

CAPITULO II
MARCO TEORICO

CAPITULO II

MARCO TEORICO

Basándose en los pilares o guías fundamentados y analizados en el capítulo anterior, se obtiene este capítulo denominado marco teórico, el cual está dedicado a la fundamentación teórica, tanto de las variables de la investigación como de todos los conocimientos que la avalan, lleno de información actualizada y aprobada, sirviendo así de testimonio y guía para futuras investigaciones. Dentro de éste capítulo se plantean todos los principios teóricos analizados con el fin de poder avanzar en el desarrollo de la misma, presentados de la siguiente manera.

1. TEORIZACION DE LAS VARIABLES

A continuación se definirá cada uno de los elementos que surgieron luego del desarrollo del capítulo anterior para cada uno de los objetivos anteriormente nombrados.

1.1. ANTECEDENTES

Toda investigación toma como referencia estudios previos, en este sentido se presenta el trabajo realizado por Romero (2001), titulado: **Desarrollo de una mano robótica universal utilizando Nitinol**, realizado en la Universidad Doctor Rafael Bellosillo Chacín, cuya finalidad fue el desarrollo de una mano robótica utilizando Nitinol, para establecer el

posicionamiento de sus articulaciones en un punto determinado sin el uso de motores o cualquier otro dispositivo de locomoción de mayores dimensiones.

Se considera esta investigación de tipo aplicada por explorar e integrar varias ramas de la ciencia, como lo son; la anatomía y la robótica, en pro de beneficios comunes que mejoren la calidad de vida, además de ser descriptiva por sus objetivos intrínsecos, ya que describe los elementos fundamentales del manejo del Nitinol, la robótica, los microcontroladores, y el lenguaje de programación Visual Basic.

Para el desarrollo de una mano robótica universal utilizando Nitinol se utilizó la metodología propuesta por Angulo (1984) que consta de 9 fases: Definición de las especificaciones, Esquema general del hardware, Ordinograma general, Adaptación entre el hardware y el software, Ordinograma Modulares y codificación de programas, Implementación del Hardware, Depuración del software, Integración del hardware con el software y construcción del prototipo definitivo y pruebas finales.

Para este estudio se utilizaron diferentes medios de recolección de datos, entre los cuales se pueden mencionar publicaciones referentes al Nitinol, los microcontroladores y la anatomía humana, además de medios como Internet y la experiencia en el laboratorio. Para el desarrollo del sistema se utilizó como herramientas: Microcontroladores PIC y se aplicó un lenguaje de programación llamado Visual Basic.

Como resultado de esta investigación se puede concluir que la mano robótica desarrollada aporta valiosos conocimientos relacionados con la biomecánica del cuerpo humano, además de lograr la posibilidad de mejorar las prótesis médicas contribuyendo con la sociedad y abriéndole caminos a otros desarrollos robóticos que puedan efectuar todos los movimientos de una pinza universal al igual que la naturaleza lo ha logrado.

Finalmente el antecedente analizado se relaciona estrechamente con la investigación en curso, en que comprende la finalidad de automatizar una mano robótica antropomórfica para que simule el movimiento de una mano real con una gama muy amplia de aplicaciones.

Por otro lado, se tomaron los aportes de García (2004), en su proyecto de investigación titulado: **Desarrollo de una Prótesis Robótica para Personas Impedidas de Antebrazo utilizando Nitinol**, que está conectado a un circuito que permite captar las señales eléctricas que vienen de los músculos del antebrazo. Para la teorización de las variables se utilizaron los aportes de los autores Rentería (2000), Angulo (2000) entre otros. La investigación se calificó como: aplicada, documental y descriptiva basándose en lo expuesto por Chávez (1994) y Sabino (1995).

Se utilizó la metodología planteada por Angulo (1986) que consta de 9 fases. Para este estudio se utilizaron diferentes medios de recolección de datos, entre los cuales se pueden mencionar; publicaciones referentes al Nitinol, software Mplab, los microcontroladores y la anatomía humana,

además de medios como internet y la experiencia en el laboratorio. Como instrumento se utilizaron, guías de entrevistas, cuestionarios, guías de observación entre otros. Y para el desarrollo del sistema se utilizó como herramientas: microcontroladores PIC y se aplicó en lenguaje de visual Basic.

Como resultado de esta investigación se puede concluir que una prótesis robótica es capaz de realizar movimientos básicos dirigidos a través de impulsos eléctricos proporcionados por los músculos humanos. Finalmente se tiene que esta investigación plantea un vínculo muy estrecho en comparación a la investigación en curso, ya que se plantean metas que abarcan el diseño de una mano robótica para fines protésicos y que poseen sistemas actuadores muy eficientes y actualizados.

En este sentido también se presenta el trabajo realizado por Pérez (2003), titulado: **Sistema de control para manipular a distancia un brazo robot**, realizado en la Universidad Doctor Rafael Bellosó Chacín. Cuya finalidad fue el desarrollo de un sistema control para manipular a distancia un brazo robot. Para la teorización de las variables se utilizaron los aportes de los autores Ogata (1996), González (1988), Groover (1989) y Cornell (1996).

La investigación se calificó como: aplicada, documental y descriptiva basándose en lo expuesto por Chávez (1994) y Sabino (1995), para el diseño de un sistema control para manipular a distancia un brazo robot se utilizó la metodología propuesta por Angulo (1986) que consta de 9 fases: Definición

de las especificaciones, Esquema general del hardware, Ordinograma general, Adaptación entre el hardware y el software, Ordinograma Modulares y codificación de programas, Implementación del Hardware, Depuración del software, Integración del hardware con el software y Construcción del prototipo definitivo y pruebas finales.

Como técnicas de recolección de datos se utilizaron diferentes medios de recolección de datos, entre los cuales se pueden mencionar publicaciones referentes al Nitinol, software MPLAB, los microcontroladores y la anatomía humana, además de medios como Internet y la experiencia en el laboratorio.

Y como instrumento utilizaron, guías de entrevistas, cuestionarios, guías de observación entre otros. Para el desarrollo del sistema se utilizó como herramientas: Visual Basic 6.0, para la parte del microcontrolador se utilizó MPLAB. Como resultado de esta investigación se puede concluir que un brazo robot construido por un conjunto de dispositivos adaptados, pueden ser direccionado a través de Internet por medio de un programa en donde se transmite datos que posteriormente son recibidos por una interfaz electrónica y enviados al manipulador partiendo de la acción de un operador. Esto permite concluir entonces que es posible emplear la tele manipulación en la robótica.

Luego de lo expuesto anteriormente, se puede decir que dicha investigación también mantiene un lazo que la vincula a la investigación en curso, ya que se implementan métodos de control de manipulación de

autómatas junto con amplios conocimientos en el área de la robótica para así controlar los movimientos de un elemento fundamental en la automatización como lo es un brazo robótico.

2. BASES TEORICAS

En el siguiente segmento se desarrolla cada uno de los elementos, que inciden en la estructura de la investigación y fundamenta cada uno de los elementos existente.

1. ORIGENES DEL ROBOT

Según Angulo (1986, p. 11), es una fantasía que se encuentra, bajo diversas formas, en todos las épocas, consiste en poseer una máquina capaz de reproducir movimientos y, hasta cierto punto, el comportamiento, de los seres humanos o de los animales.

Sin entrar en un estudio psicológico, parece correcto pensar que en el fondo, se esconde una vieja aspiración del género humano: la de verse liberado de tareas no deseadas, por tediosa o peligrosas, mediante la utilización de siervos o esclavos privados de libertad propia. Esta idea de “máquina-siervo” esta, precisamente, en consonancia con el nombre que, en la actualidad, reciben: “robot”, palabra derivada del checo (robotnik: siervo) utilizada inicialmente, por el escritor Karel Capek en 1923, en su obra teatral R.U.R. (“Rossum’s Universal Robots”).

