

ANÁLISIS Y DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE UNA MANO ROBÓTICA CON
CATORCE GRADOS DE LIBERTAD, CAPAZ DE SER DIRIGIDA A TRAVÉS DE
INTERNET EN TIEMPO REAL

JHOSEP EDGAR ANDREI HOWER CEBALLOS

CÓDIGO: 1088239325

CARLOS ANDRÉS CORREA ARROYAVE

CÓDIGO: 1088236942

CARLOS URIEL PAREJA RODRÍGUEZ

CÓDIGO: 9957591

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN
PEREIRA
2012

ANÁLISIS Y DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE UNA MANO ROBÓTICA CON
CATORCE GRADOS DE LIBERTAD, CAPAZ DE SER DIRIGIDA A TRAVÉS DE
INTERNET EN TIEMPO REAL

JHOSEP EDGAR ANDREI HOWER CEBALLOS
CÓDIGO: 1088239325
CARLOS ANDRÉS CORREA ARROYAVE
CÓDIGO: 1088236942
CARLOS URIEL PAREJA RODRÍGUEZ
CÓDIGO: 9957591

Trabajo de grado presentado como requisito para obtener el título de Ingeniero de
Sistemas y Computación

Director Proyecto de Grado
OMAR IVÁN TREJOS BURITICÁ

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN
PEREIRA
2012

NOTA DE ACEPTACIÓN:

FIRMA JURADO

FIRMA JURADO

TABLA DE CONTENIDO

Pág

1 GENERALIDADES	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.3 JUSTIFICACIÓN	3
1.4 OBJETIVO GENERAL	5
1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
1.6 MARCO TEÓRICO	6
1.7 ESTADO DEL ARTE	9
1.8 DISEÑO METODOLÓGICO	12
2 MICROCONTROLADORES	13
2.1 DEFINICIÓN	13
2.2 ARQUITECTURA INTERNA	13
2.2.1 El Procesador.	14
2.2.2 Memoria del Programa	16
2.3 DIAGRAMA DE PINES	17
2.3.1 Diagrama de pines de un PIC18F77A	17
2.3.2 Diagrama de pines de un PIC18F4550	17
2.4 REGISTROS	18
2.4.1 Registros de propósito general	18
2.4.2 Registros Especializados	18
2.5 SELECCIÓN DEL MICROCONTROLADOR	19
2.5.1 Requisitos a tener en cuenta	19
2.6 MICROCONTROLADORES MÁS COMUNES.	19
2.6.1 Intel 8048	19
2.6.2 Intel 8051	19
2.6.3 Intel 80186, 80188 y 80386EX	20
2.6.4 Motorola 68HC11 y 68HC12	20
2.6.5 PIC (MicroChip)	20
2.7 MICROCONTROLADOR PIC.	23
2.7.1 Definición	23
2.7.2 Historia	23
2.7.3 Familia de los PIC	24
3 ANATOMIA DE LA MANO HUMANA	29
3.1 ANATOMÍA DE LA MANO HUMANA	30
3.1.1 Anatomía de la región palmar	30
3.1.2 Huevo de la mano	30
3.1.3 Aponeurosis	30
3.1.4 Planos de la región palmar	31

3.1.5 Región dorsal.....	31
3.2 ESQUELETO DE LA MANO	32
3.2.1 Carpo	32
3.2.2 Articulación radio carpiana.....	33
3.2.3 Metacarpo	33
3.2.4 Articulaciones carpo metacarpianas	33
3.3 ARQUITECTURA DE LA MANO.....	33
3.3.1 Las articulaciones metacarpo falángicas	34
3.3.2 Amplitud de los movimientos de las articulaciones metacarpo falángicas	34
3.3.3 Articulaciones interfalángicas.....	34
3.3.4 Amplitud de los movimientos de las articulaciones interfalángicas.....	35
3.4 EL PULGAR.....	35
3.4.1 La oposición del pulgar	35
3.4.2 Los modos de prensión.....	36
3.5 MODELO BIOMECÁNICO	37
3.6 MODELO MATEMÁTICO.....	38
3.6.1 Formulación del Modelo.....	38
3.6.2 Excursión de Tendón y brazo de momento.....	42
3.6.3 Resultados	43
3.7 MÉTODOS DE SOLUCIÓN	52
4 INGENIERIA DEL SOFTWARE	54
4.1 ANÁLISIS.....	54
4.1.1 Requerimientos:.....	54
4.1.2 Eventos del sistema.....	55
4.1.3 Casos de uso	56
4.1.4 Diagramas de secuencia.....	60
4.1.5 Diagramas de estados	62
4.1.6 Diagrama de clases	63
4.2 DISEÑO DEL SISTEMA.....	63
4.2.1 Arquitectura del sistema.....	63
4.2.2 Herramientas para el desarrollo.....	63
4.2.4 Arquitectura del sistema.....	66
4.2.5 Arquitectura de aplicaciones	66
5 PROTOTIPO DE UNA MANO ROBOTICA	68
5.1 ANÁLISIS DE MOVIMIENTOS MOTORES PASO A PASO	68
5.1.1 Motores neumáticos (músculos de aire)	68
5.1.2 Servomotores.....	69
5.1.3 Motores paso a paso	69
5.2 INTERACCIÓN CON EL PIC	71
5.3 CONFIGURACIÓN DEL PUERTO USB	72
5.3.1 Configuración del descriptor	73
5.4 SIMULACIÓN.....	74
5.5 CONSTRUCCIÓN DEL ESQUEMÁTICO	75

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES77
6.1 CONCLUSIONES77
6.2 RECOMENDACIONES79
BIBLIOGRAFÍA.....80

LISTA DE FIGURAS

Pág

Ilustración 1: Estructura básica de un microcontrolador	14
Ilustración 2: Arquitectura Von Neumann	15
Ilustración 3: Arquitectura Harvard.....	15
Ilustración 4: Diagrama de pines de un PIC18F77A	17
Ilustración 5: Diagrama de pines de un PIC18F4550.....	17
Ilustración 6: Diagrama de conexiones PIC12C50X	24
Ilustración 7: Diagrama de conexiones PIC 16CXX.....	26
Ilustración 8: Diagrama de conexión PIC16F876XX.....	27
Ilustración 9: Diagrama de conexiones PIC18F455X.....	28
Ilustración 10: modelos prensiles humanos, a) cilíndrica palmar, b) subterminolateral, c) centralizado, d) tridigital, e) posición subterminal.	29
Ilustración 11: Mano izquierda, vista dorsal.....	32
Ilustración 12: Modelo biomecánico de la mano humana	37
Ilustración 13: Sistema de coordenadas usado para definir la localización de los tendones.	39
Ilustración 14: Dos puntos en cada tendón de la articulación tienen relaciones fijas con sus sistemas de coordenadas.....	40
Ilustración 15: Ecuación de transformación que expresa el tendón y la fuerza vectorial externa aplicada en un sistema de coordenadas.	41
Ilustración 16: Ángulos Eulerianos usados para definir la orientación de los dedos	41
Ilustración 17: Modelos bidimensionales de Landsmeer de tendón puente de una articulación.....	43
Ilustración 18: Distancia entre sistemas de coordenadas. Media y desviación estándar.....	44
Ilustración 19: Caso de Uso General	60
Ilustración 20: Diagrama de Secuencia - Conectar periférico	60
Ilustración 21: Diagrama de Secuencia – Identificarse	61
Ilustración 22: Diagrama de secuencia - Enviar datos.....	61
Ilustración 23: Diagrama de Secuencia – Salir	62
Ilustración 24: Diagrama de transición de estados del dispositivo	62
Ilustración 25: Diagrama de transición de estados de Interfaz de Usuario	62
Ilustración 26: Diagrama de clases	63
Ilustración 27: Subsistemas	65
Ilustración 28: Modelo de capas.	65
Ilustración 29: Arquitectura del sistema	66
Ilustración 30: Diagrama de Ventanas Principal	66
Ilustración 31: Diagrama de Ventanas Movie Clip	67

Ilustración 32: Interfaz de usuario	67
Ilustración 33: Diagrama del uln2803A	71
Ilustración 34: Simulación en el programa ISIS de Proteus	75
Ilustración 35: Esquemático del circuito	76
Ilustración 36: Circuito final	76

LISTA DE TABLAS

Pág

Tabla 1: Universidades del eje cafetero con programa de ingeniería de sistemas. .	2
Tabla 2: Familia M68HC05	20
Tabla 3: Familia M68HC08	21
Tabla 4: Familia M68HC11	21
Tabla 5: Familia PIC12	22
Tabla 6: Familia PIC16	22
Tabla 7: Familia PIC18	22
Tabla 8: Pic's de gama enana.....	25
Tabla 9: PIC's de gama baja.....	26
Tabla 10: PIC's de gama media.....	27
Tabla 11: PIC's de gama alta.....	28
Tabla 12: Músculos y tendones relacionados con el movimiento de la mano.....	38
Tabla 13: Localización de tendones en el pulgar (valor medio de cinco especímenes)	45
Tabla 14: Localización de tendones en el índice (valor medio de quince especímenes)	45
Tabla 15: Localización de tendones en el medio (valor medio de quince especímenes)	46
Tabla 16: Localización de tendones en el anular (valor medio de quince especímenes)	46
Tabla 17: Localización de tendones en el meñique (valor medio de quince especímenes)	47
Tabla 18: Parámetros de fuerza y momento potencial de tendones in un pulgar normal bajo una posición neutral (valor medio de cinco especímenes).....	47
Tabla 19: Parámetros de fuerza y momento potencial de tendones en un índice normal bajo una posición neutral (valor medio de quince especímenes).....	48
Tabla 20: Parámetros de fuerza y momento potencial de tendones en un dedo medio normal bajo una posición neutral (valor medio de quince especímenes)	48
Tabla 21: Parámetros de fuerza y momento potencial de tendones en un anular normal bajo una posición neutral (valor medio de quince especímenes).....	49
Tabla 22: Parámetros de fuerza y momento potencial de tendones en un meñique normal bajo una posición neutral (valor medio de quince especímenes).....	49
Tabla 23: Modelo mecánico equivalente para las articulaciones del dedo y pulgar.	50
Tabla 24: Caso de uso - se conecta el periférico.....	56
Tabla 25: Caso de uso - Se detecta un Error en el Dispositivo.....	57
Tabla 26: Caso de uso - Toma de datos.....	57
Tabla 27: Caso de uso - Desconectar.....	58

Tabla 28: Caso de uso - Se inicia el programa	58
Tabla 29: Caso de uso - Envió de Datos al Dispositivo.	59
Tabla 30: Caso de uso - Se detecta un Error en la conexión.....	59
Tabla 31: Caso de uso - Desconectar.....	60
Tabla 32: Tabla de pasos motor unipolar PaP	71
Tabla 33: Códigos binarios para cada paso del motor PaP	72

1 GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

En el mundo de la robótica se encuentran muchos trabajos en el área de las manos robóticas muchas de las cuales se encuentran fuera del alcance de la gente del común o de las pequeñas empresas debido a sus altos costos, el equipo especializado que se necesita y la falta de proveedores en el país, lo que puede llegar a limitar el desarrollo y aplicación de este tipo de tecnologías en nuestra región. El costo del robot depende de sus especificaciones, capacidad, flexibilidad y tecnología. Además de los factores complementarios como equipos periféricos, dispositivos de fijación y señalización, puesta en marcha y puesta a punto, servicio postventa, entrenamiento y mantenimiento. Usualmente una solución completa puede estar por el orden de 30.000 y 70.000 dólares, sin embargo, hay industrias que por su tamaño requieren de más recursos¹.

Este proyecto pretende abrir una ventana para el desarrollo de estas tecnologías en nuestra región entregando un análisis y diseño de una mano robótica que sirva como base para futuras investigaciones en este campo.

En la actualidad en las diferentes universidades del eje cafetero que poseen el programa de Ingeniería de sistemas (ver tabla 1) no se encuentra ninguna que posea en su pensum la materia de Robótica, si algunas materias allegadas a este campo, pero no una que esté enfocada en ella.

¹ Robótica, hacia la automatización industrial. En: Metal Actual: La revista especializada de la industria metalmecánica en Colombia. Enero, 2009. Edición 10. P, 44-51. En línea http://metalactual.com/revista/10/tecnologia_robotica.pdf. Consultada 30/01/2012.

CIUDAD	UNIVERSIDAD	PROGRAMA
Manizales	Universidad de Manizales	Ingeniería de Sistemas y Telecomunicaciones.
Manizales	Universidad Autónoma de Manizales	Ingeniería de Sistemas
Manizales	Universidad de Caldas	Ingeniería de Sistemas y Computación
Pereira	Universidad Tecnológica de Pereira	Ingeniería de Sistemas y Computación
Pereira	Universidad Católica de Pereira	Ingeniería de Sistemas y Telecomunicaciones
Pereira	Universidad Libre Seccional Pereira	Ingeniería de Sistemas
Armenia	Universidad del Quindío	Ingeniería de Sistemas y Computación.

Tabla 1: Universidades del eje cafetero con programa de ingeniería de sistemas.
Fuente: Los autores.

Se pretende enfocar en este proyecto la unión de diferentes áreas de la ingeniería de sistemas y computación como son la programación, electrónica, ingeniería de software en un fin común como es el diseño de una mano robótica.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El avance de la tecnología en los sistemas informáticos ha permitido la comunicación desde diferentes lugares a través del Internet, con el pasar de los días cada vez más personas adoptan esta tecnología convirtiendo el Internet en parte de sus vidas, en la actualidad son pocos los dispositivos que permiten la interacción física por medio de Internet, la comunicación remota en tiempo real entre dispositivos electrónicos de diversa índole se ha convertido en una necesidad para diversos cuadros de la vida cotidiana y es de esta forma como empresas y personas del común necesitan cada vez más que ciertas tareas se puedan ejecutar remotamente para resolver ciertos problemas que se presentan en el quehacer diario de sus obligaciones.

Teniendo en cuenta estas obligaciones es como llegamos a la construcción de robots que reemplacen o suplanten al ser humano total o parcialmente en ciertas tareas que ya sea por incapacidad propia o por falencia de ciertas habilidades no se pueden realizar. Uno de los robots que hoy en día podría ser de gran ayuda en nuestra región es la mano robótica para que supla los movimientos normales de la mano humana para personas que no pueden estar presentes en el lugar donde se necesite dicha manipulación como es caso de la manipulación de objetos

explosivos, su uso en la medicina ya sea como prótesis o en cirugías donde se puedan llevar a cabo procedimientos quirúrgicos remotamente. De acuerdo al registro para la localización y caracterización de las personas con discapacidad adelantado por el DANE en 2010², en Colombia existen alrededor de 413.269 personas que presentan alteraciones en el movimiento del cuerpo, manos, brazos y piernas. Una buena parte de esta discapacidad tiene su origen en la ausencia total o parcial de una o ambas manos.

Además de comunicar en tiempo real los dispositivos, se necesita un diseño el cual le permita al robot capacidades para manipular y desarrollar todos los movimientos que es necesario que haga o mejor dicho que se pueda manipular lo más aproximadamente posible a cómo funciona la mano humana.

Por lo expuesto anteriormente, el problema de la falta de desarrollo tecnológico alrededor de las aplicaciones de la robótica en instancias humanoides radica en las dificultades al acceso al conocimiento y a sus aplicaciones por parte de las universidades y por parte del sector empresarial. Precisamente lo que se quiere con este proyecto es proporcionar unas bases para que desarrollos tecnológicos se puedan hacer a partir de los conocimientos que aquí se comparten.

1.3 JUSTIFICACIÓN

En la vida contemporánea con ayuda de los avances de la tecnología es posible la conectividad de dispositivos remotos y se ha estado en la búsqueda de algunos que puedan suplir el funcionamiento total o parcial de algunos miembros o partes del cuerpo humano bajo circunstancias especiales como la pérdida de algún miembro o para lograr llegar a lugares de difícil acceso para las personas, es así como se necesita la construcción de robots que suplan estas necesidades, y la creación de sistemas que realicen esta conectividad que es tan necesaria en el ámbito actual de las empresas y de las personas del común.

De esta forma este presente proyecto arrojará no solo experiencia en datos y tecnologías sino que abrirá un nuevo campo para seguir investigando en el área de la robótica y las comunicaciones en nuestro país y aportará un granito de arena a la investigación en otras partes del mundo.

Justificación Social.

² DANE. Registro para la localización y caracterización de las personas con discapacidad. Noviembre 2010.

En Línea: http://www.dane.gov.co/index.php?option=com_content&view=article&id=74&Itemid=120

El control de dispositivos remotos, tiene una gran importancia desde el punto de vista social, en la actualidad el entorno diario ha cambiado provocando que las personas permanezcan cada vez menos tiempo en sus hogares y se dediquen al entorno laboral. Es así como tareas laborales cotidianas muchas veces pueden ser realizadas sin dejar la comodidad del hogar, este proyecto pretende satisfacer algunas de estas necesidades permitiendo que las personas puedan realizar sus labores desde sus hogares por medio de Internet y controlar remotamente la mano robótica cumpliendo con dichas labores. Como ejemplo tenemos LongPen, una mano robótica para firmar libros a distancia³.

Justificación Económica.

Los aparatos de control remotos existentes en el mercado son de gran costo, y se encuentran demasiado especializados dificultando la adquisición de estos mecanismos, este proyecto pretende diseñar un dispositivo de control el cual pueda ser construido a un precio asequible para el público en general, no se encontrará especializado en una tarea específica, sino que se le podrán dar diversos usos, en el hogar, o en las empresas, como ejemplo de esto tenemos el costo elevado de las prótesis para las personas discapacitadas que de acuerdo a la Organización Panamericana de la Salud en Latino América el 4% de las personas con discapacidad usan órtesis o prótesis⁴. Y los robots antiexplosivos, que como ejemplo se puede tener el robot antiexplosivos MK2, de fabricación canadiense entregado por el gobierno departamental del Huila al DAS donde se realizó una inversión de 360 millones de pesos⁵.

Justificación Tecnológica.

Dado el poder de cómputo, las capacidades de las computadoras actuales y los avances tecnológicos, se puede aprovechar dicha tecnología para ejecutar programas de control remoto en tiempo real, ya que es necesario explorar en una amplia gama de posibilidades de mecanismos que permitan realizar labores remotamente, este proyecto puede resultar apropiado, implementando maneras o formas de poder realizar labores sin necesidad de estar presente físicamente en el lugar de dicha labor.

Desde el punto de vista técnico la mano robótica es interesante ya que es una aplicación con uso en diversas situaciones y con un gran campo de investigación

³ CARLETTI, Eduardo J. LognPen, una mano robótica para firmar libros a distancia. Febrero, 2006. En línea: <http://axxon.com.ar/not/159/c-1590171.htm>. Consultado 30/01/2012.

⁴ VÁSQUEZ, Armando. La discapacidad en América Latina- Organización Panamericana de la Salud. 2005. En línea: www.paho.org/spanish/DD/PUB/Discapacidad-SPA.pdf

⁵ Gobernación del Huila Colombia. Gobierno Departamental entregó Robot Antiexplosivos al DAS. Abril, 2010. En línea: http://www.huila.gov.co/index.php?option=com_content&view=article&id=66133:gobierno-departamental-entrego-robot-antiexplosivos-al-das&catid=50:prensa

(dada su complejidad), en las ciencias de la computación y la electrónica. Algunos de los desarrollos más importantes de estos campos que se han iniciado con las manos robóticas son aquellas capaces de ser dirigidas por la mente⁶.

La Unión Europea realizan el “proyecto handle” (2011) en busca de comprender cómo realizan los humanos la manipulación de objetos con el fin de reproducir el agarre y las habilidades de movimientos con una mano artificial antropomórfica articulada, para que pueda ser más autónoma y tener movimientos naturales y eficaces. Que cuente con capacidad de percepción avanzada, control de alto nivel de información y elementos de inteligencia que permitan el reconocimiento de objetos y el contexto de las acciones⁷.

1.4 OBJETIVO GENERAL

Análisis y diseño de un prototipo de una mano robótica con catorce grados de libertad, capaz de ser dirigida a través de Internet en tiempo real.

1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigación del estado del arte de un prototipo de mano robótica.
- Análisis de un prototipo de mano robótica con catorce grados de libertad.
- Diseño de un prototipo de mano robótica con catorce grados de libertad.
- Investigación de posibles herramientas de desarrollo de software para la comunicación por Internet.
- Análisis del software de control y comunicación.

⁶ Diseñan mano robot manejada con la mente. 02-06-2006. En línea <http://axxon.com.ar/not/163/c-1630018.htm>. Consultado el 22/04/07.

⁷ El proyecto HANDLE desarrollará una mano artificial con destrezas similares a las de las manos humanas. 05-07-2011. En línea <http://www.xatakaciencia.com/robotica/el-proyecto-handle-desarrollara-una-mano-artificial-con-destrezas-similares-a-las-de-las-manos-humanas> . Consultado el 26-01.2012.

- Diseño del software de control y comunicación.
- Condensar toda la experiencia en un documento que sirva de base para posteriores investigaciones tecnológicas.

1.6 MARCO TEÓRICO

Por siglos el ser humano ha construido máquinas que imiten las partes del cuerpo humano. Los antiguos egipcios unieron brazos mecánicos a las estatuas de sus dioses. Estos brazos fueron operados por sacerdotes, quienes clamaban que el movimiento de estos era inspiración de sus dioses. Los griegos construyeron estatuas que operaban con sistemas hidráulicos, los cuales se utilizaban para fascinar a los adoradores de los templos.

El desarrollo en la tecnología, donde se incluyen las poderosas computadoras electrónicas, los actuadores de control retroalimentados, transmisión de potencia a través de engranes, y la tecnología en sensores han contribuido a flexibilizar los mecanismos autómatas para desempeñar tareas dentro de la industria. Son varios los factores que intervienen para que se desarrollaran los primeros robots en la década de los 50's. La investigación en inteligencia artificial desarrolló maneras de emular el procesamiento de información humana con computadoras electrónicas e inventó una variedad de mecanismos para probar sus teorías.

Una obra checoslovaca publicada en 1917 por Karel Kapek, denominada Rossum's Universal Robots, dio lugar al término robot. La palabra checa 'Robota' significa servidumbre o trabajador forzado, y cuando se tradujo al inglés se convirtió en el término robot.

