



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN FASE II

**IMPLEMENTACIÓN DE UN MÚSCULO NEUMÁTICO COMO EFECTOR FINAL DE UN BRAZO
ROBÓTICO**

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO

INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

PRESENTADO POR

21541181 EDGARD FRANCISCO PINTO MURILLO

ASESOR METODOLÓGICO: ALBERTO MAX CARRASCO

CAMPUS: SAN PEDRO SULA; MAYO, 2020

RESUMEN EJECUTIVO

Esta investigación tuvo como finalidad la elaboración de un prototipo de un músculo neumático y el desarrollo de pruebas necesarias para determinar su eficiencia como un efector final. Primero, se determinó el material adecuado para la construcción del músculo neumático, para eso, se hicieron pruebas con diferentes mangueras de látex que se encuentran en el mercado. Se registró su diámetro exterior e interior y las diferentes presiones con las que trabaja la manguera. Se compararon los datos y se decidió cual de las mangueras era la adecuada. Posteriormente, se hicieron pruebas de resistencia a diferentes tipos de material con los cuales se puede construir una malla expandible, esta para que proteja la manguera a utilizar. Seguidamente se procedió a desarrollar el prototipo con la fabricación de diferentes bujes los cuales mantienen los componentes juntos sin afectar su rendimiento. Al tener el prototipo armado se realizaron pruebas de funcionamiento en el banco de pruebas diseñado en el software CAD 3D SolidWorks, aquí se observó de manera clara el accionamiento del músculo neumático al inyectarle aire comprimido. Se realizaron pruebas de peso donde se determinó cual es el peso máximo que puede suspender el músculo neumático. Para poder instalar el prototipo como efector final se efectuaron pruebas cinemáticas al mismo, donde se determinó su tiempo de reacción, el desplazamiento de la manguera, la circunferencia de la manguera al inflarse y el volumen de aire dentro de ella. Con los datos adquiridos se prosiguió a desarrollar la programación en MATLAB, aquí se obtuvo la aceleración, velocidad, fuerza y la oscilación con la que trabaja el músculo neumático. Finalmente, se desarrolló la prueba de sujeción donde al regular constantemente la presión, el músculo neumático fue capaz de estirarse, engancharse al objeto de prueba y exitosamente suspenderlo.

Palabras Claves: Esfuerzo, Cinemática, SolidWorks, MATLAB

ABSTRACT

The purpose of this research was to develop a prototype of a pneumatic muscle and to develop the necessary tests to determine its efficiency as an end effector. First, the appropriate material for the construction of the pneumatic muscle was determined, for that, tests were made with different latex hoses that are on the local market. Its outer and inner diameter and the different pressures with which the hose works were recorded. Data was compared and it was decided which of the hoses was suitable. Later, resistance tests were made to different type of material with which an expandable mesh can be built, this is used to protect the hose. Next, the prototype was developed with the manufacture of different bushings which hold the components together without affecting their performance. With the prototype assembled, functionality tests were applied with the pneumatic muscle installed in the iron model designed in the 3D CAD software SolidWorks, here the operation was clearly observed when the compressed air was injected. Weight tests were performed where it was determined what is the maximum weight that the pneumatic muscle can suspend. To be able to install the prototype as a final effector, kinematic tests were carried out on it, where its reaction time, the stretching distance of the hose, the circumference of the hose when inflated and the volume of the air inside the hose were determined. With the acquired data, programming in MATLAB was developed, where the acceleration, speed and force with which the pneumatic muscle works were obtained. Finally, the clamp test was developed whereby constantly regulating the pressure, the pneumatic muscle was able to stretch, latch onto the testing object and successfully suspend it.

Key Words: Effort, Kinematic, SolidWorks, MATLAB

ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	Introducción	1
II.	Planteamiento del Problema	2
	2.1 Precedentes del Problema.....	2
	2.2 Definición del Problema	4
	2.3 Justificación	4
	2.4 Preguntas de Investigación.....	5
	2.5 Objetivos.....	5
	2.5.1 Objetivo General	5
	2.5.2 Objetivos Específicos.....	6
III.	Marco Teórico	7
	3.1 Músculo Humano	7
	3.1.1 Funciones del Sistema Muscular	7
	3.1.2 Tipos de Músculo	8
	3.1.3 Composición Muscular	9
	3.1.4 Brazo Humano.....	10
	3.1.5 Cuidado del Sistema Muscular	12
	3.1.6 Enfermedades Musculares	13
	3.2 Aire Comprimido	14
	3.2.1 Ventajas del Aire Comprimido.....	15
	3.2.2 Compresores	16
	3.2.3 Aplicaciones del Aire Comprimido.....	19
	3.3 Músculo Neumático	20
	3.3.1 Ventajas del Músculo Neumático.....	21
	3.3.2 Aplicaciones de un Músculo Neumático.....	21
	3.3.3 Cinemática del Músculo Neumático	24
	3.3.4 Parámetros Físicos del Músculo Neumático	26
	3.4 El Músculo Neumático como Efector Final	27
	3.4.1 Tipos de Efectores Finales.....	28

3.4.2 Efector Final Tipo Pinza	29
3.4.3 Efector Final tipo Herramienta	31
IV. Metodología	34
4.1 Enfoque	34
4.2 Variables de Investigación	34
4.2.1 Variable Dependiente	35
4.2.2 Variables Independientes	35
4.3 Técnicas e Instrumentos Aplicados	36
4.4 Materiales	36
4.5 Metodología de Estudio	37
4.6 Metodología de Validación	38
4.7 Cronograma de Actividades.....	38
V. Análisis y Resultados.....	40
5.1 Materiales.....	40
5.2 Procedimiento	44
5.3 Pruebas Cinemáticas	48
5.4 Hallazgos.....	54
5.5 Comparación de Resultados.....	54
VI. Conclusiones.....	57
VII. Recomendaciones.....	59
Bibliografía	60
Anexos.....	65
Anexo 1 – BANCO DE PRUEBAS DE HIERRO	65
Anexo 2 – BANCO DE PRUEBAS DE HIERRO	66
Anexo 3 – BANCO DE PRUEBAS DE HIERRO	67
Anexo 4 – BANCO DE PRUEBAS DE HIERRO	68
Anexo 5 - GANCHO PARA LA SUJECION DE PIEZAS.....	69
Anexo 6 - PROTOTIPO MÚSCULO NEUMATICO DE TRES MANGUERAS	70
Anexo 7 - PROTOTIPO MÚSCULO NEUMATICO DE TRES MANGUERAS	71

Anexo 8 - PROTOTIPO MÚSCULO NEUMATICO DE TRES MANGUERAS	72
Anexo 9 - PROTOTIPO MÚSCULO NEUMATICO DE TRES MANGUERAS	73
Anexo 10 - PROTOTIPO MÚSCULO NEUMATICO DE TRES MANGUERAS	74

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Tipos de Músculos y sus anatomías (izquierda a derecha: liso, estriado y cardíaco)	9
Ilustración 2: Composición del Músculo.....	10
Ilustración 3: Modelo del Brazo Humano y sus Partes.....	11
Ilustración 4: Tipos de Desgarro Muscular	14
Ilustración 5: Sistema de Aire Comprimido.....	16
Ilustración 6: Compresor de Tornillo (CDT)	17
Ilustración 7: Compresor de Paletas Deslizantes	18
Ilustración 8: Compresor de Anillo Líquido	18
Ilustración 9: Compresor de Lóbulos	19
Ilustración 10: Movimiento del Músculo Neumático.....	20
Ilustración 11: Músculo Neumático FESTO	21
Ilustración 12: Actuador de Tracción.....	22
Ilustración 13: Actuador de una Punzadora	22
Ilustración 14: Sistema de Parado de Emergencia	23
Ilustración 15: Sistema de Freno	23
Ilustración 16: Sistema de Elevación/Levantamiento.....	24
Ilustración 17: Pinza de Presión	29
Ilustración 18: Pinza de Enganche	30
Ilustración 19: ON Robot con Ventosa de Vacío Instalada.....	30

Ilustración 20: Brazo Robótico con Electroimán como Efecto Final	31
Ilustración 21: Pinza Soldadura por Puntos.....	32
Ilustración 22: Soplete Soldadura de Arco	32
Ilustración 23: Efecto Final tipo Atornillador	33
Ilustración 24: Robot KUKA tipo Pistola de Pintura	33
Ilustración 25: Proceso Cuantitativo	34
Ilustración 26: Variables de Investigación	35
Ilustración 27: Modelo de la Metodología Jerárquica.	37
Ilustración 28: Cronograma de Actividades.....	39
Ilustración 29: Recomendación FESTO	40
Ilustración 30: Elaboración de las Piezas para el Músculo Neumático.....	45
Ilustración 31: Estado de Reposo y Contracción	45
Ilustración 32: Músculo Neumático de una Manguera Instalado en el Banco de Pruebas de Hierro ...	46
Ilustración 33: Músculo Neumático en Reposo	48
Ilustración 34: Programación en MATLAB.....	51
Ilustración 35: Velocidad del Músculo Neumático Basado en MATLAB.	52
Ilustración 36: Aceleración del Músculo Neumático Basado en MATLAB.	52
Ilustración 37: Fuerza del Músculo Neumático Basado en MATLAB.....	53
Ilustración 38: Oscilación del Músculo Neumático.....	53
Ilustración 39: Grafica de Resultado para la Prueba Isométrica	55
Ilustración 40: Resultados a Prueba de Resistencia de Presión	55
Ilustración 41: Resultado Pruebas de Reacción	56
Ilustración 42: Resultados Pruebas de Presión Inicial.....	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Prueba de Presión a Mangueras de Látex	41
Tabla 2: Pruebas de Presión con Manguera de Látex a Mallas Expandibles	43
Tabla 3: Resultados de Prueba con Peso	47
Tabla 4: Pruebas de Reacción, Desplazamiento y Circunferencia.....	49

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Circunferencia de un Circulo	25
Ecuación 2: Área de un Circulo	25
Ecuación 3: Volumen de un Circulo	25
Ecuación 4: Presión	25
Ecuación 5: Fuerza del Látex	26
Ecuación 6: Fuerza Nominal.....	26
Ecuación 7: Ecuación de la Fuerza	26
Ecuación 8: Radio de un Circulo	49
Ecuación 9: Función de Transferencia	50

GLOSARIO

- Esfuerzo: es la tensión o fuerza interna que soporta una estructura como resultado de las cargas externas. Por ejemplo, una persona sentada en una silla es una carga para la silla. Debido a esta carga las patas soportan un esfuerzo de compresión.
- Cinemática: la rama de la mecánica que describe el movimiento de los objetos sólidos sin considerar las causas que lo originan y se limita, al estudio de la trayectoria en función del tiempo.
- SolidWorks: es un software de diseño CAD 3D para modelar piezas y ensamblajes en 3D y planos 2D.
- MATLAB: es un sistema de computo numérico que ofrece un entorno de desarrollo integrado con un lenguaje de programación propio.

I. INTRODUCCIÓN

En la industria actual se exige que constantemente se este innovando para poder satisfacer las necesidades de los consumidores, para esto se necesitan crear nuevos sistemas y procesos que sean mas eficientes. Basado en este problema se ha buscado imitar la máquina mas eficiente que existe en cuanto a movimiento se refiere, el ser humano. Por esta razón se ha creado lo que es el músculo neumático, que consiste en inyectar aire comprimido en su entrada para crear una contracción y un movimiento lineal. El músculo neumático esta formado por una malla expandible y resistente a la tracción accionada por el aire, su forma es cilíndrica para que cuando se aplique una presión interior, esta crezca radialmente y decrezca axialmente. Adentro de esta malla se instala lo que es una manguera de látex, se le inyecta directamente el aire y simula el movimiento del músculo humano. Cuando se aumenta el grosor de la malla, su longitud se acorta y esto causa que la longitud total del músculo neumático se reduzca, produciendo la contracción. Los músculos neumáticos en comparación con los actuadores comunes tienen una mayor fuerza, mejor dinamismo, sencillo al regular las posiciones intermedias mediante ajustes de la presión, su estructura es robusta, pero de menor peso y también es hermético. Esta investigación consiste en la determinación a base de pruebas de resistencia de los materiales para construir un músculo neumático y pruebas cinemáticas para determinar si se puede emplear el músculo neumático como efector final de un brazo robótico y así poder emplear lo que es la sujeción al mecanismo.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En este capítulo se presenta la estructura del problema, sus precedentes que respaldan la investigación, así como el impacto que genera. También se incluye las preguntas de investigación, objetivos y los pasos a seguir para poder llevar a cabo el estudio.

2.1 PRECEDENTES DEL PROBLEMA

Al comparar el músculo neumático a cilindros convencionales este ofrece una gran variedad de ventajas como: menor peso con diámetros muy similares y la fuerza que genera es superior. Crear e instalar un cilindro neumático común es mucho más costoso que un músculo neumático. Al aplicarlo en diferentes campos el músculo neumático ofrece muchas ventajas, en el área de sujeción ofrece gran fuerza, insensibilidad con respecto a la suciedad, movimiento sin fricciones y es completamente hermético. Gracias a su pequeño diámetro, se puede montar y utilizar en lugares con poco espacio. Permite sujetar fácilmente piezas grandes y difíciles de manipular, como placas, paredes o piezas laterales que se deben mecanizar. A continuación, se desglosan una diversidad de proyectos en los cuales se utilizó un músculo neumático y el desarrollo de múltiples pruebas que se utilizan en esta investigación para determinar su eficiencia:

El Departamento de Ingeniería Electrónica de la Universidad de Salford en Manchester, Inglaterra publicó un artículo elaborado por Darwin G. Caldwell, A Razak y M. Goodwin acerca de un Actuador Trenzado Basado en el Músculo Neumático. Ellos realizaron pruebas de la relación fuerza/presión que genera el músculo neumático. Las fuerzas generadas durante la contracción del músculo las midieron usando una celda de carga, con el músculo neumático conectado a la celda de carga usando fibras de Kevlar. Extendieron el actuador a su longitud de prueba bajo una presión cero y la salida de la celda de carga la pusieron de igual manera en cero. Cuando la energizaron, el revestimiento de goma se infló generando una fuerza contráctil a medida que el sistema se contrajo para recuperar su estado de volumen máximo. Los cambios en la fuerza contráctil se hicieron de manera cíclica y dieron valores de 0 psi a 65 psi y de regreso a 0 psi. (Caldwell *et al.*, 2015)

El Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, Ecuador publicó un artículo elaborado por Manuel Alejandro Lascano Freire acerca de el Estudio de Músculos Neumáticos

y Determinación de Parámetros Funcionales para ser Aplicado en una Órtesis Dinámica de Pie Caído. Se menciona que se elaboraron diferentes músculos neumáticos con diferentes materiales, a estas se le elaboró pruebas de resistencia de presión en la manguera de látex producida. Una de las mangueras a la cual se le hizo la prueba era una manguera de látex producida industrialmente sin recubrimiento, esta siendo la mas parecida a la utilizada en el prototipo elaborado en esta investigación. La presión de entrada fue en todo momento constantes de 100 psi para todas las mangueras y la presión de salida que se aumento de 5 a 25 psi en 5 diferentes pruebas y se midió el ensanchamiento de la sección transversal en milímetros lo que seria el radio de la manguera cuando esta este inflada. (Lascano, 2012)

El Departamento de Informática y Electrónica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en Ecuador, publico un articulo elaborado por Jonathan Alexander Paucar Tenorio y Guido Lenin Quinllay Ramos acerca del Diseño, Dimensionamiento e Implementación de una Estación Didáctica de Presionado con Músculo Neumático. Para hacer las pruebas de reacción los autores utilizaron un músculo neumático de 35 cm en reposo y 39 cm al ser estirado y establecieron los siguientes parámetros: una presión de 73 psi, un tiempo de posicionamiento esperado de 2 segundos, una longitud de carrera requerida de 100 mm, un ángulo de instalación de 0 grados y una masa de movimiento de 5 kg. Ellos ingresaron los parámetros en el programa donde realizaron las pruebas y obtuvieron un tiempo de respuesta de 1.961 segundos y una velocidad promedio de 51 mm/s. (Paucar & Quinllay, 2013)

El Departamento de Ingeniera de la Universidad Tecnológica del Sur del Estado de México publico un articulo elaborado por Mario Ortega, Alejandro Pineda, Marco Rodriguez, Paul López, Carlos Rivera, Francisco Acevedo y Román Gonzalez acerca del Mecanismo de Muslo-Pierna Antropomórfico Accionado por Músculos Neumáticos. Ellos presentaron un diseño, la fabricación y el control de un mecanismo de muslo-pierna de dos grados de libertad. Para lograr dicho objetivo diseñaron músculos neumáticos a los cuales se le efectuaron pruebas de presión. Las pruebas se realizaron a 4 prototipos que representan músculos del cuerpo y eran los siguientes: psoas mayor, glúteo mayor, recto anterior y semi membranoso y los resultados detallados en la Ilustración 40 fueron de 11 a 31 psi dependiendo de la fuerza que necesitaba el músculo neumático para terminar la acción. (Ortega *et al.*, 2010)

2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Un efector final tradicional no puede ser sometido a procesos donde existen constantes vibraciones debido a operación u otras razones. Una de ellas es que el efector final tradicional no brinda la estabilidad para hacer procesos de sujeción por lo tanto no funcionan adecuadamente y también el mismo puede dañarse al tener tanta fricción y contacto con las otras partes del sistema. En la elección o diseño de un efector final se han de tener en cuenta diversos factores. Entre los que afectan al tipo de objeto y de manipulación a realizar destacan el peso, la forma, el tamaño del objeto y la fuerza que es necesaria para ejercer y mantener la sujeción. El accionamiento neumático es el mas utilizado porque ofrece mayores ventajas en simplicidad, manipulación y fiabilidad. Es por eso por lo que se diseñará haciendo diferentes pruebas de material y cinemática, un músculo neumático adecuado que ejerza como efector final de un brazo robótico.

