



# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

---

---

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA  
UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS” ZACATENCO

**“DISEÑO Y CONTROL DE UNA MANO ROBÓTICA OPERADA PARA  
ACTIVIDADES INDUSTRIALES DE ALTO RIESGO”**

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
**INGENIERO EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA**

PRESENTAN:

**MARTINEZ ORTEGA CRISTIAN  
ORTIZ DIAZ JOSE MARIA**

ASESORES:

**M. EN C. QUINTANA ORTEGA EDGAR  
ING. VILCHIS ESTRADA JORGE ARTURO  
ING. CRUZ CLEOFAS DANIEL**



CIUDAD DE MÉXICO, JUNIO 2019

**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**  
**UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”**

**T E M A D E T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA  
POR LA OPCIÓN DE TITULACIÓN TESIS COLECTIVA Y EXAMEN ORAL INDIVIDUAL  
DEBERA (N) DESARROLLAR C. CRISTIAN MARTINEZ ORTEGA  
C. JOSE MARIA ORTIZ DIAZ

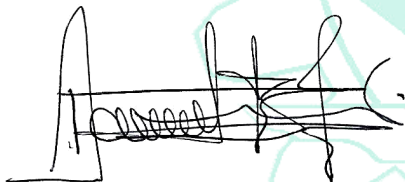
**“DISEÑO Y CONTROL DE UNA MANO ROBÓTICA OPERADA PARA ACTIVIDADES INDUSTRIALES DE ALTO RIESGO”**

DISEÑAR Y CONSTRUIR UN PROTOTIPO ANIMATRÓNICO PARA EL CONTROL Y DESARROLLO DE ACTIVIDADES DE ALTO RIESGO OPERATIVO DENTRO DE LOS PROCESOS INDUSTRIALES.

- ❖ CONSTRUIR UN PROTOTIPO DE BRAZO CON ARTICULACIÓN MECÁNICA DE 2 GRADOS DE LIBERTAD
- ❖ ELABORAR UN PROGRAMA EN LENGUAJE C QUE PERMITA EL CONTROL DEL BRAZO MECÁNICO MEDIANTE EL USO DEL MICROCONTROLADOR 18F2580
- ❖ DESARROLLAR UN GUANTE ARTIFICIAL CON SENSORES DE FLEXIÓN QUE PERMITA CONTROLAR EL MOVIMIENTO DEL BRAZO MECÁNICO

CIUDAD DE MÉXICO, A 05 DE JUNIO DEL 2019.

**A S E S O R E S**



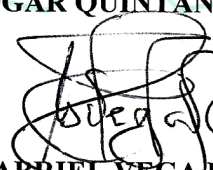
ING. DANIEL CRUZ CLEOFAS



ING. JORGE ARTURO VILCHIS ESTRADA



M. EN C. EDGAR QUINTANA ORTEGA



ING. GABRIEL VEGA REYES  
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE

INGENIERÍA EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA



## Autorización de uso de obra

**Instituto Politécnico Nacional**

**Presente**

Bajo protesta de decir verdad los que suscriben **Cristian Martinez Ortega y José María Ortíz Díaz**, manifestamos ser autores y titulares de los derechos morales y patrimoniales de la obra titulada **“DISEÑO Y CONTROL DE UNA MANO ROBÓTICA OPERADA PARA ACTIVIDADES INDUSTRIALES DE ALTO RIESGO”**, en adelante **“La Tesis”** y de la cual se adjunta copia en un impreso y un cd por lo que por medio del presente y con fundamento en el artículo 27 fracción II, inciso b) de la Ley Federal del Derecho de Autor, otorgamos al **INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL**, en adelante **EL IPN**, autorización no exclusiva para comunicar y exhibir públicamente total o parcialmente en medios digitales o en cualquier otro medio; para apoyar futuros trabajos relacionados con el tema de **“La Tesis”** por un periodo de **5 años** contando a partir de la fecha de la presente autorización, dicho periodo se renovará automáticamente en caso de no dar aviso expreso a **EL IPN** de su terminación.

En virtud de lo anterior, **EL IPN** deberá reconocer en todo momento nuestra calidad de autores de **“La Tesis”**

Adicionalmente, y en nuestra calidad de autores y titulares de los derechos morales y patrimoniales de **“La Tesis”**, manifestamos que la misma es original y que la presente autorización no contraviene ninguna otorgada por los suscritos respecto de **“La Tesis”**, por lo que deslindamos de toda responsabilidad a **EL IPN** en caso de que el contenido de **“La Tesis”** o la autorización concedida afecte o viole derechos autorales, industriales, secretos industriales, convenios o contratos de confidencialidad o en general cualquier derecho de propiedad intelectual de terceros y asumimos las consecuencias legales y económicas de cualquier demanda o reclamación que puedan derivarse del caso.

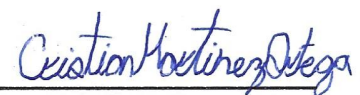
Ciudad de México., a 29 de Agosto de 2019



---

**José María Ortíz Díaz**

**Atentamente**



---

**Cristian Martinez Ortega**

# Índice General

<b>Resumen</b> .....	8
<b>Abstract</b> .....	9
<b>Introducción</b> .....	10
1.1 Planteamiento del Problema .....	11
1.2 Objetivo General .....	13
1.2.1 Objetivos Específicos.....	13
1.3 Justificación .....	13
1.4 Hipótesis.....	14
1.5 Marco Geográfico.....	14
1.6 Marco Temporal.....	14
<b>Capítulo 2</b> .....	15
2.1 Seguridad Industrial en México.....	15
2.2 Definición de Riesgo Industrial y su clasificación .....	17
2.2.1 Riesgos provocados Agentes Mecánicos.....	18
2.2.2 Riesgos provocados por Agentes Físicos.....	18
2.2.3 Riesgos provocados por Agentes Químicos .....	19
2.2.4 Riesgos provocados por Agentes Biológicos .....	19
2.2.5 Riesgos provocados por Factores Psicosociales.....	20
2.3 Daños Físico y Psicológicos derivados de Actividades Industriales.....	22
2.3.1 Consecuencias graves con la pérdida de un miembro o extremidad .....	25
2.3.2 La anatomía del aparato flexor .....	27
2.4 Leyes de Protección al Trabajador en el Ámbito de la Seguridad Industrial.....	28
2.4.1 Asociaciones y Leyes Mundiales encargadas de la Seguridad Industrial .....	29
2.4.2 Normas Oficiales en México en materia de Seguridad Industrial .....	30
2.4.3 Situación actual de los accidentes y enfermedades laborales en México .....	31
2.5 Instituciones y Empresas que desarrollan equipos para ayudar a personas con alguna discapacidad.....	33
<b>Capítulo 3</b> .....	35
3.1 Hardware.....	35
3.1.1 Sensores .....	35
3.1.2 Puente de Wheatstone .....	37
3.1.3 Microcontroladores.....	38

3.1.4 Servomotores .....	41
3.2 Fuentes de Alimentación.....	47
3.3 Software .....	52
3.3.1 Programación en Lenguaje C.....	52
3.3.2 Mapeo de una Señal.....	54
3.4 Comunicación .....	56
3.4.1 Convertidor Analógico Digital .....	56
3.4.2 Resolución Convertidor Analógico Digital.....	57
<b>Capítulo 4</b> .....	<b>59</b>
4.1 Desarrollo del Programa en el Microcontrolador .....	60
4.2 Diseño y construcción del circuito para el control del prototipo.....	64
4.3 Cálculos .....	65
4.3.1 Cálculos de la tensión de los hilos.....	66
4.3.2 Cálculos para obtener la corriente de un servomotor Futaba s3003 .....	76
4.4 Elaboración del guante con los sensores de deflexión .....	77
4.5 Construcción de la mano y base de 360° .....	79
4.6 Ensamblaje y pruebas finales .....	84
<b>Conclusiones</b> .....	<b>86</b>
<b>Recomendaciones</b> .....	<b>88</b>
<b>Referencias Bibliográficas</b> .....	<b>90</b>

## Índice de Figuras

Figura 1. Principales puntos de riesgo en maquinaria.....	25
Figura 2. Niveles de Amputación .....	26
Figura 3. Tipos de Tendones Flexores.....	27
Figura 4. Estructura Esquemática de la metodología técnica de la Seguridad Industrial.....	29
Figura 5. Prototipo de traductor de la lengua de señas .....	33
Figura 6. Guante CyberGlove .....	34
Figura 7. Prototipo para rehabilitación .....	34
Figura 8. Diagrama básico Sensor de Deflexión .....	36
Figura 9. Puente de Wheatstone .....	37
Figura 10. Esquema básico general de un Microcontrolador.....	38
Figura 11. Diagrama PIC MSP430G2553 .....	40
Figura 12. Componentes de un servo .....	42
Figura 13. Tipos de servomotores.....	43
Figura 14. Pulsos PWM para controlar servos .....	44
Figura 15. Diagrama de Conexión de los Servomotores Futaba s3003 .....	44
Figura 16. Circuito Interno de Control Futaba s3003.....	46
Figura 17. Fuente de Alimentación .....	47
Figura 18. Etapa de Transformación.....	48
Figura 19. Etapa de Rectificación .....	48
Figura 20. Etapa de Filtrado.....	49
Figura 21. Etapa de Regulación.....	49
Figura 22. Esquema de Fuente de poder ATX.....	51
Figura 23. Señal Analógica y Digital .....	56
Figura 24. PIC MSP430G2553 .....	57
Figura 25. Diagrama a bloques del funcionamiento .....	59
Figura 26. Diseño de mano robótica. Elaboración propia.....	59
Figura 27. Diseño y Construcción de Circuito Impreso. Elaboración propia. ....	64
Figura 28. Divisor de voltaje.....	65
Figura 29. Diagrama de conexión y Tensión de hilo en dedo meñique con servomotor. Elaboración propia.....	66
Figura 30. Diagrama de conexión y Tensión de hilo en dedo anular con servomotor. Elaboración propia.....	68
Figura 31. Diagrama de conexión y Tensión de hilo en dedo medio con servomotor. Elaboración propia.....	70

Figura 32. Diagrama de conexión y Tensión de hilo en dedo índice con servomotor. Elaboración propia.....	72
Figura 33. Diagrama de conexión y Tensión de hilo en dedo pulgar con servomotor. Elaboración propia.....	74
Figura 34. Par de guantes industriales con recubrimiento para corte. Elaboración propia. ...	77
Figura 35. Sensores de Flexión ajustados al guate industrial. Elaboración propia. ....	78
Figura 36. Construcción final de guante con sensores de flexión adheridos. Elaboración propia. ....	78
Figura 37. Resorte para pruebas. Elaboración propia. ....	79
Figura 38. Primer prototipo de dedo. Elaboración propia. ....	80
Figura 39. Cincho de Plástico. Elaboración propia. ....	80
Figura 40. Prototipo de Prueba dedo funcional. Elaboración propia.....	81
Figura 41. Orificios para tendones dentro del dedo. Elaboración propia. ....	81
Figura 42. Prueba funcional de dedo con movimiento del servomotor. Elaboración propia. ...	82
Figura 43. Ensamblaje de mano robótica. Elaboración propia. ....	82
Figura 44. Prototipo final de mano robótica. Elaboración propia. ....	83
Figura 45. Base giratoria de 360°. Elaboración propia. ....	83
Figura 46. Montaje de la mano con servomotores. Elaboración propia. ....	84
Figura 47. Base de madera para prototipo. Elaboración propia. ....	84
Figura 48. Prototipo Final con ensamblaje completo. Elaboración propia. ....	85

## Índice de Tablas

Tabla 1. Empresas en México que cumplen con la seguridad industrial .....	16
Tabla 2. Porcentajes de empresas que cumplen con la seguridad industrial según la teoría	17
Tabla 3. Normas de Seguridad. Obtenido por la Secretaria del Trabajo y Prevención Social (2012) .....	30
Tabla 4. Normas de Organización. Obtenido por la Secretaria del Trabajo y Prevención Social (2012) .....	31
Tabla 5. Evolución de accidentes, enfermedades, incapacidades y defunciones de trabajo, 2003-2012 .....	32
Tabla 6. Los ocho estados con mayor ocurrencia de accidentes en México. José Luis Zarazúa Vilchis (2014) .....	32
Tabla 7. Clasificación de los Sensores Táctiles. Andrés López Lahoz (2013).....	35
Tabla 8. ADC Registros PIC MSP430G2553 .....	58



## Índice de Graficas

Grafica 1. Accidentes de Trabajo por Región Anatómica. Obtenido por la Secretaria del Trabajo y Prevención Social (2010) .....	12
Grafica 2. Accidentes de Trabajo por Tipo de Lesión. Obtenido por la Secretaria del Trabajo y Prevención Social (2010).....	12

## Resumen

La presente investigación se orienta a desarrollar una solución al problema que existe en cuanto al manejo de equipos o sustancias peligrosas dentro de la industria, el cual puede causar algún tipo de accidente en donde se puede incluso llegar a perder una mano o la movilidad de esta. En los últimos años, los accidentes que van relacionados en cuanto a la pérdida de alguna extremidad han ido en incremento, ya sea porque algún químico peligroso pueda caer en la mano, o alguna maquina pueda aplastar o mutilar parte de la mano es demasiado el peligro que se corre en algunos trabajos.

Para dar una solución a este problema se pensó en aplicar los conocimientos que hemos adquirido a lo largo de la ingeniería, siendo estos una herramienta muy importante para la creación de este prototipo, aprovechando toda la parte de programación, electrónica, comunicaciones y control se logró diseñarlo de manera que pudiera reproducir los movimientos de la mano, es por ello que los materiales que se utilizaron son flexibles pero al mismo tiempo fáciles de adaptar con los sensores de flexión y la parte del microcontrolador. El movimiento de los tensores se logró mediante el uso de los servomotores Futaba s3003 que tienen la funcionalidad de girar en ambos sentidos lo que ayudo a que la mano se abriera o cerrara, cada servomotor se conecto a cada uno de los sensores de deflexión, lo cual permitió tener un control mucho más preciso de cada uno de los dedos de la mano ayudado con la programación en el microcontrolador.

El diseño como se puede ver es una estructura hecha de madera compuesta de 5 sensores y 5 servomotores, estos servomotores están conectados mediante 2 líneas, una al ligamento inferior y otra al ligamento superior de cada dedo, esto para obtener un mejor movimiento. La mano pese a presentar una funcionalidad tiene deficiencias que pueden ser corregidas, el hecho de operar esta mano dentro del área de riesgo es un factor que se puede mejorar mediante una operatividad remota con el uso de protocolos de comunicación o tecnología inalámbrica. Aumentar los grados de libertad permitiría una mayor operatividad, ya que tener 3 grados de libertad le permite girar en 360° y ser mucho más eficaz. Fuera de esto el proyecto es funcional y cumple con las características de protección del usuario dejándolo libre de presentar riesgos innecesarios.

Cabe resaltar que existe una gran cantidad de variantes respecto a las manos robóticas, básicamente en lo que corresponde a su fabricación, las cuales usan circuitos completamente diferentes y presentan características variables, sin embargo, lo que nosotros buscamos fue una mano robótica que pueda reproducir los movimientos de la mano humana de la manera más natural y precisa posible.

## **Abstract**

This research is aimed at developing a solution to the problem that exists in the handling of equipment or dangerous substances within the industry, which can cause some type of accident where you can even lose a hand or the mobility of this. In recent years, accidents that are related to the loss of any limb have been increasing, either because a dangerous chemical can fall on the hand, or some machine can crush or mutilate part of the hand is too dangerous that runs in some jobs.

To give a solution to this problem it was thought to apply the knowledge that we have acquired throughout the engineering, being these a very important tool for the creation of this prototype, taking advantage of the whole part of programming, electronics, communications and control. design it so that it could reproduce the movements of the hand, that is why the materials used are flexible but at the same time easy to adapt with the flex sensors and the part of the microcontroller. The movement of the tensioners was achieved through the use of the Futaba s3003 servomotors that have the functionality of turning in both directions which helped the hand to open or close, each servomotor was connected to each of the deflection sensors, which allowed to have a much more precise control of each one of the fingers of the hand helped with the programming in the microcontroller.

The design as you can see is a structure made of wood composed of 5 sensors and 5 servomotors, these servomotors are connected by 2 lines, one to the inferior ligament and another to the superior ligament of each finger, this to obtain a better movement. The hand despite presenting a functionality has deficiencies that can be corrected, the fact of operating this hand within the risk area is a factor that can be improved through remote operation with the use of communication protocols or wireless technology. Increasing the degrees of freedom would allow greater operability, since having 3 degrees of freedom allows you to rotate in 360 ° and be much more effective. Apart from this, the project is functional and complies with the protection features of the user, leaving him free to present unnecessary risks.

It should be noted that there is a large number of variants regarding robotic hands, basically in what corresponds to their manufacture, which use completely different circuits and have variable characteristics, however, what we looked for was a robotic hand that can reproduce the movements of the human hand in the most natural and accurate way possible.

## Introducción

Para poder dar solución a la problemática previamente descrita se buscó desarrollar un prototipo que pueda reproducir los movimientos realizados por la mano humana para la realización de actividades en donde esté implicado algún tipo de riesgo o peligro sufriendo daños en alguna extremidad. Para ello se elaboró la presente investigación la cual se compone de 5 capítulos los cuales se describen a continuación:

En el capítulo 1 hablaremos de la metodología de la investigación en el cual se describe cómo surge la idea, la observación empírica, se describe la problemática, se plantean objetivos a alcanzar, se realiza una hipótesis y se justifica la realización de la presente investigación.

En el capítulo 2 hablaremos del marco contextual, en este se plantean 5 temas que consideramos los más importantes. El primer tema habla sobre la seguridad industrial en México, enfocándonos también en los distintos tipos de riesgos que pueden llegar a presentarse dentro de la industria. Así mismo haremos un énfasis en los tipos de daños causados derivados de algún tipo de accidente. Por último tocaremos la parte de las leyes de protección al trabajador desde un punto de vista mundial hasta uno particular y mostrando algunos ejemplos de equipos desarrollados por instituciones para ayudar a las personas.

En el capítulo 3 hablaremos de todo el marco teórico que se necesita para realizar este proyecto. Se abarcaron 3 áreas fundamentales las cuales están divididas como: área de software, de hardware y de comunicación. Dentro del área de Hardware hablaremos de los Sensores, los servomotores y el microcontrolador, así como la fuente de alimentación ATX. Dentro de la parte de software hablaremos de la parte del programa desarrollado en lenguaje C. En la parte de comunicación nos enfocaremos en la conversión analógica digital de los datos que adquiere el PIC para poder realizar el movimiento de la mano.

En el capítulo 4 mostraremos los cálculos que necesitamos para el desarrollo del prototipo. El código desarrollado en lenguaje C y por último los sensores y servomotores que utilizamos, desde sus principales características hasta su funcionamiento. Así mismo mostraremos las etapas que seguimos para la elaboración del prototipo.

Por último en el capítulo 5 escribimos nuestras conclusiones finales acerca del prototipo así como posibles mejoras y recomendaciones si es que futuras generaciones quieran retomarlo.

## 1.1 Planteamiento del Problema

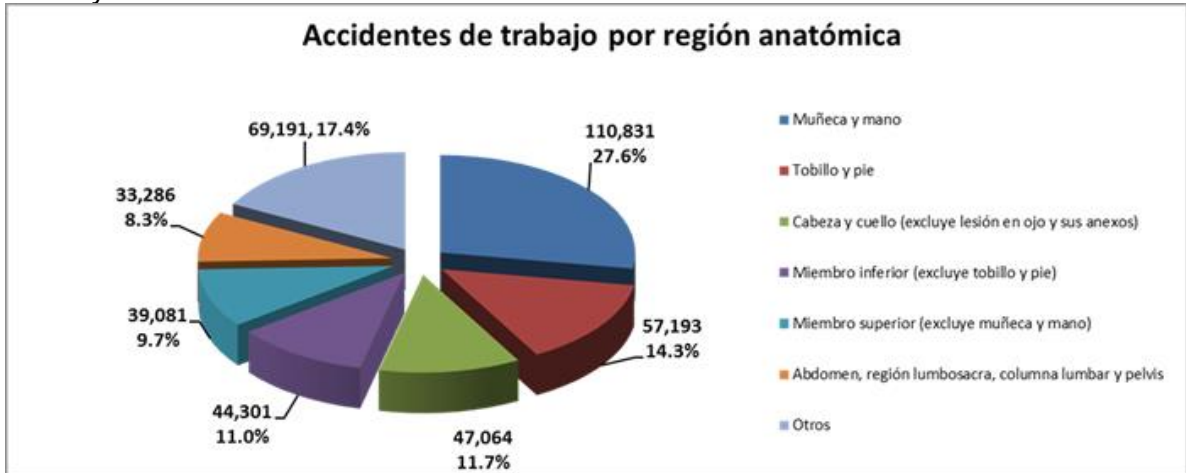
La idea de la presente investigación partió de observar la problemática que actualmente algunas empresas enfrentan. Muchas de las actividades que se realizan dentro de la industria principalmente en aquellas que son pequeñas, son realizadas de manera manual, algunas de estas actividades que se realizan dentro de los procesos productivos principalmente en las que se manejan sustancias peligrosas u objetos peligrosos con los que se tienen contacto, observamos que son de alto riesgo y al ejecutar este tipo de actividades todavía de manera manual presentan un alto riesgo a las personas que las realizan, el cual puede ir desde la pérdida de extremidades, enfermedades o alguna incapacidad física.

A partir del análisis de la problemática consideramos que un sistema manejado por medio de un guante con sensores de flexión y controlado de manera externa y segura por un operario que se encuentre fuera del contacto directo con los objetos o sustancias peligrosas, puede de alguna manera reducir estos riesgos de forma importante ya que la intervención del ser humano directamente con estas actividades de alto riesgo es mínima o casi nula. El poder desarrollar un mecanismo que reproduzca los movimientos de la mano el cual a su vez se encuentre conectado a un microcontrolador donde se tengan programadas las señales de cada dedo con un movimiento de 180° gracias a la ayuda de cada servomotor. Este prototipo podría permitirnos un desplazamiento alrededor de 50 cm para poder alcanzar y operar objetos con relativa facilidad casi como si la persona lo estuviera haciendo.

Con base en el análisis de la propuesta para la construcción de una mano robótica se puede observar que el diseño presenta gran complejidad debido a que el prototipo tiene que reproducir exactamente los movimientos de la mano y esto será fundamental para la realización de actividades dentro de la industria, esta problemática puede ser resuelta con la ayuda de los sensores de flexión los cuales detectaran los movimientos de la mano por medio de un guante que construimos. Estas señales serán procesadas a través del microcontrolador y enviadas a cada servomotor haciendo que el prototipo construido de la mano realice la función deseada.