Entre los escritores de ciencia ficción, Isaac Asimov contribuyó con varias narraciones relativas a robots, comenzó en 1939, a él se atribuye el acuñamiento del término Robótica. La imagen de robot que aparece en su obra es el de una máquina bien diseñada y con una seguridad garantizada que actúa de acuerdo con tres principios.

Estos principios fueron denominados por Asimov las Tres Leyes de la Robótica, y son:

- Un robot no puede actuar contra un ser humano o, mediante la inacción, que un ser humano sufra daños.

- Un robot debe de obedecer las órdenes dadas por los seres humanos, salvo que estén en conflictos con la primera ley.
- Un robot debe proteger su propia existencia, a no ser que esté en conflicto con las dos primeras leyes.

Aplicaciones

Los robots son utilizados en una diversidad de aplicaciones, desde robots tortugas en los salones de clases, robots soldadores en la industria automotriz, hasta brazos teleoperados en el transbordador espacial.

Cada robot lleva consigo su problemática propia y sus soluciones afines; no obstante que mucha gente considera que la automatización de procesos a través de robots está en sus inicios, es un hecho innegable que la introducción de la tecnología robótica en la industria, ya ha causado un gran impacto. En este sentido la industria Automotriz desempeña un papel preponderante.

Es necesario hacer mención de los problemas de tipo social, económicos e incluso político, que puede generar una mala orientación de robotización de la industria. Se hace indispensable que la planificación de los recursos humanos, tecnológicos y financieros se realice de una manera inteligente.

Por el contrario la Robótica contribuirá en gran medida al incremento del empleo. ¿Pero, como se puede hacer esto? al automatizar los procesos en máquinas más flexibles, reduce el costo de maquinaria, y se produce una variedad de productos sin necesidad de realizar cambios importantes en la forma de fabricación de los mismos. Esto originará una gran cantidad de empresas familiares (Micro y pequeñas empresas) lo que provoca la descentralización de la industria.

Los robots son utilizados por una diversidad de procesos industriales como lo son: la soldadura de punto y soldadura de arco, pinturas de spray, transportación de materiales, molienda de materiales, moldeado en la industria plástica, máquinas-herramientas, y otras más.

Además de las aplicaciones de manejo de piezas, existe una gran clase de aplicaciones en las cuales el robot realmente efectúa trabajos sobre piezas. Este trabajo casi siempre necesita que el efector final del robot sea una herramienta en lugar de una pinza.

Por tanto la utilización de una herramienta para efectuar el trabajo es una característica distinta de este grupo de aplicaciones. El tipo de herramienta depende de la operación de procesamiento que se realiza.

Los robots están encontrando un gran número de aplicaciones en los laboratorios. Llevan a cabo con efectividad tareas repetitivas como la colocación de tubos de pruebas dentro de los instrumentos de medición. En ésta etapa de su desarrollo los robots son utilizados para realizar procedimientos manuales automatizados. Un típico sistema de preparación de muestras consiste de un robot y una estación de laboratorio, la cual contiene balanzas, dispensarios, centrifugados, racks de tubos de pruebas, etc.

Las muestras son movidas desde la estación de laboratorios por el robot bajo el control de procedimientos de un programa.

Los fabricantes de estos sistemas mencionan tener tres ventajas sobre la operación manual: incrementan la productividad, mejoran el control de calidad y reducen la exposición del ser humano a sustancias químicas nocivas.

La tecnología robótica encontró su primera aplicación en la industria nuclear con el desarrollo de teleoperadores para manejar material radiactivo. Los robots más recientes han sido utilizados para soldar a control remoto y la inspección de tuberías en áreas de alta radiación. El accidente en la planta nuclear de Three Mile Island en Pennsylvania en 1979 estimuló el desarrollo y aplicación de los robots en la industria nuclear. El reactor número 2 (TMI-2) perdió su enfriamiento, y provocó la destrucción de la mayoría del reactor, y dejó grandes áreas del reactor contaminadas, inaccesible para el ser humano. Debido a los altos niveles de radiación las tareas de limpieza solo eran posibles por medios remotos. Varios robots y vehículos controlados remotamente han sido utilizados para tal fin en los lugares donde ha ocurrido una catástrofe de este tipo. Ésta clase de robots son equipados en su mayoría con sofisticados equipos para detectar niveles de radiación, cámaras, e incluso llegan a traer a bordo un mini laboratorio para hacer pruebas.

Para muchos la idea de tener un robot agricultor es ciencia ficción, pero la realidad es muy diferente; o al menos así parece ser para el Instituto de Investigación Australiano, el cual ha invertido una gran cantidad de dinero y tiempo en el desarrollo de este tipo de robots. Entre sus proyectos se encuentra una máquina que esquila a las ovejas. La trayectoria del cortador sobre el cuerpo de las ovejas se planea con un modelo geométrico de la oveja.

La exploración espacial posee problemas especiales para el uso de robots. El medio ambiente es hostil para el ser humano, quien requiere un equipo de protección muy costoso tanto en la Tierra como en el Espacio. Muchos científicos han hecho la sugerencia de que es necesario el uso de Robots para continuar con los avances en la exploración espacial; pero como todavía no se llega a un grado de automatización tan precisa para ésta aplicación, el ser humano aún no ha podido ser reemplazado por éstos. Por su parte, son los teleoperadores los que han encontrado aplicación en los transbordadores espaciales.

Algunas investigaciones están encaminadas al diseño, construcción y control de vehículos autónomos, los cuales llevarán a bordo complejos laboratorios y cámaras muy sofisticadas para la exploración de otros planetas.

La tendencia hacia el estudio e investigación de este tipo de robots se incrementará a medida que la industria se interese aún más en la utilización de los robots, sobra mencionar los beneficios que se obtendrían si se consigue una tecnología segura para la exploración del suelo marino y la explotación del mismo.

Los robots están apareciendo en los salones de clases de tres distintas formas. Primero, los programas educacionales utilizan la simulación de control de robots como un medio de enseñanza. Un ejemplo palpable es la utilización del lenguaje de programación del robot Karel, el cual es un subconjunto de Pascal; éste es utilizado por la introducción a la enseñanza de la programación.

Una serie de manipuladores de bajo costo, robots móviles, y sistemas completos han sido desarrollados para su utilización en los laboratorios educacionales. Debido a su bajo costo muchos de estos sistemas no poseen una fiabilidad en su sistema mecánico, tienen poca exactitud, no existen los sensores y en su mayoría carecen de software.

La robótica es una tecnología con futuro y también para el futuro. Si continúan las tendencias actuales, y si algunos de los estudios de investigación en el laboratorio actualmente en curso se convierten finalmente en una tecnología factible, los robots del futuro serán unidades móviles con uno o más brazos, capacidades de sensores múltiples y con la misma potencia de procesamiento de datos y de cálculo que las grandes computadoras actuales. Serán capaces de responder a órdenes dadas con voz humana. Así mismo serán capaces de recibir instrucciones generales y traducirlas, con el uso de la inteligencia artificial en un conjunto específico de acciones requeridas para llevarlas a cabo. Podrán ver, oír, palpar, aplicar una fuerza media con precisión a un objeto y desplazarse por sus propios medios.⁸

1.7 ESTADO DEL ARTE

Acerca del mundo de la robótica y el internet en tiempo real se han realizado grandes avances en los últimos años con aplicaciones interesantes algunos de los

⁸ La Robótica. <http://www.monografias.com/trabajos6/larobo/larobo.shtml>. Consultado el 22/04/07

cuales son nombrados en la siguiente relación de artículos consultados de las más importantes revistas científicas a nivel mundial:

- Artículo que presenta un mecanismo de mano con 3 grados de libertad para realizar micromanipulación impulsado por tres actuadores piezoeléctricos. Para reducir el costo de fabricación y para permitir diseños más complejos se propone una máquina de prototipado rápido para construir el mecanismo.

U-Xuan Tan; Win Tun Latt; Cheng Yap Shee; Wei Tech Ang; , "A Low-Cost Flexure-Based Handheld Mechanism for Micromanipulation," Mechatronics, IEEE/ASME Transactions on , vol.16, no.4, pp.773-778, Aug. 2011

URL:

<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5586653&isnumber=5765521>

- Trabajo que presenta una mano robótica antropomórfica que pueda ejercer una gran fuerza de agarre. Se propone un mecanismo compuesto de unidades flexión y unidades de magnificación de fuerza para una mano robótica de varios dedos impulsada por cable.

Takaki, T.; Omata, T.; , "High-Performance Anthropomorphic Robot Hand With Grasping-Force-Magnification Mechanism," Mechatronics, IEEE/ASME Transactions on , vol.16, no.3, pp.583-591, June 2011

URL:

<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5460902&isnumber=5764301>

- Desarrollo de una mano robótica quirúrgica para intervenciones laparoscópicas que aumenta la destreza de los cirujanos. El efector de la orientación está controlada por un controlador intuitivo y ergonómico y su posición es controlada directamente por el cirujano.

Zahraee, A.H.; Paik, J.K.; Szewczyk, J.; Morel, G.; , "Toward the Development of a Hand-Held Surgical Robot for Laparoscopy," Mechatronics, IEEE/ASME Transactions on , vol.15, no.6, pp.853-861, Dec. 2010

URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5523951&isnumber=5666995>

- Este artículo presenta los últimos avances científicos y tecnologías incluyendo el análisis y síntesis de la mano humana, captura del movimiento de la mano, algoritmos de reconocimiento y aplicaciones, con el propósito de transferir habilidades de manipulación de la mano humana a aplicaciones en el contexto computacional.

Honghai Liu; , "Exploring Human Hand Capabilities Into Embedded Multifingered Object Manipulation," *Industrial Informatics, IEEE Transactions on* , vol.7, no.3, pp.389-398, Aug. 2011

URL:

<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5951810&isnumber=5977191>

- En los servicios de Internet en tiempo real tales como la transmisión de vídeo y juegos en línea a menudo requieren un tratamiento privilegiado en los routers de Internet y conexiones inalámbricas con el fin de satisfacer sus requerimientos de calidad de servicio. El reto está en saber cuáles son los servicios que requieren una mayor prioridad y cuándo este trato especial es necesario. En este estudio, se introducen mecanismos para clasificar los diferentes flujos de tráfico de forma inteligente y utilizar esta información en un ajuste dinámico de prioridades de tráfico. En la solución presentada, las estaciones móviles de forma dinámica puede suscribirse a un tratamiento especial para los servicios de su red.

Piri, E.; Uitto, M.; Prokkola, J.; Laulajainen, J.; , "Dynamic Subscription-Based QoS Service for Traffic Optimization," *Vehicular Technology Conference (VTC Fall), 2011 IEEE* , vol., no., pp.1-5, 5-8 Sept. 2011

URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6093212&isnumber=6092796>

- Artículo donde se cuenta la historia de Wyzhir Johnson, quien tuvo un terrible accidente que cambió su vida para siempre. Gracias a una mano robótica, ha podido volver a realizar muchas de sus actividades diarias. La mano tiene partes robóticas que se mueven. Johnson puede controlarla para que haga cosas como torcer una botella o recoger una moneda del suelo.

Kashner, Z. (2011, Oct 03). My robot hand. *Scholastic Action*, 35(3), 12-15, T8. Retrieved from <http://ezproxy.utp.edu.co/docview/899252699?accountid=45809>

Piri, E.; Uitto, M.; Prokkola, J.; Laulajainen, J.; , "Dynamic Subscription-Based QoS Service for Traffic Optimization," *Vehicular Technology Conference (VTC Fall), 2011 IEEE* , vol., no., pp.1-5, 5-8 Sept. 2011

URL:

<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6093212&isnumber=6092796>

- Artículo donde se presenta el diseño e implementación de un curso remoto de laboratorio de circuitos electrónicos, basado en Internet en tiempo real. El alumno interactúa con el sistema a través de una interfaz gráfica de usuario implementada usando NI LabVIEW. El servidor procesa las solicitudes de experimentación de los usuarios y los ejecuta.

Maiti, C.K.; Mahata, S.; Maiti, A.; , "Design and Development of a Cost-Effective Online Electronic Circuits Laboratory," Technology for Education (T4E), 2011 IEEE International Conference on , vol., no., pp.221-224, 14-16 July 2011

URL:

<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6004387&isnumber=6004239>

1.8 DISEÑO METODOLÓGICO

Definición de la Hipótesis

¿Será posible construir una mano robótica de catorce grados de libertad que pueda ser dirigida por Internet en tiempo real y que sea de bajo costo?

Indicadores

- Documentación del estado del arte de la robótica y controles remotos.
- Esbozo teórico de cada una de las etapas de una mano robótica.
- Planteamiento de metodologías y enfoques en los que se aborda el problema de sistemas de control en tiempo real.
- Diseño de un prototipo que permitan mostrar la funcionalidad de la mano robótica.

2 MICROCONTROLADORES

2.1 DEFINICIÓN⁹

Un microcontrolador o MCU es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria. Está compuesto de varios bloques funcionales, los cuales cumplen una tarea específica. Incluye en su interior las tres unidades funcionales principales de una computadora: unidad central de procesamiento, memoria y periféricos de entrada y salida.

Al ser fabricados, la EEPROM (tipo de memoria no volátil) del microcontrolador no posee datos. Para que pueda controlar algún proceso es necesario generar y luego grabar en la EEPROM algún programa, el cual puede ser escrito en lenguaje ensamblador u otro lenguaje para microcontroladores; sin embargo, para que el programa pueda ser grabado en la EEPROM, debe ser codificado en sistema numérico hexadecimal que es finalmente el sistema que hace trabajar al microcontrolador cuando éste es alimentado con el voltaje adecuado y asociado a dispositivos analógicos y discretos para su funcionamiento.

2.2 ARQUITECTURA INTERNA

La estructura básica típica de un microcontrolador es la siguiente:

⁹ GRIDLING, Gunther y WEISS, Bettina . Vienna University of Technology, Introduction To Microcontrollers, February 26, 2007.

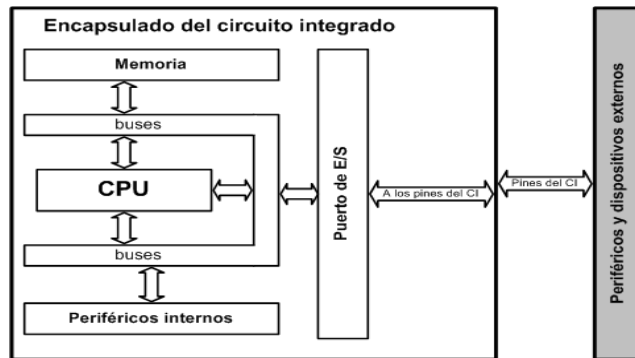


Ilustración 1: Estructura básica de un microcontrolador
Fuente: <http://www.ucontrol.com.ar>

Cabe destacar que ninguno se apega fielmente a esta estructura, muchas compañías modifican algunas partes, pero básicamente sigue siendo igual.

Las partes principales de un microcontrolador son:

- Procesador
- Memoria no volátil en la cual se almacena el programa
- Memoria de lectura y escritura para guardar los datos
- Líneas de entrada y salida (I/O) para los controladores de los periféricos
 - Comunicación en paralelo
 - Comunicación en serie
 - Recursos auxiliares
 - Circuito de reloj
 - Temporizadores
 - Convertidores análogo a digital (A/D) y digital a análogo (D/A)
 - Comparadores analógicos
- Registros

2.2.1 El Procesador.

Su organización es distinta a la de las PC normales, ya que posee diferentes circuitos para cada memoria y no se utiliza los registros de segmento si no que la memoria está segregada y el acceso a cada tipo de memoria depende de las instrucciones dadas. La mayoría de los procesadores se basan específicamente en dos tipos de arquitecturas: la arquitectura de Von Neumann y la de Harvard.

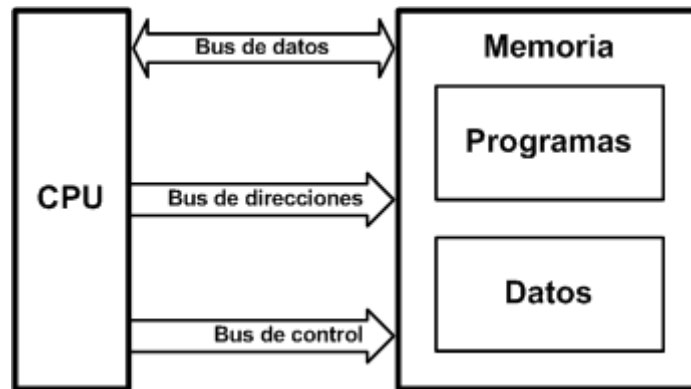


Ilustración 2: Arquitectura Von Neumann
Fuente: <http://www.ucontrol.com.ar>

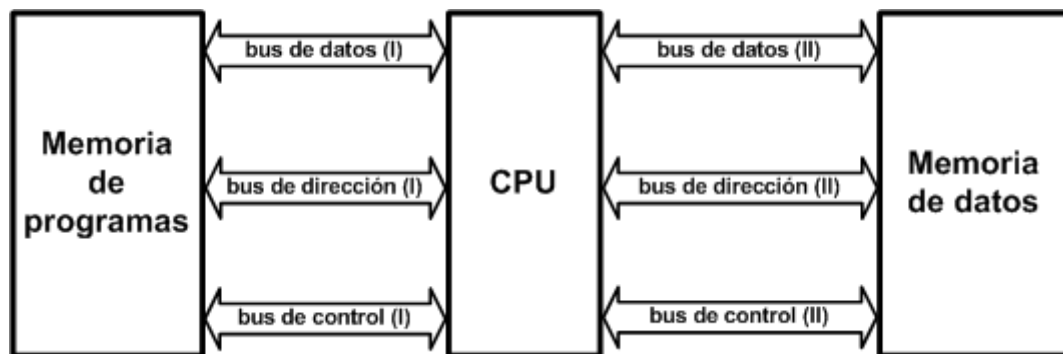


Ilustración 3: Arquitectura Harvard
Fuente: <http://www.ucontrol.com.ar>

Esta última es la mayormente utilizada por los microcontroladores ya que permite ser hasta dos veces más rápido que los otros sistemas similares. En esta arquitectura el procesador tiene los buses segregados permitiendo que cada tipo de memoria tenga un bus de datos, uno de dirección y uno de control.

La ventaja es poder adecuar el tamaño de los buses según las características que posea cada tipo de memoria, el procesador puede acceder a estas memorias de forma simultánea, lo cual implica que se establezca un aumento en la velocidad de procesamiento.

La mayor desventaja es el consumo de muchas líneas de entrada y salida del procesador.

2.2.2 Memoria del Programa

Los microcontroladores manejan básicamente los siguientes tipos de memoria:

ROM.- Es una memoria no volátil de sólo lectura la cual se graba durante la fabricación del chip.

OTP.- Es una memoria no volátil de sólo lectura programable una sola vez por el usuario. Sus siglas significan One Time Programmable. Se puede escribir el programa en el chip por medio de un grabador controlado por un programa desde un PC. Se suele usar la encriptación mediante fusibles para proteger el código de programa.

EPROM.- Es una memoria que puede borrarse y grabarse muchas veces, sus siglas en ingles significan Erasable Programmable Read Only Memory. La grabación se realiza, como en el caso de los OTP, para borrar su contenido se disponen de una ventana de cristal en su superficie por la que se somete a la EPROM a rayos ultravioleta durante varios minutos.

EEPROM.- Es una memoria de sólo lectura, programable y borrrable eléctricamente, sus siglas en ingles significan Electrical Erasable Programmable Read Only Memory, se puede grabar y borrar cuantas veces se quiera sin ser retirados del circuito en el que se instalen. El número de veces que se puede grabar y borrar una memoria EEPROM es finito.

FLASH.- Es una memoria no volátil, de bajo consumo, funciona como una ROM y una RAM pero consume menos y es más pequeña. Es más eficiente que la EEPROM ya que es más veloz y tolera más ciclos de escritura y borrado, además de poder ser programada a nivel bajo de tensión.

2.3 DIAGRAMA DE PINES

2.3.1 Diagrama de pines de un PIC18F77A

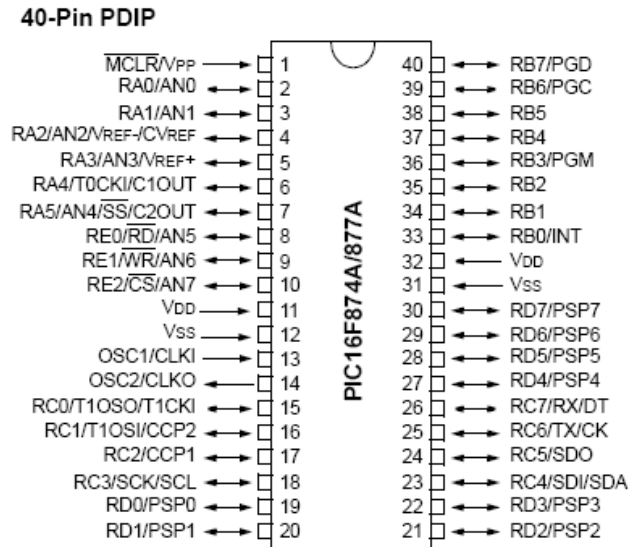


Ilustración 4: Diagrama de pines de un PIC18F77A
Fuente: <http://www.microchip.com>

2.3.2 Diagrama de pines de un PIC18F4550

40-Pin PDIP

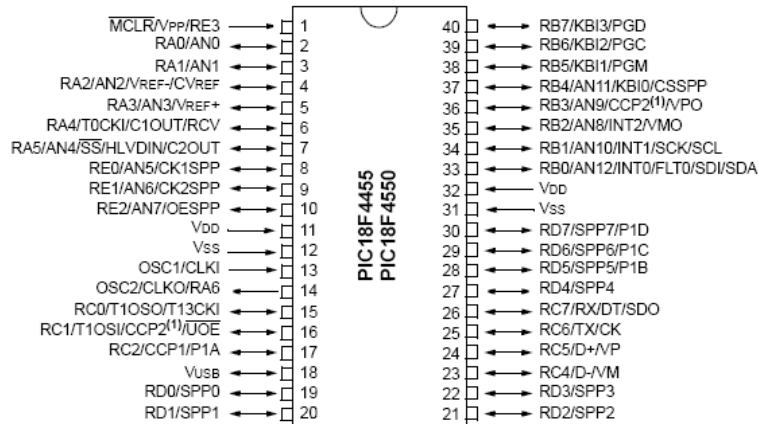


Ilustración 5: Diagrama de pines de un PIC18F4550
Fuente: <http://www.microchip.com>

2.4 REGISTROS

Un registro es un espacio de memoria, por lo general muy reducido pero necesario, de acá se toman, almacenan y modifican datos para las diferentes operaciones que realiza el resto de los circuitos del procesador, en ellos se almacenan los resultados de la ejecución de las instrucciones, se cargan los datos desde las memorias externas o se almacenan en ellas, el tamaño de los registros varían según el microprocesador, el cual puede tomar valores de 4, 8, 16, 32 o 64 bits, mientras mayor sea el número de bits de los registros de datos del procesador, mayores serán sus capacidades en cuanto a poder de cómputo y velocidad de ejecución, existen dos clases de registro: los de propósito general y los especializados.

