemos notar también que existen ciertos movimientos relativos entre articulaciones, siendo los más relevantes los existentes en las articulaciones proximales y distales de los dedos índice, medio y anular.

Tal es el caso que cuando se flexiona la articulación interfalángica proximal permite la flexión en la articulación interfalángica distal, esto ocurre al momento de flexionar la articulación proximal, la articulación distal se flexiona cierto ángulo dirigido hacia la palma de la mano que es de aproximadamente dos tercios de dicho ángulo.

Tomando en cuenta el movimiento relativo existente entre las articulaciones interfalángicas se puede anclar y con esto se reduciría a once GDL que van a hacer los totales que se tomaron para el desarrollo de la prótesis.

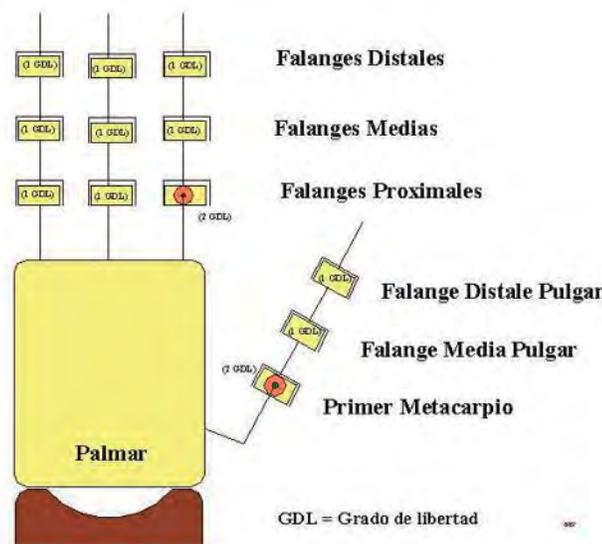


Figura 2.10. Esquema Final de la Prótesis.

La figura 2.10 muestra los movimientos que se generan y es el modelo que se siguió para el diseño de la mano artificial. Las falanges proximales al igual que las mediales tiene un movimiento posible que es de 0 a 90° en flexión hacia la palma de la mano. Cabe señalar que para asignarle el movimiento a las distales del dedo índice, medio y anular se cuenta con un sistema acoplado a las articulaciones proximales en una relación de ángulo 1.5 a 1. Es decir, cuando hacemos flexionar la articulación interfalángica proximal 90° la articulación interfalángica distal rotará solamente 60°.

Para el mecanismo, se tiene un mecanismo de cuatro barras donde la falange medial se considera como eslabón fijo, la falange distal como eslabón conductor y la falange distal como eslabón conducido de los dedos índice, medio y anular respectivamente.

La decisión de usar un mecanismo de cuatro barras articuladas es debido a que en cuanto menor sea el número de elementos necesario para realizar un trabajo, este se hace de manera más rápida y eficiente.

2.2.1. Mecanismo de Cuatro Barras Articuladas

Una de las cosas que se debe tomar muy en cuenta al momento de estar construyendo una máquina la cual sea útil para sustituir en alguna tarea al hombre, es la sencillez de dicha máquina ya que ésta es la marca distintiva entre un buen diseño y por lo tanto, genera una solución menos costosa y sin duda la más confiable.

Para solucionar el problema del movimiento relativo existente entre las articulaciones interfalángicas proximales y distales, se optó por una síntesis de eslabonamiento generalizada ya que las falanges medias y distales de los dedos, índice, medio y anular son las mismas. Para solucionar se prefirió la utilización de un mecanismo de cuatro barras cruzado, el cual sirvió para dotar de movimiento a dichas falanges.

Algo muy importante que debemos tomar en cuenta en los problemas de diseño de este tipo en la generación de la función ya que esta define cual es la correlación existente entre un movimiento de entrada con un movimiento de salida de un mecanismo.

La figura 2.11, muestra las diferentes configuraciones en las que puede trabajar el mecanismo de cuatro barras articuladas siendo la primera en paralelogramo, esta configuración es muy útil debido a que duplica exactamente el movimiento de la manivela impulsora en la manivela impulsada, este tipo de movimiento era característico de la transmisión de las locomotoras de vapor. La segunda configuración corresponde al antiparalelogramo, en esta configuración la diferencia que radica en que la manivela de salida tiene un movimiento angular diferente al de la manivela de entrada.

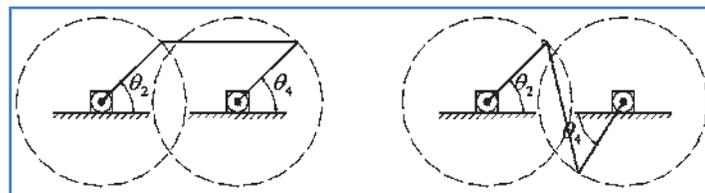


Figura 2.11. Formas del mecanismo de cuatro barras.

El eslabonamiento de cuatro barras, es una de las cadenas más básica, de eslabones conectados por pasadores que permite movimiento relativo entre los eslabones. No obstante que se trata de un mecanismo simple, las cuatro barras forman un mecanismo muy versátil usado en miles de aplicaciones. [17]

2.3. Especificaciones de la Mano Artificial

La prótesis cumple con ciertos estándares de diseño como son:

Performance

Este se refiere al desempeño que puede realizar la prótesis. El servicio y resultados que se espera tener para la mano artificial, es que la persona que la utilizó desarrolle el mayor número de actividades cotidianas posibles como son: asir objetos, además de que sea ligera y lo más cosmética posible para evitar el rechazo de las personas.

Mantenimiento

Ya que la mano artificial se utiliza en actividades cotidianas, el mantenimiento mínimo, o incluso que la misma persona que la utiliza sea capaz de darle mantenimiento.

Peso

La mano artificial debe ser lo más ligera posible, por lo que se espera que tenga un peso de entre 1 y 1.5 Kg de peso.

Estética, apariencia y acabado

Es lo más estética posible, esto, sin afectar la funcionalidad de la misma.

Materiales

Los materiales a utilizados en la fabricación del prototipo cumplan con la característica de no ser conductores de electricidad. Además, presenta buenas propiedades mecánicas.

Perfil del cliente

La persona a la que se le adaptará la mano artificial tiene 50 años y una estatura de 1.70 m, es pensionado, la mano amputada es la mano diestra (mano derecha). El nivel de la amputación se encuentra a 10 cm debajo del codo.

Forma Terminal de la mano

La mano artificial en su forma final consiste en lo más semejante a la mano humana, descartando uno de los dedos ya que no se considero para el diseño, en la figura 2.12, se muestra la diferencia entre las manos.

Teniendo en cuenta las especificaciones de la mano se consideran las mismas para la realización de un sistema de actuación que permita los movimientos en las falanges para realizar las funciones necesarias de la mano artificial conservando las características principales en el diseño y las presentes para su funcionalidad del sistema.

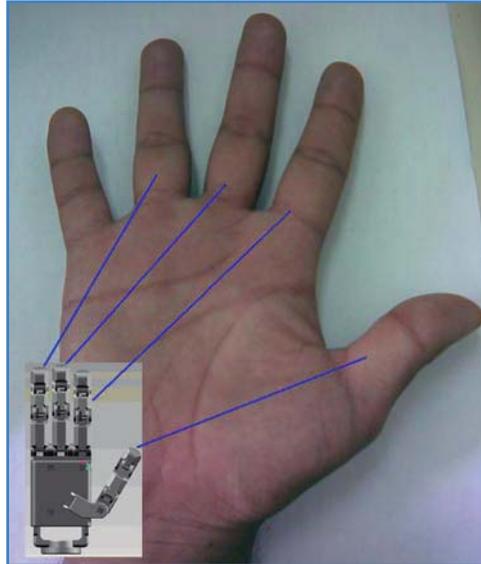


Figura 2.12. En la parte inferior se muestra el diseño de la mano artificial con cuatro dedos.

Tamaño

El tamaño final de la mano artificial para el prototipo es de:

Parámetros	Longitud en (mm)
Longitud de la falange proximal dedo índice	39
Longitud de la falange media	28
Longitud de la falange distal	22
Longitud total del dedo índice	89
Longitud de la falange proximal dedo medio	45
Longitud total del dedo medio	95
Longitud de la falange proximal dedo anular	42
Longitud total del dedo anular	92
Longitud de la falange proximal dedo pulgar	36
Longitud de la falange distal dedo pulgar	34
Longitud total del dedo pulgar	70
Alto palmar	20
Ancho palmar	68
Largo palmar	94

2.3.1. Características generales de la Mano Artificial

El modelo artificial de la mano consta de cuatro dedos que son: pulgar, índice, medio y anular. Los cuales tienen movimiento independiente uno del otro por medio de cables que actúan como tendones para realizar el movimiento de cada articulación, en la figura 2.13, se muestra parte de la mano con un dedo durante el proceso de fabricación del prototipo.

Las líneas negras que se aprecian en la figura 2.13, muestran la disposición de los cables actuadores del dedo, en totalidad la mano artificial tendrán 11 cables para el movimiento de los dedos, manteniendo un bajo peso.

Este prototipo fue creado en una máquina en la UNAM por un proceso de modelado rápido, por lo cual cuenta con algunas anomalías, la mano artificial cuenta con una base y conductos por donde se direccionan los cables que fungen en parte como tendones y a su vez al sistema de actuación que moverá los cables.

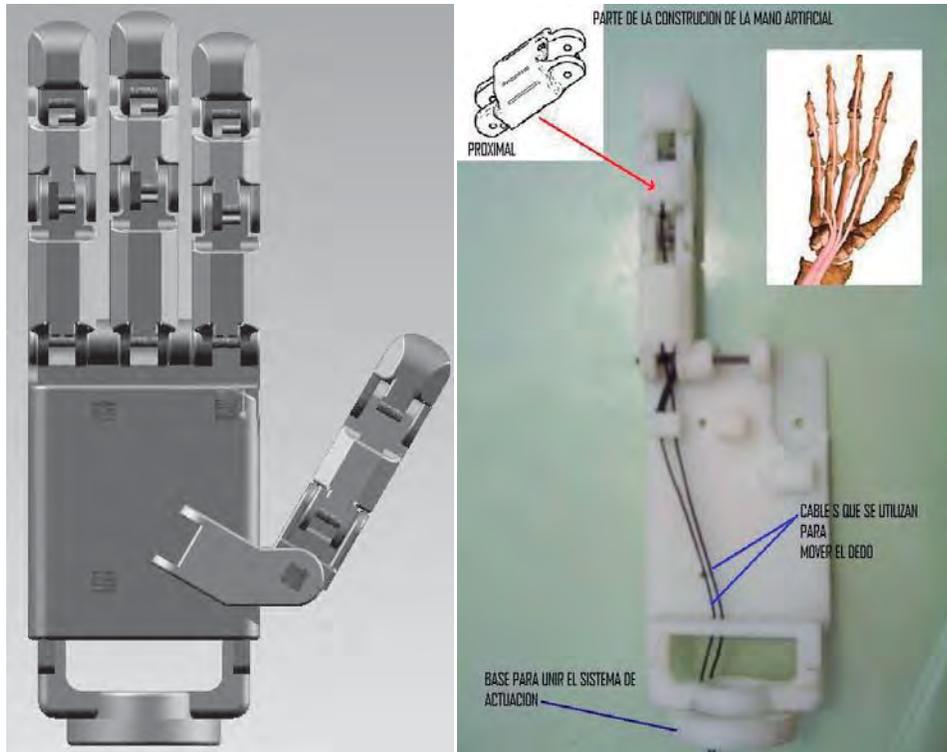


Figura 2.13. Modelo en computadora y parte del prototipo de la mano artificial.

El prototipo de la mano artificial tiene un bajo peso, cumpliendo unos de los requerimientos que se buscaba dentro del diseño, en la parte inferior de la figura 2.13, se puede apreciar la base en la cual se conectara el sistema de actuación de la misma. En las figuras 2.14, y 2.15, también se observa que esta base presenta una forma circular.



Figura 2.14. Modelo de la mano artificial.

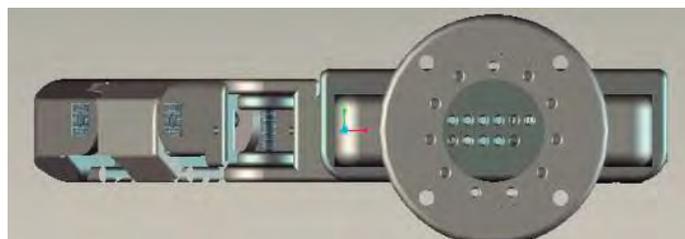


Figura 2.15. Modelo de la Mano Artificial parte baja.

La mano cuenta con cuatro dedos de diferente tamaño de los cuales dos tiene un movimiento similar, el tercero (índice) tiene movimiento lateral independiente y el dedo (pulggar) tienen movimientos lateral y hacia adentro del palmar. En la figura 2.16, se aprecia el movimiento de la mano de los dedos índice y pulgar en la figura 2.17, se muestra uno de los dedos de la mano artificial.



Figura 2.16. Movimientos de la mano artificial.

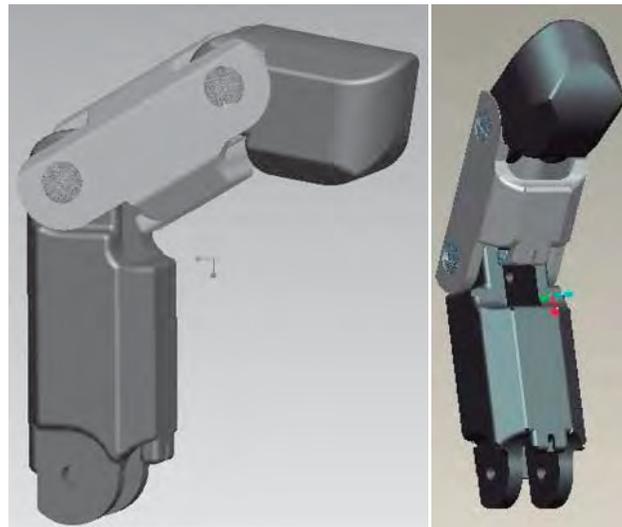


Figura 2.17. Dedo Anular de la Mano Artificial.

Para la sujeción de la mano artificial al sistema de actuación y posteriormente al brazo amputado de la persona, se cuenta con un dispositivo el cual tiene también la función de darle un orden a los cables que darán movimiento a los dedos, figuras 2.18 y 2.19 mediante esta base se hace el arreglo de del sistema de actuación. Una de las funciones es la de dar el ordenamiento a los cables en total once cables o tendones uno para cada falange que tiene movimiento.



Figura 2.18. Base de la mano artificial.

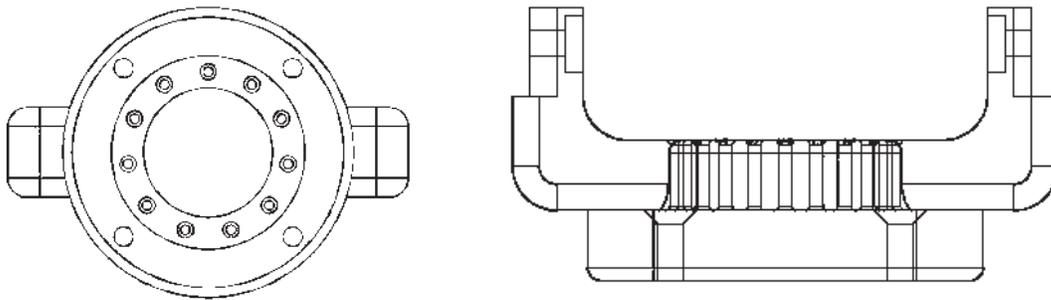


Figura 2.19. Vistas de la base de la mano.

En la figura 2.20, se muestra un esquema de la posición del sistema de actuación el cual generara los movimientos de cada una de las falanges de los dedos.

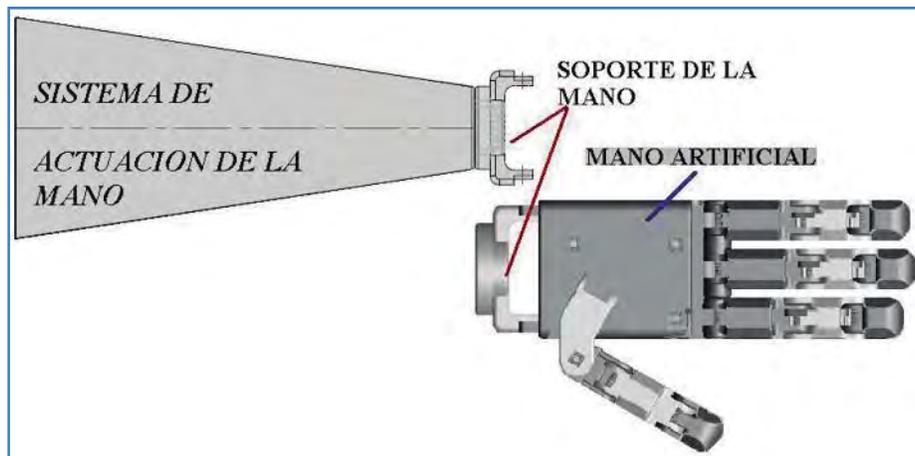


Figura 2.20. Modulo de sistema de actuación para la mano artificial.

Los dedos unidos con cables al sistema de actuación para realizar el movimiento de los dedos, los cuales pasan por la base de la mano. Llegando así al sistema de actuación que permitirá el movimiento en los dedos del prototipo de la mano, el regreso al estado inicial de los dedos se realiza por medio de resortes que se encuentran en los centros de unión de entre las falanges.

CAPITULO III: DISEÑO DEL SISTEMA DE ACTUACIÓN

El término diseño claramente abarca una amplia gama de significados. La palabra diseño proviene del vocablo latino *designare*, que significa designar, marcar. Los textos incluyen varias definiciones de la palabra diseño siendo la más aplicable delinear, trazar o planear como acción o como trabajo, concebir, inventar o idear.

Diseño en Ingeniería

Se puede definir como el proceso de aplicar las diversas técnicas y los principios científicos con el objeto de definir un dispositivo, un proceso o un sistema con suficiente detalle para permitir su realización.

El proceso de diseño es una guía general de los pasos que pueden seguirse para dar al ingeniero cierto grado de dirección para la solución de problemas. Los diseñadores emplean un gran número de combinaciones de pasos y procedimientos de diseño, pero no se puede decir que haya una combinación óptima. El seguir las reglas estrictas del diseño no asegura el éxito del proyecto y aún puede inhibir al diseñador hasta el punto de restringir su libre imaginación. A pesar de esto, se cree que el proceso de diseño es un medio efectivo para proporcionar resultados organizados y útiles.

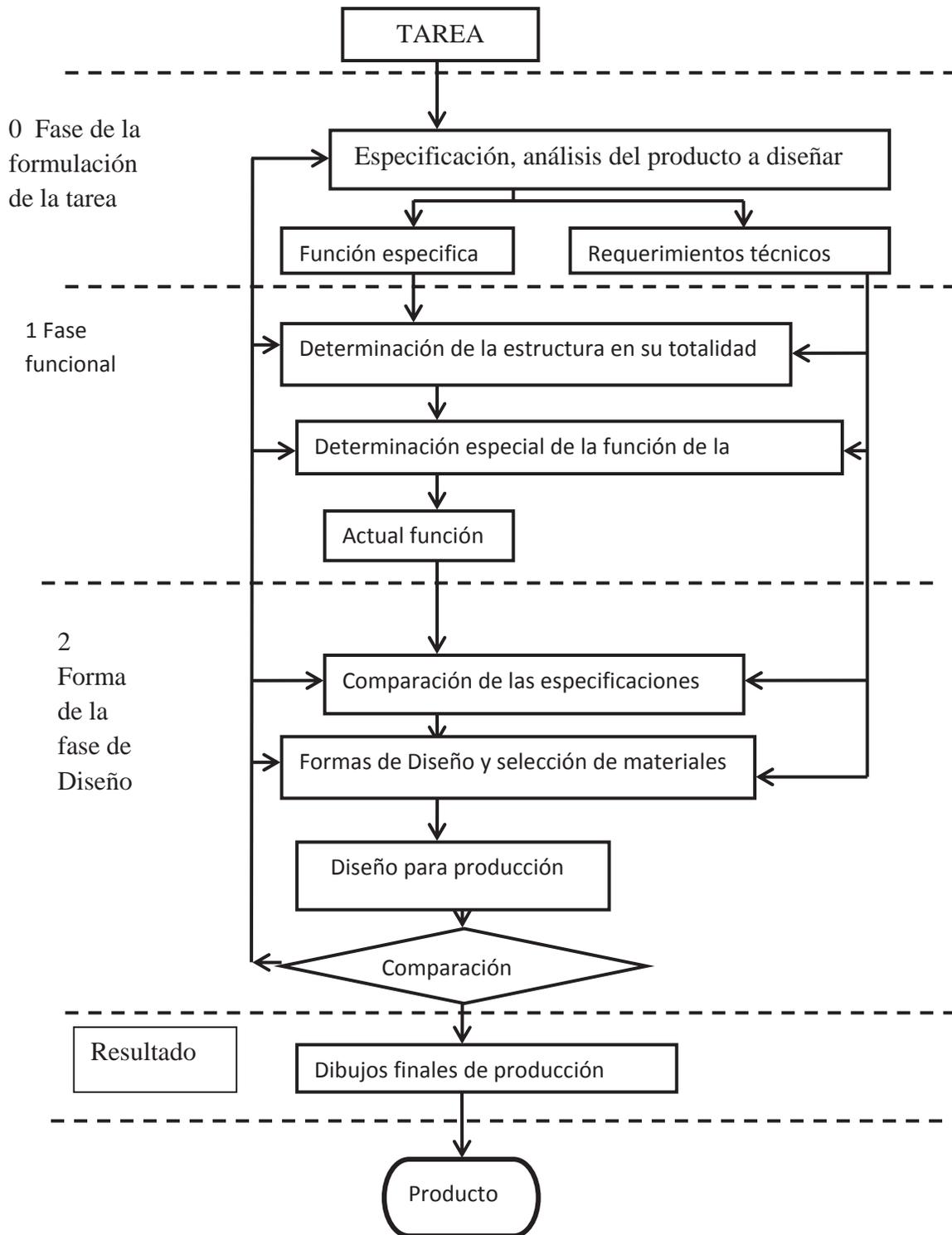
Cuando la aplicación tecnológica es compleja y cuando el resultado es muy abstracto entra lo que conocemos como Diseño en Ingeniería.

Con lo anterior podemos ver que la ingeniería va de la mano con el diseño, debido a que el análisis, la aplicación de conceptos y habilidades se ven conjuntadas por una estructura de pensamiento que podemos denominar Ingeniería; de hecho lo que distingue a los objetos con diseño en ingeniería de otros diseños son los conceptos y factores tecnológicos con que se realiza dicho diseño, implicando una optimización de los recursos, (humanos tecnológicos, económicos, etc.).

Partiendo del algoritmo de *ROTH* [18] donde es necesario conocer la función específica y los requerimientos técnicos dentro de la función específica tenemos que el sistema de actuación de la mano artificial debe ejercer movimientos por medio de un sistema de músculos neumáticos, los cuales se tendrán que fabricar y hacer una selección de los componentes que se requieren para el funcionamiento del sistema, mangueras, conexiones, válvulas entre otros.

Por otra parte dentro de los requerimientos técnicos tenemos que cumplir varios requisitos que dentro del texto se irán desglosando para tener en cuenta cada uno e ir evaluando estos aspectos, por mencionar uno dentro de los requerimientos se tiene que el sistema debe ser lo más ligero posible, resistente, entre otros.

Algoritmo de selección del procedimiento para el diseño “ROTH”



3.1. Análisis de la necesidad

Debido a que la mano artificial va a ser utilizada para labores únicamente cotidianas, tal es el caso de tomar un vaso de agua, lavarse los dientes, tomar una cuchara para comer, por mencionar sólo algunas actividades, la mano artificial debe ser altamente funcional. Pero también se deben tomar en cuenta aspectos de estética, para una mejor apariencia de la prótesis; por tanto, el sistema de actuación debe proporcionar los movimientos para hacer las funciones anteriormente señaladas.

Para poder diseñar el dispositivo el sistema de actuación, es necesario conocer el funcionamiento de la mano humana.

3.1.1. Cinemática de La Mano Humana

Es de suma importancia el conocer y entender lo sencillo o complejo que pueda ser un mecanismo, la mayoría de los dispositivos cinemáticos que se conocen, no son propiamente ideas surgidas de la nada, han sido desarrollados gracias al sentido de observación que el hombre ha adquirido de su entorno natural y al intento de rediseñar las maravillas naturales para servicio del mismo hombre. Para alcanzar las capacidades motrices de una mano humana, es imprescindible el conocer las habilidades que tiene ésta para moverse, así como las partes que permiten tales movimientos.

La Mano Humana, en forma general la estructura interna de la mano se describe como: El esqueleto de la mano está formado por ocho huesos cortos, cuyo conjunto constituye el esqueleto de la muñeca o “carpo”, cinco huesos largos que forman el “metacarpo”, y por último catorce huesos, también largos, llamados “falanges”, que constituyen el esqueleto de los dedos (figura. 3.1).

La mano se compone de veintisiete elementos rígidos que poseen movimiento relativo entre ellos, que pueden ser controlados gracias a los músculos y tendones. Ocho de los veintisiete huesos forman parte de la muñeca, dado esto, y recordando que las partes de los manipuladores separan a ésta del órgano terminal, las partes móviles se reducen a diecinueve, permitiendo que la habilidad motriz de la mano sea la que muestra la figura 2.3 del capítulo II.

De los cinco metacarpianos sólo uno de ellos tiene movimiento que juega un papel importante en la movilidad de toda la mano, siendo éste el que permite la oposición del pulgar, los otros cuatro se consideran como un solo elemento rígido que será la palma, misma que servirá de base para los elementos que tendrán movimiento que hasta ahora son los quince huesos restantes, esquematizados en la figura 2.10 del capítulo II, junto a los grados de libertad (GDL) que poseen, y obteniendo con esto la cinemática de la mano humana.

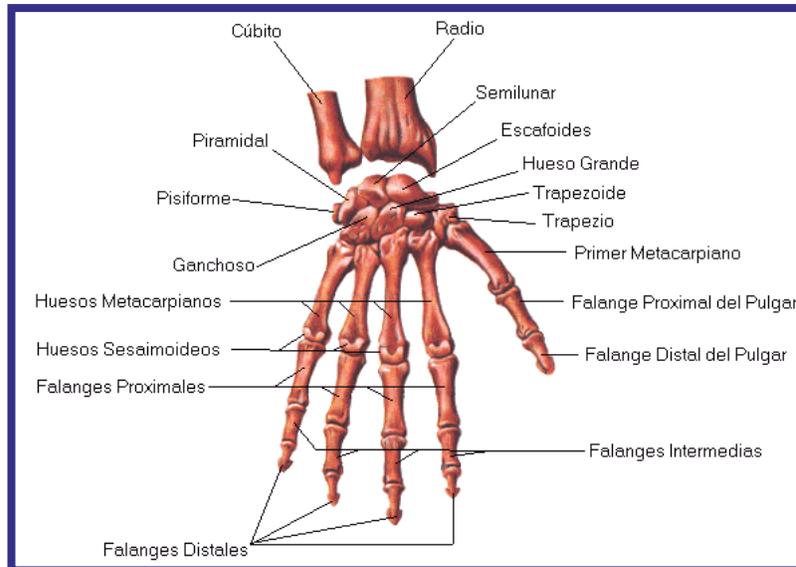


Figura 3.1. Esqueleto de la Mano (cara anterior).

De acuerdo con el estudio realizado en el capítulo anterior de los movimientos de la mano y de la prótesis se desarrollará el sistema que permita el movimiento de las falanges.

De la observación conjuntamente con la sugestión, las falanges distales de los dedos índice, medio y anular, tienen movimiento en función del movimiento relativo que existe entre la falange media y la falange proximal para cada uno de ellos, con esto se ancla el movimiento de dichas falanges distales al movimiento de las mediales y esto reduciría de catorce a once GDL totales para el órgano terminal.

De análisis hecho anteriormente se establece que: son once los grados de libertad para producir los movimientos de las articulaciones de la mano artificial, por lo cual se deberá de tener igual número de cables para producir tales movimientos. (Los cables hacen la función de los tendones en la mano humana). En la figura 3.2 se muestra la mano artificial fabricada, con los once cables.



Figura 3.2. Mano artificial mostrando los cables que permiten el movimiento de la mano artificial.

3.2. Diseño Conceptual

El diseño conceptual, se construye utilizando la información que se encuentra en la especificación de los requisitos de la prótesis. El diseño conceptual es completamente independiente de los aspectos de implementación, los programas de aplicación, los lenguajes de programación, el hardware disponible a cualquier otra consideración física. Durante todo el proceso de desarrollo del diseño conceptual, éste se prueba y se valida con los requisitos de la prótesis de la mano. El diseño conceptual es una fuente de información para el diseño lógico de la base de datos.

Especificaciones

El sistema de actuación a diseñar debe cumplir con ciertos estándares de diseño como son:

Desempeño

Se refiere a lo que puede realizar el sistema de actuación. El servicio y resultados que se espera del sistema de actuación, es que la prótesis donde se utilice desarrolle los movimientos para realizar actividades cotidianas posibles como son: asir objetos, además de que ésta sea ligera y lo más cosmética posible para evitar el rechazo de las personas.

Mantenimiento

Ya que el sistema de actuación se pretende utilizar en actividades cotidianas, el mantenimiento para esta debe ser mínimo o incluso que el usuario se capaz de proporcionar el mantenimiento básico del equipo.