1.1. ESTADO ACTUAL DE LA ROBOTICA

Según Angulo (1986, p.15) puede decirse que el antecedente directo de los modernos robots, se encuentra en los manipuladores mecánicos con el control manual remoto. Estos mecanismos aparecieron hace más ya de treinta años, a raíz de manipular materiales radiactivos sin peligro para el operador. En los EEUU el laboratorio Nacional Argonne tuvo a su cargo este trabajo, existiendo ya desde 1950, sistemas electromecánicos con retroalimentación.

Es este tipo de manipuladores se ha denominado, anteriormente, amo-esclavo, siendo muy utilizado en centrales nucleares y laboratorios, en los submarinos oceanográficos que operan a grandes profundidades, así como las versiones modificadas de los manipuladores amo-esclavos que se utilizan en la naves espaciales.

No obstante el hecho de requerir de un operador humano hace que estos sistemas no pueden considerarse como robots, resultando prácticamente inútiles en una fábrica automatizada. Un robot industrial es un manipulador multifuncional reprogramable diseñado para desplazar materiales, piezas, herramientas o dispositivos especiales mediante movimientos programados variables para la ejecución de una diversidad de tareas.

2. EFECTORES FINALES ROBOTICOS

Según Groover (2008, p. 223) en robótica, el término de efector final se utiliza para describir la mano o herramienta que está unida a la muñeca. El efector final representa el herramental especial que permite al robot de uso general realizar una aplicación particular. Esta herramental especial debe diseñarse específicamente para la aplicación.

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

2.1. HERRAMIENTAS

Según Groover (2008, p. 223) una herramienta se utilizaría como efector final en aplicaciones en donde se exija al robot realizar alguna operación en la pieza de trabajo. Estas aplicaciones incluyen la soldadura por puntos, la soldadura por arco, a la pintura por pulverización y las operaciones de taladro. En cada caso, la herramienta particular está unida a la muñeca del robot para realizar la operación. Se puede establecer una clasificación de los elementos terminales atendiendo así si se trata de un elemento de sujeción o de una herramienta. Los primeros se pueden clasificar según el sistema de sujeción empleado.

2.1.1. PINZAS

Según Groover (2008, p. 223) las pinzas son efectores finales de control usados para tomar y manipular objetos durante un ciclo de trabajo. El objeto

usualmente debe ser movido de una locación a otra, este puede tener variar ya sea en tamaño, peso, longitud y demás características que el mismo posea. Existe una gran variedad de de pinzas en la industria en las que se nombran.

2.1.2. PINZAS MECANICAS

Según Groover (2008, p. 223) son elementos mecánicos que poseen dos o más articulaciones y que pueden ser actuados por medio de controles para abrir o cerrar en el área de trabajo.

2.1.3. PINZAS DE VENTOSAS

Según Groover (1989, p. 142) las ventosas, también denominadas casquetes de vacío, pueden utilizarse como dispositivos de pinza para manipular algunas clases de objetos. Los requisitos habituales exigidos a los objetos a manipular son que sean planos, suaves, y limpios, que son las condiciones necesarias para formar un vacío satisfactorio entre el objeto y la ventosa.

Las ventosas utilizadas en este tipo de pinzas de robot suelen ser de material elástico, tal como caucho o plástico blando. Una excepción sería cuando el objeto a manipular esté constituido por un material blando. En este caso, la ventosa sería de una sustancia dura.

La forma de la ventosa, es normalmente redonda. Se requiere algún medio de extracción del aire entre la ventosa y la superficie de la pieza para crear el vacío. La bomba de vacío y el tubo de Venturi son dos dispositivos comunes utilizados para este propósito. La bomba de vacío es un dispositivo accionado por un pistón o impulsado por paletas, cuya potencia es suministrada por un motor eléctrico. Es capaz de crear un vacío relativamente alto. El tubo Venturi es un dispositivo más simple, y puede impulsarse por medio de la presión del aire del taller.

Su coste inicial es menos que el de una bomba de vacío y es relativamente viable debido a su sencillez. Sin embargo, la fiabilidad total del sistema de vacío depende de la fuente de presión del aire. La capacidad de elevación de la ventosa depende del área efectiva del casquete y de la presión de aire negativa entre el casquete y el objeto.

Según Groover (2008, p. 223) es utilizado para tomar objetos planos por medio de succión.

2.1.4. PINZAS MAGNETICAS

Según Groover (1989, p. 144) las pinzas magnéticas pueden ser un medio muy factible de manipular materiales ferrosos. La placa de acero inoxidable no sería una aplicación adecuada para una pinza magnética, porque el acero inoxidable 18-8 no es atraído por un imán, sin embargo, otros aceros, incluyendo algunos tipos de acero inoxidable, serían candidatos adecuados

para este medio de manipulación, sobre todo cuando los materiales se manipulen en forma de chapa o placa.

Por lo general, las pinzas magnéticas ofrecen las siguientes ventajas en aplicaciones de manipulación robótica:

- Los tiempos de captación son muy pequeños.
- Pueden tolerarse variaciones en el tamaño de la pieza. La pinza no tiene que diseñarse para una pieza de trabajo particular.
- Tiene la capacidad para manipular piezas mecánicas con agujeros (lo que no es posible con las pinzas de vacío).
- Sólo requieren una superficie para agarre.

2.1.5. PINZAS ADHESIVAS

Según Groover (1989, p. 145) son diseños de pinzas en los que una sustancia adhesiva realiza la acción de agarre, puede utilizarse para manipular tejidos y otros materiales livianos. Los requisitos para los elementos a manipular son que deben agarrarse por un lado solamente y no son adecuadas otras formas de agarre.

Según Groover (2008, p. 223) Usan una sustancia adhesiva para la toma de materiales flexibles tales como telas.

2.1.6. GANCHOS, CUCHARAS Y OTROS DISPOSITIVOS DIVERSOS

Según Groover (1989, p. 144) una diversidad de otros dispositivos puede utilizarse para agarrar piezas o materiales en las aplicaciones robóticas. Los ganchos pueden emplearse como efectores finales para manipular contenedores de piezas y para cargar y descargar piezas que cuelguen de transportadores aéreos. Evidentemente los elementos a manipular por un gancho deben tener alguna especie de asidero para permitir la acción del gancho.

Las cucharas y los calderos pueden utilizarse para manipular algunos materiales en forma de polvo o líquidos. Los productos químicos en forma de polvo o líquido, materiales alimenticios, sustancias granulares y metales fundidos son ejemplos de materiales que pueden manipularse por un robot que utilice este método de sujeción. Una de sus limitaciones es que la cantidad de material recogido por el robot es, a veces difícil de controlar. El derrame durante el ciclo de manipulación es también un problema.

Otros tipos de pinzas incluyen dispositivos hinchables, en los que la vejiga o diafragma hinchable se expande para agarrar el objeto. La vejiga hinchable es de caucho u otro material elástico, lo que le hace adecuada para agarrar objetos frágiles. La pinza aplica una presión de agarre uniforme contra la superficie del objeto en lugar de una fuerza concentrada típica de una pinza mecánica.

3. MANO ANTROPOMORFICA

Debido a la poca información sobre el tema, se realizará primeramente la definición de cada uno de los términos para luego generar una definición complementaria de la misma.

