

INTRODUCCIÓN

De acuerdo a los antecedentes históricos, se tiene datos que el envasar alimentos han tenido diversas formas de representarlo, con la aparición de la industria, el envasado tuvo otro proceso donde la tecnología empieza a mezclarse en el contexto industrial, es por ello, que este tipo de procesos de envasar alimentos son apoyados a través de la ingeniería mecánica y la automatización como el uso de sistemas de control y de tecnología para reducir la necesidad de la intervención humana en un proceso.

En el enfoque de la industria, automatización es el paso más allá de la mecanización en donde los procesos industriales son asistidos por máquinas o sistemas mecánicos que reemplazan las funciones que antes eran realizados por animales. Mientras en la mecanización los operadores son asistidos con maquinaria a través de su propia fuerza y de su intervención directa, en la automatización se reduce de gran manera la necesidad mental y sensorial del operador. De esta forma presenta grandes ventajas en cuanto a producción más eficiente y disminución de riesgos al operador.

El presente proyecto se desarrolla bajo 4 sub etapas teniendo como objetivo el envasado de alimentos para proteger los productos durante su almacenamiento, comercialización y distribución.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Para el autor Roberto Hernández (2010) define que el problema es afinar y estructurar formalmente la idea de investigación.

El contexto empresarial en México tiene grandes oportunidades en la competitividad comercial y productiva, aunado a esta exigencia, se requiere que participen en los lineamientos normativos oficiales mexicanos para cubrir los estándares de calidad, seguridad e higiene.

Cabe mencionar que las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas (MIPyMES) establecidas en los sectores productivos, tanto secundario como terciario contribuyen de manera importante al desarrollo económico y social en el Estado, partiendo de esta premisa es importante que todos éstos empresarios generen mayor productividad con equipos de vanguardia y tecnología avanzada, para no continuar con procesos manuales como es el envasado y el empaquetado de sus productos puestos en el mercado regional, nacional y/o internacional.

Por lo anterior, se plantea la problemática que en los sectores de pequeñas y medianas empresas establecidas en la entidad chiapaneca que desarrollan el giro comercial del proceso de pulverización de alimentos para su comercialización; para este proceso deben utilizar maquinarias para el envasado y empaquetado teniendo el cuidado que los productos alimenticios conserven sus elementos naturales y éstos no se contaminen.

JUSTIFICACIÓN.

Los alimentos pulverizados deben conservar sus requerimientos nutricionales para no alterar los elementos esenciales que contienen como producto natural; esto es importante cuidar que los productos que pasan por un proceso de pulverización y posteriormente al envasado y empaquetado, deben cuidar las empresas agropecuarias que estén en este giro comercial que esos productos alimenticios cumplan con los lineamientos que se debe cubrir para la empaquetación de productos pulverizados siendo considerados en cuanto a peso, contenidos, tabla nutrimental, fecha de caducidad, la marca comercial que la distribuye.

Las empresas establecidas en el Estado de Chiapas reconocidas en el giro de comercializadoras de alimentos pulverizados y empaquetados ejercen esta actividad con productos de estándares de calidad para competir en el mercado regional, nacional e internacional.

El objetivo de la investigación es realizar un prototipo de una empaquetadora de alimentos pulverizados, logrando que esta máquina empaquetadora cubra el proceso de estándares de calidad regido por las normas mexicanas que establecen el cuidado del peso y su conservación natural. Algunas empresas para procesar alimentos pulverizados utilizan técnicas rudimentarias, poco confiables y en su caso obsoletas, el cual no ofrecen las cantidades exactas y deseadas y no cumplen con la seguridad e higiene. El presente proyecto describe el prototipo de una empaquetadora de alimentos pulverizados que consiste en utilizar un transportador helicoidal o tornillo sin fin para conducir el alimento pulverizado desde una tolva hacia una pesa, el cual estará controlada por un sensor automático de peso exacto, para desde ahí empaquetarlo en bolsas de papel aluminio seleccionadas desde un selector de bolsas y finalmente ser vendido al público.