2.4.1 Registros de propósito general

En esta clase de registros se pueden guardar tanto datos como direcciones, no existe restricción en cuanto a su utilización. Son fundamentales en la arquitectura de von Neumann.

2.4.2 Registros Especializados

Son los registros que están dedicados a realizar alguna función específica, algunos de estos registros son:

Registro Acumulador.- Este registro es necesario para cualquier operación aritmética y lógica, por lo general contiene los datos de la instrucción antes de la operación y al final recibe el resultado, también se encarga en muchos casos de actuar como mediador entre los registros de entrada y destino.

Registros temporales o auxiliares.- Estos registros son para uso interno del microprocesador en los que se almacenan momentáneamente cierta información de los procesos que se realizan.

Registro de Banderas.- Son un conjunto de registros que solo puede tomar dos valores.

Registro de Instrucciones.- Es el registro donde se almacena el código de las operaciones que se están ejecutando.

2.5 SELECCIÓN DEL MICROCONTROLADOR.

2.5.1 Requisitos a tener en cuenta

Para poder seleccionar un microcontrolador es necesario analizar los requisitos que se usarán en la aplicación.

Procesamiento de datos.- Es necesario conocer el tiempo de cálculo del microcontrolador. Se debe asegurar de seleccionar un dispositivo suficientemente rápido para ello. También se debe tener en cuenta la precisión de los datos a manejar, si son datos de 8, 16 o 32 bits, o incluso a hardware de coma flotante.

Entrada y Salida.- Determinar la cantidad de entradas y salidas necesarias para la aplicación.

Consumo.- Conocer el consumo de voltaje del microcontrolador, algunos productos están alimentados con baterías.

Memoria.- Detectar las necesidades de memoria de la aplicación.

2.6 MICROCONTROLADORES MÁS COMUNES.

2.6.1 Intel 8048

Usados en el desarrollo de teclados, fueron desarrollados en base al procesador de Fairchild F8, fue diseñado para el bajo costo y tamaño pequeño, poseen una arquitectura modificada de Harvard.

2.6.2 Intel 8051

Desarrollado por Intel en el año de 1980, la denominación oficial es MCS 51, está basado en una arquitectura Harvard, es un microcontrolador muy popular, fácil de programar, pero, potente.

2.6.3 Intel 80186, 80188 y 80386EX

Fueron mejoras de los microprocesadores 8086 y 8088. Su principal ventaja es que permiten aprovechar las herramientas de desarrollo para PC.

2.6.4 Motorola 68HC11 y 68HC12

Son microcontroladores derivados del microprocesador Motorola 6800, utilizan la arquitectura Von Neumann, poseen 8 bits puede funcionar tanto con memoria interna como externa, populares con gran cantidad de variantes.

2.6.5 PIC (MicroChip)

Familia de microcontroladores de gran popularidad. Fueron los primeros microcontroladores RISC. Fabricados por Microchip Technology Inc.

Algunos de los microcontroladores más populares de Motorola son:

Dispositivo	RAM	ROM	EEPROM	EPROM	OTPROM	Frecuencia max del Bus
68HC705B16	352	-	256	-	15360	4, 2.1
68HC705KJ1	64	-	-	1240	-	4, 2.1
68HC05P18A	192	8064	128	-	-	4, 2
68HC05X32	528	31232	528	-	-	2.2
68HC705X32	528	-	256	31232	-	2.2
68HC05X16	352	15102	256	-	-	2.2
68HC705X4	176	-	4096	-	-	2.2
68HC705JJ7	224	-	-	6160	-	2.1, 1.05
68HC05JP6	224	6160	-	-	-	2.1, 1.05
68HC705JP7	224	-	-	6	-	2.1, 1.05
68HC05PV8A	192	7936	-	-	-	2.1
68HC805PV8	192	-	7	-	-	2.1
68HC05J5A	128	2560	-	-	-	2.1
68HC705J5A	128	-	-	-	2	2.1

Tabla 2: Familia M68HC05
Fuente: Universidad Politécnica de Valencia

Dispositivo	RAM	ROM	EEPROM	Flash	Frecuencia max del Bus
68HC908AS60	2048	-	1024	61872	8.4
68HC908AZ60A	2048	-	1024	61744	8.4
68HC908GR4	384	-	-	4096	8.2, 8, 4.1
68HC908GP32	512	-	-	32256	8.2, 4.1
68HC908MR16	768	-	-	16128	8.2
68HC908MR32	768	-	-	16128, 32256	8.2
68HC908MR8	256	-	-	7860	8.2
68HC908GT8	512	-	-	7680	4, 8
68HC908GT16	512	-	-	15872	4, 8
68HC908LJ12	512	-	-	12288	4, 8
68HC908SR12	512	-	-	12288	4, 8
68HC908KX2	192	-	-	2048	4, 8
68HC908KX8	192	-	-	7680	4, 8

Tabla 3: Familia M68HC08
Fuente: Universidad Politécnica de Valencia

Dispositivo	RAM	ROM	EEPROM	EPROM	OTEPROM	Frecuencia max del Bus
68HC11F1	1024	-	512	-	-	5, 4, 3, 2
68HC711E9	512	-	512	-	12288	4, 3, 2, 1
68HC11KS1	1024	-	640	-	-	4, 3, 2
68HC711E20	768	-	512	-	20480	4, 3, 2
68HC11K0	768	-	-	-	-	4, 3, 2
68HC11K1	768	-	640	-	-	4, 3, 2
68HC711KS2	1024	-	640	32768	32768	4, 3
68HC11P1	1024	-	640	-	-	4, 3
68HC11P2	1024	32768	640	-	-	4, 3
68HC11E9	512	12288	512	-	-	3, 2, 1
68HC11E0	512	-	-	-	-	3, 2
68HC11E1	512	-	512	-	-	3, 2
68HC11D0	192	-	-	-	-	3, 2
68HC711D3	192	-	-	-	4096	3, 2

Tabla 4: Familia M68HC11
Fuente: Universidad Politécnica de Valencia

Entre los de Microchip tenemos:

Dispositivo	RAM	ADC	ROM	Velocidad
PIC16F630	64	-	1024	20
PIC16F676	64	1	1024	20
PIC12F629	64	-	1024	20
PIC12F675	64	4	1024	20
PIC12C671	128	4	1024	10
PIC12C672	128	4	2048	10
PIC12CE673	128	4	1024	10
PIC12CE674	128	4	2048	10

Tabla 5: Familia PIC12
Fuente: Universidad Politécnica de Valencia

Dispositivo	Data RAM	ADC	Words	Velocidad
PIC16C66	368	-	8192	20
PIC16C67	368	-	8192	20
PIC16C76	368	5	8192	20
PIC16F76	368	5	8192	20
PIC16F77	368	8	8192	20
PIC16F876	368	8	8192	20
PIC16F876A	368	5	8192	20
PIC16F87	368	-	4096	20
PIC16F88	368	7	4096	20
PIC16F737	368	11	4096	20
PIC16F747	368	14	8192	20
PIC16F767	368	11	8192	20
PIC16F777	368	14	8192	20
PIC16F84A	68	-	1024	20

Tabla 6: Familia PIC16
Fuente: Universidad Politécnica de Valencia

Dispositivo	Data RAM	ADC	Words	Velocidad
PIC18C242	512	5	8192	40
PIC18C252	1536	5	16384	40
PIC18F242	768	5	8192	40
PIC18F248	768	5	8192	40
PIC18F252	1536	5	16384	40
PIC18F2539	1400	5	12288	40
PIC18F258	1536	5	16384	40
PIC18F2331	512	5	4096	40
PIC18F2431	768	5	8192	40

Tabla 7: Familia PIC18
Fuente: Universidad Politécnica de Valencia

Los Microcontroladores elegidos para la utilización en este proyecto son los de la familia Microchip Technology Corp. Por las siguientes razones:

- Disponibilidad en el mercado.
- Consumo de un voltaje de 5v, los cuales los puede proveer un puerto USB.
- Conocimiento del lenguaje de programación.
- Herramienta libre para su programación (MPLAB).
- Microcontrolador con funcionalidad USB (PIC18F455).

2.7 MICROCONTROLADOR PIC.

2.7.1 Definición

Los microcontroladores PIC utilizan un juego de instrucciones tipo RISC, son fabricados por Microchip Technology Inc.

2.7.2 Historia

Son derivados del PIC1650, el cual fue originalmente desarrollado por la división de microelectrónica de General Instruments. Su nombre original es PICmicro debido a sus siglas en inglés Peripheral Interface Controller (Controlador de Interfaz Periférico). Fue diseñado para ser usado con la nueva CPU de 16 bits CP16000. Siendo en general una buena CPU, ya que ésta presentaba malas prestaciones de entradas y salidas, y el PIC de 8 bits fue desarrollado en 1975 para mejorar el rendimiento del sistema quitando peso de las entradas y salidas a la CPU. Este PIC utilizaba un micro código simple almacenado en ROM para realizar estas tareas, trataba de un diseño RISC que ejecuta una instrucción cada cuatro ciclos del oscilador.

En el año de 1985, la división de microelectrónica de General Instruments se convirtió en una filial y se cancelaron la gran mayoría de los desarrollos sobre este producto ya que para estas fechas ya estaba obsoleto el PIC, sin embargo, fue mejorado con la adición de la EPROM para conseguir un controlador de canal programable. Para el desarrollo de las aplicaciones Microchip proporciona un freeware llamado MPLAB el cual incluye un simulador software y un ensamblador.

2.7.3 Familia de los PIC

Los PIC se dividen en cuatro gamas: enana, baja, media y alta. Las principales diferencias entre estas gamas viene dada por el número de instrucciones y su longitud, el número de puertos y funciones, lo cual se refleja en el encapsulado, la complejidad interna y de programación, y en el número de aplicaciones. Las instrucciones pueden variar desde treinta y cinco para PICs de gama baja a setenta para los de gama alta. Estas instrucciones se clasifican según las operaciones que realicen, operaciones entre el acumulador y una constante, entre el acumulador y una posición de memoria, instrucciones de condicionamiento y de salto o retorno, implementación de interrupciones y una para pasar a modo de bajo consumo llamada sleep.

2.7.3.1 PICS de Gama enana

Se trata de una serie de microcontroladores con reducido tamaño, al disponer todos sus componentes de ocho patas. Se alimentan con un voltaje de corriente continua comprendido entre 2,5 V y 5,5 V, y consumen menos de 2 mA cuando trabajan a 5 V y 4 MHz. El formato de sus instrucciones puede ser de 12 o de 14 bits y su repertorio es de treinta y tres o treinta y cinco instrucciones respectivamente. Se muestra el diagrama de conexionado de uno de estos PIC.

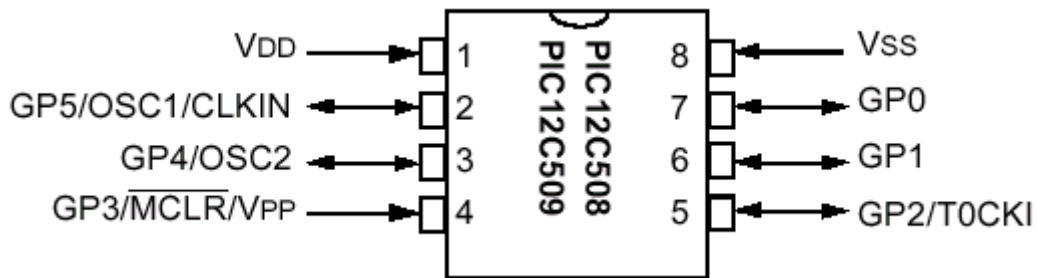


Ilustración 6: Diagrama de conexiones PIC12C50X
Fuente: <http://www.microchip.com>

Esta serie de PICS cuentan con hasta 6 puertos como líneas de E/S para los periféricos porque disponen de un oscilador interno R-C, lo cual es una de su principales características.

Modelo	Memoria programa	Memoria datos	Frecuencia max	Lineas de E/S	ADC	Timers
PIC12C508	512x12	25x8	4 MHz	6		TMR0 +

						WDT	
PIC12C509	1024x12	41x8	4 MHz	6		TMR0 WDT	+
PIC12C670	512x14	80x8	4 MHz	6		TMR0 WDT	+
PIC12C671	1024x14	128x8	4 MHz	6	2	TMR0 WDT	+
PIC12C672	2048x14	128x8	4 MHz	6	4	TMR0 WDT	+
PIC12C680	512X12 FLASH	80x8 16x8 EEPROM	4 MHz	6	4	TMR0 WDT	+
PIC12C681	1024x14 FLASH	80x8 16x8 EEPROM	4 MHz	6		TMR0 WDT	+

Tabla 8: Pic's de gama enana

Fuente: <http://www.neoteo.com/microcontroladores>

2.7.3.2 PICS de Gama baja

Se trata de una serie de PIC de recursos limitados con un repertorio de treinta y tres instrucciones cuyo formato consta de 12 bits. Este tipo de microcontrolador no admite interrupciones, cuentan con dieciocho y veintiocho patas, se alimentan de una tensión de 2.5 V, no admite ningún tipo de interrupción.

Los componentes de la gama baja se caracterizan por un sistema "Power On Reset", Perro guardián (Watchdog o WDT), Código de protección, Sleep.

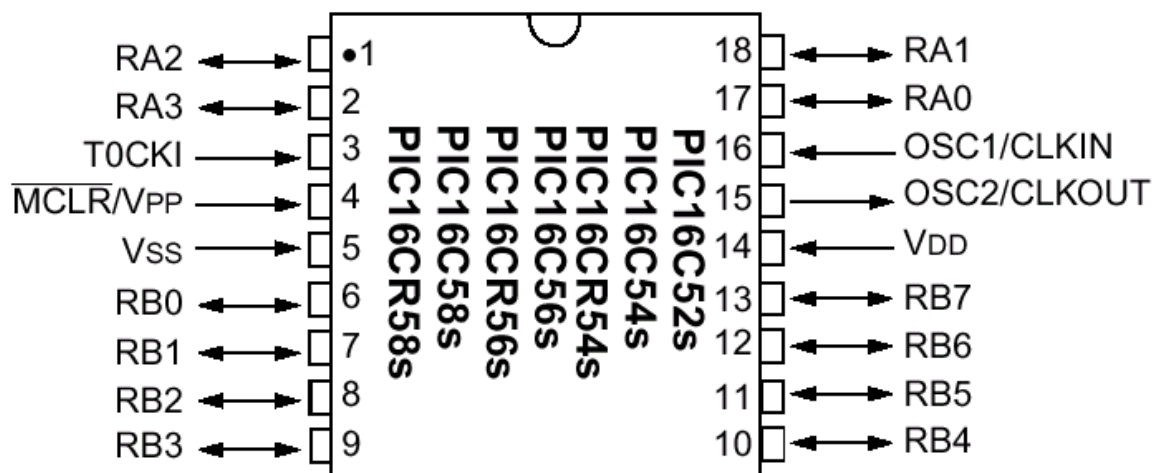


Ilustración 7: Diagrama de conexiones PIC 16CXX
Fuente: <http://www.microchip.com>

Modelo	Memoria Programa (x 12 Bits)	Memoria Datos	Frecuencia Max	Líneas E/S	Temporizadores	Patas
PIC16C52	384	25	4 MHZ	4	TMR 0 + WDT	18
PIC16C54	512	25	20 MHZ	12	TMR 0 + WDT	18
PIC16C54A	512	25	20 MHZ	12	TMR 0 + WDT	18
PIC16CR54A	512	25	20 MHZ	12	TMR 0 + WDT	18
PIC16C55	512	24	20 MHZ	20	TMR 0 + WDT	28
PIC16C56	1 k	25	20 MHZ	12	TMR 0 + WDT	18
PIC16C57	2 k	72	20 MHZ	20	TMR 0 + WDT	28
PIC16CR57B	2 k	72	20 MHZ	20	TMR 0 + WDT	28
PIC16C58A	2 k	73	20 MHZ	12	TMR 0 + WDT	18
PIC16CR58A	2 k	73	20 MHZ	12	TMR 0 + WDT	18

Tabla 9: PIC's de gama baja
Fuente: <http://www.neoteo.com/microcontroladores>

2.7.3.3 PICS de Gama media

Esta gama de PICS es la más variada y completa. Contiene modelos con encapsulado desde dieciocho patas hasta sesenta y ocho, poseen nuevas prestaciones en comparación con los de gama baja, admiten interrupciones, poseen comparadores análogos, concertadores A/D, puertos serie, además de múltiples temporizadores. Poseen treinta y cinco instrucciones, de 14 bits cada una.

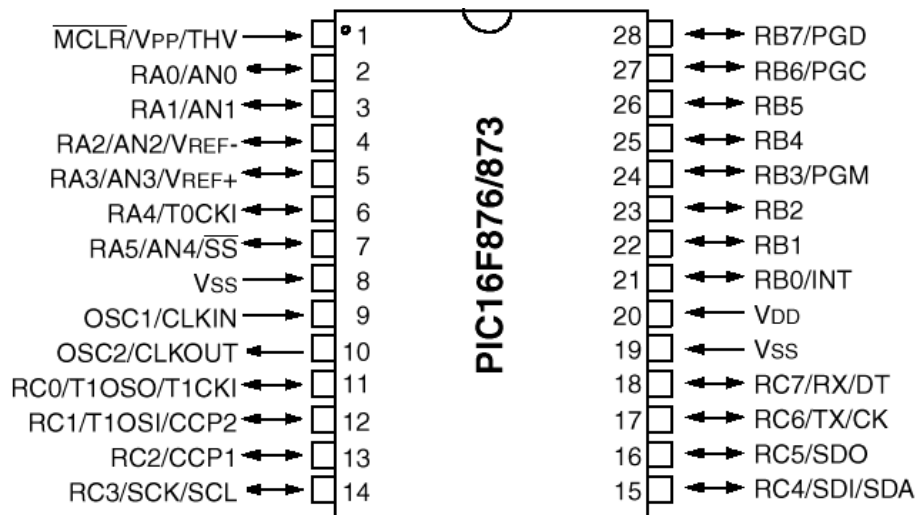


Ilustración 8: Diagrama de conexión PIC16F876XX
Fuente: <http://www.microchip.com>

Modelo	Memoria programa	Memoria de datos		Registros específicos	Temporizadores	Interrup.	E/S	Rango voltaje	Patas
		RAM	EEPROM						
PIC16C84	1Kx14 EEPROM	36	64	11	TMR 0 + WDT	4	13	2-6	18
PIC16F84	1Kx14 FLASH	68	64	11	TMR 0 + WDT	4	13	2-6	18
PIC16F83	512x14 FLASH	36	64	11	TMR 0 + WDT	4	13	2-6	18
PIC16CR84	1Kx14 ROM	68	64	11	TMR 0 + WDT	4	13	2-6	18
PIC16CR83	512x14 ROM	36	64	11	TMR 0 + WDT	4	13	2-6	18

Tabla 10: PIC's de gama media
Fuente: <http://www.neoteo.com/microcontroladores>

2.7.3.4 PICS de Gama alta

Posee cincuenta y ocho instrucciones de 16 bits hacen uso de un sistema de gestión de interrupciones muy potente. Incluyen controladores de periféricos, puertos de comunicación serie y paralelo, un multiplicador hardware de gran

velocidad y mayores capacidades de memoria, alcanza los 8 k de palabras en la memoria de instrucciones y 454 bytes en la memoria de datos. Tiene una arquitectura abierta, la cual le da la capacidad de la ampliación del microcontrolador con elementos externos. Para este fin, las patas sacan al exterior las líneas de los buses de datos, direcciones y control, a las que se conectan memorias o controladores de periféricos. Esta facultad obliga a estos componentes a tener un elevado número de patas comprendido entre 40 y 44.

40-Pin PDIP

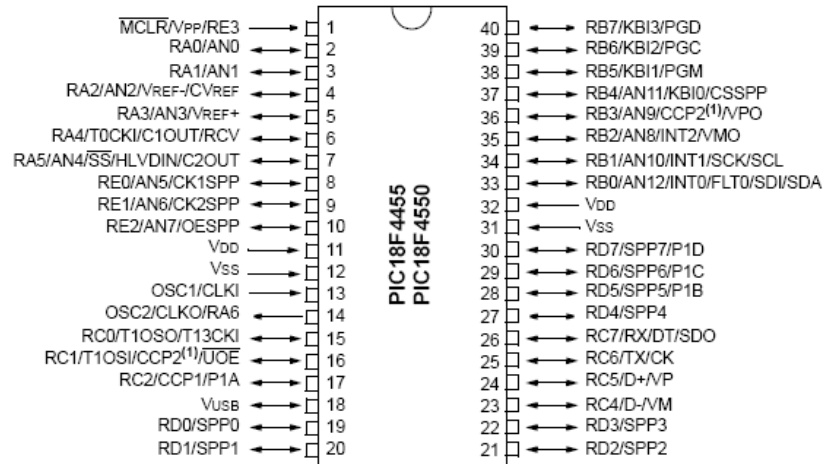


Ilustración 9: Diagrama de conexiones PIC18F455X

Fuente: <http://www.microchip.com>

Modelo	Memoria programa	RAM	Reg.	Temporizadores	CAD 10 bit	Interrup	E/S	Multiplicador	Patas
PIC17C42A	2Kx16	232	48	4 + WDT		11	33	8x8	40/44
PIC17C43	4Kx16	454	48	4 + WDT		11	33	8x8	40/44
PIC17C44	8Kx16	454	48	4 + WDT		11	33	8x8	40/44
PIC17C752	8Kx16	454	76	4 + WDT	12	18	50	8x8	64/68
PIC17C756	16Kx16	902	76	4 + WDT	12	18	50	8x8	68/68

Tabla 11: PIC's de gama alta

Fuente: <http://www.neoteo.com/microcontroladores>

3 ANATOMIA DE LA MANO HUMANA

La mano del hombre es una excelente herramienta, posee una gran flexibilidad y destreza, lo cual le permite realizar innumerables acciones gracias a su función esencial: la presión. Posee un sin número de funcionalidades que le otorgan múltiples acciones, posiciones y movimientos, todo esto se debe particularmente por el dedo pulgar, el cual puede oponerse al resto de los dedos. En la naturaleza se encuentra diversos animales con la facultad de presión en sus manos, pero sin el grado de perfección que ha alcanzado el ser humano. En los simios el pulgar es oponible, pero no alcanza la amplitud del pulgar humano.