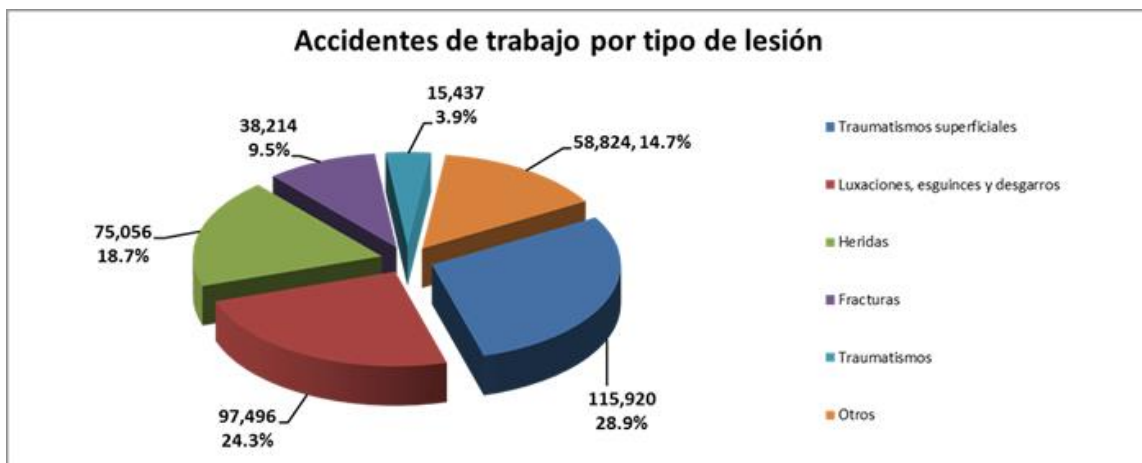
Creemos que el problema que sufren los trabajadores dentro de los procesos industriales ha ido en incremento, mucha de la maquinaria y objetos peligrosos convierten a las manos en la principal zona del cuerpo afectada por accidentes laborales. Estas situaciones ocurren por distintas circunstancias, por ejemplo, cuando se quiere desatascar productos trasladados en una cinta transportadora y las manos quedan atrapadas, o cuando se realiza la limpieza y manipulación de una máquina en movimiento.

Actualmente se cuenta con un nivel alto en cuanto a accidentes dentro del campo laboral en todo el país, por ejemplo, la Secretaria de Trabajo y Prevención Social menciona que solo en el año 2014 un 82.6% de los accidentes han sido en regiones anatómicas del cuerpo mientras que un 27.6% de los accidentes han sido en la muñeca y mano.



Grafica 1. Accidentes de Trabajo por Región Anatómica. Obtenido por la Secretaria del Trabajo y Prevención Social (2010). Trabajo Seguro. Recuperado del url <http://trabajoseguro.stps.gob.mx/trabajoseguro/boletines%20anteriores/2010/bol034/vinculos/2005-0422.htm> el día 07 de Abril del 2018.

Otro dato importante mencionado es que el 85.3 % de los accidentes de trabajo han dado origen principalmente a cinco tipos de lesiones: traumatismos superficiales, 28.9 %; luxaciones, esguinces y desgarros, 24.3 %; heridas, 18.7 %; fracturas, 9.5 %, y traumatismos, 3.9 %.



Grafica 2. Accidentes de Trabajo por Tipo de Lesión. Obtenido por la Secretaria del Trabajo y Prevención Social (2010). Trabajo Seguro. Recuperado del url <http://trabajoseguro.stps.gob.mx/trabajoseguro/boletines%20anteriores/2010/bol034/vinculos/2005-0422.htm> el día 07 de Abril del 2018

## **1.2 Objetivo General**

Diseñar y construir un prototipo animatrónico para el control y desarrollo de actividades de alto riesgo operativo dentro de los procesos industriales.

### **1.2.1 Objetivos Específicos**

Construir un prototipo de brazo con articulación mecánica de 2 grados de libertad.

Elaborar un programa en lenguaje C que permita el control del brazo mecánico mediante el uso del microcontrolador 18F2580.

Desarrollar un guante artificial con sensores de flexión que permita controlar el movimiento del brazo mecánico.

## **1.3 Justificación**

Una de las razones por las cuales se realizó la presente investigación es por la inquietud que tuvimos desde que iniciamos la carrera en Comunicaciones y Electrónica de poder desarrollar un prototipo o un autómatas que pudiera servir o auxiliar de alguna manera al ser humano dentro de sus actividades diarias o en su caso evitar riesgos innecesarios a la vida humana realizando la actividad o función de alto riesgo en lugar del hombre.

Este prototipo será diseñado para disminuir el número de accidentes dentro de la industria debido a que hoy en día los trabajadores están expuestos a actividades de alto riesgo y en algunos casos hasta pueden llegar a perder alguna de sus extremidades. Con este prototipo trataremos de que las personas que desempeñan este tipo de actividades de alto riesgo puedan seguir aportando su trabajo a la sociedad además de que será un auxiliar para reducir riesgos innecesarios, enfermedades o accidentes ya que al controlar este brazo de manera externa evitamos que el operario o el usuario tenga un contacto de manera directa con la zona de riesgo o con el trabajo de riesgo, entendiendo con ello la reducción de accidentes y la disminución de enfermedades e incapacidades.

El desarrollo de la presente investigación realiza un aporte y una justificación académica ya que sienta las bases de la aplicación de los sistemas de control y la electrónica para la creación de dispositivos o prototipos que permitan auxiliar al ser humano en actividades de alto riesgo y puede sentar las bases para que futuras generaciones no solo de la especialidad de control sino también de las demás especialidades puedan enfocar sus conocimientos en generar dispositivos o desarrollar nuevas mejoras en sus futuros proyectos que ayuden al ser humano y lo protejan de riesgos innecesarios así como apoyarlos con la creación de prótesis funcionales que les permitan realizar sus labores diarias.

#### **1.4 Hipótesis**

El diseño y construcción de un prototipo animatrónico para el control y desarrollo de actividades de alto riesgo operativo dentro de procesos industriales permitirá ayudar a los trabajadores que realizan actividades peligrosas dentro de la industria a ejecutar sus funciones, sin exponerse a sufrir algún tipo de accidente innecesario.

#### **1.5 Marco Geográfico**

La presente investigación se desarrolla en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Zacatenco ubicada en Calzada Ticomán No 600, San José Ticomán, CP 07340 Ciudad de México, CDMX.

#### **1.6 Marco Temporal**

El desarrollo de la presente investigación se lleva a cabo en el periodo que abarca de Junio 2017 a Junio 2018.



## Capítulo 2

### 2.1 Seguridad Industrial en México

Huerta en Werther (2000) define a la seguridad industrial como:

La técnica que estudia y norma la prevención de actos y condiciones inseguras causantes de los accidentes de trabajo. Conformar un conjunto de conocimientos técnicos que se aplican a la reducción, control y eliminación de accidentes de trabajo, previo estudio de sus causas.

Muñoz Antonio (2014) define a la seguridad industrial como algo muy complejo de definir, principalmente porque abarca distintos aspectos tanto humanos como sociales atacando al mismo tiempo la problemática.

Con base en lo anterior podemos definir a la Seguridad industrial como el estudio y prevención de todos aquellos actos y condiciones que puedan dañar, afectar o causar accidentes dentro del área de trabajo.

Por otro lado, podemos considerar que dentro de la seguridad industrial se encuentran distintos aspectos tanto humanos como sociales que pueden ser derivados por descuidos o condiciones de diseño que no cumplen los estándares mínimos de seguridad. Otro punto importante que cabe resaltar dentro de los aspectos humanos es la ética, tanto de los empleados como de las personas que están a cargo, ya que muchas veces la implementación de medidas de seguridad Industrial pueden llegar a ser muy eficientes, pero si las personas no las cumplen estas se vuelven inútiles.

Arzua Vilchis José Luis (2014) afirma que para poder definir de manera correcta a la seguridad industrial se tienen que tomar en cuenta los conceptos legales ya que estos dieron lugar al surgimiento de esta disciplina. Hace mención a que es fundamental tomar en cuenta el concepto de riesgo de trabajo ya que va de la mano con la seguridad industrial.

Actualmente la Seguridad Industrial no puede ser vista únicamente desde un solo enfoque, sino que se tiene que visualizar desde distintos puntos de vista para que esta se complemente. Esta nace o surge de la obligación que han ejercido los gobiernos a las secretarías de trabajo para que se implementen sistemas de seguridad o protección, así como normas de protección dentro de la industria.

Algo que debemos tomar en cuenta dentro de la Industria es el valor de los sistemas de control, esto es fundamental ya que gracias a estos sistemas se pueden detectar o prevenir a tiempo sucesos catastróficos inminentes. La mayoría de estos están constituidos por una supervisión del proceso con instrumentos y alarmas visualizadas principalmente por computadora, aunque también existe el riesgo de que la computadora que vigila el proceso pueda fallar, por lo que se debe tomar en cuenta las consecuencias que esto conlleva.

Los factores humanos entran de lleno en las decisiones de diseño relacionadas con los procesos. Es evidente que el análisis de seguridad de procesos es un tema de suma importancia y la persona encargada de la seguridad e higiene debe proveer las mejores soluciones tomando en cuenta las opiniones de los operadores y el personal de mantenimiento, ya que estos son los que se encuentran más familiarizados con el proceso e incluso suelen ser de suma importancia para el análisis de riesgos. Al documentar los riesgos de los procesos, debemos tener mucho cuidado de no omitir la solución a ningún problema.

Zarazúa Vilchis José Luis (2014) utilizó información obtenida de 213 empresas, realizando una división de acuerdo con el número de trabajadores con los que cuentan cada una de ellas, haciendo con esto una clasificación en microempresas que son las que tienen de cero a diez empleados; pequeñas, de once a cincuenta empleados; medianas, de cincuenta y uno a doscientos cincuenta empleados y, finalmente, empresas grandes que cuentan con más de doscientos cincuenta empleados.

Tamaño de la empresa	% que cumple	% que no cumple	% que confunde	Total en %	Proporción
Micro	50	50		100	1.89
Pequeña	70.7	24.4	4.9	100	19.24
Mediana	71.05	15.78	13.15	100	35.68
Grande	77.17	14.13	8.7	100	43.19

Tabla 1. Empresas en México que cumplen con la seguridad industrial. Obtenido de Asfahl, C. (2000) *Seguridad industrial y salud*, Pearson Educación México.

Tamaño de empresa	Cumplen	No cumplen	Confunden concepto	Totales
Micro	2	2	0	4
Pequeña	29	10	2	41
Mediana	54	12	10	76
Grande	71	13	8	92
Totales	156	37	20	213
Porcentajes	73.23	17.37	9.38	99.98

Tabla 2. Porcentajes de empresas que cumplen con la seguridad industrial según la teoría. Obtenido de Asfahl, C. (2000) *Seguridad industrial y salud*, Pearson Educación México.

## 2.2 Definición de Riesgo Industrial y su clasificación

Cañada Clé, J. (2009) afirma que los riesgos profesionales son todas aquellas situaciones que principalmente se derivan del trabajo y que sin duda rompen el equilibrio físico, mental y social de la persona. Para que podamos calificar un riesgo lo tenemos que hacer siempre desde el punto de vista donde observemos que tanta gravedad se presenta, valorando conjuntamente la probabilidad de que se pueda producir nuevamente tomando siempre en cuenta dos factores, la probabilidad y la severidad. Otro concepto que va muy de la mano con los riesgos son los daños derivados del trabajo entendiendo que estos no son más que las enfermedades, patologías o lesiones sufridas con motivo o por causa del trabajo.

Como comenta Cañada, un riesgo es aquel que expresa la posibilidad de daño causado en distintos aspectos en una persona. El daño a las personas puede expresarse en términos de daños inmediatos como la muerte, lesiones graves, o daños a la salud y a largo plazo como el desarrollo de una enfermedad degenerativa.

Podemos hacer una clasificación de los riesgos que se pueden sufrir dentro de la Industria, tomando en cuenta todos los factores que los rodean, tratando así de evitar que estos se vuelvan a presentar, sin embargo, esto también depende mucho de los trabajadores ya que aunque se tengan lineamientos y normas de seguridad, algunos operarios no cumplen con estos, ocasionando que los riesgos sigan presentes.

### **2.2.1 Riesgos provocados Agentes Mecánicos**

Díaz Olivares Ignacio (2009) menciona que los principales efectos que provocan este tipo de riesgos son caídas, golpes, atrapamientos, cortes, aplastamientos, fricciones o abrasiones, proyección de partículas, etc. Causando lesiones típicas como contusiones, traumatismos, heridas inciso-contusas, etc. Estos riesgos principalmente tienen origen debido al contacto que se tiene con el ambiente mecánico de trabajo como:

- Máquinas.
- Herramientas.
- Demás objetos presentes.

Como menciona Cañada este tipo de riesgos son muy frecuentes dentro de la industria, ya que la mayoría de las empresas cuentan con maquinaria pesada, por lo que los trabajadores no quedan exentos de sufrir algún accidente pese al uso del equipo de seguridad.

### **2.2.2 Riesgos provocados por Agentes Físicos**

Puebla Hernández Miguel Ángel (2009) plantea los principales efectos que provocan este tipo de riesgos destacando las principales lesiones que estos causan.

- Ruido: lesiones fisiológicas y psicológicas.
- Vibraciones: trastornos del aparato circulatorio, manos blancas, fenómeno del dedo muerto, lumbalgias, alteraciones del aparato digestivo, úlceras.
- Radiaciones: alteraciones cromosómicas, cataratas; la iluminación: pérdida de agudeza visual, etc.
- Presiones: Alteraciones en el sistema nervioso
- Temperatura: Deshidratación severa
- Humedad: falta de oxígeno

Las consecuencias que pueden generar estos tipos de riesgos derivados del contacto con agentes físicos pueden causar un daño severo no solo de manera momentánea, sino que también lo pueden hacer a largo plazo causando de esta manera lesiones o alteraciones físicas en el ser humano.

### 2.2.3 Riesgos provocados por Agentes Químicos

Espinosa, B. L. (2006). Plantea que las actividades industriales, comerciales y de servicio involucran la producción, almacenamiento y transporte de sustancias y materiales peligrosos. Estas actividades es indispensable se realicen de manera segura, para lo cual es importante conocer las propiedades y características de dichas sustancias y materiales, para prevenir y en su caso, mitigar el impacto de accidentes que puedan afectar a las personas, sus propiedades y al ambiente

Los principales efectos que provocan este tipo de riesgos tienen su origen debido al manejo de sustancias y productos peligrosos, haciendo énfasis en las lesiones que pueden causar lesiones severas en cualquier parte del cuerpo o inclusive producir enfermedades respiratorias o en la piel. Los principales agentes químicos que se presentan son tres:

- Sólidos: polvos / humos.
- Líquidos: nieblas / aerosoles.
- Gaseosos: gases / vapores.

### 2.2.4 Riesgos provocados por Agentes Biológicos

Gonzales, P. C. (2015). Riesgos provocados por agentes químicos y biológicos en el trabajo. Afirma que este tipo de agentes están conformados por seres vivos, comúnmente la percepción de ellos es casi imposible debido a su tamaño microscópico. Los contaminantes biológicos pueden ser: bacterias, hongos, protozoos, virus, larvas y gusanos parásitos. Se clasifican en cuatro tipos según su riesgo.

**Tipo I.** Contaminantes biológicos que es poco probable que causen daño al ser humano.

**Tipo II.** Contaminantes patógenos que provocan enfermedades, poco probable que se propaguen y se pueden tratar fácilmente, por ejemplo: virus de la gripa, herpes, etc.

**Tipo III.** Contaminantes patógenos que provocan enfermedades graves, se pueden propagar y se pueden tratar, por ejemplo: bacterias que causan tuberculosis, virus de la hepatitis o el SIDA.

**Tipo IV.** Contaminantes patógenos que provocan enfermedades graves, se pueden propagar fácilmente y no existe tratamiento alguno para ellas, un ejemplo claro es el virus del Ébola. Recuperado de <http://blogseguridadindustrial.com/riesgos-provocados-por-agentes-quimicos-y-biologicos-en-el-trabajo/>.

Diversos efectos que provocan este tipo de riesgos biológicos son causados por el contacto directo con animales y seres infectados o portadores de virus o bacterias. Provocando con esto enfermedades como hidrofobia, carbunco, hepatitis, leptospirosis, amebiasis, histoplasmosis, dermatofitosis, alergias respiratorias, etc.

### **2.2.5 Riesgos provocados por Factores Psicosociales**

Peiró J. M. (2004). Plantea que todas estas transformaciones pueden ser una fuente importante de estrés para los trabajadores y ello es causa de un deterioro significativo de su bienestar psicológico y de su salud. Por todo ello, es necesario un análisis preciso de los factores psicosociales de riesgo y el desarrollo de intervenciones dirigidas a prevenir, neutralizar o amortiguar los efectos negativos de esos riesgos. Existe evidencia suficiente para señalar que muchos de los cambios que persiguen la innovación tecnológica y el rediseño del sistema de trabajo tienen implicaciones y consecuencias para la salud y el bienestar de los trabajadores. Por una parte, mejoran determinadas condiciones de trabajo (ruido, sobrecarga física, posturas inadecuadas, riesgos de accidente, trabajo monótono, etc.) pero por otra, acaban introduciendo nuevos riesgos de carácter psicosocial

Las causas que provocan este tipo de riesgos se dan por el tipo de calidad que se tiene en cuanto a las relaciones humanas ya que depende mucho de que tan buena se hace la división de trabajo y la organización. Si no se llega a lograr un buen ambiente, el entorno laboral se vuelve tedioso y puede ocasionar accidentes, aunque también influyen otros aspectos como consideraciones o problemas personales fuera del trabajo.

Existen diferentes tipos de Riesgos que se corren dentro de la industria, como vimos anteriormente clasificamos los principales ya que en el campo de trabajo cada día van en incremento. Para reducir el número de accidentes, los trabajadores deberán usar adecuadamente el equipo de protección facilitado por la empresa para el desarrollo de sus actividades. Tanto el uso correcto de los dispositivos de seguridad y las condiciones en las que estos se encuentren será fundamental para que podamos reducir de manera significativa los riesgos o accidentes que puedan presentarse.

Como se pudo observar los riesgos que puede sufrir una persona pueden ser muchos, afectando desde una manera física hasta psicológica su salud causando un daño y posiblemente este irreversible.

Para evitar estos tipos de riesgos establecimos una lista de principios básicos de acción preventiva que se deben aplicar para proteger a los trabajadores frente a posibles accidentes.

Díaz, O. I., Medina, C. J., Puebla, M. A., Simon, M. J. y Soriano, S. M. (2012). Establecen las principales acciones preventivas que se deben de aplicar para proteger el derecho de los trabajadores frente a los riesgos laborales. Así:

1. Evitar los riesgos
2. Evaluar los riesgos que no se puedan evitar
3. Combatir los riesgos desde su origen.
4. Adaptar el trabajo a la persona, en particular en lo que respecta a la concepción de los puestos de trabajo, así como a la elección de los equipos y los métodos de trabajo y de producción, con miras, en particular, a atenuar el trabajo monótono y repetitivo y a reducir los efectos del mismo en la salud.
5. Tener en cuenta la evolución de la técnica.
6. Sustituir lo peligroso por lo algo que represente poco o ningún peligro.
7. Planificar la prevención, buscando un conjunto coherente que integre en ella la técnica, la organización del trabajo, las condiciones de trabajo, las relaciones sociales y la influencia de los factores ambientales en el trabajo.
8. Adoptar las medidas que antepongan la protección colectiva a la individual.
9. Dar las debidas instrucciones a los trabajadores.

Todo el conjunto de actuaciones que se desarrollan en la empresa para proteger a los empleados frente a los riesgos derivados del trabajo exige que el empresario o dueño de la empresa vaya más allá del simple cumplimiento formal de un conjunto predeterminado de obligaciones ya que este también tiene que ver que este tipo de riesgos no se vuelvan a presentar.

### 2.3 Daños Físico y Psicológicos derivados de Actividades Industriales

A. González, J. Bonilla, M. Quintero, C. Reyes, A. Chavarro (2016). Sostienen que los accidentes laborales pueden generarse por causas inmediatas o básicas: las inmediatas son las que producen el accidente de manera directa y están conformadas por actos inseguros (comportamientos inadecuados de los trabajadores que pueden originar un incidente laboral) y condiciones inseguras (Instalaciones, equipos, maquinaria y herramientas que se encuentran en mal estado y ponen en riesgo de sufrir un accidente a los trabajadores).

Según Beatriz Kayser (2011) las lesiones o daños laborales pueden ocurrir por diversas causas como la ejecución indebida de un proceso u operación sin conocer y tomar en cuenta la forma segura de realizar el trabajo o actividad. Considerando como actos inseguros, toda actividad voluntaria, por acción u omisión, que conlleva la violación de un procedimiento, norma, reglamento o práctica segura establecida tanto por el estado como por la empresa, que puede producir un accidente de trabajo o una enfermedad profesional.

A. González, J. Bonilla, M. Quintero, C. Reyes, A. Chavarro (2016). Comentan que el uso incorrecto de equipos, herramientas e instalaciones; defectos físicos o mentales, deficiencias en la audición etc.) y factores del trabajo (Supervisión y liderazgo deficiente; Políticas, procedimientos, guías o practicas inadecuadas; Planeación y/o programación inadecuada del trabajo, etc.)

El trabajador puede sufrir daños físicos en alguna parte del cuerpo e incluso hasta la pérdida total de alguna extremidad, también puede sufrir daños psicológicos como trastornos mentales o desarrollar algún tipo de miedo que intervenga con su vida cotidiana.

IMF BUSINESS SCHOOL (2018). Menciona que los daños o lesiones pueden tener manifestaciones diversas y se clasifican de la siguiente manera:

- **Lesiones emotivo-psíquicas:**

Vivencias del accidente concienziadas por sus testigos que engendran, en quienes lo presenciaron, emociones desagradables de sorpresa, susto, miedo, temor, terror o angustia.

- **Lesiones sensitivo-dolorosas:**

Originadas cuando las energías liberadas a consecuencia del accidente alcanzan a la víctima estimulando los receptores sensoriales de sus órganos de los sentidos (vista, oído, tacto, olfato y gusto), con intensidad suficiente para rebasar sus umbrales dolorosos.



- **Lesiones funcionales:**

Trastornos en las funciones fisiológicas, por el impacto energético derivado del accidente sobre las víctimas. Generalmente, en forma de parálisis, contracciones descontroladas de los músculos y trastornos en las conducciones nerviosas y en las funciones glandulares. Este tipo de lesiones resulta puro, aislado, cosa rara, ya que lo más frecuente es que acompañe a las psíquicas, a las dolorosas y a las estructurales. En principio, se explican como lesiones más precoces que la última y son los efectos de impactos energéticos de menor intensidad.

- **Lesiones estructurales:**

Alteraciones anatómicas por el fracaso en las resistencias mecánicas de los tejidos orgánicos frente a la intensidad agresiva de las energías coincidentes. Se manifiestan a través de fracturas, heridas, hemorragias, contusiones, laceraciones, roturas, amputaciones, implosiones, explosiones orgánicas. La lesión estructural va siempre acompañada de trastornos funcionales y dolorosos.

- **Muerte:**

Cualquier tipo de lesión funcional o estructural puede afectar a órganos y funciones vitales críticas como, el sistema nervioso, la circulación, o la respiración, determinando la muerte. Es la lesión personal máxima que se presenta de forma inmediata o muerte súbita, o mediata, en un plazo más o menos corto, tras el impacto energético. Cuando se presenta a largo plazo (días), se está ante la muerte aplazada, complicación de la evolución natural de las lesiones funcionales o estructurales inmediatas al accidente.

Dentro de las lesiones estructurales las de codo, muñeca o mano son de las más frecuentes en el ámbito laboral. Algunas de ellas pueden recuperarse con fisioterapia y antiinflamatorios, en algunos casos hay que recurrir a la cirugía. Como ya sabemos la mano es el órgano terminal de la extremidad superior, para el ser humano es una de las partes más importantes del cuerpo ya que esencialmente nos sirve para tomar o manipular objetos, por su riqueza funcional y sensitiva nos permite realizar múltiples movimientos y acciones necesarias para la supervivencia y relación con el medio ambiente. La importancia que tiene este órgano es vital y necesaria para el desarrollo de nuestras actividades diarias, aunque no podemos quedar exentos de sufrir algún accidente o daño dentro de nuestro lugar de trabajo.