2.3 JUSTIFICACIÓN

El músculo neumático es una tecnología emergente. A pesar de su larga existencia y el uso que se le ha dado para la órtesis, hasta hace muy poco tiempo se comenzó a implementar a nivel industrial. Dadas las múltiples ventajas que ofrece el músculo neumático diversas empresas han podido manipularlo para ofrecerle diferentes utilidades donde se somete al accionamiento de sujeción, ambientes de constantes vibraciones, sacudidas y en la instalación como muelles neumáticos. Las siguientes empresas han implementado el músculo neumático y han obtenido en su mayoría resultados positivos:

La empresa DYWIDAG suministra productos y sistemas innovadores para la industria de la construcción. Esta empresa implementó un músculo neumático en zonas donde abunda la suciedad con el fin de que funcione como actuador tensor que actúa sobre una correa dentada montada sobre una mezcladora de hormigón. El músculo neumático, no sufre daños si esta expuesto al polvo del cemento y, además, tampoco es afectado por los golpes ocasionados por la mezcladora. DYWIDAG utilizaba con este fin un cilindro neumático convencional que dejo de funcionar después de poco tiempo debido al deposito de polvo de hormigón en el vástago con la correspondiente pronta ruptura de la junta. (DYWIDAG, 2020)

RASTER es una empresa que se enfoca en la innovación, tecnología y prevención en Brasil. Esta empresa utiliza un músculo neumático en una máquina punzadora de alto rendimiento con el fin de aumentar los ciclos de la máquina elevando un rodillo entre las operaciones. Antes se utilizaba un cilindro neumático de 125 milímetros con el que era posible alcanzar frecuencias de 3 Hertz. Dado que el músculo no tiene vástago y debido a que su masa es menor y porque, en consecuencia, la fricción también es menor, es posible alcanzar frecuencias de hasta 7 Hertz. (RASTER, 2020)

La empresa alemana KUKA AG es uno de los principales fabricantes mundiales de robots industriales y sistemas de soluciones automatizadas de fabricación. KUKA le dio una aplicación poco apropiada a lo que es el músculo neumático. Esta empresa buscaba un actuador de poco peso, pero potente a modo de contrapeso, es decir, un muelle neumático en un brazo robótico industrial. Esta aplicación exige fuerzas entre 22000 y 40000 Newton y una carrera de 200 milímetros. A raíz de la gran fuerza y de la carrera necesaria, tendrían que instalarse al menos 20 músculos con una longitud nominal de mas de dos metros. (KUKA AG, 2020)

2.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- ¿Cuál es la capacidad mínima y máxima de operación de un músculo neumático?
- ¿Cuáles son los materiales ideales para crear un músculo neumático?
- ¿Cuál es el límite de presión mínima y máxima que ofrece estabilidad al músculo neumático en el momento del estiramiento?

2.5 OBJETIVOS

Los objetivos son de gran importancia para determinar el enfoque de la investigación y para la obtención de respuestas a las preguntas de investigación.

2.5.1 OBJETIVO GENERAL

Fabricar un prototipo funcional como un efector final basado en un músculo neumático para la sujeción de piezas.

2.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Definir los materiales adecuados para la fabricación de músculos neumáticos.
2. Determinar la presión específica para el uso de los músculos neumáticos.
3. Desarrollar pruebas cinemáticas del músculo neumáticos utilizando MATLAB para obtener su aceleración, velocidad y fuerza.
4. Demostrar el proceso de sujeción de las piezas utilizando el músculo neumático.

III. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presenta la teoría relacionada con la investigación en desarrollo. Se citan fuentes de información que aportan a la investigación. También se presentan datos que sustentan las variables, metodología y resultados de la investigación.

3.1 MÚSCULO HUMANO

Los músculos son estructuras que mueven los segmentos del cuerpo al acortar la distancia entre ellos a través de la contracción. Los músculos son los elementos activos del movimiento y los huesos son los elementos pasivos. Ayudan a mantener juntas las piezas óseas al determinar la posición y postura del esqueleto. Las células musculares se especializan en contracción y relajación, por sus propiedades. Las células son alargadas, en forma de huso y, por este motivo, se denominan fibras. Las fibras se agrupan en paquetes para formar masas macroscópicas llamadas músculo. Existen más de 650 músculos en el cuerpo humano, los cuales funcionan principalmente como generadores de movimiento, ya sea voluntario o involuntario. Algunos músculos funcionan de ambas formas, por lo que se los suele denominar mixtos. El sistema muscular permite que el esqueleto se mueva, mantenga su estabilidad y la forma del cuerpo. En los humanos estos se controlan por el sistema nervioso, aun que algunos músculos pueden funcionar en forma autónoma. (Davatz, 2014)

3.1.1 FUNCIONES DEL SISTEMA MUSCULAR

El sistema muscular es responsable de muchas funciones en el cuerpo humano. Los músculos nos brindan facilidades con respecto a las acciones, como la articulación de gestos, cambios de dirección y de velocidad. Los músculos permiten al cuerpo mantenerse estable, mientras permanece en estado de actividad. También controlan las posturas y posiciones que el cuerpo ejerce en estado de reposo. De igual manera el sistema muscular produce calor para generar contracciones. La función más importante es la de protección para el buen funcionamiento todos los otros sistemas con órganos vitales. A continuación, una lista de los tipos de movimientos musculares y su función específica.

Flexión y Extensión: La flexión es generalmente un movimiento anterior de una parte del cuerpo dentro del plano sagital. Las excepciones incluyen movimientos de piernas, pies, dedos de los pies y pulgares. Desde la articulación de la rodilla y más distalmente, la flexión de una parte del cuerpo se mueve hacia atrás. La flexión y extensión son términos que se pueden usar para todo el cuerpo ya sea axial o apendicular.

Aducción y Abducción: La abducción es generalmente un movimiento lateral dentro del plano frontal que esta lejos de la línea media imaginaria del cuerpo; la aducción es un movimiento medial hacia la línea media. Las excepciones incluyen los dedos del pie. Los términos se usan solo para la parte apendicular del cuerpo.

Rotación: La rotación es un movimiento dentro del plano transversal en el que la superficie anterior de la parte del cuerpo se mueve hacia el lado opuesto. Los términos se usan solo para la parte axial del cuerpo.

Elevación y Depresión: La elevación es un movimiento en el que las partes del cuerpo se mueven superiormente y la depresión ocurre cuando la parte del cuerpo se desplaza hacia abajo.

Postración y Retracción: La postración es un movimiento dentro del cuerpo que se mueve hacia delante y la retracción es un movimiento posterior de la parte del cuerpo.

(Muscolino, 2016)

3.1.2 TIPOS DE MÚSCULO

El estudio de los músculos se llama miología. Los músculos se pueden dividir en tres tipos: esqueléticos, lisos y cardíacos. Los músculos esqueléticos son aquellos que generalmente están unidos al hueso y son responsables del movimiento y la estabilidad. Los músculos lisos están asociados con otros sistemas de órganos del cuerpo, como los sistemas circulatorio, digestivo y urinario, donde el control muscular consciente no es necesario ni deseable. Finalmente, los músculos cardíacos están asociados con el corazón. Estos músculos tienen características físicas similares al músculo esquelético, pero no están bajo control consciente del cuerpo.

A pesar de que hay tres tipos distintos de músculos, todos los músculos tienen ciertas características en común. Estos rasgos de las células musculares ayudan a distinguirlos de otros tipos de células en el cuerpo. Todos los músculos demuestran capacidad de respuesta. Aunque es una propiedad de todas las células vivas, es particularmente notable entre las células musculares. Estas son estimuladas por señales químicas, los músculos no están unidos al hueso y no están bajo control consciente; por lo tanto, se pueden distinguir del músculo esquelético. También carecen de las estrías comunes a la voluntad y al músculo cardíaco.

Los músculos esqueléticos consisten en tejido muscular esquelético y tejido conectivo fibroso. Cada fibra muscular individual esta rodeada por el endemismo. Los paquetes de fibras musculares que trabajan juntas para unir funciones se llamas fascículos. Estos están rodeados por una vaina de tejido conectivo conocida como perimisio, y músculos enteros están rodeados por tejido conectivo conocido como epimisio. Los tejidos conectivos se unen a las fibras de colágeno de los tendones, y los tendones se unen al colágeno de

la matriz ósea, uniendo físicamente los músculos con los huesos. Como resultado, si los músculos entran en contacto, tira del tejido conectivo, lo que hace que un hueso se mueva. (Stewart & Cooley, 2009)

En la siguiente Ilustración 1 se pueden observar los tres tipos de músculos ya mencionados en su forma microscópica:

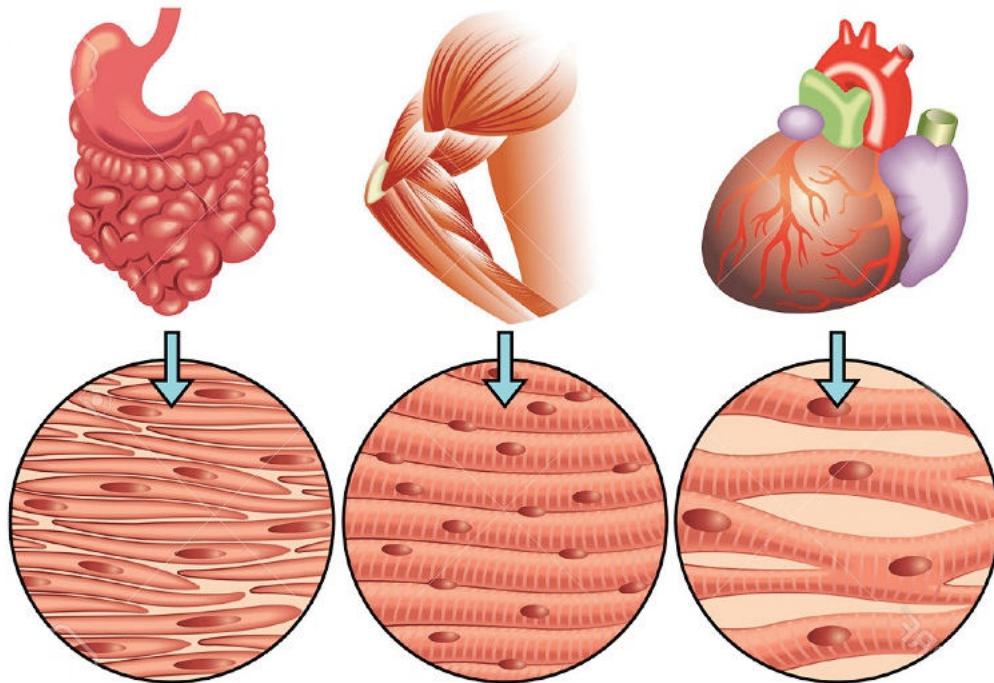


Ilustración 1: Tipos de Músculos y sus anatomías (izquierda a derecha: liso, estriado y cardíaco)

Fuente: (Mundo Entrenamiento, 2018)

3.1.3 COMPOSICIÓN MUSCULAR

Los músculos están formados por una proteína llamada miosina, la misma se encuentra en todo el reino animal e incluso en algunos vegetales que poseen capacidad de moverse. El tejido muscular se compone de una serie de fibras agrupadas en haces o masa primarias y envueltas por la aponeurosis la cual es una especie de membrana protectora, que impide el desplazamiento del músculo. Las fibras musculares poseen abundantes filamentos llamados miofibrillas, que se ubican paralelamente a lo largo del eje mayor de la célula y ocupan casi toda la masa celular. Las miofibrillas de las fibras musculares lisas son aparentemente homogéneas, pero las del músculo estriado presentan zonas de distinta refringencia, lo

que se debe a la distribución de los componentes principales de las miofibrillas, las proteínas de miosina y actina. Cabe destacar que la célula muscular es un 75% agua, un 20% proteína y el resto otras sustancias. En la siguiente Ilustración 2 se distinguen tres partes importantes del músculo: (FisioOnline, 2018)

- Endomisio: envuelve y separa una fibra de otra.
- Perimisio: tejido conectivo que envuelve las fibras denominadas fascículo
- Epimisio: capa de tejido conectivo que envuelve el músculo.

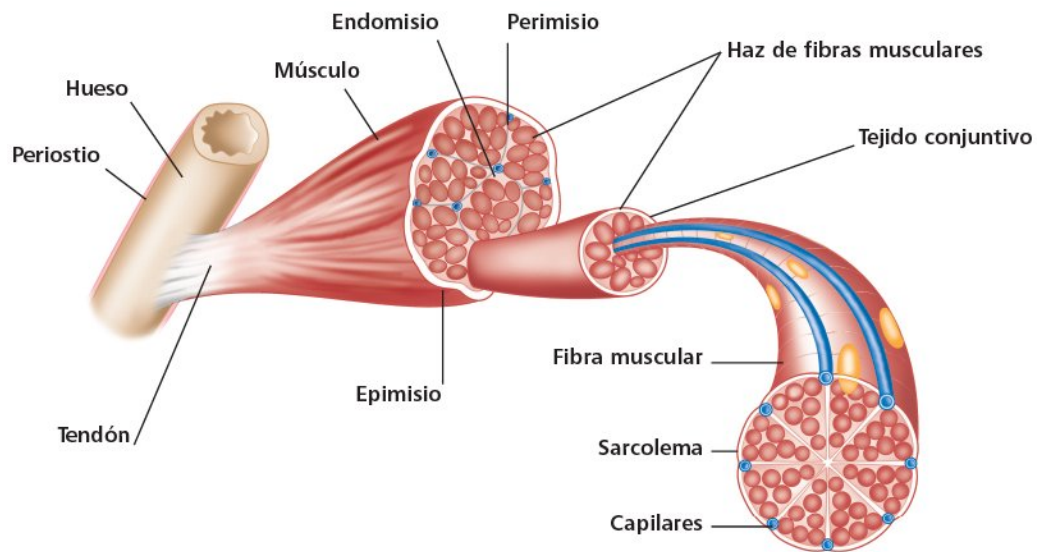


Ilustración 2: Composición del Músculo

Fuente: (FisioOnline, 2018)

3.1.4 BRAZO HUMANO

El modelo biomecánico del brazo humano se define en una cadena de 5 partes rígidas conectadas entre sí por 4 uniones simples. El tórax, la clavícula, el humero, el antebrazo y la mano forman el brazo. Estos son unidos por medio de articulaciones que proveen un total de nueve grados de libertad. En la Ilustración 3 se observa un modelo del brazo humano de forma detallada.

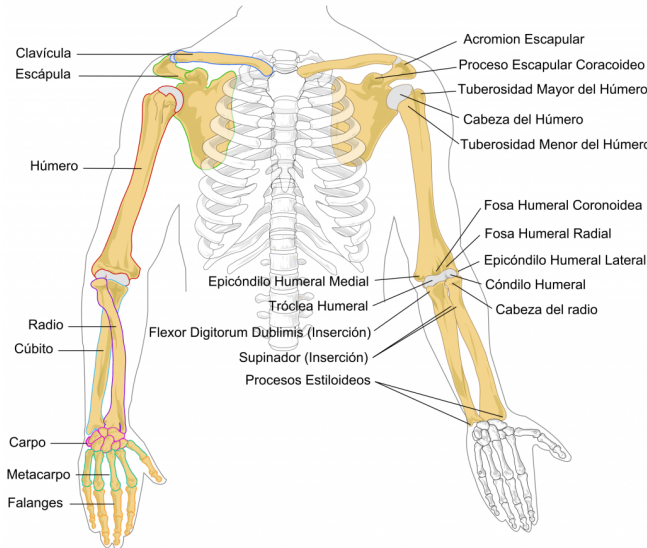


Ilustración 3: Modelo del Brazo Humano y sus Partes

Fuente: (Huesos y Partes del Brazo Humano, 2019)

Las articulaciones son las siguientes:

- Esterno-Claviular: permite 2 grados de libertad
- Hombro: permite 3 gados de libertad y funciona como unión de las articulaciones acromio-clavicular y gleno-humeral.
- Codo: permite 2 grados de libertad.
- Muñeca: permite 2 grados de libertad.

El brazo ofrece los mismos movimientos que cualquier otro músculo del cuerpo como:

Flexión: Ocurre cuando se eleva el brazo hacia adelante. El hombro se cuantifica dependiendo del ángulo que se crea entre el brazo y el eje longitudinal en el plano de flexión - extensión. En la posición anatómica la flexión del hombro es nula.

Extensión: Ocurre también alrededor del eje transversal. Es el movimiento que acerca el brazo hacia el cuerpo.

Abducción y Aducción: Ocurren cuando el brazo se aleja del cuerpo y cuando se acerca nuevamente. En el hombro estos movimientos se cuantifican de igual manera que en la flexión, haciéndolo dependiente del ángulo creado.

Rotación: Tiene lugar alrededor del eje longitudinal del miembro. Ocurre cuando el hombro gira alrededor de su propio eje.