Costo de producción esperado

El costo de producción del sistema de actuación deberá ser menor de los que actualmente existen en el mercado, para así cumplir con un bajo costo y poder llegar a las personas que las necesitan, pero que no cuentan con recursos económicos para adquirir las manos artificiales actuales.

Peso

La mano artificial en conjunto con el sistema de actuación debe ser lo más ligera posible, por lo que se espera que ésta tenga un peso lo más ligero posible.

Estética, apariencia y acabado

Este punto lo debemos de tomar en cuenta ya que uno de los objetivos, pretende que el sistema de actuación junto con la mano artificial sea lo más estética posible, esto, sin afectar la funcionalidad de la misma.

Materiales

Los materiales propuestos a utilizar en la fabricación del prototipo deben cumplir con la característica de no ser conductores de electricidad. Así como, presentar buenas propiedades mecánicas.

Perfil del cliente

La persona a la que se le adaptará la mano artificial en conjunto con el sistema de actuación, inicialmente será adulto de estatura promedio considerando un nivel de la amputación aproximadamente menor de 10 cm debajo del codo. Dentro del perfil del cliente tenemos un prototipo ya realizado, por lo cual se ajustara a las condiciones del prototipo, para hacer el diseño del sistema de actuación de la mano artificial.

Tamaño

El tamaño final del sistema de actuación para el prototipo es de 20 a 25 cm. Inicialmente debido a que tenemos que realizar las consideraciones iniciales de la mano artificial ya existente.

3.2.1. Etapas de Diseño conceptual

Generación de ideas. Durante el diseño conceptual, es imprescindible, abarca aspectos como la exploración de las diferentes posibilidades existentes para llegar a un resultado o la redefinición del problema de partida. La creatividad es la característica fundamental.

Existen muchos métodos de creatividad, entre los más sencillos se pueden destacar el método intuitivo y la lluvia de ideas.

Evaluación de las ideas. En esta etapa hay que ser sobre todo analíticos y objetivos, ya que evaluación significa análisis crítico del total de las ideas generadas, y de los productos similares y sustitutivos ya existentes, debiendo responder cada idea a una necesidad, manifiesta o latente.

Una serie de preguntas ayudan a entender cómo se realiza este análisis. ¿Hace este sistema lo que se espera de él?, ¿cómo?, ¿es fácil de usar?, ¿es seguro?, ¿está bien hecho?, ¿es fácil de mantener?

La forma. Esta parte es uno de los atributos básicos del diseño. La forma debe ser siempre consecuencia de la función, de tal modo que ésta nunca puede verse afectada o condicionada por la forma, lo cual no quiere decir que no pueda ser revisada la colocación, distribución y ordenación de los componentes del producto, con el fin de lograr mejores resultados u objetivos formales concretos. Los métodos gráficos son otra forma de análisis de una solución, los planos dibujados a escala y los diseños en 3D por computadora, ayudan a establecer la interrelación de los movimientos de las partes y la estética en la evaluación del diseño.

La combinación de todas las ideas, conceptos, comentarios recopilados se determina la forma conceptual o como se pretende fabricar el sistema de actuación para la mano artificial. Por lo tanto dentro de la lluvia de ideas se optó por el sistema comprendido por músculos neumáticos, debido a que estos presentan un bajo peso, El Músculo Neumático es un actuador de tracción que funciona como un músculo humano. En comparación con un cilindro neumático, es capaz de generar una fuerza de tracción inicial más grande. Su fuerza disminuye en el transcurso del movimiento de contracción. Por lo tanto, tiene un gran poder de aceleración y, al mismo tiempo, es capaz de acercarse a la posición nominal suavemente.

Un músculo neumático no tiene partes mecánicas móviles, con lo que tampoco se produce fricción externa. El músculo neumático, también conocido como “músculo fluido”, puede utilizarse como actuador para las más diversas tareas figura 3.3.

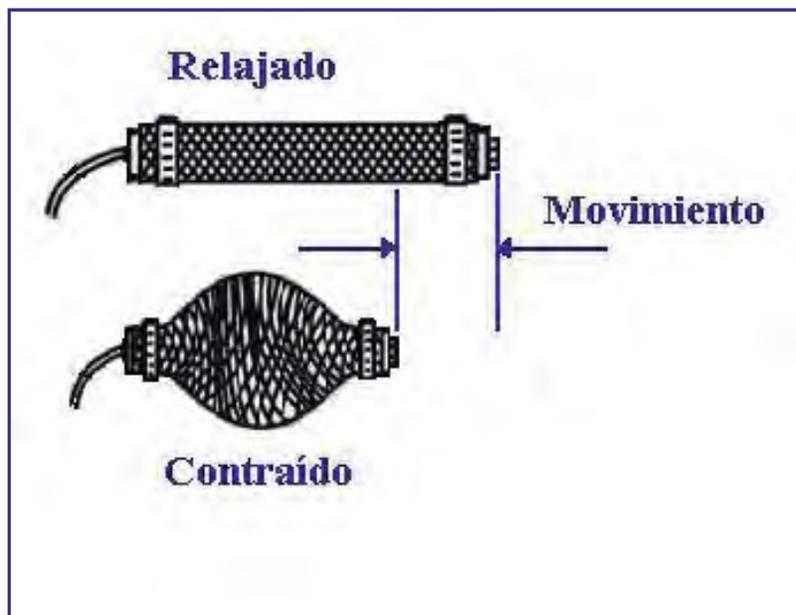


Figura 3.3. Músculo Neumático.

PRINCIPIOS, UTILIDAD Y VENTAJAS

Dadas sus características, el músculo neumático no está pensado para sustituir a un cilindro convencional sin más ni más, pues en la mayoría de los casos no puede ser considerado una alternativa económica frente a un cilindro neumático. Más bien deberá utilizarse en los casos en que sus características ofrecen una clara ventaja en determinadas aplicaciones, por ejemplo en aquellas en las que es necesario disponer de un actuador de gran fuerza y carrera corta, sin movimientos a tirones, de gran dinamismo, para uso en zonas polvorientas o sucias y si, además, se necesita un actuador de poco peso. [28]

Las ventajas que distinguen al músculo neumático:

- ✓ Gran fuerza (En comparación con un cilindro del mismo diámetro, la fuerza inicial el hasta 10 veces superior)
- ✓ Gran dinamismo
- ✓ Ausencia de movimientos a tirones (stick-slip)
- ✓ Regulación sencilla de las posiciones intermedias mediante ajuste de la presión
- ✓ Estructura robusta
- ✓ Buena relación entre el peso y el rendimiento
- ✓ Liviano
- ✓ Hermético

El sistema comprende de la utilización de músculos neumáticos. El músculo neumático se conecta a los tendones de la mano. Estos a su vez estarán conectados a unas electroválvulas. Como se muestra en la figura 3.4 los músculos neumáticos estarán ordenados en una base la cual se une con el codo del paciente.

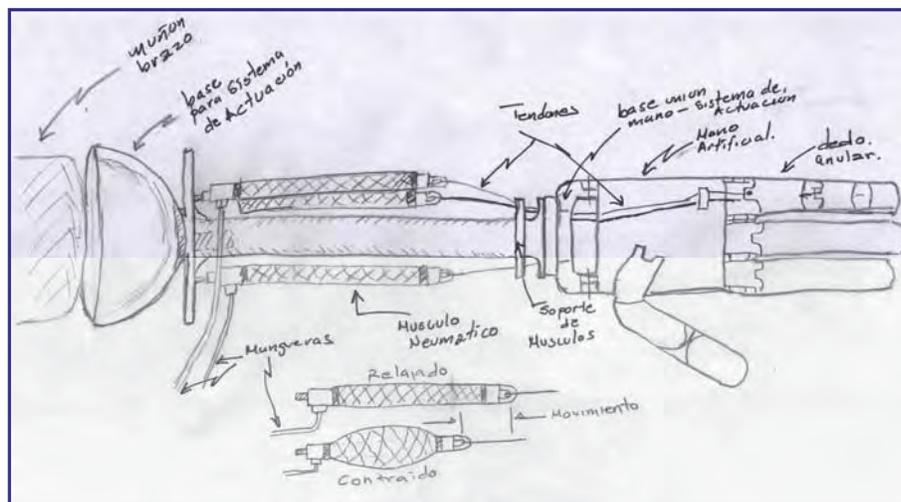


Figura 3.4 Bosquejo del sistema de actuación para la mano artificial.

3.3. Diseño de detalle

En el diseño de detalle, el arreglo, formas, dimensiones y las propiedades de todas las partes individuales son finalmente extendidas, la especificación del material y la técnica de viabilidad económica revisadas y así como todos los dibujos.

Es importante que el diseñador no deba relajar su vigilancia a esta fase, para que sus ideas y planes no se cambien fuera de su reconocimiento. Es un error pensar que el diseño de detalle plantea problemas subordinados que carezcan en importancia e interés. Las dificultades a menudo surgen de la falta de atención en el detalle, muy a menudo deben hacerse correcciones en esta fase. Las correcciones no deben ser en cuanto a la solución global del producto si no en base a componentes.

3.3.1. Definición y Determinación de parámetros principales

En el diseño de detalle se determinan todos los factores limitantes, parámetros que influyen para dimensionar cada uno de los diferentes componentes del sistema, así como las necesidades mecánicas de los mismos, tomando en cuenta la funcionalidad del dispositivo, así como la disponibilidad de algunos de sus accesorios o componentes en el mercado.

Es fundamental una buena selección del dispositivo a utilizar para el correcto funcionamiento del dispositivo. Las características básicas fundamentales para la elección serán:

Fuerza necesaria para mover el sistema, donde se define la fuerza necesaria para el actuador o la presión de trabajo que requiere el músculo neumático.

Velocidad, en el caso particular de esta tesis la velocidad no tiene relevancia, por lo que no es un factor que influye en el diseño del sistema actuación de la mano artificial.

Fuerza necesaria para mover las articulaciones. La mano artificial tiene una serie de resortes que realizan la función de los ligamentos en la mano natural. Para conocer la fuerza necesaria para vencer los resortes, se realizaran pruebas para determinar la fuerza.

Fuerza de sujeción del objeto. Establecer los criterios o limitantes del sistema, determinar los usos para lo que fue diseñado, se pretende que realice funciones sencillas y básicas, como sujetar una cuchara, sostener un lapicero, etc. por lo que el peso que se pretende sostener no debe de excesivo. En el caso particular de esta tesis no se tomará en cuenta debido al tipo de material que está hecho el prototipo de la prótesis de la mano.

Es importante señalar que para determinar la fuerza de sujeción influyen varios factores, como son el tipo de material de que está hecha la superficie de contacto de las articulaciones, la fuerza necesaria para sostener dicho objeto, si tiene o no sensores, etc.. También influye el tipo de material, la forma, el peso del objeto a sujetar.

3.3.1.1. Distancia o desplazamiento de cada una de las articulaciones

Para determinar el tamaño del músculo neumático es necesario obtener la distancia que tendrá que recorrer el cable, para obtener dichos datos el prototipo se colocó en una base provisional con la finalidad de obtener los desplazamientos de cada cable. Como se muestra en la figura 3.5. De esta forma se obtuvieron los desplazamientos de cada cable.

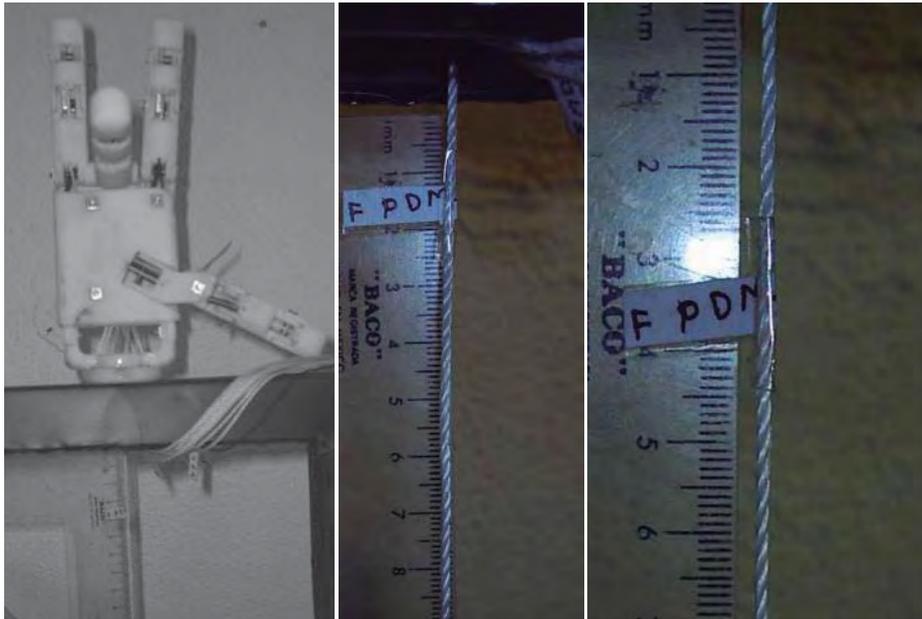


Figura 3.5. Obtención del desplazamiento del cable para mover la articulación

Se realizó el mismo procedimiento para cada una de las partes repetidas veces en cada articulación que componen la mano artificial con ello se sacó la relación que se presenta en la tabla 3.1, donde quedan identificados los cables de cada pieza.

Se realizó un nuevo ajuste de los cables para verificar los desplazamientos y en el nuevo arreglo de los cables se obtuvieron los mismos desplazamientos en cada una de las articulaciones, con ello se tendrá la seguridad que este parámetro para este prototipo se mantiene sin cambio. Se muestran los resultados obtenidos en la tabla 3.1, haciendo una comparación con los desplazamientos anteriores.

Tabla 3.1. Desplazamiento para mover cada parte de la mano

<i>Tendón</i>	<i>Descripción</i>	<i>Desplazamiento</i>	<i>Deslazamiento Nuevo arreglo</i>
FDDP	Falange distal dedo pulgar	15 mm	15 mm
FMDI	Falange medial dedo índice	18 mm	18 mm
FMDM	Falange medial dedo medio	19 mm	19 mm
FMDA	Falange medial dedo anular	20 mm	20 mm
FPDA	Falange proximal dedo anular	20 mm	20 mm
FPDM	Falange proximal dedo medio	20 mm	20 mm
FPDI	Falange proximal dedo índice	15 mm	15 mm
FPDP	Falange proximal dedo pulgar	14 mm	14 mm
ADI	Abductor dedo índice	10 mm	10 mm
ADP	Abductor dedo pulgar	6 mm	6 mm
MDP	Metacarpo dedo pulgar	10 mm	10 mm

3.3.1.2. Fuerza necesaria para mover las articulaciones

Para obtener los valores en la fuerza de cada tendón se define la nomenclatura, poniendo una F a la nomenclatura ya usada anteriormente en la tabla 3.1, de desplazamientos.

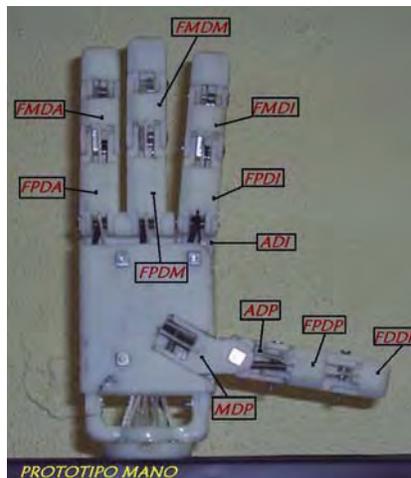


Figura 3.6. Mano artificial identificación de partes

La obtención de la fuerza que se requiere para mover cada una de las articulaciones por medio de los tendones se realizó de la siguiente manera:

Se usó una botella graduada, a la cual se le agrega la cantidad de agua necesaria para poder vencer la resistencia de los resortes (éstos hacen la función de los ligamentos de la mano humana que regresan a cada una de las falanges a su posición inicial). La fuerza que requiere cada una de las articulaciones para efectuar un movimiento, se utilizó el peso del agua que se acumuló dentro de una botella, necesario para producir el movimiento, este dato se toma como kilogramo fuerza.

Debido a que la densidad del agua se define como el cociente entre la masa de un cuerpo y el volumen que este ocupa, se usa el agua ya que su densidad es de 1000 kg/m^3 , en nuestro caso se obtiene la relación 0.001 kg/ml^3 por lo tanto el valor del peso que se obtiene es directamente proporcional con ml obtenidos $1 \text{ kg}=1000 \text{ ml}$.

De esta forma se gradúa la botella donde se contendrá el líquido (agua) y se pesa para verificar que la gradación del agua sea la correspondiente al peso que se requiere.

En la figura se muestra cómo se obtuvo la fuerza en kilogramos necesaria para vencer el resorte en las articulaciones de la mano artificial de cada uno de los tendones en la figura 3.7, se muestra el caso particular para obtener la fuerza de FPDM-F donde se observa cómo se realizaron dichas mediciones.



Figura 3.7. Fuerza requerida para mover la articulación.

Para cada una de las articulaciones se hizo el mismo procedimiento en cinco ocasiones para así sacar un promedio y con este resultado obtenido de las mediciones se obtuvo los valores mostrados en la tabla 3.2.

TABLA 3.2 Fuerza para mover las articulaciones

Clave	Descripción	Fuerza (gr)
FDDP-F	Falange distal dedo pulgar	1030
FMDI-F	Falange medial dedo índice	1490
FMDM-F	Falange medial dedo medio	1030
FMDA-F	Falange medial dedo anular	1250
FPDA-F	Falange proximal dedo anular	1710
FPDM-F	Falange proximal dedo medio	1400
FPDI-F	Falange proximal dedo índice	1250
FPDP-F	Falange proximal dedo pulgar	1730
ADI-F	Abductor dedo índice	0.950
ADP-F	Abductor dedo pulgar	1420
MDP-F	Metacarpo dedo pulgar	1560

Determinadas las fuerzas para mover cada una de las articulaciones, se obtiene la fuerza total de 13,8 kg a ésta se le agrega un 2% como factor de seguridad y con el resultado obtenido se parte al diseño de la base donde se soportará el conjunto de tendones neumáticos.

3.3.1.3. Determinación de dimensiones y diseño base Músculos

Para el desarrollo de la base y los músculos primeramente hay que considerar las dimensiones de la mano y teniendo en cuenta la relación que hay entre los dedos y el palmar y utilizando los canones dentro de los cuales se encuentran varios, como son el cannon Egipcio, cannon Persa, cannon de Leonardo da Vinci entre otros; en este caso el canon de Leonardo da Vinci, se utiliza para sacar las relaciones necesarias y con ello se obtiene los parámetros que permiten tener una relación más aproximada con el prototipo de la mano.

El cannon de Leonardo de Vinci se conoce por medio de la relación que obtuvo del famoso dibujo del *Hombre de Vitruvio*, obtenido de los datos recolectados del estudio de Marco Vitruvio Polión, el dibujo es acompañado de notas anatómicas realizado alrededor del año 1492 en uno de sus diarios. Representa una figura masculina desnuda en dos posiciones sobreimpresas de brazos y piernas e inscrita en un círculo y un cuadrado. Se trata de un

estudio de las proporciones del cuerpo humano, realizado a partir de los textos de arquitectura de Vitruvio, arquitecto de la antigua Roma, del cual el dibujo toma su nombre. El dibujo está realizado en lápiz y tinta y mide 34,2 x 24,5 cm. En la actualidad forma parte de la colección de la Galería de la Academia de Venecia.

El cuadrado está centrado en los genitales, y el círculo en el ombligo. La relación entre el lado del cuadrado y el radio del círculo es la razón áurea. Para Vitruvio el cuerpo humano está dividido en dos mitades por los órganos sexuales, mientras que el ombligo determina la sección áurea. En el recién nacido, el ombligo ocupa una posición media y con el crecimiento *migra* hasta su posición definitiva en el adulto. [33]

De acuerdo con las notas del propio Leonardo en el Hombre de Vitruvio se dan otras relaciones:

- ❖ Una palma equivale al ancho de cuatro dedos.
- ❖ Un pie equivale al ancho de cuatro palmas (12 in).
- ❖ Una extensión total del brazo equivale al ancho de seis palmas.
- ❖ La altura de un hombre son cuatro antebrazos (24 palmas).
- ❖ Un paso es igual a un antebrazo.
- ❖ La longitud de los brazos extendidos (envergadura) de un hombre es igual a su altura.
- ❖ La distancia entre el nacimiento del pelo y la barbilla es un décimo de la altura de un hombre.
- ❖ La altura de la cabeza hasta la barbilla es un octavo de la altura de un hombre.
- ❖ La distancia entre el nacimiento del pelo a la parte superior del pecho es un séptimo de la altura de un hombre.
- ❖ La altura de la cabeza hasta el final de las costillas es un cuarto de la altura de un hombre.
- ❖ La anchura máxima de los hombros es un cuarto de la altura de un hombre.
- ❖ La distancia del codo al extremo de la mano es un quinto de la altura de un hombre.
- ❖ La distancia del codo a la axila es un octavo de la altura de un hombre.
- ❖ La longitud de la mano es un décimo de la altura de un hombre.
- ❖ La distancia de la barbilla a la nariz es un tercio de la longitud de la cara.
- ❖ La distancia entre el nacimiento del pelo y las cejas es un tercio de la longitud de la cara.
- ❖ La altura de la oreja es un tercio de la longitud de la cara.
- ❖ La distancia desde la planta del pie hasta debajo de la rodilla es la cuarta parte del hombre.
- ❖ La distancia desde debajo de la rodilla hasta el inicio de los genitales es la cuarta parte del hombre.
- ❖ El inicio de los genitales marca la mitad de la altura del hombre.

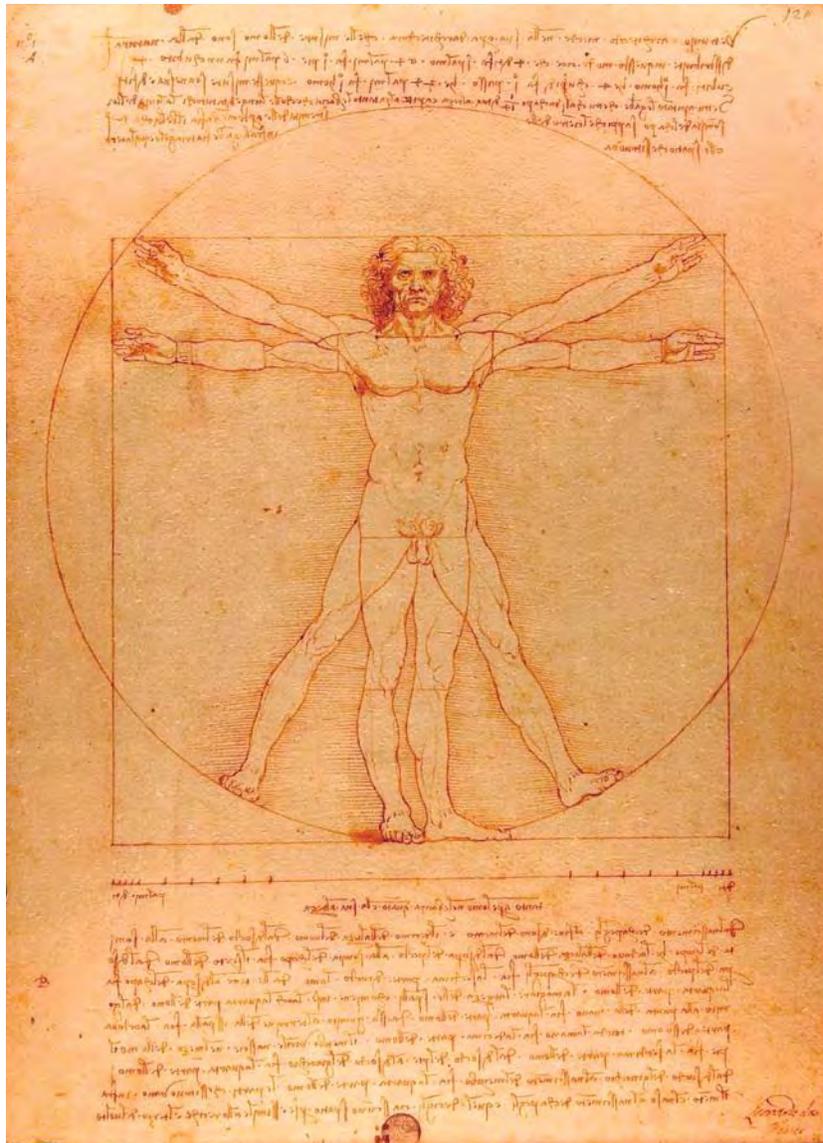


Figura 3.8. Arquitectura del Hombre de Vitruvio.

El redescubrimiento de las proporciones matemáticas del cuerpo humano en el siglo XV por Leonardo y otros autores está considerado uno de los grandes logros del Renacimiento.

El dibujo también es a menudo considerado como un símbolo de la simetría básica del cuerpo humano y, por extensión, del universo en su conjunto.

Examinando el dibujo puede notarse que la combinación de las posiciones de los brazos y piernas crea realmente dieciséis posiciones distintas. La posición con los brazos en cruz y los pies juntos se ve inscrita en el cuadrado sobreimpreso. Por otra parte, la posición superior de los brazos y las dos de las piernas se ve inscrita en el círculo sobreimpreso. Esto ilustra el principio de que en el cambio entre las dos posiciones, el centro aparente de la figura parece moverse, pero en realidad el ombligo de la figura, que es el centro de gravedad verdadero, permanece inmóvil.

En la figura 3.9, se muestra la distancia con la que cuenta el prototipo que es de 85 mm y con este dato y la relación que podemos obtener del cannon de Leonardo da Vinci tenemos la siguiente relación

Una extensión total del brazo equivale al ancho de seis palmas

La parte que nos interesa es la que corresponde del codo hacia la mano por lo tanto podemos decir que sería el largo del antebrazo de tres palmas, teniendo esto en cuenta tenemos:

$$\underline{3 \text{ Palmas} \times 85\text{mm} = 255\text{mm}}$$

Con esta medida obtenida podemos hacer el diseño de la base de los músculos la cual debe de tener contempladas ciertas características.

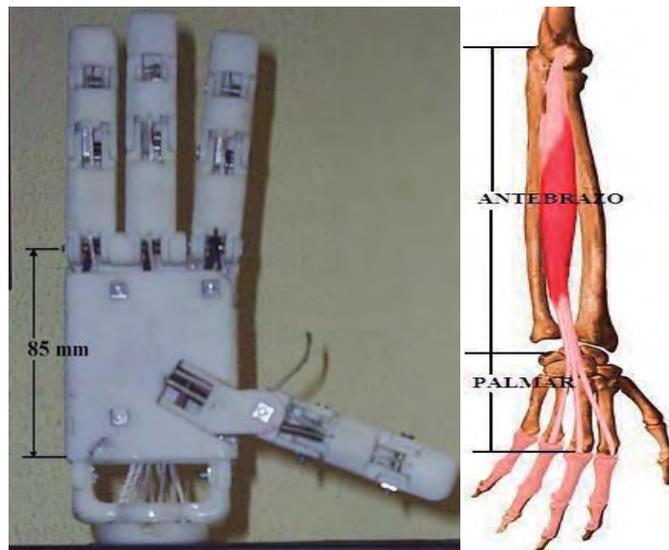


Figura 3.9. Mano artificial distancia del palmar.

Con el dato obtenido por medio del cannon de Leonardo da Vinci. Se partió, para hacer el diseño para la base que soporta los tendones de la mano, llegando al diseño que se muestra en la figura 3.10, al cual se procedió hacer una simulación en un programa computacional y tomando como material de construcción el Aluminio 6061 comercial.

Material para la base se considera aluminio 6061comercial, ya que este material es ligero y resistente, las propiedades del aluminio 6061 se muestran en la siguiente tabla 3.3.

Tabla 3.3. Propiedades del Aluminio 6061

Peso específico	γ	26 kN/m ³
Densidad	ρ	2700 kN/m ³
Módulo de Elasticidad	E	72 GPa
Módulo de Elasticidad cortante	G	27 GPa
Razón de Poisson	ν	0.33
Esfuerzo de Fluencia	σ_y	480 MPa
Esfuerzo Ultimo	σ_u	580 MPa

Se realizó la simulación con un paquete computacional por medio de elemento finito de la base para soportar los músculos en la figura 3.10, se muestra la base en 3D.



Figura 3.10. Base de músculos neumáticos.

En las figura 3.11, (a, b) siguientes se muestran los elementos y el mallado es un mallado simple que proporciona el programa sobre el elemento a analizar, ya que es una figura que no requiere mayor detalle en el mallado ya que sólo se busca el esfuerzo de Von Mises.



Figura 3.11. (a, b). Base de músculos neumáticos mallado simple.

Simulación de los esfuerzos producidos por los tendones sobre la base con una carga de 14.076 kgf. Como se muestra en la figura 3.12, la mayor carga se concentra en dos puntos en la inferior donde irán sujetos los tendones y en la superior donde se acopla el prototipo de la mano. Así como una carga que tira en un sentido totalmente perpendicular a las otras dos, aun cuando las otras dos cargas se colocan y éstas van en sentido contrario, poniendo una restricción en la parte inferior de la base. La carga que se utiliza tiene un 2% más de la obtenida al sumar las cargas totales para realizar el movimiento de los dedos de la mano.