La principal fuente de enfermedades o lesiones profesionales corresponde a la exposición de segmentos musculares causados por factores que no solo provienen del contacto con objetos o sustancias peligrosas sino también de actividades que requieren repetición, fuerza o posturas disfuncionales por periodos prolongados de tiempo.

Marce (2011). En el caso de actividades de alta repetición, las masas musculares asociadas no alcanzan una relajación completa, por lo tanto el nivel de perfusión de las células musculares y los extremos tendinosos disminuye significativamente, dando lugar a un metabolismo anaerobio y a una acumulación de sustancias de desecho que ocasionan dolor en el corto plazo, y la disminución progresiva de la capacidad muscular. La prolongación de esta situación, comienza a causar inflamación de las estructuras afectadas.

Saludemia (2018) Menciona que para catalogar como profesional a una enfermedad, es imprescindible que existan elementos básicos que la diferencien de una enfermedad común es por ello que decidimos nombrar las principales:

- Que el trabajo se haga "por cuenta ajena". Excluye por tanto a los trabajadores/as autónomos, aunque se incluye a los trabajadores/as agrarios por cuenta propia.
- Que sea a consecuencia de las actividades que se especifiquen en el cuadro de enfermedades profesionales. No obstante, las enfermedades profesionales que no se encuentren reflejadas en el mismo pueden quedar incluidas en el concepto de accidente laboral.

Asfahl, C. (2000) divide los principales puntos de riesgo que se tienen durante los procesos con las maquinas:

- 1.Punto de Operación
- 2.Puntos de Transmisión de energía
- 3.Puntos de Pellizco entrantes
- 4.Piezas de la maquina rotatorias o reciprocantes
- 5.Particulas, chispas o piezas voladoras

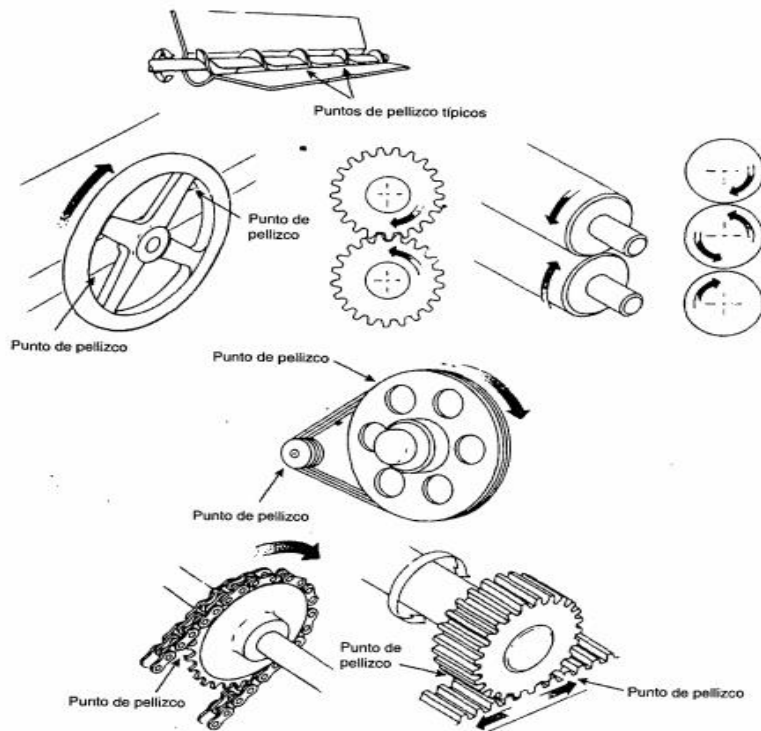


Figura 1. Principales puntos de riesgo en maquinaria. Obtenido de Asfahl, C. (2000) *Seguridad industrial y salud*, Pearson Educación México.

### 2.3.1 Consecuencias graves con la pérdida de un miembro o extremidad

Ocampo, L. M., Henao, M. L. y Vázquez, L. (2010). Mencionan que las amputaciones traumáticas traen consigo alteraciones psicológicas que tienen repercusiones emocionales, familiares y sociales en los individuos que las padecen; implicando un cambio radical en su estilo y calidad de vida. Las personas que padecen amputaciones traumáticas están en una situación en la que tienen que depender de los demás, lo que genera sentimientos de miedo e ira. La situación de discapacidad “se acompaña en forma prácticamente constante de reacciones emocionales, cuyo reconocimiento y manejo deben ser iniciados desde el mismo momento en que se establece el déficit”. La reacción ante la pérdida de un miembro y el duelo que la acompaña conduce a ciertas actitudes, como “las alteraciones de la motivación y las reacciones emocionales que se ubican en primer lugar de las manifestaciones o síntomas del desajuste del individuo, causando dificultades consecutivas que pueden perturbar el proceso de rehabilitación”

Osorio L. J. (2011). Explica que una amputación es una condición adquirida cuyo resultado es la pérdida de una extremidad y cuya causa suele ser una lesión, una enfermedad o una operación quirúrgica. Por lo regular la pérdida de un miembro causa gran trauma psicológico a la persona que lo sufre; éste puede temer que la amputación disminuya la aceptación por parte de la sociedad, principalmente su familia; la pérdida de una parte del cuerpo altera la imagen que el paciente tiene de su cuerpo y puede disminuir su autoestima.

El paciente se enfrentará a la posibilidad de pérdida de la locomoción o en algunos casos una invalidez permanente. Toda respuesta a la amputación es altamente individual, pero es afectada por factores como la edad ya que no tendrá el mismo impacto en una persona de 20 años a una persona de 40, el estado emocional y nivel de desarrollo del paciente es muy distinto, destacando los cambios en sus costumbres o hábitos dentro de su vida diaria:

Dependiendo del nivel de amputación, se puede distinguir los siguientes tipos

- Desarticulación del hombro.
- Amputación transhumeral (por encima del codo).
- Desarticulación del codo.
- Amputación transradial (por debajo del codo).
- Desarticulación de la muñeca.
- Amputación parcial de mano.

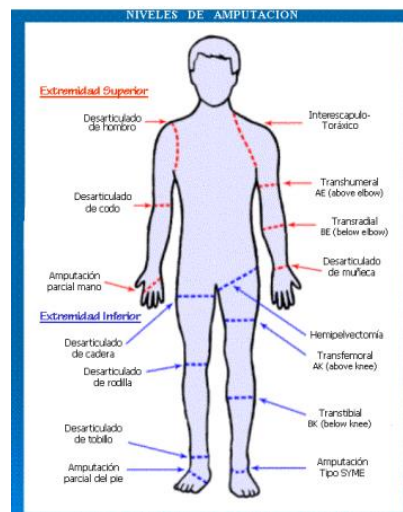


Figura 2. Niveles de Amputación. Recuperado por Dr. Carlos Arce González (2018). Consecuencias de la Perdida de una extremidad. Recuperado del url: <http://www.arcesw.com/niveles.htm>. Consultado el 10 de Abril de 2018.

Dentro de las lesiones más comunes que existen en el desarrollo de actividades de alto riesgo ocurren en la mano. Estas pueden ir desde una lesión leve a una lesión más grave en donde ocurra algún tipo de amputación.

Una de las lesiones más comunes es perder la movilidad de la mano, esto muchas veces es causado por las lesiones en algún tendón a articulación de la mano.

Rosella Vargas Saenz (2016). Menciona que conocer la composición, organización y funcionamiento de los tendones flexores permite al fisioterapeuta comprender la fisiopatología de las afectaciones que pueden presentar y el proceso de reparación que atraviesan después de una lesión. El aparato flexor de la mano está compuesto por un complejo sistema de tendones, poleas y otras estructuras anatómicas que contribuyen a su óptimo funcionamiento y permiten realizar uno de los movimientos más importantes y funcionales de la mano, como lo es la flexión de los dedos.

### 2.3.2 La anatomía del aparato flexor

De acuerdo con Mustafa, A. (2018) Los tendones flexores se mantienen aplicados sobre el esqueleto de los dedos por un sistema de poleas osteofibrosas que dirigen los tendones en el sistema poliarticular sobre el que actúan. Además, están rodeados de unas vainas sinoviales que permiten su deslizamiento y los nutren, junto con los mesotendones y vínculas.

Rosella Vargas Saenz (2016). Menciona que el aparato flexor está compuesto por una serie de estructuras anatómicas que, en conjunto, permiten su funcionamiento.

Argumenta que los tendones flexores de la mano pueden dividirse en 2 tipos:

- Tendones flexores profundos: Estos se insertan en la falange distal
- Tendones flexores superficiales: Estos rodean al flexor profundo a través del quiasma de Camper y se insertan en la falange media de los dedos.

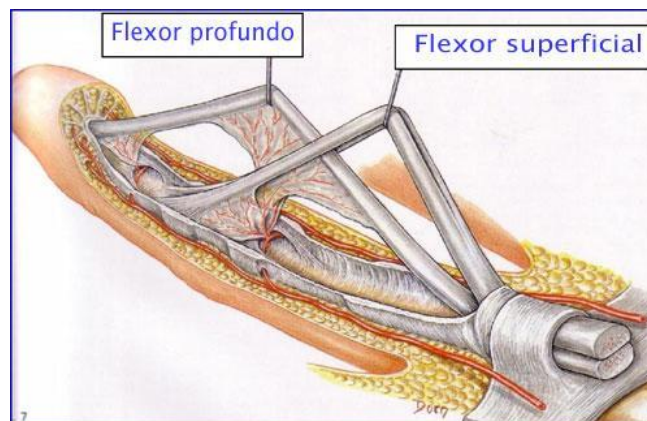


Figura 3. Tipos de Tendones Flexores. Sinovectomía de los flexores de la mano. Recuperado del url: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211033X16765728> Consultado el 18 de Abril de 2018.

## 2.4 Leyes de Protección al Trabajador en el Ámbito de la Seguridad Industrial

La Secretaría del Trabajo y Previsión Social (2007) define a las Normas Oficiales Mexicanas como:

“Regulaciones técnicas de observancia obligatoria expedidas por dependencias del gobierno de acuerdo con el artículo 40 fracción XI de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal.”

Soria Alejandro (2018). Afirma que en la actualidad la Secretaría del Trabajo y Previsión social tiene 43 normas oficiales, aunque no todas las normas son aplicables a todos los procesos productivos o actividades económicas pues cada norma regula asuntos diferentes.

La Dirección General de Seguridad y salud en el trabajo ha agrupado las NOM en cinco tipos que son:

**I. Normas de Seguridad.** En este ámbito se agrupan las normas que buscan eliminar o disminuir los accidentes de trabajo.

**II. Normas de salud.** Están orientadas a prevenir las enfermedades de trabajo, apoyándose en el reconocimiento, evaluación y control de agentes químicos, físicos y biológicos presentes en el medio ambiente laboral.

**III. Normas de organización.** Estas tienen en común la función de dictar medidas generales, encaminadas a coordinar los recursos materiales, humanos y financieros disponibles para llevar a cabo la seguridad y salud en el trabajo.

**IV. Normas específicas.** Estas están enfocadas a ramas de actividad específica como son las actividades agrícolas, aserraderos, ferrocarriles y minas, describiendo en su contenido los aspectos críticos y generales de seguridad e higiene que deben ser observados para preservar la vida y la salud de los trabajadores.

**V. Normas de producto.** Estas regulan especificaciones de productos, por lo que son dirigidas principalmente a fabricantes, comercializadoras, importadores y distribuidores de los mismos, y su cumplimiento en los centros de trabajo se vigila de manera indirecta.

La Seguridad y salud en el ámbito laboral es fundamental y un requisito indispensable al cual tienen que tener derecho todos los trabajadores, es por ello que se implementan todas estas normas ya que nos ayudan a prevenir accidentes, riesgos o enfermedades que se puedan sufrir.

### 2.4.1 Asociaciones y Leyes Mundiales encargadas de la Seguridad Industrial

El doctor Carlos Ernesto Molina (2005) propone una definición de las Normas Mundiales de Trabajo de la siguiente manera:

“Son normas jurídicas generales, impersonales y abstractas de derecho internacional público, de índole predominantemente laboral, de origen convencional o consuetudinario, generalmente contenidas en tratados o acuerdos internacionales vinculantes, que, una vez incorporadas al ordenamiento interno estatal, crean directamente derechos subjetivos o comprometen internacionalmente al respectivo Estado a adoptar las medidas necesarias para crearlos.”

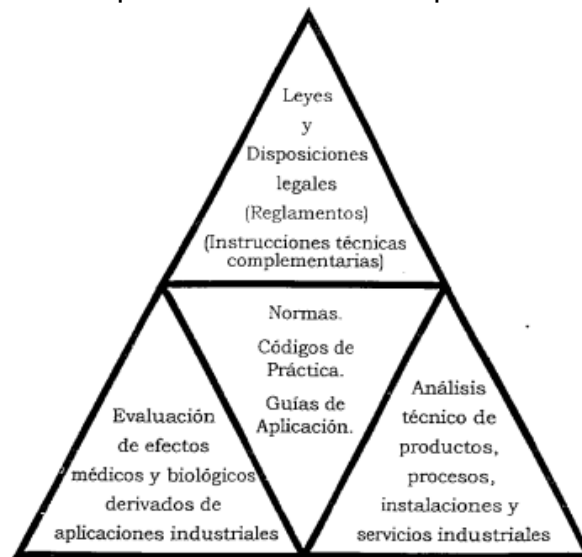


Figura 4. Estructura Esquemática de la metodología técnica de la Seguridad Industrial. Antonio Muñoz, José Rodríguez Herrerías y José M. Martínez (2014), La Seguridad Industrial Fundamentos y Aplicaciones, 1ª ed, México, Miner.

O.S.H.A (2016). Afirma que el trabajador tiene derecho a trabajar en un entorno seguro. Se aprobó la Ley de seguridad y salud ocupacional de 1970 con el fin de impedir que los trabajadores mueran o se lesionen en el trabajo. La ley exige que los empleadores brinden a sus empleados condiciones de trabajo libres de peligros conocidos. Con la ley se creó la Administración de Seguridad y Salud Ocupacionales (OSHA), que establece y ejecuta normas que protegen la seguridad y salud en el lugar de trabajo. Además, la OSHA brinda información, capacitación y asistencia a empleadores y trabajadores.

Otra organización además de la OSHA de suma importancia es la Organización Internacional del Trabajo (OIT) la cual está consagrada a la promoción de la justicia social, de los derechos humanos y laborales reconocidos internacionalmente. La OIT reúne a gobiernos, empleadores y trabajadores de 187 Estados miembros a fin de establecer las normas del trabajo, formular políticas y elaborar programas promoviendo el trabajo decente de todos, mujeres y hombres.

Cortes, J. M. (2007). Afirma que la función de la OIT consiste en la elaboración de Convenios y Recomendaciones con las que se condiciona la política de los Estados, si bien no dispone de fuerza coactiva directa, indirectamente dispone de medios de persuasión para conseguir su respeto y adopción por los distintos Estados miembros.

Su actuación se centra en el mejoramiento de las condiciones y el medio ambiente de trabajo, misión principal y permanente de la OIT, basando su actuación en tres campos técnicos principales:

- La seguridad e higiene en el trabajo.
- La duración y el ordenamiento del tiempo de trabajo.
- La organización y el contenido del trabajo.

#### 2.4.2 Normas Oficiales en México en materia de Seguridad Industrial

S.T.P.S. (2012). Afirma que la seguridad y salud en el trabajo se encuentra regulada por diversos preceptos contenidos en nuestra Constitución Política, la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, la Ley Federal del Trabajo, la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, el Reglamento Federal de Seguridad y Salud en el Trabajo, así como por las normas oficiales mexicanas de la materia, entre otros ordenamientos. Las normas oficiales mexicanas que emite la Secretaría del Trabajo y Previsión Social determinan las condiciones mínimas necesarias para la prevención de riesgos de trabajo y se caracterizan por que se destinan a la atención de factores de riesgo, a los que pueden estar expuestos los trabajadores.

Número	Título de la norma
NOM-001-STPS-2008	Edificios, locales e instalaciones
NOM-002-STPS-2010	Prevención y protección contra incendios
NOM-004-STPS-1999	Sistemas y dispositivos de seguridad en maquinaria
NOM-005-STPS-1998	Manejo, transporte y almacenamiento de sustancias peligrosas
NOM-006-STPS-2014	Manejo y almacenamiento de materiales
NOM-009-STPS-2011	Trabajos en altura
NOM-020-STPS-2011	Recipientes sujetos a presión y calderas
NOM-022-STPS-2008	Electricidad estática
NOM-022-STPS-2015	Electricidad estática
NOM-027-STPS-2008	Soldadura y corte
NOM-029-STPS-2011	Mantenimiento de instalaciones eléctricas
NOM-033-STPS-2015	Trabajos en espacios confinados
NOM-034-STPS-2016	Acceso y desarrollo de actividades de trabajadores con discapacidad

Tabla 3. Normas de Seguridad. Obtenido por la Secretaría del Trabajo y Previsión Social (2012). Marco Normativo de Seguridad y Salud en el Trabajo. Recuperado del URL: <http://asinom.stps.gob.mx:8145/Centro/CentroMarcoNormativo.aspx> el día 10 de Abril del 2018



Número	Título de la norma
NOM-017-STPS-2008	Equipo de protección personal
NOM-018-STPS-2000	Identificación de peligros y riesgos por sustancias químicas
NOM-019-STPS-2011	Comisiones de seguridad e higiene
NOM-026-STPS-2008	Colores y señales de seguridad
NOM-028-STPS-2012	Seguridad en procesos y equipos con sustancias químicas
NOM-030-STPS-2009	Servicios preventivos de seguridad y salud

Tabla 4. Normas de Organización. Obtenido por la Secretaria del Trabajo y Prevención Social (2012). Marco Normativo de Seguridad y Salud en el Trabajo. Recuperado del URL: <http://asinom.stps.gob.mx:8145/Centro/CentroMarcoNormativo.aspx> el día 10 de Abril del 2018

### 2.4.3 Situación actual de los accidentes y enfermedades laborales en México

A pesar de que en México se tiene todo un marco legal que intenta prevenir, evitar y disminuir los riesgos de trabajo, y se cuenta también con dos técnicas administrativas enfocadas a enfrentar estos problemas, en la actualidad los accidentes de trabajo en México han ido en aumento, al menos en la última década.

De acuerdo con la Organización Internacional del Trabajo (OIT) (2016). Cada 15 segundos, un trabajador muere a causa de accidentes o enfermedades relacionadas con el trabajo. Cada 15 segundos, 153 trabajadores tienen un accidente laboral. Cada día mueren 6 mil 300 personas a causa de accidentes o enfermedades relacionadas con el trabajo, lo que representa más de 2.3 millones de muertes por año. Información de esta organización asegura que “las condiciones de seguridad y salud en el trabajo difieren enormemente entre países, sectores económicos y grupos sociales”, y afirma que “los países en desarrollo pagan un precio especialmente alto en muertes y lesiones, pues un gran número de personas están empleadas en actividades peligrosas” (oit, 2013), además de los costos que acarrear los accidentes para varios sectores de la sociedad como se verá al final de este documento.

Año	Patrones Prom.	Trab.	Accidentes	Enferm.	Incap.	Defun.
2003	804 389	12 088 468	278 525	7 811	21 935	1 104
2004	804 389	12 348 259	282 469	7 418	20 753	1 077
2005	802 107	12 735 856	295 594	7 292	19 721	1 112
2006	810 181	13 578 346	309 539	4 715	18 140	1 071
2007	823 999	14 424 178	361 244	2 691	16 415	1 052
2008	833 072	14 260 309	411 179	3 681	17 487	1 133
2009	825 755	13 814 544	395 024	4 101	18 721	1 109
2010	829 500	14 342 126	403 336	3 466	22 389	1 125
2011	821 572	14 971 173	422 043	4 105	24 395	1 221
2012	824 823	15 671 533	434 600	4 853	24 488	1 152

Tabla 5. Evolución de accidentes, enfermedades, incapacidades y defunciones de trabajo, 2003-2012. Nacional. José Luis Zarazúa Vilchis (2014), Seguridad Industrial: Concepto y Resignificaciones Practicas, 1ª ed., México, Gestión y Estrategia.

Estado	Accidentes 2011	Accidentes 2012
México	53 653	57 253
Jalisco	46 164	47 762
Distrito Federal	40 373	39 778
Nuevo León	30 555	30 670
Baja California	22 486	22 189
Veracruz	17 765	17 995
Sonora	16 552	17 688
Guanajuato	16 712	17 257

Tabla 6. Los ocho estados con mayor ocurrencia de accidentes en México. José Luis Zarazúa Vilchis (2014). Seguridad Industrial: Concepto y Resignificaciones Practicas, 1ª ed., México, Gestión y Estrategia.

## 2.5 Instituciones y Empresas que desarrollan equipos para ayudar a personas con alguna discapacidad.

La Robótica y la Electrónica han ido evolucionando a lo largo de la historia, logrando grandes aportes sociales en cuanto a prototipos y prótesis capaces de imitar al ser humano.

A continuación, presentamos algunos prototipos realizados por diferentes instituciones.

Andrade D. M. y Zúñiga D. A. (2011). Mencionan que el primer prototipo denominado “Traductor Dactilológico”, desarrollado por el Instituto Politécnico Nacional, tiene la capacidad de transformar los movimientos de la mano en palabras que aparecen escritas en una un LCD, esto con el objetivo de lograr comunicarse con personas que no saben la lengua de señas.

Está compuesto por un guante que tiene microswitches colocados en cada dedo, estos envían señales a una tarjeta electrónica que tiene un microcontrolador y mediante la programación del mismo puede traducir los movimientos en palabras o frases. Actualmente consta de cien palabras entre estas se encuentran preguntas frecuentes, saludos y frases cortas.



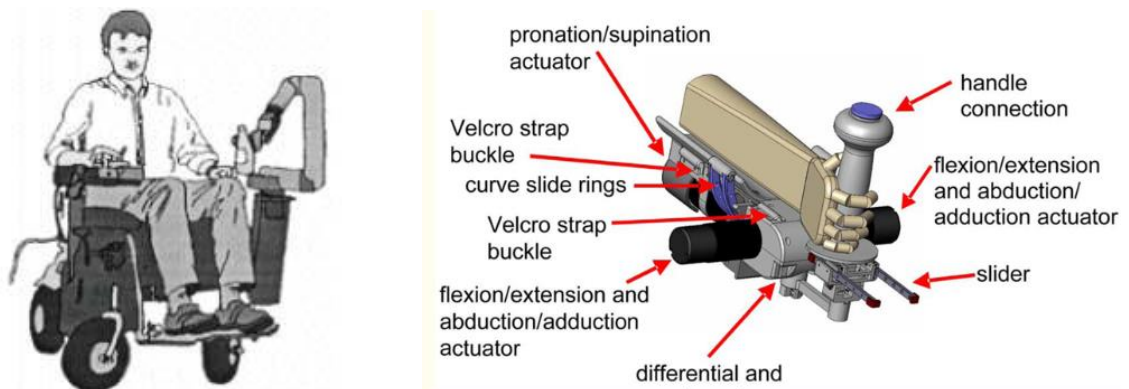
Figura 5. Prototipo de traductor de la lengua de señas. Jaime Becerril Delgado, Luis Cerda García y Daniel Nieto Sánchez 2009. Fuente: <http://noticias.universia.net.mx/vidauniversitaria/noticia/2009/01/05/17962/ipn-crea-quante-electronico.html>

Andrade D. M. y Zúñiga D. A. (2011). Afirman que Caber Glove II desarrollo un guante, el cual transforma el movimiento de las manos y dedos a un dato en tiempo real de cada articulación. Transmitiendo estos datos inalámbricamente, tiene 18 a 22 sensores resistivos flexibles. Sus usos varían desde capturar movimientos, estudios biomecánicas y entrenamiento médico y militar.