(Rodríguez *et al.*, 2005)

3.1.5 CUIDADO DEL SISTEMA MUSCULAR

Para mantener al sistema muscular en óptimas condiciones, se debe tener presente una dieta equilibrada, con dosis justas de glucosa que es la principal fuente energética de nuestros músculos. Evitar el exceso en el consumo de grasas, ya que no se metabolizan completamente, produciendo sobrepeso. Para rutinas de ejercicios físicos prolongados, necesitan una dieta rica en azúcares y vitaminas. Además de una alimentación saludable se recomienda el ejercicio físico, el ejercicio muscular produce que los músculos trabajen, desarrollándose, aumentando su fuerza y volumen, adquiriendo elasticidad y contractilidad, resistiendo mejor a la fatiga. También beneficia el desarrollo del esqueleto porque lo robustece, fortalece y modela, debido a la tracción que los músculos ejercen sobre los huesos, si los ejercicios son correctamente practicados, perfeccionan la armonía de las líneas y curvas. El ejercicio ayuda al desempeño de los órganos. Aumenta el volumen torácico, mejora la respiración y la circulación sanguínea, ampliando el tamaño de los pulmones y del corazón. Otro efecto del ejercicio físico es que provoca un aumento considerable en el apetito, favoreciendo la digestión y la asimilación de estos. A continuación, un listado de actividades que se tienen que desarrollar para lograr cuidar los músculos de la mejor manera:

- Ejercicio aeróbico
- Ejercicio de resistencia
- Cuidado de la postura
- Mantener un peso normal

(Caceres *et al.*, 2008)

3.1.6 ENFERMEDADES MUSCULARES

Las enfermedades que afectan al sistema muscular pueden ser producidas por algunos virus que atacan directamente al músculo, también se experimentan dolencias por cansancio muscular, posturas inadecuadas, ejercicios bruscos o accidentes. Algunas enfermedades y dolencias que afectan al sistema muscular son:

Desgarro: La lesión más común en deportistas. Después de los primeros auxilios RHCE (Descanso, hielo, compresión y elevación), la terapia debe adaptarse de acuerdo con la gravedad de la lesión y en función del conocimiento adquirido de los estudios experimentales sobre la regeneración del músculo lesionado. La mayoría de las lesiones musculares pueden tratarse de forma conservadora con una excelente recuperación, pero las rupturas completas con pérdida completa de la función deben tratarse quirúrgicamente. Inmediatamente después de la lesión se necesita un breve período de inmovilización para acelerar la formación de la cicatriz. La duración óptima de la inmovilización depende del grado de la lesión, y no debe ser más larga de lo necesario para que la cicatriz soporte las fuerzas de tracción sin ruptura. (Muscle Strain Injuries, 2000)

Calambre: El calambre muscular es una contracción muscular dolorosa repentina e involuntaria, acompañada de un nudo palpable del músculo. El calambre es auto limitado en cuestión de minutos y a menudo puede aliviarse con estiramiento pasivo o masaje muscular. El calambre es común entre las personas sanas, también puede aparecer como consecuencia de enfermedades neuromusculares como la esclerosis lateral amiotrofia, la radiculopatía y la neuropatía. (Roelevald, 2000)

Esguince: Es la lesión de uno o más ligamentos. La severidad de la lesión está en la función de la extensión, en otras palabras, si se trata de un estiramiento excesivo o de un desgarro parcial o completo y del número de ligamentos lesionados. Algunas de las causas más comunes que provocan un esguince son una caída, una torsión brusca o un golpe que implica la pérdida de la posición normal de una articulación. Estas lesiones suelen afectar articulaciones como el tobillo, la rodilla, la muñeca, pero también pueden ser generadas en cualquier otra articulación del cuerpo. Existen tres tipos de esguince, grado uno, dos y tres, siendo estos de menor a mayor severidad. El tratamiento que estos conllevan es similar al de un desgarro, aplicar frío, elevación, reposo e inmovilización. (Piera, 2004)

Distrofia: Afecta principalmente a niños pequeños, generalmente la enfermedad es heredada como un rasgo recesivo ligado al cromosoma X. Comienza en la infancia y se caracteriza por la debilidad de las extremidades inferiores y la musculatura de la cintura pélvica casi siempre asociada con las pantorrillas inflamadas. La debilidad progresa gradualmente y, en última instancia, el niño es confinado en una silla de

ruedas desde los 10 años y muere aproximadamente a los 20 años. La distrofia Dechenne se distingue a la distrofia normal ya que reduce ligeramente la esperanza de vida promedio. (Neurosurg, 1966)

Atrofia: Esta lesión ocurre regularmente como consecuencia de la inmovilización o el desuso después de lesiones deportivas. Varios modelos experimentales tratan la atrofia muscular y son adecuados para investigaciones de los mecanismos subyacentes de la atrofia muscular. La pérdida de fuerza es la respuesta más evidente a la atrofia. La fuerza muscular disminuye dramáticamente durante la primera semana de inmovilización; poco más debilitamiento ocurre más adelante. El músculo afectado por la atrofia se caracteriza por un metabolismo catabólico. La tasa de síntesis de proteínas se reduce y la degradación de proteínas aumenta. El suministro de oxígeno también es afectado por esta enfermedad. (Apell, 2012)

En la Ilustración 4 se observa de manera clara y detallada los tipos de desgarro a los que el humano está expuesto:

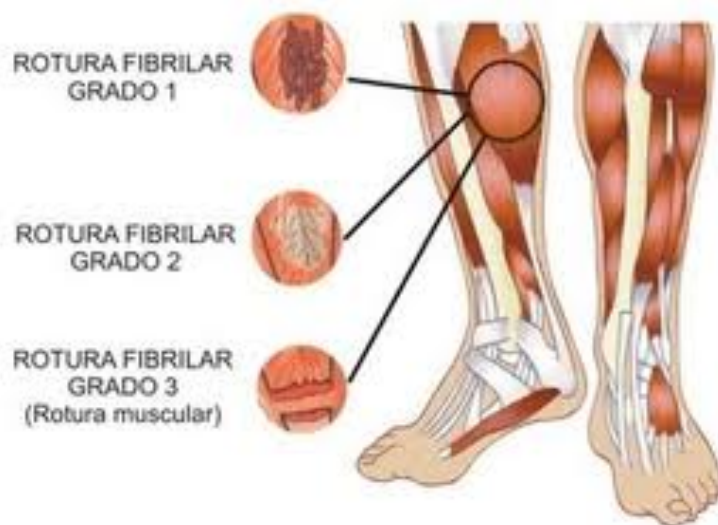


Ilustración 4: Tipos de Desgarro Muscular

Fuente: (Ciencias Médicas, 2020)

3.2 AIRE COMPRIMIDO

El aire comprimido forma parte de nuestras vidas muy a menudo aun que no nos demos cuenta. El aire comprimido está formado por diferentes tipos de gases, fundamentalmente un 78% de nitrógeno y un 21% de oxígeno y se compone de diferentes moléculas de aire que tienen una cierta cantidad de energía cinética. La temperatura del aire es directamente proporcional a la energía cinética media de esas

moléculas. Por consecuencia, la temperatura incrementa si dicha energía es mayor y bajara cuando la misma energía disminuya.

Comprimir el aire hace que las moléculas del mismo se muevan rápidamente, lo que también es causa del incremento de la temperatura. Dicho fenómeno se denomina calor de compresión. Comprimir el aire es en otras palabras, forzarlo a entrar en un espacio mas pequeño que genera como resultado la atracción de las moléculas entre si. El aire comprimido es un medio utilizado para almacenar y transmitir energía. Es flexible, versátil y seguro en comparación con otros métodos de almacenamiento, como las baterías y el vapor. Las baterías son voluminosas y su carga tiene duración limitada. El vapor no es rentable ni fácil de manejar dadas sus altas temperaturas. Por otro lado, el aire comprimido es menos rentable a comparación con la electricidad.

(Radgen & Blaustein, 2001)

3.2.1 VENTAJAS DEL AIRE COMPRIMIDO

Una de las razones mas importantes por la cual se usa el aire comprimido es por la seguridad. En fabricas donde el equipo esta sobrecargado, el equipo eléctrico puede presentar algún tipo de riesgo de seguridad. Pueden ocurrir descargas eléctricas o incendios que dañen el personal y la propiedad de la empresa. El aire comprimido y las herramientas neumáticas se pueden utilizar bajo muchas condiciones, como en suelos mojados o en zonas de alta humedad. El aire comprimido es mas flexible y fácil de usar en zonas remotas, como minas y sitios de construcción. Las herramientas neumáticas son mas frías y tienen la ventaja de la velocidad y el par variables.

Las herramientas alimentadas con aire comprimido también son mas ligeras. Se pueden fabricar con materiales que las hacen mas ergonómicas y menos pesadas, lo que equilibra el coste del aire con el coste de la mano de obra al reducirse la fatiga del trabajador cuando utiliza estas herramientas mas ligeras. El equipo diseñado para utilizar aire comprimido tiene un coste menor. Se utilizan menos piezas debido a la simplicidad del diseño. Además, las herramientas neumáticas suelen ser resistentes y duras mas tiempo en entornos de producción. En la siguiente Ilustración 5, se muestra de forma clara un sistema sencillo utilizando aire comprimido. (Chacaguasay, 2014)

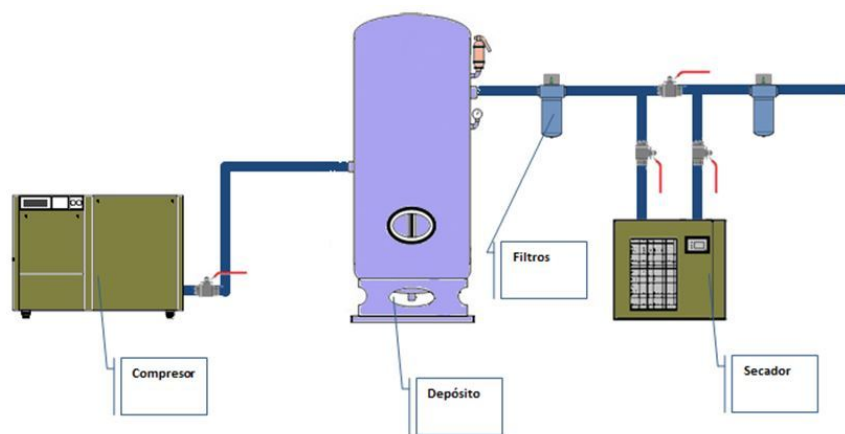


Ilustración 5: Sistema de Aire Comprimido

Fuente: (VENNGAGE, 2018)

3.2.2 COMPRESORES

Existen muchos elementos básicos de una red de aire comprimido como un pos-congelado o enfriadores, prefiltros, post filtros, secadoras, tanques o depósitos y red de tuberías, siendo el compresor el mas importante. El compresor aspira el aire de la atmosfera y lo comprime en un volumen mas pequeño, almacenándolo después en un deposito. Para producir aire comprimido se utilizan compresores que elevan la presión del aire al valor de trabajo deseado. El aire comprimido viene de la estación compresora y llega a las instalaciones a través de las tuberías. Los compresores móviles se utilizan en la rama de la construcción o en máquinas que se desplazan frecuentemente. (White, 2019)

Tipos de compresores:

- **Compresor de Tornillo (CDT):** Este tipo de compresor es alternativo de desplazamiento positivo y ofrece un caudal elevado y estable en condiciones de presión variables. Dadas estas características lo hace ideal para las instalaciones de aire comprimido. (Torres & Martínez, 2010)

En la Ilustración 6 se observa claramente como está formado internamente el CDT.

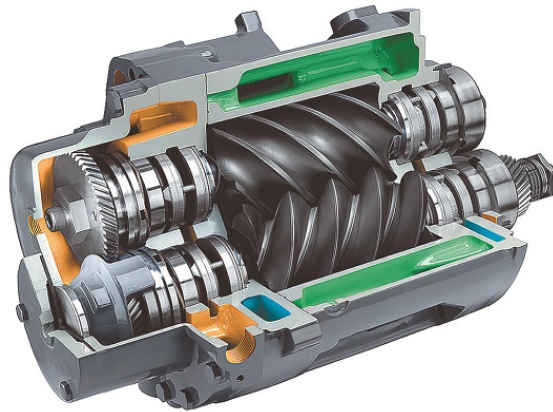


Ilustración 6: Compresor de Tornillo (CDT)

Fuente: (Compresores de Tornillo, 2020)

- **Compresor de Paletas Deslizantes (CDP):** Utiliza unas paletas colocadas excéntricamente dentro del rotor de la máquina. Al ir girando, el espacio existente entre las paletas se va reduciendo, con lo que el aire atrapado en esas cavidades se comprime. Este tipo de compresores se utiliza cuando las exigencias de caudal son bajas. (Blanco & Gualdron, 2015)

En la siguiente Ilustración 7 se observa un compresor de paletas deslizantes, sus partes y su funcionamiento.

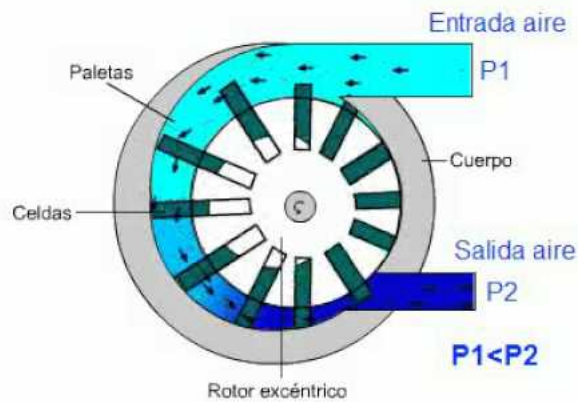


Ilustración 7: Compresor de Paletas Deslizantes

Fuente: (MasFerretería, 2018)

- Compresor de Anillo Líquido (CAL): Son compresores de desplazamiento positivo que emplean un rotor de alabes fijos dentro de una envolvente elíptica, que esta parcialmente llena de líquido. Al girar el rotor, los alabes ponen el líquido en movimiento, penetran dentro de la película de líquido y comprimen el aire que queda atrapado. Son compresores libres de aceite. (OMEL, 2020)

En la Ilustración 8 se muestra un compresor de anillo líquido de forma interna.

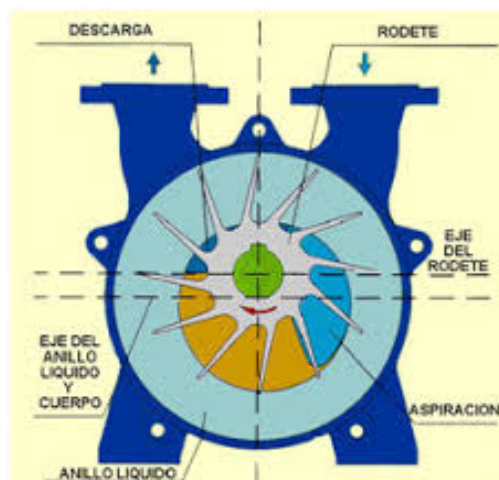


Ilustración 8: Compresor de Anillo Líquido

Fuente: (ResearchGate, 2017)

- Compresor de Lóbulos (CDL): Funcionan de manera similar a una bomba de engranajes. Al girar, el aire atrapado entre los lóbulos del rodete y la carcasa de la máquina es impulsado hacia la salida. Estas máquinas aportan poca compresión, que esta asociada básicamente al movimiento de los lóbulos. (Lorza *et al.*, 2013)

En la Ilustración 9 se muestra un compresor de lóbulos internamente con su respectiva entrada y salida de aire.

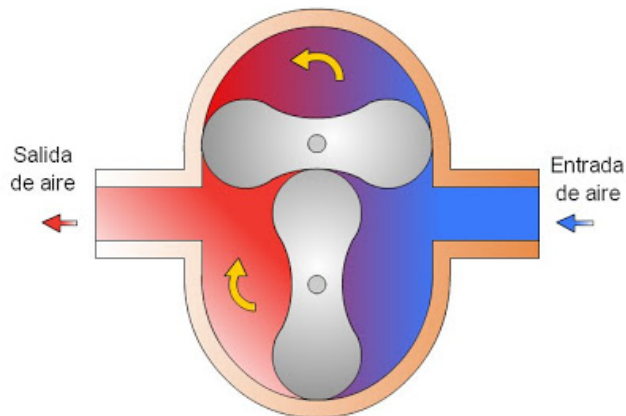


Ilustración 9: Compresor de Lóbulos

Fuente: (Víctor Yepes, 2019)

3.2.3 APLICACIONES DEL AIRE COMPRIMIDO

En la industria el aire comprimido se utiliza de dos maneras: como energía y como parte de un proceso. Estos dos tipos se conocen como aire de energía y aire activo. El aire de energía se utiliza para almacenar y transmitir energía para realizar trabajos mecánicos. Se utiliza para la alimentación de equipos de producción neumática, mandriles de tornos neumáticos, piezas de limpieza a presión y el transporte o la refrigeración de componentes durante la producción. El aire activo se necesita como parte activa e integrante de un proceso determinado. El aire entra en contacto con el producto, de modo que la calidad del aire es muy importante. La calidad del aire limpio y seco se puede mejorar mediante el uso de compresores exentos de aceite y tratando el aire con una de las muchas herramientas neumáticas de calidad disponibles. Este tipo de aire comprimido se utiliza en los siguientes sectores:

- Productos químicos

- Industria farmacéutica
- Alimentación y bebidas
- Aireación y agitación
- Electrónica y semiconductores
- Aire medicinal y respirable

(Nag, 2008)

3.3 MÚSCULO NEUMÁTICO

Los músculos neumáticos fueron inventados para las órtesis en la década de 1950. Tienen las ventajas de ser livianos, fáciles de fabricar, son auto limitado ya que tienen una contracción máxima y tienen curvas de longitud de carga similares al músculo humano. Los músculos neumáticos consisten en una manguera interna inflable instalado dentro de una malla trenzada la cual se sujeta de sus extremos. Cuando la manguera interna se presuriza y se expande, la geometría de la malla actúa como un enlace de tijera y traduce esta expansión radial en contracción lineal. Los músculos neumáticos se contraen en un movimiento lineal hasta un máximo de 25% aunque diferentes materiales y construcción pueden producir contracciones de alrededor del 40%. (Caldwell *et al.*, 2015)

La Ilustración 10 muestra en dos pasos como se estira y se contrae el músculo neumático al inyectarse el aire comprimido.

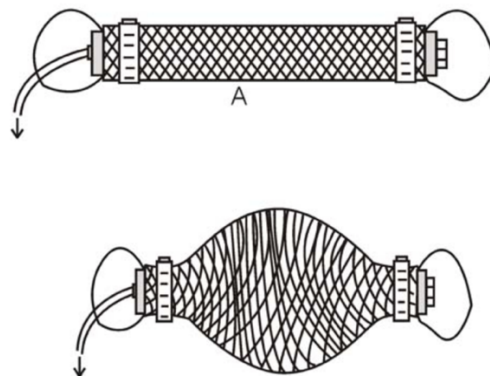


Ilustración 10: Movimiento del Músculo Neumático

Fuente: (Hivessaim, 2020)

3.3.1 VENTAJAS DEL MÚSCULO NEUMÁTICO

Mediante el uso del músculo neumático se logran desarrollar movimientos similares a los humanos respecto a su cinética, velocidad, fuerza e incluso precisión. Este dispositivo ejerce una fuerza aproximadamente 10 veces mayor a la de un cilindro de dimensiones semejantes, es muy robusto e incluso se puede utilizar en condiciones extremas, como las existentes en entornos con arena o polvo.