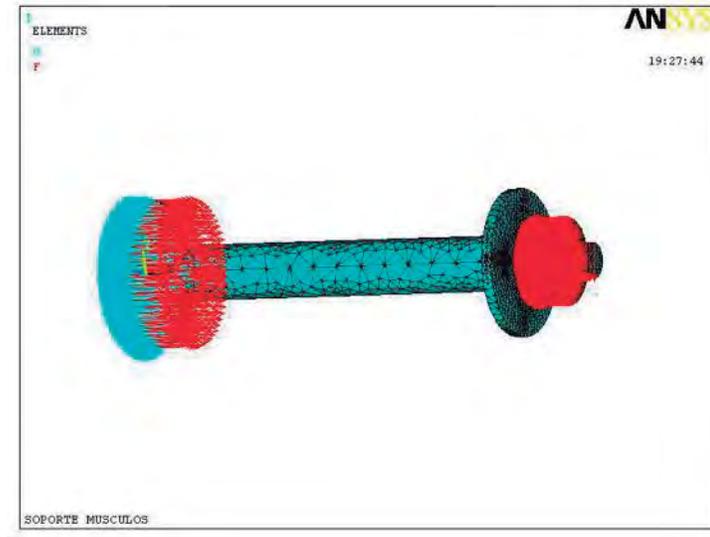


Figura 3.12. Localización de las cargas.

En la figuras 3.13, siguiente se muestra los resultados de esfuerzos donde se produce la mayor concentración, obteniendo los valores de Von Mises.

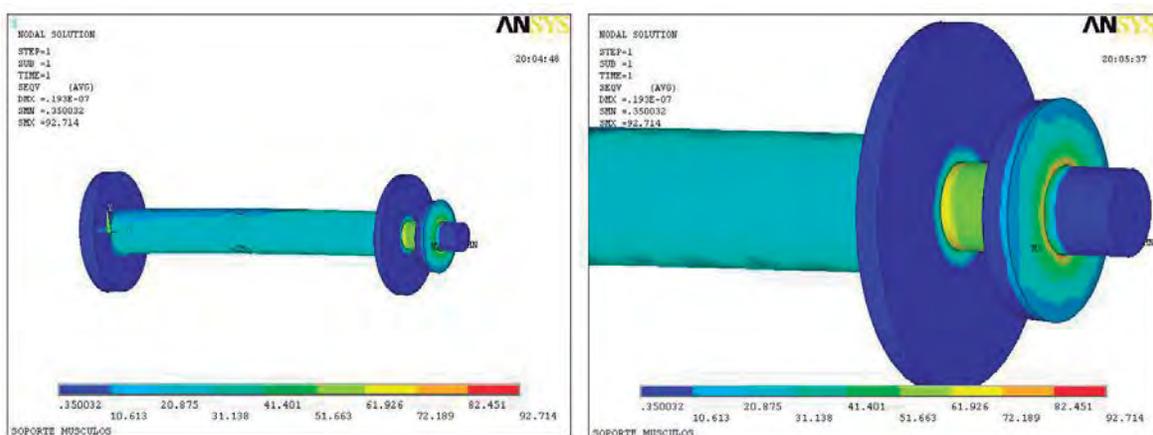


Figura 3.13. Resultado del 1er esfuerzo Von Mises.

Obtenidos los resultados, se tiene que los datos proporcionados por el programa, permite tener la seguridad que la base puede soportar las cargas producidas por el funcionamiento del sistema de actuación de los músculos neumáticos.

El soporte de los músculos neumáticos lo realice en los laboratorios de la *Facultad de Ingeniería Mecánica (FIM)* de la *Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH)*. En la figura 3.14, se muestra la base terminada en aluminio 6061. Este es un aluminio que se encuentra comercialmente y su costo no es elevado, el maquinado del aluminio es de fácil proceso.



Figura 3.14. Base de músculos neumáticos.

3.3.2. Estructura y principio del funcionamiento del músculo neumático

Como se puede observar en la figura 3.15, los músculos neumáticos están compuestos por una tubo interno de caucho, que alojará el aire a presión, recubierto por una malla de fibras trenzadas.

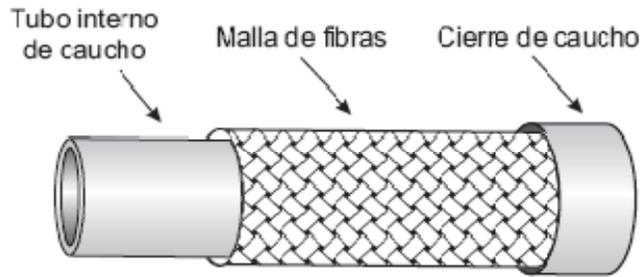


Figura 3.15. Estructura de los actuadores por músculo neumático.

Uno de los extremos se encuentra cerrado por una placa y es por donde el músculo aplicará la fuerza al exterior. En el otro extremo se sitúa una válvula de regulación con la que se hincha o deshincha el tubo interior de silicón. Al introducir aire a presión en el tubo de silicón este se hincha expandiéndose en sentido transversal, lo cual provoca en la malla de fibras una tensión en sentido tangencial al tubo de silicón y ortogonal al eje de rotación del mismo. La malla de fibras inextensibles está trenzada en forma de rombo, figura 3.16, de tal forma que esa tensión ortogonal al eje de rotación se convierte en una tensión y un desplazamiento en el mismo sentido del eje de rotación, en sentido axial.

De esta forma, la presencia de una determinada presión del aire en el interior del tubo de silicón recubierto de la malla trenzada se convierte en un desplazamiento y una fuerza en sentido axial. El proceso termina cuando se alcanza un determinado ángulo neutral entre las fibras.

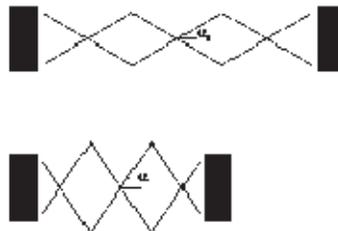


Figura 3.16. Disposición de la malla de fibras en forma de rombo.

En la figura 3.17 se muestra el aspecto de un músculo neumático comercial de tipo McKibben funcionando como actuador de simple efecto. En la figura 3.17(a) cuando su longitud es la nominal, y en la figura 3.17(b) se muestra el aspecto que presenta ese mismo músculo neumático cuando se le aplica una presión en el tubo interior de caucho y sufre un desplazamiento en sentido axial.

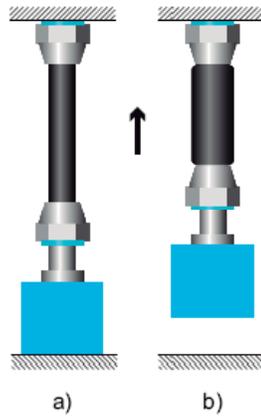


Figura 3.17. a) Músculo neumático en su longitud nominal. b) Músculo contraído por el efecto de la presión interior.

Al igual que los músculos biológicos, los músculos artificiales sólo pueden ejercer fuerzas efectivas al contraerse en sentido axial. Si se desea aplicar fuerzas en ambos sentidos, se utiliza un par antagonista de músculos: cuando uno de ellos se contrae el otro se expande y viceversa. La tensión generada en ambos sentidos puede utilizarse para conseguir movimiento lineal o angular así como para ejercer un par o una fuerza longitudinal.

En ambos casos el par de músculos artificiales proporcionan gran suavidad en el movimiento, que normalmente no puede conseguirse con otros actuadores. [34]

La membrana del músculo neumático puede ser de diversos materiales y arreglos. Para nuestro caso se pretendía que sean de fácil adquisición dentro del mercado nacional, de igual manera para la malla a utilizar para la protección de la membrana del músculo, habiéndose encontrado tres tipos diferentes y de distintos materiales de malla, y que al mismo tiempo proporcione orientación a la membrana. Se muestra en la figura 3.18, las opciones las cuales son de diferentes materiales y diferentes arreglos, la primera es un trenzado de fibras de nylon, esta ofrece una resistencia aceptable pero no tiene el diámetro adecuado para introducir el tubo del músculo, la segunda en una malla de acero inoxidable ésta es una de las más resistentes pero físicamente no ofrece el desplazamiento esperado de la malla, la tercera malla es de vinilo reforzado y cumple con lo necesario para admitir el tubo del músculo neumático.



Figura 3.18. Tipos de mallas.

Para determinar la longitud del músculo y así fabricar la membrana interior del mismo primero consideró el tipo de malla que se utilizara para la fabricación del músculo neumático. Para este caso se utiliza una malla de vinilo reforzado, de la tabla 3.1, se tiene que el mayor desplazamiento que debe generar el músculo neumático es de 20 mm, partiendo de la configuración que presenta y tomado en cuenta las ecuaciones del modelo geométrico y estático [35] para obtener ecuaciones que nos permita determinar el desplazamiento de las cuerdas de la malla y el ángulo que se crea entre las intersecciones de la mismas al estar entrelazadas como se observa en la figura 3.19. Con los datos obtenidos se obtuvo la longitud final del músculo para hacer el recorrido de 20mm necesario. Partiendo del tipo de malla que se utilizara para la fabricación del músculo, se observó que hay un espacio entre las cuerdas que componen la malla, mientras se encuentra libre de cualquier tipo de presión.

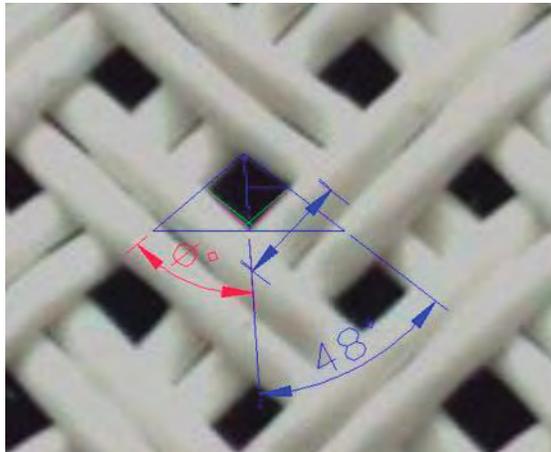


Figura 3.19. Distribución del trenzado de la malla.

Referido de la figura 3.19 en la malla se puede observar que podemos tomar un punto de referencia para obtener el siguiente diagrama, figura 3.20, y habiendo obtenido el ángulo por medio de medidas físicas en varios puntos y haciendo un promedio de los datos obtenidos, el ángulo con el que se trabajará es de 48° .

La siguiente formulación de trabajo que se describe, se basa en un trabajo de Ping-Ching Chou y Blake Hannaford[35], de éste se operan las primeras ecuaciones que nos permitirá determinar el desplazamiento de las cuerdas de la malla y posteriormente determinar la longitud que se necesita para generar el movimiento de las falanges.

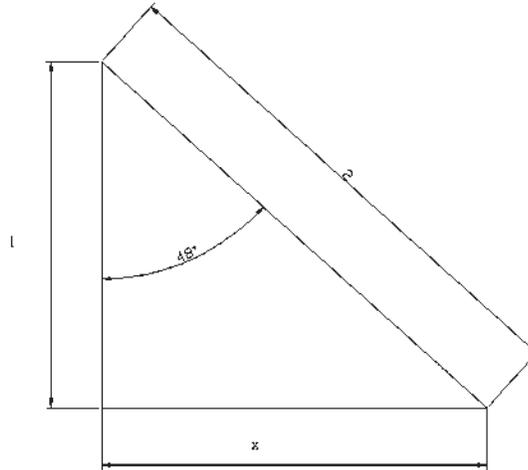


Figura 3.20. Diagrama de movimiento de las cuerdas.

Considerando como $b = 2$, y constante y un $\theta = 48^\circ$, del triángulo se puede obtener la siguiente ecuación,

$$x = b \operatorname{sen} \theta \quad (1)$$

Donde b es considerada como constante durante toda la malla.

Sustituyendo los valores, obtendremos los valores de x

$$\begin{aligned} x &= 2 \operatorname{sen} 48^\circ = 1.4863 \\ x &= 1.4863 \text{ mm} \end{aligned}$$

Se obtiene el valor de x obtenido este valor podemos determinar el valor de l por medio de la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} l &= b \operatorname{cos} \theta \\ l &= 2 \operatorname{cos} 48^\circ = 1.3383 \end{aligned}$$

$$l = 1.3383 \text{ mm}$$

Se obtiene el valor de l con éste, serán obtenidos los demás valores necesarios para realizar una suposición para formular un desplazamiento teórico de las cuerdas, haciendo que l sea menor cuando el volumen del tubo de malla es menor y se incrementa el ángulo, por lo tanto para este caso el ángulo cambia y la longitud l y se considera a b con un valor constante.

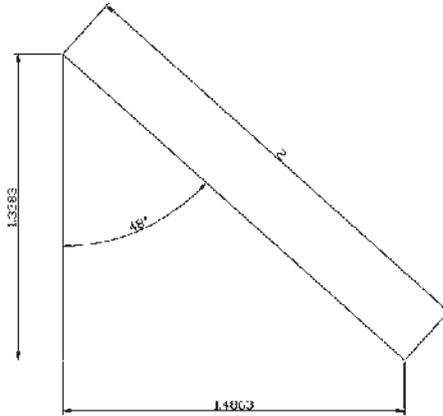


Figura 3.21. Diagrama de movimiento de las cuerdas con el valor de l obtenido en mm.

Si consideramos que la cuerda que rodea la malla al someterla a una presión interna, y suponiendo que dicha malla contenga una membrana de pared despreciable, entonces cuando esta se infla debido al fluido, la longitud l cambia así como x que tiene un crecimiento tangencial del tubo, y el ángulo θ cambia también,

Si suponemos que l decrece 1mm entonces se obtiene el nuevo ángulo formado mediante la orientación de las cuerdas de la malla.

$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{.3383}{2}\right) = 80.5^\circ$$

$$\theta = 80.5^\circ$$

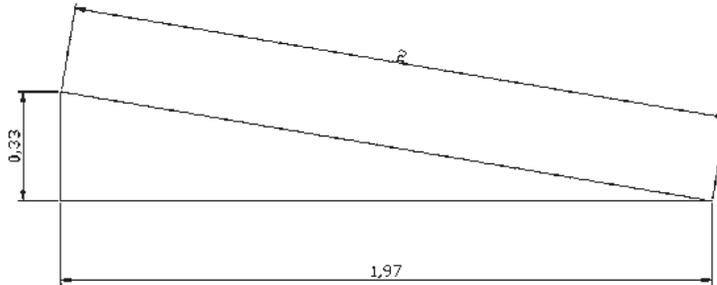


Figura 3.22. Diagrama de movimiento del ángulo de las cuerdas.

Sabemos que la distancia de desplazamiento que se necesita para mover una de las falanges de la mano es de 20mm, con este valor se trabaja para obtener la longitud de la malla que se necesita para que se realice el desplazamiento requerido, si la malla sólo contara con una sola cuerda, sólo se necesitaría lo correspondiente a 20 porciones de la malla, empero la malla cuenta con doble fibra entonces, asumiendo esto, el desplazamiento se hace a un medio al final del desplazamiento teórico propuesto

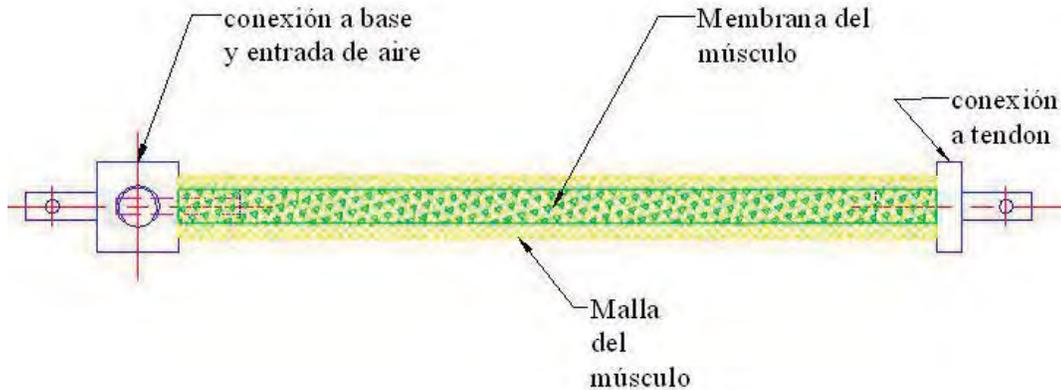


Figura 3.23. Caracterización del Músculo neumático propuesto.

3.3.2.1. Modelo Geométrico estático

La siguiente formulación de trabajo que se describe a continuación se basa en el trabajo de Ping-Ching Chou y Blake Hannaford (1996). También utiliza un método geométrico similar a uno presentado por Darwin Caldwell, Gustavo Medrano-Cerda, y Mike Goodwin (1995).

Chou y Hannaford desarrollaron un modelo estático para los actuadores mediante un argumento de trabajo virtual. Un argumento similar se utilizó, pero la forma definitiva de las ecuaciones que mejor se adaptaron a las necesidades de modelado y control de él. Esto proporcionará una relación entre actuador de la fuerza, la presión, y la longitud. A continuación, estas ecuaciones se utilizan para obtener aún más las relaciones entre la fuerza, la presión, la longitud, y la rigidez. Estas relaciones serán verificadas y ajustadas con datos empíricos. Desde allí, una simple dinámica para el modelo de los actuadores se podría presentar para su uso con una simulación dinámica.

Puede ser un modelado como un cilindro. Los efectos no-cilíndricos finales son ignorados, y el espesor de las paredes se asume que es cero. Las dimensiones de este cilindro son la longitud (L), y el diámetro (D). Ninguna de estas dimensiones se mantiene constantes.

Suponiendo inestabilidad del material de la malla, las geometrías constantes del sistema son la longitud del hilo (b) y el número de vueltas para un solo hilo (n). La dimensión final utilizada para esta formulación es el ángulo de articulación, θ . Teta es el ángulo entre el hilo y el eje del cilindro. El ángulo entre lazarán los cambios de la longitud y los cambios actuador. La relación entre estos parámetros se muestra en la Figura 3.24.

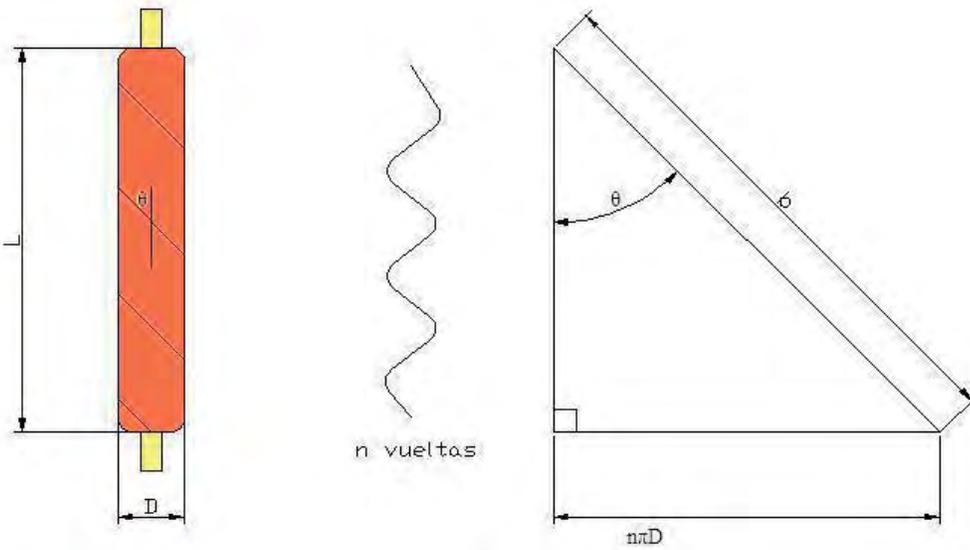


Figura 3.24. Cambio de ángulo y desplazamiento del músculo.

En la malla de vinilo reforzado se puede introducir el modelo estático, figura 3.25 se indica de donde se partiría para tomar el ángulo y realizar la relación matemática para determinar la longitud y el diámetro matemáticamente.

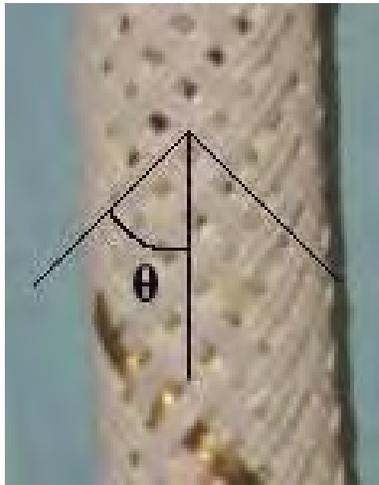


Figura 3.25. Ángulo de la Malla de vinilo.

La relación matemática para la longitud y el diámetro son las siguientes:

$$L = b \cos\theta \tag{2}$$

$$D = \frac{b \sin\theta}{n\pi} \tag{3}$$

El volumen de cualquier cilindro es igual

$$V = \frac{\pi D^2}{4} L \quad (4)$$

Sustituyendo las ecuaciones 1 y 2 en la ecuación 3 tenemos:

$$V = \frac{b^3}{4\pi n^2} \text{sen}^2\theta \text{cos}^2\theta \quad (5)$$

La máxima contracción de longitud (mínima longitud) se produce cuando el actuador tiene su volumen mayor. Esto resulta en el equilibrio del sistema. Tomando un derivado del volumen con respecto a theta, $dV/d\theta$, y se establece igual a cero el máximo rendimiento entrelazarán ángulo.

$$\frac{dV}{d\theta} = \frac{b^3}{4\pi n^2} (2\text{sen}\theta \text{cos}^2\theta - \text{sen}^3\theta) = 0 \quad (6)$$

Ahora que la geometría se establece, una fuerza en función de la presión y la longitud se desarrolla. Este método utiliza un simple análisis de energía. La suposición de un sistema de conservación de trabajo virtual, donde el trabajo de entrada es igual al trabajo de salida. El trabajo de entrada es cuando la presión mueve el interior del tubo de silicón haciendo que se deformen las superficies.



Figura 3.26. Malla de vinilo reforzado.

Como se observa en la figura 3.26, este será el recubrimiento del tubo de silicón o de látex, según sea el caso, para la elaboración del músculo neumático.

3.3.2.2. Modelado Membrana Músculo Neumático

Para la elaboración del músculo neumático se tomaron dos materiales silicón y látex, para el silicón se tiene la opción de un proceso de vulcanizado, para lo cual los valores de la silicona se presentan en la tabla 3.4, y para el látex como posible opción de la membrana.

Tabla 3.4. Propiedades Típicas del Silicón

Propiedades Típicas	
Durometer – Shore A	48 Shore A
Elongation	654 %
Módulos @ elongation maximum	173 psi
Specific gravity @25°C	1.12
Tear strength	157 psi
Tensile strength	1200 psi

3.3.2.2.1. Ensayos de materiales

Para la elaboración del músculo neumático se realiza ensayos de tracción en una maquina universal, en los laboratorios del Instituto de Investigaciones Metalurgia perteneciente a la Universidad Michoacana, se pusieron a prueba dos materiales, el silicón como primer material y del látex como alternativa para la fabricación de la membrana del músculo neumático, por medio de un proceso de vulcanizado para el silicón y para el látex será por medio de secado al medio ambiente.

Para la obtención de las probetas del silicón y látex se fabricaron dentro de un molde como se muestra en la figura 3.27, el molde cuenta con las dimensiones requeridas para la fabricación de probetas de polímero; se hicieron tres probetas de silicón y tres probetas de látex.

**Figura 3.27.** Molde para fabricar las probetas.

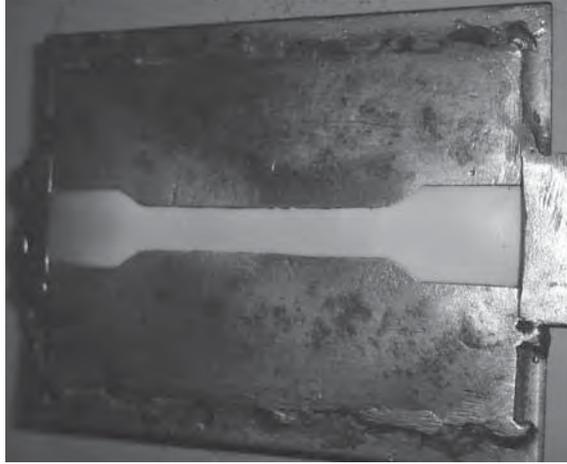


Figura 3.28. Molde con probeta de látex, durante el proceso de fragua.

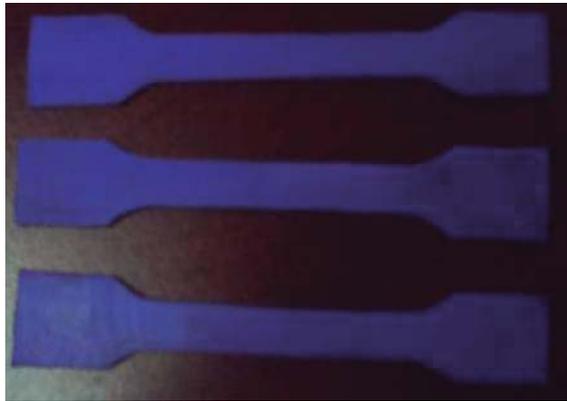


Figura 3.29. Probetas de silicón.



Figura 3.30. Probetas de Látex y silicón.

Las pruebas de las probetas en la máquina universal de ensayos a tracción en la cual se realizaron 6 pruebas de los dos diferentes materiales, 3 de silicón y 3 de látex. En las figuras siguientes se muestra el procedimiento por el cual se hicieron los ensayos del material para obtener los resultados.



Figura 3.31. Máquina universal de ensayos.

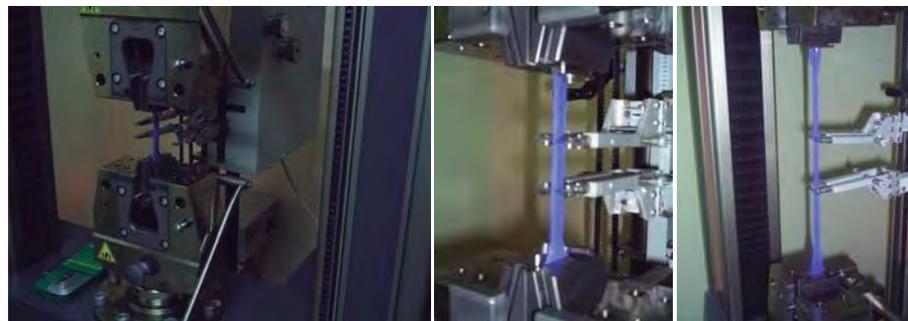


Figura 3.32. Ensayo de probeta de silicón.



Figura 3.33. Ensayo de probeta de látex.

Durante el ensayo de las probetas se observó que los materiales son muy elásticos y que soportan las cargas sin llegar a la ruptura, tanto las de silicón como las de látex, sin embargo, una de las probetas de látex si rompió debido a un defecto en el material presentado en el momento de extraer del molde. Los valores se presentan en la tabla 4.5, donde se aprecia la fuerza aplicada y la distancia que alcanza cada una de las probetas, la distancia que se alargan es medida dentro del rango que limita el extensómetro que tiene un rango inicial de 25mm.

Tabla 3.5. Resultados de la máquina universal de ensayos

	F_{max}	dL at F_{max}	F_{Break}	dL at break	W to break	a_0	b_0	S_0
Nr	N	mm	N	mm	Nmm	mm	mm	mm ²
silicon1	69.4	64.4	-	-	-	3	11.7	35.10
silicon2	75.1	63.6	-	-	-	3	12	36.00
silicon3	92.4	69.2	-	-	-	2.9	12.2	35.38
Latex1	24.0	84.7	-	-	-	2.9	11.8	34.22
Latex2	23.8	84.9	-	-	-	3	11.8	35.40
Latex3	23.3	81.8	-	-	-	3	12	36.00

Las muestras debido al tipo de material y al alargamiento las muestras de silicón tendieron a zafarse de las mordazas de la máquina y las de látex llegaron al recorrido máximo de la máquina de ensayos. En la figura 3.34 se observan las probetas después del ensayo donde las probetas de silicón después de estirarlas son la que regresan a su posición inicial sin tener deformación aparente, en cambio las de látex si se observa una deformación y permanece constante aun después de días de ver realizado el ensayo.



Figura 3.34. Probetas después de ensayos.

En la figura 3.35 se muestra la gráfica obtenida de la máquina de ensayos universales, de las seis muestras probadas. Se pueden observar los puntos donde se zafaron las probetas de silicón y compararlas con las de látex que estas no se zafaron, sin embargo la máquina llegó a su recorrido máximo, observando al final del recorrido una constante en la carga, en cada una de ellas.

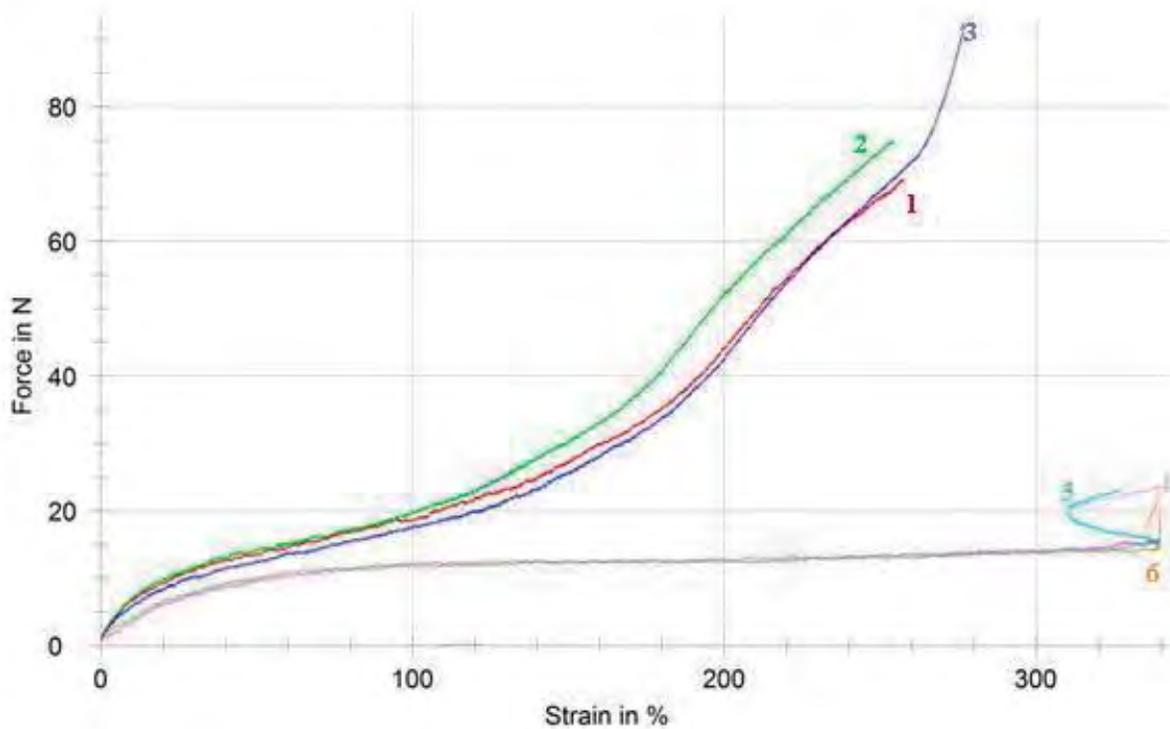


Figura 3.35. Gráfica de materiales silicón y látex.