Figura 6. Guante CyberGlove. Diego Ivan Pilaquina Abadiano (2009). Diseño y Construcción de una Mano Robotica Fuente: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1774/1/CD-2371.pdf> consultado el 20 de Abril de 2018

En cuanto a la parte y desarrollo medico existen desarrollos de sistemas robóticos o prototipos para la asistencia a personas con severas discapacidades. Un claro ejemplo es el robot MANUS, el cual esta construido a base de una silla de ruedas que tiene un manipulador como un brazo robótico con seis GDL y una pinza de



agarre. Fue usado por más de 100 personas en países como Holanda y Francia.

Figura 7. Prototipo para rehabilitación. Bruce T. Volpe , Dustin Williams , James Celestino , Steven K. Charles , Daniel Lynch y Neville Hogan (2007).

Neurorrehabilitación asistida por robot. Fuente: <http://noticias.universia.net.mx/vida-universitaria/noticia/2009/01/05/17962/ipn-crea-guante-electronico.html> consultado el 13 de Abril de 2018.

## Capítulo 3

En el siguiente capítulo hablaremos de la información técnica que respalda nuestro proyecto.

Para el desarrollo del prototipo se abarcaron 3 áreas fundamentales el área de software, el área de hardware y el área de comunicación.

Dentro del área de Hardware hablaremos de los Sensores, los servomotores y el microcontrolador, así como la fuente de alimentación ATX. Dentro de la parte de software hablaremos de la parte del programa desarrollado en lenguaje C. En la parte de comunicación nos enfocaremos en la conversión analógica digital de los datos que adquiere el PIC para poder realizar el movimiento de la mano.

### 3.1 Hardware

#### 3.1.1 Sensores

Un sensor es un dispositivo capaz de detectar diferentes magnitudes físicas, con el objetivo de enviar una señal y permitir que esta pueda ser utilizada dentro de algún proceso.

Según López Lahoz (2013) los sensores pueden clasificarse en distintos tipos, sin embargo, para este proyecto los sensores de deflexión son los que nos interesan ya que estos son los más adecuados para implementarse. Estos se encuentran dentro de una de las familias de sensores más variadas debido a que están basados en diferentes propiedades físicas. A continuación, presentamos una tabla con su clasificación:

Tipos de sensores	Tecnologías	Propiedades físicas	Configuración del robot
Sensores de presión	- Capacitivo - Piezorresistivo - Óptico	Estático (presión normal)	Extrínseco
Sensores de deflexión del revestimiento	- Gomas conductoras - Galgas de presión piezorresistivas - Óptico	Estático (deformación)	
Sensores de dinámica táctil	- Transductores piezoeléctricos - Acelerómetros - Sensores piezoeléctricos de estrés	Dinámicos (vibración, estrés)	
Sensores de fuerza/par en la punta del dedo	- Galgas de presión piezorresistivas	Estático (fuerza/par)	Intrínseco

Tabla 7. Clasificación de los Sensores Táctiles. Andrés López Lahoz (2013). Sensores Táctiles para Aplicaciones Robóticas de Manipulación Fuente:<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/69022/L%3C%93PEZ%20-%20Sensores%20t%3CA1ctiles%20para%20aplicaciones%20rob%3CB3ticas%20de%20manipulaci%3CB3n.pdf?sequence=2> consultado el 7 de Mayo de 2018.

La sensorización táctil tiene como principal objetivo obtener datos o señales del medio justo como si fuera medido por el sentido de tacto humano. Gracias a estos sensores basados en galgas extensiométricas nos permitirán medir una señal variable transformando las variables físicas en señales eléctricas.

Según SpectraSymbol (2018) el principio de funcionamiento de este sensor es debido a la deformación que sufre cuando se flexiona ya que gracias a ello su resistencia aumenta. Uno de los lados del sensor está impreso con una tinta polimérica que tiene partículas conductoras embebidas al mismo. Cuando el sensor sufre una deformación, las partículas conductoras se separan respecto a su estado inicial, aumentando así su resistencia. Cuando se cesa la deformación, el sensor vuelve a su estado de reposo y con ello, a la resistividad inicial. Debemos destacar que para realizar una lectura correcta, es necesario que las partículas conductoras se expandan de la manera más adecuada posible.

El diagrama básico de conexión y el cambio de resistencia que presenta al doblarse se muestra a continuación en la figura siguiente:

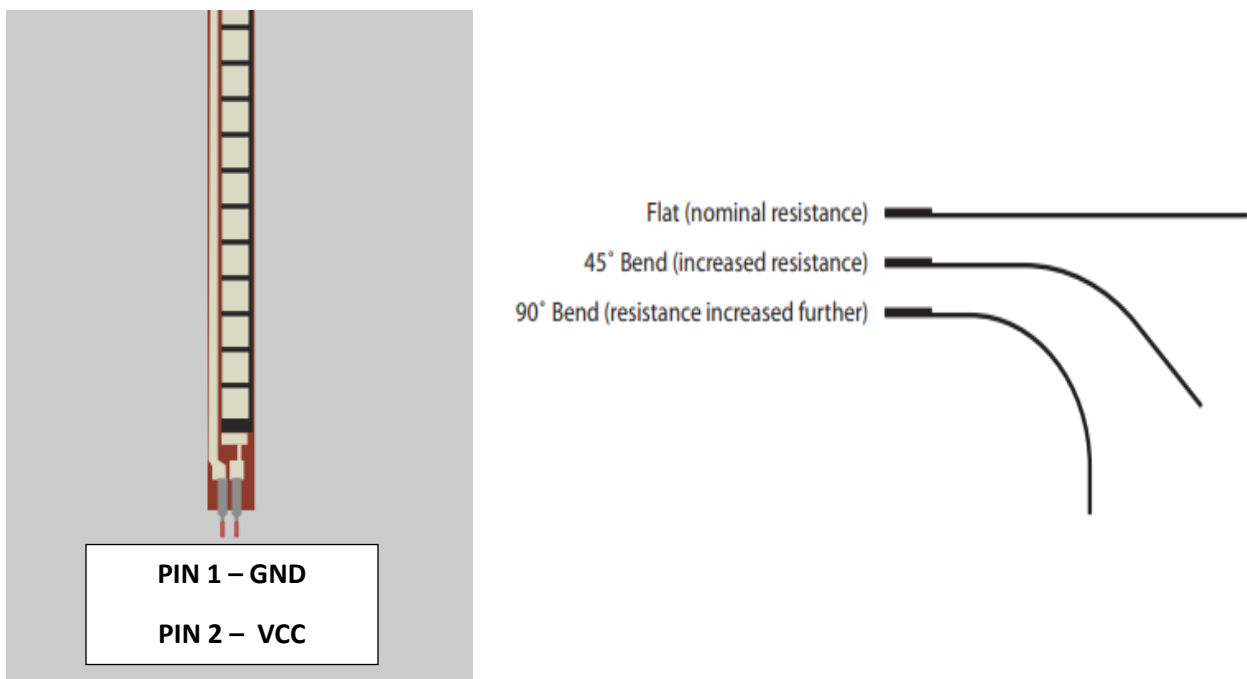


Figura 8. Diagrama básico Sensor de Deflexión. SpectraSymbol (2018). Datasheet Sensores de Flexion. Fuente:

<https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/ForceFlex/FLEXSENSORREVA1.pdf>  
consultado el 7 de Mayo de 2018.

Alzate Rodríguez y Montes Ocampo (2007) mencionan que las galgas extensiométricas permiten obtener, mediante el adecuado acondicionamiento de la señal resultante, una lectura directa de la deformación longitudinal producida en un punto de la superficie de un material dado, en el cual se ha adherido la galga. Los cambios en la resistencia se originan por la modificación de la geometría en la longitud o el área y el cambio en la resistividad. La dependencia de la resistividad en deformación mecánica se expresa en términos del coeficiente de piezoresistencia.

Este sensor se basa principalmente en un efecto piezorresistivo, el cual es una propiedad de algunos materiales, que cambian la resistencia eléctrica cuando se le someten a ciertos esfuerzos o se deforman en dirección de los ejes mecánicos. Las galgas se basan en la propiedad física de conductancia eléctrica y depende de la geometría del conductor. Cuando un conductor eléctrico se estira, éste se vuelve más delgado y largo, aumentando su resistencia eléctrica; de manera contraria, cuando un conductor es comprimido, éste se vuelve más ancho y corto, disminuyendo así su resistencia eléctrica. Midiendo la resistencia eléctrica de la galga, se puede entonces calcular el valor de la tensión aplicada.

### 3.1.2 Puente de Wheatstone

De acuerdo con Alzate Rodriguez y Montes Ocampo (2007) la forma habitual de obtener una señal eléctrica como resultado de una medida empleando un puente de Wheatstone, es mediante el método de deflexión. En éste método, se mide la diferencia de voltaje entre ambas ramas o la corriente a través de un detector dispuesto en el brazo central. Existen tres tipos de montajes básicos: con una, dos y cuatro galgas. El uso de múltiples medidores permite compensar los efectos no deseados, como componentes de temperatura y deformaciones específicas.

El cambio de resistencia es medido a través de un puente de Wheatstone, balanceando los brazos de un circuito en puente. El puente consiste en cuatro resistencias que forman un circuito cerrado, siendo una de ellas la resistencia bajo medida ( $R_x$ ).

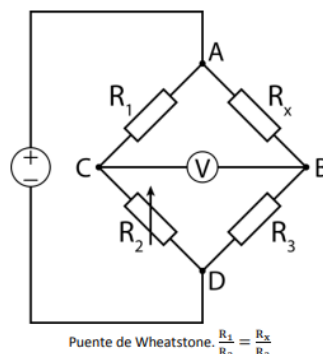


Figura 9. Puente de Wheatstone. Recuperado del URL: <http://opam353.blogspot.mx/2012/05/practica-6-puente-de-wheatstone.html> consultado el 04 de Mayo de 2018.

Características:

- Tolerancia de la Resistencia:  $\pm 30\%$ .
- Potencia nominal: 0,50 Watts continuos.
- La resistencia al no estar doblada es: 10k a 25K Ohms.(dependiendo la longitud)
- Rango de la curva de la resistencia: 45K a 125K Ohms (dependiendo del radio de curvatura).
- Altura: 0.43 mm (0.017 ").
- Rango de temperatura:  $-35^{\circ}\text{C}$  a  $+80^{\circ}\text{C}$ .

### 3.1.3 Microcontroladores

Los microcontroladores no son mas que un circuito integrado programable encargados de desarrollar o ejecutar una o varias tareas. Para estas tareas, se construye un programa o código el cual trabaja con algunos datos almacenados temporalmente e interactúa con el exterior a través de entradas y salidas de las cuales dispone. En aplicaciones o tareas con cierto grado de dificultad se pueden utilizar distintos microcontroladores.

La siguiente figura muestra el esquema general básico de un microcontrolador el cual esta compuesto por tres bloques fundamentales: el CPU(Central Processing Unit), la memoria, y las entradas y salidas. Estos distintos bloques son conectados entre si a través de líneas eléctricas o buses. Los buses pueden ser de direcciones, de datos o de control dependiendo lo que se este transportando.

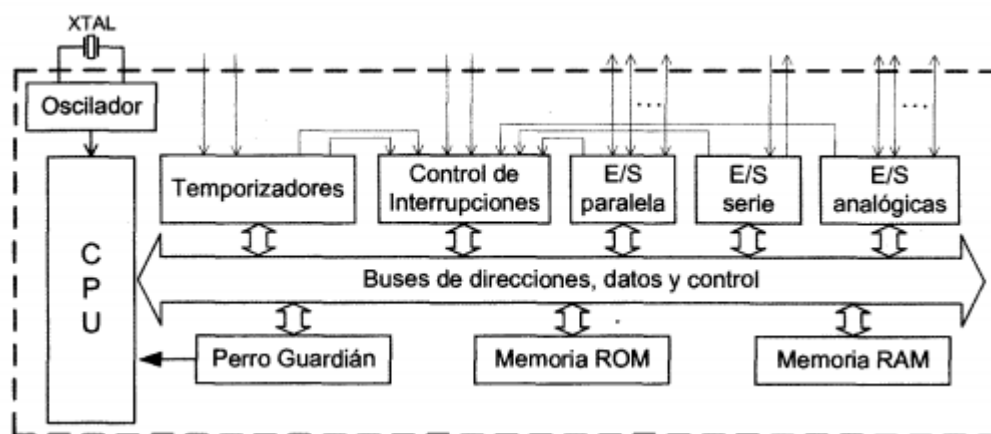


Figura 10. Esquema básico general de un Microcontrolador. Fernando E. Valdez Pérez y Ramón Pallas Areny (2007). Microcontroladores Fundamentos y Aplicaciones con PIC. Obtenido del URL: <https://drive.google.com/drive/folders/0B8BaeUC1N1CDbW5oNU1pSTRPR0k> consultado el 06 de Mayo de 2018.



La CPU es el cerebro del microcontrolador y actúa bajo el control del programa almacenado en la memoria encargándose de interpretar y llevar a cabo las instrucciones. Este también incluye operaciones aritméticas lógicas con datos binarios.

Los Microcontroladores también disponen de un oscilador que genera pulsos que se encargan de sincronizar todas las operaciones internas. El oscilador puede ser de tipo RC, aunque generalmente se prefiere utilizar un cristal de cuarzo debido a su gran estabilidad de frecuencia. La velocidad de ejecución en las instrucciones del programa tiene una relación directa con la frecuencia del oscilador.

Según Díaz Fernández (2013) los microcontroladores de la serie MSP430 de Texas Instruments son procesadores de señal combinada de 16 bits, basados en la arquitectura RISC (Reduced Instruction Set Computer o Computador de Conjunto de Instrucciones Reducidas) estos están diseñados para tener un consumo ultra bajo, además de que disponen de una cantidad de periféricos muy variados haciendo que para este proyecto sea el indicado por esta razón y por ser un componente bastante económico se ha decidido utilizar este microcontrolador.

Operan en un rango de voltaje de 1.8V a 3.6V, con velocidades de operación desde 0 HZ hasta 25 MHz. La memoria de programa varía desde 512 Bytes hasta 256 KBytes

Según García Alberto (2017) el microcontrolador MSP430G2553 tiene implementados puertos de entrada / salida (I/O) digitales. Cada terminal I/O se puede configurar individualmente como entrada o salida digital, también se puede leer y escribir en cada línea I/O de manera individual. En el caso de los puertos 1 y 2, existe capacidad de interrupción en cada una de las terminales, estas pueden ser configuradas para responder en flanco de subida o flanco de bajada.

Las entradas/salidas digitales se configuran con el software del usuario, en este caso el software utilizado es Energia. Cada registro de puerto es un registro de 8-bits y se accede con instrucciones de byte. Existen 3 registros básicos de control para cada puerto, y pueden existir registros adicionales para controlar otras funciones integradas.

### **Conexiones I/O externas del MSP430G2553**

El microcontrolador MSP430G2553 posee multitud de conexiones de entrada/salida, o I/O, para poder conectar diversos dispositivos a él. En la siguiente figura se muestra el diagrama del microcontrolador.

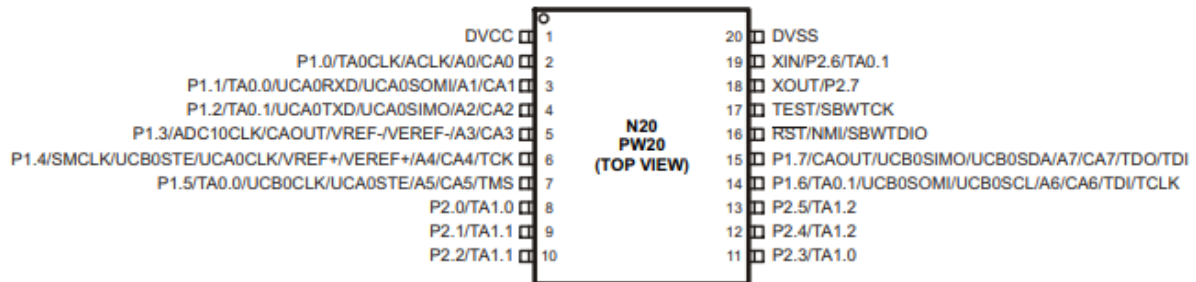


Figura 11. Diagrama PIC MSP430G2553. Texas Instruments (2011). Datasheet MSP430G2x53 MSP430G2x13. Obtenido del URL: <http://www.ti.com/lit/ds/slas735j/slas735j.pdf> Consultado el 07 de Mayo de 2018.

### Características principales del MSP430g2553

- Rango de voltaje de suministro bajo: de 1.8 V a 3.6 V
  - Consumo de energía ultra bajo
    - Modo activo: 230  $\mu$ A a 1 MHz, 2.2 V
    - Modo de espera: 0.5  $\mu$ A
    - Modo apagado (retención de RAM): 0.1  $\mu$ A
  - Cinco modos de ahorro de energía
  - Activación ultrarrápida del modo en espera en menos de 1  $\mu$ s
  - Arquitectura RISC de 16 bits, tiempo de ciclo de instrucción de 62.5 ns
  - Configuraciones de módulo de reloj básico
    - Frecuencias internas de hasta 16 MHz con cuatro frecuencias calibradas
    - Oscilador interno de frecuencia baja (LF) y de consumo muy bajo
    - Cristal de 32 kHz
    - Fuente de reloj digital externo
  - Dos temporizadores A de 16 bits con tres registros de captura/comparación
  - Hasta 24 pines de E/S habilitados táctiles y capacitivos
- 
- Velocidad del reloj: configurable entre 1 y 16 MHz.
  - Memoria FLASH: 16KB.
  - Memoria SRAM: 512B.
  - Memoria NVM: 56KB.
  - Memoria SRAM: 4KB.
  - 2 Temporizadores
  - Convertidor ADC de 8 canales

### 3.1.4 Servomotores

Francisco A. Candelas Herías y Juan A. Corrales Ramón (2007) Afirman que un servomotor es un motor de corriente continua que tiene la capacidad de ser controlado en cuanto a su posición se refiere. Este es capaz de ubicarse en cualquier posición dentro de un cierto rango de operación lográndose mantener estable en dicha posición. Los servos se utilizan dentro de distintas ramas de la ingeniería y también dentro de la industria esto es debido a la gran precisión que se llega a tener con ellos.

Los elementos principales que los componen son los siguientes:

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

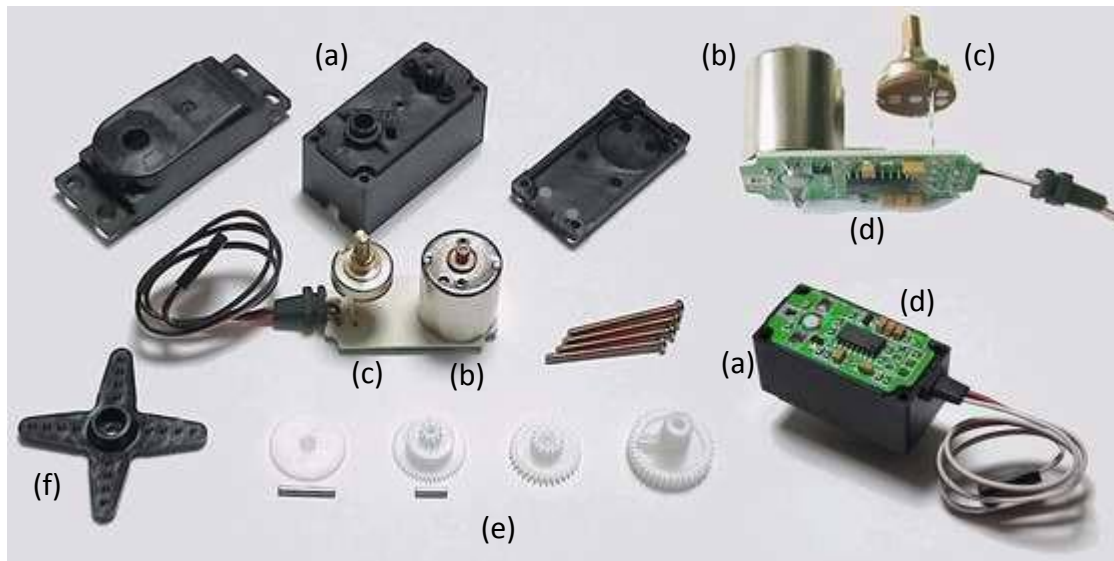


Figura 12. Componentes de un servo: a) carcasa; b) motor DC; c) potenciómetro; d) circuito de control; e) tren reductor; f) brazo (elemento terminal en el eje). Obtenido del URL: <http://www.superrobotica.com/servosrc.htm> consultado el 07 de Mayo de 2018.

Según Álvarez (2017) existen 4 tipos fundamentales de servomotores:

**Servomotores de corriente continua (cc):** los más habituales. funcionan con un pequeño motor de corriente continua. El servomotor se controla por PWM (modulación por ancho de pulso), como ya explicamos.

**Servomotores de corriente alterna (ac):** pueden utilizar corrientes más potentes y por lo tanto se usan para mover grandes fuerzas.

**Servomotores de imanes permanentes o Brushless:** se llama brushless por que es un motor de corriente alterna sin escobillas (como las que llevan los de cc). Se utilizan para grandes torques o fuerzas y para altas velocidades. Son los más usados en la industria. Están basados en los motores síncronos.

**Motor Paso a Paso:** es un motor eléctrico, pero que no gira, sino que avanza un "paso". No giran de manera continua sino por pasos, es decir, giran un numero determinado de grados. La característica principal de estos motores es el hecho de poder moverlos un paso a la vez por cada pulso que se le aplique. Su control se basa en polarizar las bobinas que llevan incluidas de manera adecuada para que giren correctamente. Son ideales para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos muy precisos.



Corriente Alterna



Corriente Continua



Imanes Permanentes



Paso a paso

Figura 13. Tipos de servomotores. Obtenido del URL: <http://www.areatecnologia.com/electricidad/servomotor.html> Consultado el 11 de Mayo de 2018.

De acuerdo con Francisco A. Candelas Herías y Juan A. Corrales Ramón (2007) mencionan que las señales PWM utilizadas para controlar los servos están formadas por pulsos positivos cuya duración es proporcional a la posición deseada del servo y que se repiten cada 20ms (50Hz). Todos los servos pueden funcionar correctamente en un rango de movimiento de 90°, que se corresponde con pulsos PWM comprendidos entre 0.9 y 2.1ms. Sin embargo, también existen servos que se pueden mover en un rango extendido de 180° y sus pulsos de control varían entre 0.5 y 2.5ms. Antes de utilizar un servo habrá que comprobar experimentalmente su rango de movimiento para no dañarlo. Para mantener fijo un servo en una posición habrá que enviar periódicamente el pulso correspondiente; ya que si no recibe señales, el eje del servo quedará libre y se podrá mover ejerciendo una leve presión.

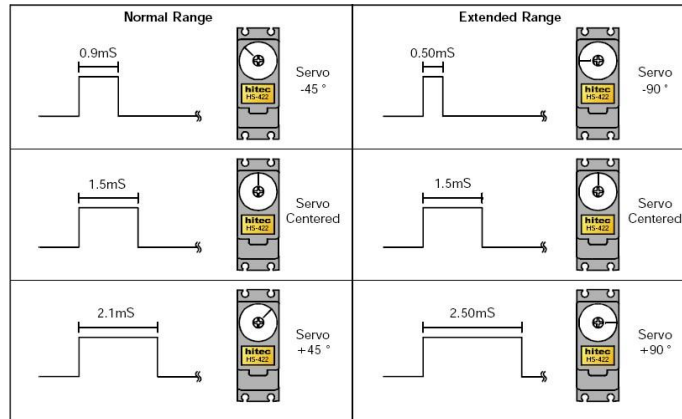


Figura 14. Pulsos PWM para controlar servos. Obtenido del URL: <http://www.areatecnologia.com/electricidad/servomotor.html> Consultado el 11 de Mayo de 2018.