Frente a los cilindros convencionales el músculo neumático ofrece ventajas de un menor peso y debido a que no está sometido a rozamientos, permite controlar movimientos muy lentos. También como se mencionó anteriormente son resistentes a la contaminación o entornos sucios. Con una estanquidad absoluta y fáciles de transportar se pueden utilizar en usos industriales móviles o estacionarios y en aplicación de consumo. (Repperger *et al.*, 2019)

En la Ilustración 11 se observa como se ve un músculo neumático industrial de la marca FESTO.



Ilustración 11: Músculo Neumático FESTO

Fuente: (Músculo Neumatico DMSP/MAS FESTO, 2019)

3.3.2 APLICACIONES DE UN MÚSCULO NEUMÁTICO

- La aplicación más simple consiste en utilizar el músculo neumático como actuador de tracción que tira de una carga. Este movimiento se muestra en la Ilustración 12.

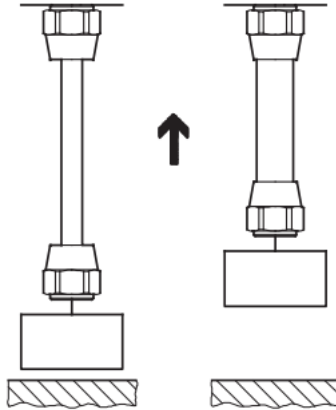


Ilustración 12: Actuador de Tracción

Fuente: (Músculo Neumatico DMSP/MAS FESTO, 2019)

- Ya que el músculo neumático funciona con ciclos cortos por su poco peso y porque no tiene partes móviles puede ser instalado como actuador de una punzadora como se muestra en la Ilustración 13.

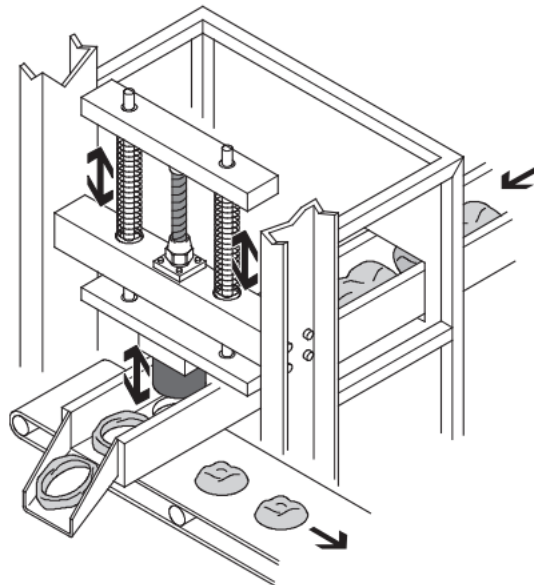


Ilustración 13: Actuador de una Punzadora

Fuente: (Músculo Neumatico DMSP/MAS FESTO, 2019)

- El músculo neumático tiene una respuesta muy rápida. Esto facilita al dispositivo para ser instalado de sistemas de parado de emergencia de rodillos. En la Ilustración 14 se muestra la función que tendría el músculo neumático en un sistema como el ya mencionado.

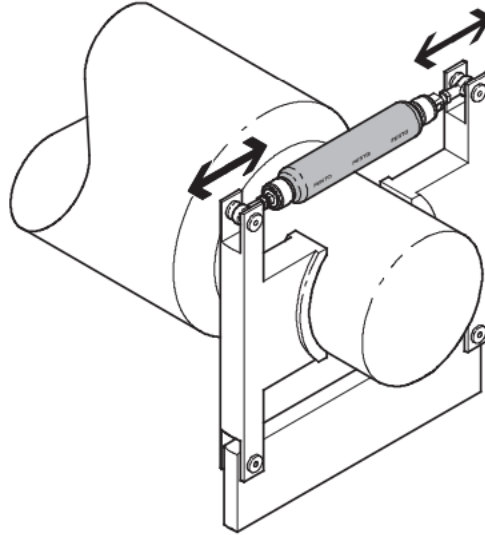


Ilustración 14: Sistema de Parado de Emergencia

Fuente: (Músculo Neumatico DMSP/MAS FESTO, 2019)

- El músculo neumático acciona sin fricción, esto hace que sea posible frenar sistemas de bobinado. En la Ilustración 15 se muestra la instalación de un músculo neumático en sistema de freno.

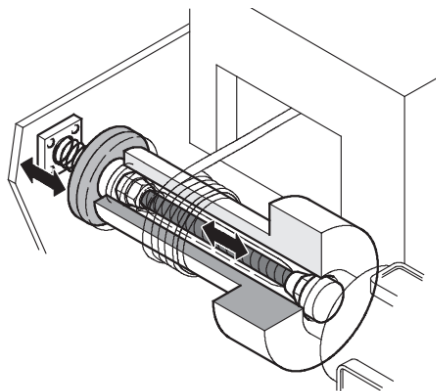


Ilustración 15: Sistema de Freno

Fuente: (Músculo Neumatico DMSP/MAS FESTO, 2019)

- Es muy fácil regular posiciones intermedias mediante la presión que se le inyecte al músculo neumático. Para esto se utiliza una valvular de palanca, por ejemplo. Esta característica hace que el músculo neumático sea de fácil instalación en un sistema elevador como se muestra en la Ilustración 16.

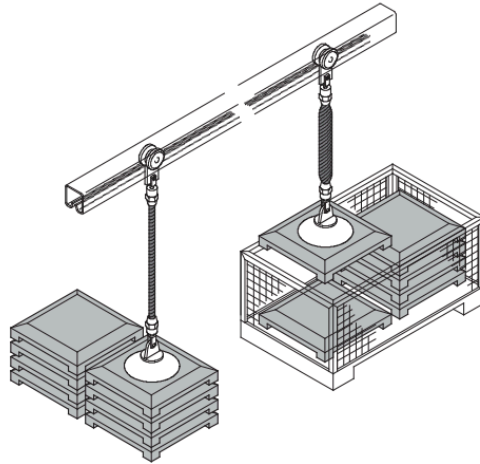


Ilustración 16: Sistema de Elevación/Levantamiento

Fuente: (Músculo Neumatico DMSP/MAS FESTO, 2019)

El interés por esta innovación en la ingeniería industrial y civil es enorme. El músculo neumático puede utilizarse para una gran cantidad de aplicaciones como se menciona anteriormente. Cabe destacar que se puede usar en muchas otras ramas como la automovilística, la industria automatizada, técnicas medicas, técnicas de simulación y edificación.

(Deaconescu & Deaconescu, 2011)

3.3.3 CINEMÁTICA DEL MÚSCULO NEUMÁTICO

Determinar la cinemática que actúa en un musculo neumático es necesario el calculo de diversos datos que en conjunto al ser ingresados en el software MATLAB brindará los resultados de aceleración, velocidad y fuerza. Se tiene que determinar a base de pruebas el tiempo de reacción del músculo neumático, el desplazamiento de la manguera al inyectarle el aire comprimido, la circunferencia en el mismo estado y el volumen de aire el cual es calculado con las siguientes ecuaciones:

$$C = 2\pi r$$

Ecuación 1: Circunferencia de un Circulo

Fuente: (Ramirez *et al.*, 2015)

Dónde:

C = Circunferencia

r = Radio

$$A = \pi r^2$$

Ecuación 2: Área de un Circulo

Fuente: (Ramirez *et al.*, 2015)

Dónde:

A = Área de un Círculo

$$V = Al$$

Ecuación 3: Volumen de un Circulo

Fuente: (Ramirez *et al.*, 2015)

Dónde:

V = Volumen de un Círculo

l = longitud de la manguera en estiramiento

Las formulas que se pretenden utilizar para determinar le función de transferencia para realizar la programación en MATLAB son las siguientes:

$$P = F/A$$

Ecuación 4: Presión

Fuente: (Guillen, 1988)

Dónde:

F = Fuerza

A = Área

$$Fr = kx$$

Ecuación 5: Fuerza del Látex

Fuente: (Mott, 1996)

Dónde:

k = Modulo de Elasticidad

x = Desplazamiento

$$F = mg$$

Ecuación 6: Fuerza Nominal

Fuente: (Mott, 1996)

Dónde:

m = Masa

g = Gravedad

3.3.4 PARÁMETROS FÍSICOS DEL MÚSCULO NEUMÁTICO

- Fuerza: Es toda causa capaz de producir o modificar el estado de reposo o de movimiento de un cuerpo o de provocarle una deformación. Su unidad de medida son N=Newton y se mide con la siguiente Ecuación 2.

$$F = m(a)$$

Ecuación 7: Ecuación de la Fuerza

Donde (m) es la masa y (a) es la aceleración. La fuerza es relacionada con el músculo neumático ya que es el parámetro que afecta directamente al dispositivo ya sea estirándolo, en reposo, o en contracción. (Beer *et al.*, 2010)

- Flexión: Se denomina flexión al tipo de deformación que presenta un elemento estructural alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal. Es uno de los parámetros más importantes ya que altera directamente el origen en reposo del músculo neumático. (*Cerrillo et al.*, 2011)
- Presión: Es la fuerza que se ejerce por unidad de superficie. Este parámetro es importante ya que el músculo neumático trabaja solamente con la presión y su movimiento depende de él. Para la elaboración del prototipo se tiene que tomar en cuenta la presión máxima, la presión de entrada y la presión de salida. (*Narváez et al.*, 2014)
- Tracción: Un elemento trabaja a tracción, o está sometido a un esfuerzo de tracción cuando fuerzas con la misma dirección y de sentidos contrarios tienden a estirarlo. En el músculo neumático la tracción se encuentra en el estiramiento de este al inyectarle el aire comprimido. (*Sandoval & Hernando*, 2007)
- Compresión: Es el proceso físico o mecánico que consiste en someter a un cuerpo a la acción de dos fuerzas opuestas para que disminuya su volumen. Se conoce como esfuerzo de compresión al resultado de estas tensiones. El músculo neumático trabaja con compresión cuando está en reposo. (*Callister Jr.*, 2007)
- Torsión: En el ámbito de la ingeniería este parámetro mecánico consiste en la aplicación de un momento de fuerza sobre el eje longitudinal de una pieza prismática. La torsión ocurre en dos puntos en el músculo neumático y sucede en los dos extremos, donde está adherido de forma fija y el extremo que hace la sujeción. (*Sánchez*, 2010)

3.4 EL MÚSCULO NEUMÁTICO COMO EFECTOR FINAL

Un efector final es un dispositivo o herramienta que está conectado al extremo de un brazo robótico donde estaría la mano. El efector final es la parte del robot que interactúa con el entorno. La estructura de un efector final y la naturaleza de la programación y el hardware que lo manejan dependen de la tarea que realizará el robot. En la industria un brazo robótico puede acomodar solo ciertas tareas sin cambios en el hardware o la programación auxiliar del efector final. Si un robot necesita recoger algo, un tipo de mano de robot al cual se le denomina pinza es el efector final más funcional. Sin embargo, si

un robot necesita poder apretar los tornillos entonces el robot debe estar equipado con un efector final que pueda girar. En la industria los efectores finales mas utilizados son los siguientes:

- Sensores anticolidión
- Cepillos
- Cámaras
- Herramientas de corte
- Taladros
- Pinzas
- Imanes
- Lijadoras
- Destornilladores
- Pistolas
- Ventosas
- Pistolas de Soldadura

(Electrical and Electronic Engineering, 1999.)

3.4.1 TIPOS DE EFECTORES FINALES

Los efectores finales pueden dividirse en dos categorías: pinzas y herramientas.

Las Pinzas se utilizan para tomar un objeto, normalmente la pieza de trabajo, y sujetarlo durante el ciclo del trabajo del robot. Hay muchas maneras con las cuales se puede accionar una sujeción además de los métodos mecánicos comunes de agarre de la pieza entre dos o mas dedos. Estos métodos incluyen la implementación de casquetes, imanes, ganchos y cucharas.

Una herramienta es utilizada como efector final en aplicaciones especificas donde se le exige al robot realizar algún tipo de operación sobre la pieza de trabajo. Estas aplicaciones pueden ser la soldadura por

punto y por arco, la pintura por pulverización y las operaciones de taladro. La herramienta específica siempre esa unida a la muñeca del robot para realizar la operación.

(Mathia, 2010)

3.4.2 EFECTOR FINAL TIPO PINZA

Los efectores finales tipo pinza pueden ser divididos en cuatro diferentes categorías:

- Pinza de presión: Este tipo tiene un accionamiento neumático o eléctrico y se usa para transportar y manipular piezas sobre las que no importe presionar. Un ejemplo claro es que se muestra en la Ilustración 17. (Santiago-Valentin *et al.*, 2015)

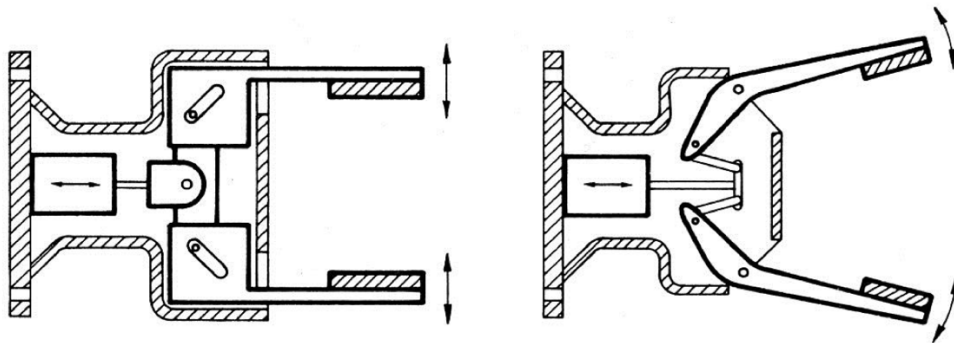


Ilustración 17: Pinza de Presión

Fuente: (Montoya, 2017)

- Pinza de Enganche: Este tipo tiene un accionamiento neumático y eléctrico y se usa para sujetar piezas grandes o sobre las que no se puede ejercer presión. En la Ilustración 18 se muestra un ejemplo de este tipo de pinza. (Diana Guerrero & Alfredo Duran, 2010)

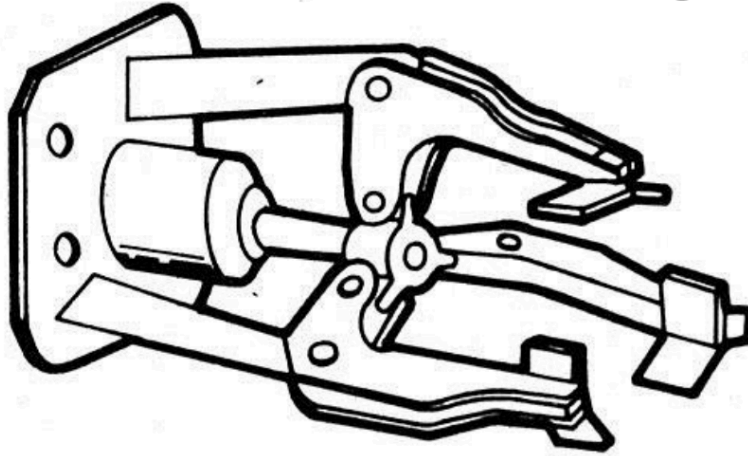


Ilustración 18: Pinza de Enganche

Fuente: (ELEMENTOS TERMINALES, 2018)

- Ventosa de Vacío: Este tipo tiene un accionamiento único que es neumático y se utiliza para sujetar cuerpos con superficie lisa y poco porosa como se muestra en la Ilustración 19. (Polanco & Villarruel, 2010)



Ilustración 19: ON Robot con Ventosa de Vacío Instalada

Fuente: (On Robot, 2020)

- Electroimán: Este tipo funciona de manera eléctrica y solo sujeta piezas ferromagnéticas. En la Ilustración 20 se muestra un ejemplo de este tipo de efector final instalado en un brazo robótico. (Pinzon, 2016)



Ilustración 20: Brazo Robótico con Electroimán como Efecto Final

Fuente: (Robotica Romer, 2020)

El accionamiento neumático es el mas utilizado por ofrecer mayores ventajas en simplicidad, precio y fiabilidad, aun que presenta dificultades de control de posiciones intermedias. En las pinzas se suelen instalar sensores para detectar el estado de esta. Los tipos de pinzas mas comunes pertenecen al tipo llamado pivotante. Los dedos de la pinza giran en relación con los puntos fijos. Otro tipo de pinzas se denominan movimiento lineal. Aquí los dedos se abren y se cierran ejecutando un movimiento paralelo entre si. Entre los parámetros de la pinza que se destacan son su peso, el equipo de accionamiento y la capacidad de control. Los efectores finales tipo pinzas deben sujetar la pieza por su centro de gravedad para que puedan accionar de manera adecuada. (Polanco & Villarruel, 2010)

3.4.3 EFECTOR FINAL TIPO HERRAMIENTA

Los efectores finales tipo herramienta pueden ser utilizada para muchas funciones en las cuales se destacan las siguientes:

- Pinza Soldadura por Puntos: Dos electrodos que se cierran sobre la pieza a soldar. Un ejemplo de esta se muestra en la Ilustración 21. (Ibáñez & Vega, 2010)

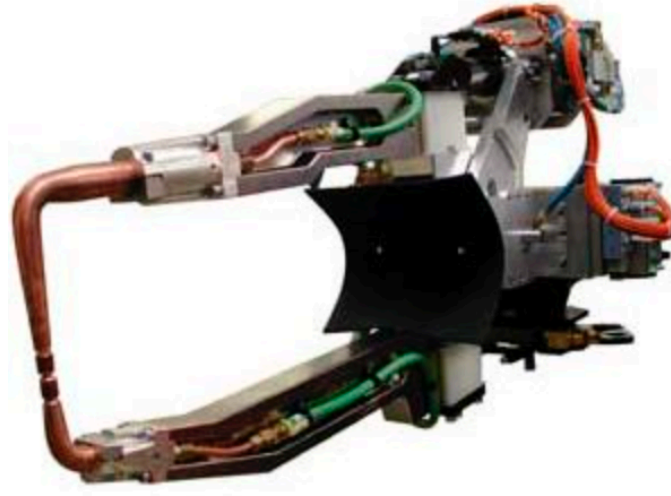


Ilustración 21: Pinza Soldadura por Puntos

Fuente: (ARO, 2020)

- Soplete Soldadura de Arco: Aportan el flujo de electrodo que se funde como se muestra en la Ilustración 22. (KOBELCO - KOBE STEEL, 2020)



Ilustración 22: Soplete Soldadura de Arco

Fuente: (KOBELCO - KOBE STEEL, 2020)

- Atornillador: Suelen incluir la alimentación de tornillos como se muestra en la Ilustración 23. (Pineda & Javier, 2015)



Ilustración 23: Efecto Final tipo Atornillador

Fuente: (Elementos Terminales, 2016)

- Pistola de Pintura: Para pulverización de la pintura, así como se muestra detalladamente en la Ilustración 24. (Abreu, 2002)



Ilustración 24: Robot KUKA tipo Pistola de Pintura

Fuente: (Robot de pintura KUKA, 2019)

IV. METODOLOGÍA

En este capítulo, se procede a detallar la metodología con que llevara a cabo la investigación, especificando su enfoque, instrumentos y procedimientos a utilizar para el tratamiento de las variables.