El dedo pulgar esta fijo por debajo de los otros dedos, lo cual permite que se pueda realizar los movimientos de cierre y rotación, debido a la gran movilidad de su metacarpo esto permite variar la orientación del plano en que se desarrolla su movimiento de doblado y extensión del dedo pulgar, propiedades que permiten oponer el dedo pulgar a los otros dedos, a lo que se le llama abducción al movimiento de salida del dedo del eje del brazo.

En 1919 Schlesinger desarrolló una clasificación de la taxonomía para el estudio de la destreza de las manos humanas. Agrupó en seis categorías de agarre de la mano humana: agarre cilíndrico, de punta, de gancho, de palma (Palmar), esférico y de lado (Lateral) ¹⁰, como se muestra en la siguiente figura:

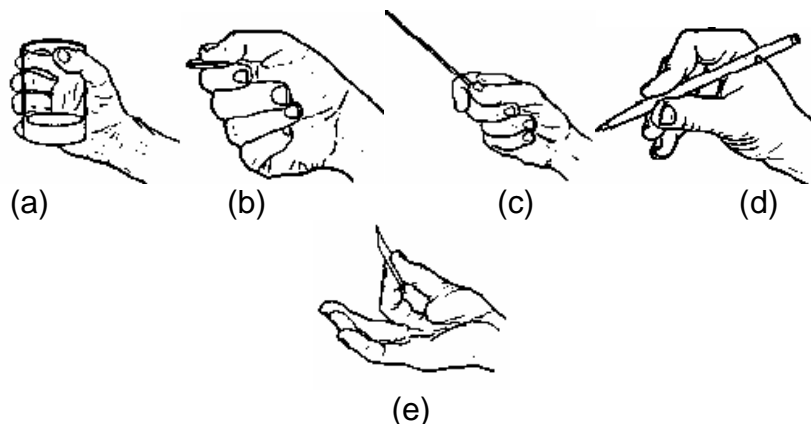


Ilustración 10: modelos prensiles humanos, a) cilíndrica palmar, b) subterminolateral, c) centralizado, d) tridigital, e) posición subterminal.

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/65684493/25-13>

¹⁰ S. C. Jacobsen; J. E. Wood; D. F. Knutti y K. B. Biggers. "TheUTAH/MIT dextrous hand: Work in progress". In Robot, Grippers, Springer-Verlag, Berlin, 1986.

3.1 ANATOMÍA DE LA MANO HUMANA

La base estructural de la mano, está conformada por un complejo y altamente interrelacionado sistema de huesos, ligamentos, poleas, tendones flexores y extensores extrínsecos, músculos intrínsecos con sus respectivos tendones, nervios y vasos. Sin embargo, la mano no solo es un órgano de ejecución, también es un receptor sensorial extremadamente sensible y preciso.

3.1.1 Anatomía de la región palmar

La mano humana posee una forma aplanada y ensanchada. La cara anterior o palma posee tres eminencias rodeando un hueco.

Eminencia tenar.- Situada por arriba y por fuera, posee forma de gota de agua, constituye la base del pulgar, la eminencia tenar está formada por cuatro músculos, los cuales están destinados al movimiento del dedo pulgar.

Eminencia hipotenar.- Situada por arriba y por dentro de la palma, junto con la eminencia tenar se les denominan el talón de la mano.

Eminencia Inferior.- También denominada eminencia de los dedos se halla separada por el pliegue dígito palmar y surco de flexión de los cuatro últimos dedos.

3.1.2 Hueco de la mano

En el hueco de la mano se encuentran tres pliegues: superior, medio e inferior, a menudo cortados estos dos últimos por un pliegue longitudinal; estos cuatro pliegues dibujan una M.

3.1.3 Aponeurosis

Es una membrana formada por tejidos conjuntivos fibrosos entrecruzados los cuales sirven de envoltura a los músculos

Aponeurosis superficial.- Se divide en porciones externa, media e interna, de las cuales parten dos tabiques antero posteriores conformando tres compartimientos, uno externo que contiene los cuatro músculos anexos al pulgar junto con el tendón flexor largo. Uno interno con los tres músculos insertos en el índice y la rama profunda del nervio cubital. El medio comprende el arco palmar superficial arterial, los nervios colaterales palmares, los tendones de los flexores y capa celulo-adiposa profunda.

Aponeurosis profunda.- Comprende las ramas profundas de la arteria cubital, y radial, el arco palmar profundo.

3.1.4 Planos de la región palmar

De la superficie al interior, la región palmar comprende tres planos:

Plano Superficial.- Está constituido por la piel, tejido celular subcutáneo, vasos y nervios superficiales.

Plano Medio.- Constituido por la aponeurosis y sus compartimientos.

Plano profundo.- Formado por la aponeurosis palmar profunda, arco palmar profundo, rama profundo del cubital y plano de los interóseos.

3.1.5 Región dorsal

Está compuesta por la piel, tejido celular subcutáneo, vasos y nervios superficiales, aponeurosis superficial y después los tendones vasos y nervios profundos, por último se encuentra la aponeurosis profunda.

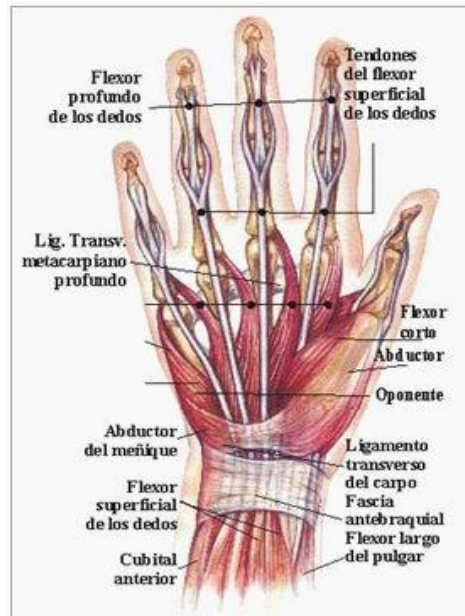


Ilustración 11: Mano izquierda, vista dorsal.

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos57/huellas-lofoscopicas/huellas-lofoscopicas5.shtml>

3.2 ESQUELETO DE LA MANO

La mano humana posee veintisiete huesos, distribuidos de la siguiente manera: ocho en el carpo, cinco metacarpianos y un total de catorce falanges. La muñeca es considerada como una sola articulación compuesta por una serie de huesos individuales del carpo, así como interacciones distales con las bases de los metacarpianos y en dirección proximal con las superficies articulares distales del cubito y el radio.

3.2.1 Carpo

Está conformado por ocho huesos organizados en dos hileras una proximal y una distal, la proximal está compuesta de los huesos escafoides, semilunar, piramidal y pisiforme. La hilera distal la forman el trapecio, trapezoide, hueso grande y ganchoso. Los escafoides hacen la función de punto de unión entre las dos hileras.

3.2.2 Articulación radio carpiana

Está formada por la articulación de la hilera proximal del carpo con la superficie articular distal del radio y el complejo fibrocartilaginoso triangular.

3.2.3 Metacarpo

Está integrado por cinco huesos largos llamados metacarpianos y por los falanges, las cuales toman el nombre falange, falangina y falangeta, todos los dedos tienen tres falanges, a excepción del pulgar que solo posee dos.

3.2.4 Articulaciones carpo metacarpianas

Están recubiertas de una gruesa capsula y cobertura ligamentaria. El segundo y tercer metacarpiano se encuentran rígidamente fijos al trapezoide y hueso grande, lo que permite que el pulgar y los dos metacarpianos cubitales giren durante los movimientos de la mano.

3.3 ARQUITECTURA DE LA MANO

La forma de la mano se puede adaptar de diversas formas dependiendo del objeto que tome contacto con ella, sobre una superficie plana, la mano se extiende y se aplana por la eminencia tenar, la eminencia hipoténar, la cabeza de los metacarpianos y la cara palmar de las falanges.

En el caso de los objetos voluminosos, la mano toma una forma hueca con unos arcos orientados en tres direcciones, lo cual da lugar a una bóveda, un canal de concavidad anterior, con sus orillas limitadas por tres puntos: el pulgar, el índice y el meñique.

Cuando los dedos se separan, sus ejes vienen a converger hacia la base de la eminencia tenar, en un punto que corresponde más o menos al tubérculo escafoides.

Cuando el puño se cierra los ejes de las dos últimas falanges de los cuatro dedos últimos y el eje del pulgar convergen en un punto situado en la parte baja del canal

del pulso. Se puede observar que el eje longitudinal es el del índice, mientras que los ejes de los tres últimos dedos son tanto más oblicuos cuanto más se alejan del índice, esto permite a los dedos más internos oponerse al pulgar así como también al índice.

3.3.1 Las articulaciones metacarpo falángicas

Su libertad de movimiento se realiza en dos sentidos: 1. flexión-extensión en torno al eje YY' transversal. 2. inclinación lateral en torno al eje XX' antero posterior.

A cada lado de esta articulación se extienden dos tipos de ligamentos: un ligamento metacarpo glenoideo que regula los movimientos del fibrocartílago glenoideo y un ligamento lateral los cuales mantienen en las superficies de las articulaciones en contacto y limitan su movimiento. En el movimiento de extensión los ligamentos laterales permiten los laterales uno se tensa mientras que el otro se distiende.

Los ligamentos laterales se integran en un aparato fibroso más complejo que suspende y centra los tendones extensores y flexores. Obteniendo varios tendones como el extensor común, los flexores (el profundo y el superficial).

3.3.2 Amplitud de los movimientos de las articulaciones metacarpo falángicas

La amplitud de la flexión es casi de 90°. La flexión aislada de un dedo está limitada. La amplitud de la extensión activa es variable según los individuos pudiendo alcanzar de 30° a 40°. La extensión pasiva puede alcanzar casi 90° en algunos individuos.

El dedo índice es el que posee la mayor amplitud de movimiento lateral con unos 30°, y como es fácil moverlo aisladamente se puede hablar de abducción y aducción.

3.3.3 Articulaciones interfalángicas

La cabeza de la falange presenta una forma de polea dejándola con un sólo grado de libertad, alrededor del eje XX'.

3.3.4 Amplitud de los movimientos de las articulaciones interfalángicas.

La amplitud de la flexión en las articulaciones interfalángicas aumenta del segundo al quinto dedo, para alcanzar hasta 135° a nivel del meñique. La amplitud de flexión en las articulaciones interfalángicas distales es ligeramente inferior a 90° . La amplitud de la extensión activa en las articulaciones interfalángicas es nula en las articulaciones proximales y nulas o muy débiles en las articulaciones distales.

3.4 EL PULGAR

Gracias al pulgar la mano obtiene una gran cantidad de funcionalidades, esto se debe a que está situado por delante de la palma y de los otros dedos lo cual le permite en el movimiento de oposición ir al encuentro de los otros dedos ya sea de forma aislada o global, como también separarse por el movimiento de contraoposición para relajar la toma o sujeción. El pulgar tiene una gran flexibilidad funcional debido a su forma y posición osteoarticular, como también a sus músculos.

Está constituido por los huesos: escafoides, trapecio, el primer metacarpiano, la primera falange y la segunda falange. Posee cuatro articulaciones: La del escafoides con el trapecio, la trapecio metacarpiana, la metacarpo falángica, la interfalángica, dándole en total cinco grados de libertad que permiten realizar la operación de oposición del pulgar.

3.4.1 La oposición del pulgar

La oposición del pulgar consiste en que un punto dado A, la punta del pulgar sea tangente sobre la punta de otro dedo ubicado en el punto B, haciendo coincidir en el espacio los puntos A+B en un plano tangente con sus puntas. Para ubicar los puntos en el espacio se debe utilizar tres grados de libertad, tomando las coordenadas x, y, z. Se requieren además otros dos grados de libertad para hacer coincidir los planos de las puntas por rotación alrededor de los ejes t y u. Necesitando así cinco grados de libertad para realizar la oposición. La oposición del pulgar es un movimiento de tres componentes: la anteposición, la flexión y la pronación de la columna osteoarticular del pulgar.

3.4.2 Los modos de prensión

Se distribuyen en tres grupos, las presas, las presas con gravedad y las presas con acción. Además la prensión es capaz de percusiones, de contacto y de expresión de gestos. Las presas se clasifican en tres grupos: las presas digitales, las presas palmares y las presas centradas

3.4.2.1 Presas digitales

Está conformada por varios grupos:

Las presas bidigitales.- Se tratan del agarre en el que intervienen el pulgar y otro dedo, normalmente pulgar e índice, esta acción permite coger objetos

Las presas tridigital.- Intervienen el pulgar, el índice y el medio. Esta forma de presa permite un mayor agarre y estabilidad.

Las presas tetradigitales.- Generalmente son utilizadas para coger un objeto grueso firmemente.

Las presas pentadigitales.- Se utilizan todos los dedos de la mano, con el pulgar oponiéndose de forma variada al resto de dedos. Este modo de prensión se da cuando se cogen grandes objetos.

3.4.2.2 Presas palmares

Son en las que interviene la palma de la mano además de los dedos, si en este tipo de presa interviene el pulgar se le llama prensión palmar a plena mano o a plena palma. Es utilizada para coger objetos pesados y relativamente voluminosos. Las presas palmares en las que no interviene el pulgar se denominan prensión digito palmar.

3.4.2.3 Presas centradas

Las presas centradas permiten una simetría alrededor de un eje longitudinal, que en general coincide con el eje del antebrazo.

3.4.2.4 Presas con gravedad

En esta presa la mano sirve de soporte al sostener algún objeto

3.4.2.5 Presas más acción

Cuando se realiza un tipo de prensión combinado con algún movimiento de la mano se da este tipo de presa.

3.5 MODELO BIOMECÁNICO

Para poder determinar un buen modelo matemático es necesario tomar seis sistemas cartesianos de referencia. Estos sistemas se usan para definir la posición y orientación de los tendones y también se pueden utilizar para describir la configuración de las articulaciones.

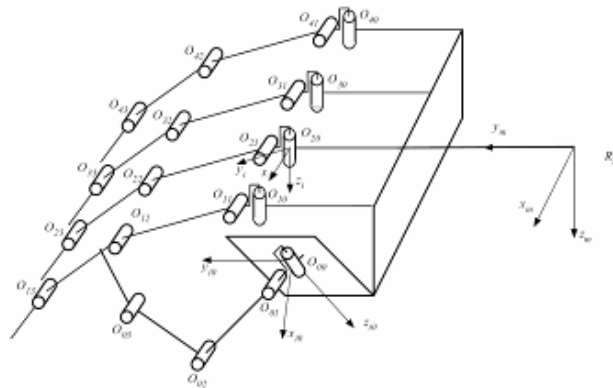


Ilustración 12: Modelo biomecánico de la mano humana
Fuente: Biomechanics of the hand. A basic research study.

El eje Y se proyecta a lo largo del eje de las falanges y del metacarpiano, pasando desde el centro de rotación al centro de la superficie cóncava articular en el extremo proximal. El eje X se proyecta dorsalmente, y el eje Z se proyecta hacia el cuerpo.

Por medio de este sistema de referencia se puede determinar la posición de los dedos en un espacio de tres dimensiones. Cada par de puntos se expresa con respecto a los sistemas de referencia distal y proximal de cada articulación. Se

supone que los tendones se contraen permaneciendo constantes con respecto a los sistemas de coordenadas distal y proximal.

X_d, Y_d, Z_d son las coordenadas de un punto respecto al sistema distal.

X_p, Y_p, Z_p son las coordenadas de un punto respecto al sistema proximal.

X_o, Y_o, Z_o son las coordenadas del origen del sistema proximal expresada en el sistema distal.

Tanto el sistema distal como el proximal, se relacionan con una rotación y una translación.

Elementos de la mano	Articulación	Músculos y tendones
Dedo	DIP	Extensor Terminal (TE) Flexor Profundo (FP)
	PIB	Extensor (ES) Banda Radial (RB) Banda Ulnar (UB) Flexor (FS)
	MP	Extensor largo (LE) Radial Interóseo (RI) Ulnar Interóseo (UI) Lumbrical (LU)
Pulgar	IP	Flexor largo (FPL) Extensor largo (EPL)
	MCP	Abductor corto (APB) Flexor corto (FPB) Abductor (ADD) Extensor corto (EPB)
	CMC	Oponente al pulgar (OPP) Abductor largo (APL)

Tabla 12: Músculos y tendones relacionados con el movimiento de la mano.

Fuente: Biomechanics of the hand. A basic research study.

3.6 MODELO MATEMÁTICO

3.6.1 Formulación del Modelo

En orden a lo establecido en el modelo matemático, seis coordenadas cartesianas fueron establecidas, según lo muestra la ilustración 13. Estas coordenadas son

usadas para definir la localización y la orientación de los tendones y también son utilizadas para describir el movimiento. Hay dos sistemas de coordenadas para las falanges proximales y mediales, y solo uno para las falanges distales y metacarpianas.

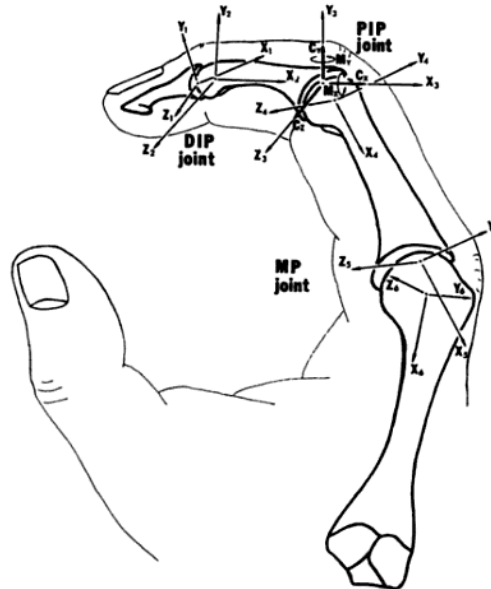


Ilustración 13: Sistema de coordenadas usado para definir la localización de los tendones.

Fuente: Biomechanics of the hand. A basic research study.

Los sistemas primarios (2, 4 y 6) están localizados aproximadamente en el centro de rotación de las cabezas metacarpianas y de las falanges, y los sistemas secundarios (1, 3 y 5) están en el sistema proximal del centro de las superficies articulares cóncavas. La X es proyectada a lo largo del eje de las falanges y del metacarpiano, la Y está proyectada dorsalmente, y la Z está proyectada radialmente hacia el cuerpo.

Con la ayuda de este sistema de coordenadas, la localización de los tendones puede ser determinada y localizada en un espacio de 3 dimensiones. Para cada articulación, el tendón es representado por una línea recta uniendo los dos puntos designados por los marcadores; uno en el lado distal y otro en el lado proximal. Dos parámetros son usados para describir la orientación y la localización de cada uno de los tendones para el modelo final, estos parámetros son la fuerza potencial y el momento potencial. La fuerza potencial es expresada en términos del coseno con respecto al ángulo que forma el tendón y el sistema distal, el momento potencial que da la fuerza potencial, especifica el momento con respecto al centro de la articulación en cada una de las direcciones del sistema distal. La aplicación de la fuerza y el momento potencial puede ser demostrado por el análisis de la fuerza de la mano bajo funciones isométricas, desarrollando ecuaciones de equilibrio sobre el centro de rotación de las articulaciones.

Ecuaciones de la Fuerza potencial

$$\sum \alpha_i F_i + C_x + R_x = 0,$$

$$\sum \beta_i F_i + C_y + R_y = 0,$$

$$\sum \gamma_i F_i + C_z + R_z = 0,$$

Ecuaciones para el Momento potencial

$$\sum a_i F_i + M_x + T_x = 0,$$

$$\sum b_i F_i + M_y + T_y = 0,$$

$$\sum c_i F_i + M_z + T_z = 0,$$

Donde:

$\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ = Parámetros de fuerza potencial.

a_i, b_i, c_i = Parámetros de momento potencial.

C_x, C_y, C_z = Constantes desconocidas de Fuerza.

M_x, M_y, M_z = Constantes desconocidas de Momento.

F_i = Fuerza desconocida del tendón o músculo.

R_x, R_y, R_z = Fuerzas externas aplicadas.

T_x, T_y, T_z = Momentos externos aplicados.

Las coordenadas de dos puntos pueden ser determinados por los valores de la fuerza y el momento potencial como lo muestra la figura.

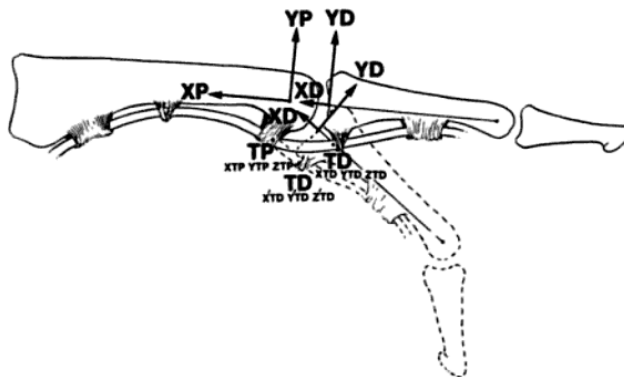


Ilustración 14: Dos puntos en cada tendón de la articulación tienen relaciones fijas con sus sistemas de coordenadas

Fuente: Biomechanics of the hand. A basic research study.