El Servomotor Futaba S3003 es excelente para el desarrollo de aplicaciones en el área de robótica móvil y la robótica articulada, ya que pueden ser utilizados como motor de corriente continua para dar giro a algún objeto o como torque para darle movimiento a una articulación. Es por ello que utilizamos este tipo de servomotor ya que es ideal para nuestro tipo de brazo que construimos.

El Servomotor Futaba S3003 consta de tres terminales de las cuales sobresale un cable. Este cable consta de tres colores, el cable de color rojo representa la alimentación de entrada para el funcionamiento del motor (4.5-6 voltios). El negro es tierra o GND y el blanco representa la señal de control del Futaba.

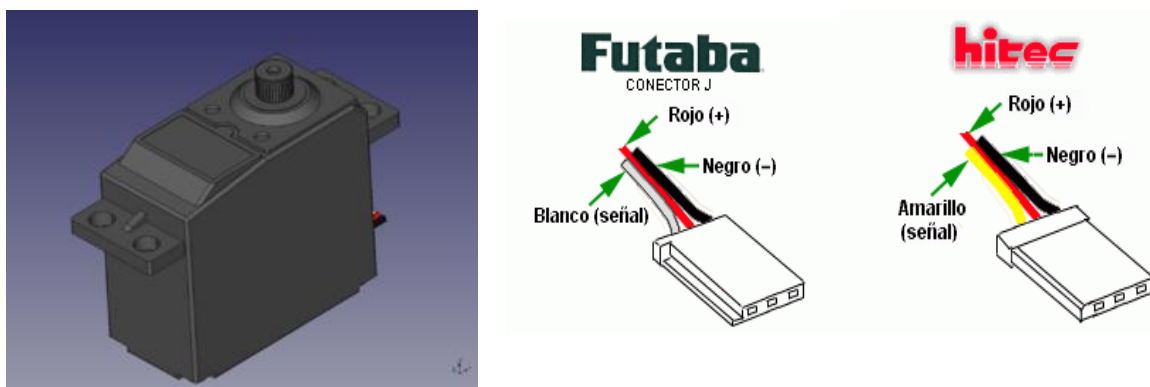


Figura 15. Diagrama de Conexión de los Servomotores Futaba s3003. Obtenido del URL: <http://www.areatecnologia.com/electricidad/servomotor.html> Consultado el 11 de Mayo de 2018.

## Especificaciones detalladas

- **Sistema de control:** Control de ancho de pulso 1520usec Neutral
- **Drenaje actual (4.8V):** 7.2mA / inactivo
- **Pulso requerido:** 3-5 voltios pico a pico cuadrado
- **Drenaje actual (6.0V):** 8mA / inactivo
- **Tensión de funcionamiento:** 4.8-6.0 voltios
- **Dirección:** Counter Clockwise / Pulse Traveling 1520-1900usec
- **Temperatura de funcionamiento:** -20 a +60 grados C
- **Tipo de motor:** Ferrita de 3 polos
- **Velocidad de funcionamiento (4.8V):** 0.23seg / 60 grados sin carga
- **Unidad de potenciómetro:** accionamiento indirecto
- **Velocidad de funcionamiento (6.0V):** 0.19seg / 60 grados sin carga
- **Tipo de rodamiento:** Plástico
- **Stall Torque (4.8V):** 44 oz / in (3.2kg.cm) (0.314 N.m)
- **Tipo de engranaje:** Todos los engranajes de Nylon
- **Stall Torque (6.0V):** 56.8 oz / in (4.1kg.cm)
- **Conector de alambre Longitud:**12 "
- **Ángulo de funcionamiento:** 45 Deg. un pulso lateral que viaja 400usec
- **Dimensiones:** 1.6 "x 0.8" x 1.4 "(41 x 20 x 36 mm)
- **360 Modificable:** Sí
- **Peso:** 1.3oz. (37.2g)

## Circuito Interno de control en Servomotor Futaba S3003

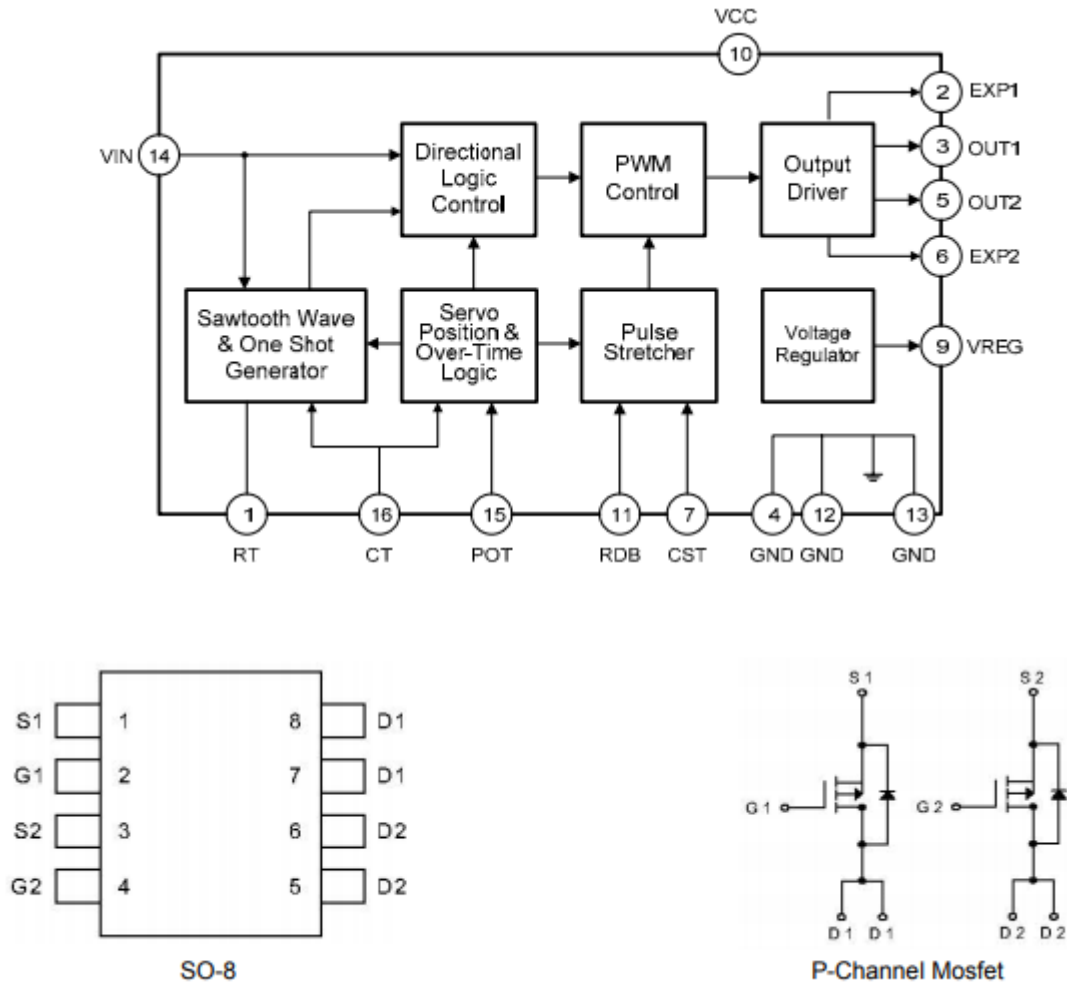


Figura 16. Circuito Interno de Control Futaba s3003. Obtenido del URL: [https://www.digchip.com/datasheets/download\\_datasheet.php?id=2939972&part-number=AA51880](https://www.digchip.com/datasheets/download_datasheet.php?id=2939972&part-number=AA51880) Consultado el 14 de Mayo de 2018.



### 3.2 Fuentes de Alimentación

Meneses A. A. y Toloza C. D. (S.A.) Mencionan que una fuente de alimentación es un sistema eléctrico que suministra las tensiones y corrientes necesarias para el funcionamiento de los circuitos eléctrico. Por lo tanto, las fuentes de alimentación son sistemas suministradores de energía eléctrica.



Figura 17. Fuente de Alimentación. Obtenido del URL:<https://sites.google.com/site/hardware012015/partes-internas-del-pc/fuente-de-poder>. Consultado el 03 de Mayo de 2018.

Meneses A. A. y Toloza C. D. (S.A.) Mencionan que la fuente de alimentación, tiene como función transformar la corriente de la red eléctrica en una corriente que nuestro circuito puede soportar. Esto se consigue a través de unos procesos electrónicos los cuales son:

#### Etapa de Transformación.

En esta etapa es donde se consigue reducir la tensión de entrada a la fuente de 127v siendo este el voltaje otorgado por la red eléctrica.

Esta parte del proceso de transformación, como bien indica su nombre, se realiza con un transformador que esta formado por un devanado primario y uno secundario teniendo como función principal disminuir el voltaje.

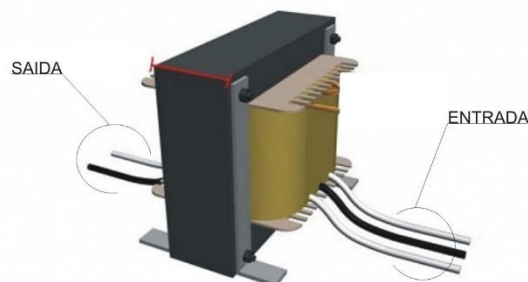


Figura 18. Etapa de Transformación. Obtenido del URL: <http://fuentedealimentacionvoca3.blogspot.mx/2010/11/etapa-de-transformacion.html>. Consultado el 3 de Mayo de 2018.

### Etapa de Rectificación.

La corriente que nos ofrece la compañía eléctrica es alterna, esto quiere decir, que sufre variaciones en su línea de tiempo, con variaciones, nos referimos a variaciones de voltajes, por tanto, la tensión es variable, no siempre es la misma.

Eso lógicamente, no nos podría servir para alimentar a los componentes de un PC o de algún circuito, ya que imaginemos que si le estamos dando 12 voltios con corriente alterna a un disco duro, lógicamente no funcionará ya que al ser variable, no estaríamos ofreciéndole los 12 voltios constantes.

Lo que se intenta con esta fase, es pasar de corriente alterna a corriente continua, a través de un componente que se llama puente rectificador.

Con esto se logra que el voltaje no baje de 0 voltios, y siempre se mantenga por encima de esta cifra.

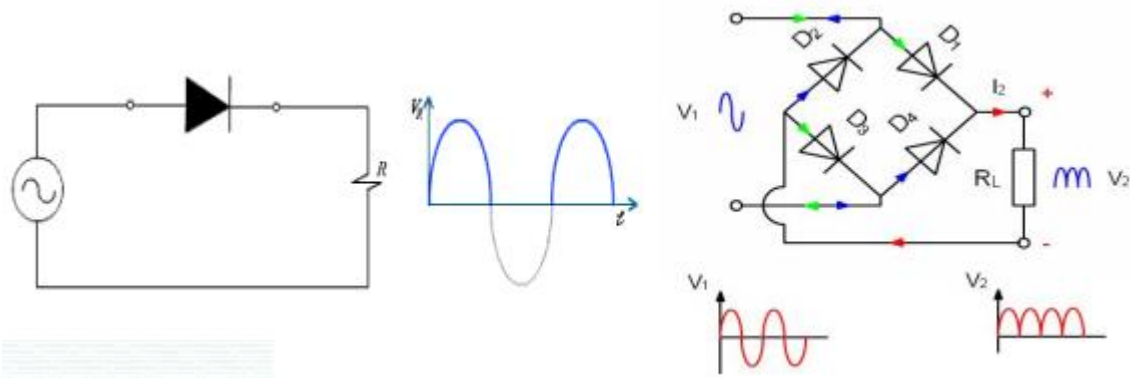


Figura 19. Etapa de Rectificación. Obtenido del URL: <http://fuenteslineales2014.blogspot.mx/> Consultado el 3 de Mayo de 2018.

## Etapa de Filtrado

Una vez que ya se dispone de corriente continua, que es lo que nos interesaba, esta aun no nos sirve de nada ya que no es constante y no nos serviría para alimentar a ningún circuito

Lo que se hace en esta fase de filtrado, es ajustar la señal, para que no existan oscilaciones y se eliminen las componentes de corriente alterna que provengan de la etapa de rectificación. Esto lo podemos conseguir gracias a uno o varios capacitores con los que se retiene la corriente para posteriormente dejarla pasar lentamente suavizando así la señal y lograr el efecto deseado.

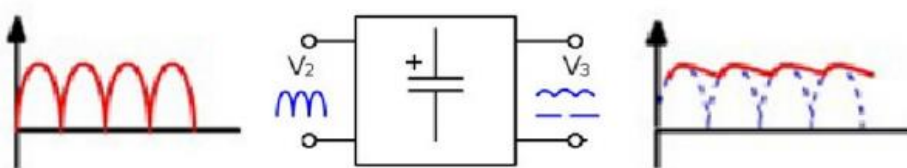


Figura 20. Etapa de Filtrado. Obtenido del URL:[http://wikitronica.labc.usb.ve/index.php/Fuentes\\_de\\_alimentaci%C3%B3n](http://wikitronica.labc.usb.ve/index.php/Fuentes_de_alimentaci%C3%B3n). Consultado el 3 de Mayo de 2018.

## Etapa de Regulación

Ya tenemos una señal continua bastante decente, casi del todo plana, ahora solo nos falta estabilizarla por completo, para que cuando aumente o disminuya la señal de entrada a la fuente, no afecte a la salida de la misma. Esto se consigue principalmente con ayuda de los reguladores.

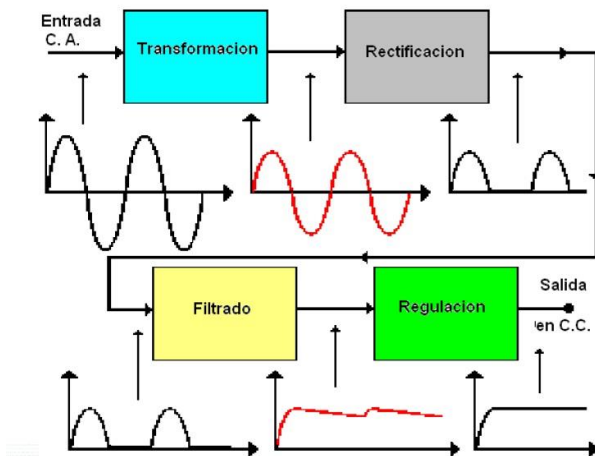


Figura 21. Etapa de Regulación. Obtenido del URL:<https://cursotai31.wordpress.com/tag/fuente-de-poder/>. Consultado el 3 de Mayo de 2018.

### 3.2.1 Tipos de Fuentes

Después de comentar estas fases de la fuente de alimentación, procederemos a diferenciar los dos tipos que existen actualmente. Las dos fuentes que podremos encontrarnos cuando abramos un ordenador pueden ser: AT o ATX. La Potencia de estas fuentes de Alimentación va cada vez más en aumento conforme se le añadan periféricos a los equipos,

Mora, P. P. (2017) Menciona que las fuentes de alimentación AT, fueron usadas hasta que apareció el Pentium MMX, es en ese momento cuando ya se empezaría a utilizar fuentes de alimentación ATX. Las características de las fuentes AT, son que sus conectores a placa base varían de los utilizados en las fuentes ATX, y por otra parte, quizás bastante más peligroso, es que la fuente se activa a través de un interruptor, y en ese interruptor hay un voltaje de 127v, con el riesgo que supondría manipular el PC. También cabe destacar que comparadas tecnológicamente con las fuentes ATX, las AT son un tanto rudimentarias electrónicamente hablando.

Torres, M.J. (2018) Afirma que Internamente cuenta con una serie de circuitos encargados de transformar la electricidad para que esta sea suministrada de manera correcta a los dispositivos, tenga en cuenta que el interruptor de encendido no se encuentra en la fuente, sino que depende de la tarjeta principal. Externamente consta de los siguientes elementos:

- 1.- Ventilador:** expulsa el aire caliente del interior de la fuente y del gabinete, para mantener ventilados los circuitos.
- 2.- Interruptor de seguridad:** permite encender y apagar la fuente de manera mecánica.
- 3.- Conector de alimentación:** recibe el cable de corriente desde el enchufe de pared.
- 4.- Selector de voltaje:** permite seleccionar el voltaje de 127V ó 240V.
- 5.- Conector SATA:** utilizado para suministrar a los discos duros SATA, unidades SSD y las unidades ópticas SATA.
- 6.- Conector de 4 terminales:** utilizado para suministrar de manera directa al microprocesador.

**7.- Conector ATX:** suministra de electricidad a la tarjeta principal.

**8.- Conector de 4 terminales MOLEX:** utilizado para suministrar los discos duros tipo IDE y las unidades ópticas de 5.25".

**9.- Conector de 4 terminales BERG:** alimenta las disqueteras 3.5".

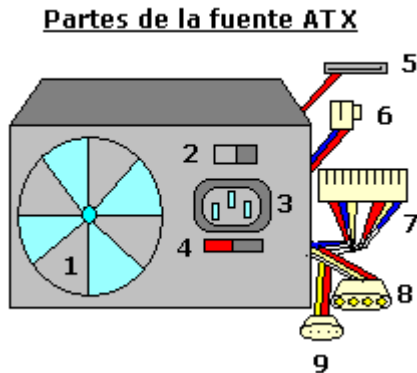


Figura 22. Esquema de Fuente de poder ATX. Obtenido del URL: [http://www.informaticamoderna.com/Fuente\\_ATX.htm](http://www.informaticamoderna.com/Fuente_ATX.htm). Consultado el 6 de Mayo de 2018.

Durante, C. L. (2009) Menciona que en las fuentes ATX, es un poco distinto, ya que se moderniza el circuito de la fuente, y siempre está activa, aunque el ordenador no esté funcionando, la fuente siempre está alimentada con una tensión pequeña para mantenerla en espera. Una de las ventajas es que las fuentes ATX no disponen de un interruptor que enciende/apaga la fuente, si no que se trata de un pulsador conectado a la placa base, y esta se encarga de encender la fuente, esto conlleva pues el poder realizar conexiones/desconexiones por software.

Verne J. (2010) Menciona que para verificar el funcionamiento de la fuente de alimentación ATX basta con juntar el cable verde con cualquiera de los de color negro. En este momento se escuchará el ruido que produce el ventilador. Si no se escucha ni se ve el giro del ventilador de la fuente de alimentación, previsiblemente la fuente este averiada. Una vez en funcionamiento se podrá verificar que las tensiones que suministra son las adecuadas para alimentar tu circuito.

### 3.3 Software

#### 3.3.1 Programación en Lenguaje C

Rena, F. (1972). Afirma que también es conocido como “Lenguaje de programación de sistemas” desarrollado en el año 1972 por Dennis Ritchie para UNIX un sistema operativo multiplataforma. El lenguaje C es del tipo lenguaje estructurado como son Pascal, Fortran, Basic. Sus instrucciones son muy parecidas a otros lenguajes incluyendo sentencias como if, else, for, do y while. Aunque C es un lenguaje de alto nivel (puesto que es estructurado y posee sentencias y funciones que simplifican su funcionamiento) tenemos la posibilidad de programar a bajo nivel ( como en el Assembler tocando los registros, memoria etc. ). Para simplificar el funcionamiento de el lenguaje C tiene incluidas librerías de funciones que pueden ser incluidas haciendo referencia la librería que las incluye, es decir que si queremos usar una función para borrar la pantalla tendremos que incluir en nuestro programa la librería que tiene la función para borrar la pantalla.

El lenguaje C es un lenguaje que nos proporciona una gran flexibilidad de programación y una muy buena resolución de problemas dejando bajo la responsabilidad de quien crea o desarrolla el programa el nivel de acciones y caminos a tomar. Otra cosa importante que nos brinda el lenguaje C es que no es rígido en la comprobación de tipos de datos, permitiendo fácilmente la conversión entre diferentes tipos de datos y la asignación entre tipos de datos diferentes. Facilitándonos con esto el desarrollo y diseño de programas de aplicación.

Universidad de Zaragoza (2012). Afirma que el lenguaje C se conoce como un lenguaje complicado. Existen dos de lenguaje: interpretados y complicados. Los interpretadores son aquellos que necesitan del código fuente para funcionar (P.ej: Basic). Los compilados convierten el código fuente en fichero objeto y éste en un fichero ejecutable. Este es el caso del lenguaje C. Podemos decir que el lenguaje C es un lenguaje de nivel medio, ya que cambian elementos de lenguaje de alto nivel con la funcionalidad del lenguaje ensamblador. Es un lenguaje estructurado, ya que permite crear procedimientos es bloques dentro de otros procedimientos. Hay que destacar que el C es un lenguaje portable, ya que permite utilizar el mismo código en diferentes equipos y sistemas informáticos: el lenguaje es independiente de la arquitectura de cualquier maquina el particular. Por último, solo queda decir que el C es un lenguaje relativamente pequeño; se puede describir en poco espacio y aprender rápidamente.

Las principales ventajas de utilizar lenguaje C es que tiene una orientación clara hacia el uso eficiente de los recursos y al mismo tiempo permite construir o desarrollar aplicaciones simples o complejas. Si bien es cierto que existen otros lenguajes de programación que pueden competir en el uso eficiente de los recursos, el lenguaje C es un lenguaje que la mayoría puede interpretar o entender además de que se obtiene un buen rendimiento. Por esta razón, C triunfa especialmente en el desarrollo de sistemas de software complejo que necesita una alta velocidad o bien necesita ejecutarse en entornos muy restringidos. Esto hace que el lenguaje sea usado desde aplicaciones sencillas hasta seguridad o encriptación de datos.

El PIC que utilizamos fue programado en el software llamado energía, el cual al igual que el PIC es desarrollado por la empresa Texas Instruments.

A continuación describiremos un poco más el software utilizado:

Texas Instruments (2018). Define a Energía como una plataforma para la creación y desarrollo de códigos en lenguaje basado en la gama de microcontroladores MSP430 de Texas Instruments. Energía es multiplataforma ya que es compatible con Mac OS, Windows y Linux.

Energía incluye un entorno de desarrollo integrado que se basa en el procesamiento. El equipo de Energía adopta la filosofía de aprender haciendo y se esfuerza por facilitar el trabajo directo con el hardware. Los ingenieros profesionales, empresarios, fabricantes y estudiantes pueden beneficiarse de la facilidad de uso que Energía brinda al microcontrolador.

### 3.3.2 Mapeo de una Señal

Arduino (2018) Afirma que el mapeo de una señal esta descrita de la siguiente forma:

Map (value, fromLow, fromHigh, toLow, toHigh)

Reasigna un número de un rango a otro. Es decir, un valor de fromlow se correlacionaría con toLow , un valor de fromHigh a toHigh , valores intermedios con valores intermedios, etc.

No restringe los valores dentro del rango, porque los valores fuera de rango a veces son intencionados y útiles. La función constrain () se puede usar antes o después de esta función, si se desean límites a los rangos.

Tenga en cuenta que los "límites inferiores" de cualquier rango pueden ser más grandes o más pequeños que los "límites superiores", por lo que la función de map() se puede utilizar para invertir un rango de números, por ejemplo

```
y = map(x, 1, 50, 50, 1);
```

La función también maneja bien los números negativos, por ejemplo

```
y = map(x, 1, 50, 50, -100);
```

también es válido y funciona bien.

La función map () usa matemáticas enteras, por lo que no generará fracciones, cuando las matemáticas indiquen que debería hacerlo. Los restos fraccionarios se truncan y no se redondean ni promedian.