OBJETIVOS.

OBJETIVO GENERAL.

Realizar un prototipo de empaquetadora de alimentos pulverizados fundamentándose en el uso de la ingeniería mecánica y sus aplicaciones, tales como el diseño mecánico y la automatización, así como también satisfacer la calidad alimenticia exigida por los estándares oficiales.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Identificar alimentos pulverizados con mayor giro comercial por las MIPYIMES.
- Conocer la importancia de proceso de empaquetado por máquinas para la comercialización del producto.
- Identificar las normas oficiales que regulan los procesos de alimentos pulverizados.
- Adecuar el proceso de empaquetado de alimentos pulverizados que tenga la capacidad de procesar a éste de forma limpia y eficiente.
- Estudiar los tiempos que conllevan los procesos automatizados para empaquetar alimentos pulverizados.
- Desarrollar el prototipo mecánico y automatizado de una empaquetadora.
- Dar difusión de los beneficios que puede obtener los comerciantes y la zona de trabajo al adquirir un nuevo modelo tecnológico para empaquetar alimentos pulverizados.

HIPÓTESIS.

Elaborar un prototipo de una empaquetadora de alimentos pulverizados con la finalidad de ser empleada en cualquier empresa que tenga como giro la pulverización de alimentos utilizando tecnologías modernas de automatización.

CAPÍTULO I. ESTUDIO DEL CAMPO DEL ARTE.

1.1.- GENERALIDADES DE LOS ALIMENTOS PULVERIZADOS.

En este apartado se describe los derivados de alimentos que están bajo procesos para lograr su pulverización y como etapa final el empaquetado. En este sentido, se considera que los alimentos pulverizados pueden ser sólidos y que éstos conservan sus propiedades naturales; y al ser empaquetados pasen a una segunda etapa de procesos como es la validación y certificación de estándares de calidad para ser integrados al mercado de la comercialización de alimentos en polvo.

Cabe hacer mención que la producción, elaboración, envase, almacenamiento, distribución y venta de alimentos para uso humano, son con el objeto de proteger la salud y nutrición de la población y garantizar el suministro de productos sanos; conservando nutrientes esenciales para mantener la salud; algunos granos como: (maíz, arroz). Todos los alimentos deben responder a su composición química y a sus condiciones microbiológicas, esto es, que, la producción, distribución y comercialización de los alimentos deben estar bajo las normas técnicas de salud.

En este tenor, las empresas e industrias que se dedican a los procesos productivos de alimentos pulverizados, están comprometidos ser socialmente responsable con el medio ambiente, para la sostenibilidad y beneficio de las zonas o áreas de producción; las técnicas agrícolas que se utilizan para que los alimentos que circulan en el mercado sean de calidad y no afecten la salud de los consumidores; ya que los polvos pasan por un proceso adecuado hasta lograr el producto deseado para su empaquetación; el desarrollo y diseño de empaques apropiados para productos pulverizados deben ser atractivos y competitivos para ser exportados a otros países.

Por último, los alimentos pulverizados están sujetos a una transformación de diversa tipología que pueden ser químico, por agua y por deshidratación, considerando técnicas en distintas fases propias de cada proceso, así como la maquinaria mecánica que se utiliza tanto para su transformación y su empaquetación, tomando en cuenta el embalaje, etiqueta y los registros que los lineamientos normativos de estándares de calidad piden que se deben cumplir.

1.2.- CONCEPTO DE ALIMENTOS PULVERIZADOS.

La alimentación como forma de placer indica la posibilidad de desarrollo de la gastronomía. (Santos), p. 239. Los alimentos naturales pueden ser objetos de transformación química, de procesamiento hasta lograr su pulverización, que pueden ser utilizados para su comercialización. Rodríguez (1982, p. 35).

Según Serra (1996), considera que los alimentos pulverizados deben tener una calidad en combinación de diversas características o factores. Estos factores pueden ser:

- a) Factores higiénicos y sanitarios: son aquellos que afectan a la pureza, integridad o contaminación de un alimento como residuos de plaguicidas.
- b) Factores nutritivos: Define la bondad del alimento como nutriente, su contenido en grasas, proteínas, vitaminas e hidratos de carbono.