El sistema proximal se puede relacionar con el sistema distal mediante una rotación y una translación. La rotación queda definida mediante los ángulos de Euler clásicos. Estos ángulos corresponden a la flexión-extensión (ϕ), desviación radio-ulnar (Θ) y la rotación axial (Ψ). La secuencia rotacional de estos ángulos es relacionada por el movimiento distal y el proximal.

$$\begin{vmatrix} X_D \\ Y_D \\ Z_D \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} c\theta c\phi & c\theta s\phi & -s\theta \\ -c\psi s\phi + s\psi s\phi c\theta & c\psi c\phi + s\psi s\theta s\phi & s\psi c\theta \\ s\phi s\psi + c\psi c\phi s\theta & -s\psi c\phi + c\psi s\theta s\phi & c\psi c\theta \end{vmatrix} \begin{vmatrix} X_p \\ Y_p \\ Z_p \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} X_o \\ Y_o \\ Z_o \end{vmatrix}$$

Ilustración 15: Ecuación de transformación que expresa el tendón y la fuerza vectorial externa aplicada en un sistema de coordenadas.

Fuente: Biomechanics of the hand. A basic research study.

Donde

X_D, Y_D, Z_D = coordenadas de un punto del tendón respecto al sistema distal.

X_p, Y_p, Z_p = coordenadas de un punto del tendón con respecto al sistema proximal.

X_o, Y_o, Z_o = coordenadas del origen del sistema proximal en el sistema distal.

s = Seno.

c = Coseno.

Esta ecuación de transformación es utilizada en el análisis de fuerza para expresar el tendón y la fuerza vectorial externa aplicada en un sistema de coordenadas apropiadas donde el cuerpo libre es tomado.



- ϕ : Flexion-Extension (1st rotation — Z_p)
- θ : Radioulnar Deviation (2nd rotation — Y')
- ψ : Pronation-Supination (3rd rotation — X_d')

Ilustración 16: Ángulos Eulerianos usados para definir la orientación de los dedos

Fuente: Biomechanics of the hand. A basic research study.

3.6.2 Excursión de Tendón y brazo de momento

El procedimiento para obtener la excursión de los tendones es realizado mediante la observación de la rotación y el desplazamiento de los tendones, donde fueron tomadas las variaciones de la excursión en varios puntos, como información adicional se tomó el brazo de momento, además, de reducir los datos de la excursión y desplazamiento de las articulaciones. La relación entre la excursión de los tendones, el desplazamiento de las articulaciones y el brazo de momento es demostrada por Brand¹¹. El brazo de momento instantáneo del tendón en el plano de movimiento en una articulación específica puede obtenerse a partir de la pendiente de la gráfica de la excursión del tendón contra el desplazamiento rotacional de la articulación. Esta relación existe independientemente de si la gráfica es lineal o no lineal.

En base a los tres modelos de Landsmeer¹² y el modelo normativo expuesto previamente, fueron derivadas las fórmulas para calcular el brazo de momento instantáneo (M) por la pendiente de la excursión (E) contra el ángulo de la articulación (Φ).

Modelo I

Este modelo describe la situación en que los tendones siguen la curvatura de la superficie articular.

$$E = r \cdot \Phi$$

$$M = r$$

$$dE/d\Phi = r = M$$

donde r es el radio de la curvatura de la superficie articular.

Modelo III

En este modelo, el tendón corre en una vaina que lo sostiene firmemente en una posición constante contra el eje del hueso pero, permite que el tendón se curve suavemente, conforme a la arquitectura de la articulación.

$$E = 2y + \phi \cdot d' - \phi \cdot y / \tan(\phi / 2)$$
$$M = h = d' - y / \tan(\phi / 2) + y / \sin(\phi / 2)$$

¹¹ BRAND, P.W., BEACH, R.B. y THOMPSON, D.E., "Relative tension and potential excursion of muscles in the forearm and hand", *J. HandSurg.*, 6:209-219 (1981).

¹² LANDSMEER, J.M.F., "Study in the anatomy of articulation. The equilibrium of the 'intercalated' bone", *Acta Morph. Neerl.-Scand.*, 3:287-303 (1961).

$$dE/d\phi = d' - \frac{y}{\tan(\phi/2)} + \frac{y}{\sin(\phi/2)} \cdot \frac{\phi/2}{\sin(\phi/2)}$$

$$dE/d\phi = M, \text{ donde } \sin(\phi/2) \approx \phi/2$$

Las definiciones para y, h y d' son ilustradas en la ilustración 17.

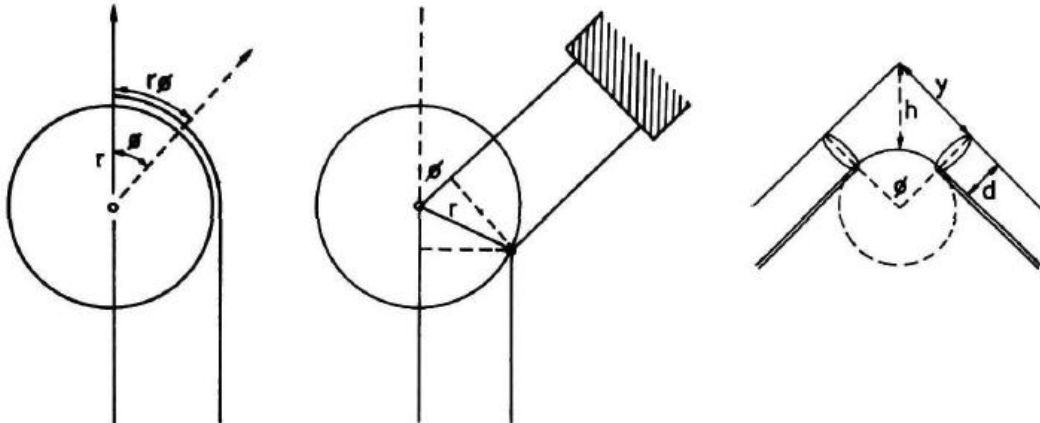
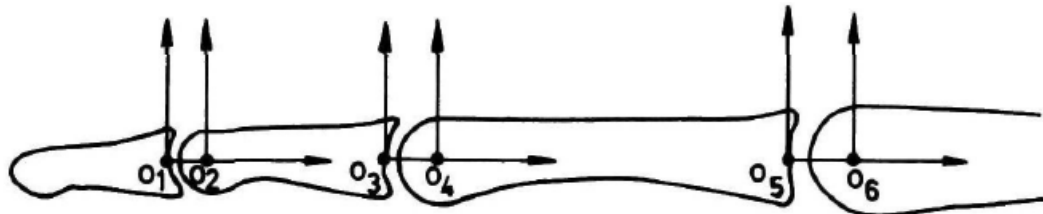


Ilustración 17: Modelos bidimensionales de Landsmeer de tendón puente de una articulación.

Fuente: Biomechanics of the hand. A basic research study.

3.6.3 Resultados

La estructura de enlace de los elementos óseos se relacionó con los sistemas de coordenadas. La distancia entre los orígenes de dos sistemas de coordenadas, por ejemplo, el centro de rotación y el centro de la superficie articular cóncava de la articulación se usaron para especificar la localización de los seis sistemas de coordenadas. La figura 18 muestra el promedio y la desviación estándar de estas distancias. Las dimensiones están todas normalizadas con respecto a la distancia entre O_2 y O_3 ; esto es, la distancia entre los centros de rotación de las articulaciones DIP y PIP.



**Distances Between Coordinate Systems
(mean and standard deviations)**

	O_1O_2	O_2O_3	O_3O_4	O_4O_5	O_5O_6
Thumb	0.243 ± 0.035	1.0 ± 0	0.338 ± 0.042	1.424 ± 0.097	0.333 ± 0.047
Index	0.224 ± 0.034	1.0 ± 0	0.288 ± 0.036	1.919 ± 0.227	0.432 ± 0.058
Middle	0.184 ± 0.032	1.0 ± 0	0.233 ± 0.041	1.608 ± 0.087	0.365 ± 0.052
Ring	0.166 ± 0.031	1.0 ± 0	0.224 ± 0.041	1.576 ± 0.068	0.346 ± 0.030
Little	0.230 ± 0.042	1.0 ± 0	0.304 ± 0.046	1.797 ± 0.145	0.506 ± 0.082

Ilustración 18: Distancia entre sistemas de coordenadas. Media y desviación estándar.

Fuente: Biomechanics of the hand. A basic research study.

En el análisis de datos de quince especímenes, la localización exacta con respecto a cada sistema de coordenadas localizados fueron expresadas en términos dimensionales, normalizando sus coordenadas de acuerdo con la longitud de la falange media del dedo, para minimizar las variaciones antropométricas. En el caso del pulgar, la longitud de la falange proximal es usada como un común denominador.

Los dos puntos representativos de cada tendón a su articulación asociada, fueron resumidos en forma adimensional en las tablas 13 a la 17. Como se mencionó anteriormente, los puntos distal y proximal de un tendón fueron medidos respecto al sistema de coordenadas distal y proximal de la articulación, respectivamente.

Joint	Tendon	Distal Point			Proximal Point		
		X	Y	Z	X	Y	Z
IP	EPL	0.000	0.192	-0.057	-0.050	0.201	-0.044
	FPL	-0.007	-0.224	0.049	0.100	-0.318	0.034
MP	EPL	0.000	0.280	-0.157	-0.050	0.247	-0.224
	FPL	-0.062	-0.318	0.009	0.100	-0.521	-0.012
	ADD	-0.062	-0.224	-0.280	0.100	-0.575	-0.346
	EPB	0.000	0.265	0.057	-0.050	0.268	-0.019
	FPB	-0.062	-0.094	0.285	0.100	-0.416	0.435
	APB	-0.062	0.007	0.288	0.100	-0.160	0.533
CMC	EPL	0.000	0.179	-0.385	-0.050	0.225	-0.076
	FPL	-0.067	-0.476	-0.046	0.100	-0.152	-0.276
	ADD	-0.067	-0.065	-0.395	0.100	0.269	-0.589
	EPB	0.000	0.302	0.029	-0.050	0.184	0.132
	FPB	-0.067	-0.351	-0.284	0.100	0.004	-0.848
	APB	-0.067	-0.140	1.098	0.100	-0.273	0.410
	OPP	-0.067	-0.236	0.090	0.100	-0.493	-0.074
APB	-0.067	0.346	0.212	0.100	0.136	0.239	

Tabla 13: Localización de tendones en el pulgar (valor medio de cinco especímenes)

Fuente: Biomechanics of the hand. A basic research study

Joint	Tendon	Distal Point			Proximal Point		
		X	Y	Z	X	Y	Z
IP	TE	0.004	0.199	-0.010	0.000	0.196	-0.009
	FDP	0.004	-0.184	0.026	0.300	-0.245	0.054
PIP	FDP	-0.212	-0.308	0.009	0.400	-0.409	0.027
	RB	-0.112	0.186	0.223	0.100	0.181	0.268
	UB	-0.112	0.151	-0.290	0.100	0.131	-0.312
	FDS	-0.212	-0.249	0.015	0.400	-0.311	0.028
	ES	-0.038	0.278	-0.027	0.000	0.266	-0.026
MP	FDP	-0.118	-0.386	0.031	0.300	-0.619	0.004
	FDS	-0.118	-0.477	-0.074	0.300	-0.689	-0.114
	RI	-0.318	-0.033	0.443	0.400	-0.362	0.629
	LU	-0.318	-0.148	0.370	0.400	-0.704	0.541
	UI	-0.318	-0.039	-0.461	0.400	-0.379	-0.442
	LE	-0.018	0.421	-0.033	0.000	0.483	-0.026

Tabla 14: Localización de tendones en el índice (valor medio de quince especímenes)

Fuente: Biomechanics of the hand. A basic research study

Joint	Tendon	Distal Point			Proximal Point		
		X	Y	Z	X	Y	Z
IP	TE	-0.036	0.157	-0.014	0.000	0.169	-0.017
	FDP	-0.036	-0.158	0.054	0.300	-0.239	0.050
PIP	FDP	-0.267	-0.308	0.009	0.400	-0.251	-0.007
	RB	-0.167	0.206	0.237	0.100	0.132	0.262
	UB	-0.167	0.132	-0.262	0.100	0.079	-0.290
	FDS	-0.267	-0.217	0.054	0.400	-0.248	0.023
	ES	-0.017	0.241	-0.019	0.000	0.234	-0.009
MP	FDP	-0.317	-0.334	0.009	0.300	-0.522	0.001
	FDS	-0.185	-0.355	0.065	0.300	-0.593	0.063
	RI	-0.185	0.011	0.340	0.400	-0.499	0.491
	LU	-0.385	-0.174	0.311	0.400	-0.680	0.403
	UI	-0.385	0.011	-0.135	0.400	-0.185	-0.119
	LE	-0.085	0.352	-0.015	0.000	0.416	-0.013

Tabla 15: Localización de tendones en el medio (valor medio de quince especímenes)

Fuente: Biomechanics of the hand. A basic research study

Joint	Tendon	Distal Point			Proximal Point		
		X	Y	Z	X	Y	Z
IP	TE	-0.054	0.141	-0.016	0.000	0.154	-0.021
	FDP	-0.054	-0.160	0.001	0.300	-0.239	0.027
PIP	FDP	-0.276	-0.281	0.011	0.400	-0.306	-0.007
	RB	-0.176	0.142	0.176	0.100	0.092	0.256
	UB	-0.176	0.141	-0.215	0.100	0.088	-0.238
	FDS	-0.276	-0.218	0.048	0.400	-0.263	0.029
	ES	-0.026	0.221	0.004	0.000	0.204	0.023
MP	FDP	-0.204	-0.302	0.022	0.300	-0.509	0.053
	FDS	-0.204	-0.352	0.035	0.300	-0.567	0.057
	RI	-0.404	-0.035	0.284	0.400	-0.302	0.316
	LU	-0.404	-0.112	0.186	0.400	-0.477	0.265
	UI	-0.404	0.047	-0.197	0.400	-0.240	-0.244
	LE	-0.104	0.313	0.062	0.000	0.352	0.052

Tabla 16: Localización de tendones en el anular (valor medio de quince especímenes)

Fuente: Biomechanics of the hand. A basic research study

Joint	Tendon	Distal Point			Proximal Point		
		X	Y	Z	X	Y	Z
IP	TE	0.010	0.196	-0.077	0.000	0.193	-0.079
	FDP	0.010	-0.232	-0.041	0.300	-0.238	-0.003
PIP	FDP	-0.196	-0.333	0.040	0.400	-0.364	-0.002
	RB	-0.096	0.198	0.220	0.100	0.131	0.253
	UB	-0.096	0.093	-0.317	0.100	0.120	-0.298
	FDS	-0.196	-0.268	0.050	0.400	-0.345	-0.008
	ES	0.054	0.259	-0.010	0.000	0.254	0.014
MP	FDP	-0.044	-0.427	0.080	0.300	-0.628	0.170
	FDS	-0.044	-0.508	0.111	0.300	-0.708	0.170
	RI	-0.244	0.027	0.418	0.400	-0.182	0.497
	LU	-0.244	-0.169	0.364	0.400	-0.553	0.469
	ADQ	-0.244	-0.023	-0.486	0.400	-0.309	-0.625
	LE	0.056	0.154	0.061	0.000	0.190	0.133

Tabla 17: Localización de tendones en el meñique (valor medio de quince especímenes)

Fuente: Biomechanics of the hand. A basic research study

Los parámetros normalizados de fuerza potencial y momento potencial del modelo de la mano en una posición neutral, son tabulados en las tablas 18 a 22.

Joint	Tendon	Force			Moment		
		ϕ	β	γ	a	b	c
IP	EPL	0.986	0.046	0.066	0.019	-0.041	-0.203
	FPL	0.954	-0.257	-0.039	0.025	0.037	0.281
MP	EPL	0.946	-0.111	-0.219	-0.083	-0.228	-0.233
	FPL	0.892	-0.363	-0.037	0.021	-0.007	0.445
	ADD	0.802	-0.562	-0.106	-0.141	-0.271	0.411
	EPB	0.950	0.012	-0.251	-0.078	-0.031	-0.260
	FPB	0.747	-0.481	0.224	0.126	0.330	0.287
	APB	0.807	-0.382	0.394	0.162	0.400	0.093
CMC	EPL	0.606	0.098	0.663	0.242	-0.014	-0.156
	FPL	0.707	0.458	-0.324	0.226	-0.180	0.170
	ADD	0.502	0.336	-0.195	0.256	-0.435	-0.160
	EPB	0.771	-0.321	0.279	0.148	0.131	-0.143
	FPB	0.493	0.350	-0.556	0.273	-0.441	0.040
	APB	0.484	-0.128	-0.666	0.250	0.318	0.143
	OPP	0.801	-0.411	-0.263	0.112	-0.035	0.377
	APL	0.851	-0.358	0.046	0.097	0.215	-0.164

Tabla 18: Parámetros de fuerza y momento potencial de tendones in un pulgar normal bajo una posición neutral (valor medio de cinco especímenes)

Fuente: Biomechanics of the hand. A basic research study

Joint	Tendon	Force			Moment		
		α	β	γ	a	b	c
DIP	TE	1.000	-0.015	0.005	0.001	-0.009	-0.196
	FDP	0.992	-0.115	0.053	-0.011	0.038	0.208
PIP	FDP	0.994	-0.112	0.019	-0.003	0.019	0.362
	RB	0.996	-0.010	0.090	0.039	0.258	-0.181
	UB	0.998	-0.040	-0.045	-0.017	-0.307	-0.135
	FDS	0.998	-0.069	0.014	0.005	0.022	0.283
	ES	0.999	-0.048	0.002	0.000	-0.026	-0.266
MP	FDP	0.964	-0.264	-0.030	0.031	0.013	0.517
	FDS	0.969	-0.242	-0.046	0.010	-0.097	0.595
	RI	0.950	-0.271	0.154	0.143	0.536	0.235
	LU	0.892	-0.431	0.133	0.153	0.430	0.456
	UI	0.959	-0.283	0.016	-0.113	-0.430	0.250
	LE	0.991	0.136	0.016	0.002	-0.026	-0.478

Tabla 19: Parámetros de fuerza y momento potencial de tendones en un índice normal bajo una posición neutral (valor medio de quince especímenes)
Fuente: Biomechanics of the hand. A basic research study

Joint	Tendon	Force			Moment		
		α	β	γ	a	b	c
DIP	TE	0.998	0.056	-0.014	-0.001	-0.017	-0.169
	FDP	0.988	-0.155	-0.008	0.009	0.052	0.190
PIP	FDP	0.998	0.063	-0.017	0.005	0.000	0.276
	RB	0.988	-0.146	0.049	0.044	0.254	-0.145
	UB	0.993	-0.106	-0.055	-0.023	-0.282	-0.089
	FDS	0.999	-0.035	-0.034	0.006	0.037	0.234
	ES	0.999	-0.027	0.042	0.005	-0.009	-0.234
MP	FDP	0.976	-0.216	-0.009	0.029	0.004	0.445
	FDS	0.963	-0.270	-0.002	0.013	0.061	0.490
	RI	0.907	-0.403	0.119	0.125	0.398	0.292
	LU	0.913	-0.402	0.073	0.137	0.339	0.460
	UI	0.986	-0.168	0.013	-0.045	-0.123	0.115
	LE	0.990	0.142	0.005	0.036	-0.013	-0.412

Tabla 20: Parámetros de fuerza y momento potencial de tendones en un dedo medio normal bajo una posición neutral (valor medio de quince especímenes)
Fuente: Biomechanics of the hand. A basic research study

Joint	Tendon	Force			Moment		
		α	β	γ	a	b	c
DIP	TE	0.998	0.060	-0.025	-0.003	-0.021	-0.154
	FDP	0.987	-0.150	0.050	-0.010	0.012	0.191
PIP	FDP	0.999	-0.028	-0.020	0.006	0.001	0.295
	RB	0.983	-0.098	0.156	0.039	0.236	-0.100
	UB	0.993	-0.105	-0.046	-0.026	-0.232	-0.098
	FDS	0.999	-0.050	-0.021	0.007	0.037	0.243
	ES	0.995	-0.067	0.075	0.026	0.023	-0.203
MP	FDP	0.971	-0.237	0.035	-0.006	0.041	0.423
	FDS	0.969	-0.246	0.025	-0.001	0.048	0.476
	RI	0.974	-0.226	0.028	0.063	0.297	0.204
	LU	0.951	-0.302	0.066	0.040	0.226	0.333
	UI	0.969	-0.242	-0.040	-0.053	-0.221	0.136
	LE	0.996	0.087	-0.023	-0.013	0.052	-0.351

Tabla 21: Parámetros de fuerza y momento potencial de tendones en un anular normal bajo una posición neutral (valor medio de quince especímenes)
Fuente: Biomechanics of the hand. A basic research study

Joint	Tendon	Force			Moment		
		α	β	γ	a	b	c
DIP	TE	1.000	-0.015	-0.010	-0.003	-0.079	-0.193
	FDP	0.997	-0.010	0.073	-0.013	-0.025	0.234
PIP	FDP	0.998	-0.035	-0.047	0.019	0.017	0.350
	RB	0.989	-0.132	0.067	0.049	0.244	-0.143
	UB	0.998	0.054	0.039	0.017	-0.301	-0.114
	FDS	0.994	-0.084	-0.064	0.009	0.018	0.309
	ES	0.995	-0.018	0.096	0.024	0.014	-0.253
MP	FDP	0.968	-0.229	0.103	-0.045	0.134	0.539
	FDS	0.971	-0.228	0.068	-0.033	0.145	0.619
	RI	0.982	-0.178	0.067	0.066	0.461	0.107
	LU	0.945	-0.316	0.086	0.126	0.409	0.396
	ADQ	0.964	-0.239	-0.116	-0.083	-0.556	0.202
	LE	0.984	0.079	0.158	0.043	0.131	-0.187

Tabla 22: Parámetros de fuerza y momento potencial de tendones en un meñique normal bajo una posición neutral (valor medio de quince especímenes)
Fuente: Biomechanics of the hand. A basic research study

Según las constantes anatómicas y funciones fisiológicas de los dedos y el pulgar, diferentes tipos de articulaciones mecánicas son asumidas en el moldeamiento del sistema. La mecánica equivalente para cada tipo de articulación está determinada por su libertad y asociada con las sumatorias de sus fuerzas y momentos, en la tabla 23 se presenta una lista de los tendones y sus músculos contribuyendo a las funciones isométricas de la mano.