3.1. DEFINICION DE MANO

Según Alonso (2001, p. 112), Mano del latín "manus" -u, es la zona más distal del miembro superior y comprende el carpo, el metacarpo y los dedos, estructuras que se unen entre sí por un conjunto de 33 articulaciones. La mano es un órgano de presión, y como tal, el símbolo de la fuerza y del poder, y el instrumento de la lucha y el trabajo. Así mismo, la mano, con el resto del miembro superior, es verdadero órgano de los sentidos, puesto que al ser capaz de describir grandes círculos, tocando todos los objetos que se encuentran en su trayecto puede orientarnos incluso en la más absoluta oscuridad.

3.1.2. DEFINICION DE ANTROPOMORFISMO

Según la real academia española (2005) es la tendencia a atribuir rasgos y cualidades humanas a la cosas.

3.1.3. DEFINICION MANO ANTROPOMORFICA

Mediante las definiciones anteriormente descritas, que conforma la enunciación de mano antropomórfica como un elemento que se le atribuye

el rasgo de la zona más distal del miembro superior y simula comprender el carpo, el metacarpo y los dedos, estructuras que se unen entre sí por un conjunto de articulaciones. Con características de presión, puesto que al ser capaz de realizar movimientos con gran similitud a la de una mano humana.

4. OSTEOLOGIA DE LA MANO (HUESOS DE LA MANO)

Según Martin (1989, p. 287) el esqueleto de la mano está formado por tres grupos de huesos: carpo, metacarpo y falanges. Como se muestra en la figura 1. Cada mano posee 27 huesos, 8 en el carpo, 5 metacarpianos y un total de 14 falanges.

4.1. GRUPO CARPO

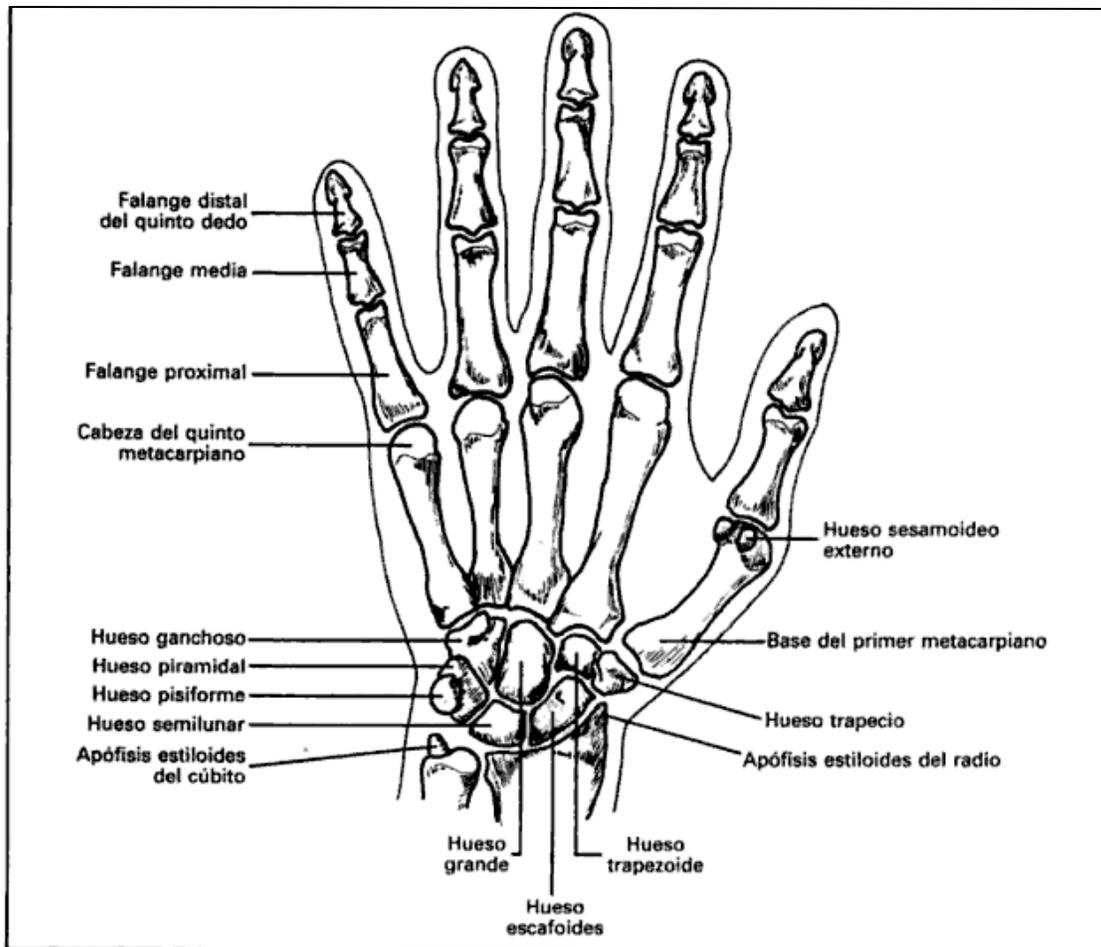
Según Martin (1989, p. 288), está constituido por ocho huesos cortos agrupados en dos hileras. La hilera proximal está formada, de lateral a medial, por cuatro piezas óseas, cuyos nombres atienden a su forma: escafoides, semilunar, piramidal y pisiforme. Los tres primeros forman el cóndilo carpiano, que se articula con el radio. También se articulan entre sí con los huesos de la segunda fila de carpo. El pisiforme sólo se articula con el piramidal.

La hilera distal esta domada por otros cuatro huesos, que ordenados también de sentido radial a cubital, son: trapecio, trapezoide, grande y ganchoso. El nombre de los dos primeros hace también referencia a su

forma; el hueso grande es el más voluminoso, como indica su nombre, y el ganchoso recibe esta denominación por presentar en su cara anterior (palmar) una apófisis uniforme o gancho. También estos huesos se articulan entre sí y, en conjunto, con la fila proximal. Además tienen que recibir a los huesos metacarpianos. Existen, por tanto, varias cerillas articulares en cada uno de ellos.

Los huesos del carpo no están situados todos en el mismo plano, sino que forman en conjunto una superficie en forma de canal abierto hacia adelante. Este canal es transformado en un conducto osteofibroso por el ligamento anular del carpo. Y el espacio que queda así configurado recibe el nombre de túnel carpiano.

Figura 1. Esqueleto de la mano



Fuente: Jurgen Weineck (2004)

Al tener tantas superficies articulares, revestidas de cartílago, existe poco espacio para el paso de vasos noticiosos, por lo que las fracturas de los huesos del carpo tardan más tiempo en consolidar.

El escafoides es el hueso del carpo que se fractura con mayor frecuencia: en las caídas sobre la palma de la mano la estiloides radial puede chocar contra el escafoides.

Otra lesión frecuente de los huesos del carpo es la luxación del semilunar, hueso con pocas sujeciones ligamentarias y que constituye la clave del arco carpiano. Cuando esto sucede, pueden ser comprimidos los elementos que atraviesan el túnel del carpo en especial el nervio mediano.

4.2. METACARPO

Formado por 5 huesos que constituyen el esqueleto de la palma de la mano, partiendo divergentes desde el carpo. Se ordenan de primero a quinto, comenzando por el situado más radialmente, que se corresponde con el primer dedo o pulgar. Todos ellos tienen la morfología de un hueso largo con una epífisis proximal, irregular y con carillas articulares planas para la segunda fila del carpo, una diáfisis casi cilíndrica y una epífisis distal o cabeza, que servirá de articulación al esqueleto de cada uno de los dedos.