En la gráfica se observan las curvas del comportamiento de los materiales entre estos dos registrando un comportamiento diferente, las tres primeras probetas sometidas al ensayo fueron las de silicón. La curva 1 marrón pertenece a la probeta silicón1, la curva 2 verde silicón2, la curva 3 azul silicón3, posteriormente se sometieron al ensayo las probetas de látex, la curva 4 violeta Látex1, la curva 5 azul claro Látex2 y la curva 6 naranja al Látex3, los resultados están se muestran en la tabla 3.5. Con los resultados obtenidos se toma el silicón como materia prima, con el cual se fabrico la membrana del músculo y con ayuda de un programa computacional de elemento finito determiné el espesor de pared requerido del tubo de silicón que me sirve como membrana del músculo neumático.

3.3.2.2.2. *Análisis de esfuerzos membrana*

Con el uso de elemento finito podemos predecir cómo se comportaría el modelo y estimar la tensión en las paredes del interior del tubo de silicón, para ello se toma una sección del tubo, como se muestra en la figura 3.36, donde se observa sólo la parte que se analiza por medio de elemento finito.

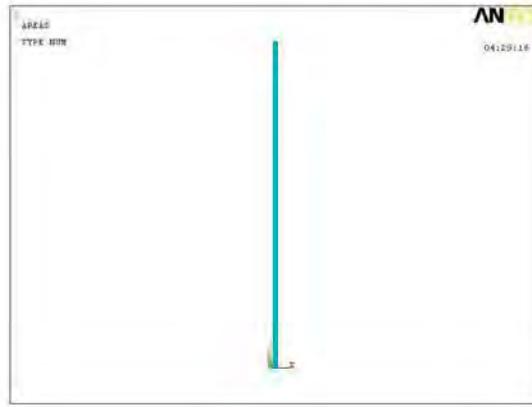


Figura 3.36. Geometría y áreas del músculo que se analiza por medio elemento finito.

El análisis es en 2D y tomando sólo una parte del tubo ya que se considera que es simétrico y el análisis de los esfuerzos resultara simétrico también, esto es, el esfuerzo radial estaría dado en el eje X y el esfuerzo axial en el eje Y. en la figura 3.37, se muestra el mallado, es un mallado con 82 nodos que proporciona el programa del elemento Plane182. El tubo tiene una longitud total de 160 mm y un diámetro exterior de 8 mm y un diámetro interior de 5 mm y un espesor de pared de 1.5 mm.

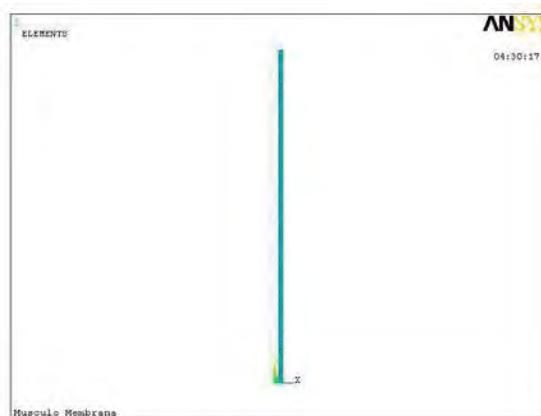
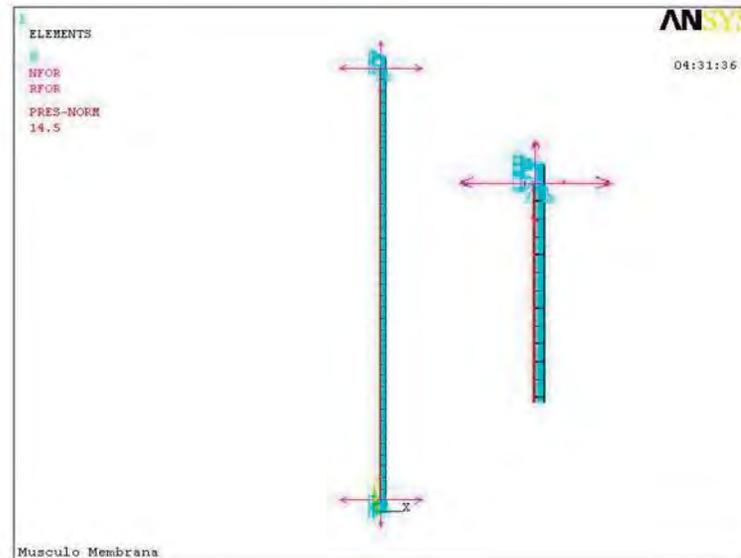


Figura 3.37. Mallado de las área a analizar.

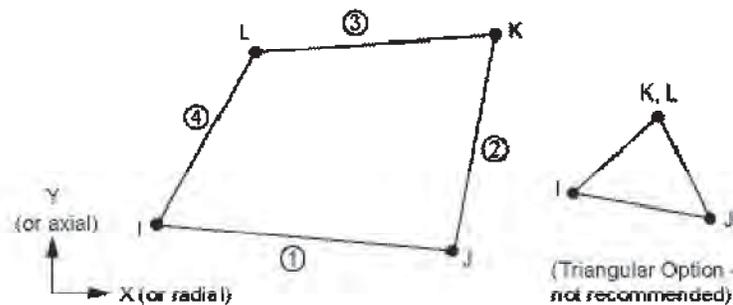
En la figuras 3.38, se muestran las restricciones los ejes X y Y de los desplazamientos, en esta parte se restringe el movimiento ya que es las que están sujetas a la conexiones del músculo, se muestra la presión en la parte interior del tubo que es de 1.5 MPa (15 bar).



Figuras 3.38. Restricciones y presión en el tubo de silicón.

Utilizando el módulo de Poisson de 0.5 implica que un cuerpo sujeto a tensiones no cambia de volumen ya que una barra de goma (silicón) sujeta a tracción se estira y se afina, de modo que su volumen no cambia. El programa de elemento finito trabaja con una razón de poisson de 4.99.

Para realizar la simulación por elemento finito se utiliza el elemento PLANE182, este elemento es usado para modelar estructuras solidas en 2D, puede ser usado como elemento plano o asimétrico, y es definido por cuatro nodos teniendo dos grados de libertad en cada nodo y una translación nodal en dirección X y Y, como se muestra en la figura 3.39, este elemento tiene plasticidad, hiperelasticidad, tensión y cuenta con la capacidad de mezclar la formulación las deformaciones de materiales elastómeros casi compresibles y materiales elásticos incompresibles.[37]



Figuras 3.39. Elemento PLANE182.

En la figura 3.40, se muestra el desplazamiento producido por la presión en el interior del tubo de silicón.

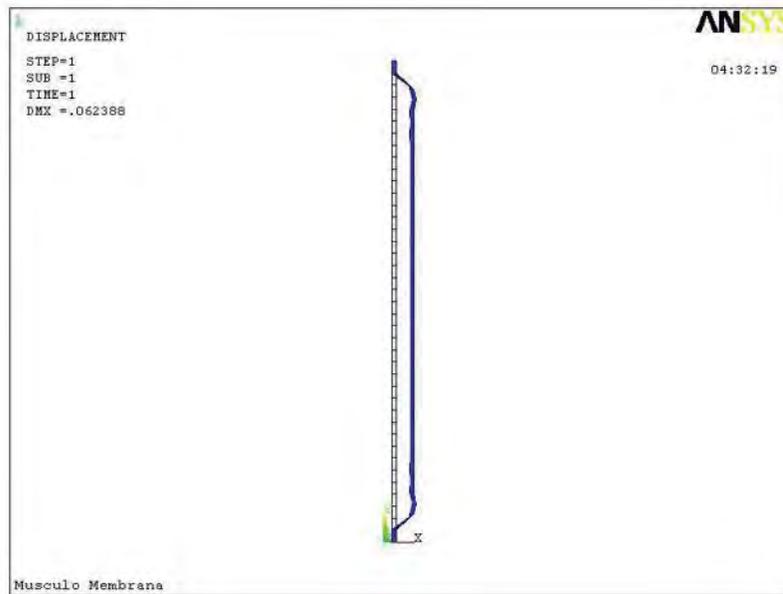


Figura 3.40. Desplazamiento en el interior del tubo de silicón.

En la figura 3.41, se muestra el resultado del análisis por elemento finito donde se observa el desplazamiento y donde el máximo esfuerzo radial (en color rojo) es de $SMX=34.751$ MPa donde ocurría la ruptura del material.

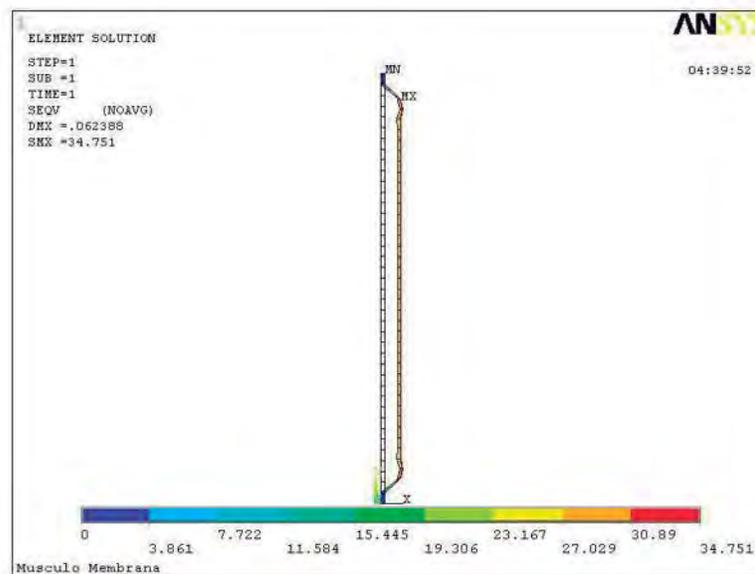


Figura 3.41. Resultado por Solución de Elementos.

En la figura 3.42 se muestra el resultado por elemento finito ahora por solución nodal donde el máximo esfuerzo radial es de 33.778Mpa ubicado en la zona donde el material presentaría la ruptura, aun siendo la comparación de los resultados de las dos soluciones se puede apreciar que se encuentra dentro del parámetro de trabajo al que se utilizará.

En la figura 3.43, se muestra la posición inicial y final o desplazamiento que hará el músculo neumático, debido al porcentaje de alargamiento del material (276.8 %) la restricción de expansión la hará la malla con la cual se recubrirá el músculo.

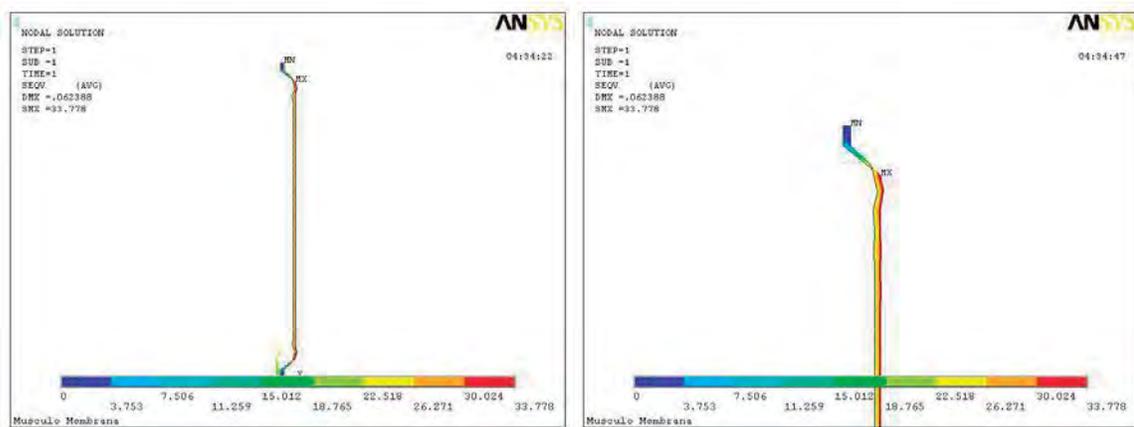


Figura 3.42. Resultado por Solución Nodal.

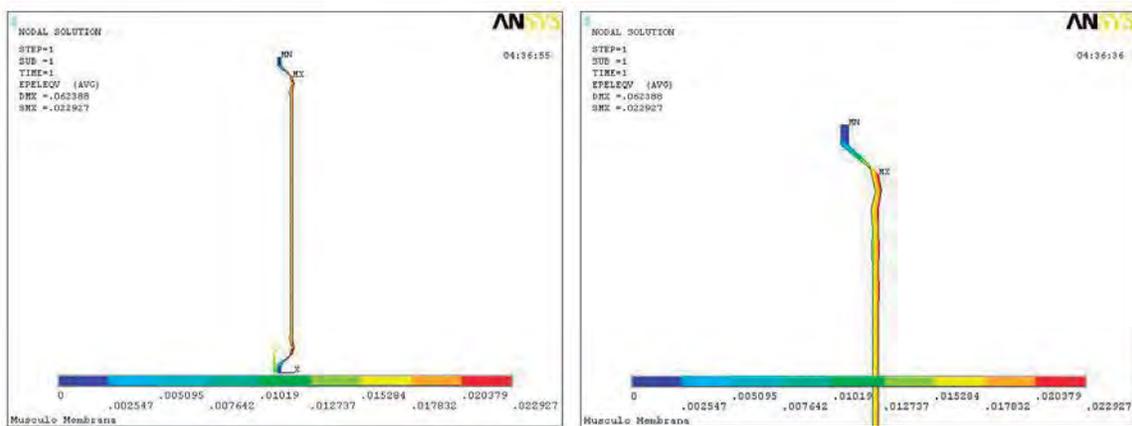


Figura 3.43. Resultado por Solución Nodal en Von Mises Esfuerzo Elástico.

Partiendo de las propiedades físicas del material de la tabla 3.4 y con las referencias de la literatura [41], realizaremos el diseño del molde para la fabricación de la membrana del músculo neumático.

3.3.2.3. Diseño de molde para el músculo

Con los datos que fueron obtenidos de la simulación por elemento finito y la longitud de la base se realizó el diseño del molde, para la fabricación de la membrana del músculo neumático, esta será realizada en silicón por medio un proceso de vulcanizado, el proceso fue desarrollado por Charles Goodyear en el año de 1839. En este proceso donde se somete a un calentamiento al material añadiendo cierta cantidad de azufre.

El diseño de este tipo de molde es uno de los más sencillos que se encuentran. por lo regular son de tres partes del molde o más dependiendo de qué tan compleja sea la pieza a vulcanizar. En las figuras 3.44 y 3.45 siguientes se muestran algunos tipos de moldes para este proceso de vulcanizado.

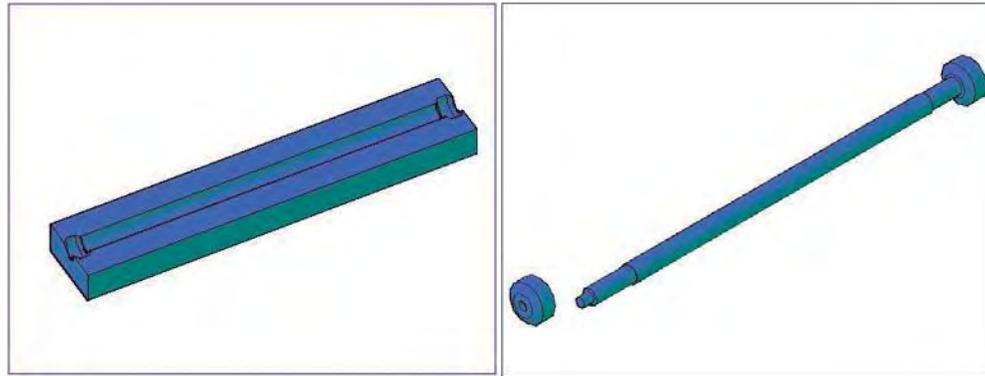


Figura 3.44. Moldes para vulcanizado de suela de zapato.



Figura 3.45. Molde para Vulcanizar un tubo corrugado de silicón.

Para el sistema de actuación de la mano se realizaron tres tipos diferentes de moldes ya que lo que varía es la longitud del músculo neumático. Los diámetros permanecen constantes en los tres tipos diferentes. En la figura 3.46, a y b se muestra la parte inferior del molde y el corazón del mismo.



Figuras 3.46. (a) Parte inferior del Molde.

(b) centro o corazón del molde.

En la figura 3.47, se muestra el molde completo el cual es fabricado de acero ATMS-A36, ya que el material es económico y no soportará mucha presión durante el proceso de vulcanizado además de ser económico y fácil de maquinarse.

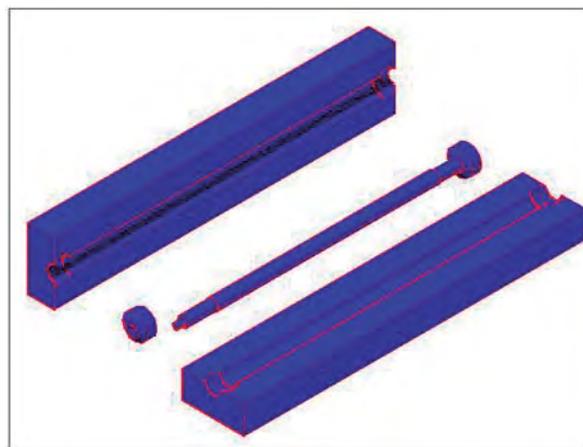


FIGURA 3.47. Cavidades y centro del molde completo.

3.3.2.4. *Diseño de conexión aire y anclaje y Análisis de esfuerzos*

Las conexiones y dispositivos de retención son diseñados para trabajar de una manera segura en su área de trabajo. La selección de la manguera apropiada, los acoples apropiados, los dispositivos de retención apropiados y de la correcta aplicación del acople a la manguera son

de suma importancia. Se deben de considerar el tamaño, la temperatura, la aplicación, el fluido a conducir, la presión, y las recomendaciones de los fabricantes de la manguera y el acople a la hora de seleccionar los componentes del ensamble, como en la figura 3.48, para el músculo neumático dentro del mercado no existen actualmente un tipo de conexión que sea de utilidad.



FIGURA 3.48. Conexiones para mangueras.

Teniendo las dimensiones de la membrana del músculo neumático, que tiene un diámetro interno de 5mm, y el diámetro de la malla de 13mm, se realizó el tipo conexión y anclaje para el músculo neumático, éstas son realizadas en aluminio 6061.

Para el músculo se necesito dos tipos diferentes de conexiones que nos permita, una la circulación del aire y anclaje a la base del músculo y la segunda sólo que nos permita tener la sujeción con el músculo y el cable que sirve como tendón.

En las figuras 3.49 y 3.50 se observa el análisis de esfuerzos de la conexión de anclaje de la parte superior del músculo.

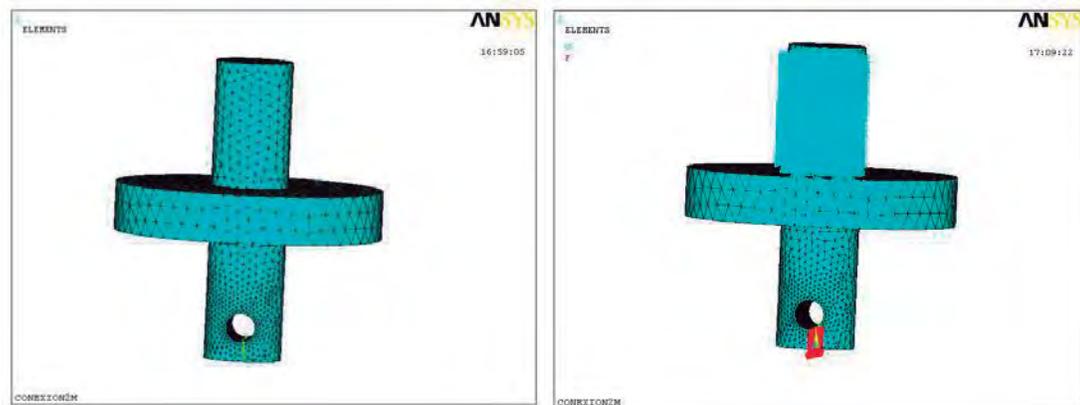


FIGURA 3.49. Mallado y aplicación de cargas.

Se observa que en el máximo esfuerzo se presenta en la parte interna del orificio de sujeción del tendón, y es de 84.624 MPa.

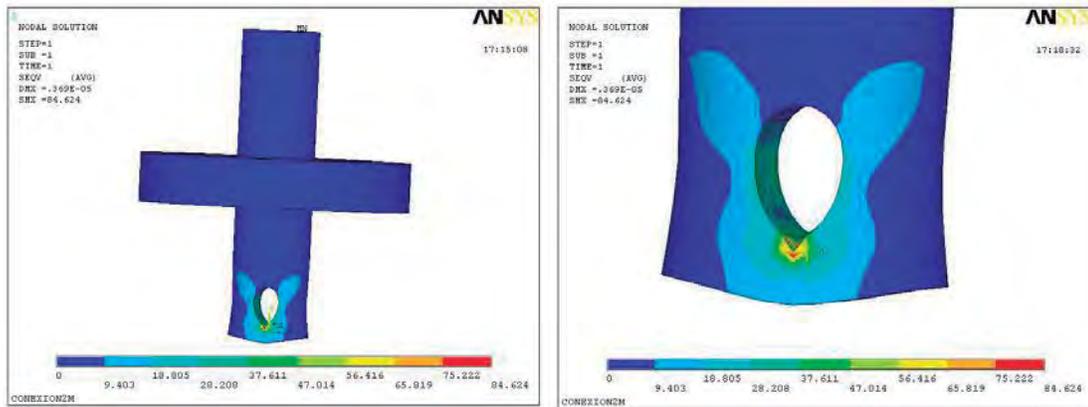


FIGURA 3.50. Distribución de esfuerzos en Nodal Solution.

La conexión inferior del músculo debe de proporcionar aparte de la sujeción del músculo a la base, la entrada de aire, por consiguiente ésta es un poco más grande, las dimensiones finales están en los dibujos. En la figuras 3.51 y 3.52, se aprecia el tipo de malla y la distribución de esfuerzos respectivamente.



FIGURA 3.51. Mallado y aplicación de cargas.

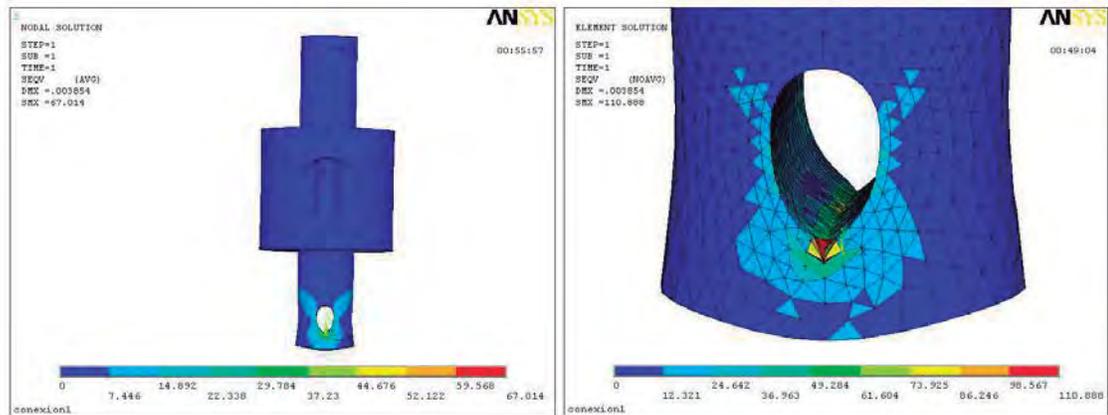


FIGURA 3.52. Distribución de esfuerzos en Nodal Solution.

En las figuras 3.53, y 3.54, siguientes se observa parte de la fabricación de las conexiones de anclaje, fabricadas en aluminio 6061 comúnmente llamado como comercial, éstas fueron fabricadas en los laboratorios de la FIM.



FIGURA 3.53. Conexiones de anclaje, parte inferior.



FIGURA 3.54. Conexiones parte inferior y superior del músculo.

3.4. Componentes del sistema de actuación

En esta parte de selección de componentes que se pueden comprar y conseguir en el mercado nacional podemos contar con válvulas, mangueras y conexiones rápidas.

3.4.1. Válvulas Neumáticas

Las válvulas son dispositivos utilizados para controlar la presión o flujo en un circuito neumático, según su tipo se pueden clasificar por:

Válvulas de vías:

Las características de la válvulas de vías, son el número de conexiones (vías), el número de posiciones, su tipo de accionamiento y la forma en que ésta vuelve a su posición original, además por supuesto características técnicas como presión que maneja, tamaño, peso y fuerza necesaria en el accionamiento o energía que éste consume.

Válvulas de cierre (antirretorno):

Permiten el flujo del aire pase a través de esta en una sola dirección, su combinación con elementos de estrangulación o varias entradas permiten flexibilidad en el momento del diseño de un circuito.

Válvulas de estrangulación o reguladoras de flujo:

Limitan el flujo en una tubería, esto con el fin de evitar daños a los elemento o reducir la velocidad con que éstos actúan. Son muy usadas para aumentar la seguridad de una instalación y deben ir después del compresor.

Las siguientes son sólo algunas de tantas válvulas existentes.

- Válvula 2/2
- Válvula 3/2
- Válvula 4/2
- Válvula 5/2
- Válvula de cierre
- Válvula de estrangulación
- Módulo lógico "O" e "Y"

La opción de válvulas marca NORGREN figura 3.55 ya que este tipo de válvulas son más económicas y se encuentran con facilidad en el país. Las válvulas tienen las siguientes características:

Serie V60-63

Válvulas de corredera de accionamiento neumático y eléctrico indirecto.

Características:

Gran caudal, Volumen reducido, Mando manual opcional, Libre de mantenimiento, Bajo consumo, Aplicación para controles piloto, Sistema manifold para un fácil montaje, Opciones para múltiples presiones.

Datos técnicos

Fluido: Aire comprimido, filtrado, lubricado y no lubricado.

Funcionamiento: Control electromagnético o neumático

Posición del montaje: Opcional

Conexión: G 1/8 hasta G 1/2

Presión de trabajo: 1,5/2 hasta 8/10 bar

Dirección del caudal:

Suministro piloto interno: fijo

Suministro piloto externo: opcional

Caudal:

Tamaño 3/2, 5/2 2x3/2, 5/3

G1/8 750 500 lt/min.

G1/4 1300 950 lt/min.

G3/8 2600 1900 lt/min.

G1/2 4200 lt/min.

Temperatura ambiente: -10°C a +50°C.

Temperatura del fluido: -10°C a +50°C

Materiales

Cuerpo: aluminio

Émbolo, espaciador y tapas finales: plástico (PBT)

Juntas: NBR

Tornillos: acero inoxidable



Figura 3.55. Válvulas marca NORGREN.