Seis coordenadas cartesianas fueron definidas para proveer la orientación de las articulaciones y la localización de los tendones, las fuerzas (Cx, Cy, Cz) y los momentos (Mx, My, Mz) junto con la articulación PIP también es mostrada en la tabla 23. Estas fuerzas y momentos son el resultado de una fuerza llevada por la articulación haciendo uso de su superficie y estructura de sus ligamentos. La orientación de los ángulos entre dos elementos óseos es descrita como flexión-extensión.

Elemento de la mano	Articulación	Equivalente mecánico	Grados de libertad	Restricciones desconocidas
Dedo	Articulación interfalángica distal (DIP)	Rótula	1	Fuerza de compresión axial (C _{x1})
				Fuerza de corte dorsovolar (C _{y1})
				Fuerza de corte radio-cubital (C _{z1})
				Momento de torsión axial (M _{x1})
	Articulación interfalángica Proximal (PIP)	Rótula	1	Momento de restricción radio cubital (M _{y1})
				Fuerza de compresión axial (C _{x3})
				Fuerza de corte dorsovolar (C _{y3})
				Fuerza de corte radio-cubital (C _{z3})
	Articulación metacarpofalángicas (MP)	Cardán	2	Momento de torsión axial (M _{x3})
				Momento de restricción radio cubital (M _{y3})
				Fuerza de compresión axial (C _{x5})
				Fuerza de corte dorsovolar (C _{y5})
Pulgar	Articulación interfalángica (IP)	Rótula	1	Fuerza de corte radio-cubital (C _{z5})
				Momento de torsión axial (M _{x5})
				Momento de restricción radio cubital (M _{y1})
				Fuerza de compresión axial (C _{x1})
	Articulación metacarpofalángicas (MCP)	Cardán	2	Fuerza de corte dorsovolar (C _{y1})
				Fuerza de corte radio-cubital (C _{z1})
				Momento de torsión axial (M _{x1})
				Fuerza de compresión axial (C _{x3})
	Articulación carpometacarpiana (CMC)	Cardán	2	Fuerza de corte dorsovolar (C _{y3})
				Fuerza de corte radio-cubital (C _{z3})
				Momento de torsión axial (M _{x3})
				Fuerza de compresión axial (C _{x5})
				Fuerza de corte dorsovolar (C _{y5})
				Fuerza de corte radio-cubital (C _{z5})
				Momento de torsión axial (M _{x5})

Tabla 23: Modelo mecánico equivalente para las articulaciones del dedo y pulgar.
Fuente: Biomechanics of the hand. A basic research study

La ecuación de equilibrio para las articulaciones de los dedos o el pulgar cuando la mano está sometida a una acción isométrica puede ser escrita en la siguiente forma:

$$\sum_{i=1}^n |\overline{T}_i| \cdot \overline{e}_i + \overline{F} + \sum_{j=1}^m |\overline{A}_j| \cdot \overline{e}_j = 0$$

$$\sum_{i=1}^n |\overline{T}_i| \cdot (\overline{r}_i \times \overline{e}_i) + \overline{M} + \sum_{j=1}^m |\overline{A}_j| \cdot (\overline{S}_j \times \overline{e}_j) = 0$$

Donde:

T_i = Vector fuerza en el tendón.

e_i = Vector unitario en la dirección de T_i .

F = Vector fuerza de contracción de la articulación.

A_j = Fuerzas externas.

E_j = Vector unitario en la dirección de A_j .

r_i = Vector de posición de T_i .

m = Vector de momentos de contracción.

S_j = Vector de posición de A_j .

En base a la estructura anatómica y las limitaciones fisiológicas, condiciones adicionales fueron establecidas. Primero, ciertas fuerzas de tendón fueron relacionadas en la siguiente forma:

$$\sum_{j=1}^n d_{ij} |\overline{T}_j| = 0 \quad i=1,2,..s$$

Donde:

d_{ij} = coeficiente de coacción.

n = número de fuerzas en los tendones que tiene relaciones de coacción.

s = número de coacciones que se han supuesto.

En segundo lugar, la máxima fuerza que puede realizar un músculo está limitada por razones fisiológicas. Este límite es proporcional a la sección transversal de cada músculo.

$$T_j \leq T_j^m \quad j = 1,2,\dots, n.$$

Donde:

T_j^m = máximo de fuerza que puede realizar un musculo.

n = numero de coacciones condicionados por el sistema.

A partir de los datos anatómicos disponibles se establecen las siguientes restricciones para cada uno de los dedos.

Dedo índice

$$TE = RB + UB$$

$$RB = 0.667 LU + 0.167 LE$$

$$UB = 0.333 UI + 0.167 LE$$

$$ES = 0.333 LU + 0.167 LE + 0.333 UI + 0.333 RI$$

Dedo corazón

$$TE = RB + UB$$

$$RB = 0.133 RI + 0.167 LE + 0.667 LU$$

$$UB = 0.313 UI + 0.167 LE$$

$$ES = 0.133 RI + 0.313 UI + 0.167 LE + 0.333 LU$$

Dedo anular

$$TE = RB + UB$$

$$RB = 0.333 RI + 0.167 LE + 0.667 LU$$

$$UB = 0.200 UI + 0.167 LE$$

$$ES = 0.333 RI + 0.200 UI + 0.167 LE + 0.333 LU$$

Dedo meñique

$$TE = RB + UB$$

$$RB = 0.317 RI + 0.167 LE + 0.667 LU$$

$$UB = 0.100 UI + 0.167 LE$$

$$ES = 0.317 RI + 0.100 UI + 0.167 LE + 0.333 LU$$

Ecuaciones similares también pueden ser asumidas para el pulgar en orden al sistema de equilibrio.

Cuando se analiza todas las articulaciones de los dedos y del pulgar, se obtiene un total de dieciocho fórmulas de equilibrio, además se incluyen cuatro grupo de ecuaciones como las anteriores, el total de variables desconocidas es de veinticuatro, lo cual excede el número de ecuaciones disponibles (veintidos), esto hace que el problema quede indeterminado con una redundancia en segundo grado, métodos especiales deben ser usados para resolver este problema indeterminado.

3.7 MÉTODOS DE SOLUCIÓN

Dos métodos pueden ser tomados para resolver el problema indeterminado derivado del análisis de fuerzas del sistema musculoso y óseo.

El primer método que se puede usar, se basa en el principio de reducción (método de permutación-combinación). Con las variables redundantes sistemáticamente designadas por las fuerzas conocidas, el sistema llega a estar estáticamente determinado. Cada uno de los problemas reducidos y determinados se resuelve de forma única, haciendo que la matriz de coeficientes del sistema sea no

singular. Además, aquellas soluciones que no satisfacen las restricciones se declaran inadmisibles y son consecuentemente descartadas.

Un método alternativo al anterior se basa en los principios de la optimización. Este método se puede describir como:

Minimizar: $J = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$

Sujeto a: $g_j(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0, \quad j = 1, 2, \dots, m$

Y

$b_i \leq x_i \leq a_i \quad i = 1, 2, \dots, n$

Donde

$b_i \geq 0$

Cuando la función a optimizar J y todas las ecuaciones son lineales, se pueden utilizar técnicas de programación lineal para su solución. Una posible solución es hallar un X_i que satisfaga ambas ecuaciones. Otra solución se daría en el caso de que no más de m (total de números de condiciones) tengan valor de cero para cada X_i .

4 INGENIERIA DEL SOFTWARE

Para el desarrollo del sistema se usará parte de la metodología de teoría de modelado de objetos para el análisis y diseño orientado a objetos, así como también algunos de los diagramas de lenguaje unificado de modelado (UML).

En la fase del diseño del sistema de objetos, se usará parte de la metodología orientada a objetos OMT, debido a que está orientada al diseño de software, y se utilizará el modelo de capas del sistema y arquitectura de comunicación con el computador para la comunicación del dispositivo.

4.1 ANÁLISIS

Para la construcción de la mano robótica con catorce grados de libertad se requiere la creación de un sistema capaz de interactuar con el prototipo de hardware, enviar órdenes y recibir resultados por medio del puerto USB.

Se debe de tener en cuenta los protocolos utilizados en el puerto USB, así también como el firmware necesario para que el sistema operativo reconozca el dispositivo.

El sistema deberá funcionar sobre una plataforma Web la cual permitirá el control en tiempo real, capaz de interactuar con el puerto USB.

Deberá enviar por medio del puerto USB una serie de instrucciones para el control de los motores paso a paso, encargados del movimiento de los dedos de la mano.

4.1.1 Requerimientos:

Se requiere un sistema que permita:

- Establecer una conexión con el dispositivo.
- Establecer una conexión a cualquier dirección IP y un puerto específico.

- Enviar los datos de movimiento.
- Interpretar los datos enviados por el puerto USB.
- Enviar órdenes a los diferentes motores según los datos recibidos.

4.1.2 Eventos del sistema

4.1.2.1 Eventos del Hardware

Nombre: Se conecta el periférico.

Descripción: El periférico se conecta al puerto USB del computador el cual debe identificarlo y prepararlo para el envío de datos.

Datos del evento: Identificación del dispositivo USB, número de identificación, versión y nombre del dispositivo.

Nombre: Toma de datos.

Descripción: El microcontrolador toma una serie de datos a través del buffer de la conexión USB para ser interpretados.

Datos del evento: Trama de datos.

Nombre: Se detecta un error en el dispositivo.

Descripción: Se presenta una mala conexión con el dispositivo, no se reconoce o no se pueden enviar los datos.

Datos del evento: Trama de datos.

Nombre: Desconectar.

Descripción: Se desconecta el dispositivo.

4.2.2.2 Eventos del Software

Nombre: Se inicia el programa.

Descripción: se inicia la interfaz gráfica para el usuario, ésta debe de establecer una conexión con el hardware y mostrar la posición de los motores.

Datos de eventos: Dirección IP y puerto.

Nombre: Transmisión de datos por Internet.

Descripción: El sistema envía una serie de datos al dispositivo a través de una conexión de Internet a un puerto lógico establecido.

Datos de eventos: Trama de datos.

Nombre: Envió de datos al dispositivo.

Descripción: El sistema envía una serie de datos al dispositivo por el puerto USB.

Datos de eventos: Trama de datos.

Nombre: Se detecta un error en la conexión a Internet.

Descripción: Se presenta una mala conexión de Internet o puerto lógico, no se reconoce o no se pueden enviar los datos.

Datos de eventos: Trama de datos.

Nombre: Desconectar.

Descripción: Se cierra la interfaz.

4.1.3 Casos de uso

4.1.3.1 Descripción de los casos de uso.

Descripción de los casos de uso Hardware.

Caso de Uso	Se conecta el periférico
Actores	Usuario, Periférico
Tipo	Secundario y Real
Resumen	El periférico es conectado al computador, éste debe reconocerlo y prepararlo para el envío de datos.
Propósito	Reconocer el Periférico en el momento de su conexión.
Curso Normal de Eventos	
Acción del Actor	Respuesta del sistema
El usuario conecta el periférico.	El computador reconoce el periférico. Se crea un puerto COM virtual. El sistema se alista para el envío de datos.

Tabla 24: Caso de uso - se conecta el periférico

Fuente: Los autores

Caso de Uso	Se detecta un Error en el Dispositivo
Actores	Usuario, Periférico
Tipo	Secundario y Real
Resumen	El sistema encuentra un error en el dispositivo
Propósito	Enviar informe de error
Curso Normal de Eventos	
Acción del Actor	Respuesta del sistema
El usuario conecta el Periférico	El sistema establece la conexión con el periférico.
	El sistema detecta un error de conexión.
	El sistema envía una alerta de error.

Tabla 25: Caso de uso - Se detecta un Error en el Dispositivo
Fuente: Los autores.

Caso de Uso	Toma de datos
Actores	Periférico
Tipo	Secundario y Real
Resumen	Se toma una serie de datos por medio del puerto USB
Propósito	Tomar datos del puerto USB.
Curso Normal de Eventos	
Acción del Actor	Respuesta del sistema
El periférico toma los datos del puerto USB.	El periférico establece conexión con el puerto buffer del puerto USB.
	Analiza los datos recibidos.
	Ejecuta las acciones según los datos.

Tabla 26: Caso de uso - Toma de datos
Fuente: Los autores.

Caso de Uso	Desconectar
Actores	Usuario, Periférico
Tipo	Secundario y Real
Resumen	Se termina la conexión con el periférico
Propósito	Terminar la conexión.
Curso Normal de Eventos	
Acción del Actor	Respuesta del sistema
El usuario termina la conexión.	El sistema se desconecta del periférico.

Tabla 27: Caso de uso - Desconectar
Fuente: Los autores.

Descripción de los casos de uso Software.

Caso de Uso	Se inicia el programa
Actores	Usuario
Tipo	Secundario y Real
Resumen	Se ejecuta el programa, este debe establecer una conexión con una dirección ip y puerto.
Propósito	Configurar conexión con el computador donde se encuentra el dispositivo.
Curso Normal de Eventos	
Acción del Actor	Respuesta del sistema
El usuario inicia la interfaz.	El computador estable conexión ip.
	Se establece el envío de datos a un puerto.
	El sistema se alista para el envío de datos.

Tabla 28: Caso de uso - Se inicia el programa
Fuente: Los autores.

Caso de Uso	Envío de Datos al Dispositivo
Actores	Usuario, Periférico
Tipo	Secundario y Real
Resumen	Se envían una serie de datos al periférico a un puerto específico
Propósito	Enviar datos al periférico
Curso Normal de Eventos	
Acción del Actor	Respuesta del sistema
El usuario inserta los datos a ser enviados.	El sistema establece la conexión con el puerto. El puerto los datos por medio de puerto USB. El dispositivo recibe los datos enviados.

Tabla 29: Caso de uso - Envío de Datos al Dispositivo.
Fuente: Los autores.

Caso de Uso	Se detecta un Error en la conexión
Actores	Usuario
Tipo	Secundario y Real
Resumen	El sistema encuentra un error de conexión.
Propósito	Enviar informe de error
Curso Normal de Eventos	
Acción del Actor	Respuesta del sistema
El usuario ejecuta la interfaz	El sistema establece la conexión con la dirección ip. El sistema detecta un error de conexión. El sistema envía una alerta de error.

Tabla 30: Caso de uso - Se detecta un Error en la conexión
Fuente: Los autores.

Caso de Uso	Desconectar
Actores	Usuario
Tipo	Secundario y Real
Resumen	Se termina la conexión con la dirección ip
Propósito	Terminar la conexión.

Curso Normal de Eventos	
Acción del Actor	Respuesta del sistema
El usuario termina la conexión.	El sistema termina conexión con dirección ip.

Tabla 31: Caso de uso - Desconectar
Fuente: Los autores.

4.1.3.2 Diagrama de casos de uso

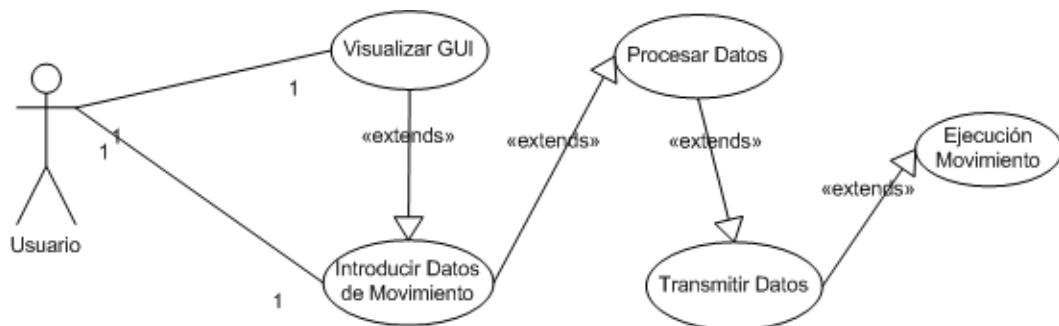


Ilustración 19: Caso de Uso General
Fuente: Los autores.

4.1.4 Diagramas de secuencia

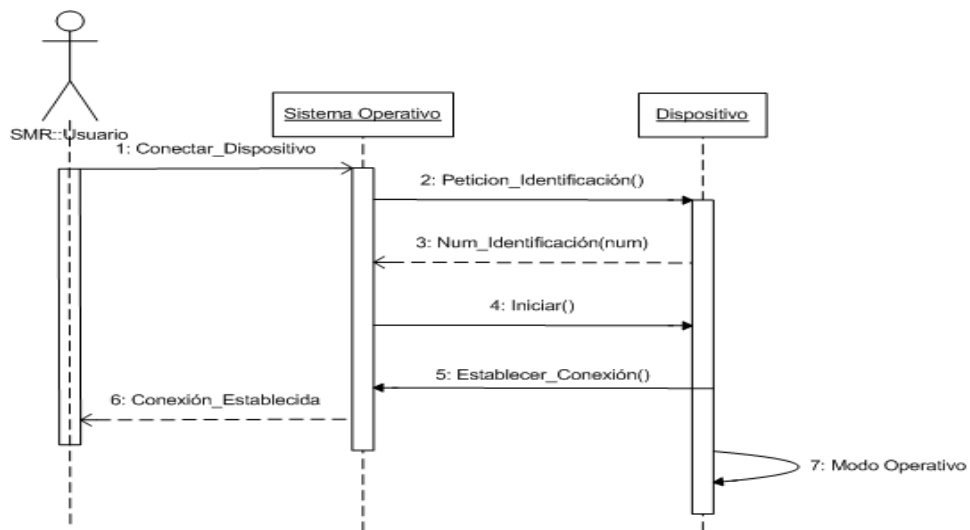


Ilustración 20: Diagrama de Secuencia - Conectar periférico
Fuente: Los autores.

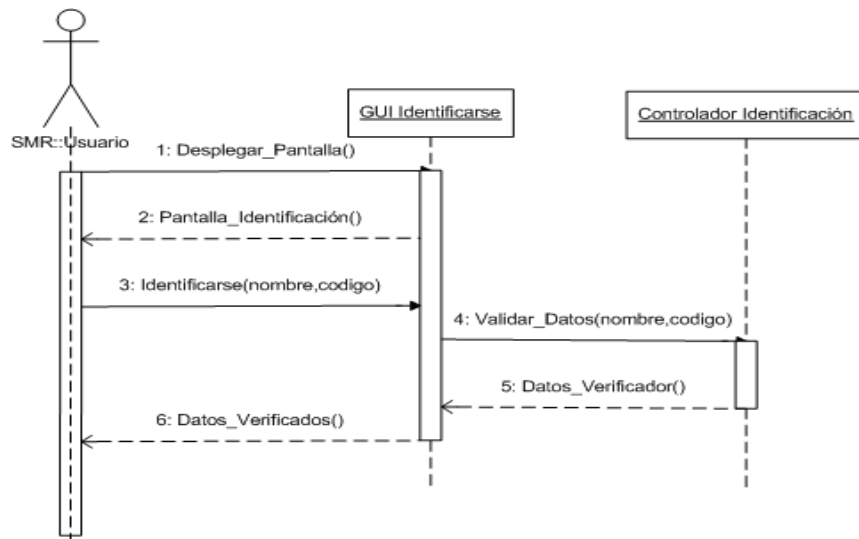


Ilustración 21: Diagrama de Secuencia – Identificarse
Fuente: Los autores

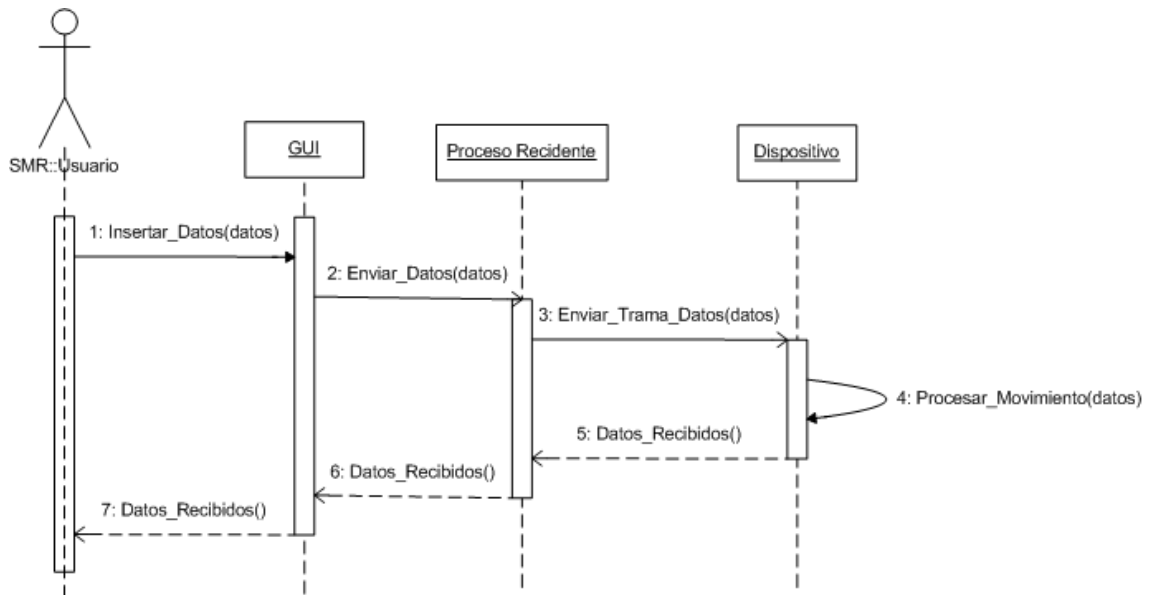


Ilustración 22: Diagrama de secuencia - Enviar datos
Fuente: Los autores

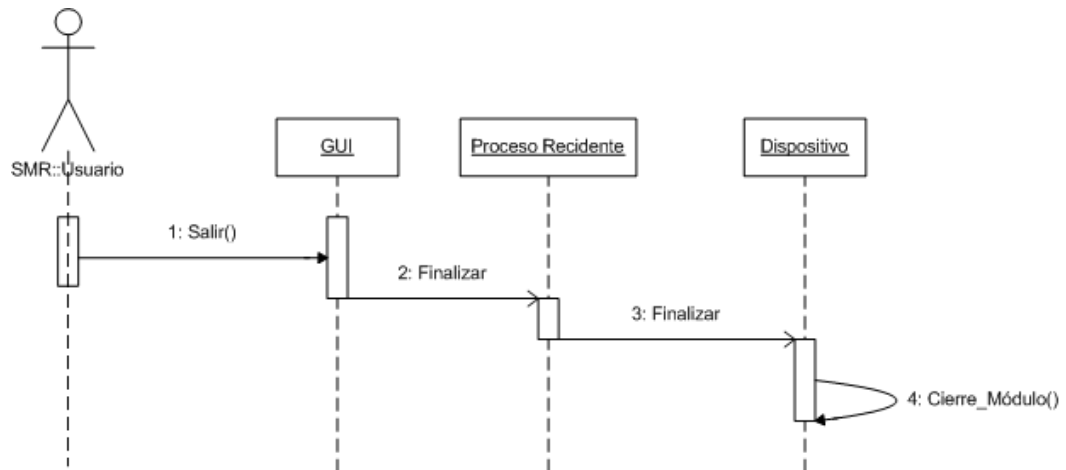


Ilustración 23: Diagrama de Secuencia – Salir
Fuente: Los autores.