4.1 ENFOQUE

Para el presente proyecto se utilizo un enfoque cuantitativo. Este enfoque presenta un conjunto de procesos, es concurrente y probatorio. Usa la recolección de datos con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías. Una investigación con este tipo de enfoque debe ser lo mas objetiva posible. Dicho esto, es valido decir que el proyecto es de diseño experimental, poniendo así, las diferentes variables bajo diversos parámetros y observando la diferencia que estas tienen bajo distintas condiciones. La Ilustración 25 se observa un flujo del proceso cuantitativo.

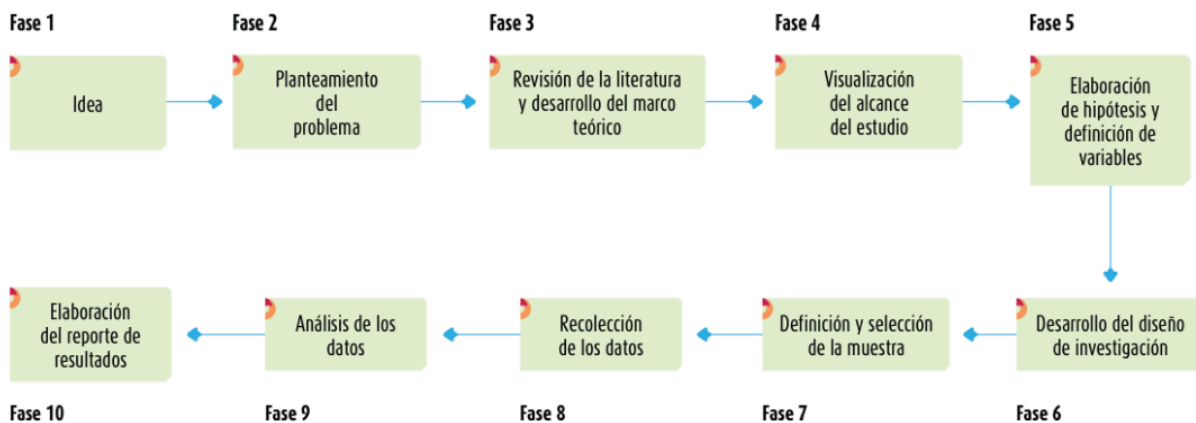


Ilustración 25: Proceso Cuantitativo

Fuente: (Hernandez, 2020)

4.2 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

Las variables de investigación son una parte fundamental a la hora de llevar a cabo el proyecto. La operación de las variables es la definición conceptual y luego operacional para entender la aplicabilidad de las variables en ambos conceptos. Para la presente investigación se definieron las siguientes variables como se muestra en la Ilustración 26:

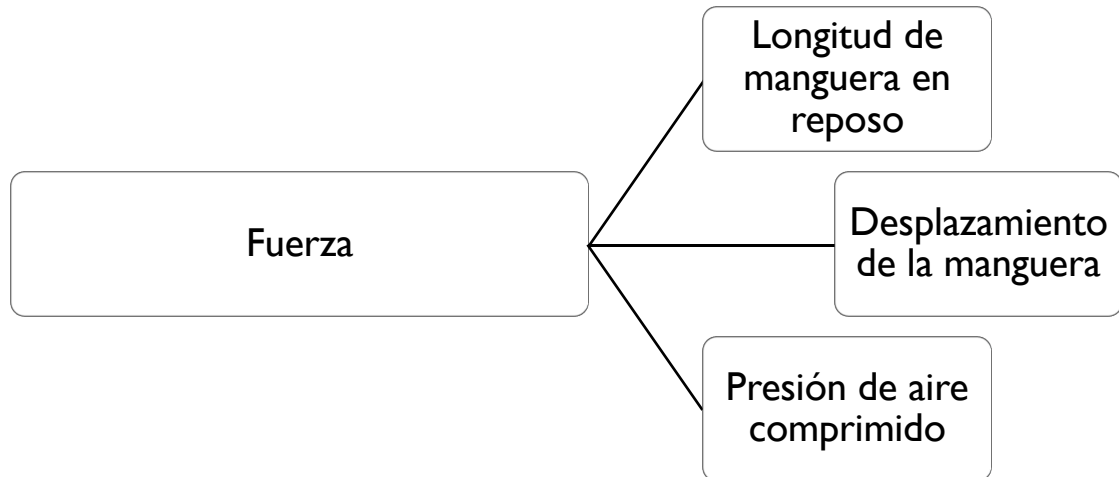


Ilustración 26: Variables de Investigación

Fuente: Elaboración Propia

4.2.1 VARIABLE DEPENDIENTE

Se llego a la conclusión que la variable dependiente de esta investigación debía ser la fuerza. Cuando se menciona la fuerza se refiere a la necesaria de esta misma para levantar cierta cantidad de peso. La cantidad de peso que cada músculo neumático podrá levantar va a depender de la longitud de las mangueras blandas, es desplazamiento que estas tengan al ser estiradas y la cantidad de presión de aire comprimido que se le ingrese.

4.2.2 VARIABLES INDEPENDIENTES

Para lograr un análisis eficaz se definieron tres variables independientes:

Longitud de las Mangueras en Reposo: se determinó como variable independiente ya que basado en la longitud de las mangueras varia la cantidad de fuerza que el músculo neumático podrá levantar, la cantidad de aire comprimido ingresado de igual manera cambiará y el desplazamiento de la manguera al ser estirada será mayor o menor dependiendo de su longitud.

Desplazamiento de la Manguera: este se considera como una variable independiente por que es una característica que va a cambiar continuamente en conjunto con la longitud de las mangueras blandas y la cantidad de aire comprimido que consume cada músculo neumático.

Presión de Aire Comprimido: esta es la última variable independiente que se determinó ya que dependiendo de la cantidad de aire comprimido que se le ingrese al músculo eso determinará la fuerza de este. La cantidad va a variar dependiendo de la longitud de las mangueras.

4.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS

Para la presente investigación se planteó estudiar lo que es el músculo neumático y su entorno. Es decir, como elaborarlo, como funciona y las pruebas que se deberán hacer para llegar a desarrollar el prototipo ideal para ser instalado como efector final en un brazo robótico.

Los instrumentos que se utilizaron para poder desarrollar primero el banco de pruebas donde se hicieron las pruebas al músculo neumático fue el software 3D CAD SolidWorks y posteriormente se realizaron las pruebas cinemáticas en MATLAB.

4.4 MATERIALES

En esta sección se hizo un listado de los materiales utilizados para poder desarrollar el prototipo final del músculo neumático.:

- Manguera de látex de 20 cm de largo y 0.4 cm de diámetro.
- Malla expandible de 25 cm de largo y 2 cm de diámetro.
- Manguera plástica neumática.
- Conector tipo buje externo con diámetro de 2 cm.
- Retenedor plástico.
- Adaptadores para conector rápido.
- Conectores rápidos.
- Tornillo de rosca corrida de 0.5 cm de diámetro y 8 cm de largo.
- Pesas de 1 a 7 libras.
- Estructura metálica de soporte para prueba.
- Compresor de aire comprimido 120 psi.

4.5 METODOLOGÍA DE ESTUDIO

La metodología de estudio empleada en esta investigación fue la jerárquica. El proceso analítico jerárquico es una técnica estructurada para tratar con decisiones complejas. Esta metodología ayuda a los tomadores de decisiones a encontrar la solución que mejor se ajusta a sus necesidades y a su comprensión del problema. Es esencial para esta metodología el desarrollo de evaluaciones ya que se convierten a valores numéricos o prioridades. En el paso final del proceso, las prioridades numéricas son calculadas para cada una de las alternativas de decisión. Se decidió ejercer la metodología de estudio jerárquica ya que es fundamental para esta investigación hacer pruebas de material y así determinar cual es el adecuado para desarrollar el prototipo final del músculo neumático. En la Ilustración 27 se muestra de forma grafica como se ejecuta la metodología jerárquica. (Rodriguez, 2007)

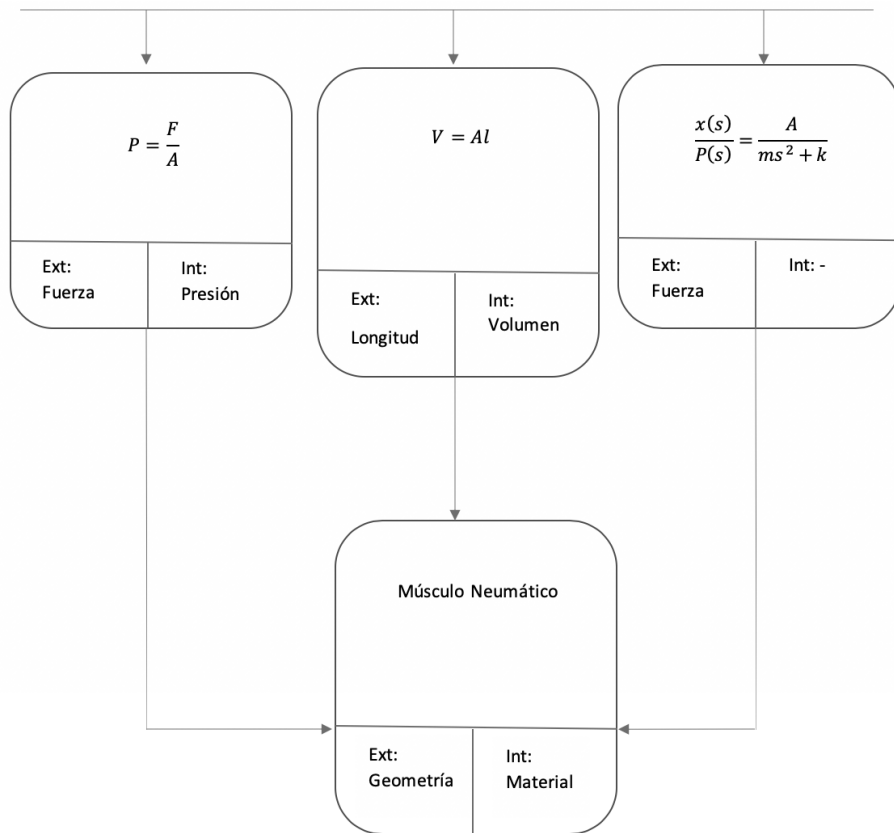


Ilustración 27: Modelo de la Metodología Jerárquica.

Fuente: Elaboración Propia

4.6 METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN

El método experimental es un tipo de método de investigación en el que el investigador controla deliberadamente las variables para delimitar relaciones entre ellas. Es un método para la recolección de datos en el cual se comparan las mediciones del comportamiento de un grupo de control, en este caso, el comportamiento del músculo neumático al inyectar el aire comprimido. Es decir, su tiempo de respuesta y el desplazamiento que recorre al ser inflada. El método experimental implica la observación y manipulación específicamente de las variables de investigación. El objetivo final es de analizar el material para saber adaptarlo como efector final en un brazo robótico. (Serrano *et al.*, 2017)

4.7 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

El desarrollo del proyecto se llevo a cabo en el transcurso de 9 semanas y se realizo de manera secuencial. Primero se realizo la propuesta de investigación y una vez definida la misma se presenta para su aprobación. Luego se determina el planteamiento y se define el problema a investigar, recopilando información acerca de sus precedentes. Por ultimase establecen los objetivos a realizar en la investigación.

Se debe buscar información muy a fondo para así sustentar la investigación y que pueda ser utilizada para investigaciones en el futuro. Lo siguiente a desarrollar fue la metodología donde se describen los pasos a seguir, los recursos y herramientas a utilizar para la elaboración del estudio.

Luego se analizo toda la información obtenida y se comenzó a desarrollar el prototipo del músculo neumático. Por ultimo, se hacen las conclusiones y recomendaciones basado en los resultados obtenidos. Las actividades descritas anteriormente se muestran de forma detallada en la siguiente Ilustración 28.

#	Actividades para la Elaboracion del Proyecto de Investigacion	Semana									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Determinar la finalidad del proyecto										
2	Recopilar informacion para entender el tema ampliamente										
3	Determinar la metodologia del proyecto										
4	Investigar como elaborar un musculo neumatico										
5	Recolectar los materiales necesarios para elaborar el prototipo										
6	Elaboracion del prototipo										
7	Desarrollo de las conclusiones y recomendaciones										

Ilustración 28: Cronograma de Actividades

Fuente: Elaboración Propia

V. ANÁLISIS Y RESULTADOS

En los capítulos anteriores se desglosaron los antecedentes para tener claro el problema a investigar. En el marco teórico se planteo la información completa de todo lo relacionado con el músculo neumático para entender como desarrollarlo como efector final de un brazo robótico. De igual manera se definió una metodología que ofrece un orden lógico para realizar la investigación. Todo lo investigado anteriormente con el fin de poder elaborar el prototipo final.

5.1 MATERIALES

La elaboración de un músculo neumático requiere de materiales específicos. Se utiliza una manguera de látex que sea fácil de expandir al momento de inyectar aire comprimido, ubicada dentro de una malla plástica expandible que proteja la manguera de látex pero que no limite el movimiento de esta. En las siguientes Tablas 1 y 2 se muestran de manera detallada las pruebas realizadas con diferentes mangueras de látex y mallas con el fin de buscar el material ideal para la elaboración del músculo neumático. Cabe destacar que la empresa FESTO, la cual diseña, vende e instala los mejores músculos neumáticos en el mercado industrial a nivel mundial sugiere que la presión máxima con la cual debe trabajar el un músculo neumático es de 2 bar lo que equivale a 29 psi.

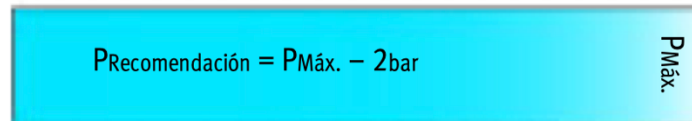

$$\text{Precomendación} = P_{\text{Máx.}} - 2\text{bar}$$




Ilustración 29: Recomendación FESTO

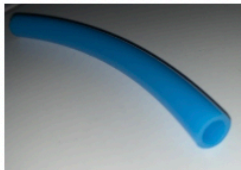



Fuente: (Músculo Neumatico DMSP/MAS FESTO, 2019)

En la Tabla 1, la primera columna muestra la fotografía de un segmento de la manguera utilizada. Posteriormente se detallan en centímetros los diámetros internos y externos que afectan directamente el inflado de la manguera. Seguidamente se inyecta aire para así expandirlas y hacer que el material se vuelva mas flexible. Luego se registró la presión del aire comprimido que logró inflar la manguera simulando ya el uso específico que se le dará al músculo neumático. Después se registro la presión de estabilidad, esto se refiere al momento en el cual la manguera esta completamente inflada. La presión

de explosión se registro para aquellas mangueras que se fisuraron o explotaron a determinada presión. La ultima columna se detalla el comportamiento de la manguera al inyectarle el aire comprimido.

Tabla 1: Prueba de Presión a Mangueras de Látex

Manguera de Látex	Diámetro Interno/Diámetro Externo (cm)	Presión de Primer Inflado (psi)	Presión de Segundo Inflado (psi)	Presión de Estabilidad (psi)	Presión de Explosión (psi)	Comentario
	0.6/0.3	65	26	-	-	Solo inflaba una sección de la manguera, es decir se formaba una burbuja.
	0.5/0.1	-	-	-	-	Esta manguera nunca logro inflar. El látex con el que se fabrica es muy duro.
	0.45/0.3	60	22	-	25	Esta manguera solo formo una burbuja y al presurizarla exploto. No se distribuyo el aire en toda la manguera.

	0.7/0.1	-	-	-	-	Esta Manguera nunca logro inflar. El látex con el que se fabrica es muy duro.
	0.6/0.2	50	21	-	23	La manguera comenzó a inflar adecuadamente pero el material no soporto la presión del aire y exploto.
	0.9/0.1	73	24	-	29	La manguera consumiÓ mas presión que las otras, pero cuando estaba a punto de inflarse por todo el largo de la manguera por el pequeño grosor, exploto.
	0.4/0.2	50	23	25	-	Esta manguera funcionÓ adecuadamente.

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 2, la primera columna muestra una fotografía de un segmento de la malla utilizada. Posteriormente se nombra el material con el que se construyó la malla y seguidamente un comentario de su comportamiento al ser sometida a las pruebas utilizando la manguera de látex ya establecida.

Tabla 2: Pruebas de Presión con Manguera de Látex a Mallas Expandibles

Malla Expandible	Material	Comentario
	<p>Polipropileno</p>	<p>Esta malla no permitía a la manguera de látex inflarse adecuadamente ya que estiraba hasta un punto determinado, en ese punto al inyectar mas aire comprimido aumentaba la presiona y la manguera explotaba.</p>
	<p>Tela de Algodón</p>	<p>Se elaboró una malla de algodón ya que este material es elástico. La malla presento el mismo problema que la de polipropileno, no estiraba simultáneamente con la manguera de látex, haciendo que esta explotara en un punto donde se aumentaba la presión.</p>
	<p>Licra</p>	<p>Este material es conocido por su gran elasticidad y resistencia por eso se elaboró una malla con licra. El problema que este presento fue que no le</p>

		brindaba protección a la manguera, permitía que se inflara en su totalidad de manera rápida haciendo que explotara.
	Fibra de Vidrio	Este material inflaba simultáneamente con la manguera y por su dureza, ejercía una presión a la manguera para que no inflara rápidamente haciendo que el control de la presión en el momento de las pruebas fuera mas fácil.