Válvulas de control direccional 5/2, accionamiento eléctrico

Símbolo	Modelo	Tamaño de la conexión	Alimentación piloto	Escape piloto	Variante del solenoide	Caudal (l/min)	Presión de trabajo (bar)	Presión del piloto (bar)	kg	Dimensiones
	V60A513A-Ax***	G1/8	Interno	Libre	1	750	2 ... 8	—	0,24	9
	V60A523A-Ax***	G1/8	Externo	Libre	1	750	-0,9 ... 8	3 ... 8	0,24	9
	V60A513D-Cx13A	G1/8	Interno	Conducido	2	750	2 ... 10	—	0,23	11
	V60A523D-Cx13A	G1/8	Externo	Conducido	2	750	-0,9 ... 10	3 ... 10	0,23	11
	V61B513A-Ax***	G1/4	Interno	Libre	1	1300	2 ... 8	—	0,33	9
	V61B523A-Ax***	G1/4	Externo	Libre	1	1300	-0,9 ... 8	3 ... 8	0,33	9
	V61B513D-Cx13A	G1/4	Interno	Conducido	2	1300	2 ... 10	—	0,32	11
	V61B523D-Cx13A	G1/4	Externo	Conducido	2	1300	-0,9 ... 10	3 ... 10	0,32	11
	V62C513A-Ax***	G3/8	Interno	Libre	1	2600	2 ... 8	—	0,62	9
	V62C523A-Ax***	G3/8	Externo	Libre	1	2600	-0,9 ... 8	3 ... 8	0,62	9
	V62C513D-Cx13A	G3/8	Interno	Conducido	2	2600	2 ... 10	—	0,61	11
	V62C523D-Cx13A	G3/8	Externo	Conducido	2	2600	-0,9 ... 10	3 ... 10	0,61	11
	V63D513A-Ax***	G1/8	Interno	Libre	1	4200	2 ... 8	—	0,96	12
	V63D523A-Ax***	G1/8	Externo	Libre	1	4200	-0,9 ... 8	3 ... 8	0,96	12

Códigos de voltaje y bobinas

Solenoides variante 1 (giro solenoide 4 x 90°)
Bobina 22 mm DIN EN 175 301-803 (DIN 43650 B)

Voltaje	Código bobina	Potencia arranque/mant.	Modelo
12 V c.e.	12L	2 W	V10626-A12L
24 V c.e.	13L	2 W	V10626-A13L
24 V 50/60 Hz	14L	4/2,5 VA	V10626-A14L
48 V 50/60 Hz	16L	4/2,5 VA	V10626-A16L
110/120 V 50/60 Hz	18L	4/2,5 VA	V10626-A18L
220/240 V 50/60 Hz	19L	6/5 VA	V10626-A19L

Solenoides variante 2

Doble solenoide con interface según DIN 43650 tipo C (4 pin)

Voltaje	Código bobina	Potencia arranque/mant.	Mando manual	Modelo
24 V c.e.	13 A	2 W	Sólo pulsar	9031703900002400
24 V c.e.	13 A	2 W	Girar y bloquear	9031704900002400
24 V c.e.	13 A	2 W	Sin	9031705900002400

Bobina 22 mm según estándar industrial

Voltaje	Código bobina	Potencia arranque/mant.	Modelo
12 V c.e.	12J	2 W	QM/48/12/J/21
24 V c.e.	13J	2 W	QM/48/13/J/21
24 V 50/60 Hz	14J	4/2,5 VA	QM/48/14/J/21
48 V 50/60 Hz	16J	4/2,5 VA	QM/48/16/J/21
110/120 V 50/60 Hz	18J	4/2,5 VA	QM/48/18/J/21
220/240 V 50/60 Hz	19J	6/5 VA	QM/48/19/J/21

Información eléctrica

Tolerancia voltaje:	±10%
Funcionamiento:	100% E.D.
Protección:	IP 65 con conectores estancos (ISO 6952)

Distribución conexonado, lado válvula/Doble piloto

Símbolo	No. conector	Función	Accionamiento
	1	(+)	12 (Solenoides 2)
	2	(-)	12 + 14
	3	(+)	14 (Solenoides 1)

Fuente catálogo NORGREN. [42]

De este tipo de válvulas se selecciona electroválvula de puerto de 1/8" NPT, activada por bobina a 12VCD. Retorno por resorte, modelo V60A513-A212JB. Ya que cumple con lo requerido para el sistema de actuación.



Figura 3.56. Sub-base NORGREN.

Este tipo de sub-base se emplea en sustitución de un manifold y nos permite tener un mayor control de las posiciones de las electroválvulas en su ordenamiento, también es una manera de evitar más conexiones y evitar en lo mayor posible una posible fuga.

Tipo		A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	O	P	R	S	T	U
V60	2 estaciones	49	98	30	16	8	11	21	32	11	35,5	46	G 1/8	G 1/4	€	86	28	-	23	para M5
V60	3 estaciones	49	98	30	16	8	11	21	32	11	35,5	69	G 1/8	G 1/4	€	86	28	-	23	para M5

Sistema manifold

Placa manifold

Vías válvula	Modelo V60	kg	Modelo V61	kg	Modelo V62	kg
2	2221002 0300 04000	0,23	2221102 0300 04000	0,28	2221202 0300 04000	0,50
3	2221003 0300 04000	0,28	2221103 0300 04000	0,45	2221203 0300 04000	0,85
4	2221004 0300 04000	0,61	2221104 0300 04000	0,72	2221204 0300 04000	1,25
6	2221006 0300 04000	0,86	2221106 0300 04000	1,02	2221206 0300 04000	1,79
8	2221008 0300 04000	1,11	2221108 0300 04000	1,32	2221208 0300 04000	2,33
10	2221010 0300 04000	1,36	2221110 0300 04000	1,62	2221210 0300 04000	2,87
12	2221012 0300 04000	1,61	2221112 0300 04000	1,92	2221212 0300 04000	3,41
14	2221014 0300 04000	1,86	2221114 0300 04000	2,22	2221214 0300 04000	3,95
16	2221016 0300 04000	2,11	2221116 0300 04000	2,52	2221216 0300 04000	4,49
18	2221018 0300 04000	2,36	2221118 0300 04000	2,82	2221218 0300 04000	5,03
20	2221020 0300 04000	2,61	2221120 0300 04000	3,12	2221220 0300 04000	5,57

Fuente catálogo NORGREN. [42]

También se muestra en la figura 3.56 el tipo de sub base en las cuales estarán montadas las válvulas para lo cual se requiere 4 sub bases, en la figura 3.57, se muestra el conjunto de sub-bases y las once válvulas montadas con su reguladores de flujo en cada una de ellas. Éstas están fabricadas en polímeros y en su mayor parte de aluminio.



Figura 3.57. Sub-base NORGREN con las electroválvulas.

3.4.2. Líneas hidráulicas (Mangueras)

Una **manguera** es un tubo hueco diseñado para transportar fluidos de un lugar a otro. A las mangueras también se les llama tubos, aunque los tubos generalmente son rígidos mientras que las mangueras son flexibles.

En la selección de las mangueras, una característica importante es la Presión de Trabajo, la cual trae consigo el definir por categorías cada una de las líneas:

Baja Presión. Existe una gran variedad de mangueras hidráulicas de baja presión. Éstas están diseñadas para usarse en diferentes aplicaciones con presiones de operación por debajo de 300 psi.

Media presión. Manguera de Media Presión. Estas mangueras son utilizadas en aplicaciones hidráulicas que requieren presiones de operación de 300 psi a 3000 psi. Pueden ser de una trenza de alambre, varios alambres o construcción de trenza de textil. Además de ser usadas en equipos.

Alta presión. Estas mangueras son utilizadas en aplicaciones hidráulicas que requieren presiones de operación superiores a las 3000 psi. Estas mangueras con frecuencia son llamadas mangueras de “ dos alambres “, porque generalmente tienen un refuerzo de dos trenzas de alambre de acero de alta tensión, Siempre se encuentran en aplicaciones de Alta presión tales como Equipo de a Construcción.

Muy alta presión. Recomendada para aplicaciones de altos impulsos. Excede la norma SAE 100R12, EN 856 R12 y EN 856 4SP(-16). Soporta 4,000 psi. En todos los tamaños (6, 8, 10, 12 y 16). Se fabrica con cubierta MegaTuff para alta resistencia a la abrasión.

Extrema Presión. Las mangueras de extrema presión y muy alta presión se utilizan para equipos de construcción y maquinaria de servicio pesado en donde suceden altos impulsos (incrementos súbitos de presión).

Mangueras Especiales. Algunas de estas mangueras no se clasifican en una categoría particular de presión, pero son utilizadas en aplicaciones especiales. Ejemplos de estas aplicaciones son la conducción de refrigerantes o gas LPG, operando a temperaturas extremas o en donde no se requiere mucha presión.

El material usado para la fabricación de mangueras varía en cuanto al tipo de polímetro a usar, actualmente existen una gran variedad de materiales compuestos, polímeros de alta resistencia, etc. los cuales resisten condiciones muy severas de trabajo. También influyen las condiciones ambientales, tipo de fluido, presión a manejar, etc.



Figura 3.58. Algunos tipos de mangueras de nylon, también se muestran algunos coples.

Para la selección del diámetro de la manguera, se hace auxilio de las tablas de medidas disponible por los fabricantes, como se muestra en las tablas 3,6. La estandarización del diámetro interno y externo facilita su selección. Ya que se utilizara una manguera marca *REXROTH* que tiene las siguientes características:

Manguera o tubing Marca *Bosch Rexroth AG*
 Manguera de teflón, Serie TU1, Ø 4 - 14 mm
 Presión de funcionamiento máx. a 0 °C
 Véase la tabla de más abajo

Temperatura ambiental min./max.
 -40°C / +00°C

Materiales:
 Manguera de aire comprimido es de politetrafluoretileno

Tabla 3.6 Diámetro de mangueras disponibles Rexroth.

Diámetro de manguera fuera	Espesor de pared	Presión de funcionamiento máx. a 20 °C	Radio de flexión mín. a 20 °C	Peso	Color	Longitud	N° de material
[mm]	[mm]	[bar]	[mm]	[kg/m]		[m]	
4	0,75	16	18	0,017	Transparente	25	R412004956
					Rojo	100	R412004965
					Azul	100	R412004966
					Verde	100	R412004967
					Transparente	100	R412004152

La manguera a seleccionada es de 4mm de diámetro color rojo con una presión de funcionamiento máximo a 20 °C de 16 Bars. Como se muestra en la figura 3.59.



Figura 3.59. Manguera Rexroth.

3.4.3. Conexiones

Actualmente existen en el mercado una gran cantidad de conexiones empleadas en diferentes usos y actividades, seleccionando anteriormente el tipo de electro válvulas y el tipo de tubing empleado, se ha seleccionado dentro de la misma marca de NORGREN el tipo de conexiones, esto es para evitar algún tipo de incompatibilidad con otras marcas existentes, en las figuras 3.60 se muestran el tipo de conexiones seleccionadas así como una conexión reguladora de flujo.



Figura 3.60. Conexiones usadas en el sistema.

Los modelos seleccionados de conexiones que se utilizaron son los siguientes según datos del fabricante [43]:

Conexión recta modelo *C0125*

Conexión de codo 90° modelo *C0147*

Conexión reguladora de flujo modelo *COTAO*

Estos tres tipos de modelos de conexiones son la que se utilizaron en el sistema de actuación los detalles de las mismas se encuentran en el apéndice.

CAPITULO IV: PROTOTIPO Y PRUEBAS

La realización de prototipo del sistema de actuación de la mano artificial se inició con la construcción del músculo neumático el cual se hizo a partir de un tubo de silicón y malla de poliuretano reforzada, integrándole conexiones. El tubo de silicón se obtuvo por medio de moldeo en un proceso de vulcanizado, con una longitud final de 160 mm, y un espesor de pared de 1.5 mm, dentro de este capítulo se hace la integración del sistema de actuación para la mano, así mismo la integración de *Sistema de Control* realizado por el M.C. Carlos Oros en un proyecto efectuado anteriormente al presente.

4.1. Prototipo del músculo neumático

Fabricación del músculo neumático como se muestra en las figuras 4.1, 4.2 y 4.3, es el procedimiento que se llevó para la construcción del músculo con el cual se armó el sistema de actuación, la fabricación es relativamente muy sencilla. El mismo procedimiento se siguió para los once músculos que conforman el sistema, uno de los puntos importantes dentro del proceso es tener la seguridad que los extremos del músculo se encuentren perfectamente sellado para evitar alguna fuga del aire al momento de estar funcionando.

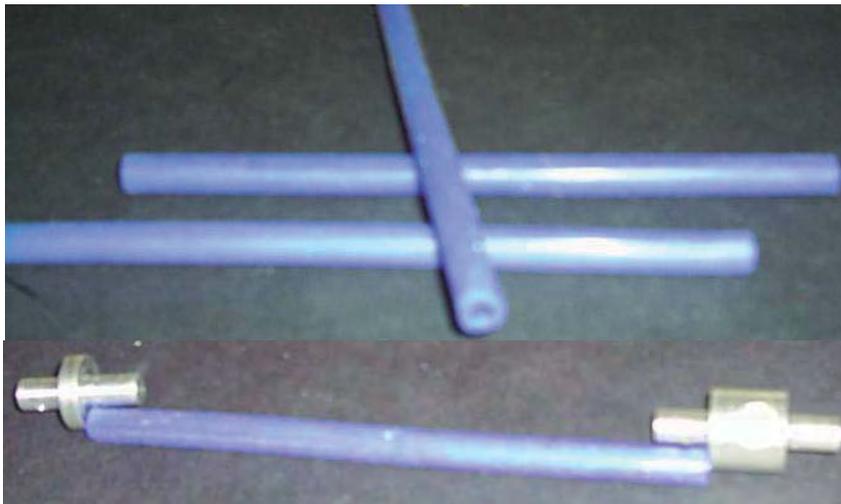


Figura 4.1. Parte interna del músculo neumático.

En la figura 4.3 se muestra la forma final del músculo, para sellar en los extremos utilicé dos tipos de pegamentos epóxicos y una abrazadera de tipo comercial, con lo cual logre que fijaran bien a las conexiones, de esta forma conseguí una adhesión con la malla para evitar desplazamiento en los extremos del músculo, el peso que se incrementa por los pegamento no es significativo ya que se emplean muy pocas cantidades de los pegamentos.



Figura 4.2. Parte del músculo recubierto con la malla.



Figura 4.3. Músculo neumático terminado.

Para el sistema de actuación son necesarios once músculos para cada una de las articulaciones de la mano, estos los ordene en la base donde se los coloque en dirección de cada una de las articulaciones tratando de evitar algún tipo de interferencia al momento de efectuar el movimiento del músculo neumático. En la figura 4.4 se muestran 10 de ellos.

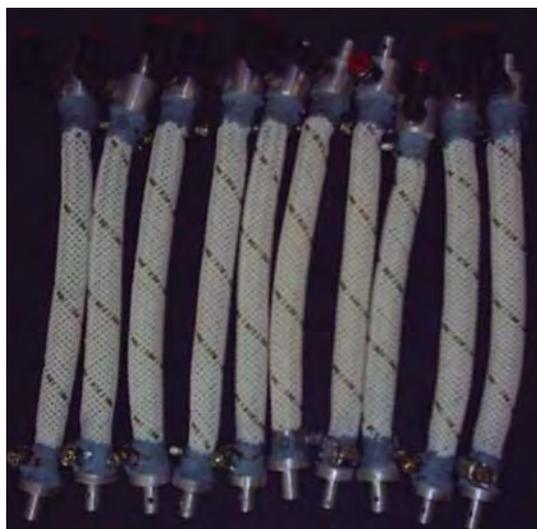


Figura 4.4. Conjunto de Músculos Neumáticos.

El peso por cada músculo es de 55 gramos ya construido en su totalidad como se muestra en la figura 4.5, el músculo tiene ya la conexión donde se insertara la manguera de alimentación de aire, para realizar el funcionamiento, el peso de los músculos lo obtuve mediante una bascula convencional, el peso de los once músculos fue el mismo.



Figura 4.5. Peso del Músculo neumático.

El peso general de los once músculos es de 610 gramos como se observa en la figura 4.6, dentro de los parametros buscados en el diseño, es aceptable y un posible usuario lo podra soportar facilmente.



Figura 4.6. Peso final de los 11 músculos.

4.1.1. Pruebas del músculo

La realización de pruebas de los músculos se hizo en cada uno de ellos, el desplazamiento que se generó figuras 4.7 y 4.8, y el peso que puede mover, en la figura 4.9, por medio de un pequeño dispositivo que permite el paso de aire y controlando la presión, para las pruebas se realizo con una presión de trabajo de 7 bars, esta se utilizará cuando se encuentran conectados

al conjunto de electroválvulas, para mover cada una de las articulaciones de la prótesis de la mano.

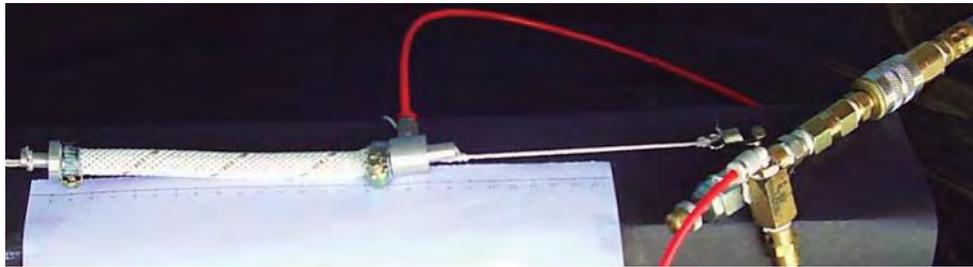


Figura 4.7. Prueba del Músculo neumático.

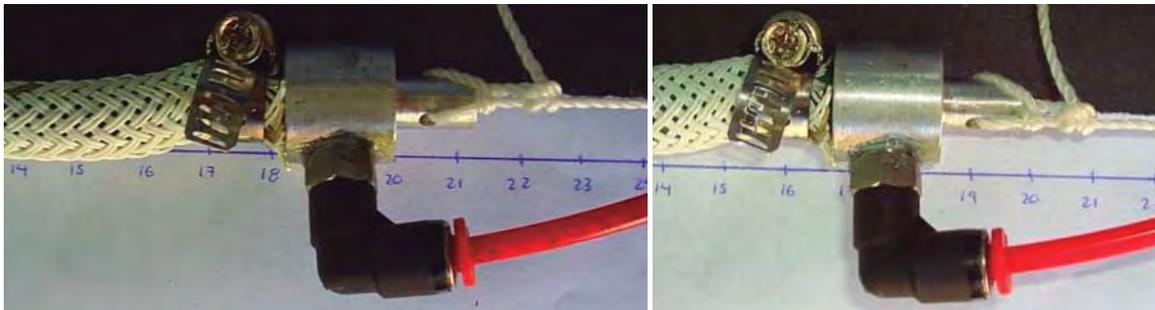


Figura 4.8. Prueba de desplazamiento del músculo neumático.

Dentro de las pruebas realizadas se observó que dependiendo que tanto se pueda tensar el músculo neumático se obtiene un desplazamiento menor o mayor, aplicando la misma presión de 7 bars, en la tabla 4.1 se indica la distancia que recorrió cada músculo. La longitud X es diferente para cada uno de los músculos debido a la construcción del músculo debido y a la variación de malla que se utilizó, el periodo de prueba se repitió 10 veces sacando un promedio, se pudo observar que la variación de desplazamiento de cada músculo era mínima en promedio de un milímetro.

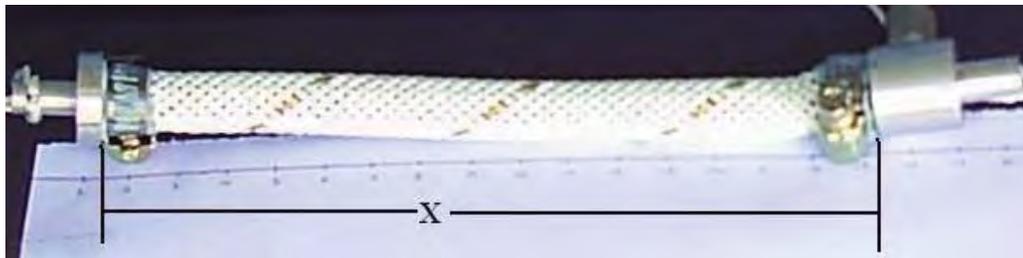


Figura 4.9. Medida tomada para realizar la prueba de desplazamiento.

TABLA 4.1. Desplazamiento de los músculos.

número	Longitud X mm	Distancia recorrida mm	Peso gr.
1	177	22	55
2	167	20	55
3	173	18	55
4	194	19	55
5	195	20	55
6	182	19	55
7	184	25	55
8	186	18	55
9	190	21	55
10	182	20	55
11	180	20	55

En la figura 4.10, se muestra la prueba del músculo levantando un peso de 2Kg. La falange proximal del dedo pulgar es la que necesita la mayor fuerza y es de 1.730 Kilogramos para ser movida.



Figura 4.10. Músculo levantando un peso de 2 kg.

4.2. Construcción del prototipo sistema de actuación

El sistema de actuación es construido por once músculos situados alrededor de la base que sostiene el prototipo de la prótesis de la mano, estos músculos serán accionados por un conjunto de electroválvulas, este a su vez será operado por el sistema de reconocimiento de voz desarrollado por el M.C. Carlos Oros,[53] al cual se efectúan modificaciones para ser incorporado al sistema de actuación de la mano, por cualquier otro tipo de sistema de control, en la figura 4.11 se muestra el inicio del ordenamiento de los músculos neumáticos, así como la placa del comando de voz y el banco de electroválvulas.

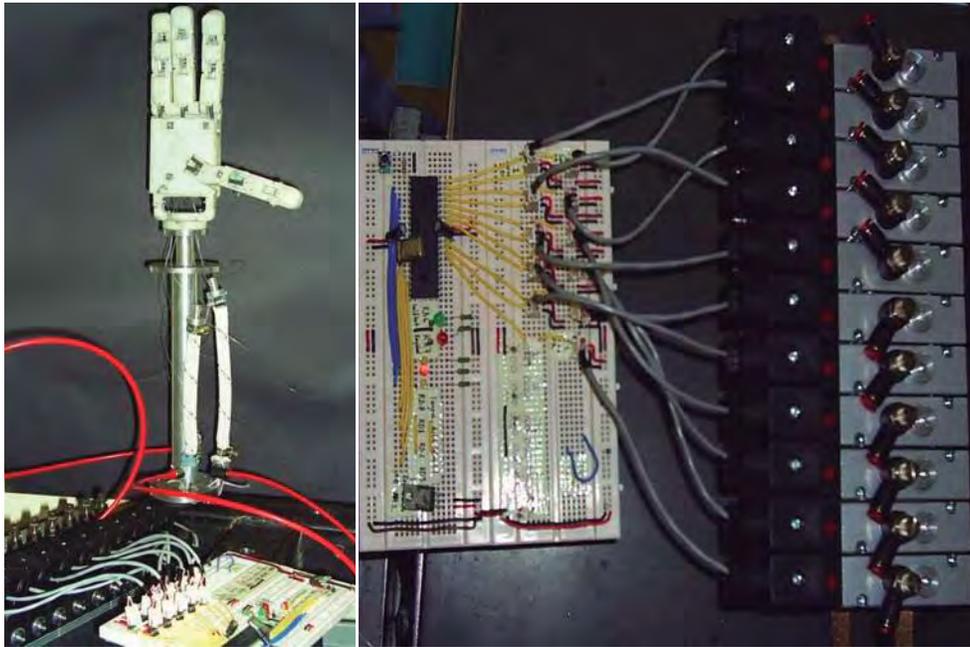


Figura 4.11. Construcción del prototipo del sistema.

El ordenamiento de los músculos en la base anclados, a cada una de las articulaciones, de acuerdo a las tablas 2 de desplazamiento para mover las articulaciones y de desplazamiento del músculo en las pruebas realizadas, en la figura 4.12 se muestra el conjunto de los once músculos en el orden, unidos al prototipo de la mano.



Figura 4.12. Arreglo de los músculos neumáticos.

En la figura 4.13 se muestra el sistema de actuación terminado y conectado a conjunto de electroválvulas.

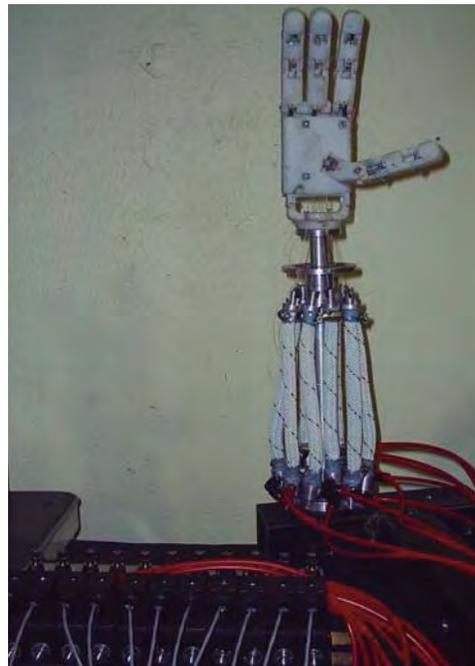


Figura 4.13. Prototipo de Sistema de Actuación Terminado.

El sistema de actuación es neumático y trabaja a una presión de 7 bars. La presión de trabajo se puede modificar de 3 bars hasta 9 bars donde los músculos funcionan de igual manera y el flujo se puede controlar por medio de la válvula de flujo que se encuentra en banco de electroválvulas.

4.3. Prueba de movimiento del sistema

En las figuras 4.14 se muestra el movimiento del dedo índice con una presión de trabajo para el músculo de 7 bars, la secuencia del Abductor dedo índice por medio del dispositivo usado para probar los músculos individualmente, es necesario colocar un tipo de separador para evitar que los músculos se interfieran uno con otro. Para el movimiento se abrió la válvula de paso al mínimo para introducir el aire, y realizó el desplazamiento lentamente, desde un inicio de reposo hasta la abertura total del abductor y regresando a la posición inicial.

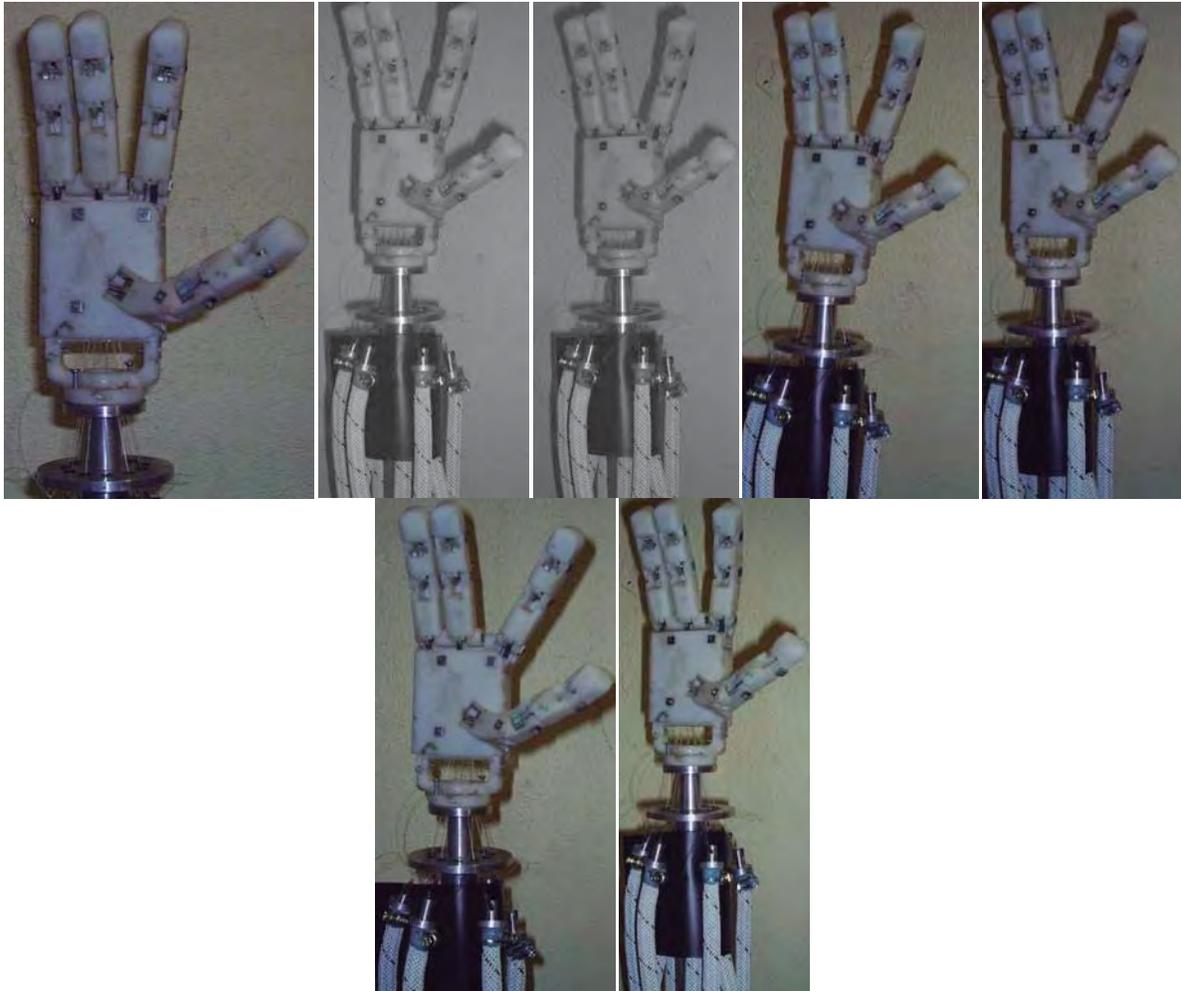


Figura 4.14. Secuencia de movimientos del aductor dedo índice.

Los movimientos se realizaron en cada uno de las once falanges de la mano, igualmente que con el dispositivo de prueba, teniendo varias observaciones en lo concerniente del ordenamiento de los tendones que no permiten un correcto funcionamiento del prototipo de y del sistema de actuación, en algunos casos el ordenamiento de los cables no permiten la función correcta de la falange.

4.4. Integración del sistema de control

El sistema de control por voz que se utilizó para controlar los movimientos de las falanges de la mano, se desarrolló un programa (apéndice) para ejecutar los movimientos de las falanges, en el cual al indicar una palabra en inglés el sistema de actuación realizara los movimientos mediante el banco de electroválvulas que recibe la señal del sistema de control así accionando el músculo neumático.

Para entender el funcionamiento del software, se dirá que este consta de tres etapas: la primera etapa inicia con la creación de la biblioteca, que contiene los códigos de las palabras que se compararán con los espectros de voz entrantes, la segunda es el programa principal para el reconocimiento de voz que proveerá a la tercera etapa de un código binario de la palabra reconocida. La tercera etapa consta del programa que ejecutara la rutina necesaria para cada código binario que recibió por la segunda etapa.

Con este procesamiento se permite el accionamiento de las electroválvulas. Las palabras utilizadas son en inglés debido a que la biblioteca que proporciona el fabricante se encuentra en este idioma, los comandos utilizados son open, close, one, star entre otros las anteriores son con las que se realizó la prueba del abductor del dedo índice.