4.1.5 Diagramas de estados

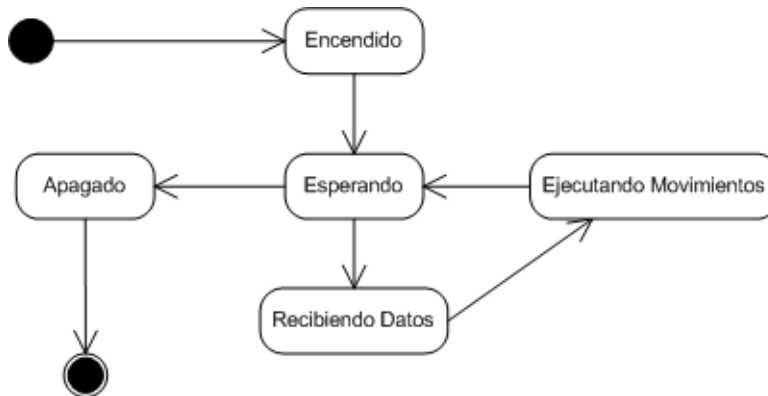


Ilustración 24: Diagrama de transición de estados del dispositivo
Fuente: Los autores.

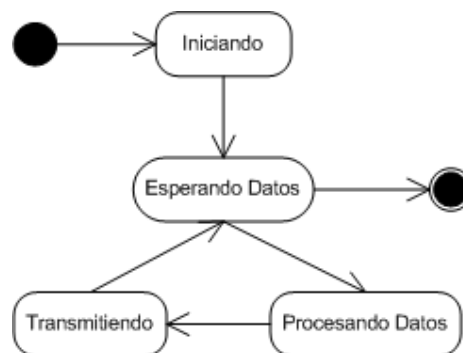


Ilustración 25: Diagrama de transición de estados de Interfaz de Usuario
Fuente: Los autores.

4.1.6 Diagrama de clases

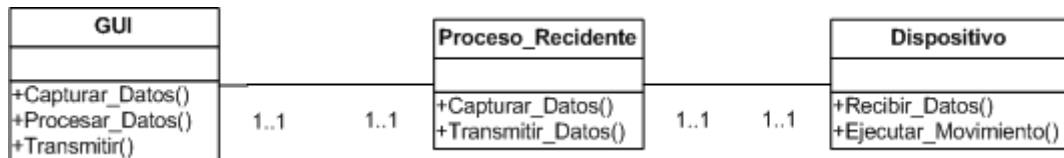


Ilustración 26: Diagrama de clases
Fuente: Los autores.

4.2 DISEÑO DEL SISTEMA

4.2.1 Arquitectura del sistema.

Sistema monousuario

Se necesita que una sola persona use el sistema, el cliente posee una interfaz gráfica de usuario (GUI), la cual permite enviar los datos al dispositivo.

Sistema operativo requerido

Windows 7 (cualquier versión). Se usa este sistema operativo, debido a que es el más popular y es el que actualmente usa la mayoría de usuarios promedio. Además, soporta el uso del puerto USB y aplicativos Web.

4.2.2 Herramientas para el desarrollo.

4.2.2.1 Programación

- Microchip MPLAB IDE Versión 8.10.00.00.- Se utilizará esta herramienta ya que es una de las más reconocidas para programación de microcontroladores, soporta la gran mayoría de los Pic's, es un software gratuito, permite el uso de aplicativos para compilar no solamente en ensamblador (ASM), sino también en lenguaje c (PIC C), posee un entorno de simulación de fácil uso. Página de descarga: http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/mplab__v820.zip

- CCS 4.057.- Herramienta de compilación la cual permite crear programas en lenguaje C para los Microcontroladores, es de uso privativo pero se puede obtener una licencia gratis por 30 días, este compilador en especial permite integrarse con el MPLAB de Microchip para correr códigos .c y generar ejecutables .cof y .hex. Página de descarga: <http://www.ccsinfo.com/ccsfreedemo.php>.
- PROTEUS.- es una herramienta diseñada para la realización de proyectos de construcción de equipos electrónicos, incluyendo sus etapas de simulación, depuración y construcción, se compone de un grupo de programas entre los cuales se utilizaran el ISIS y el ARES. Existe una versión gratuita limitada llamada Proteus Lite, la cual permite el uso de las aplicaciones que se necesitan. Página de descarga: <http://www.proteuslite.com/index.html?/download/download.htm>
- ISIS.- permite elaborar esquemas electrónicos, incluye una amplia gama de dispositivos incluyendo los microcontroladores PIC, además se puede simular el comportamiento de éstos ya que permite incluir el código del microcontrolador.
- ARES.- es una herramienta para la elaboración de placas de circuitos eléctricos.
- SerProxy.- es un programa freeware, el cual permite redireccionar conexiones de red por socket a enlaces seriales. Página de descarga: <http://www.lspace.nildram.co.uk/freeware.html>.
- Adobe Flash CS5.- Es una herramienta la cual permite crear interfaces visuales de alto nivel, además, posee un lenguaje de programación el action script 3 que permite la conexión con direcciones ip y puertos, su utilización es tomada en cuenta por ser uno de los programas más ampliamente utilizados en las páginas de Internet, por ser un lenguaje multiplataforma. Es una herramienta privativa pero posee un demo por 30 días. Página de descarga: <http://www.adobe.com/es/downloads/>

4.2.2.2 Requisitos mínimos operacionales

- Sistema operativo Windows 7 (cualquier versión)
- Internet Explorer o Mozilla Firefox
- Plugin para archivos .swf (Flash)
- Disco duro 80 GB
- Memoria Ram 1GB

4.2.2.3 Subsistemas



Ilustración 27: Subsistemas
Fuente: Los autores.

4.2.3 Modelo de capas

En éste se modela la interacción entre los subsistemas organizando un sistema en una serie de capas, cada capa presta servicios a la capa inmediatamente superior y actúa como cliente de la capa inmediatamente inferior. El diseño incluye los protocolos que establecen cómo interactuará cada par de capas.

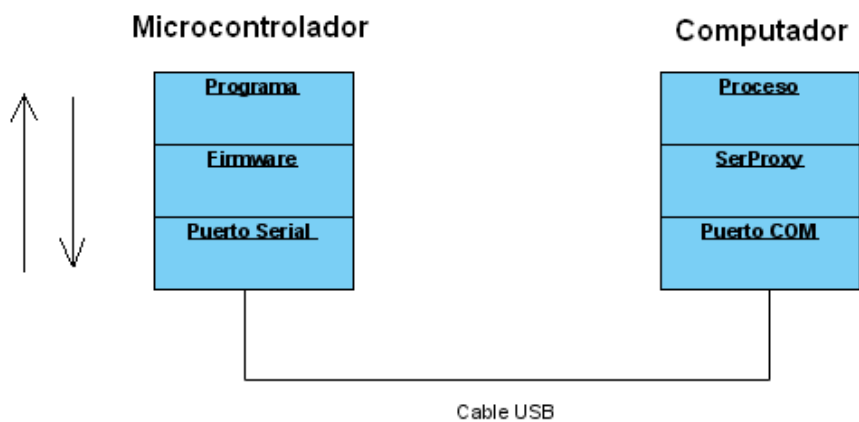


Ilustración 28: Modelo de capas.
Fuente: Los autores.

4.2.4 Arquitectura del sistema

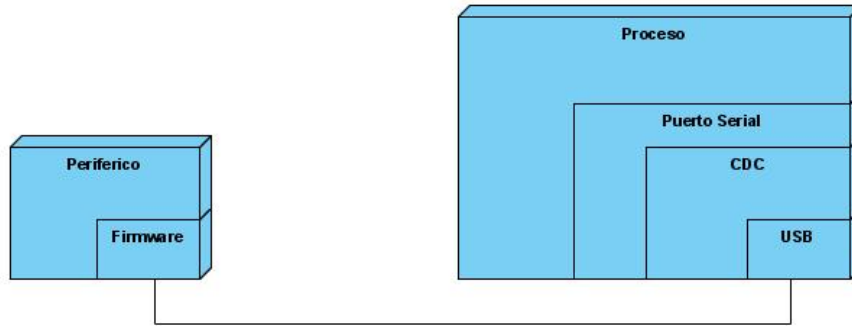


Ilustración 29: Arquitectura del sistema
Fuente: Los autores.

4.2.5 Arquitectura de aplicaciones

4.2.5.1 Diagrama de ventanas

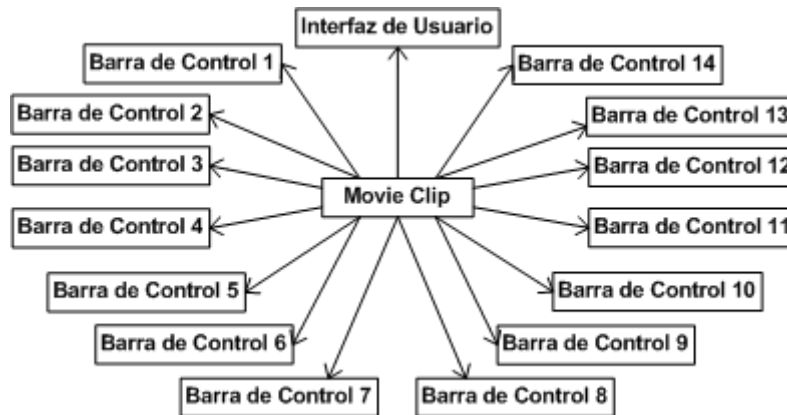


Ilustración 30: Diagrama de Ventanas Principal
Fuente: Los autores

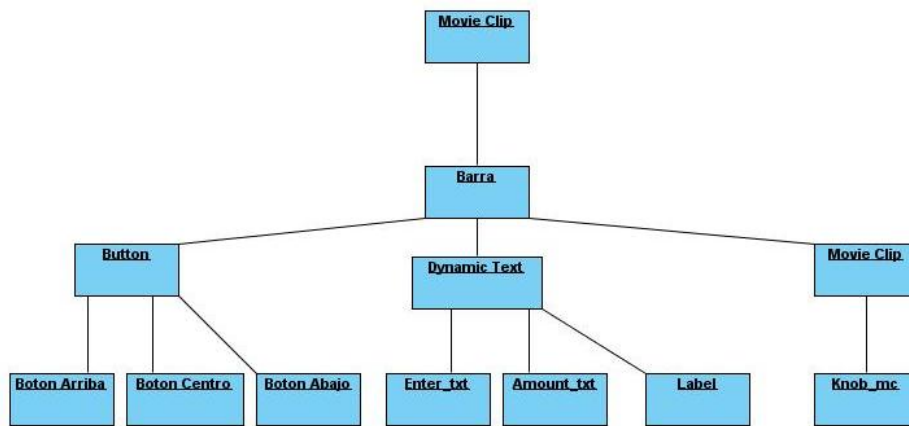


Ilustración 31: Diagrama de Ventanas Movie Clip
Fuente: Los autores.

4.2.5.2 diseño interfaz hombre maquina

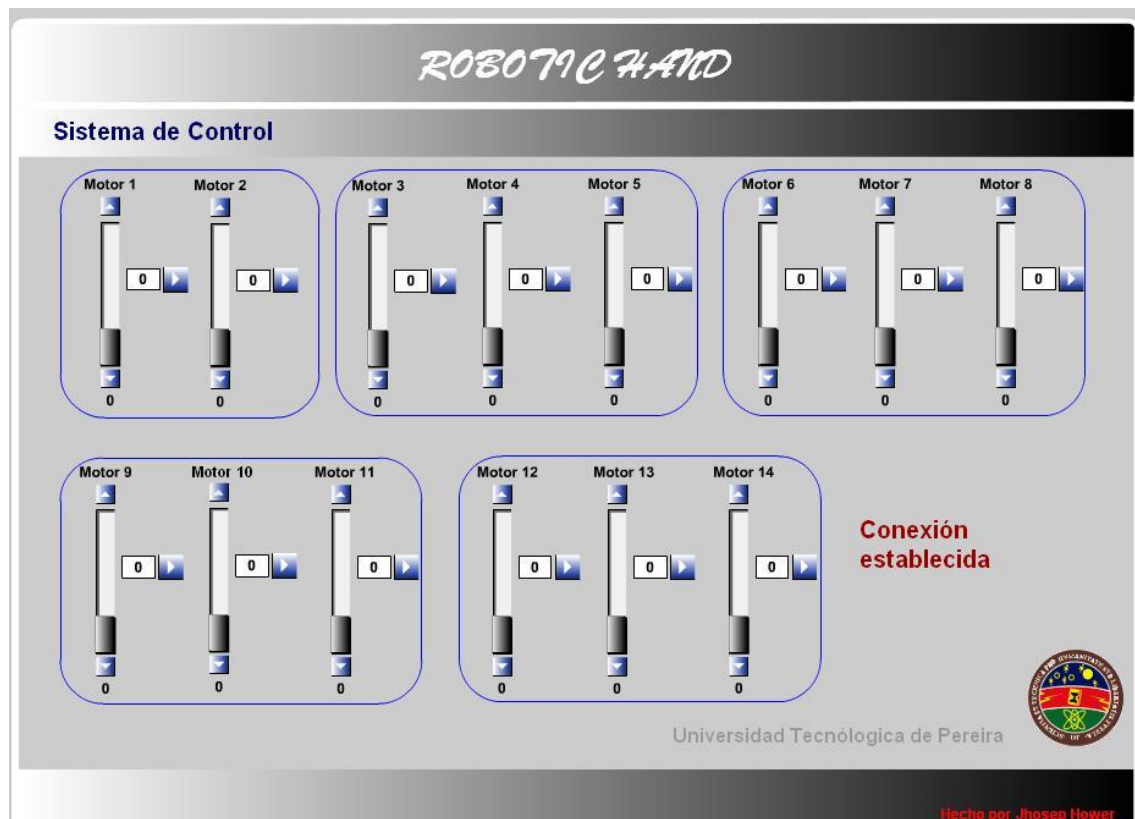


Ilustración 32: Interfaz de usuario
Fuente: Los autores

5 PROTOTIPO DE UNA MANO ROBOTICA

5.1 ANÁLISIS DE MOVIMIENTOS MOTORES PASO A PASO

Actualmente contamos con una gran variedad de motores, entre los más conocidos tenemos:

5.1.1 Motores neumáticos (músculos de aire)

Los músculos neumáticos producen un movimiento lineal utilizando aire a presión, pero, no utiliza pistones como los actuadores neumáticos e hidráulicos habituales. Se contrae cuando se lo activa, como los músculos biológicos.

Haciendo algún tipo de comparación, en cierto modo los músculos neumáticos son similares a los alambres de nitinol, más que nada por su capacidad de contraerse cuando se los activa. El alambre de nitinol sólo se contrae 5 a 7% de su longitud. El músculo neumático se contrae normalmente un 25% de su longitud, y puede llegar a un 40%. El alambre de nitinol consume mucha energía eléctrica y genera calor que se debe hacer disipar de algún modo.

Hacer una comparación de fuerza y del consumo total de energía es difícil. Un músculo neumático pequeño puede levantar 3 Kg, mucho más que un alambre estándar de nitinol. El alambre de nitinol es más delicado, pero, solamente cuando los diámetros de estos alambres son pequeños. Un alambre grueso de nitinol (no se fabrican muy gruesos porque serían muy costosos) tendría una fuerza de contracción de centenares de kilogramos (incluso millares), aunque consumiría una enormidad de corriente eléctrica.

El músculo neumático es un tubo alargado construido con una malla de plástico. Dentro de él hay un tubo de goma blanda. En los extremos posee unos clips de metal que lo cierran. La red plástica toma forma de lazos en cada extremo, que se sujetan con los clips del metal. Los lazos se utilizan para fijar el músculo neumático a un dispositivo. En los tamaños mayores, los fabricantes utilizan uniones sólidas en lugar de los lazos. Cuando se presuriza un músculo neumático, la cámara de goma se infla. La cámara presiona contra la red de sujeción de plástico negro, que también se extiende. Al aumentar el grosor de la red plástica,

su longitud se acorta. Esto causa que la longitud total del músculo neumático se reduzca, produciendo la contracción.

Una aplicación bien sofisticada y exigente de estos músculos es una mano robótica que fabrican los mismos que producen estos actuadores (Shadow Robot Company), la mano Shadow Dextrous¹³. Este miembro para robots es manejado por 40 músculos neumáticos.

5.1.2 Servomotores

Un servomotor (también llamado Servo) es un dispositivo similar a un motor de corriente continua, que tiene la capacidad de ubicarse en cualquier posición dentro de su rango de operación y mantenerse estable en dicha posición. Está conformado por un motor, una caja reductora y un circuito de control. Los servos se utilizan frecuentemente en sistemas de radio control y en robótica, pero su uso no está limitado a estos. Es posible modificar un servomotor para obtener un motor de corriente continua que, si bien ya no tiene la capacidad de control del servo, conserva la fuerza, velocidad y baja inercia que caracteriza a estos dispositivos.

El motor del servo tiene algunos circuitos de control y un potenciómetro (una resistencia variable) esta es conectada al eje central del servo motor. Este potenciómetro permite a la circuitería de control supervisar el ángulo actual del servo motor. Si el eje está en el ángulo correcto, entonces el motor está apagado. Si el circuito chequea que el ángulo no es el correcto, el motor girará en la dirección adecuada hasta llegar al ángulo correcto. El eje del servo es capaz de llegar alrededor de los 180 grados. Normalmente, en algunos llega a los 210 grados, pero varía según el fabricante. Un servo normal se usa para controlar un movimiento angular de entre 0 y 180 grados. Un servo normal no es mecánicamente capaz de retornar a su lugar, si hay un mayor peso que el sugerido por las especificaciones del fabricante.

5.1.3 Motores paso a paso

Los motores paso a paso son ideales para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos muy precisos. La característica principal de estos motores es el hecho de poder moverlos un paso a la vez por cada pulso que se le

¹³ Shadow Robot Company Ltd. En línea: <http://www.shadowrobot.com/hand/applications.shtml>. Consultado 22/02/2012.

aplique. Este paso puede variar desde 90° hasta pequeños movimientos de tan solo 1.8°, es decir, que se necesitarán cuatro pasos en el primer caso (90°) y doscientos para el segundo caso (1.8°), para completar un giro completo de 360°.

Estos motores poseen la habilidad de poder quedar enclavados en una posición o bien totalmente libres. Si una o más de sus bobinas están energizadas, el motor estará enclavado en la posición correspondiente y por el contrario quedará completamente libre si no circula corriente por ninguna de sus bobinas.

Se decidió por utilizar el motor paso a paso, debido a su costo, precisión, facilidad en su manejo y disponibilidad en el mercado. Además, de que podemos conocer con precisión los ángulos de giro obtenidos por pulso aplicado, el tipo de motor elegido fue el Motor PaP unipolar EM-21 comúnmente utilizado en las impresoras LX-300, es de doscientos pasos por vuelta, dando un ángulo de giro por cada pulso de 1.8°.

PASO	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D	
1	ON	OFF	OFF	OFF	
2	ON	ON	OFF	OFF	
3	OFF	ON	OFF	OFF	
4	OFF	ON	ON	OFF	
5	OFF	OFF	ON	OFF	
6	OFF	OFF	ON	ON	
7	OFF	OFF	OFF	ON	

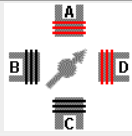
8	ON	OFF	OFF	ON	
---	----	-----	-----	----	---

Tabla 32: Tabla de pasos motor unipolar PaP

Fuente: <http://www.todorobot.com.ar/informacion/tutorial%20stepper/stepper-tutorial.htm>

Para poder suministrar el voltaje necesario para el funcionamiento de los motores paso a paso se utilizarán los transistores ULN2803A, los cuales permiten dar el voltaje deseado con un pulso de entrada de 5V.

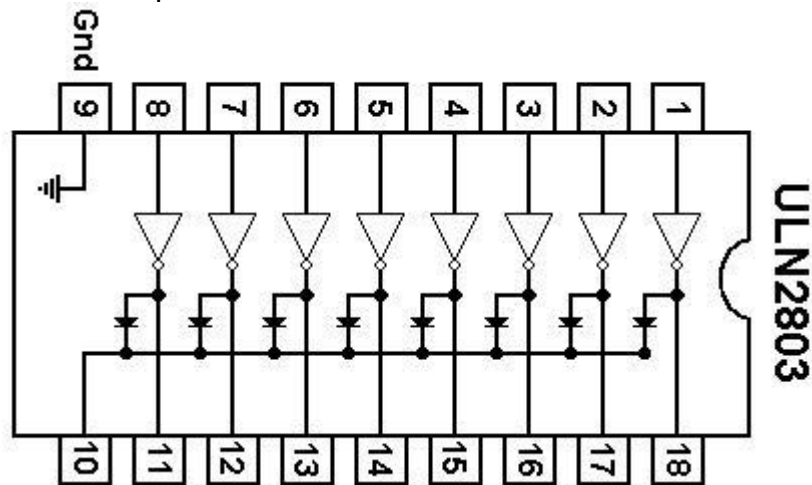


Ilustración 33: Diagrama del uln2803A

Fuente:

http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/U/L/N/2/ULN2803A.shtml

5.2 INTERACCIÓN CON EL PIC

Básicamente se necesita desarrollar un dispositivo capaz de controlar una mano fabricada en algún material liviano y resistente como el aluminio, la cual es movida por una serie de motores que están controlados por Microcontroladores que proveen la comunicación con el computador.