#### Parámetros

value: el número al mapa

fromLow: el límite inferior del rango actual del valor

fromHigh: el límite superior del rango actual del valor

toLow: el límite inferior del rango objetivo del valor

toHigh: el límite superior del rango objetivo del valor

#### Ejemplo



```
/* Asigna un valor analógico a 8 bits (0 a 255) */  
void setup ( ) { }
```

```
void loop ( )  
{  
  int val = analogRead ( 0 ) ;  
  val = map ( val , 0 , 1023 , 0 , 255 ) ;  
  analogWrite ( 9 , val ) ;  
}
```

Para los matemáticamente inclinados, aquí está toda la función

```
long map (long x, long in_min, long in_max, long out_min, long out_max)  
{  
  return (x - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) + out_min;  
}
```

## 3.4 Comunicación

### 3.4.1 Convertidor Analógico Digital

Saucedo, E. (2011) Menciona que el término analógico hace referencia a todo aquel proceso entrada/salida cuyos valores son continuos. Algo continuo es todo aquello de puede tomar una infinidad de valores dentro de un cierto límite, superior e inferior.

El término digital de la misma manera involucra valores de entrada/salida, pero ahora de forma discreta. algo discreto es algo que puede tomar valores fijos, siendo esos valores el cero (0) o el uno (1).

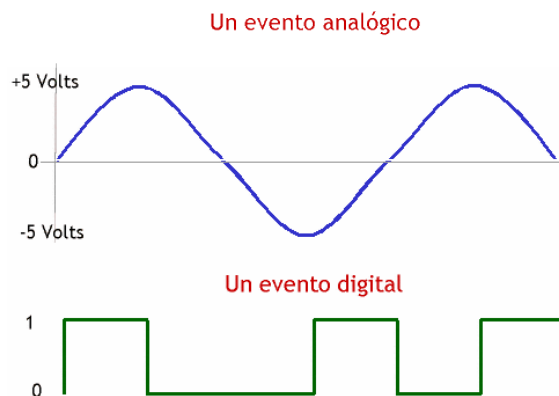


Figura 23. Señal Analógica y Digital. Obtenido del URL: <http://www.eveliux.com/mx/Conversion-Analogico-Digital-ADC.html>. Consultado el 3 de Mayo de 2018.

Los dispositivos de la serie MSP430G se suministran en una serie de paquetes con diferentes especificaciones y periféricos dentro de estos existen 2 tipos de ADC, el ADC10 y ADC12. El ADC10 es una conversión analógica a digital de 10 bits mientras que el ADC12 utiliza una conversión analógica a digital de 12 bits.

El PIC MSP430G2253 tiene el ADC10 por lo que utiliza una conversión de 10 bits, esto significa que es 2 a la potencia de 10, o  $2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2$ , lo que equivale a 1024, el 1024 es el número de pasos de muestra tomados en un rango dado (en el caso de los microcontroladores, en realidad es de 0 a 1023).

Entonces, ahora que entendemos el término con respecto al tamaño de bit, necesitamos encontrar el rango. El rango se define como el rango de voltaje que acepta el ADC, para encontrarlo necesitamos consultar la hoja de datos del MSP430G2253, una imagen extraída de la hoja de datos se puede ver a continuación.

### 10-Bit ADC, Power Supply and Input Range Conditions (MSP430G2x53 Only)

over recommended ranges of supply voltage and operating free-air temperature (unless otherwise noted)<sup>(1)</sup>

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T <sub>A</sub>	V <sub>CC</sub>	MIN	TYP	MAX	UNIT
V <sub>CC</sub>	Analog supply voltage			2.2		3.6	V
V <sub>Ax</sub>	Analog input voltage <sup>(2)</sup>	All A <sub>x</sub> terminals, Analog inputs selected in ADC10AE register	3 V	0		V <sub>CC</sub>	V

Figura 24. PIC MSP430G2553. Texas Instruments (2011). Datasheet MSP430G2x53 MSP430G2x13. Obtenido del URL: <http://www.ti.com/lit/ds/slsl735j/slsl735j.pdf> Consultado el 07 de Mayo de 2018.

### 3.4.2 Resolución Convertidor Analógico Digital

Mrelberni (2018) Afirma que el CAD conversor analógico digital PIC necesita una tensión de referencia para poder trabajar adecuadamente, esta tensión de referencia V<sub>ref</sub> normalmente será la tensión a la cual trabaja el PIC, aunque por programa se puede elegir otra diferente; a la relación que hay entre la tensión de referencia V<sub>ref</sub> y el máximo número binario de 8 bits  $2^8-1=255=11111111$  o de 10 bits  $2^{10}-1=1024=1111111111$  que representará la tensión analógica se le conoce como resolución, por ejemplo para el caso del MSP430G2553 se tendrá que la resolución del conversor analógico digital PIC será:

$$\text{Resolución} = V_{\text{ref}} / (2^{10} - 1) = V_{\text{ref}} / 1024$$

La resolución indica en este caso que a la tensión de referencia de 3V se le ha partido en 1024 partes iguales y cada una de esas partes equivalen a aproximadamente 2,93mV, al utilizar esto en forma digital indicará que para un 0 será 0V, si el voltaje aumenta desde 0 en 2,93mV se tendrá un 1.

Esto quiere decir en este caso, que al utilizar el conversor analógico digital PIC, cada vez que la tensión analógica que llegue por el pin configurado como entrada analógica aumente en 2,93mV, el número que lo representa y almacenado en los registros aumentará en 1, por ejemplo cuando la tensión analógica es 0, el número binario que lo representa será 000000000, si la tensión analógica aumenta de 0 a 2,93mV el número binario que lo representa será 000000001, así hasta que la tensión analógica se haga igual a la tensión de referencia, lo que ocurrirá cuando la tensión analógica aumente desde 0 de 2,93mV.

El módulo ADC10 en los dispositivos MSP430G es configurado por el usuario a través del software. Hay varios registros utilizados para cambiar la forma en que opera el ADC10 dependiendo de los requisitos de la aplicación.

**Table 22-3. ADC10 Registers**

Register	Short Form	Register Type	Address	Initial State
ADC10 input enable register 0	ADC10AE0	Read/write	04Ah	Reset with POR
ADC10 input enable register 1	ADC10AE1	Read/write	04Bh	Reset with POR
ADC10 control register 0	ADC10CTL0	Read/write	01B0h	Reset with POR
ADC10 control register 1	ADC10CTL1	Read/write	01B2h	Reset with POR
ADC10 memory	ADC10MEM	Read	01B4h	Unchanged
ADC10 data transfer control register 0	ADC10DTC0	Read/write	048h	Reset with POR
ADC10 data transfer control register 1	ADC10DTC1	Read/write	049h	Reset with POR
ADC10 data transfer start address	ADC10SA	Read/write	01BCh	0200h with POR

Tabla 8. ADC Registros PIC MSP430G2553. Texas Instruments (2011). Datasheet MSP430G2x53 MSP430G2x13. Obtenido del URL: <http://www.ti.com/lit/ds/slas735j/slas735j.pdf> Consultado el 07 de Mayo de 2018.

Según García Alberto (2017) el ADC10 de MSP430G2xxx puede operar en 4 modos diferentes, son

1. **Single Channel, Single Conversion**  
Un solo canal se convierte una vez
2. **Secuencia de canales**  
Una secuencia de canales se convierte una vez
3. **Repetir canal único**  
Un canal único se convierte repetidamente
4. **Repetición de secuencia de canales**  
A Secuencia de canales convertidos repetidamente

## Capítulo 4

Para el desarrollo del siguiente proyecto se decidió elaborar en fases, mostrando en la siguiente imagen el diagrama esquemático general de nuestro prototipo, y los componentes principales que lo conforman.

Diagrama a Bloques del Funcionamiento

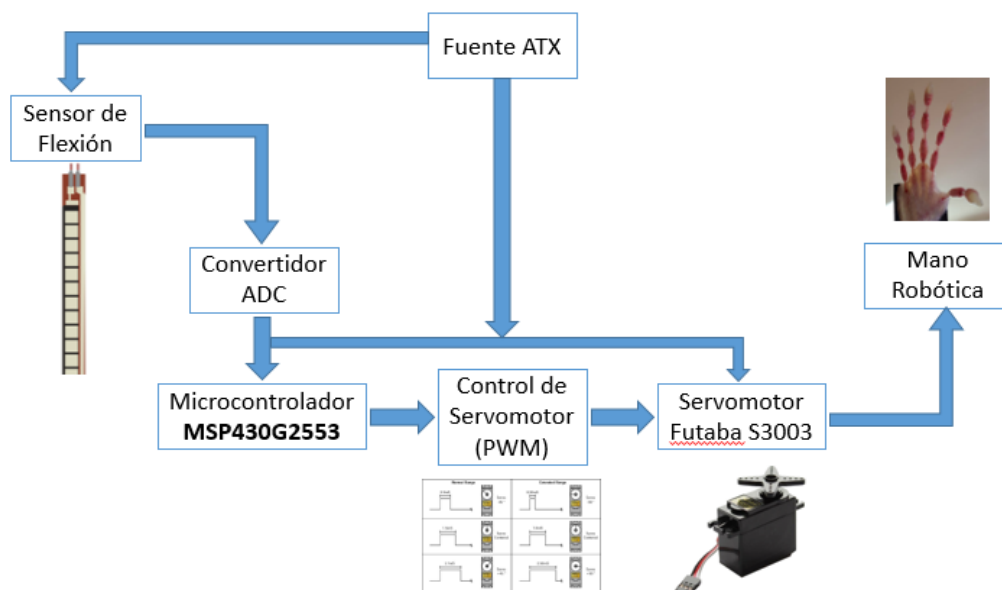


Figura 25. Diagrama a bloques del funcionamiento. Elaboración propia.

A continuación desarrollaremos cada una de las etapas de nuestro proyecto:

### Diseño de Mano Robótica

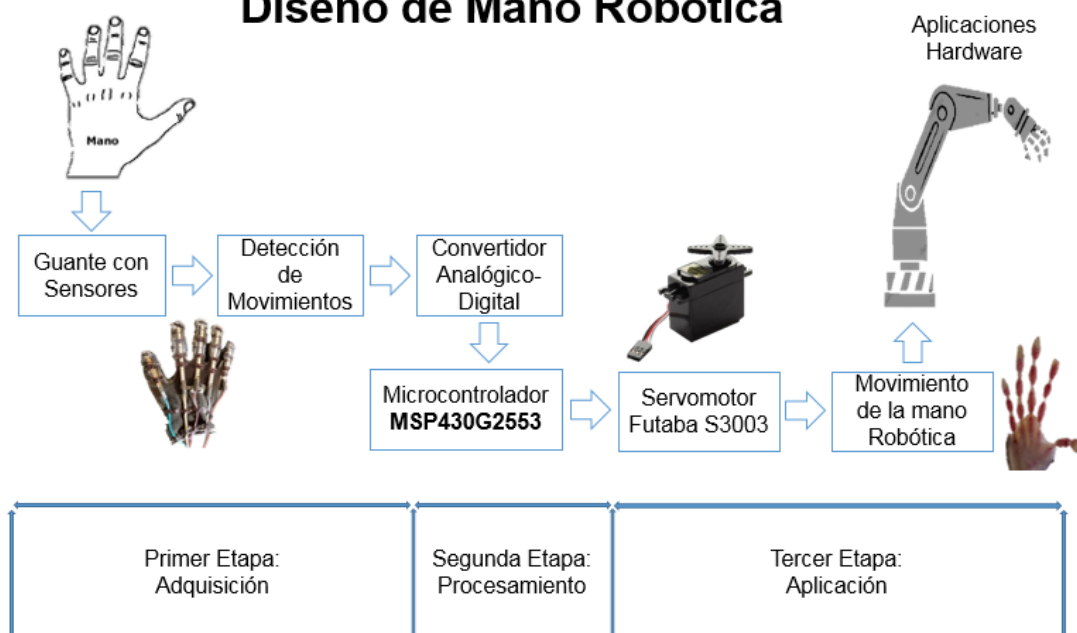
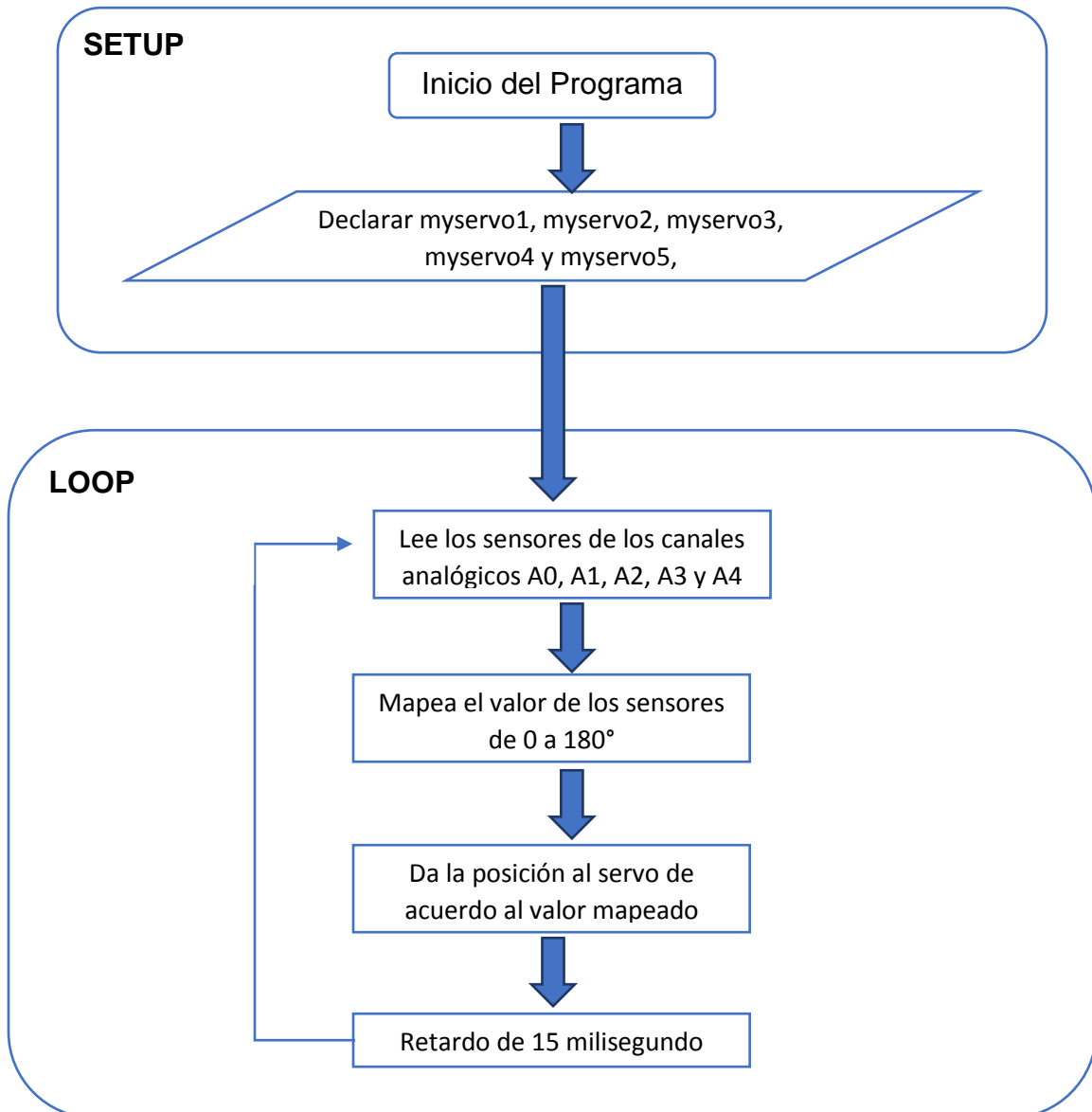


Figura 26. Diseño de mano robótica. Elaboración propia.

## 4.1 Desarrollo del Programa en el Microcontrolador

### Diagrama de Flujo del Programa



Era primordial elegir un microcontrolador que nosotros conociéramos adecuadamente, por esta razón utilizamos el MSP430g2553 desarrollado por Texas Instruments, debido a que cuenta con los puertos necesarios de entradas y de salidas para la configuración de cada uno de los sensores de deflexión y los servomotores.

El desarrollo del código fue elaborado en el software energía el cual se muestra a continuación:

```
#include <Servo.h>           //Declaramos la librería necesaria para habilitar a
                             //los servomotores

Servo myservo1;             //Declaramos una variable de tipo Servo llamada
                             //myservo1 para el dedo Pulgar.

Servo myservo2;             //Declaramos una variable de tipo Servo llamada
                             //myservo2 para el dedo Índice.

Servo myservo3;             //Declaramos una variable de tipo Servo llamada
                             //myservo1 para el dedo Medio.

Servo myservo4;             //Declaramos una variable de tipo Servo llamada
                             //myservo1 para el dedo Anular.

Servo myservo5;             //Declaramos una variable de tipo Servo llamada
                             //myservo1 para el dedo Meñique.

void setup()
{
  myservo1.attach(11);      //Asignamos el PIN 11 al servomotor del dedo Pulgar
  myservo2.attach(12);      //Asignamos el PIN 12 al servomotor del dedo índice
  myservo3.attach(13);      //Asignamos el PIN 13 al servomotor del dedo Medio
  myservo4.attach(14);      //Asignamos el PIN 14 al servomotor del dedo Anular
  myservo5.attach(15);      //Asignamos el PIN 15 al servomotor del dedo Meñique
}
```

```

void loop()
{
  // Leyendo cada sensor y asignado numero de PIN:

  int sensorValue1 = analogRead(A0);           //Inicializamos el valor del
                                                sensor para el dedo Pulgar y le
                                                asignamos el PIN 2 de entrada

  int sensorValue2 = analogRead(A1);           //Inicializamos el valor del
                                                sensor para el dedo Índice y le
                                                asignamos el PIN 3 de entrada

  int sensorValue3 = analogRead(A2);           //Inicializamos el valor del
                                                sensor para el dedo Medio y le
                                                asignamos el PIN 4 de entrada

  int sensorValue4 = analogRead(A3);           //Inicializamos el valor del
                                                sensor para el dedo Anular y le
                                                asignamos el PIN 5 de entrada

  int sensorValue5 = analogRead(A4);           //Inicializamos el valor del
                                                sensor para el dedo Pulgar y le
                                                asignamos el PIN 2 de entrada

  // Mapeando cada sensor y asignado coordenadas al servo:

  sensorValue1 = map(sensorValue1, 15, 65, 0, 179);
  myservo1.write(sensorValue1);

                                                //Mapeamos el sensor del dedo
                                                Pulgar y le asignamos las
                                                coordenadas correspondientes
                                                al servomotor.

  sensorValue2 = map(sensorValue2, 10, 85, 0, 179);
  myservo2.write(sensorValue2);

                                                //Mapeamos el sensor del dedo
                                                Indice y le asignamos las
                                                coordenadas correspondientes
                                                al servomotor.

  sensorValue3 = map(sensorValue3, 10, 90, 0, 179);

```



```
myservo3.write(sensorValue3);           //Mapeamos el sensor del dedo
                                          Medio y le asignamos las
                                          coordenadas correspondientes
                                          al servomotor.

sensorValue4 = map(sensorValue4, 10, 75, 0, 179);
myservo4.write(sensorValue4);           //Mapeamos el sensor del dedo
                                          Anular y le asignamos las
                                          coordenadas correspondientes
                                          al servomotor.

sensorValue5 = map(sensorValue5, 10, 35, 0, 179);
myservo5.write(sensorValue5);           //Mapeamos el sensor del dedo
                                          Indice y le asignamos las
                                          coordenadas correspondientes
                                          al servomotor.

delay(15);
}
```

## 4.2 Diseño y construcción del circuito para el control del prototipo

Se desarrollo y diseño una placa con ayuda del software PCB Wizard, esta placa nos permitió alimentar con 5v a los servomotores pero de manera independiente a la alimentación del PIC ya que este se alimenta con 3.3v y los servomotores con 5v. Para lograr esto colocamos un regulador de voltaje de 3.3v con matrícula AZ1117-T3.3. Así nos aseguramos que aunque la placa este alimentada con 5v destinada para los servos, al PIC solo le llega el voltaje de 3.3v.

Colocamos un capacitor de 4700 micro faradios el cual nos ayudo a que no exista una caída de tensión y así los servomotores funcionen adecuadamente, ya que al ser 5 servomotores existe la posibilidad de que ocurra una caída de corriente. Para cada uno de los servomotores asignamos un pin del microcontrolador siendo estos del 11 al 15 de acuerdo con la datasheet.

De la misma forma asignamos pines de entrada del 1 al 5 respectivamente para cada uno de los sensores de deflexión colocando una resistencia de 1k, con el propósito de que pueda leerse el valor del sensor sin mayor problema. Esta resistencia de 1k fue colocada para poder leer los valores del sensor que se pueden obtener aplicando un divisor de voltaje, gracias a esto la tensión se reduce y el PIC puede leer los valores que está arrojando cada sensor.

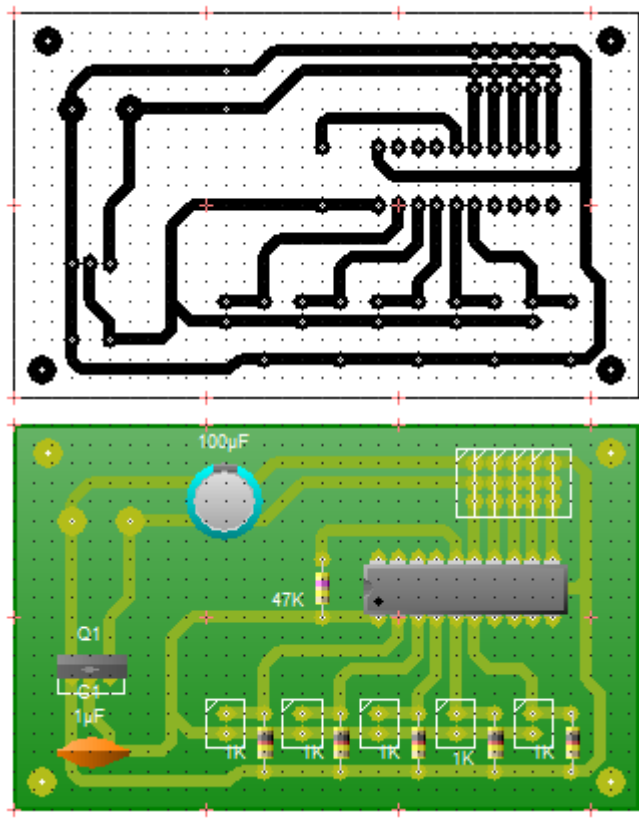


Figura 27. Diseño y Construcción de Circuito Impreso. Elaboración propia.