Fuente: Elaboración Propia

5.2 PROCEDIMIENTO

Antes de elaborar el prototipo final del músculo neumático funcionando como efector final se decidió hacer una prueba de funcionamiento y otra de fuerza para estudiar su comportamiento y analizar de que manera se podría construir el prototipo para que sea eficiente y optimo para el uso que se le pretende dar.

Después de la selección correcta de materiales se determinaron las medidas a utilizar que fueron las siguientes: La manguera de látex de 20 cm de largo y la malla expandible de 25 cm de largo. El siguiente paso fue el de la fabricación de los bujes roscados, el primero que es el interno se instalan dentro de la manguera, este buje tiene una rosca interna de 0.5 cm. Este buje se fabrico con la intención de conectar la manguera con el buje exterior que tiene un diámetro de 1.8 cm con una rosca interna de 0.5 cm. Los bujes mencionados anteriormente son unidos con un tornillo de 5 cm de largo y una rosca de 0.5 cm. Se elabora un buje tipo anillo que es la que va a sujetar la malla con el buje exterior y tiene un diámetro

interno de 2 cm y uno externo de 0.1 cm. Estos materiales se instalan en cada extremo del músculo. Por ultimo se fabrico una boquilla donde va el adaptador el cual se conecto directamente con la manguera del compresor, tiene una rosca de 0.5 cm y a un costado una rosca tipo NPT de 0.3 cm. En la Ilustración 30 se muestran a la parte superior en orden los materiales previamente mencionados y en la parte inferior el ensamblaje completo.



Ilustración 30: Elaboración de las Piezas para el Músculo Neumático

Fuente: Elaboración Propia

Se procedió a probar el funcionamiento del músculo neumático inyectándole aire comprimido y el resultado se muestra en la Ilustración 31. En la parte superior se muestra el músculo neumático en estado de reposo y en la parte inferior se muestra el músculo neumático en contracción.

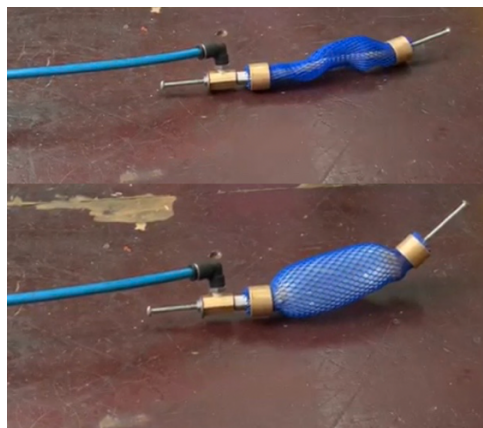


Ilustración 31: Estado de Reposo y Contracción

Fuente: Elaboración Propia

Al ver el que el músculo neumático funcionaba adecuadamente se procedió a instalarlo en el banco de pruebas (referirse a Anexos 1, 2, 3 y 4 para el diseño y medidas del banco) y así probar la fuerza que este tiene. En la siguiente Ilustración 32 se muestra la instalación del músculo en el banco de pruebas de hierro.



Ilustración 32: Músculo Neumático de una Manguera Instalado en el Banco de Pruebas de Hierro

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados de las pruebas con peso fueron se despliegan en la Tabla 3 y fueron los siguientes:

Tabla 3: Resultados de Prueba con Peso

Peso (lb)	Resultado
1	✓
2	✓
3	✓
4	✓
5	✓
6	✓
7	✗

Fuente: Elaboración Propia

El músculo neumático logró levantar con facilidad los pesos de 1-5 libras. Demoro en levantar el peso de 6 libras, pero fue en un tiempo y esfuerzo mínimo comparado con los otros pesos. El peso de 7 libras hizo que el músculo neumático estirara en reposo mas de lo logrado anteriormente por lo tanto se le hizo imposible levantar ese peso. El músculo ocupaba mas aire comprimido para levantar el peso y al ingresarle mas aire la presión aumento de forma rápida causando fisuras en la manguera.

Para adaptar el músculo neumático como efector final se tuvo que liberar la manguera del extremo inferior con la intención de que al ser inflada la manguera esta tenga una mayor longitud y se le adapto un gancho de menor peso el cual permite al músculo neumático tener mas movilidad y esto brinda facilidad al momento de regular la presión (referirse al Anexo 5).

Al momento de hacer las pruebas al músculo neumático como efector final usando el método de sujeción se tuvo que regular la presión del aire comprimido en un rango de 23-25 psi para controlar el movimiento de la manguera. Al ir regulando la presión, el músculo neumático logró estirarse lo

suficiente para engancharse al peso que se pretendía suspender, lo sujeto y lo suspendió de manera exitosa. En la Ilustración 33 se muestra el músculo neumático en reposo, después se muestra al músculo neumático en el momento de la regulación de la presión previo a la sujeción y finalmente se muestra el músculo neumático suspendiendo de manera exitosa el objeto de prueba.



Ilustración 33: Músculo Neumático en Reposo

Fuente: Elaboración Propia

5.3 PRUEBAS CINEMÁTICAS

Para proceder con las pruebas cinemáticas al ver que el músculo neumático trabaja de manera exitosa, se tiene que medir el tiempo de reacción (es el tiempo que tarda el músculo neumático en inflarse completamente), el desplazamiento al cual se alarga el mismo y la medición de la circunferencia para medir el volumen del aire dentro de la manguera. En la Tabla 4 se muestran los resultados siguientes:

Tabla 4: Pruebas de Reacción, Desplazamiento y Circunferencia

Prueba	Tiempo de Reacción (segundos)	Desplazamiento (cm)	Circunferencia (cm)
1	1.3	45	12.3
2	1.1	38	12.0
3	1.3	45	11.5
4	1.3	39	11.4
5	1.0	33	11.4

Fuente: Elaboración Propia

Para los cálculos siguientes se utilizó la medida que se repitió con más frecuencia en las pruebas anteriores, es decir, Tiempo de Reacción = 1.3 segundos; Desplazamiento = 45 cm; Circunferencia = 11.4 cm. El siguiente cálculo es el del volumen del aire dentro de la manguera y el resultado fue el siguiente:

$$C = 2\pi r$$

Donde:

r = Radio

La circunferencia ya fue calculada anteriormente por lo que hay que despejar para el radio que es lo que se necesita calcular:

$$r = \frac{C}{2\pi}$$

Ecuación 8: Radio de un Circulo

Al ingresar los datos el resultado fue el siguientes:

$$r = 11.4/2\pi$$

$$r = 1.82 \text{ cm}$$

El siguiente paso es calcular el área, la que se obtuvo con la siguiente ecuación:

$$A = \pi r^2$$

El resultado fue:

$$A = \pi 1.82^2$$

$$A = 10.41 \text{ cm}^2$$

Con los datos obtenidos, finalmente se puede calcular el volumen con la siguiente ecuación:

$$V = Al$$

Donde:

l = longitud de la manguera en estiramiento

El resultado fue el siguiente:

$$V = 10.41 * 45$$

$$V = 468.45 \text{ cm}^3$$

Una vez calculados todos los datos, se desarrolló la programación en MATLAB donde posteriormente se ingresaron los datos poder obtener la velocidad, aceleración y fuerza del músculo neumático. Primero se tuvo que determinar la siguiente función de transferencia:

$$\frac{x(s)}{P(s)} = \frac{A}{ms^2 + k}$$

Ecuación 9: Función de Transferencia

Fuente: Elaboración Propia

Donde la salida “x” con respecto al tiempo hace referencia al desplazamiento y la entrada “P” con respecto al tiempo es la presión. Estas variables dependen del cociente entre el área “a” y la suma de la fuerza “ms²” y el modulo de elasticidad del látex “k” siendo este último determinado por un estudio realizado por la Universidad de Barcelona es de 0.0025 GPa.

En la Ilustración 34 se observa de manera detallada la programación elaborada de MATLAB.

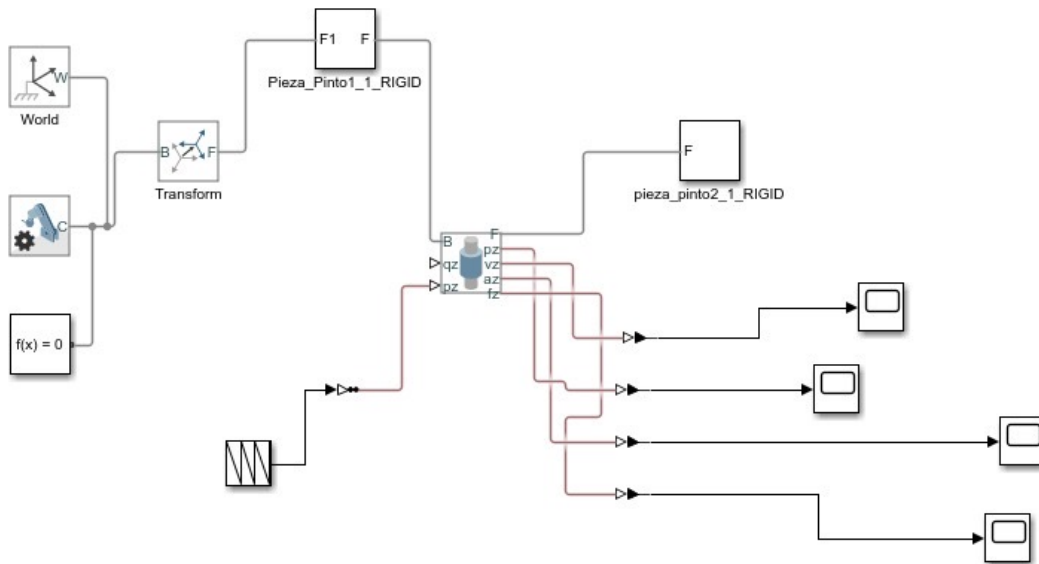


Ilustración 34: Programación en MATLAB

Fuente: Elaboración Propia

- El componente central de color azul al cual depende de los otros componentes es la Junta Cilíndrica, donde al lado izquierdo se le conectan los movimientos generados por una señal y al lado derecho se determinan las variables o valores cinemáticos.
- El componente conectado en la entrada B de la Junta Cilíndrica representa el movimiento del músculo neumático en reposo.
- El componente conectado en la entrada PZ de la Junta Cilíndrica es el repetidor de secuencia y hace el desplazamiento descendente.
- El componente conectado en la salida F de la Junta Cilíndrica representa el movimiento de estiramiento del músculo neumático, es decir el momento del inflado.
- Los componentes conectados en las salidas PZ, VZ, AZ, y FZ son los osciloscopios que ayudan a representar de forma grafica las señales eléctricas que pueden variar en el tiempo.

- Los cuatro componentes conectados a la izquierda del Movimiento en Reposo los genera automáticamente MATLAB.

Al simular la programación en MATLAB se generan los siguientes gráficos donde el eje x representa el tiempo:

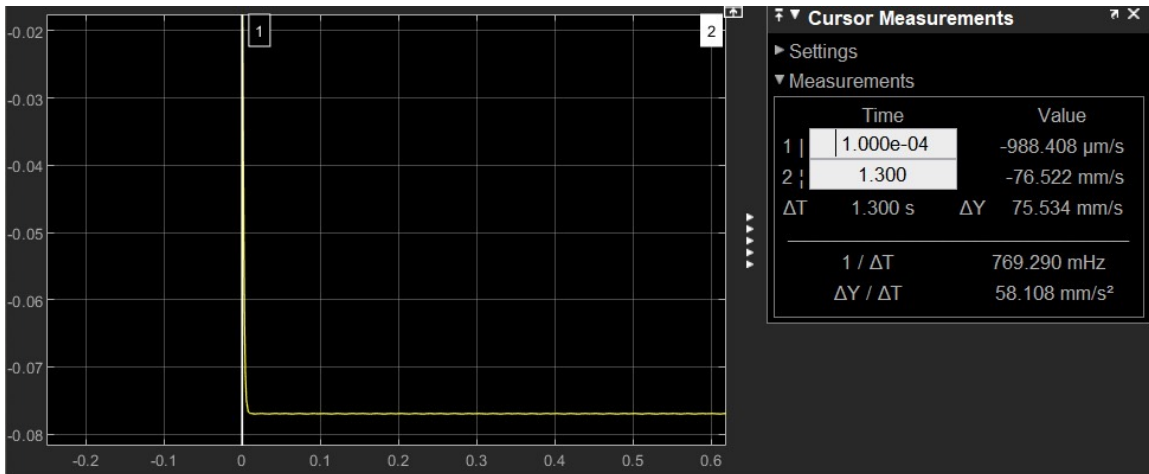


Ilustración 35: Velocidad del Músculo Neumático Basado en MATLAB.

Fuente: Elaboración Propia

En la Ilustración 35 se observa como se comporta la velocidad en el músculo neumático el inyectarle el aire comprimido dando un total de 75.534 mm/s .

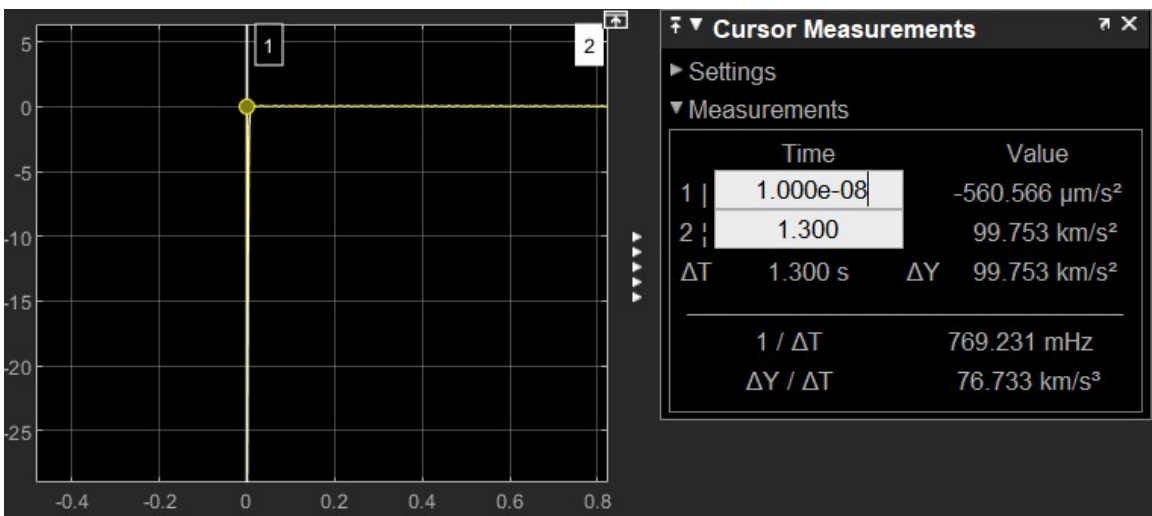


Ilustración 36: Aceleración del Músculo Neumático Basado en MATLAB.

Fuente: Elaboración Propia

En la Ilustración 36 se detalla el comportamiento de la aceleración del músculo neumático al inyectarle aire comprimido y dio un total de 99.753 km/s^2 .

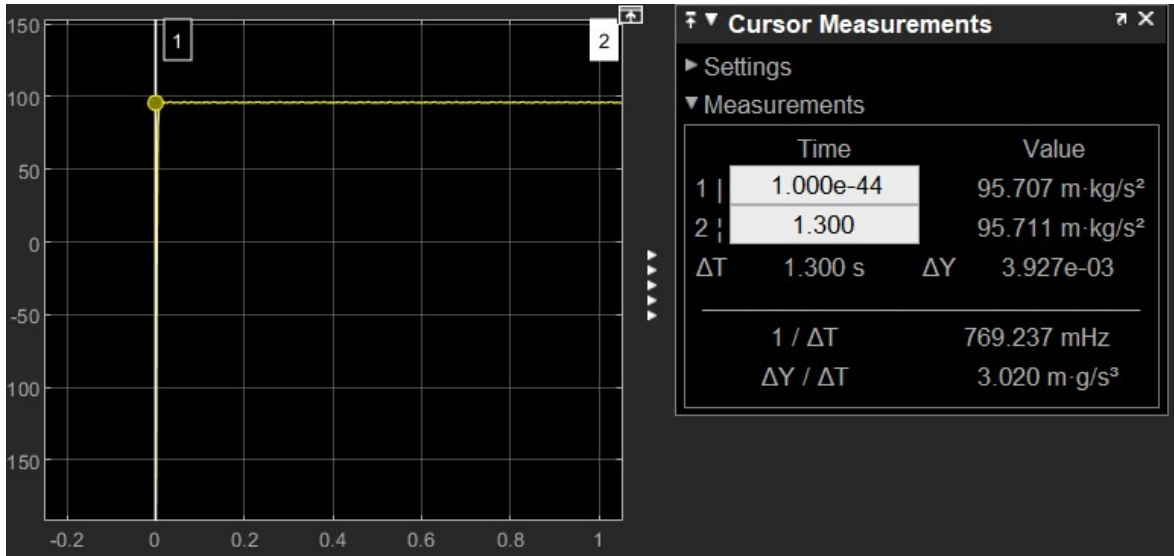


Ilustración 37: Fuerza del Músculo Neumático Basado en MATLAB.

Fuente: Elaboración Propia

En la Ilustración 37 se muestra el comportamiento de la fuerza del músculo neumático dando un resultado de $3.927\text{e-}3 \text{ m}\cdot\text{g/s}^2$.