Para el programa se procedió a comunicar el PIC con el puerto USB, utilizando el PIC18F4550 el cual está diseñado para recibir señales desde un puerto USB. Se programó el microcontrolador para que sacara señales altas y bajas por los puertos, a la señal proveniente del puerto USB.

Cada pin de salida estará asociado a una entrada de los motores paso a paso, necesitando otros dos microcontroladores para cubrir el número de puertos demandados. Se utilizan los PIC16f877A los cuales funcionan como esclavos del PIC18F4550.

Los códigos binarios enviados para cada paso del motor se muestran en la siguiente tabla:

Pasos	Código binario
1	b'00001000'
2	b'00001100'
3	b'00000100'
4	b'00000110'
5	b'00000010'
6	b'00000011'
7	b'00000001'
8	b'00001001'

Tabla 33: Códigos binarios para cada paso del motor PaP
Fuente: Los autores

5.3 CONFIGURACIÓN DEL PUERTO USB

Desde el punto de vista del sistema USB, un dispositivo puede tener varias posibles configuraciones en cada una de las cuales el dispositivo puede funcionar de una manera distinta. En cada una de las posibles configuraciones, el dispositivo queda organizado como un conjunto de Interfaces, donde cada Interfaz especifica qué partes del hardware del dispositivo interactúa con el sistema USB. Cada una de esas partes de hardware se denomina Endpoint. A su vez las Interfaces pueden admitir configuraciones alternativas, con distintas colecciones de Endpoints en cada una de ellas.

Los dispositivos proporcionan toda la información descriptiva al sistema a través de unas estructuras de datos denominados Descriptores. Existen distintos

descriptores que proporcionan información a nivel de dispositivo, de configuración, de interfaz y de Endpoint.

En algunas ocasiones, sólo es necesario un driver para controlar a un dispositivo, mientras que en otras son necesarios distintos drivers para controlar los distintos interfaces disponibles en el dispositivo. Existe una manera estándar de localizar y asociar drivers a dispositivos e interfaces, de manera que los fabricantes de dispositivos y de Sistemas Operativos trabajen según un modelo común. Una vez seleccionada una configuración, queda establecido el número de interfaces. Las características concretas de cada interfaz pueden seleccionarse posteriormente a través de las posibles configuraciones alternativas.

El algoritmo para localizar y asociar un driver se basa en la información recibida del dispositivo en los Descriptores.

La primera búsqueda se basa en la información recibida en el Descriptor de dispositivo y se trata de localizar un único driver que controle todo el dispositivo.

La información en la que se basa esta primera búsqueda es:

- Fabricante & Producto & Versión del producto.
- Fabricante & Producto

Para poder entablar la comunicación desde la página Web al puerto USB, se utilizó el modo CDC (Communications Devices Class) el cual crea un puerto serial virtual. El puerto creado es el COM4 desde el cual se pueden enviar y recibir datos desde su respectivo puerto el 5331.

5.3.1 Configuración del descriptor

Para que el periférico pueda ser reconocido por el sistema operativo del computador se necesita configurar los descriptores, en el lenguaje de programación seleccionado (PIC c) existe una librería llamada USB_CDC.H, en donde es posible modificar las líneas de código donde se encuentran el VID&PID y el USB_STRING_DESC[].

VID.- Es un número de 16 bits que significa Vendor Identification o código que identifica al fabricante del hardware a conectar. En este caso se utilizará el número 04D8h que identifica a Microchip.

PID.- Es un número de 16 bits que significa Product Identification o código que identifica al dispositivo. En este caso se utilizará el número 000Bh que identifica a la familia de los PIC18.

La unión de estos dos números VID&PID es la que se utiliza para conectar con el Driver. Cuando el sistema operativo conecte con el firmware del dispositivo recibirá el VID&PID y buscará entre sus drivers instalados para encontrar el que corresponde a esta identificación, si no la encuentra nos preguntará sobre donde ha de buscar un driver adecuado y deberemos indicarle su ubicación. Este driver deberá estar configurado para conectar con un hardware cuyo VID&PID sea el mismo, se utiliza el driver otorgado por Microchip llamado mpusbapi.dll.

USB_STRING_DESC[].- Contiene la descripción del dispositivo detectado por el Driver. Consta de dos partes, la USB_STRING_DESC que contiene las descripciones requeridas y una parte adicional llamada USB_STRING_DESC_OFFSET que contiene los Offset o desplazamientos con respecto al inicio de USB_STRING_DESC en donde se encuentran las correspondientes cadenas. USB_STRING_DESC_OFFSET tiene tres números que indican dónde comienza el correspondiente dato en USB_STRING_DESC. Así un contenido de {0,4,12} nos dice que el primer string comienza en el byte 0, el segundo en el byte 4 y el tercero se encuentra a partir del byte número 12. Si cambiamos la longitud de cualquiera de los strings deberemos reordenar esta tabla correspondientemente con solo contar los caracteres y apuntar el número de byte donde comienza cada uno de ellos.

USB_STRING_DESC contiene los tres strings que deseamos transmitir con el descriptor USB. Cada uno de ellos tiene la misma estructura que consta de un primer byte que indica la longitud total de la correspondiente cadena, un segundo byte que indica el tipo de dato que viene a continuación y por último tantos bytes como sean necesarios como contenido del string.

5.4 SIMULACIÓN

La simulación se realiza en el programa ISIS de Proteus, el cual permite montar el esquemático con los microcontroladores y asignarles el código para su funcionamiento, como vemos en la siguiente imagen:

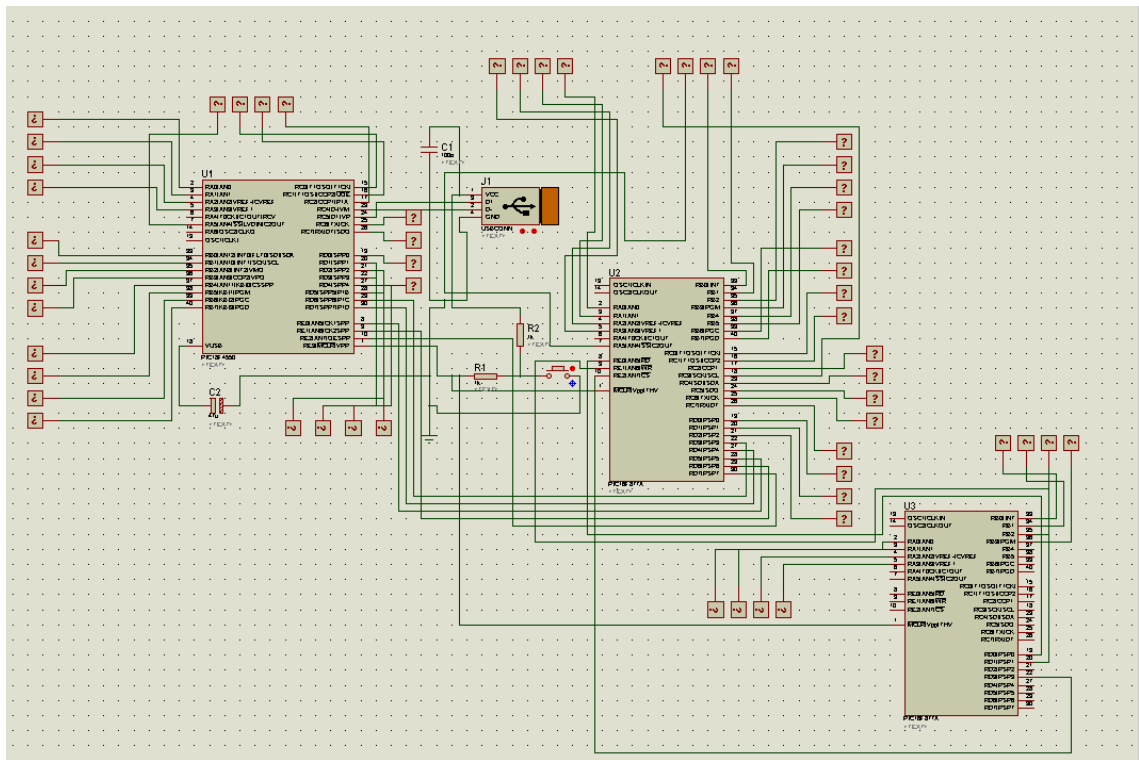


Ilustración 34: Simulación en el programa ISIS de Proteus
Fuente: Los autores

5.5 CONSTRUCCIÓN DEL ESQUEMÁTICO

Con el uso de la herramienta ARES, se toma la simulación del Proteus y se procede a optimizar las líneas de conexión para la construcción del esquemático.

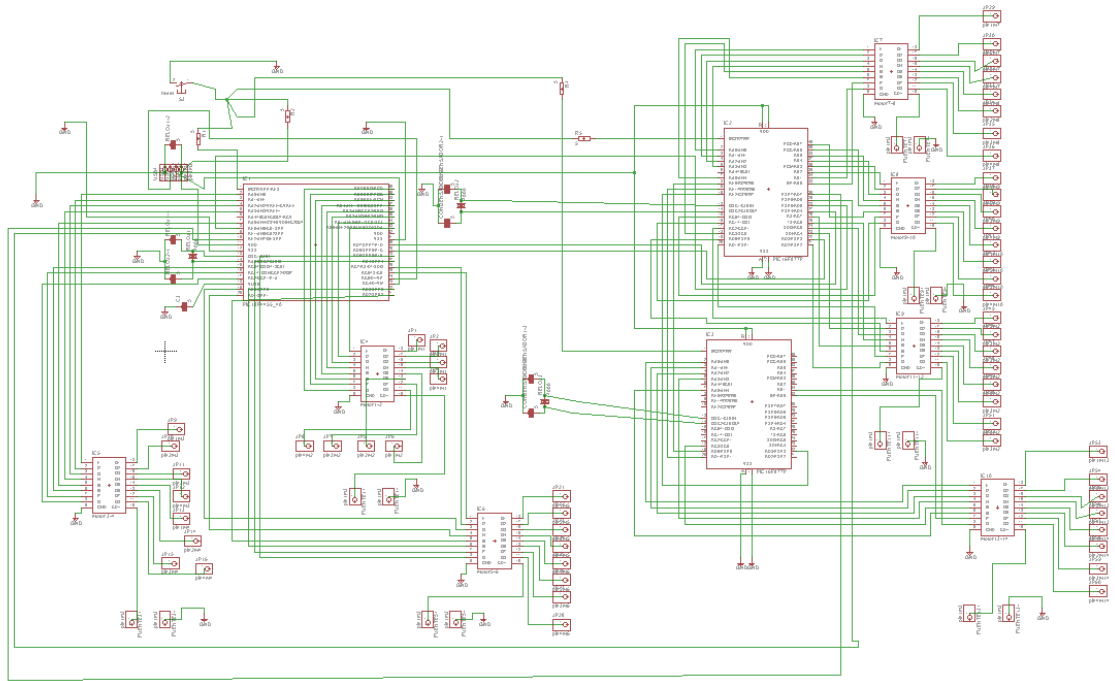


Ilustración 35: Esquemático del circuito
Fuente: Los autores

Luego de tener un diseño óptimo se construye la baqueta en fibra de vidrio para su mayor duración.

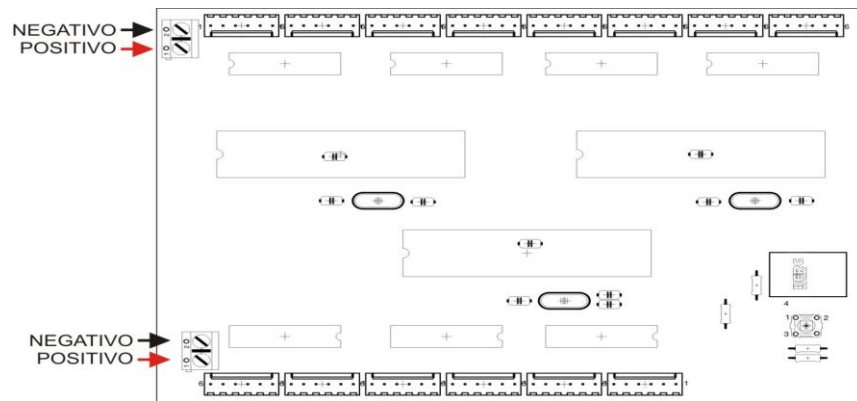


Ilustración 36: Circuito final
Fuente: Los autores

Los códigos fuente de la programación de los Microcontroladores se pueden observar en el anexo A.

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

La mano humana es una excelente herramienta, posee una gran flexibilidad y destreza lo cual permite realizar innumerables acciones gracias a su función esencial: la presión. Posee un sin número de funcionalidades que le otorgan múltiples acciones, posiciones y movimientos.

Existe un modelo matemático para la mano humana que consiste en seis sistemas cartesianos de referencia los cuales se usan para definir la posición y orientación de los tendones y para describir la configuración de las articulaciones. Por medio de este sistema de referencia se puede determinar la posición de los dedos en un espacio de tres dimensiones.

Los grados de libertad están directamente relacionados a la cantidad de movimiento y para el caso de este trabajo se tendrán en cuenta catorce grados de libertad, por ejemplo, el dedo índice tiene tres grados de libertad uno por cada articulación entre las falanges, en el mismo caso están los dedos meñique, anular y medio. Para el pulgar se tienen dos grados de libertad sumando en total catorce grados de libertad.

Las articulaciones tienen un solo eje de rotación por lo que basta con colocar un eje para lograr su movimiento, lo que permite concluir que para el prototipo es necesario un motor por cada grado de libertad para un total de catorce motores.

El uso de los microcontroladores ayuda a optimizar diferentes procesos industriales mediante el uso de su lógica programable; los microcontroladores PIC han sido ampliamente conocidos en el mercado debido a su tiempo de permanencia, diferentes gamas y facilidad de uso, además, permite un bajo consumo de corriente por lo cual es posible alimentarlos directamente desde el voltaje arrojado por el puerto USB y por tales características fueron seleccionados en el diseño del prototipo de mano robótica.

Para la conexión del prototipo con el computador se utiliza la interface USB permite mejorar la capacidad de interconexión de dispositivos permitiendo adjuntar periféricos rápidamente sin necesidad de reiniciar la computadora, permite la transmisión de datos a alta velocidad y la distribución de energía. Los periféricos

para puertos USB son reconocidos automáticamente por el computador (y se configuran casi automáticamente) lo cual permite instalar un nuevo dispositivo en el PC de forma sencilla. Los aparatos conectados a un puerto USB estándar no necesitan estar enchufados a la corriente o disponer de baterías para funcionar. El propio puerto está diseñado para transmitir energía eléctrica al dispositivo conectado.

Para el diseño de la mano robótica se optó por el uso de los motores paso a paso ya que permiten controlar su funcionamiento de forma precisa y práctica, y son de fácil implementación.

La comunicación entre el usuario y el prototipo de la mano robótica en cuanto a instrucciones de movimiento es facilitada por medio de una interfaz web apoyada en una arquitectura Cliente/Servidor, que a través de una conexión a una IP y puerto fijos permiten la transmisión de las instrucciones desde un equipo remoto hasta el equipo donde se encuentra instalado el dispositivo y de este equipo las instrucciones son enviadas al dispositivo a través de un puerto USB donde los Microcontroladores procesan la información recibida y la traduce en movimientos de los motores paso a paso.

La interfaz fue desarrollada en Flash por ser un lenguaje multiplataforma y permitirnos enviar información a puertos por medio de una dirección IP utilizando su lenguaje de programación (AS3), cada motor está identificado en la interfaz por un cuadro de mando el cual posee una barra de desplazamiento que va de 0° a 90° grados de movimiento.

Para lograr la transmisión de las instrucciones hasta el microcontrolador se utiliza un programa mediador entre el navegador y el puerto USB llamado SERPROXY que permite redireccionar las conexiones de red por socket hacia o desde enlaces seriales.

Para poder entablar la comunicación desde la página Web al puerto USB, se configuró el puerto USB utilizando el modo CDC (Communications Devices Class) el cual crea un puerto serial virtual. El puerto creado es el COM4 desde el cual se pueden enviar y recibir datos desde su respectivo puerto el 5331.

Para el diseño del circuito electrónico se utilizaron las siguientes herramientas:

- ISIS de Proteus, en el cual se realizó la simulación del circuito permitiendo montar el esquemático con los Microcontroladores y asignarles el código para su funcionamiento.
- ARES, utilizado para optimizar las líneas de conexión para la construcción del esquemático a partir de la simulación del Proteus.

Para la programación de los Microcontroladores se utiliza la herramienta Microchip MPLAB IDE ya que es una de las más reconocidas, soporta la gran mayoría de los PIC,s y es un software gratuito. El lenguaje de programación utilizado fue el PIC C. para la compilación de los programas se utilizó la herramienta CCS 4.057 que permite crear programas en lenguaje C para Microcontroladores.

6.2 RECOMENDACIONES

Dando continuidad a este trabajo sería conveniente la fabricación de un primer prototipo de mano robótica siguiendo el diseño presentado.

En la construcción es necesario contar con materiales livianos, la adición de peso aumenta la complejidad en el mecanismo en el uso de motores con mayor potencia, las poleas dentadas usadas en las impresoras son una buena opción, ya que se acoplan fácilmente a los piñones de los motores paso a paso, son livianas y permite un buen agarre. El uso del aluminio como material principal de los dedos permite disminuir el peso del prototipo al mismo tiempo que proporciona la dureza necesaria para su funcionamiento.

Para futuros proyectos, se podría utilizar un medio de transmisión inalámbrico entre computador y la mano robótica, a fin de ganar mayor libertad e independencia.

La implementación de un sistema que le permita a la mano robótica simular la sensación de tacto que posee una mano humana, con ello se podría realizar optimizar las tareas de agarre.

Realizar análisis numéricos en forma estática y dinámica de los elementos que componen la mano robótica, con la finalidad de determinar los puntos críticos que posee el prototipo para posteriormente realizar las adecuaciones necesarias para asegurar el óptimo funcionamiento mecánico del sistema.

BIBLIOGRAFÍA

ANGULO JM, AVILES Rafael. Curso Robótica. Paraninfo S.A.

BRAND, P.W., BEACH, R.B. y THOMPSON, D.E. Relative tension and potential excursion of muscles in the forearm and hand, /. HandSurg., v.6 p.209-219 1981

EDMUND Y S Chao, KAIN-NAN An, COONEY P William y LINSCHIED L Ronald. Biomechanics of the hand. A basic research study: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltda ISBN 9971-50-103-1 1989

FU K.S., GONZALEZ R. C., LEE C.S.G. Robotica: Control, detección, visión e inteligencia. Editorial Mc Graw Hill.

GENNADIY, Shvets. MicroController Unit (MCU) families. En Línea:
<http://www.cpu-world.com/CPUs/MCU.html>, 2010

GRIDLING, Gunther y WEISS, Bettina . Vienna University of Technology, Introduction To Microcontrollers, February 26, 2007.

HONGHAI Liu. Exploring Human Hand Capabilities Into Embedded Multifingered Object Manipulation. v.7,no.3, p.389-398, Agosto 2011. En línea:
<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5951810&isnumber=5977191>

KASHNER, Z. My robot hand. En línea:
<http://ezproxy.utp.edu.co/docview/899252699?accountid=45809>

LANDSMEER, J.M.F. Study in the anatomy of articulation. The equilibrium of the 'intercalated' bone: Acta Morph. Neerl.-Scand. v.3 p.287-303 1961.

MAITI, C.K.; MAHATA, S.; MAITI, A. Design and Development of a Cost-Effective Online Electronic Circuits Laboratory. p.221-224, 14-16 Julio 2011. En línea: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6004387&isnumber=6004239>

PIRI, E.; UITTO, M.; PROKKOLA, J.; LAULAJAINEN, J. Dynamic Subscription-Based QoS Service for Traffic Optimization. p.1-5, 5-8 Septiembre. 2011. En línea: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6093212&isnumber=6092796>

PRESSMAN, Roger adoptado por INCE, Darrel. Ingeniería del Software un enfoque práctico quinta edición.

REY Rj Álvaro y HERNANDEZ German Ricardo. Robot. SENA & Universidad Nacional de Colombia.

SÁNCHEZ MIRALLES, Álvaro y PALACIOS HIELSCHER, Rafael. Sistema para el control remoto de un robot mediante un navegador de Internet. p. 45 – 49. En línea: https://www.ica.es/contenidos/publicaciones/anales_get.php?id=765

S. C. Jacobsen, J. E. Wood, D. F. Knutti y K. B. Biggers. TheUTAH/MIT dextrous hand: Work in progress . En Robot, Grippers, Springer-Verlag, Berlin, 1986.

STRACEY, Michael. PIC Tutorial. En línea: <http://www.mstracey.btinternet.co.uk/pictutorial/picmain.htm>, Febrero 6, 2009

TAKAKI, T y OMATA, T.4. High-Performance Anthropomorphic Robot Hand With Grasping-Force-Magnification Mechanism. v.16, no.3, p.583-591, Junio 2011. En línea: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5460902&isnumber=5764301>

TEMPLETON, D. Brain linked to robotic hand. En línea: <http://ezproxy.utp.edu.co/docview/896818229?accountid=45809>

TORRES, Reinier. El Microcontrolador. En línea: http://www.ucontrol.com.ar/wiki/index.php/El_microcontrolador, Julio, 2007

U-XUAN Tan; WIN TUN Latt; CHENG YAP Shee. Wei Tech Ang: A Low-Cost Flexure-Based Handheld Mechanism for Micromanipulation Mechatronics v.16, no.4, p.773-778, Agosto. 2011. En línea:

<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5586653&isnumber=5765521>

ZAHRAEE, A.H.; PAIK, J.K.; SZEWCZYK, J.; Morel, G. Toward the Development of a Hand-Held Surgical Robot for Laparoscopy. v.15, no.6, p.853-861, Diciembre 2010. En línea:

<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5523951&isnumber=5666995>