4.4.1. Procesos del reconocimiento de voz

El reconocimiento de voz generalmente es utilizado como una interfaz entre el humano y la computadora mediante un software. En el caso que nos concierne el proceso se realiza por medio de la introducción de la voz por medio de un micrófono, la señal llegara a la tarjeta y donde esta será procesada y posteriormente enviada al circuito que envía la señal al banco del electroválvulas.

Para que la voz se transforme en datos debe pasar por los siguientes procesos, pasos con los cuales el programa debe cumplir para un reconocimiento exitoso:

1. Pre-procesamiento: Convierte la entrada de voz a una forma que el reconocedor pueda procesar.
2. Reconocimiento: Identifica lo que se dijo (traducción de señal a texto).
3. Comunicación: Envía lo reconocido al sistema (Software/Hardware) que lo requiere.

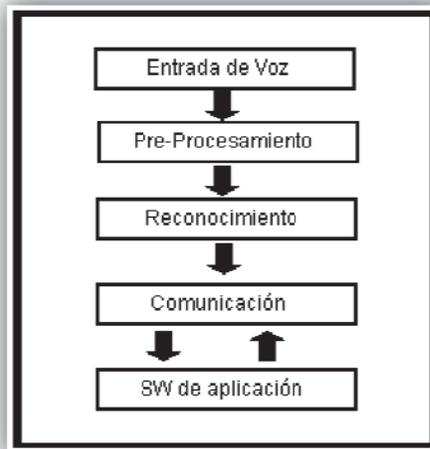


Figura 4.15. Componentes de una aplicación.

Tipos de reconocimiento de voz

Sistema Dependiente del Locutor: El software debe ser entrenado para que reconozca cada usuario individual. Sin embargo, este sistema consume mucho tiempo en el ingreso del diccionario en la computadora.

Sistema Independiente del Locutor: El software reconoce palabras de la mayoría de los que hablan sin entrenamiento previo. Para eso usa modelos. Sin embargo, un acento fuerte podría confundir al sistema.

Reconocimiento Discreto del Habla: El locutor deberá hacer pausas entre las palabras para que la computadora pueda reconocer dónde termina cada palabra.

Reconocimiento Continuo del Habla: El que habla puede usar un flujo de conversación normal.

Lenguaje Natural: El locutor puede llegar a conversar con su computadora y decirle algo como: ¿Cuándo podríamos enviarle una docena del artículo 2000 en color azul a Olavarría? ¡Y obtener una respuesta!.

En nuestros días, existe una gran variedad de circuitos integrados con millones de transistores y otros elementos repartidos en pocos mm^2 de silicio que configuran potentes computadores digitales a un costo accesible. Con ello es posible la construcción de componentes que se utilizan en diversos equipos así mismo la conexión del comando de voz hasta las electroválvulas para que funcionen. En la figura 4.16 se muestra el componente eléctrico. [55]

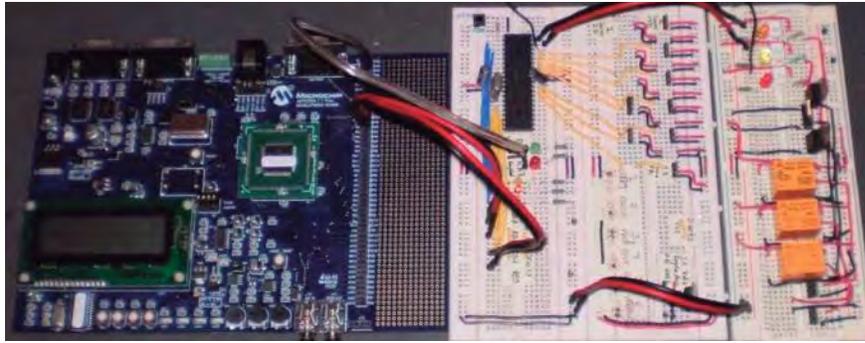


Figura 4.16. Circuitos electrónicos reconocimiento de voz.

En la figura 4.17 se muestra las conexiones de sistema de control el banco de válvulas y el prototipo del sistema de actuación y finalmente el prototipo de la mano, este es la integración de final.

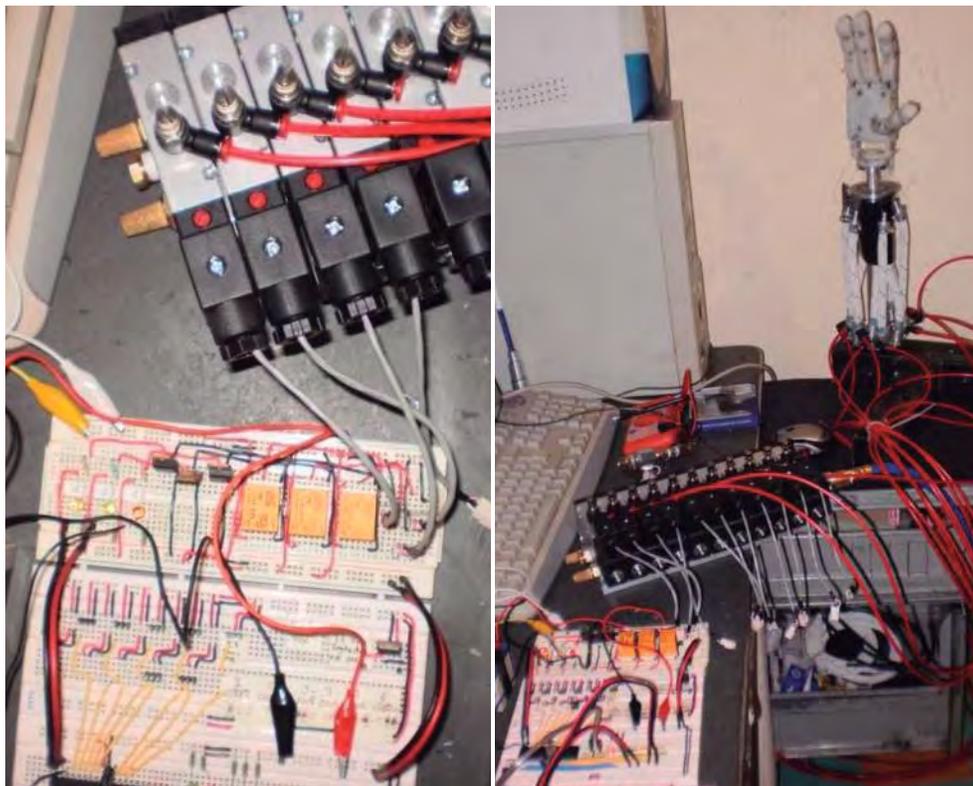


Figura 4.17. Integración final del prototipo con el reconocimiento de voz.

En la figura 4.18 siguiente se muestra el funcionamiento de la mano por medio del sistema de control ejecutando el movimiento del abductor del dedo índice, al pronunciar la palabra “open” el abductor se desplaza abriendo y diciendo “close” el dedo regresa a su posición inicial, la prueba solo se realizo en este dedo.



Figura 4.18. Movimientos del aductor por medio del comando de voz.

4.5. Diferentes Sistemas para mover una mano

Dentro del mercado e investigación existen actualmente diferentes tipos de sistemas para moverlas articulaciones, las más comunes son servomotores o pequeños motores eléctricos incrustados en las falanges, esto hace que el costo se alto y de difícil acceso a la mayoría de la gente que lo necesita, los sistemas existentes para la operación de una prótesis son diversos, a continuación se enlistan unos tipos de mano y el mecanismo de accionamiento:

Mano Canterbury.

-Utiliza eslabones mecánicos movidos directamente para actuar los dedos en forma similar a la mano humana.

El manipulador desarrollado en la Universidad de Reading.

-Uso de cables Bowden (chicotes) dirigidos a cada unión como el medio para actuar los dedos.

El Manipulador Antropomórfico (MAT).

-La actuación se realiza por medio de cables que funcionan como tendones, conectados a servomotores. Solo se utiliza para se teleoperado.

The i-Limb Hand.

-Es una de las prótesis más avanzadas en la actualidad, es la primera prótesis en el mercado con motores individuales de cada dedo, el costo es alto.

Shadow Dextrous

-Es un sistema de mano humanoide que reproduce 24 grados de libertad por medio de músculos neumáticos el costo es alto.

Gifu Hand III

-Los movimientos de las articulaciones están dirigidos por pequeños servomotores acoplados dentro de las falanges.

DLR-HIT

-Los activadores son los motores sin escobillas, con sensores analógicos. Todos los motores son integrados en los dedos y en la palma.

Los sistemas para las manos son diversos, así mismo los costos de cada una de estas varia, y otras aun se encuentran en desarrollo, el sistema de actuación elaborado con músculos neumáticos dentro de la *Universidad Michoacana* hace que se tenga una mejor opción en costo y forma de adquirir dentro de la localidad a un precio menor.

CONCLUSIONES

Al término del trabajo realizado para obtener un sistema de actuación que sea utilizado para generar los movimientos de las falanges de la mano se realizó diversas tareas con el fin de lograr terminar el proyecto en el tiempo establecido.

El análisis de diversos sistemas con el fin de encontrar el adecuado para realizar el movimiento de las falanges y llegar a optar por del de músculos neumáticos, y el análisis de materiales para la construcción de la membrana interna del mismo, llegando a seleccionar el silicón como material de construcción, el estudio y fabricación del molde para el vulcanizado se realizaron dentro de la *Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*, dando a esto una nueva línea de acción en la utilización de materiales con este fin.

Los músculos neumáticos que se fabricaron cumplieron con lo esperado dentro del diseño, la construcción del prototipo del músculo neumático, dentro de las pruebas que se realizaron y a las presiones que se utilizaron soportaron satisfactoriamente.

La fabricación de las partes que componen el sistema de actuación en concreto la base que soporta el conjunto de músculos fue hecha dentro de los laboratorios de *Facultad de Mecánica*. Así como las conexiones de anclaje.

El funcionamiento del prototipo de la mano presento dificultades al ponerse en operación con el sistema de actuación debido a su fabricación y diseño de la misma no es aun la óptima.

Dentro del proyecto se pudieron ver detalles desde el prototipo de la mano, en el prototipo del sistema de actuación y en el sistema de control.

Del prototipo de la mano, para obtener la menor interferencia se realizó ajustes en las partes donde se observaron interferencias al hacer el movimiento de cada articulación, y se realizó un acomodo de los cables que sirven como tendones.

Del prototipo del sistema de actuación, los músculos neumáticos se probaron varias veces individualmente y se observó que el desplazamiento era el indicado, en conjunto montados en la base, el acomodo de los mismos es eficiente, las conexiones superiores de anclaje mostraron interferencia al estar en la base accionándose. El accionamiento del sistema a una presión de 7 bars se puede variar de 6 hasta 9 bars.

Del sistema de control, haciendo las modificaciones del programa así como la construcción de un circuito auxiliar para conectar con las electroválvulas que funcionan a 12 VCD en este punto el funcionamiento fue el esperado.

Trabajo a futuro

Después de concluir con el proyecto se puede ver una gran variedad de aspectos que necesitan seguir investigando y desarrollando para que el sistema de actuación llegue se mejore y pueda finalmente ser comercializado.

Las sugerencias para trabajos a futuros son:

Proponer un sistema de almacenamiento del fluido pequeño y fácil de transportar.

Desarrollo de electroválvulas más pequeña o incorporar servoválvulas para tener un mayor control en el funcionamiento del músculo.

Probar el sistema de actuación con alguna otra prótesis para hacer una comparación de funcionamiento con la utilizada.

Un estudio de la mano para implementar más músculos a la prótesis de la mano para quitar el mecanismo de cuatro barras y los resortes.

Rediseño en la ubicación de los cables que sirven como tendones.

Realizar trabajos tendientes a optimizar los músculos neumáticos.

Desde el desarrollo de nuevas conexiones de anclaje y forma de sujetar la membrana y la malla a la conexión.

Realizar pruebas de los músculos para determinar la presión mínima de trabajo así como la fuerza que genera a dicha presión.

Bibliografía

- [1] José Ángel Espinoza: Desarrollo mecatrónico de una mano artificial con propósitos biomédicos: parte mecánica, Tesis de Maestría, UMSNH, 2008
- [2] Censo de Población www.inegi.com.mx
- [3] http://www.fi-p.unam.mx/simposio_investigacion2dic04/disenio_protesis_extenso.html
- [4] Aguilar, Romero, Enrique Fernando; López, Batís, Germán; Manipulador Antropomórfico Teleoperado II. Tesis de licenciatura, UNAM, 2001.
- [5] robots-argentina.com.ar/Actuadores_manos.htm
- [6] J.M. Dorador González, P.A. Ríos Murillo, R.I. Flores Luna, A.M. Juárez Mendoza, M.S. Armenta Servín, Diseño de Prótesis Inteligentes, División de Ingeniería Mecánica e Industrial, Departamento de Ingeniería Mecatrónica, Centro de Diseño y Manufactura.
- [7] <http://www.touchbionics.com/patient-stories>
- [8] www.shadow_dextrous_hand_technical_specification_C5.com.
- [9] Pahl, Gerhard; Beitz, Wolfgang; Engineering Desing, Ken Wallace, Cambridge, 1988
- [10] Michele Folgheraiter and Giuseppina Gini, MaximumOne: An Anthropomorphic Arm with Bio-inspired Control System, DEI Department, Politecnico di Milano, Piazza Leonardo da Vinci 32, Italy
- [11] Zheng Li; Using Robotic Hand Technology for the Rehabilitation of recovering stroke patients with loss of hand power, A thesis submitted to the Graduate Faculty of North Carolina State University in partial fulfillment of the requirements for the Degree of Master of Science, Electrical Engineering, Raleigh November 3, 2003.
- [12] Rodríguez, Navarro, Miguel Angel; Desarrollo de un Órgano Terminal Antropomorfo para un Robot, Tesis de Maestría, UMSNH, 2003.
- [13] Juárez, C. I., “Sobre las regiones Geométricas Articulares y su Aplicación en el Mejoramiento del Desempeño de un Manipulador Mediante Estrategias Evolutivas”. Tesis doctoral, UNAM, 2002.
- [14] <http://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%BAsculo>
- [15] Latarjet, Riuz, Liard; Anatomía Humana, Panamericana, 1999.
- [16] <http://www.musculos.org/musculo-flexor-largo-profundo-comun-dedos.html>
- [17] H. Mabie, Hamilton; F. Reinholtz, Charles; Mecanismos y Dinámica de Maquinaria, Limusa, México 1998.
- [18] G. Pahl and W. Beitz, J. Feldhusen and K.-H. Grote; Engineering Design A Systematic Approach, Third Edition, KenWallace and Luciënne Blessing, Translators and Editors
- [19] W. Spong, Mark; Vidyasagar, M; Robot Dynamics and Control, John Wiley & Sons, United States of America.
- [20] <http://www.armdynamics.com/spanish/prosops.htm>
- [21] http://www.roboticajoven.mendoza.edu.ar/rob_mec7.htm
- [22] <http://www.dicc-cid.uji.es/InfTec/reports/ICC%202006-10-02.pdf>
- [23] http://www.neoteo.com/tabid/54/ID/3467/Title/X-finger_La_primeraprotesis_de_dedo_personalizable/Default.aspx
- [24] Dorador, González, J.M. Ríos Murillo, P.A, Flores, Luna, R.I, Juárez Mendoza, A.M, Armenta Servín, M.S, Diseño de Prótesis Inteligentes, Artículo, UNAM.
- [25] Historia de las máquinas, <http://www.arqhys.com/Trabajo.htm/>.
- [26] Máquina inteligente, <http://www.en.wikipedia.org/wiki/machine.htm>.
- [27] Robot, <http://es.wikipedia.org/wiki/robot.htm>.

- [28] Fabio Abel Aguirre Cerrillo; Diseño y Construcción de un Músculo Neumático y su Aplicación en el Control de Posición de un Dedo Robótico
- [29] Adolfo Hilario Caballero, Prototipo experimental para la identificación y control de actuadores por músculo neumático, artículo Universidad Politécnica de Valencia.
- [30] Juárez, C, I., “Sobre las regiones Geométricas Articulares y su Aplicación en el Mejoramiento del Desempeño de un Manipulador Mediante Estrategias Evolutivas”. Tesis doctoral, UNAM, 2002.
- [31] Manual de Pro-ENGINEER Wildfire 3.0
- [32] <http://www.pdca.espruebasiddef.html>
- [33] http://es.wikipedia.org/wiki/Hombre_de_Vitruvio
- [34] Automatización, http://www.grupo-maser.com/PAG_Cursos/Auto/auto2/pagina%20principal/Automatizacion/Automatizacion.htm.
- [35] Ching-ping Chou and Blake Hannaford, Measurement and modeling of McKibben pneumatic artificial muscles; Department of electrical engineering, University of Washington.
- [36] J.M. Dorador González¹, P.A. Ríos Murillo, R.I. Flores Luna, A.M. Juárez Mendoza, M.S. Armenta Servín. Diseño de Prótesis Inteligentes; División de Ingeniería Mecánica e Industrial, Departamento de Ingeniería Mecatrónica.
- [37] Kent L. Lawrence. ANSYS Tutorial; Mechanical and Aerospace Engineering University of Texas at Arlington.
- [38] Matthew Wadham-Gagnon¹, Hyperelastic modeling of rubber in commercial finite element software (ANSYS™), Artículo Camoplast Inc., Research and Development
- [39] Obtención de mapas de esfuerzos de membranas elásticas mediante ingeniería asistida por computadora (CAE), tesis Moreno Ríos Alma Lilia, universidad tecnológica de Oaxaca, 2008.
- [40] D. Andrés Díaz Lantada, tesis Doctoral: Metodología para el desarrollo de dispositivos médicos basados en el empleo de polímeros activos como sensores y actuadores, Universidad Politécnica de Madrid
- [41] Aguilar Reyes Alejandro, Tesis Diseño conceptual de un molde para inyección de plástico, facultad de ingeniería mecánica, 2006
- [42] Catalogo de selección de válvulas serie V60, marca NORGREN
- [43] Catalogo Norgren Pneufit® C fittings are ready to use, offering fast assembly with no need for tools providing optimum flow.
- [44] A. Martínez Ramírez, J. Molina Vilaplana, artículo: Estudio y desarrollo de primitivas motoras para manipulación con manos robóticas antropomorfas, Universidad Politécnica de Cartagena.
- [45] Martín, José; Cinemática y Estática (teoría y problemas), Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España 1997.
- [46] Cardona Foix, Salvador; Clos Costa, Daniel, Teoría de Máquinas, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España 2001.
- [47] Historia de las máquinas, <http://www.arqhys.com/Trabajo.htm/>.
- [48] Máquina inteligente, <http://www.en.wikipedia.org/wiki/machine.htm>.
- [49] C, W, Ham; E, J, Crane; W, L, Rogers, Mecánica de Máquinas, McGRAWHILL, USA 1964.
- [50] Robot, <http://es.wikipedia.org/wiki/robot.htm>.
- [51] Robótica, <http://es.wikipedia.org/wiki/robotica.htm>.
- [52] Electrónica, <http://es.wikipedia.org/wiki/electrica.htm>.
- [53] Oros Martínez Carlos: Desarrollo mecatrónico de una mano artificial con propósitos biomédicos: sistema de control, Tesis de Maestría, UMSNH, 2009

[54]http://www.grupomaser.com/PAG_Cursos/Auto/auto2/PAGINA%20PRINCIPAL/Automatizacion/Automatizacion.htm.

[55] Informática, <http://es.wikipedia.org/wiki/informatica.htm>.

APENDICE

Válvulas

Válvulas de control direccional 3/2, accionamiento eléctrico

Símbolo	Modelo	Tamaño de la conexión	Accionamiento piloto	Carraje y lista	Vistas de del solenoide	Caudal (l/min)	Presión de trabajo (bar)	Presión de l. piloto (bar)	kg	Elementos en
	W5BA13A-AE***	G1/8	Interno	Libre	1	750	2...8	-	0,22	1
	W5BA13A-AE***	G1/8	Externo	Libre	1	750	-0,2...8	2...8	0,22	1
	W5BA13D-Cat3A	G1/8	Interno	Conducido	2	750	2...10	-	0,21	4
	W5BA13D-Cat3A	G1/8	Externo	Conducido	2	750	-0,2...10	2...10	0,21	4
	W5BA13A-AE***	G1/4	Interno	Libre	1	1000	2...8	-	0,29	1
	W5BA13A-AE***	G1/4	Externo	Libre	1	1000	-0,2...8	2...8	0,29	1
	W5BA13D-Cat3A	G1/4	Interno	Conducido	2	1000	2...10	-	0,27	4
	W5BA13D-Cat3A	G1/4	Externo	Conducido	2	1000	-0,2...10	2...10	0,27	4
	W5CA13A-AE***	G3/8	Interno	Libre	1	2400	2...8	-	0,53	1
	W5CA13A-AE***	G3/8	Externo	Libre	1	2400	-0,2...8	2...8	0,53	1
	W5CA13D-Cat3A	G3/8	Interno	Conducido	2	2400	2...10	-	0,50	4
	W5CA13D-Cat3A	G3/8	Externo	Conducido	2	2400	-0,2...10	2...10	0,50	4
	W5DA13A-AE***	G1/2	Interno	Libre	1	4200	2...8	-	0,78	5
	W5DA13A-AE***	G1/2	Externo	Libre	1	4200	-0,2...8	2...8	0,78	5
	W5DA13D-Cat3A	G1/2	Interno	Conducido	2	750	2...10	-	0,21	4
	W5DA13D-Cat3A	G1/2	Externo	Conducido	2	750	-0,2...10	2...10	0,21	4
	W5BA13A-AE***	G1/4	Interno	Libre	1	1200	2...8	-	0,29	2
	W5BA13A-AE***	G1/4	Externo	Libre	1	1200	-0,2...8	2...8	0,29	2
	W5BA13D-Cat3A	G1/4	Interno	Conducido	2	1200	2...10	-	0,27	4
	W5BA13D-Cat3A	G1/4	Externo	Conducido	2	1200	-0,2...10	2...10	0,27	4
	W5CA13A-AE***	G3/8	Interno	Libre	1	2400	2...8	-	0,53	2
	W5CA13A-AE***	G3/8	Externo	Libre	1	2400	-0,2...8	2...8	0,53	2
	W5CA13D-Cat3A	G3/8	Interno	Conducido	2	2400	2...10	-	0,50	4
	W5CA13D-Cat3A	G3/8	Externo	Conducido	2	2400	-0,2...10	2...10	0,50	4
	W5DD13A-AE***	G1/2	Interno	Libre	1	4200	2...8	-	0,78	5
	W5DD13A-AE***	G1/2	Externo	Libre	1	4200	-0,2...8	2...8	0,78	5
	W5BA13A-AE***	G1/8	Interno	Libre	1	750	1,3...8	-	0,20	2
	W5BA13A-AE***	G1/8	Externo	Libre	1	750	-0,2...8	2...8	0,20	2
	W5BA13D-Cat3A	G1/8	Interno	Conducido	2	750	1,3...10	-	0,20	4
	W5BA13D-Cat3A	G1/8	Externo	Conducido	2	750	-0,2...10	2...10	0,20	4
	W5BA13A-AE***	G1/4	Interno	Libre	1	1200	1,3...8	-	0,28	2
	W5BA13A-AE***	G1/4	Externo	Libre	1	1200	-0,2...8	2...8	0,28	2
	W5BA13D-Cat3A	G1/4	Interno	Conducido	2	1200	1,3...10	-	0,27	4
	W5BA13D-Cat3A	G1/4	Externo	Conducido	2	1200	-0,2...10	2...10	0,27	4
	W5CA13A-AE***	G3/8	Interno	Libre	1	2400	1,3...8	-	0,51	2
	W5CA13A-AE***	G3/8	Externo	Libre	1	2400	-0,2...8	2...8	0,51	2
W5CA13D-Cat3A	G3/8	Interno	Conducido	2	2400	1,3...10	-	0,50	4	
W5CA13D-Cat3A	G3/8	Externo	Conducido	2	2400	-0,2...10	2...10	0,50	4	
W5DA13A-AE***	G1/2	Interno	Libre	1	4200	1,3...8	-	0,87	5	
W5DA13A-AE***	G1/2	Externo	Libre	1	4200	-0,2...8	2...8	0,87	5	

*** Indica el tipo de bobina según las siglas. Para opciones de montaje consultar con el distribuidor. 1 = con montaje manual, 2 = piloto y bobina, 3 = sólo piloto.
 EC = Montaje en canal, MA = Montaje en canal

Códigos de voltaje y bobinas

Solenoides variante 1 (giro solenoide 4 x 90°)
 Bobina 22 mm DIN EN 175 301-803 (DIN 43880 B)

Voltaje	Código de bobina	Potencia (W)	Medida
12 V c.c.	12L	2 W	W12SN-A-CL
24 V c.c.	12L	2 W	W12SN-A-CL
24 V 50/60 Hz	14L	40/3 W	W12SN-A-HL
48 V 50/60 Hz	16L	40/3 W	W12SN-A-HL
110V 50/60 Hz	16L	40/3 W	W12SN-A-HL
230V 50/60 Hz	16L	40/3 W	W12SN-A-HL

Bobina 22 mm según estándar Industrial

Voltaje	Código de bobina	Potencia (W)	Medida
12V c.c.	12L	2 W	08P4M 2,0/1
24V c.c.	12L	2 W	08P4M 2,0/1
24V 50/60 Hz	14L	40/3 W	08P4M 4,0/1
48V 50/60 Hz	16L	40/3 W	08P4M 4,0/1
110V 50/60 Hz	16L	40/3 W	08P4M 4,0/1
230V 50/60 Hz	16L	40/3 W	08P4M 4,0/1

Solenoides variante 2

Doble solenoide con interfaz según DIN 43650 tipo C (4 pin)

Voltaje	Código de bobina	Potencia (W)	Medida	Medida
24 V c.c.	13 A	2 W	Solo piloto	8031705800002400
24 V c.c.	13 A	2 W	Giro y bobina	8031704800002400
24 V c.c.	13 A	2 W	Sim	8031705800002400

Los conectores deben solicitarse por separado - ver página 10

Información eléctrica

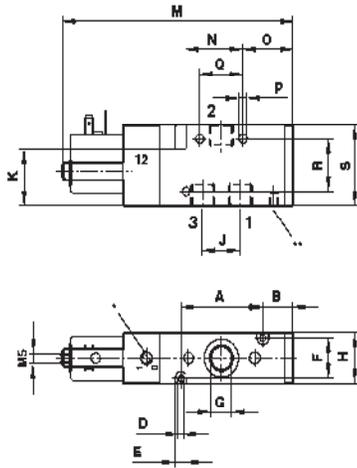
Tolerancia voltaje:	±10%
Funcionamiento:	100% C.D.
Protección:	IP65 con conexiones estancas (ISO 5165)

Distribución conexonado, lado válvula/Doble piloto

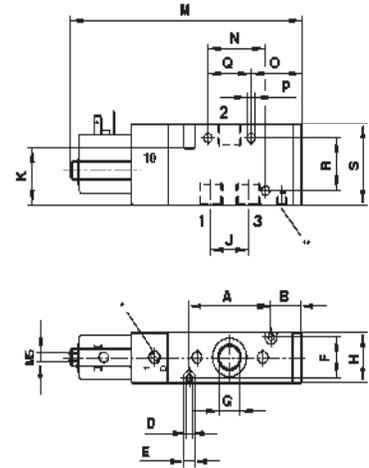
Modelo	N.º carrajer	Fuerza	Acción solenoide
	1	(+)	12 (Solenoide 2)
	2	(-)	12 + 14
	3	(+)	14 (Solenoide 1)

Dimensiones

1



2



Dimensiones	Tipo	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1	V60	35	17	-	3,2	6,5	17	G1/8; 8 prof.	22	16,2	28	-	114	25	25	4,5	18	26	35	-	-
1	V61	46	18	-	3,2	6,5	20	G1/4; 10 prof.	25	21	28	-	130	32	29	4,5	24	26	40	-	-
1	V62	54	21	-	4,5	8	28	G3/8; 11,5 prof.	34	24,4	44	-	145	12	36	4,5	26	36	55	-	-
2	V60	35	17	-	3,2	6,5	17	G1/8; 8 prof.	22	16,2	28	-	114	25	25	4,5	18	26	35	-	-
2	V61	46	18	-	3,2	6,5	20	G1/4; 10 prof.	25	21	28	-	130	32	29	4,5	24	26	40	-	-
2	V62	54	21	-	4,5	8	28	G3/8; 11,5 prof.	34	24,4	44	-	145	12	34	4,5	26	36	55	-	-
3	V60	35	-	-	3,2	6,5	17	G1/8; 8 prof.	22	16,2	28	160	-	25	-	4,5	18	26	35	-	-
3	V61	46	-	-	3,2	6,5	20	G1/4; 10 prof.	25	21	28	179	-	32	-	4,5	24	26	40	-	-
3	V62	54	-	-	4,5	8	28	G3/8; 11,5 prof.	34	24,4	44	194	-	12	-	4,5	26	36	55	-	-
4	V60	35	17	-	3,2	6,5	17	G1/8; 8 prof.	22	16,2	28	119	-	25	25	4,5	18	26	35	46	15
4	V61	46	18	-	3,2	6,5	20	G1/4; 10 prof.	25	21	28	133	-	32	29	4,5	24	26	40	46	15
4	V62	54	21	-	4,5	8	28	G3/8; 11,5 prof.	34	24,4	44	147	-	12	36	4,5	26	36	55	54	15