### 4.3 Cálculos

#### Divisor de Voltaje

Operaciones realizadas para obtener los valores de el mapeo

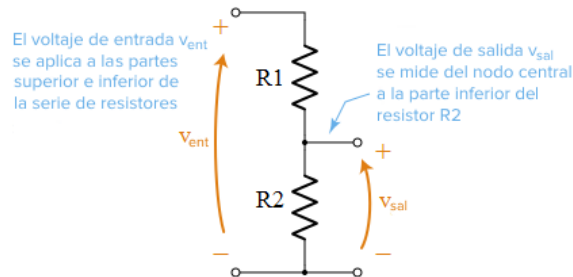


Figura 28. Divisor de voltaje. Obtenido del URL: <https://es.khanacademy.org/science/electrical-engineering/ee-circuit-analysis-topic/ee-resistor-circuits/a/ee-voltage-divider>. Consultado el 3 de Mayo de 2018.

$$v_{salida} = v_{entrada} \frac{R2}{R1 + R2}$$

Donde:

$$R2 = 1,000 \Omega$$

$$R1 = 25,000 \Omega$$

$$V_{entrada} = 3.3v$$

$$V_s = 3.3v * \frac{1k\Omega}{25k\Omega + 1k\Omega} = 126.92mv \approx 15$$

El rango de voltaje para el ADC puede determinarse como 0-3 voltios. Ahora que tenemos el rango y el número de pasos de muestra, podemos determinar la resolución del ADC con algunas matemáticas simples.

$$10 \text{ BIT} \rightarrow 2^{10} = 1024 \rightarrow 0 \Rightarrow 1023 \text{ steps} \rightarrow \frac{3V}{(1024 \text{ steps})} = 2.93mV \text{ per step}$$

$$12 \text{ BIT} \rightarrow 2^{12} = 4096 \rightarrow 0 \Rightarrow 4095 \text{ steps} \rightarrow \frac{3V}{(4096 \text{ steps})} = 732.4\mu V \text{ per step}$$

Entonces, usando un ejemplo, podemos ver lo que esto significa en términos reales, si se introdujo 1.5V en la entrada de ADC.

$$\frac{1.5V}{2.93mV} = 512 \text{ (This is exactly half 1024)} \quad \frac{1.5V}{732.4\mu V} = 2048 \text{ (This is exactly half 4096)}$$

#### 4.3.1 Cálculos de la tensión de los hilos

A continuación se muestra la tensión de cada uno de los hilos de cada dedo:

Meñique:

La tensión de los hilos la calculamos con la segunda ley de Newton, la cual es:

$$F = ma$$

Para ello tenemos un pequeño diagrama de como es el funcionamiento:

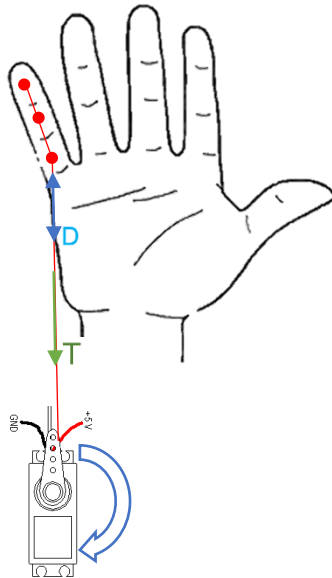


Figura 29. Diagrama de conexión y Tensión de hilo en dedo meñique con servomotor. Elaboración propia.

Donde:

T: es la tensión de el hilo

D: es la distancia que recorre el hilo al ser jalado por el servomotor

Entonces antes que nada necesitamos saber el peso de el dedo

$$m = 30gr$$

$$\therefore \text{Peso} = m \cdot a$$

$$\text{Peso} = (0.03\text{kg})(9.81\text{m/s}^2)$$

$$\text{Peso} = 0.29\text{N}$$

Lo siguiente es saber la cual es la distancia que recorre el hilo al ser jalado y el esfuerzo de torsión del servomotor, esta es proporcionada por la datasheet

$$D = 2.8\text{cm}$$

$$FT = 0.314\text{Nm}$$

Utilizamos la fórmula de Fuerza de Torsión

$$FT = F \cdot D$$

$$F = \frac{FT}{D}$$

$$F = \frac{0.314\text{Nm}}{0.028\text{m}} = 11.21\text{N}$$

Esta fuerza la utilizamos para encontrar la aceleración de todo el sistema

$$F = ma$$

$$11.21\text{N} = (0.03\text{kg})(a)$$

Despejamos la aceleración

$$a = \frac{11.21\text{N}}{0.03\text{kg}}$$

$$a = 373\text{m/s}^2$$

Finalmente obtenemos la tensión:

$$F = ma$$

$$T = (0.03\text{kg})(373\text{m/s}^2)$$

$$T = 11.19\text{N}$$

Anular:

La tensión de los hilos la calculamos con la segunda ley de Newton, la cual es:

$$F = ma$$

Para ello tenemos un pequeño diagrama de como es el funcionamiento:

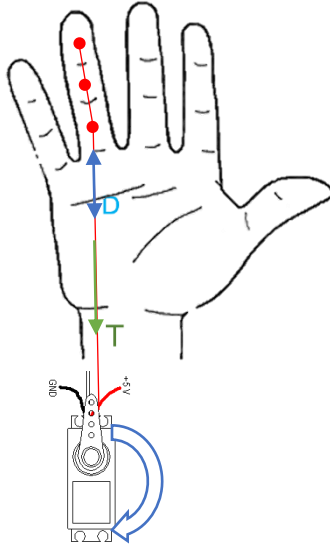


Figura 30. Diagrama de conexión y Tensión de hilo en dedo anular con servomotor.  
Elaboración propia.

Donde:

T: es la tensión de el hilo

D: es la distancia que recorre el hilo al ser jalado por el servomotor

Entonces antes que nada necesitamos saber el peso de el dedo

$$m = 33gr$$

$$\therefore \text{Peso} = m \cdot a$$

$$\text{Peso} = (0.033kg)(9.81m/s^2)$$

$$\text{Peso} = 0.323N$$

Lo siguiente es saber la cual es la distancia que recorre el hilo al ser jalado y el esfuerzo de torsión del servomotor, esta es proporcionada por la datasheet

$$D = 3cm$$

$$FT = 0.314Nm$$

Utilizamos la fórmula de Fuerza de Torsión

$$FT = F \cdot D$$

$$F = \frac{FT}{D}$$

$$F = \frac{0.314Nm}{0.03m} = 10.46N$$

Esta fuerza la utilizamos para encontrar la aceleración de todo el sistema

$$F = ma$$

$$10.46N = (0.033kg)(a)$$

Despejamos la aceleración

$$a = \frac{10.46N}{0.033kg}$$

$$a = 316.96m/s^2$$

Finalmente obtenemos la tensión:

$$F = ma$$

$$T = (0.033kg)(316.96m/s^2)$$

$$T = 10.45N$$

Medio:

La tensión de los hilos la calculamos con la segunda ley de Newton, la cual es:

$$F = ma$$

Para ello tenemos un pequeño diagrama de como es el funcionamiento:

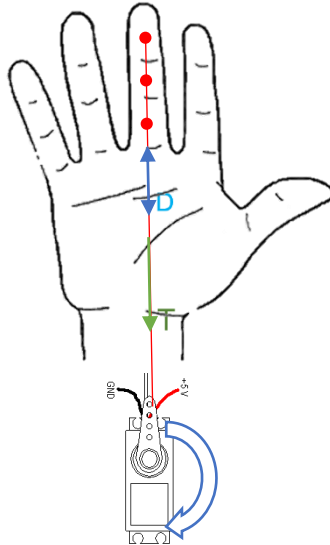


Figura 31. Diagrama de conexión y Tensión de hilo en dedo medio con servomotor.  
Elaboración propia.

Donde:

T: es la tensión de el hilo

D: es la distancia que recorre el hilo al ser jalado por el servomotor

Entonces antes que nada necesitamos saber el peso de el dedo

$$m = 35gr$$

$$\therefore \text{Peso} = m \cdot a$$

$$\text{Peso} = (0.035kg)(9.81m/s^2)$$

$$\text{Peso} = 0.343N$$



Lo siguiente es saber la cual es la distancia que recorre el hilo al ser jalado y el esfuerzo de torsión del servomotor, esta es proporcionada por la datasheet

$$D = 2.7cm$$

$$FT = 0.314Nm$$

Utilizamos la fórmula de Fuerza de Torsión

$$FT = F \cdot D$$

$$F = \frac{FT}{D}$$

$$F = \frac{0.314Nm}{0.027m} = 11.62N$$

Esta fuerza la utilizamos para encontrar la aceleración de todo el sistema

$$F = ma$$

$$11.62N = (0.035kg)(a)$$

Despejamos la aceleración

$$a = \frac{11.62N}{0.035kg}$$

$$a = 332m/s^2$$

Finalmente obtenemos la tensión:

$$F = ma$$

$$T = (0.035kg)(332m/s^2)$$

$$T = 11.62N$$

Índice:

La tensión de los hilos la calculamos con la segunda ley de Newton, la cual es:

$$F = ma$$

Para ello tenemos un pequeño diagrama de como es el funcionamiento:

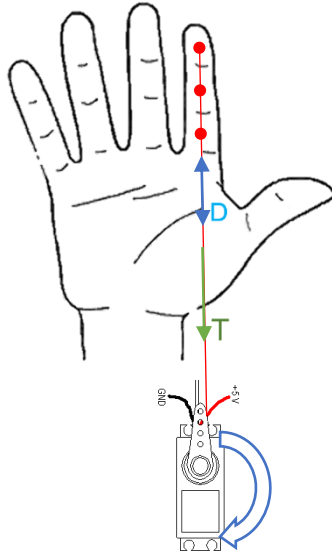


Figura 32. Diagrama de conexión y Tensión de hilo en dedo índice con servomotor.  
Elaboración propia.

Donde:

T: es la tensión de el hilo

D: es la distancia que recorre el hilo al ser jalado por el servomotor

Entonces antes que nada necesitamos saber el peso de el dedo

$$m = 32gr$$

$$\therefore \text{Peso} = m \cdot a$$

$$\text{Peso} = (0.032kg)(9.81m/s^2)$$

$$\text{Peso} = 0.313N$$

Lo siguiente es saber la cual es la distancia que recorre el hilo al ser jalado y el esfuerzo de torsión del servomotor, esta es proporcionada por la datasheet

$$D = 2.8cm$$

$$FT = 0.314Nm$$

Utilizamos la fórmula de Fuerza de Torsión

$$FT = F \cdot D$$

$$F = \frac{FT}{D}$$

$$F = \frac{0.314Nm}{0.028m} = 11.21N$$

Esta fuerza la utilizamos para encontrar la aceleración de todo el sistema

$$F = ma$$

$$11.21N = (0.032kg)(a)$$

Despejamos la aceleración

$$a = \frac{11.21N}{0.032kg}$$

$$a = 350m/s^2$$

Finalmente obtenemos la tensión:

$$F = ma$$

$$T = (0.032kg)(350m/s^2)$$

$$T = 11.2N$$

Pulgar:

La tensión de los hilos la calculamos con la segunda ley de Newton, la cual es:

$$F = ma$$

Para ello tenemos un pequeño diagrama de como es el funcionamiento:

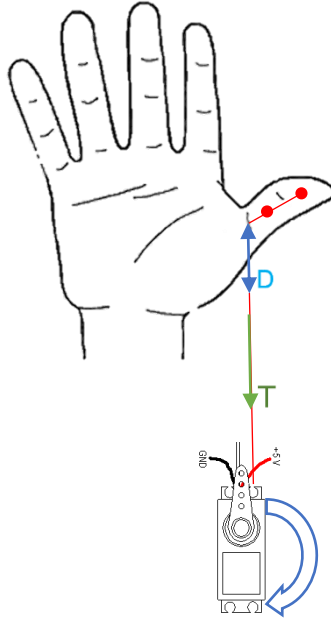


Figura 33. Diagrama de conexión y Tensión de hilo en dedo pulgar con servomotor.  
Elaboración propia.

Donde:

T: es la tensión de el hilo

D: es la distancia que recorre el hilo al ser jalado por el servomotor

Entonces antes que nada necesitamos saber el peso de el dedo

$$m = 33gr$$

$$\therefore \text{Peso} = m \cdot a$$

$$\text{Peso} = (0.033kg)(9.81m/s^2)$$

$$\text{Peso} = 0.323N$$

Lo siguiente es saber la cual es la distancia que recorre el hilo al ser jalado y el esfuerzo de torsión del servomotor, esta es proporcionada por la datasheet

$$D = 2cm$$

$$FT = 0.314Nm$$

Utilizamos la fórmula de Fuerza de Torsión

$$FT = F \cdot D$$

$$F = \frac{FT}{D}$$

$$F = \frac{0.314Nm}{0.02m} = 15.7N$$

Esta fuerza la utilizamos para encontrar la aceleración de todo el sistema

$$F = ma$$

$$15.7N = (0.033kg)(a)$$

Despejamos la aceleración

$$a = \frac{15.7N}{0.033kg}$$

$$a = 475m/s^2$$

Finalmente obtenemos la tensión:

$$F = ma$$

$$T = (0.033kg)(475m/s^2)$$

$$T = 15.6N$$

### 4.3.2 Cálculos para obtener la corriente de un servomotor Futaba s3003

Para calcular la corriente necesitamos tener el momento

$$m = 0.314Nm$$

También necesitamos la velocidad de funcionamiento, está la encontramos en las especificaciones de el servo

$$VF = 0.23s/60^\circ \text{ sin carga}$$

Es necesario convertir el ángulo en radianes

$$60^\circ \cdot \pi/180 = 1.047rad$$

Obtenemos la velocidad angular

$$VA = \text{Angulo recorrido/tiempo}$$

$$VA = 1.047rad/0.23s = 4.55rad/s$$

Por último usaremos las formulas de la potencia

$$P = m \cdot VA$$

$$P = 0.314Nm \cdot 4.55rad/s = 1.4287w$$

$$P = v \cdot i$$

Despejamos la corriente

$$i = \frac{P}{v}$$

$$i = \frac{1.4287w}{5v} = 0.285A$$

Miguel. (2008) Menciona que potencia la mecanica-eficiencia mecanica-eficiencia eléctrica sale la potencia eléctrica. Si en el brazo del servo tienes 100w, entonces en el eje del motor debes de tener MAS potencia, no menos, ya que esa potencia extra es la que consumen los engranajes. Por ejemplo un servo HS-81 de 2,5kg consume 250mA SIN carga, o sea dando la potencia mínima, la potencia con carga puede triplicarse a la mínima, lo cual AL MENOS triplica el consumo, dando 750mA, y eso sin tener en cuenta que con mas consumo la eficiencia del servo será menor.

Teniendo en cuenta lo anterior podemos decir que los cálculos anteriormente realizados son con la mínima potencia sin torque, pero ya que en este proyecto se utilizaron para jalar hilos ejercieron mucho más torque, así que triplica el consumo

$$i = 0.285A \cdot 3 \approx 0.857A$$

#### 4.4 Elaboración del guante con los sensores de deflexión

Para la construcción de este guante se tuvieron que buscar diferentes modelos que se adecuaran al principal propósito que es proteger al operador y para que también sea duradero y seguro.

Por lo antes descrito fue que decidimos comprar este guante, ya que sus características son ideales para realizar este proyecto, por su tamaño adecuado y también por una recubierta anti corte que es primordial para proteger al operario.



Figura 34. Par de guantes industriales con recubrimiento para corte. Elaboración propia.

Posteriormente para poder tener un guante que sea funcional y que pueda poseer los 3 sensores de 4,5" y 2 de 2,2" en cada dedo correspondiente fue necesario hacerle unas cuantas modificaciones en la parte superior de este guante, ya que teníamos la problemática de que al hacer movimientos demasiado bruscos (como cerrar el puño) los sensores se deslizaban por el guante y era primordial colocarlos en una solo posición, ya que de no ser así los sensores nos enviaban valores distintos de resistencia.

En la siguiente imagen se puede observar cuales fueron las primeras modificaciones que le hicimos a este guante:



Figura 35. Sensores de Flexión ajustados al guante industrial. Elaboración propia.

Se le coloco un poco listón en cada dedo para que con la ayuda del recubrimiento que tiene el guante los sensores su pudieran mantener en una posición, pero esto no resolvió el problema ya que aunque el guante tuviera este recubrimiento los sensores seguían moviéndose demasiado.

Por las razones antes descritas fue porque decidimos hacer la última modificación al guante como se muestra en la siguiente figura:



Figura 36. Construcción final de guante con sensores de flexión adheridos. Elaboración propia.



Al pensar distintas opciones para poder llegar al objetivo que era mantener el sensor en una posición, decidimos que debíamos cortar el listón y ajustarlo más a cada dedo para impedir que el sensor se moviera en direcciones incorrectas y de esta manera asegurar su movimiento en un solo eje, colocamos hilos en aquellos espacios donde no habíamos ajustado listón, para que así el sensor se quedara lo más pegado al dedo posible y de esta manera tener una medición más exacta, resolvimos el problema del movimiento erróneo de los sensores colocando un poco de cera en cada una de las puntas de los dedos y así lograr que los sensores ya no se deslicen por el guante, con esto los sensores nos entregaron siempre los mismos valores de resistencia, ya que de no ser así se tenía que cambiar constantemente el valor del mapeo de cada dedo. Decidimos no soldar los cables conectores (jumpers) ya que corríamos el riesgo de que las terminales de los sensores se rompieran o se dañaran de alguna manera, por esta razón simplemente colocamos los cables y los aseguramos con un poco de cinta.

#### **4.5 Construcción de la mano y base de 360°**

La construcción de la mano fue la parte más difícil de este proyecto, ya que teníamos la opción de conseguirla en alguna página de internet y ahorrarnos el trabajo, pero nos encontramos con la problemática de que deseábamos que la mano fuera lo más parecida posible a una mano humana para que así los movimientos que se hagan con el guante el prototipo los imitara de una manera más eficiente.

Así que decidimos fabricarla nosotros mismos, por lo consiguiente necesitábamos un material que fuera flexible y resistente, por lo cual utilizamos cera o también llamada silicón ya que es un material que se apega a estas características, de esta manera nosotros podíamos realizar los dedos y la palma de una manera más artesanal, eficiente y similar a la mano humana.

El principal problema con el que nos encontramos fue que no sabíamos con qué material íbamos a hacer la parte que corresponde al hueso humano y a las articulaciones de los dedos, así que en el primer material que pensamos fue en los resortes como se ve a continuación.



Figura 37. Resorte para pruebas. Elaboración propia.

Material el cual tuvimos que jalar para poder tener el largo correcto de cada dedo, al principio pensábamos que era suficiente para poder llegar al objetivo, le colocamos un poco de hilo cáñamo color rojo y algo de cera, así fuimos poco a poco dándole forma como se muestra en la siguiente imagen.



Figura 38. Primer prototipo de dedo. Elaboración propia.

Desafortunadamente el resorte no fue la mejor opción ya que se balancea demasiado de forma muy irregular y así no lográbamos el objetivo principal que es que los dedos sean lo precisos posibles a la mano humana.

Esto nos llevó a buscar otro material más apropiado para los dedos, así que se nos ocurrió que con sujetadores de nylon sería una buena opción, ya que el nylon es un material resistente y duradero.



Figura 39. Cincho de Plástico. Elaboración propia.

A diferencia de los resortes estos sujetadores no se balancean ya que tienen un movimiento en un solo eje, pero con la diferencia de que con los resortes teníamos el movimiento de las articulaciones ya que estos tienden a siempre estar rectos y cuando los doblas regresan a su posición original, así que teníamos el problema de que los sujetadores no tienen esta propiedad, afortunadamente logramos resolver el problema marcando los puntos donde queríamos que el sujetador doblara para simular el movimiento de las articulaciones, también colocando unos cuantos pedazos de sujetador en la parte posterior para que estuviera totalmente recto cada uno de los dedos como se muestra a continuación



Figura 40. Prototipo de Prueba dedo funcional. Elaboración propia.

Por último necesitábamos hacer que los servomotores jalaran hilos que estuvieran colocados en los dedos, por ello fue que cortamos tubos contenedores de tinta de plumas y se los colocamos en cada uno de los dedos, para que a través de ese tubo pudiera pasar el hilo y así lo pudiera jalar el servomotor, como se muestra a continuación.



Figura 41. Orificios para tendones dentro del dedo. Elaboración propia.

Lo anterior fue nuestro segundo intento de elaborar los dedos, pero aun así no conseguíamos los resultados esperados, ya que no habíamos colocado las medidas correctas, esto nos llevó a hacer otro dedo, pero en esta ocasión con las alturas y medidas correctas el resulta fue el siguiente.

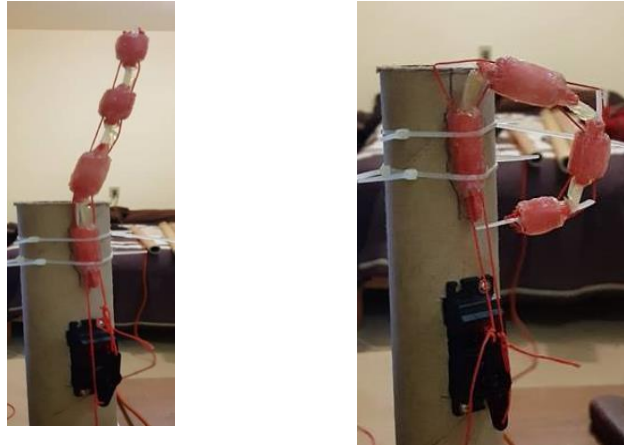


Figura 42. Prueba funcional de dedo con movimiento del servomotor. Elaboración propia.

En las imágenes anteriores se puede observar que hicimos una pequeña prueba de cómo es que funcionaban los dedos colocando un servomotor y los hilos, también podemos observar que el comportamiento de los dedos y de las articulaciones es muy parecido al de un dedo humano, esto nos da como resultado un muy buen comportamiento de los sujetadores con la cera.

Conociendo como era el procedimiento para hacer un dedo, hacer los dedos faltantes no resulto complicado solo cambian las alturas y medidas para cada dedo.

Lo siguiente que hicimos fue unir todos los dedos y poco a poco le dimos forma a una mano humana



Figura 43. Ensamblaje de mano robótica. Elaboración propia.

Como se muestra en la figura anterior colocamos unas cuantas barras de silicón para poner hacer la palma de la mano, teniendo cuidado de no obstruir en los contenedores de tinta, el resultado fue el siguiente.



Figura 44. Prototipo final de mano robótica. Elaboración propia.

Uno de los objetivos que tenemos planeado para este proyecto es brindarle protección al trabajador, pero también uno de los objetivos primordiales es facilitar su trabajo, así que con este proyecto no solo se desea imitar la mano humana sino que también lograr un movimiento el cual no lo pueda hacer el brazo humano, el cual es un movimiento de 360° para ello utilizamos una base giratoria como se muestra a continuación.



Figura 45. Base giratoria de 360°. Elaboración propia.

Con ayuda de esta base garantizamos que el operario no solo estará protegido sino que también podrá hacer sus labores de una manera más óptima y eficiente.

#### 4.6 Ensamblaje y pruebas finales

Un objetivo fundamental es hacer que tenga un movimiento el cual pueda imitar el movimiento del codo, para ello necesitábamos montar la mano en un material que fuera resistente, al principio intentamos utilizar cartón cilíndrico, pero este material era poco resistente, por ello decidimos utilizar madera, ya que este si cumple con la características antes mencionadas, así que la utilizamos para montar la mano y también los servomotores, como se muestra a continuación.



Figura 46. Montaje de la mano con servomotores. Elaboración propia.

Posteriormente de montar la mano en la tabla de madera como se vio anteriormente, procedimos a colocarla en la base de rueda giratoria, para ello utilizamos algunos tonillos y tuercas para que se fijara correctamente.



Figura 47. Base de madera para prototipo. Elaboración propia.

Por último colocamos otra tabla de madera como base, ya que el peso de la madera, la mano y los servos eran demasiado para la pequeña base que habíamos colocado en un principio y por ello al hacer alguna inclinación la base de la mano se vencía por el peso y podía dañar a la mano, como se ve a continuación.



Figura 48. Prototipo Final con ensamblaje completo. Elaboración propia.

## Conclusiones

Como conclusiones de este proyecto, podemos decir que se logró un prototipo funcional que puede ser utilizado en procesos productivos principalmente dentro de laboratorios donde se manipulen sustancias u objetos peligrosos, también observamos que con el conocimiento adquirido a lo largo de la carrera se hizo un mejor análisis en cuanto a la construcción del proyecto ya que fue da gran ayuda saber programar un microcontrolador, entender el comportamiento de los distintos tipos de sensores o del ADC, y sobre todo conocer el funcionamiento de los servomotores, gracias a esto se realizó un proyecto que puede ayudar los operarios en sus distintas actividades.