4.3. FALANGES

Se denominan así los huesos de los dedos. Hay dos falanges (proximal y distal) en el dedo pulgar y tres en los restantes (falanges proximal, media y distal). La morfología de los extremos óseos de las falanges está en función del tipo de articulación que construyen. Así, cada una de las falanges

proximales, al tener que articularse con la cabeza de su correspondiente metacarpiano, mostrará una pequeña superficie glenoidea. El extremo distal se articula con la siguiente falange y por ello presenta una superficie en forma de polea.

Las segundas falanges, algo más cortas, adaptan su forma a las trócleas que configuran en sus dos extremos. Las falanges distales, aún más minúsculas. Tienen como característica más llamativa la tuberosidad que muestra su extremo libre y que remata como un panacho óseo el esqueleto del miembro superior

5. ARTICULACIONES DE LA MANO

Según Weineck (2004, p. 149) la funciones de las articulaciones de la mano deberá verse también bajo su aspecto superior de sistemas de agarre, tacto y expresión, tal y como ocurre con la articulación del codo y el hombro. Los movimientos que se realizan con las muñecas y que son independientes de los dedos constituyen una medida para mejorar la capacidad de trabajo de la mano.

5.1. ARTICULACION PROXIMAL Y DISTAL DE LA MANO

Según Weineck (2004, p. 149) se distingue entre la articulación proximal y una distal de la mano. La articulación proximal de la mano llamada radiocarpiana (art. Radiocarpea) es una articulación condílea biaxial, la cual,

por una parte, hace posible una flexión palmar y una extensión dorsal y por otra parte una abducción radial y cubital. Está formada por el radio, el escafoides semilunar y la 1ª y 2ª fila del carpo de una superficie articular en forma de S. Funcionalmente, las dos articulaciones de la mano trabajan en conjunto, desarrollándose la flexión palmar más en la articulación radiocarpiana y la extensión dorsal más en la mediocarpiana. En los movimientos de abducción, los movimientos basculantes de empuje de los huesos de la muñeca hacen posible movimientos cubitales de hasta 40° y radiales de hasta 15°.

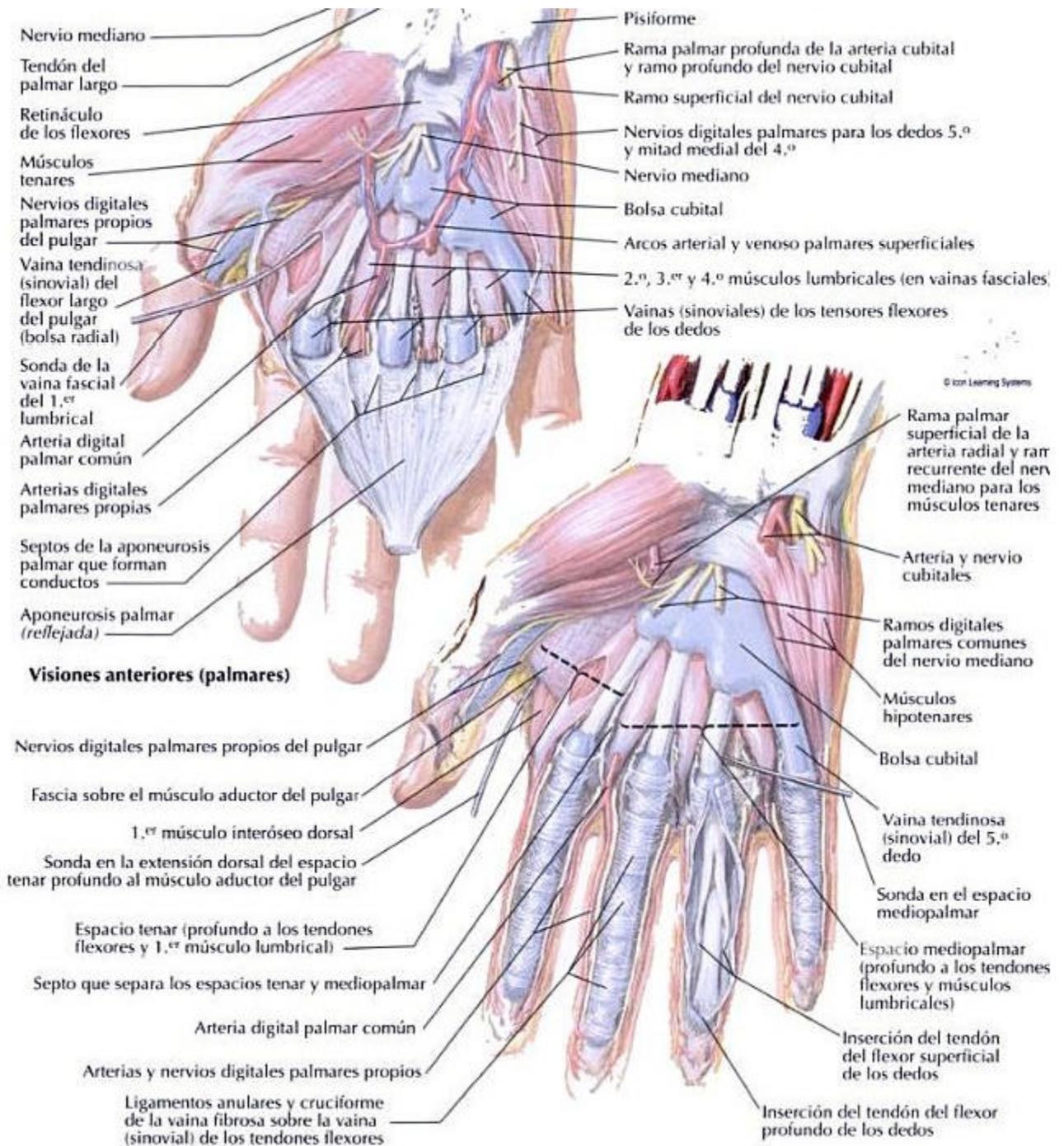
5.2. ARTICULACIONES DE LOS DEDOS

Según Weineck (2004, p. 154), los dedos cuentan con una articulación de base, media y final. Las articulaciones medias y finales son trócleas. La articulación proximal anatómicamente es una articulación esférica, pero por medio de los fuertes ligamentos laterales se convierte funcionalmente en una articulación con dos grados de libertad: hace posible movimientos de flexión y extensión, así como también de aducción y abducción.

La estructura especial de las articulaciones bases de los dedos es importante para la función de agarre de la mano: están formados de tal manera que al flexionarse aumenta su estabilidad y al estirarse esta disminuye notablemente. Este tipo de mecanismo es la condición previa para que la mano pueda sujetar con fuerza. Ello se consigue por medio de los

fuerres ligamentos laterales, que al modificarse el radio del eje de rotación se tensan en la flexión y la relajan en la extensión (Figura 3).

Figura 2. Articulaciones y músculos de la mano

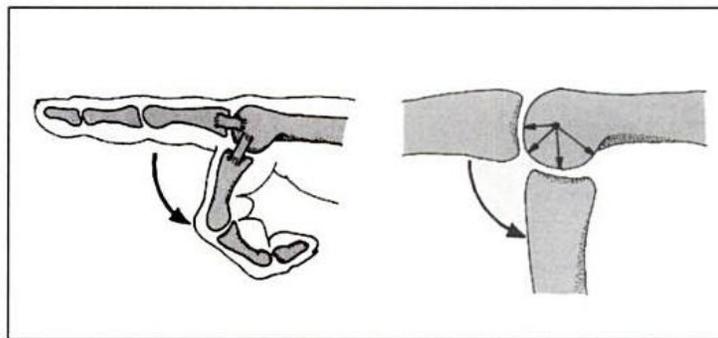


Fuente: Jurgen Weineck (2004)

6. MUSCULOS DE LA MANO

Según Weineck (2004, p. 155), son los músculos que actúan sobre las articulaciones de la mano. Los músculos de la articulación de la mano- flexores y extensores cubitales y radiales de la articulación de la mano (músculos flexores et extensores carpí ulnaris et radialis)- no se insertan, tal y como indica su nombre, en el ámbito de la muñeca –la unión funcional lábil de los huesos de la muñeca no permitiría la inserción de músculos-, sino en la región del metacarpo.