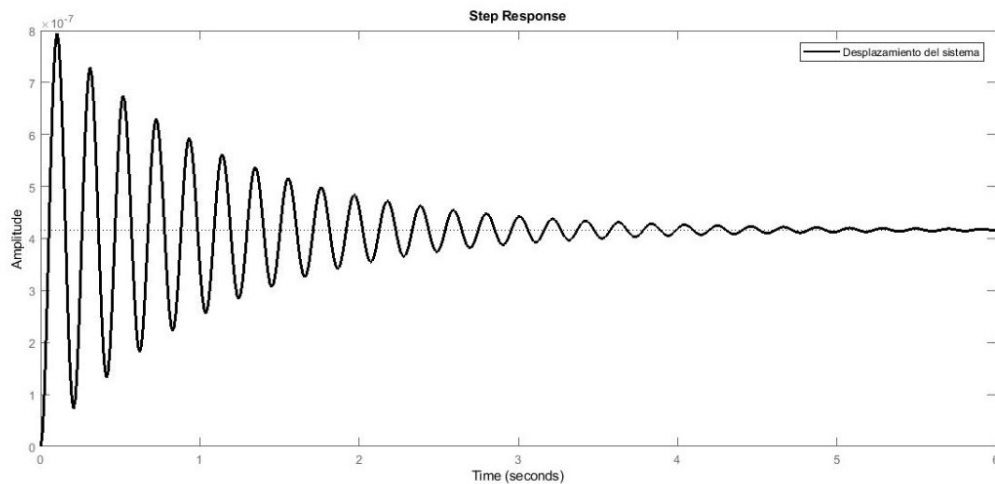


Ilustración 38: Oscilación del Músculo Neumático

Fuente: Elaboración Propia

En la Ilustración 38 se muestra la oscilación que ejerce el músculo neumático al ser utilizado como efector final, el proceso tiene una duración de 6 segundos antes de recuperar su estabilidad con una amplitud de 8×10^{-5} cm.

5.4 HALLAZGOS

1. El tipo de manguera de látex no es el que se usa para un músculo neumático industrial. Por lo tanto, se tuvo que regular la presión y por seguridad se puso una línea que va del regulador a la estructura de la manguera y se instalo una derivación para poder liberar el aire a la atmosfera inmediatamente después del inflado. Es decir, la manguera nunca quedo presurizada. Esto con la intención de evitar que las mangueras explotaran.
2. La manguera se fisuraba después de varios ciclos de inflado y desinflado, después de cierta cantidad de pruebas la manguera explotaba.
3. Las piezas no se pudieron fabricar con acero inoxidable ya que había que hacer el proceso de machuelo a una de las piezas para hacer el sello de las mangueras. El material era muy duro y los bujes se dañaban. Dado este problema se realizaron con bronce.
4. Fabricar el roscado de los bujes fue de gran dificultad ya que el diámetro de la manguera de látex era muy pequeño. Se fabrico un machuelo especifico para utilizar en la tarraja y elaborar el roscado.
5. Encontrar las medidas correctas para los bujes que unían la manguera con la estructura fue de gran dificultad y esto se soluciono de manera experimental.

5.5 COMPARACIÓN DE RESULTADOS

1. Los resultados de la investigación desarrollada por el Departamento de Ingeniería Electrónica de la Universidad de Salford, al ser comparados con los obtenidos en esta investigación son muy parecidos a los de la Tabla 2 donde se hicieron pruebas a distintas mangueras para encontrar la adecuada. La manguera de látex que se utilizo en para la elaboración del prototipo tuvo una

presión de inicial de 50 psi para el primer inflado. En la Ilustración 39 se muestra la grafica realizada en el estudio ya mencionado.

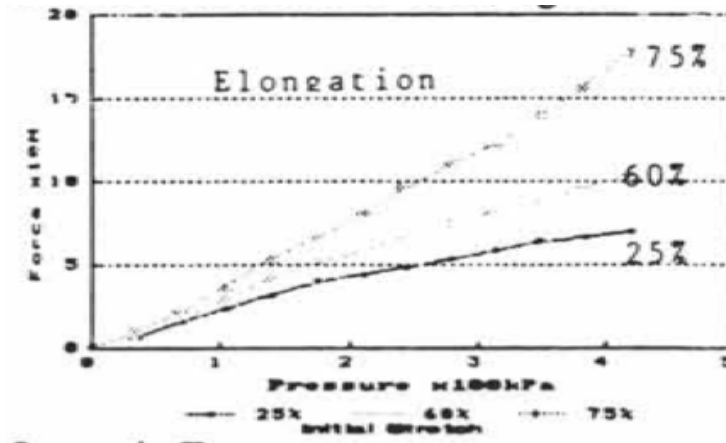


Ilustración 39: Grafica de Resultado para la Prueba Isométrica

Fuente: (Caldwell *et al.*, 2015)

- Los resultados obtenidos por el Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato con respecto al diámetro de la manguera de látex al ser inflada son cercanos a los establecidos en esta investigación en la Ecuación 5, donde se obtuvo el radio. El tipo de látex con el que esta fabricada la manguera afecta directamente. En la Ilustración 40 se muestra la tabla de resultados realizada en la investigación mencionada.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL E INGENIERÍA MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ENSAYO DE RESISTENCIA DE MANGUERAS UTILIZADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE MÚSCULOS NEUMÁTICOS

Lugar: Laboratorio de Neumática.
Material: Manguera de látex producida industrialmente.
Longitud: 300 milímetros.
Diámetro interior: 6,35 milímetros.
Diámetro exterior: 9,5 milímetros.
Cantidad nominal: 1000 lt/min.

Ensayo N° 2

Elaborado: Alejandro Lascano Freire. Fecha: 16/06/2011

Presión Entrada del F.R.R. (PSI)	Presión Entrada (BAR)	Presión Salida (PSI)	Presión Salida (BAR)	Ensanchamiento Sección Transversal (mm)	OBSERVACIONES.
100	6,9	5	0,34	9,5	No sufre ningún cambio.
100	6,9	10	0,7	9,5	No sufre ningún cambio
100	6,9	15	1,03	10	Empieza a ensancharse.
100	6,9	20	1,4	12	Más ensanchamiento.
100	6,9	25	1,7	30	Se deforma completamente la manguera en una manera exagerada por lo cual se lo toma como la falla que tendría esta manguera. Por cuestiones de seguridad se deja hasta esa presión el ensayo. Además cabe recalcar que sufre una deformación pero que con el paso de unos minutos se recupera casi en su totalidad.

Ilustración 40: Resultados a Prueba de Resistencia de Presión

Fuente: (Lascano, 2012)

- Los resultados obtenidos por el Departamento de Informática y Electrónica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Ecuador son similares a los de esta investigación. Se obtuvo un tiempo de reacción de 1.3 segundos y al ingresar los datos calculados a MATLAB se obtuvo una velocidad de 75.534 mm/s. En la Ilustración 41 se muestran las graficas desarrolladas en la investigación mencionada.

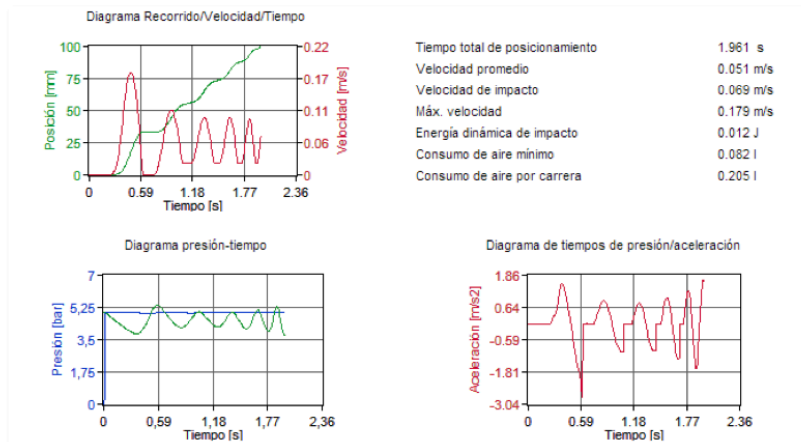


Ilustración 41: Resultado Pruebas de Reacción

Fuente: (Paucar & Quinllay, 2013)

- Los resultados del glúteo mayor y del recto anterior desarrollados por el Departamento de Ingeniería de la Universidad Tecnológica del Sur del Estado de México son similares a los resultados obtenidos durante la presión de estabilidad de la manguera de látex utilizada para hacer el prototipo del músculo neumático que fue de 25 psi. En la Ilustración 42 se observa la tabla desarrollada en la investigación mencionada.

Músculo	Presión (Bars)	Músculo	Presión (Bars)
Psoas mayor	0.78	Recto anterior	1.57
Glúteo mayor	2.14	Semi membranoso	1.01

Ilustración 42: Resultados Pruebas de Presión Inicial

Fuente: (Ortega *et al.*, 2010)

VI. CONCLUSIONES

Se puso a prueba el potencial de un músculo neumático instalado como efector final para la implementarlo a un brazo robótico con la finalidad de sujeción y se llegó a la conclusión que el prototipo realizado permite ejercer pruebas experimentales necesarias para la aplicabilidad y brinda una facilidad para la implementación de diversos tipos de control.

- Se concluyó que el material a utilizar debe de ser un látex resistente que al ser sometido a múltiples pruebas pueda actuar con seguridad a las condiciones establecidas en este caso una manguera con un diámetro interno de 0.4 cm y un externo de 0.2. La longitud de la manguera y su diámetro varían junto con la presión, la fuerza que este puede tener. Encontrar la malla expandible ideal también es importante ya que tiene que permitir que la manguera se infle con fluidez, pero a la vez protegerla de que no se infle a gran escala para evitar explosiones, por estas razones se utilizó la malla expandible de fibra de vidrio.
- Dentro del análisis expuesto se concluyó que encontrar la presión de operación adecuada para el funcionamiento del músculo neumático es la base para el éxito del prototipo, ya que, si se utiliza una menor presión el músculo neumático no desarrolla su potencial adecuado y se hace muy débil al momento de hacer pruebas de fuerza y resistencia. Si la presión es mayor se corre el riesgo de fisurar la manguera o hacerla explotar. La presión con la cual el músculo neumático es se mantuvo inflado y estable sin ninguna deformación fue de 25 psi.
- Las pruebas cinemáticas aplicadas al prototipo brindaron resultados positivos. Se concluyó que el músculo neumático elaborado con los materiales ya mencionados brinda un tiempo de respuesta rápido y que la fuerza de igual manera depende del tipo de látex con el que se fabrique la manguera. En este caso las pruebas indicaron una velocidad de 75.534 mm/s, una aceleración de 99.753 km/s² y una fuerza final de $3.927e^{-3} \text{ m}^*g/s^2$.
- Controlar la sujeción del músculo neumático fue un gran desafío ya que se tenía que regular constantemente la presión del aire comprimido así lograr que el músculo estuviera al nivel del objeto y después de igual forma regular la presión para que se pudiera enganchar y posteriormente hacer la suspensión. Por lo tanto, se concluyó que el sistema amerita la

instalación de control automático para lograr la precisión optima. La presión con la cual se manejo el estiramiento del musculo neumático fue de 23-25 psi para ser utilizado como efector final.

VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar una mejor calidad látex para la elaboración de la manguera, esto brinda mayor duración del material y mejores resultados de fuerza y dinamismo.
- Se sugiere tener extremo cuidado durante la conexión de la alimentación del compresor y de las mangueras del prototipo al compresor ya que una pequeña fisura puede dañar todo el sistema.
- Se insiste que utilizando el software implementado se instale un sistema de control basado en electroválvulas para facilitar el control del prototipo.
- Se recomienda hacer otro tipo de pruebas al músculo neumático, como pruebas de flexión, para implementarlo en otras áreas de la industria.

BIBLIOGRAFÍA

- Tipos de músculos: Clasificaciones, funciones y acciones. 2018. Mundo Entrenamiento. Retrieved May 14, 2020, from <https://mundoentrenamiento.com/tipos-de-musculos-y-su-funcion/>
- Principio de funcionamiento de una bomba de anillo líquido. Fuente:... | Download Scientific Diagram. Retrieved May 15, 2020, from https://www.researchgate.net/figure/Figura-214-Principio-de-funcionamiento-de-una-bomba-de-anillo-liquido-Fuente_fig13_321600248
- A. Rivera Torres, & J. Martinez Escanaverino. (2010). Comportamiento Termodinamico de Rotores para Compresores de Tornillo con Nuevo Perfil. Revista Cubana de Ingenieria.
- Atenea Serrano, Lorena Sanz, Irene Rodrigo, Elisa Gordo, Belen Alvaro, & Lea Brea. (2017). Metodos de Investigacion de Enfoque Experimental. Javier Murillo. <http://www.postgradoune.edu.pe/pdf/documentos-academicos/ciencias-de-la-educacion/10.pdf>
- Beer, Johnston, Mazurek, & Eisenberg. Mecanica Vectorial Para Ingenieros Estatica (Novena Edicion). McGraw Hill.
- Caceres, P., Arenales Gelvez, A., Paz Ramirez, A., Quintero Jimenez, C., & Ruiz Castañeda, G. (2008). Movimiento Cientifico (Vol. 2). Iberoamericana Institucion Universitaria. <https://revmovimientocientifico.iberu.edu.co/article/view/mct.02105>
- Carlos F. Rodriguez, Hugo Quintero, & Helena Aschner. (2005). Movimiento del Brazo Humano. Universidad de los Andes, Bogota D.C.
- Compresores de lóbulos o tipo Roots – El blog de Víctor Yepes. (2019). Retrieved May 15, 2020, from <https://victoryepes.blogs.upv.es/2019/12/26/compresores-de-lobulos-o-tipo-roots/>
- ¿Cuáles son los huesos del brazo y antebrazo? (2019, February 28). Curiosoando. <https://curiosoando.com/huesos-del-brazo>
- Daniel Escuderos Ibáñez, & Lucas Álvarez Vega. (2010). Control de Calidad de Puntos de Soldadura Mediante Inspección por Ultrasonidos. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación.
- ¿De qué está formado el músculo? (2018). Retrieved May 14, 2020, from <https://www.fisioterapia-online.com/articulos/de-que-esta-formado-el-musculo>
- D.G. Caldwell, G.A. Medrano-Cerda, & M. Goodwin. (2015). Control of Pneumatic Muscle Actuators. IEEE Control Systems Magazines.

Diana Guerrero, & Alfredo Duran. (2010). Gripper Multifuncional para Extracción de Granadas. Universidad Militar Nueva Granada. <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/3313/GuerreroPerezDianaMarcela2011.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Diseñar elementos terminales para robots (pinzas de sujeción) – Sergio Pérez Montoya. (2017). Retrieved June 25, 2020, from <https://spmprotomp.wordpress.com/2017/12/02/elementos-terminales-para-robots-pinzas-de-sujecion/>

DMSP_ES.pdf. (2016). Retrieved May 13, 2020, from https://www.festo.com/cat/es_es/data/doc_es/PDF/ES/DMSP_ES.PDF

D.W. Repperger, K.R. Johnson, & C.A. Philips. (2019). Nonlinear feedback controller design of a pneumatic muscle actuator system. American Control Conference. <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=786080&isnumber=16953>

Edmundo Pedroza Gonzalez, & Francisco Martinez Gonzalez. (2007). Historia del Teorema de Bernoulli. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Edwin Sebastian Chacaguasay Balla. (2014). El Aire Comprimido, su aplicación, efectos y ventajas en el sistema de freno de aire como recurso didáctico para el aprendizaje de los estudiantes de la carrera de Mecánica Automotriz. Universidad Nacional de Chimborazo.

Electroimán – Robotica Romer. (2020). Retrieved June 25, 2020, from <http://www.roboticaromer.cl/catalogo/electroiman/>

Elena Martinez Rodriguez. (2007). Aplicacion del Proceso Jerarquico de Analisis en la Seleccion de la Localizacion de una PYME. Real Centro Universitaria San Lorenzo de Escorial.

Eric Santiago-Valentin, Adrian Solano-Palma, Pablo Bautista-Camino, Jose Marco Antonio Rueda-Melendez, & Edgar Alfredo Portilla-Flores. (2015). Diseño optimo para transmision de fuerza en un efector final. Instituto Politecnico Nacional. https://www.rcs.cic.ipn.mx/2015_91/Diseno%20optimo%20para%20transmision%20de%20fuerza%20en%20un%20efector%20final.pdf

Fabio Abel Aguirre Cerrillo, Mario Raul Villareal Gutierrez, Ricardo Bautista Quintero, & Raul Santiesteban Cos. (2011). Brazo Robotico Actuado por Musculos Neumaticos. Instituto Tecnológico de Culiacan.

F.G. White. (2019). Industrial Air Compressors. Foulis, 1967.

Flores, D. A. M. (2020). El desgarrador muscular – Ciencias Médicas. Retrieved May 14, 2020, from <https://blog.ciencias-medicas.com/archives/1800>

Garzón Pineda, & Jheison Javier. (2015). Modelamiento en un entorno virtual de la celda de manufactura smc- fms -200. Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas. <http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/4801>

Gregory Stewart, & Denton A. Cooley. (2005.). The Skeletal and Muscular Systems (Infobae Publishing, 2009).

HELLER G. SÁNCHEZ A. (2010). Modelo AnAlítico PArA el estudio de LA torsión en rotores Flexibles. Ingenieria Industrial de Santander Colombia. <https://www.redalyc.org/pdf/5537/553756877005.pdf>

Higuera Sandoval, & Carlos Hernando. (2007). Leyes de comportamiento de la deformación radial admisible de tracción en pavimentos flexibles. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. <https://www.redalyc.org/pdf/4139/413940756005.pdf>

Hivessaim: Robotica: Como hacer musculos de aire. Hivessaim. Retrieved June 25, 2020, from <http://hivessaim.blogspot.com/p/robotica-como-hacer-musculos-de-aire.html>

Industrial intelligence 4.0_beyond automation. (202). KUKA AG. Retrieved May 14, 2020, from <https://www.kuka.com/es-es>

International, D.-S. (2020). DYWIDAG-Systems International Group. Retrieved May 14, 2020, from <https://www.dywidag-systems.com/>

Jairo Abril Blanco, & Luis Jesus Gualdron Rivera. (2015). Calculo, Diseno Y Construccion De Un Compresor De Aire De Paletas Deslizantes De Desplazamiento Positivo / Por Jairo Abril Blanco Y Luis Jesus Gualdron Rivera. Universidad Industrial de Santandar, Escuela de Ing. Mecanica.