Tal y como se observó a lo largo de este proyecto un sistema con sensores de flexión funciona con una gran precisión, debido a que detectan hasta el más mínimo movimiento gracias a que este varia su resistencia a la más mínima deformación que sufre, una de las ventajas que tiene este sensor es que tiene dimensiones muy reducidas, haciendo que el guante sea más estético y cómodo de utilizar, haciendo uso de un sensor para cada uno de los dedos.

Debido a que el diseño original de la mano fue propio, permitió un movimiento preciso e independiente de cada uno de los dedos, lo que nos brindó una mejor adaptación de los servomotores. Logrando que los dedos tuvieran un estilo más natural cuando se unieron con el hilo a los servomotores.

El desarrollo de este prototipo nos permitió también conocer de los distintos materiales utilizados en el diseño del robot, se concluyo que el material es sumamente importante en el diseño de un robot, ya que la flexibilidad del material y su durabilidad, hace mucho más sencillo la adaptación de componentes, como sabemos el peso también juega un papel muy importante, ya que este está asociado al torque que presenta cada uno de los servomotores, es decir, tenemos que pensar en materiales que sean resistentes, pero ligeros en el desarrollo de un robot.

Es por ello que dependiendo del material utilizado este puede presentar ventajas y desventajas para el diseño y armado del prototipo. Los materiales flexibles nos permiten que la adaptación de los servomotores sea más sencilla, aunque este tipo de material podría no ser tan bueno cuando sea expuesto a altas temperaturas optando así por un material más resistente como lo es el polímero ABS dándole así más fortaleza y durabilidad al prototipo haciéndolo resistente a altas y bajas temperaturas, pero al mismo tiempo siendo sencillo para la adaptación de los servomotores.

En este caso el material utilizado es de buena calidad y es flexible, pero es frágil, es decir no podría cargar pesos muy excesivos porque si no se rompería, ni tampoco podría ser expuesto a altas temperaturas.



Pudimos observar una pérdida de ajuste de cada uno de los servomotores con respecto a los sensores, esto es un problema muy grave, ya que la mano antes de alcanzar una estabilidad comenzaba a vibrar demasiado, esta vibración era derivada de la conversión analógica-digital del microcontrolador, esto resultaba en tener que hacer un ajuste de cada uno de los sensores cada vez que se operaba. Con ello llegamos a la conclusión de utilizar un microcontrolador con una resolución de 8 a 10 bits, esto para mejorar el tiempo de respuesta y que la conversión de los datos en el ADC del micro fuera más rápida.

Este prototipo al tener las mismas funcionalidades que presenta el brazo y la mano humana permite ser llevado a la práctica en cualquier área donde el riesgo de introducir la mano, hacer contacto físico en el proceso o la manipulación de alguna sustancia química corrosiva para la piel humana puede generar un daño o pérdida de la extremidad, evitando así riesgos innecesarios donde se pueda producir algún tipo de accidente que dañe la salud de la persona.

Lo que se propone con este proyecto es que en un futuro podamos reducir accidentes dentro de la industria, enfocando el conocimiento de control no en la realización de autómatas sino en la protección de la integridad de los operadores. Es por ello que pensamos en el desarrollo de este tipo de prototipos dentro de un área poco explorada por todas aquellas personas que se dedican al diseño y la automatización, por lo que nosotros proponemos este proyecto para la seguridad y la prevención de accidentes.

## Recomendaciones

Durante el desarrollo de este proyecto se detectaron algunas características importantes que investigadores dedicados al diseño de autómatas puedan tomar como referencia dentro de sus desarrollos.

La primera característica que encontramos es la corriente consumida por los servomotores, cuando hablamos de servomotores en específico el Futaba s3003, presenta la característica de que cuando se ejerce determinado torque, la demanda de corriente se incrementa, es por ello que una fuente de voltaje externa que pueda satisfacer de manera amplia toda la demanda de corriente solicitada por los servomotores es sumamente importante, nosotros utilizamos una fuente de 2A, pero notamos que la alimentación hacia los servomotores no era suficiente por lo cual se decidió cambiar a una fuente de corriente de 5A. En este caso nuestros servomotores fueron adecuados para nuestro prototipo ya que no requeríamos levantar objetos tan pesados, pero recomendamos servomotores más robustos incluso hasta de 50 kg de torque (por ejemplo el k-power DM4000) dependiendo el tipo de objetos que se desee levantar y obviamente una fuente externa de 20A mínimo para este tipo de servomotores. Entendemos que este es un prototipo, pero el uso de servomotores que logren soportar pesos mayores podrían ser de mucho mayor utilidad dentro de procesos donde involucre tomar y mover objetos o sustancias de mayor volumen o peso.

La segunda característica que observamos es que los materiales que utilizamos en el diseño del antebrazo no eran los más adecuados, la madera, por ejemplo, es un material que representa un peso excesivo, el cual generaba que los servomotores demandaran una corriente mucho mayor, para esto recomendamos utilizar aluminio ya que es un material ligero, resistente y que pudo haber sido mucho más flexible.

En lo que corresponde al material utilizado para la fabricación de la mano y los dedos la ventaja que se tuvo con este Polisiloxano más comúnmente conocido como silicón duro, nos ayudó para que fuera más adaptable para toda la parte del cableado con los sensores, pero no era lo suficientemente resistente para levantar objetos pesados, es por ellos que recomendamos utilizar un polímero ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno) ya que es un material más resistente y es utilizado para la impresión 3D.

En cuanto a los sensores que utilizamos, consideramos que tienen buena rigidez y buen desempeño en el movimiento de la mano ya que al ser hilo cáñamo en conjunto con el Polisiloxano genera un desplazamiento natural. Aunque recomendamos también otro tipo de sensores, como la caña de pescar o las cuerdas de guitarra, ya que estas presentan gran flexibilidad y buena rigidez cuando son sometidas a una tensión.

Para poder manipular este prototipo se requiere estar muy cerca del área de trabajo, es por ello que recomendamos diseñar un sistema de comunicación Bluetooth si se requiere estar a unos 7 u 8 metros del proceso, si se requiere estar a una distancia de 90 metros o más del proceso entonces recomendamos utilizar una comunicación a través de Wi-Fi o algún protocolo de comunicación industrial como por ejemplo SCADA o un Control Distribuido, esto con el objetivo de que no ponga en riesgo al

operario al estar tan cerca del proceso y lo pueda manipular mediante un mando a distancia, consideramos que esta es una área de oportunidad para futuras generaciones que deseen retomar nuestra investigación para hacer la adaptación y el mando a distancia.

Para el diseño de la mano no se utilizó ningún tipo de software que nos permitiera hacer un diseño preciso de la mano, al ser un diseño artesanal y ajustado a los sensores de los servomotores recomendamos no solo otro tipo de material sino también el uso de un software de impresión 3D como el TINKERCAD o el 3DSLASH que le pueden dar características a la mano mucho más apegadas a las que sería una mano real.

Esta mano como ya lo vimos anteriormente tiene 2 grados de libertad, recomendamos que si se necesita o se demandan movimientos más precisos de la mano, se puede implementar otro grado de libertad en el antebrazo específicamente en la conexión de el codo y la base, permitiendo un movimiento de 360° y logrando que en un espacio de 60 cm pueda operar o manipular cualquier objeto con mucho mayor precisión. Esto lo podemos lograr agregando un servomotor de 360° por ejemplo el DFROBOT DF15RSMG que cuenta con un torque de 20Kg, se colocaría de manera externa para obtener este movimiento antes mencionado.

## Referencias Bibliográficas

1. A. González, J. Bonilla, M. Quintero, C. Reyes, A. Chavarro (2016). Análisis de las causas y consecuencias de los accidentes laborales ocurridos en dos proyectos de construcción. Recuperado de [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-50732016000100001](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732016000100001) Consultado el 14 de Mayo de 2018.
2. AgaMem Microelectronics (2008). Circuito Interno de Control Futaba s3003. Obtenido del URL: [https://www.digchip.com/datasheets/download\\_datasheet.php?id=2939972&part-number=AA51880](https://www.digchip.com/datasheets/download_datasheet.php?id=2939972&part-number=AA51880) Consultado el 14 de Mayo de 2018.
3. Álvarez M. (2017). SERVOMOTORES [Publicación en un blog]. Recuperado de <http://www.areatecnologia.com/electricidad/servomotor.html> Consultado el 1 de Marzo de 2018.
4. Alzate Rodríguez Edwin Jhovany, y Montes Ocampo, Jose William. (2007). medidores de deformación por resistencia: galgas extensiométricas. Recuperado de <file:///C:/Users/ALUMNO/Downloads/Dialnet-MedidoresDeDeformacionPorResistenciaGalgasExtensio-4806964.pdf> Consultado el 9 de Mayo de 2018.
5. Andrade D. M. y Zúñiga D. A. (2011). Diseño y construcción de una mano robótica para la enseñanza del alfabeto dactilológico universal para personas sordomudas (Tesis de Ingeniería). Universidad Politecnica Salesiana Sede Cuenca. Ecuador. Consultado el 6 de Junio de 2018.
6. Andrés López Lahoz (2013). Sensores Táctiles para Aplicaciones Robóticas de Manipulación Fuente:<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/69022/L%C3%93PEZ%20-%20Sensores%20t%C3%A1ctiles%20para%20aplicaciones%20rob%C3%B3ticas%20de%20manipulaci%C3%B3n.pdf?sequence=2> Consultado el 7 de Mayo de 2018.
7. Antonio Muñoz, José Rodríguez Herrerías y José M. Martínez (2014), La Seguridad Industrial Fundamentos y Aplicaciones, 1ª ed, México, Miner. Consultado el 14 de Mayo de 2018.
8. Arcesw.com. (2018). Niveles de Amputación. [online] Recuperado de: <http://www.arcesw.com/niveles.htm> Consultado el 25 Marzo 2018.
9. Arduino (2018). Map(value, fromLow, fromHigh, toLow, toHigh). Recuperado de <https://www.arduino.cc/en/pmwiki.php?n=Reference/Map> Consultado el 14 de Abril de 2018.
10. Asfahl, C. (2000). Seguridad industrial y salud. 4th ed. México: Pearson Educación. Consultado el 20 de Mayo de 2018.
11. Bernabe Espinosa Liliana, Iscapa Treviño Cecilia, Rivera Balboa Ruben Dario, Arcos Serrano Maria Esther, & Bravo Medina Enrique. (2014). Guia Practica Sobre Riesgos Químicos. Recuperado de <http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/137GUAPRCTICASOBRERIESGOSQUMICOS.PDF> Consultado el 8 de Mayo de 2018.

12. Bernardo Moreno Jimenez. (2011). Factores y riesgos laborales psicosociales: conceptualización, historia y cambios actuales. Recuperado de [http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0465-546X2011000500002](http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0465-546X2011000500002) Consultado el 6 de Mayo de 2018.
13. Bruce T. Volpe , Dustin Williams , James Celestino , Steven K. Charles , Daniel Lynch y Neville Hogan (2007). Neurorrehabilitación asistida por robot. Fuente: <http://noticias.universia.net.mx/vida-universitaria/noticia/2009/01/05/17962/ipn-crea-guante-electronico.html> Consultado el 13 de Abril de 2018.
14. C. Ray Asfahl y David W. Rieske (2010), Seguridad Industrial y Administración de la Salud. 6ª ed., México, Pearson. Consultado el 7 de Febrero de 2018.
15. Cañada Clé, J. (2009). Manual para el profesor de seguridad y salud en el trabajo. Madrid: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Consultado el 25 de Mayo de 2018.
16. Carletti, E.J. Servos: Características Básicas (2007). Obtenido del URL: [http://robots-argentina.com.ar/MotorServo\\_basico.htm](http://robots-argentina.com.ar/MotorServo_basico.htm) Consultado el 12 de Marzo de 2018.
17. Colaboradores, E. (2018). Las consecuencias de los accidentes. [online] Blog de PRL - IMF BS. Recuperado de: <https://www.imf-formacion.com/blog/prevencion-riesgos-laborales/actualidad-laboral/consecuencias-de-los-accidentes-laborales/> Consultado el 25 Marzo 2018.
18. Darío Ramírez (2011). Fuentes de Alimentacion. Obtenido del URL: [http://ocw.usal.es/enseñanzas-tecnicas/electronica/contenido/electronica/Tema4\\_Falimentac.pdf](http://ocw.usal.es/enseñanzas-tecnicas/electronica/contenido/electronica/Tema4_Falimentac.pdf) Consultado el 01 de Junio de 2018.
19. Díaz Fernández Jaime. (2013). Diseño y Realización de un Sistema de Procesamiento de Audio con Control Inalámbrico. Recuperado de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/12159/fichero/Memoria+PFC.pdf> Consultado el 6 de Junio de 2018.
20. Durante, C. L. (2009) Mantenimiento Correctivo de Fuentes de Poder. Recuperado de <https://es.calameo.com/read/002104820a5aef711013b> Consultado el 4 de Abril de 2018.
21. Diego Ivan Pilaquina Abadiano (2009). Guante CyberGlove. Diseño y Construcción de una Mano Robótica Fuente: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1774/1/CD-2371.pdf> Consultado el 20 de Abril de 2018
22. E. Zancolli, E. Cozzi(2014). Atlas de anatomía quirúrgica de la mano (1a ed.), Panamericana, Montevideo. Consultado el 14 de Mayo de 2018.
23. Eveliux (2007). Señal Analógica y Digital. Obtenido del URL: <http://www.eveliux.com/mx/Conversion-Analogico-Digital-ADC.html>. Consultado el 3 de Mayo de 2018.
24. Fernando E. Valdez Pérez y Ramón Pallas Areny (2007). Microcontroladores Fundamentos y Aplicaciones con PIC. Obtenido del URL: <https://drive.google.com/drive/folders/0B8BaeUC1N1CDbW5oNU1pSTRPR0k> Consultado el 06 de Mayo de 2018.

25. Floyd, L. Thomas. (2008). Dispositivos Electronicos (8ª ed.). México, México: Pearson. Consultado el 22 de Marzo de 2018.
26. Francisco A. Candelas Herías Juan A. Corrales Ramón (2007). Servomotores. Obtenido del URL: <http://www.aurova.ua.es/previo/dpi2005/docs/publicaciones/pub09-ServoMotores/servos.pdf> Consultado el 12 de Junio de 2018.
27. Fuente de Alimentación. Obtenido del URL: <https://sites.google.com/site/hardware012015/partes-internas-del-pc/fuente-de-poder>. Consultado el 4 de Mayo de 2018.
28. Futaba Radio Control (2007). Servomotores. Obtenido del URL: <http://www.futaba-rc.com/>. Consultado el 15 de Abril de 2018
29. García Alberto (2017). Gestión de entrada/salida en MSP430 [Publicación en un blog]. Recuperado de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/12159/fichero/Memoria+PFC.pdf> Consultado el 1 de Mayo de 2018.
30. Guarella, E. Juan, & Heredia, Juan Pablo. (2011). Sensores y actuadores en motores. Recuperado de <file:///C:/Users/New/Downloads/APUNTE%20SENSORES%20Y%20ACTUADORES.pdf> Consultado el 14 de Abril de 2018.
31. IMF BUSINESS SCHOOL (2018). Las consecuencias de los accidentes [ Información de un Blog]. Recuperado de <https://blogs.informacion.com/blog/prevencion-riesgos-laborales/actualidad-laboral/consecuencias-de-los-accidentes-laborales/> Consultado el 23 de Marzo de 2018.
32. Jaime Becerril Delgado, Luis Cerda García y Daniel Nieto Sánchez 2009. Prototipo de traductor de la lengua de señas. Fuente: <http://noticias.universia.net.mx/vidauniversitaria/noticia/2009/01/05/17962/ipn-crea-guante-electronico.html> consultado el 20 de Abril de 2018.
33. José Luis Zarazúa Vilchis (2014), Seguridad Industrial: Concepto y Resignificaciones Practicas, 1ª ed., México, Gestión y Estrategia. Consultado el 2 de Marzo de 2018.
34. Juntadeandalucia.es. (2018). Hosting Averroes ha sido clausurado. [online] Recuperado de: <http://www.juntadeandalucia.es/averroes/~29701428/salud/mano.gif> Consultado 25 Marzo 2018.
35. Kayser Beatriz. (2007). Higiene y Seguridad Industrial. Recuperado 6 mayo, 2018, de <https://www.aiu.edu/publications/student/spanish/180-207/PDF/Higiene-y-seguridad-Industrial.pdf> Consultado el 10 de Junio de 2018.
36. Kernighan, Brian W.; Ritchie, Dennis M.: "El lenguaje de programación C", Prentice-Hall Hispanoamericana, 1991. Consultado el 1 de Marzo de 2018.
37. Malvino, A. Albert, & Albes, J. David. (2006). principios de electronica (7ª ed.). México, México: Mc Graw Hill. Consultado el 5 de Abril de 2018.

38. Marce (7 de septiembre de 2011). ANALISIS EN EL PUESTO DE TRABAJO [Información de un Blog]. Recuperado de <http://marce-ergonomia.blogspot.com/> Consultado el 27 de Febrero de 2018.
39. Marieb, N. Elaine. (2008). Anatomía y Fisiología Humana (9ª ed.). México, México: Pearson. Consultado el 17 de Abril de 2018
40. Meneses A. A. y Toloza C. D. (S.A.). Diseño y Construcción de un Monitor de Signos Vitales basado en un Computador Portátil. (Proyecto de Investigación y Desarrollo). Dalcame. Recuperado de <http://www.dalcame.com/wdescarga/fuente.pdf> Consultado el 24 de Marzo de 2018.
41. Miguel. (22 de Febrero del 2008) CALCULO DE LA INTENSIDAD QUE CONSUME UN SERVO [Comentario en un Foro en Línea]. Recuperado de: <http://www.miliamperios.com/foro/calculo-de-la-intensidad-que-consume-un-servo-97203> Consultado el 8 de Junio de 2018.
42. MOLINA M. Carlos Ernesto. Las normas internacionales del trabajo y su efectividad en el derecho colombiano. Bogotá, Editorial Temis, 2005, pág. 37. Consultado el 5 de Abril de 2018.
43. Moore, L. Keith. (2016). MOORE. ANATOMÍA CON ORIENTACIÓN CLÍNICA (7ª ed.). México, México: LW. Consultado el 3 de Mayo de 2018.
44. Mora, P. P. (2017). Instalación y Configuración de los Nodos de Interconexión de redes privadas con públicas. España: Elearning. Consultado el 2 de Febrero de 2018.
45. Mrelberni (2018). Analógico Digital PIC Recuperado de <http://microcontroladores-mrelberni.com/analogico-digital-pic/> Consultado el 4 de Mayo de 2018.
46. Mustafa, A. (2018). Anatomía aplicada a la cirugía de los tendones flexores. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1698839615000304> Consultado el 6 de Mayo de 2018.
47. NASHESKY, A. LOUIS, & BOYLESTAD, L. ROBERT. (2016). Electrónica: Teoría de Circuitos y Dispositivos Electrónicos (10ª ed.). México, México: Pearson. Consultado el 26 de Febrero de 2018.
48. OSHA (2016). Derechos de los Trabajadores. Recuperado de <https://www.osha.gov/Publications/3473workers-rights-spanish.pdf> Consultado el 12 de Abril de 2018.
49. Peiro M Jose. (2004). EL SISTEMA DE TRABAJO Y SUS IMPLICACIONES PARA LA PREVENCIÓN DE LOS RIESGOS PSICOSOCIALES EN EL TRABAJO. Recuperado de [http://sparta.javeriana.edu.co/psicologia/publicaciones/actualizarrevista/archivos/V3N204sistema\\_trabajo.pdf](http://sparta.javeriana.edu.co/psicologia/publicaciones/actualizarrevista/archivos/V3N204sistema_trabajo.pdf) Consultado el 12 de Mayo de 2018.
50. Rena, F. Manual de Programación en C para principiantes y avanzados (1972). Recuperado de [https://www.ecured.cu/Lenguaje\\_de\\_Programaci%C3%B3n\\_C](https://www.ecured.cu/Lenguaje_de_Programaci%C3%B3n_C) Consultado el 18 de Abril de 2018
51. Saludemia (2018). Salud laboral - En Profundidad - Enfermedades profesionales Recuperado de <https://www.saludemia.com/-/vida-saludable->

- salud-laboral-en-profundidad-enfermedades-profesionales Consultado el 10 de Abril de 2018.
52. Saucedo, E. (2011). Proceso conversión de analógica- digital y digital-analógico. Recuperado de <http://elizabetsaucedo.blogspot.com/2011/09/priceso-convercion-de-analogica-digital.html> Consultado el 1 de Junio de 2018.
  53. Scott Edwards Electronics (2010). Mini SSC II Serial Servo Controller, User's Manual. 2000. Consultado el 4 de Abril de 2018.
  54. Soria Alejandro (2018). Las normas oficiales mexicanas son regulaciones. Recuperado de <https://www.coursehero.com/file/p4bj22v/Las-normas-oficiales-mexicanas-son-regulaciones-técnicas-de-observancia/> Consultado el 13 de Abril de 2018.
  55. SpectraSymbol (2018). Datasheet Sensores de Flexion. Fuente: <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/ForceFlex/FLEXSENSORREVA1.pdf> consultado el 7 de Mayo de 2018.
  56. Super Robotica (2018). Componentes de un servo. Obtenido del URL: <http://www.superrobotica.com/servosrc.htm> consultado el 07 de Mayo de 2018.
  57. Texas Instruments (2011). Datasheet MSP430G2x53 MSP430G2x13. Obtenido del URL: <http://www.ti.com/lit/ds/slas735j/slas735j.pdf> Consultado el 07 de Mayo de 2018.
  58. Torres, M.J. (2018) FUENTE DE PODER La fuente de poder o de alimentación es la encargada de transformar la corriente alterna de la línea eléctrica comercial en corriente directa. Recuperado de <https://slideplayer.es/slide/13971378/> Consultado el 7 de Marzo de 2018.
  59. Universidad de Zaragoza (2012). Programación de Ordenadores. Recuperado de <https://www.docsity.com/es/lenguaje-c-caracteristicas-apuntes-fundamentos-de-programacion/186121/> Consultado el 10 Abril de 2018
  60. Valdez Perez, E. Fernando, & Pallas Areny, R. Ramon. (2007). Microcontroladores Fundamentos y Aplicaciones con PIC (Ed. rev.). Ciudad de México, México: Alfaomega. Consultado el 8 de Mayo de 2018.
  61. Vargas Saenz Rosella. (2016). EL APARATO FLEXOR DE LA MANO: REVISIÓN DE SU ANATOMÍA Y BIOMECÁNICA. Recuperado de <https://www.fisiocampus.com/articulos/el-aparato-flexor-de-la-mano-revision-de-su-anatomia-y-biomecanica> Consultado el 8 de Mayo de 2018.
  62. Verne J. (2010) Fuente de Alimentación At y Atx. Recuperado de <http://www.electronicasi.com/wp-content/uploads/2013/06/Equipos-microinformaticos-Fuentes-de-alimentaci%C3%B3n-AT-y-ATX.pdf> Consultado el 20 de Mayo de 2018.
  63. Weiss, Mark Allen: "Estructuras de datos y algoritmos", Addison-Wesley Iberoamericana, 1995. Consultado el 2 de Abril de 2018.
  64. Werther, W. y. K. D. (2000), Administración de personal y recursos humanos. 5a. ed., México, McGraw-Hill. Consultado el 24 de Abril de 2018.