Figura 3. Estructura de las articulaciones proximales de los dedos y funciones de los ligamentos laterales. En la flexión se tensan los ligamentos, ya que la distancia del cuerpo articular distal del eje rotación aumenta (según Rohen, 1979)



Fuente: Jurgen Weineck (2004)

6.1. FLEXORES DE LA MUÑECA

A continuación se dará la explicación de los músculos que actúan en el movimiento de la muñeca.

6.1.1. MUSCULO CUBITAL ANTERIOR

Según Weineck (2004, p. 150) se describen de la siguiente manera:

- Origen: la porción humeral en la epitroclea, y la porción cubital en el olecranon.
- Inseccion: base del 5º metacarpiano (dedo meñique) en el hueso ganchoso.
- Inervación: nervio cubital.
- Función: conjuntamente con el músculo cubital posterior hace posible la abducción cubital, junto con los otros flexores de la flexión palmar. Por su origen en el brazo también contribuye a la flexión del codo.

6.2 MUSCULOS DE LOS DEDOS

Según Weineck (2004, p. 154) del mismo modo que el pulgar, los dedos también cuentan con músculos propios. Mientras que la flexión de las articulaciones proximales, medias y distales se produce gracia a un flexor propio lo cual hace posible el trabajo diferenciado de los dedos-, la extensión

se lleva a cabo a través de una aponeurosis dorsal común, en la cual entran los extensores.

Para evitar que la mano realice movimientos groseros y se limite su función de agarre, el grueso de los músculos de los dedos se ha trasladado de la mano al antebrazo.

7. DEFINICION DE CONTROL

Según Angulo (1989), el sistema de control debe “controlar el movimiento del mecanismo producido por la variación en el tiempo de los grados de libertad (generalmente seis). Ahora bien, es preciso tener en cuenta que este problema es, de hecho, muy complejo, debido a que las propiedades cinemáticas y dinámicas del robot varían con la posición y la ecuación resultante son fuertemente no lineales, lo que dificulta extraordinariamente su resolución rápida y con una precisión suficiente”.

7.1. TIPOS DE CONTROL

A continuación se dará la explicación de los distintos tipos de control propuestos por el autor.

7.1.1. LAZO ABIERTO

Según Ogata (2003, p. 7), los sistemas en los cuales la salida no tiene efecto sobre la acción de control se denominan sistemas de control en lazo

abierto, en otras palabras en un sistema de control en lazo abierto no se mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada.

7.1.2. LAZO CERRADO

Según Ogata (2003, p. 6), los sistemas de control realimentados se denominan también sistemas de control en lazo cerrado. En un sistema de control a lazo cerrado se alimenta al controlador la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de retroalimentación con el fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor deseado.

8. ENTONAMIENTO DE LOS LAZOS DE CONTROL

Según Ogata (1995, p. 669) se describen de la siguiente forma.

8.1. SINTONIZACION PARA CONTROLADORES PID

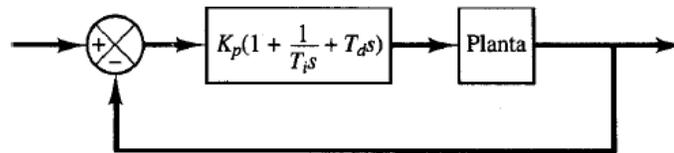
Debido a que casi todos los controladores PID se ajustan en el sitio, en la literatura se han propuesto muchos tipos diferentes de reglas de sintonización, que permite llevar a cabo una sintonización delicada y fina de los controladores PID en el sitio. Asimismo, se han desarrollado métodos automáticos de sintonización y algunos de los controladores PID poseen capacidad de sintonización automática en la línea.

8.1.1. REGLAS DE SINTONIZACIÓN PARA CONTROLADORES PID

Control PID de plantas. La figura 4 muestra el control PID de una planta. Si se puede obtener un modelo matemático de la planta, es posible que se cumpla las especificaciones en estado transitorio y en estado estable del sistema en lazo cerrado. Sin embargo si la planta es tan complicada que no es fácil obtener su modelo matemático, tampoco es posible un enfoque analítico para el diseño de un controlador PID. En este caso, se recurre a los enfoques experimentales para la sintonización de los controladores PID.

El proceso de selección de los parámetros del controlador que cumplan con las especificaciones de desempeño se conoce como sintonización del controlador. Ziegler y Nichols sugirieron más reglas para sintonizar los controladores PID (los cuales significan establecer valores K_p , T_i , y T_d) con base en las respuestas escalón experimentales o basadas en el valor de K_p que se produce en la estabilidad marginal cuando sólo se usa la acción de control proporcional. Las reglas de Ziegler-Nichols, que se presentan a continuación, son muy convenientes cuando no se conocen los modelos matemáticos de las plantas (por supuesto, estas reglas se aplican al diseño de sistemas con modelos matemáticos conocidos.)

Figura 4. Control PID de una planta



Fuente: Ogata (1995)

8.1.1.1. REGLAS DE ZIEGLER- NICHOLS PARA SINTONIZAR CONTROLADORES PID.

Ziegler y Nichols propusieron unas reglas para determinar los valores de ganancia proporcional K_p , del tiempo integral T_i , y el tiempo derivativo T_d , con base a las características de respuesta transitoria de una planta específica. Tal determinación de los parámetros de los controladores PID o de la sintonización de los controles PID la realizan los ingenieros en el sitio mediante experimentos sobre la planta, (se han propuestos numerosas reglas de sintonización para los controladores PID desde la propuesta de Ziegler-Nichols se les encuentra en la literatura. Sin embargo solo se presentan las reglas de sintonización de Ziegler-Nichols.)

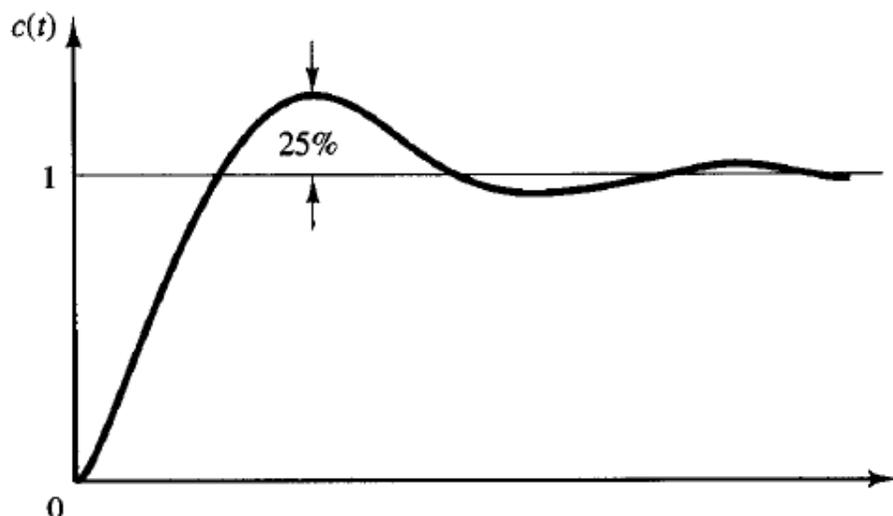
Existen dos métodos denominados regla de sintonización de Ziegler-Nichols. En ambos se pretende obtener en 25% de sobrepaso máximo en la respuesta escalón (véase la figura 5).