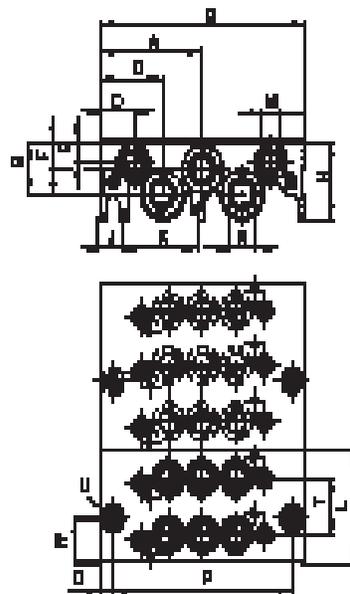
Sistema manifold

Placa manifold

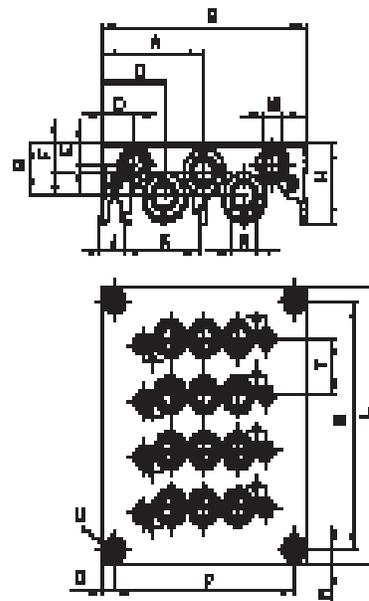
Tip estació	Modelo	lg	Modelo	lg	Modelo	lg
	W0		W1		W2	
2	22102-000-0000	0,21	221101-000-0000	0,20	221182-000-0000	0,20
2	22102a-000-0000	0,21	221101-000-0000	0-45	221182a-000-0000	0,20
+	22102b-000-0000	0,21	221104-000-0000	0-72	221184-000-0000	1,20
4	22102b-000-0000	0,21	221104-000-0000	1-12	221184-000-0000	1,70
+	22102b-000-0000	1,11	221104-000-0000	1-12	221184-000-0000	2,20
M	221020-000-0000	1,20	221110-000-0000	1-12	221190-000-0000	2,07
Q	221022-000-0000	1,21	221112-000-0000	1-12	221192-000-0000	2,41
H	221024-000-0000	1,20	221114-000-0000	2-12	221194-000-0000	2,00
M	221024-000-0000	2,11	221110-000-0000	2-12	221194-000-0000	4-40
H	221024-000-0000	2,20	221110-000-0000	2-12	221194-000-0000	5-00
20	221020-000-0000	2,21	221120-000-0000	2-12	221190-000-0000	9-27

Dimensiones

Placa manifold 2 estaciones + 3 estaciones



Placa manifold 4 estaciones - 20 estaciones



Tip	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	
W0 2 estaciones	40	60	30	11	8	11	21	22	11	20,5	40	61,4	61,4	8	40	20	-	23				
W0 2 estaciones	40	60	30	11	8	11	21	22	11	20,5	40	61,4	61,4	8	40	20	-	23				
W0 4-20 estaciones	40	60	30	11	8	11	21	22	11	20,5	6,23+27	61,4	61,4	8	40	20	0,3	(0,23+10)	23			
W1 2 estaciones	52	104	24	9	8	12	21	24	10	20,5	52	61,4	61,4	43	24	20	-	24				
W1 2 estaciones	52	104	24	9	8	12	21	24	10	20,5	78	61,4	61,4	43	24	20	-	24				
W1 4-20 estaciones	52	104	24	9	8	12	21	24	10	20,5	6,23+27	61,4	61,4	43	24	20	0,3	(0,24+10)	24			
W2 2 estaciones	40	120	24	9	8	15	23	26	12	20,5	70	61,4	61,4	44	20	20	-	26				
W2 2 estaciones	40	120	24	9	8	15	23	26	12	20,5	108	61,4	61,4	44	20	20	-	26				
W2 4-20 estaciones	40	120	24	9	8	15	23	26	12	20,5	6,23+27	61,4	61,4	44	20	20	0,3	(0,25+12)	26			

Instrucciones de montaje

Kit fijación Rail DIM

1. Introducir el tornillo en el soporte.

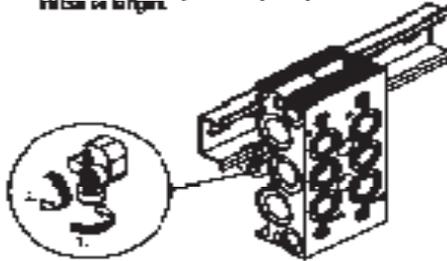


3. Realice de la pieza montada en el 2º.



2. Fija el soporte al montaje realicndo el tornillo.

4. Apriete los tornillos ajustando los pines que se indican en la figura.



Instrucciones de montaje

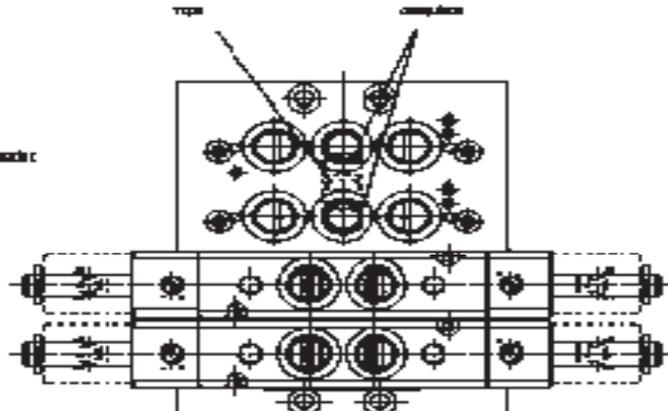
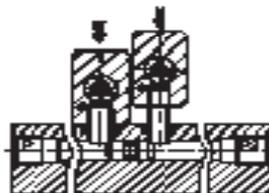
Del disco obturador de presión



1. Fija el tope en la posición correcta (ya le hace de presión principal).



2. Poner los casquillos en la posición correcta para fijar el disco obturador.



3. Montar las solapas de la placa montada (ya casquillos se venen de la en D del montaje).

Conectores

 Conector 1 (aluminio) 22 mm 2-pines + PE		 DIM DIM 175001-080 (DIM 40000 E) 2-pines + PE		 DIM DIM 175001-000 (DIM 40000 E) 2-pines + PE		 DIM DIM 175001-000 (DIM 40000 E) con AG-1 Interface		 DIM DIM 175001-080 (DIM 40000 E) con AG-1 Interface	
0807001	0,005 kg	0807002	0,005 kg	0807003	0,005 kg	0101002	0,000 kg	0101002	0,000 kg
12...250 V c.a./c.c.		12...250 V c.a./c.c.		12...250 V c.a./c.c.		1 salida		1 salida + 2 salidas con M12 a 1	
0808000	0,005 kg	0808001	0,005 kg	0102144	0,000 kg				
15...250 V c.a./LSD, supresor punta lateral		15...250 V c.a./LSD, supresor punta lateral		12...250 V c.a./c.c.; cable 2 m					
0809001	0,005 kg	0809002	0,005 kg						
150...250 V c.a.; glim lamp		150...250 V c.a.; glim lamp							

Mangueras

Técnicas neumáticas de uniones → Mangueras de plástico

Manguera de teflón, Serie TU1

► Ø 4 - 14 mm



Presión de funcionamiento máx.
a 20 °C
Temperatura ambiental mín./máx.

Véase la tabla de más abajo
-40°C / +200°C

Materiales:
Manguera de aire comprimido

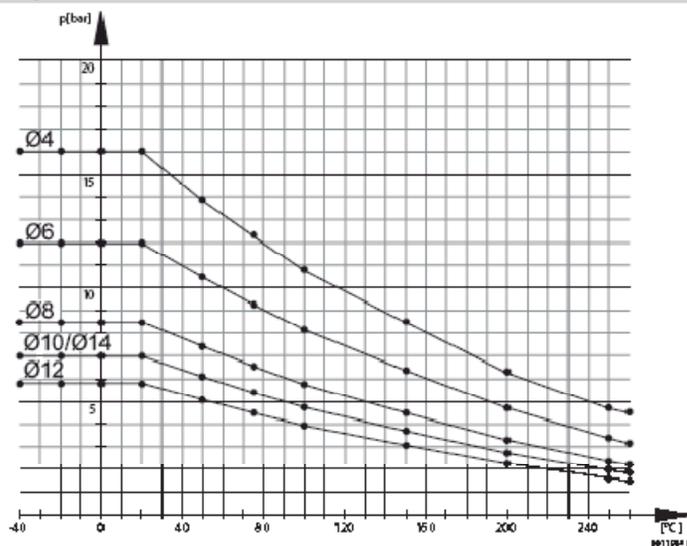
politetrafluoretileno

Díametro de manguera fuera	Espesor de pared	Presión de funcionamiento máx. a 20 °C	Radio de flexión mín. a 20 °C	Peso	Color	Longitud	N° de material
[mm]	[mm]	[bar]	[mm]	[kg/m]		[m]	
4	0,75	16	18	0,017	Transparente	25	R412004956
					Rojo	100	R412004965
					Azul	100	R412004966
					Verde	100	R412004967
					Transparente	100	R412004152
6	1	12	35	0,037	Transparente	25	R412004957
					Transparente	100	R412004076
8	1	8,5	65	0,048	Transparente	25	R412004958
					Transparente	100	R412004153
10	1	7	100	0,072	Transparente	25	R412004959
					Transparente	100	R412004154
12	1	5,8	145	0,102	Transparente	25	R412004960
					Transparente	100	R412004155
14	1,5	7	130	0,172	Transparente	100	R412007517

Manguera de teflón, Serie TU1

► Ø 4 - 14 mm

diagrama de presión y temperatura



Conexiones

Method of assembly



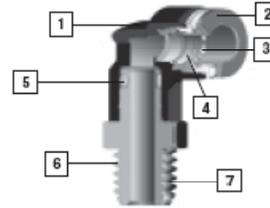
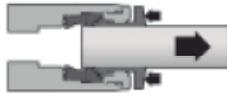
1. Ensure that the end tube is cut square and is free from burrs.

2. Push the tube through the release ring button and grab ring into the fitting.



3. Push the tube firmly through the 'O' ring until it bottoms on the tube stop, then pull back.

4. To disconnect, push the tube into the fitting, hold down the release button and withdraw the tube.

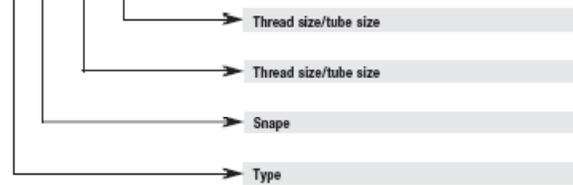


- 1 Impact resistant PBT body in black for Pneufit® C and light gray for Pneufit® M.
- 2 Release buttons are red for metric, grey for inch, and light grey oval for Pneufit® M.
- 3 Stainless steel grab ring with special design to retain softer tube and provide easy releasability.
- 4 Silcon free U-packing provides leak tight tube seal under side loading.
- 5 Stem seal provides leak tight 360° swivel connection.
- 6 Nickel plated brass threads and notches on hex to signify NPT.
- 7 Pre-applied thread sealant on tapered threads and recessed captive O-ring on parallel threads.

Options selector

Series	Substitute
Pneufit C Standard	C
Pneufit M Miniature	M

★ 0 ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★



Pneufit C

Straight Adaptors and Connectors

<p>Straight Union C0020</p>  <p>Page 05</p>	<p>Straight Union (unequal) C0020</p>  <p>Page 05</p>	<p>Straight Adaptor (external + internal hex) C0125</p>  <p>Page 05</p>	<p>Straight Adaptor (external + internal hex) C0225</p>  <p>Page 05</p>	<p>Straight Adaptor (internal hex only) C012A C022A</p>  <p>Page 05</p>	<p>Straight Adaptor (female thread) C0226</p>  <p>Page 06</p>	<p>Stem Reducer (stem/tube) C0023</p>  <p>Page 06</p>
<p>Stem Expander (stem/tube) C0023</p>  <p>Page 06</p>	<p>Bulkhead Union C0029</p>  <p>Page 06</p>	<p>Straight Adaptor (female bulkhead) C0232</p>  <p>Page 06</p>	<p>Stem Union (equal + unequal) C0022</p>  <p>Page 06</p>	<p>Plug C0004</p>  <p>Page 07</p>	<p>Cap (female plug) C0012</p>  <p>Page 07</p>	

Elbow Connectors and Adaptors

<p>Union Elbow C0040</p>  <p>Page 07</p>	<p>90° Swivel Elbow Adaptor C0147</p>  <p>Page 07</p>	<p>90° Swivel Elbow Adaptor C0247</p>  <p>Page 07</p>	<p>Stem Elbow C0043</p>  <p>Page 08</p>	<p>90° Swivel Elbow Adaptor (extended) C0154 C0254</p>  <p>Page 08</p>	<p>90° Swivel Elbow Adaptor (female) C0148/C0248</p>  <p>Page 08</p>	
<p>Banjo C0A51</p>  <p>Page 9</p>	<p>Banjo with top port C0E51 C0F51 C0G51</p>  <p>Page 9</p>	<p>Banjo Flow Control (out) C0TA0</p>  <p>Page 9</p>	<p>Banjo Flow Control (out) C0K51</p>  <p>Page 9</p>	<p>Banjo Flow Control (in) C0SA0</p>  <p>Page 10</p>	<p>Banjo Flow Control (in) C0L51</p>  <p>Page 10</p>	<p>In line flow control C00GE</p>  <p>Page 10</p>

Tee Connectors and Adaptors

<p>Union Tee C0060</p>  <p>Page 10</p>	<p>Swivel Tee Adaptor C0167</p>  <p>Page 11</p>	<p>Swivel Tee Adaptor C0267</p>  <p>Page 11</p>	<p>Swivel Side Tee Adaptor C0168</p>  <p>Page 11</p>	<p>Swivel Side Tee Adaptor C0268</p>  <p>Page 11</p>	<p>Union Tee (unequal) C006A</p>  <p>Page 10</p>	<p>Stem Side Tee (unequal) C0063</p>  <p>Page 12</p>
<p>Stem Tee (unequal) C0064</p>  <p>Page 12</p>	<p>Swivel Tee Adaptor (female) C016C/C026C</p>  <p>Page 12</p>					

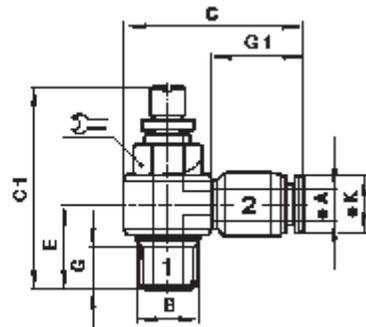
Y Connectors

<p>Union Y (equal + unequal) C0082</p>  <p>Page 13</p>	<p>Swivel Y Adaptor C0188</p>  <p>Page 13</p>	<p>Swivel Y Adaptor C0288</p>  <p>Page 14</p>	<p>Stem Y (equal + unequal) C0084</p>  <p>Page 14</p>
---	--	--	--

Cross and Manifolds

<p>Union Cross C0090</p>  <p>Page 14</p>	<p>Manifold Union C00D3</p>  <p>Page 15</p>	<p>Male Manifold C01D3</p>  <p>Page 15</p>	<p>Stem Manifold C00J3</p>  <p>Page 15</p>
---	--	---	---

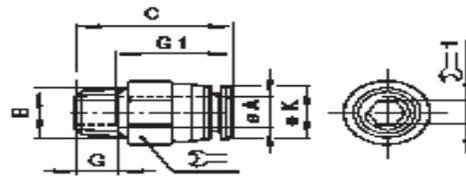
C0TA0



Banjo Flow Control (out)

Ø A	B	C	C1		E	G	G1	Ø K	S	Typ
			min.	max.						
4	R1/8	30,5	35,0	40,0	14,5	8,0	16,5	9,5	11	C0TAC00418
4	R1/4	34,5	40,0	45,5	18,0	10,0	16,5	9,5	15	C0TAC00428
6	R1/8	31,0	35,0	31,0	14,5	8,0	17,5	12,0	11	C0TAC00618
6	R1/4	35,0	40,0	45,5	18,0	10,0	17,5	12,0	15	C0TAC00628
6	R3/8	38,5	46,5	55,0	21,0	11,0	17,5	12,0	19	C0TAC00638
8	R1/8	39,0	35,0	40,0	15,5	8,0	18,5	14,0	11	C0TAC00818
8	R1/4	37,0	40,0	45,5	19,0	10,0	18,5	14,0	15	C0TAC00828
8	R3/8	40,0	46,5	55,0	21,0	11,0	18,5	14,0	19	C0TAC00838
8	R1/2	46,0	53,0	60,0	25,0	14,0	18,5	14,0	24	C0TAC00848
10	R1/4	39,0	40,0	45,5	20,0	10,0	19,5	16,5	15	C0TAC1028
10	R3/8	42,0	46,5	55,0	22,5	11,0	19,5	16,5	19	C0TAC1038
10	R1/2	47,5	53,0	60,0	25,0	14,0	19,5	16,5	24	C0TAC1048
12	R1/4	41,0	40,0	45,5	22,0	10,0	22,0	19,0	15	C0TAC1228
12	R3/8	46,0	46,5	55,0	23,0	11,0	22,0	19,0	19	C0TAC1238
12	R1/2	50,0	53,0	60,0	27,0	14,0	22,0	19,0	24	C0TAC1248

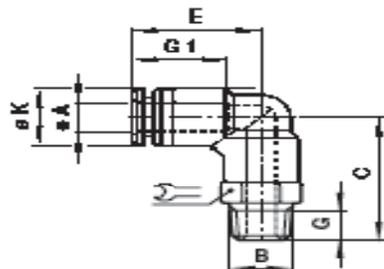
C0125



Straight Adaptor (External + Internal hex)

Ø A	B	C	G	G1	ØK	I	I 1	Typ
4	R1/8	21,5	8,0	16,0	9,5	10	3	001250418
4	R1/4	20,5	10,0	16,0	9,5	14	3	001250428
4	R3/8	22,0	11,0	16,0	9,5	17	3	001250438
6	R1/8	22,0	8,0	16,5	12,0	12	4	001250618
6	R1/4	21,0	10,0	16,5	12,0	14	5	001250628
6	R3/8	22,0	11,0	16,5	12,0	17	5	001250638
6	R1/2	29,5	14,0	16,5	12,0	19	5	001250648
8	R1/8	27,5	8,0	17,5	14,0	14	5	001250818
8	R1/4	25,5	10,0	17,5	14,0	14	6	001250828
8	R3/8	23,0	11,0	17,5	14,0	17	6	001250838
8	R1/2	29,5	14,0	17,5	14,0	19	6	001250848
10	R1/8	28,5	8,0	18,5	16,5	17	5	001251018
10	R1/4	30,5	10,0	18,5	16,5	17	6	001251028
10	R3/8	24,5	11,0	18,5	16,5	17	8	001251038
10	R1/2	29,5	14,0	18,5	16,5	19	8	001251048
12	R1/8	31,5	8,0	21,0	19,0	19	5	001251218
12	R1/4	33,0	10,0	21,0	19,0	19	6	001251228
12	R3/8	30,0	11,0	21,0	19,0	19	8	001251238
12	R1/2	30,0	14,0	21,0	19,0	19	8	001251248
16	R3/8	37,5	11,0	25,0	25,0	24	8	001251638
16	R1/2	40,5	14,0	25,0	25,0	24	10	001251648

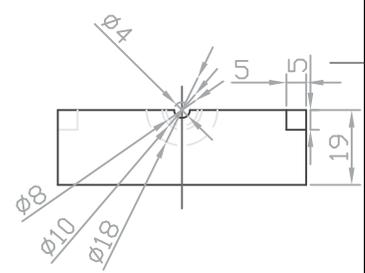
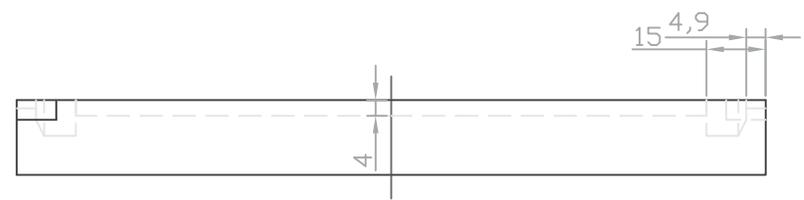
C0147



90° Swivel Elbow Adaptor

Ø A	B	C	E	G	G1	ØK	I	Typ
4	R1/8	24,5	18,5	8,0	17,0	9,5	10	001470418
4	R1/4	26,5	18,5	10,0	17,0	9,5	14	001470428
4	R3/8	27,5	18,5	11,0	17,0	9,5	17	001470438
6	R1/8	26,5	20,5	8,0	17,5	12,0	12	001470618
6	R1/4	29,5	20,5	10,0	17,5	12,0	14	001470628
6	R3/8	30,5	20,5	11,0	17,5	12,0	17	001470638
6	R1/2	33,5	20,5	14,0	17,5	12,0	22	001470648
8	R1/8	28,0	23,0	8,0	18,5	14,0	14	001470818
8	R1/4	31,0	23,0	10,0	18,5	14,0	14	001470828
8	R3/8	32,0	23,0	11,0	18,5	14,0	17	001470838
8	R1/2	35,0	23,0	14,0	18,5	14,0	22	001470848
10	R1/8	28,5	23,5	8,0	19,5	16,5	17	001471018
10	R1/4	31,5	23,5	10,0	19,5	16,5	17	001471028
10	R3/8	32,5	23,5	11,0	19,5	16,5	17	001471038
10	R1/2	35,5	23,5	14,0	19,5	16,5	22	001471048
12	R1/8	32,5	27,5	8,0	22,0	19,0	19	001471218
12	R1/4	34,5	27,5	10,0	22,0	19,0	19	001471228
12	R3/8	35,5	27,5	11,0	22,0	19,0	19	001471238
12	R1/2	38,5	27,5	14,0	22,0	19,0	22	001471248
16	R3/8	43,0	32,5	11,0	24,0	25,0	24	001471638
16	R1/2	46,0	32,5	14,0	24,0	25,0	24	001471648

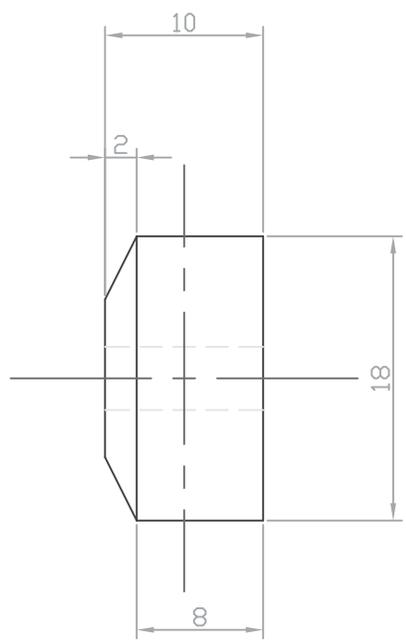
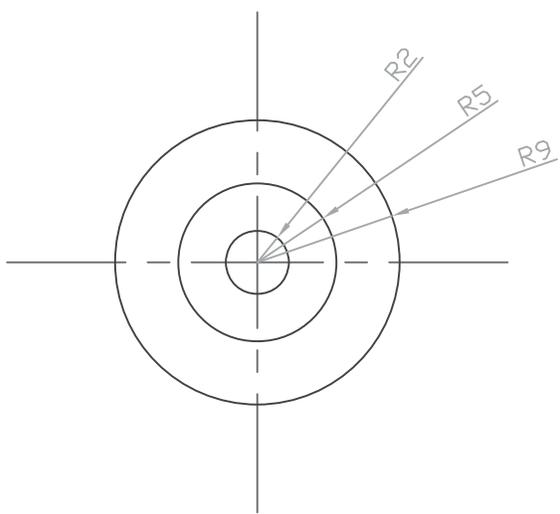
1	2	3	4
RevNo	Revision note	Date	Signature
			Checked



- Notas:
- 1.- Cantidad: 2 pza.
 - 2.- Material: Placa ASTM-A36.
 - 3.- Rebabeear y eliminar filos.
 - 4.- Cotas: mm.
 - 5.- Retificaciónen caras.

TOLERANCIAS GENERALES EN CASO DE NO INDICAR												
RANGO NOMINAL DE DIMENSIONES	>0,5 ..3,0	>3,0 ..6,0	>6,0 ..30	>30,0 ..120	>120 ..400	>400 ..1000	>1000 ..2000	>2000 ..4000	>4000 ..8000	>8000 ..12000	>12000 ..16000	>16000 ..20000
RANGO FINO MAQUINADO (mm)	±0,10	±0,10	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2	±3	±4	±5	±6
Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc						Article No./Reference				
Designed by AAR	Checked by AAR	Approved by - date AAR - 02/12/09			File name SAN-06	Date 02/12/09		Scale SIN				
UMSNH-FIM						MOLDE MEMBRANA						
						M-MUSCLE-00-01		Edition 1	Sheet 1/3			

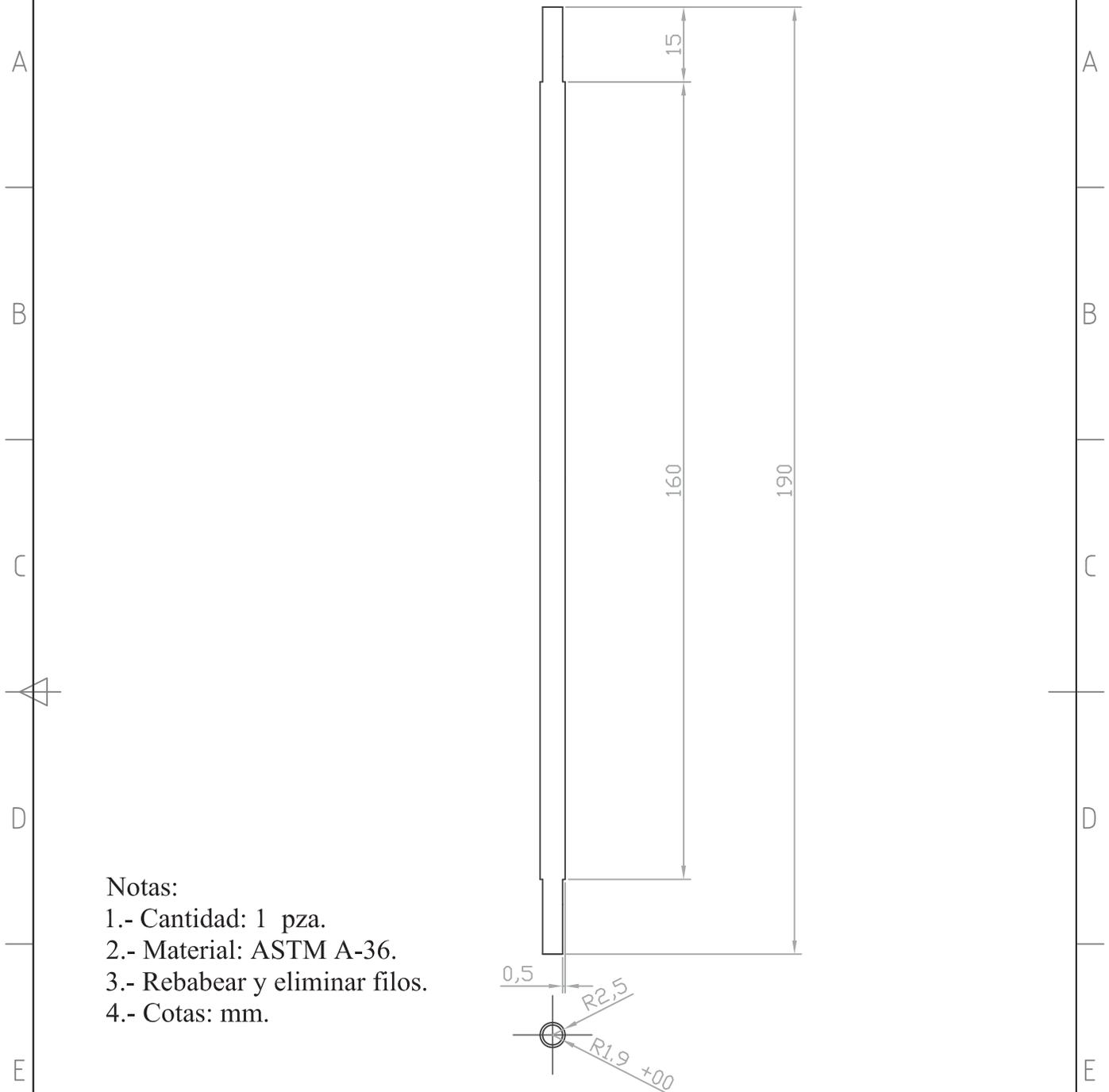
1	2	3	4
RevNo	Revision note	Date	Signature
			Checked



- Notas:
- 1.- Cantidad: 2 pza.
 - 2.- Material: ASTM A-36.
 - 3.- Rebabeear y eliminar fillos.
 - 4.- Cotas: mm.