Jairo Pinzon. (2016). Diseño de un Sistema Robotizado que Permita Paletizar el Embalaje de Jugos en Presenetacion de Cajas Tetra Pack de 200 ml, en la Empresa de Productos Alimenticios Alpina Cauca. Universidad Autonoma de Occidente. <http://red.uao.edu.co/bitstream/10614/9412/1/T07083.pdf>

Karl Mathia. (2010). Robotics for Electronics Manufacturing: Principles and Applications in Cleanroom Automation. Cambridge University Press.

La VG10: Una pinza por vacío eléctrica flexible y ajustable. (2020). OnRobot. Retrieved June 25, 2020, from <https://onrobot.com/es/productos/pinza-electrica-por-vacio-vg10>

Lenin Polanco, & Edison Villarruel. (2010). Diseño y Construcción de un Modulo Didáctico con

Controladores Programables. Universidad Politecnica Nacional.
<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1616/1/CD-2308.pdf>

Muscle strain injuries: Current Opinion in Rheumatology. (2000). Retrieved June 24, 2020, from https://journals.lww.com/co-rheumatology/Abstract/2000/03000/Muscle_strain_injuries.10.aspx

Muscolino, J. E. (2016). The Muscular System Manual (Elsevier Health Sciences, 2016, Vol. 4).

Muscular Atrophy Following Immobilisation | SpringerLink. (2012). Retrieved June 24, 2020, from <https://link.springer.com/article/10.2165/00007256-199010010-00005>

Compresores de Tornillo Funcionamiento, Componentes y Ventajas. (2020). Compresores de aire. Retrieved May 15, 2020, from <https://compresoresdeaire.xyz/tornillo/>

OMEL – Compresores de Anillo Líquido. (2018). Retrieved May 15, 2020, from <http://www.omel.com.br/es/nuestros-productos/compresores-de-anillo-liquido/>

Paulo Abreu. (2002). Aplicações industriais de robôs. Universidade do Porto.

Peter Radgen, & Edgard Blaustein. (2001). Compressed Air Systems in the European Union (Vol. 1). Germany.

Piera—2005—La etiología, la tipología y las manifestaciones c.pdf. (2020). Retrieved June 24, 2020, from

Pinza de soldadura por puntos manual—ARO. Retrieved June 25, 2020, from <https://www.directindustry.es/prod/aro/product-8013-39500.html>

P.K. Nag. (2008). Engineering Thermodynamics. Tata McGraw-Hill Education.

Possible mechanisms of muscle cramp from temporal and spatial surface EMG characteristics | Journal of Applied Physiology. (2000). Retrieved June 24, 2020, from <https://journals.physiology.org/doi/full/10.1152/jappl.2000.88.5.1698>

PubMed Central Full Text PDF. (2000). Retrieved June 24, 2020, from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1064196/pdf/jnnpsyc00244-0058.pdf>

¿Qué es un compresor? (2020). Retrieved May 15, 2020, from https://www.rozagrapisa.com/index.php?route=blog/post&post_id=130

R. Lostado Lorza, M. Corral Bobadilla, M. Illera Cueva, & P. Villanueva Roldan. (2013). Diseño de un Compresor de Lobulos para el Trasvase de Sustancias Peligrosas. Universidad de La Roja, Universidad Publica de Navarra.

Raster. (2020). Raster. Retrieved May 14, 2020, from <https://www.rastergr.com.br/>

Robot de pintura: KUKA ready2_spray. (2020). KUKA AG. Retrieved June 25, 2020, from https://www.kuka.com/es-es/productos-servicios/sistemas-de-robot/ready2_use/kuka-ready2_spray

Roteiro_teorico_marco_abril.pdf. (2014). Retrieved June 24, 2020, from https://www.unifac.edu.br/images/materiais_de_apoio/ed_fisica/marco_abril/roteiro_teorico_marco_abril.pdf

Sampieri Hernandez, R. Metodologia de la Investigacion: Vol. 6ta Edicion.

Shimn Y. Nof. Handbook of Industrial Robotics (Elecgrical and Electronic Engineering). John Wiley & Sons.

Sistema de Aire Comprimido. (2016). Retrieved May 15, 2020, from <https://infograph.venngage.com/p/116166/sistema-de-aire-comprimido>

Técnica Destacada || Productos || KOBELCO - KOBE STEEL, LTD. (2020). Retrieved June 25, 2020, from <https://www.kobelco-welding.jp/espanol/education-center/technical-highlight/vol08.html>

Elementos Terminales - PDF. (2020). Retrieved June 25, 2020, from <https://docplayer.es/73317640-Tema-4-elementos-terminales.html>

Tipos de compresores existentes y para qué sirven | MasFerretería. (2018, November 6). Mas Ferreteria. <https://www.masferreteria.com/blog/tipos-de-compresores-usos/>

Tudor Deaconescu, & Andrea Deaconescu. (2011). Pneumatic Muscle Actuated Gripper. International MultiConference of Engineers and Computer Scientists. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.373.2396&rep=rep1&type=pdf>

William D. Callister Jr. (2007). Ciencia e Ingenieria de los Materiales (Vol. 1). Editorial Reverte.

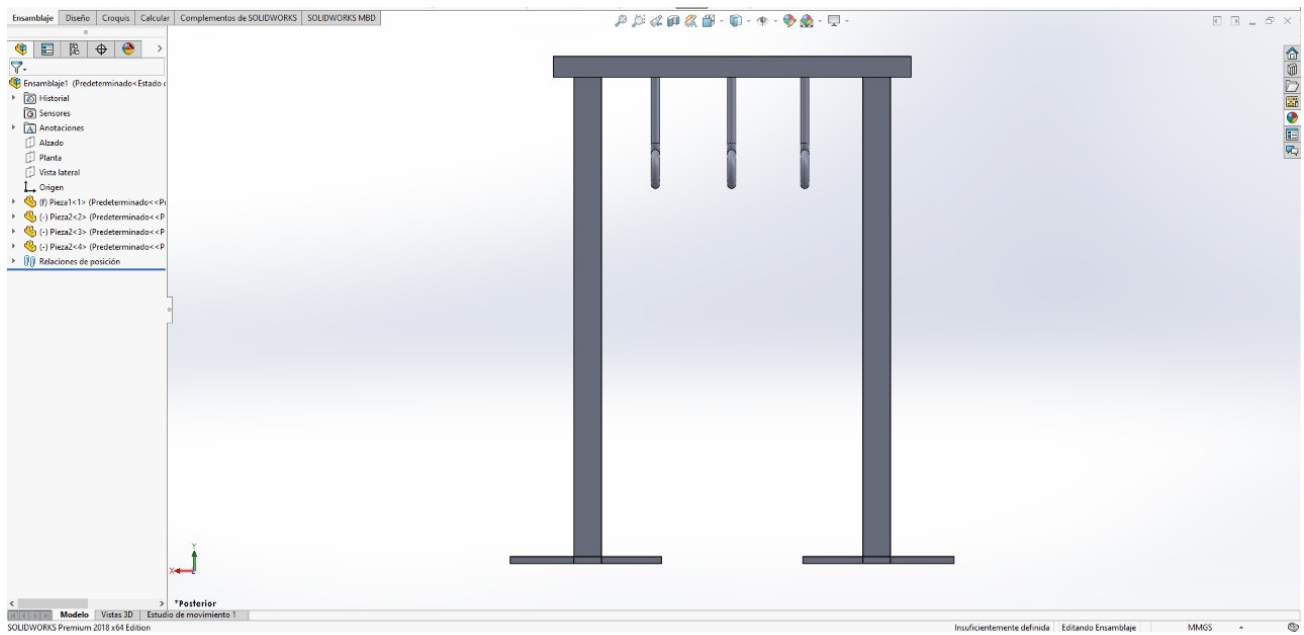
Y. Narváez, O. A. Vivas, & S. C. Enriquez. (2014). Diseño de un Dispositivo Neumático para Rehabilitación de Mano Mediante Funda Termotractil. Universidad del Cauca. http://www.ja2014.upv.es/wp-content/uploads/papers/paper_59.pdf

ANEXOS

ANEXO 1 – BANCO DE PRUEBAS DE HIERRO

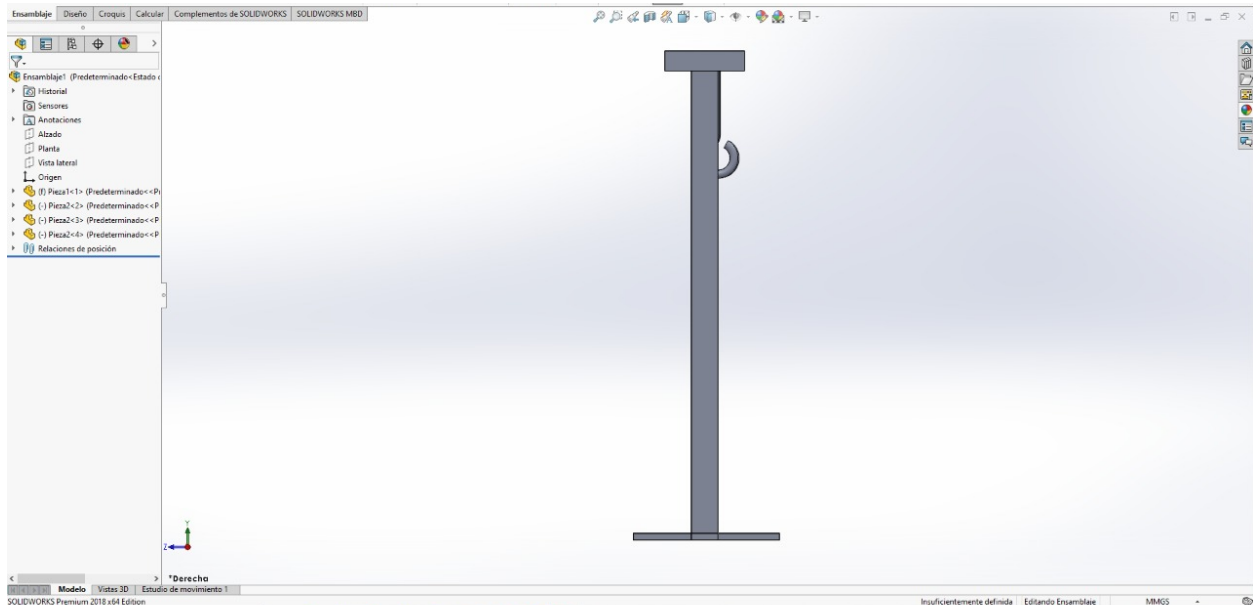
El siguiente banco se diseño con la finalidad de que se le instale el músculo neumático así facilitar el momento de realizar las pruebas descritas anteriormente.

En la siguiente imagen se observa de forma frontal el diseño del banco de hierro en el software CAD 3D llamado SolidWorks.



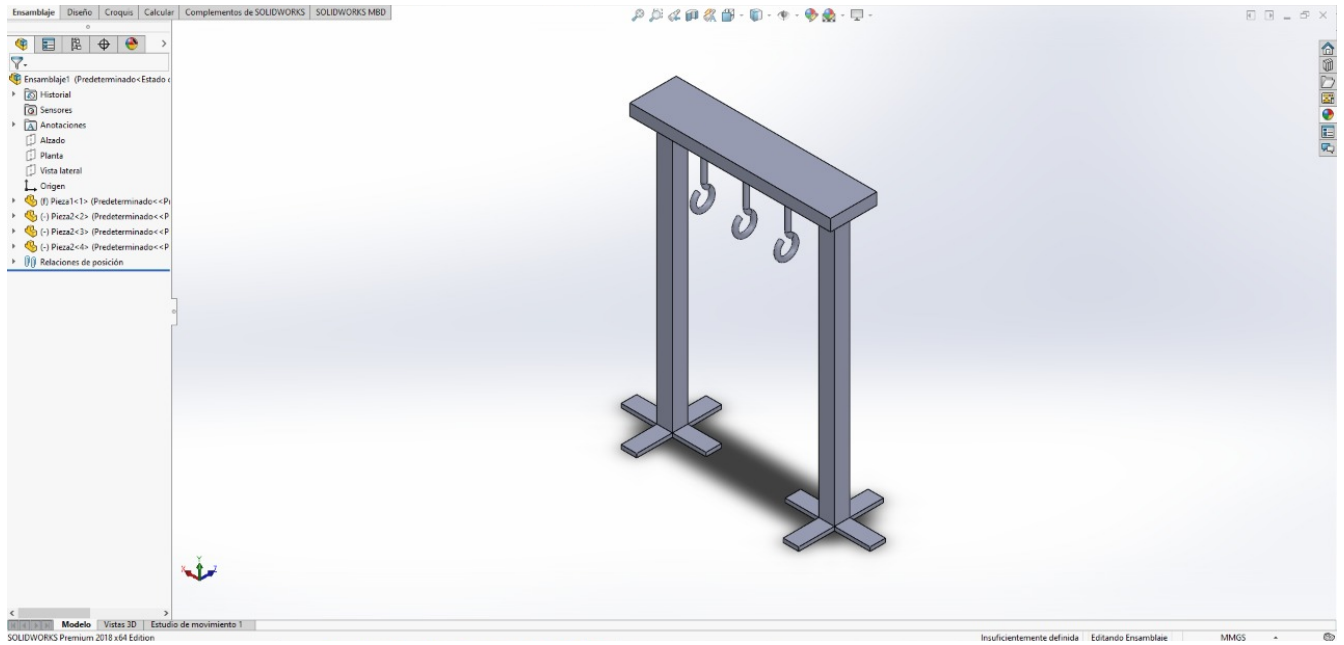
ANEXO 2 – BANCO DE PRUEBAS DE HIERRO

En la siguiente imagen se observa de forma lateral el diseño del banco de hierro en el software CAD 3D llamado SolidWorks.



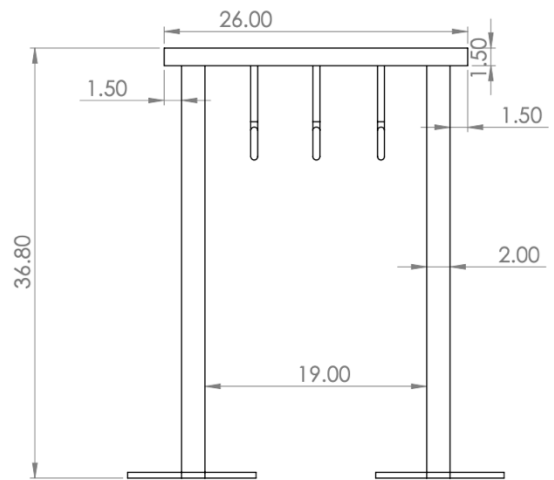
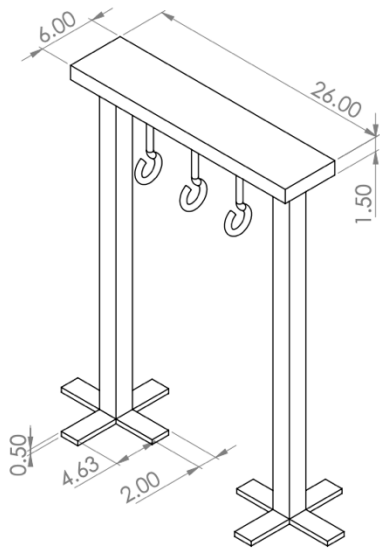
ANEXO 3 – BANCO DE PRUEBAS DE HIERRO

En la siguiente imagen se observa de forma superior el diseño del banco de hierro en el software CAD 3D llamado SolidWorks.



ANEXO 4 – BANCO DE PRUEBAS DE HIERRO

En la siguiente imagen se observan las medidas específicas utilizadas para elaborar el banco en el software CAD 3D llamado SolidWorks.



ANEXO 5 - GANCHO PARA LA SUJECION DE PIEZAS

En la siguiente imagen se muestra el gancho desarrollado para ser instalado en el músculo neumático y facilitar el sistema de sujeción del mismo.



ANEXO 6 - PROTOTIPO MÚSCULO NEUMÁTICO DE TRES MANGUERAS

Para hacer sobrepasar las expectativas del proyecto se trato de realizar un músculo neumático de tres mangueras. Se elaboraron los mismos bujes para el prototipo de una manguera, pero a una mayor escala, específicamente para los bujes que unían la malla expandible con el buje interno. Las boquillas donde se instalaron los conectores eran iguales, pero se utilizaron 3, uno para cada manguera. La malla que se utilizo era igualmente de fibra de vidrio, pero de mayor diámetro para que las tres mangueras tuvieran libertad con respecto a la movilidad

En la siguiente imagen se muestra la malla, los bujes y las mangueras utilizadas para elaborar el prototipo.



ANEXO 7 - PROTOTIPO MÚSCULO NEUMÁTICO DE TRES MANGUERAS

Una vez elaborados los materiales y determinadas las medidas de la malla y la manguera se prosiguió al ensamblaje de las piezas como se muestra en la imagen.



ANEXO 8 - PROTOTIPO MÚSCULO NEUMÁTICO DE TRES MANGUERAS

Posteriormente se comenzaron las pruebas de funcionamiento. Se probó individualmente cada manguera para ver si inflaban correctamente como se muestra en la imagen. Cabe destacar que las tres mangueras funcionaron adecuadamente cuando se probaron de forma individual.



ANEXO 9 - PROTOTIPO MÚSCULO NEUMÁTICO DE TRES MANGUERAS

Seguidamente se hizo la prueba de funcionamiento tratando de que las tres mangueras inflaran simultáneamente. Se inflaba una manguera correctamente y la siguiente inflaba menos de lo esperado pero la tercera no inflaba para nada, esto debido a la distribución de la presión. Al ver este problema se tuvo que utilizar un sistema de aire independiente para cada manguera, de no ser se seguiría repitiendo lo anterior. Esto tampoco funciono ya que si se aumentaba la presión una de las mangueras explotaba. En ningún momento se pudo efectuar el inflado de tres mangueras al mismo tiempo. En la siguiente imagen se muestran dos de las mangueras funcionando de manera simultanea.



ANEXO 10 - PROTOTIPO MÚSCULO NEUMÁTICO DE TRES MANGUERAS

En la siguiente imagen se observa el músculo neumático instalado en el banco de pruebas de hierro.