PRIMER METODO

En el primer método, la respuesta de la planta a una entrada escalón unitario se obtiene de manera experimental, como se observa en la figura 6. Si la planta no contiene integradores ni polos dominantes complejos conjugados, la curva de respuesta escalón unitario puede tener forma de S, como se observa en la figura 7, (si la respuesta escalón se genera experimentalmente o a partir de una simulación dinámica de la planta).

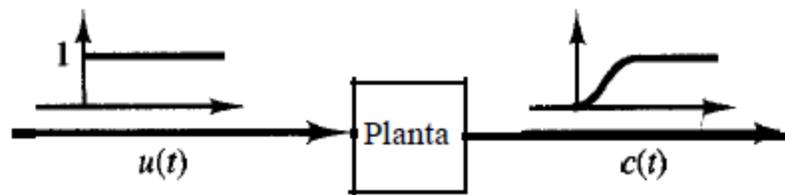
La curva con forma de S se caracteriza por dos parámetros: el tiempo de retardo L y la constante de tiempo T . El tiempo de retardo y la constante de tiempo se determinan dibujando una recta tangente en el punto de inflexión de la curva con forma de S y determinando las intersecciones de esta tangente con el eje del tiempo y la línea $C(t) = K$, como se aprecia en la figura 7. En este caso, la función de transferencia $C(s)/U(s)$ se aproxima mediante un sistema de primer orden con un retardo de transporte del modo siguiente:

Figura 5. Curva de respuesta escalón unitario que muestra un sobrepaso máximo de 25%



Fuente: Ogata (1995)

Figura 6. Respuesta escalón unitaria en una planta

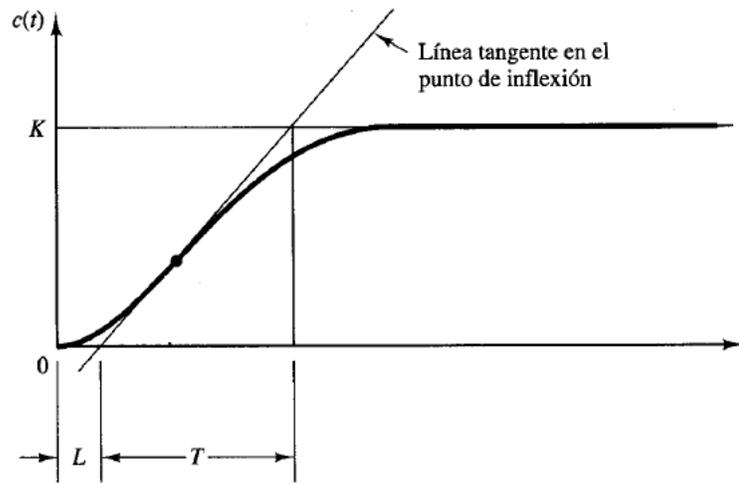


Fuente: Ogata (1995)

$$\frac{???}{???} ? \frac{????}{????}$$

(1)

Figura 7. Curva de respuesta con forma de S.



Fuente: Ogata (1995)

Ziegler y Nichols sugirieron establecer los valores de K_p , T_i y T_d de acuerdo con la fórmula que aparece en la tabla 1. Observe que el controlador PID sintonizado mediante el primer método de las reglas de Ziegler-Nichols produce:

$$K_p = \frac{1.25 K}{T} \quad (2)$$

$$T_i = 2.5 T \quad (3)$$

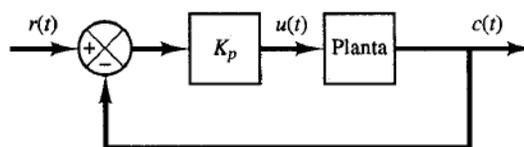
$$T_d = \frac{0.5 T}{K} \quad (4)$$

Tabla 1 Regla de sintonización de Ziegler-Nichols basada en la respuesta escalón de la planta (primer método)

Tipo de controlador	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{?}{?}$	8	0
PI	$?\frac{?}{?}$	$\frac{?}{?}$	0
PID	$?\frac{?}{?}$	2L	0,5L

Por tanto, el controlador PID tiene un polo en el origen y un cero doble en $s = -1/L$.

Figura 8. Sistema en lazo cerrado con controlador proporcional



Fuente: Ogata (1995)

SEGUNDO METODO

En el segundo método, primero se establece $T_i = \infty$ y $T_d = 0$. Usando sólo la acción de control proporcional (véase la figura 8), incremente K_p de 0 a un valor crítico $K_{p,c}$, en donde la salida exhiba primero oscilaciones

sostenidas, (si la salida no presenta oscilaciones sostenidas para cualquier valor que pueda tomar K_p , no se aplica este método.) Por tanto, la ganancia crítica K_{pc} y el periodo P_c correspondiente se determinan experimentalmente (véase la figura 9). Ziegler-Nichols sugirieron que se establecieran los valores de los parámetros K_p , T_i y T_d de acuerdo con la fórmula que aparece en la tabla 2.

Tabla 2 Regla de sintonización de Ziegler-Nichols basada en la ganancia crítica K_{pc} y en el periodo crítico P_c (segundo método)

Tipo de controlador	K_p	T_i	T_d
P	$0.5K_{pc}$	8	0
PI	$0.45K_{pc}$	$\frac{P_c}{1.2}$	0
PID	$0.6K_{pc}$	$P_c/2$	$0.075P_c$

Observe que el controlador PID sintonizado mediante el segundo método de las reglas de Ziegler-Nichols produce

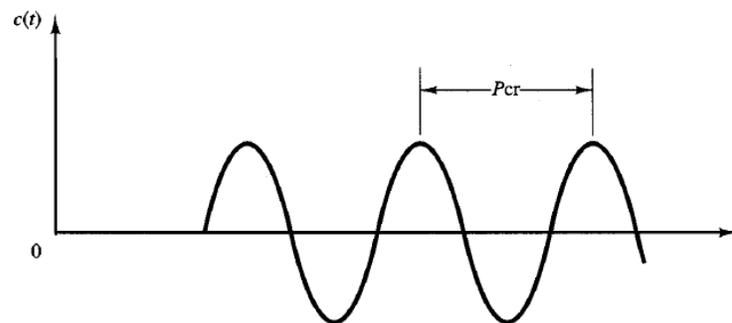
$$G_c(s) = K_p \left(1 + \frac{T_d s^2}{2} \right) \quad (4)$$

$$G_c(s) = K_p \left(1 + \frac{T_d s^2}{2} + \frac{T_i}{s} \right) \quad (5)$$

$$G_c(s) = K_p \left(1 + \frac{T_d s^2}{2} + \frac{T_i}{s} + \frac{T_i T_d s}{2} \right) \quad (6)$$

Por tanto, el controlador PID tiene un polo en el origen y cero doble en $s = -4/P_{cr}$.

Figura 9. Oscilación sostenida con un periodo ? ??



Fuente: Ogata (1995)

9. DEFINICION DE MUSCULOS DE METAL

Según Lagoudas (2008, p. 6) Los músculos de metal son una clase única de materiales con memoria de formas con la habilidad de recobrar su forma cuando la temperatura es aumentada. Un aumento en la temperatura puede dar como resultado el recobrar la forma incluso bajo la aplicación de altas cargas, por consiguiente resultando en densidades de energía de alta actuación.

Bajo situaciones específicas, los músculos de metal pueden absorber y disipar energía mecánica al ser sometidos a una histéresis reversible de cambio de forma cuando se encuentra sometido a una carga mecánica cíclica aplicada.