TOLERANCIAS GENERALES EN CASO DE NO INDICAR												
RANGO NOMINAL DE DIMENSIONES	>0,5 ..3,0	>3,0 ..6,0	>6,0 ..30	>30,0 ..120	>120 ..400	>400 ..1000	>1000 ..2000	>2000 ..4000	>4000 ..8000	>8000 ..12000	>12000 ..16000	>16000 ..20000
RANGO FINO MAQUINADO (mm)	±0,10	±0,10	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2	±3	±4	±5	±6
Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc						Article No./Reference				
Designed by AAR	Checked by AAR	Approved by - date AAR - 01/12/09			File name SAN-08		Date 02/12/09		Scale SIN			
UMSNH-FIM						CENTRADORES						
						M-MUSCLE-00-01		Edition 1	Sheet 2/3			

1	2	3	4
RevNo	Revision note	Date	Signature
			Checked

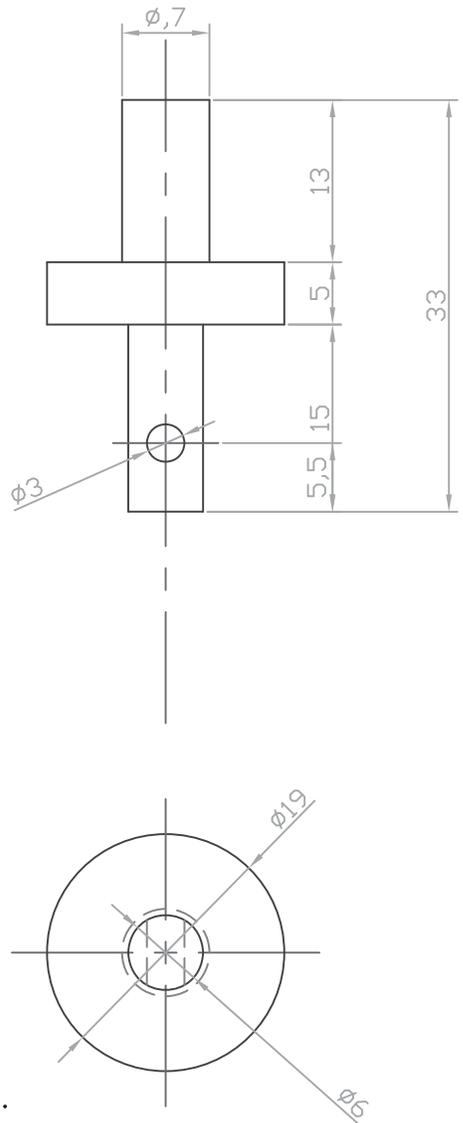


- Notas:
 1.- Cantidad: 1 pza.
 2.- Material: ASTM A-36.
 3.- Rebabeear y eliminar filos.
 4.- Cotas: mm.

TOLERANCIAS GENERALES EN CASO DE NO INDICAR												
RANGO NOMINAL DE DIMENSIONES	>0,5 ..3,0	>3,0 ..6,0	>6,0 ..30	>30,0 ..120	>120 ..400	>400 ..1000	>1000 ..2000	>2000 ..4000	>4000 ..8000	>8000 ..12000	>12000 ..16000	>16000 ..20000
RANGO FINO MAQUINADO (mm)	±0,10	±0,10	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2	±3	±4	±5	±6
Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc						Article No./Reference				
Designed by AAR	Checked by AAR	Approved by - date AAR - 02/12/09			File name SAN-09		Date 02/12/09		Scale SIN			
UMSNH-FIM						CENTRO MOLDE						
						M-MUSCLE-00-03		Edition 1	Sheet 3/3			

1	2	3	4
RevNo	Revision note	Date	Signature
			Checked

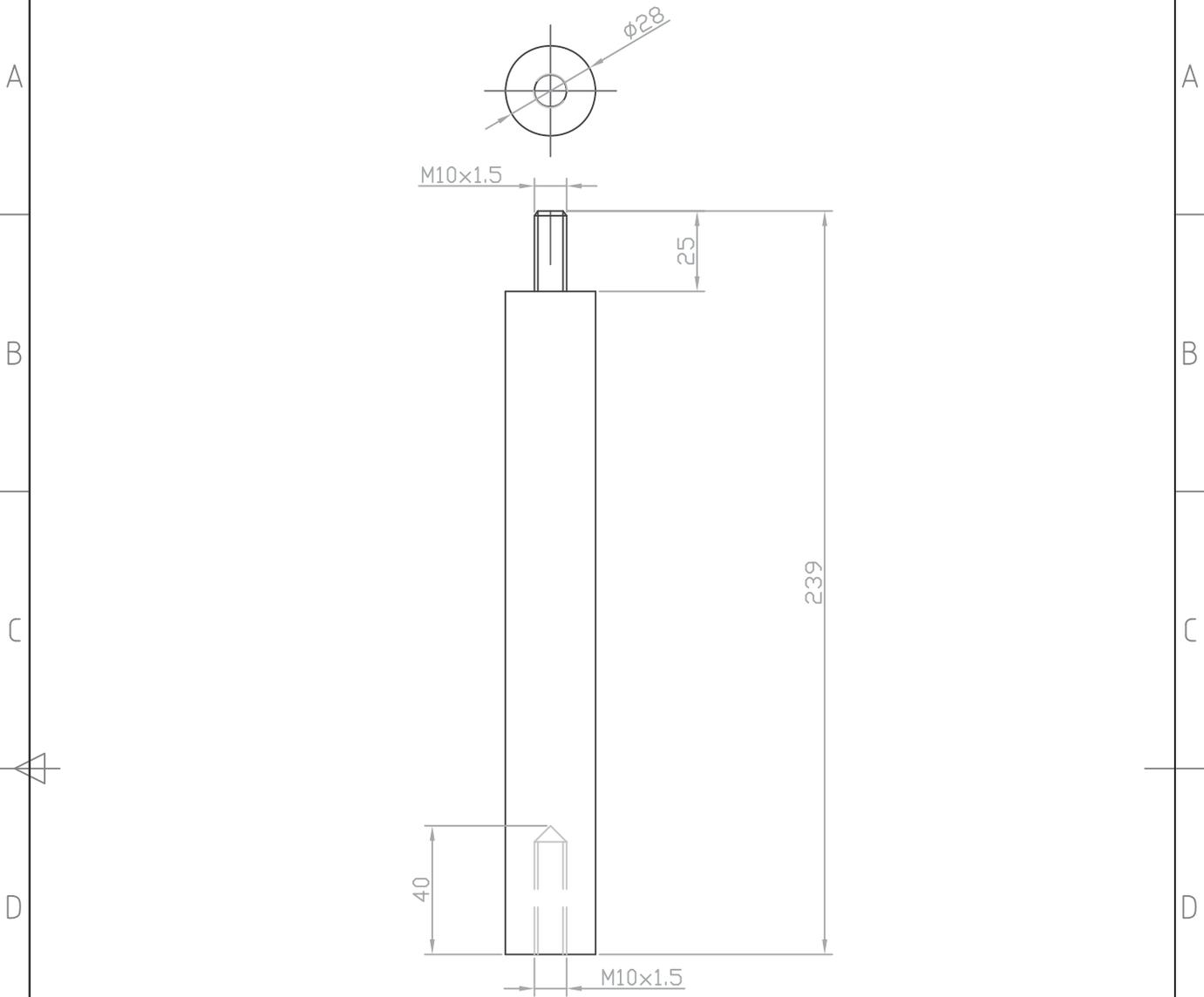
A
B
C
D
E
F



- Notas:
- 1.- Cantidad: 11 pza.
 - 2.- Material: Aluminio T6061.
 - 3.- Rebabebar y eliminar filos.
 - 4.- Cotas: mm.

TOLERANCIAS GENERALES EN CASO DE NO INDICAR												
RANGO NOMINAL DE DIMENSIONES	>0,5 ..3,0	>3,0 ..6,0	>6,0 ..30	>30,0 ..120	>120 ..400	>400 ..1000	>1000 ..2000	>2000 ..4000	>4000 ..8000	>8000 ..12000	>12000 ..16000	>16000 ..20000
RANGO FINO MAQUINADO (mm)	±0,10	±0,10	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2	±3	±4	±5	±6
Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc						Article No./Reference				
Designed by AAR	Checked by AAR	Approved by - date AAR - 02/12/09			File name SAN-05		Date 02/12/09		Scale SIN			
UMSNH-FIM						ANCLAJE MUSCULO						
						C-MUSCLE-00-02		Edition 1	Sheet 1/1			

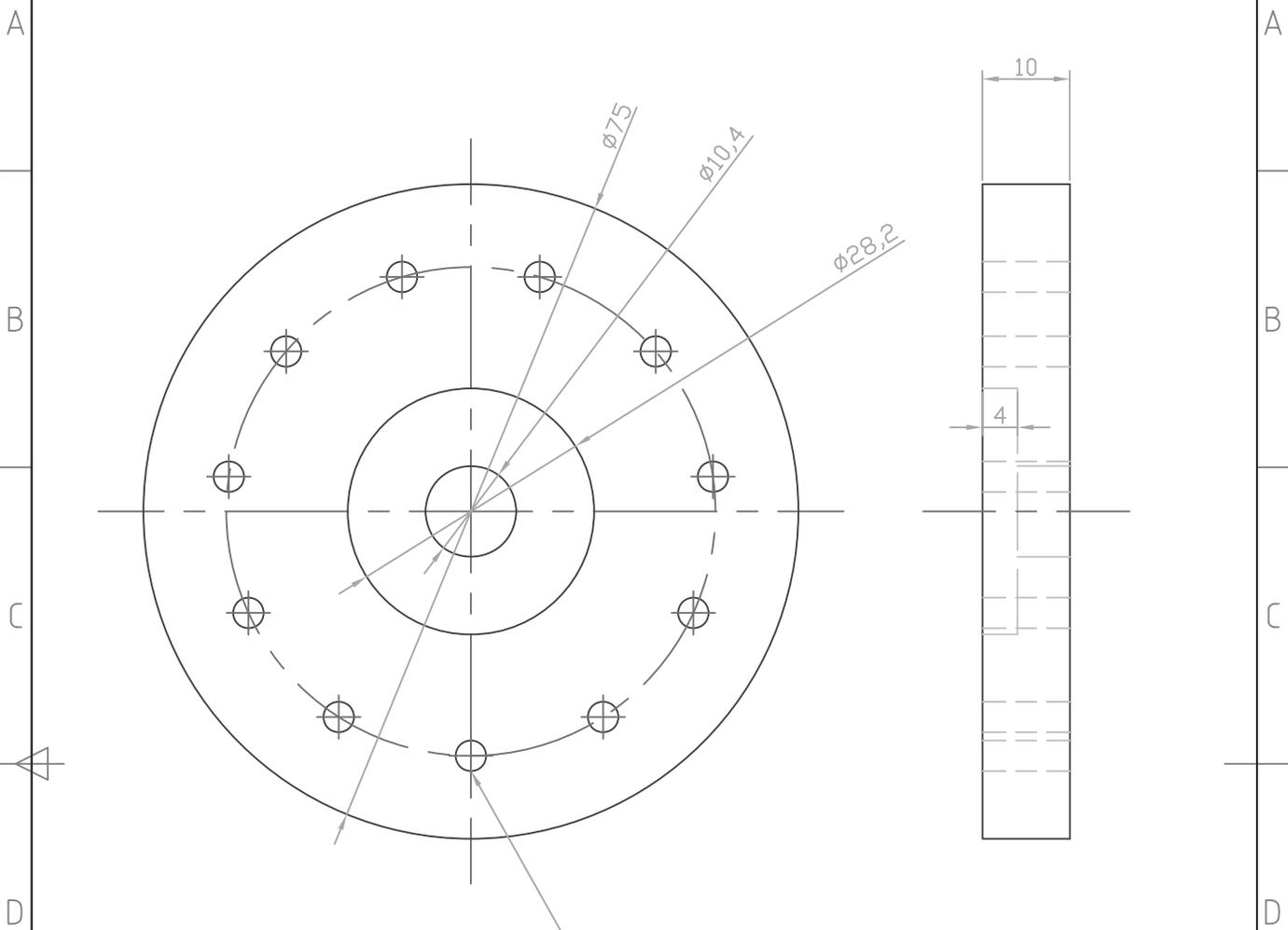
1	2	3	4
RevNo	Revision note	Date	Signature
			Checked



- Notas:
- 1.- Cantidad: 1 pza.
 - 2.- Material: Aluminio T6061.
 - 3.- Rebabear y eliminar filos.
 - 4.- Cotas: mm.

TOLERANCIAS GENERALES EN CASO DE NO INDICAR												
RANGO NOMINAL DE DIMENSIONES	>0,5 ..3,0	>3,0 ..6,0	>6,0 ..30	>30,0 ..120	>120 ..400	>400 ..1000	>1000 ..2000	>2000 ..4000	>4000 ..8000	>8000 ..12000	>12000 ..16000	>16000 ..20000
RANGO FINO MAQUINADO (mm)	±0,10	±0,10	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2	±3	±4	±5	±6
Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc						Article No./Reference				
Designed by AAR	Checked by AAR	Approved by - date AAR - 01/12/09			File name SAN-01	Date 02/12/09		Scale SIN				
UMSNH-FIM						BRAZO UNION						
						B-MUSCLE-00-01		Edition 1	Sheet 1/4			

1	2	3	4
RevNo	Revision note	Date	Signature
			Checked



Notas:

- 1.- Cantidad: 1 pza.
- 2.- Material: Aluminio T6061.
- 3.- Rebabebar y eliminar filos.
- 4.- Cotas: mm.

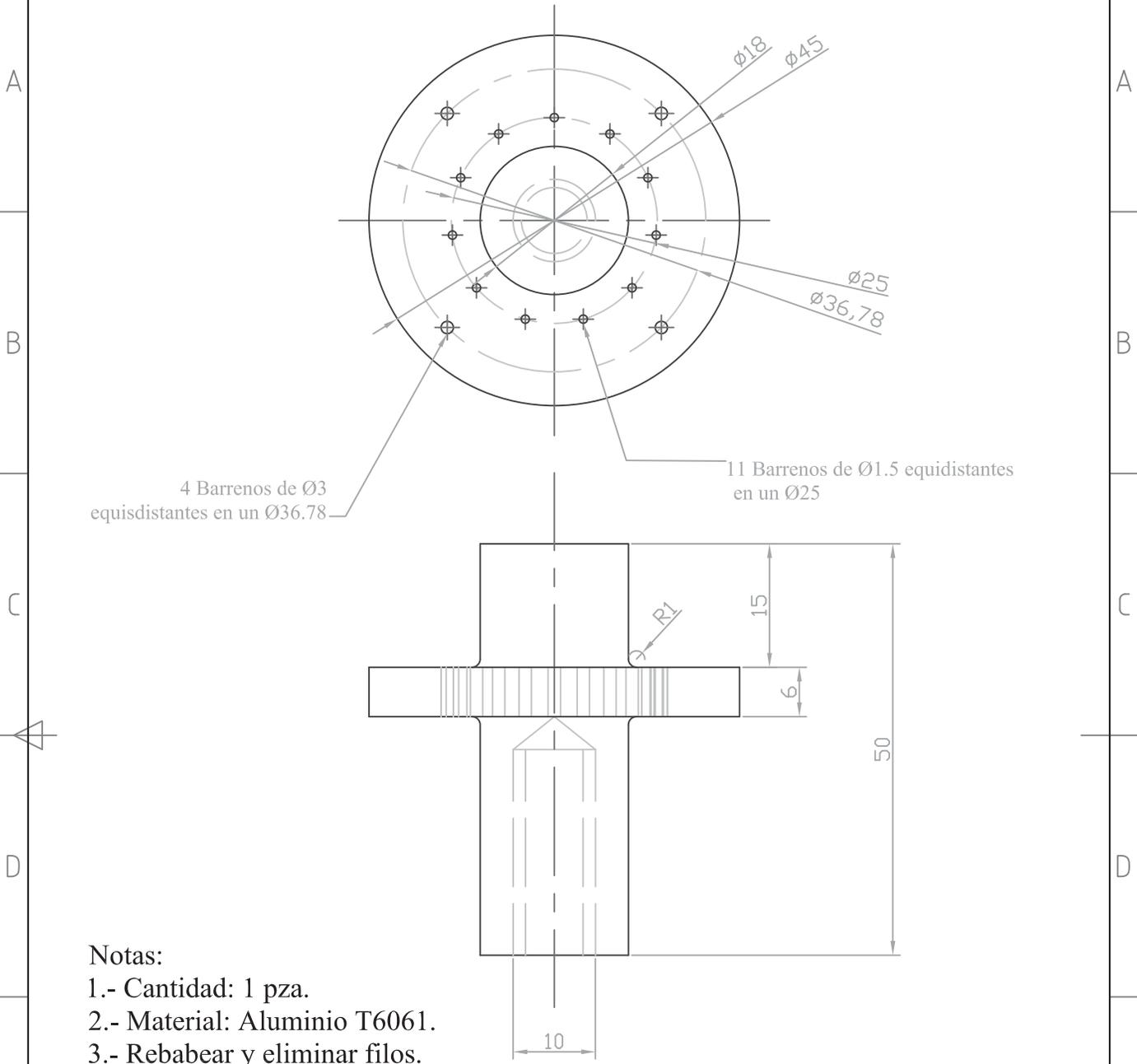
11 Barrenos Padados $\phi 3.5\text{mm}$
equidistantes en de $\phi 56\text{mm}$

TOLERANCIAS GENERALES EN CASO DE NO INDICAR

RANGO NOMINAL DE DIMENSIONES	>0,5 ..3,0	>3,0 ..6,0	>6,0 ..30	>30,0 ..120	>120 ..400	>400 ..1000	>1000 ..2000	>2000 ..4000	>4000 ..8000	>8000 ..12000	>12000 ..16000	>16000 ..20000
RANGO FINO MAQUINADO (mm)	$\pm 0,10$	$\pm 0,10$	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$	$\pm 0,8$	$\pm 1,2$	± 2	± 3	± 4	± 5	± 6

Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc				Article No./Reference		
Designed by AAR	Checked by AAR	Approved by - date AAR - 02/12/09		File name SAN-02	Date 02/12/09	Scale SIN		
UMSNH-FIM				BASE INFERIOR				
				B-MUSCLE-00-02		Edition 1	Sheet 2/4	

1	2	3	4
RevNo	Revision note	Date	Signature
			Checked



4 Barrenos de Ø3 equidistantes en un Ø36.78

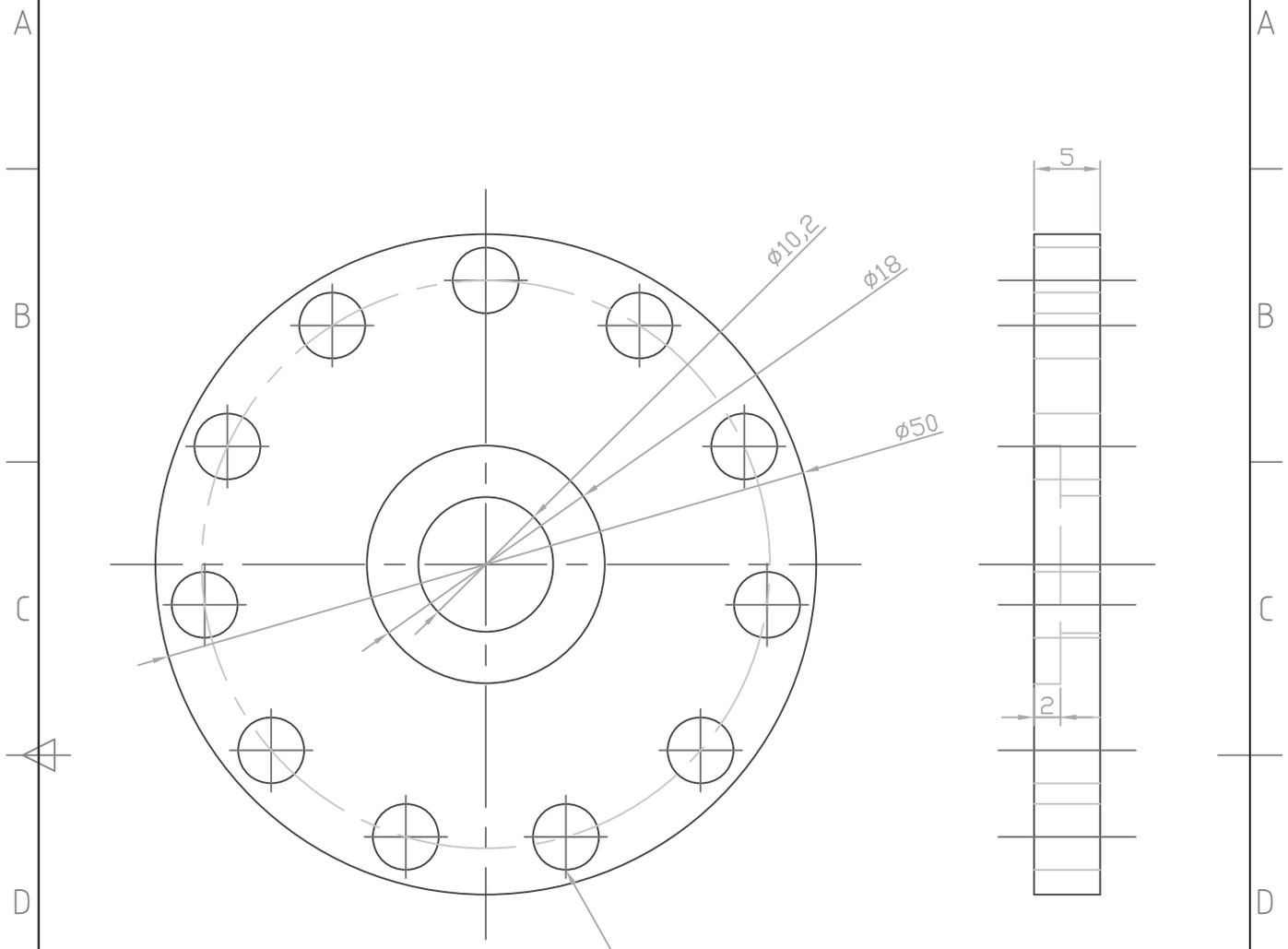
11 Barrenos de Ø1.5 equidistantes en un Ø25

- Notas:
- 1.- Cantidad: 1 pza.
 - 2.- Material: Aluminio T6061.
 - 3.- Rebabear y eliminar filos.
 - 4.- Cotas: mm.

TOLERANCIAS GENERALES EN CASO DE NO INDICAR

RANGO NOMINAL DE DIMENSIONES	>0,5 ..3,0	>3,0 ..6,0	>6,0 ..30	>30,0 ..120	>120 ..400	>400 ..1000	>1000 ..2000	>2000 ..4000	>4000 ..8000	>8000 ..12000	>12000 ..16000	>16000 ..20000
RANGO FINO MAQUINADO (mm)	±0,10	±0,10	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2	±3	±4	±5	±6

Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc				Article No./Reference		
Designed by AAR	Checked by AAR	Approved by - date AAR - 01/12/09		File name SAN-03	Date 02/12/09	Scale SIN		
UMSNH-FIM				TERMINAL GUIA				
				B-MUSCLE-00-03		Edition 1	Sheet 3/4	



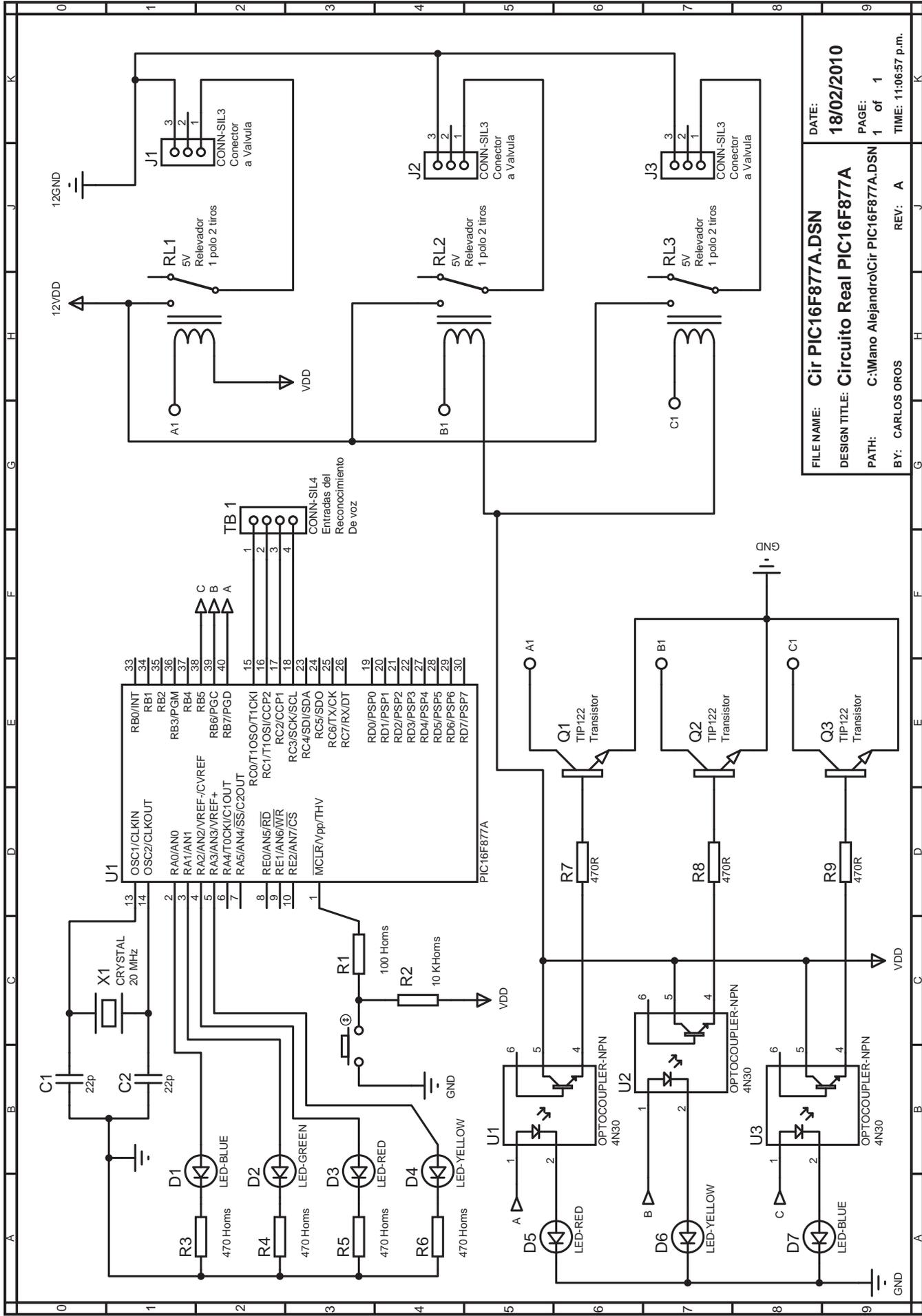
- Notas:
- 1.- Cantidad: 1 pza.
 - 2.- Material: Aluminio T6061.
 - 3.- Rebabeear y eliminar filos.
 - 4.- Cotas: mm.

11 Barrenos pasados Ø5 en un Ø43 equidistantes

TOLERANCIAS GENERALES EN CASO DE NO INDICAR

RANGO NOMINAL DE DIMENSIONES	>0,5 ..3,0	>3,0 ..6,0	>6,0 ..30	>30,0 ..120	>120 ..400	>400 ..1000	>1000 ..2000	>2000 ..4000	>4000 ..8000	>8000 ..12000	>12000 ..16000	>16000 ..20000
RANGO FINO MAQUINADO (mm)	±0,10	±0,10	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2	±3	±4	±5	±6

Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc				Article No./Reference		
Designed by AAR	Checked by AAR	Approved by - date AAR - 01/12/09	File name SAN-04	Date 02/12/09	Scale SIN			
UMSNH-FIM			PLATO GUIA MEDIO					
			B-MUSCLE-00-04			Edition 1	Sheet 4/4	



FILE NAME: **Cir PIC16F877A.DSN**
 DESIGN TITLE: **Circuito Real PIC16F877A**
 PATH: **C:\Mano Alejandro\Cir PIC16F877A.DSN**
 BY: **CARLOS OROS** REV: **A**

DATE: **18/02/2010**
 PAGE: **1** of **1**
 TIME: **11:06:57 p.m.**

Programa "sistema de actuación"

```
*****
* Name      : SERV016F877A.BAS *
* Author    : Oros Martinez Carlos *
* Notice    : Copyright (c) 2008 Oros_Robotics UMSNH *
*           : All Rights Reserved *
* Date      : 17/02/2010 *
* Version   : 1.0 *
* Notes     : Programa para Controlar toda la mano *
*           : Utiliza cristal de 20 MHz *
*****
```

```
DEVICE = 16F877A
config hs_osc, Wrt_off, Wdt_off, Pwrte_off, Boden_off, Lvp_off,
Cpd_off, CP_OFF, Debug_off
XTAL = 20
ADIN_RES 10
ADIN_TAD 32_fosc
ADIN_STIME 60
ADCON1 = %10000000
```

```
Input PORTC
output PORTA
output PORTB
```

```
Symbol S1=PORTC.0
SYMBOL S2=PORTC.1
symbol S3=PORTC.2
```

```
Symbol INDABDUC=PORTB.7
Symbol INDPROX=PORTB.6
Symbol INDMED=PORTB.5
```

```
PORTA=0
PORTB=0
```

```
PRINCIPAL:
  If S1=1 Then
    If S2=1 Then
      If S3=1 Then
        Goto SinSenal
      Endif
      ' Palabra 3 NO
      portA = %00000011
      Delays 20
      GoTo PRINCIPAL
    endif
    If S3=1 Then
      ' Palabra 5 Open
      portA = %00000101
      INDABDUC=0
      INDPROX=0
      INDMED=0
      DELAYMS 20
      GOTO PRINCIPAL
    endif
    ' Palabra 1 clave KeyWord
    portA = %00000001
    GOTO PRINCIPAL
  Endif
  If s2=1 Then
    If S3=1 Then
```

program PIC

```

        Programa "sistema de actuación"
        ' Palabra 6 Desconocida
        portA = %00000110
        gOTO PRINCIPAL
    EndIf
    ' Palabra 2 Close
    PORTA = %00000010
        INDABDUC=1
        INDPROX=1
        INDMED=1
    Delays 20
    GoTo PRINCIPAL
endif
If S3=1 Then
    ' Palabra 4 One
    PORTA = %00000100
    Delays 20
    goto Principal
endif

SinSenal :
    PORTA = 0
    Delays 20
    GoTo PRINCIPAL
END

```