9.1. FUNCIONAMIENTO

Según la revista técnica Robots Argentina (2009), esta característica física tan especial del Flexinol se basa en su estructura cristalina dinámica y sensible al calor. Cuando el Flexinol está deformado, en una fase que se llama "martensítica", la estructura cristalina no se destruye, sino que se transforma, cambiando a una singular disposición cristalina. Cuando el material se calienta vuelve a su estructura recordada, llamada "de austenita", sujeta a una menor tensión.

En los metales normales, en cambio, las deformaciones hacen que la estructura molecular se deshaga, dejando a los átomos en nuevas posiciones cristalinas. A causa de esto el cristal no puede conservar una "memoria" de dónde estaban los átomos antes de moverse. El movimiento físico del Flexinol se debe a la reestructuración interna de las moléculas. Y como el movimiento se genera a nivel molecular, es muy potente. La aleación de Flexinol tiene tres fases distintas de temperatura.

9.1.1. FASE MARTENSITICA

Fase de baja temperatura. La estructura cristalina está alineada y cúbica. La aleación se puede doblar y darle forma con facilidad. La presión de deformación que se necesita es de 10.000 a 20.000 PSI. La flexión deforma la estructura cristalina de la aleación, produciendo tensión interna.

9.1.2. FASE AUSTENITA

La temperatura está por encima de la temperatura de transición. El movimiento que se genera en esta fase se debe a que la estructura cristalina vuelve a su estado no tensionado (cúbico). La temperatura exacta de transición es según sea la composición exacta de la aleación del Flexinol; generalmente, las aleaciones comerciales tienen temperaturas de transición de entre 70° C a 130° C. La fuerza con la que los materiales vuelven a su forma original es considerable, 35.000 a 70.000 PSI.

9.1.3. FASE DE RECOCIDO

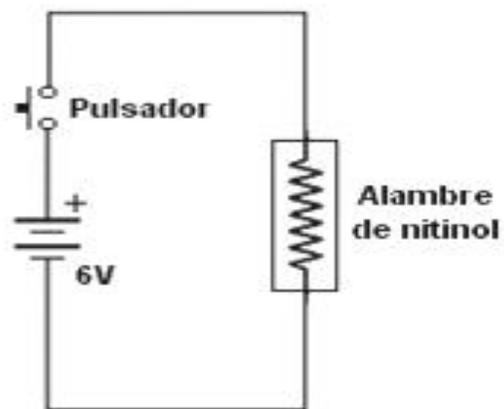
Fase de alta temperatura. La aleación reorientará su estructura cristalina (cúbica) para luego "recordar" la forma que tiene en ese momento. La fase de recocido para el alambre de Flexinol que se utiliza en robótica es de aproximadamente 540° C.

9.2. CIRCUITOS TIPICOS

Según Robots Argentina (2007, 2009), un alambre de Flexinol se puede activar por medio de un bajo voltaje, de entre 6 y 12 voltios. Se puede utilizar un circuito simple que consta de una batería, un interruptor y un tramo de alambre de Flexinol, como se ve en la figura 10.

Cuando se hace funcionar un alambre de Flexinol con corriente continua es importante no mantener demasiado tiempo esta corriente para no sobrecalentar el alambre. Un sobrecalentamiento del alambre de Nitinol degradará sus propiedades.

Figura 10. Calentamiento eléctrico del Flexinol



Fuente: Revista técnica de argentina (2008)

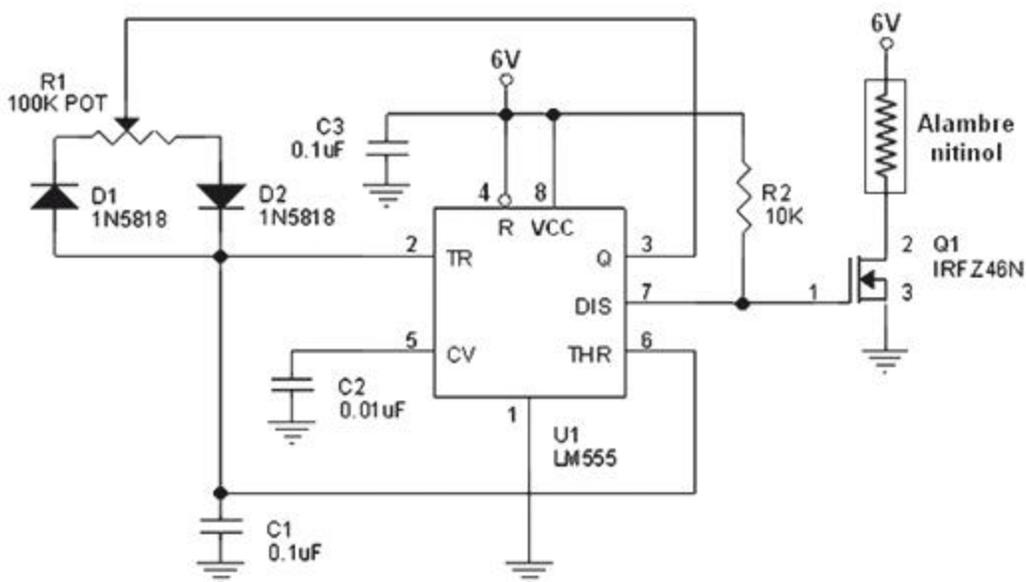
La corriente continua no calienta el alambre de manera pareja. Si se utiliza un circuito de modulación de ancho de pulso, como el que se muestra más abajo, se podrá calentar el alambre de manera pareja. Ese circuito es el más recomendable para activar un alambre de Flexinol.

Un mecanismo simple de prueba para el alambre de Flexinol. Con esta configuración tan simple se pueden observar las propiedades de la aleación. Básicamente, es como un músculo que se flexiona eléctricamente.

Aunque el simple circuito anterior funciona, con él es muy fácil sobrecalentar el alambre y dañar el funcionamiento de la aleación con memoria de la forma. La solución es trabajar con un circuito de modulación de ancho de pulso. Activar el alambre de Flexinol por medio de un circuito de control de ancho de pulso ofrece varias ventajas. El circuito de control de ancho de pulso enciende y apaga con gran rapidez la corriente que circula por el alambre de Flexinol. Esta alimentación entrecortada permite que el calor se disperse de manera más pareja, lo que evita puntos de calentamiento extremo.

La relación encendido-apagado de la onda cuadrada de salida se puede variar desde 100% encendido a 100% apagado. Este rango permite controlar la contracción de manera proporcional. De esta manera se puede controlar mejor el alambre de Flexinol durante mayor tiempo sin causar daños a la estructura cristalina de la aleación.

Figura 11. Circuito de modulación del ancho de pulso



Fuente: Revista técnica de argentina (2008)

El circuito de modulación del ancho de pulso está hecho en base a un integrado multivibrador 555. Éste genera una salida de frecuencia constante y una relación variable de encendido-apagado de la señal. La relación encendido-apagado de la señal de onda cuadrada de salida se puede cambiar variando la resistencia del potenciómetro. El transistor Q1 (MOSFET) conmuta la corriente a través del alambre de Flexinol. Si la corriente a través del circuito de modulación de ancho de pulso resulta ser demasiada para controlar el alambre de Flexinol de manera proporcional, se debe colocar un resistor de 8 ohm (de 2 watt o más) en serie con el alambre de Flexinol, para reducir la potencia.

10. DEFINICION DE ARTICULACION

Según Groover (2008 p. 215), una articulación de un robot industrial es similar a la articulación del cuerpo humano: provee un movimiento relativo entre 2 partes del cuerpo. Cada articulación o axis como también es a veces llamado, provee al robot con algo llamado grado-de-libertad de movimiento. En casi todos los casos, solo un grado de movimiento está asociado con una articulación.

Los robots generalmente se clasifican según el número de grados de movimientos que posean. Conectada a cada articulación hay 2 uniones, una unión de entrada y una de salida. Las uniones son los componentes rígidos del manipulador del robot. El objetivo de la articulación es proveer un movimiento relativo controlado entre la unión de entrada y la unión de salida.

10.2. TIPOS DE ARTICULACIONES

Según Groover (2008 p. 216) existen cuatro tipos de articulaciones que se describen a continuación:

10.2.1. ARTICULACION LINEAL (ARTICULACION TIPO L)

El movimiento relativo entre la unión de entrada y la de salida es un movimiento traslacional deslizante con los ejes de las dos uniones en paralelo.

10.2.2. ARTICULACION ORTOGONAL (ARTICULACION TIPO O)

Este también es un movimiento traslacional deslizante pero la unión de entrada y la de salida están perpendiculares a sí mismas durante el movimiento.

10.2.3. ARTICULACION DE TORSION (ARTICULACION TIPO T)

Esta articulación también involucra movimiento rotacional, pero la unión de rotación esta paralela a los ejes de las dos uniones.

10.2.4. ARTICULACION DE ROTACION (ARTICULACION TIPO R)

Esta articulación provee un movimiento relativo de rotación con el eje de rotación, perpendicular a los ejes.

10.2.5. ARTICULACION ROTATORIA (ARTICULACION TIPO V)

Es esta articulación del eje de la unión de entrada se encuentra paralela al eje de rotación de la unión, y el eje de la unión de salida esta perpendicular a él eje de rotación.

11. DEFINICION DE SENSORES

Según Angulo (1986, p.56), un elemento sensor es todo dispositivo capaz de transformar una energía de entrada, que contiene información de alguna característica o propiedad, en otra forma de energía que sea posible cuantificar y que entrega en forma de señal. Hoy en día la salida de los sensores es, prácticamente siempre, eléctrica. Los sensores pueden ser definidos y evaluados mediante una serie de características, de las que la más importante es la ley de respuesta, que sirve para relacionar, de forma biunívoca, la magnitud de la entrada a medir, con la variable eléctrica de salida.

11.2. TIPOS DE SENSORES

Según Angulo (1986, p. 58), los sensores propioceptivos; estos sensores han sido, cronológicamente, los primeros en utilizarse en los robots industriales (RI) sufriendo, últimamente, una constante evolución, suministran información del estado interno del robot: posiciones, velocidades y aceleraciones, principalmente.

11.2.1. SENSORES DE POSICION

Según Angulo (1986, p. 61) para la medida de desplazamientos angulares, los sensores emplean principios diversos. Así, existen transductores resistivos, capacitivos, inductivos y discos codificados. Los sistemas potenciométricos son los más sencillos, pero tienen el inconveniente del cursor móvil. Dos de los sistemas de medición angular más extendidos son los captadores de tipo inductivo: el syncro y el resolver. Por razones económicas, los RI utilizan esencialmente para la medida de los desplazamientos, transductores potenciométricos de pista plástica o transductores incrementales.

11.2.2. SENSORES DE VELOCIDAD.

Según Angulo (1986, p. 62) un método de para la medida de las velocidades lineales y angulares consiste en captar, periódicamente, un flujo

luminoso y medir su frecuencia. El paso o la interrupción de dicho flujo se determina por medio de bandas opacas superpuestas sobre la parte móvil. Los dispositivos más comúnmente usados para medir las velocidades angulares han sido los tacómetros (dínamo o alternador). La dínamo proporciona una tensión continua proporcional a la velocidad, mientras que el alternador genera una tensión alterna con una amplitud, asimismo, proporcional a la velocidad.

Los sensores de aceleración de los robots tienen, como misión principal, la medida de vibraciones o choques. A tal efecto, los acelerómetros piezoeléctricos constan de una pastilla piezoeléctrica fijada a la pieza, traduciendo la aceleración en una señal eléctrica proporcional a la misma. Existen, también, acelerómetros piezoresistentes e inductivos.

12. SERVOMOTORES.

Según Íñigo (2002) un servomotor de CC tiene un rotor con devanado (la "armadura") a los que se les aplica una tensión mediante escobillas en contacto con el colector hecho de segmentos de cobre aislado entre si y formando un cilindro; cada par de segmentos del colector van conectados a un de las bobinas del devanado.

En motores de gran tamaño el campo magnético se logra mediante bobinas devanadas. Sin embargo los motores usados en robots manipuladores generalmente de una potencia inferior a los 10 HP, usan

imanes permanentes, lo cual reduce considerablemente el tamaño y el peso del motor.

La operación de los servomotores de CC es posible gracias a la acción del colector (también llamado conmutador) que conmuta o cambia de dirección la corriente en las bobinas a medida que estas giran. Este proceso se explica, en relación a una sola bobina. Es obvio que en motor práctico el número de bobinas es muy superior a una. Estas van conectadas en serie y los terminales de cada bobina, además de conectarse a las siguientes, van conectados a dos segmentos o delgas del colector. Si el motor es de dos polos, las dos delgas están opuestas en 180° . Si el motor tiene más de dos polos, están opuestas en 180° eléctricos. Por ejemplo en un motor de cuatro polos, 180° eléctricos corresponden a 90° geométricos.

3. SISTEMA DE VARIABLES

A continuación se presenta la clasificación como evaluación, definición y categorización de los sistemas de variables que conforman esta investigación para valuar los elementos principales de la misma, dando como resultado una investigación orientada con una sola meta.

3.1. SISTEMA NOMINAL

Mano Robótica.

PC.

3.2. DEFINICION CONCEPTUAL

MANO

Mano del latín "manus" -u, es la zona más distal del miembro superior y comprende el carpo, el metacarpo y los dedos, estructuras que se unen entre sí por un conjunto de 33 articulaciones. La mano es un órgano de presión, y como tal, el símbolo de la fuerza y del poder, y el instrumento de la lucha y el trabajo. Así mismo, la mano, con el resto del miembro superior, es verdadero órgano de los sentidos, puesto que al ser capaz de describir grandes círculos, tocando todos los objetos que se encuentran en su trayecto puede orientarnos incluso en la más absoluta oscuridad. (Alonso 2001, p. 1),

ROBOTICA

Es la técnica que aplica la informática al diseño y empleo de aparatos que, en sustitución de personas, realizan operaciones o trabajos, por lo general en instalaciones industriales. (Real academia española 2005)

MANO ROBOTICA

Una mano robótica es un dispositivo capaz de controlar por medio de un algoritmo y diversos accionadores el posicionamiento de 5 dedos permitiendo realizar los movimientos básicos de una mano humana conformada por dos o más articulaciones en cada uno de sus dedos.

PC

PC es una microcomputadora diseñada en principio para ser usada por una sola persona a la vez, y que es compatible con la PC de IBM (aunque en el lenguaje corriente se puede referir también a equipos incompatibles).

Una computadora personal es generalmente de tamaño medio y es usado por un sólo usuario (aunque hay sistemas operativos que permiten varios usuarios simultáneamente, lo que es conocido como multiusuario). Una computadora personal suele estar equipada para cumplir tareas comunes de la informática moderna. (Ashley, Ruth 2008)

3.3. DEFINICION OPERACIONAL

MANO ROBOTICA

Es un dispositivo electromecánico el cual por medio de un sistema de control, logra el posicionamiento y estabilización de sus enlaces (dedos), para implementarse en los diferentes entornos en los cuales una mano humana se desenvuelve.

PC

Es una máquina inteligente capaz de realizar tareas como recibir y procesar datos que luego son utilizados como elementos del sistema de control de la mano robótica.