Cabe hacer mención que la seguridad alimentaria con enfoque multidisciplinar establece una definición internacional de seguridad alimentaria de acuerdo a la Conferencia Internacional FAO/OMS sobre nutrición, celebrada en Roma en 1992; establece que todas las personas tendrán acceso a material económico, alimentos suficientes, seguros y nutritivos para una vida sana.

Por su parte, los expertos en salud pública de la Organización de Agricultura y Alimentos (FAO), indican que garantizar la seguridad y salubridad de los productos alimenticios debe estar en la fabricación, transformación, envasado y empaquetado.

1.3.- EMPAQUETADO DE ALIMENTOS PULVERIZADOS.

1.3.1.- Café.

El café es una bebida que se obtiene a partir de mezcla en agua caliente de granos tostados de la planta de café. A pesar de que comercialmente es la bebida número uno del mundo se estima que un tercio de la población mundial la consume (la mitad de la población mundial es consumidora de té). Su popularidad se debe básicamente a su efecto vigorizante, tonificante y estimulante, consecuencia de la presencia de la cafeína en aproximadamente un 0.75% al 1.5% del peso.

El cafeto es la planta que produce el fruto del café, pertenece a la familia de las rubiáceas y conforma el género *coffea* que comprende setenta especies, aunque las más productivas son las agrupadas en tres grandes grupos muy diferentes: arábica, robusta y libérica.

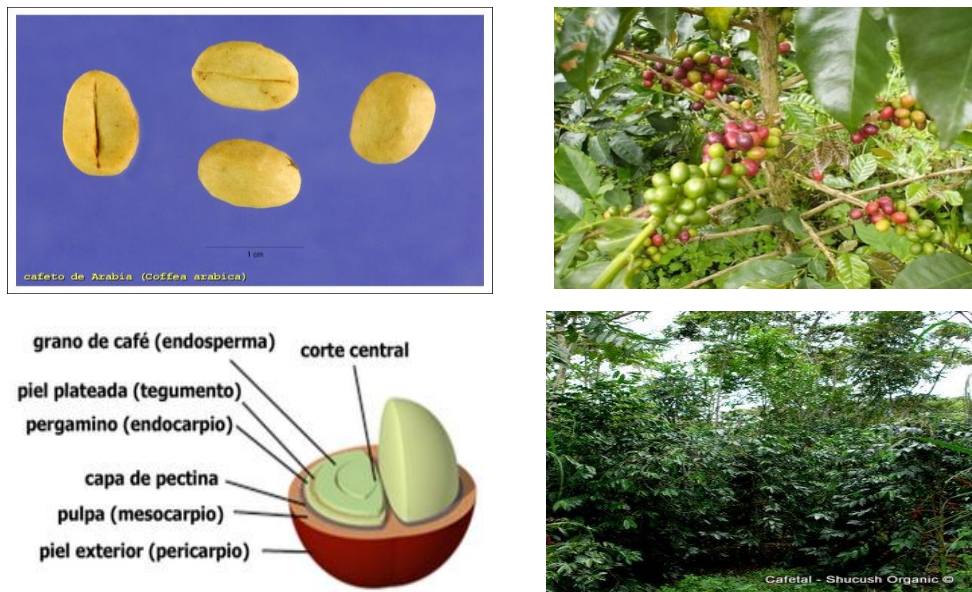
Figura 1: Planta de cafeto con cerezas maduras.



Fuente: Enciclopedia Encarta 2007.

A continuación algunos ejemplos del género *Coffea*, los cuales son importantes tres: arábica, canephora y libérica.

Figura 2: Cafeto de Arabia o arábica (*Coffea Arabica*). Semilla, fruto y planta.



Fuente: La cafeticultura en la región del Soconusco.

Convenio Estatal del Café en Chiapas.

Colección Chiapas Google Images 2012.

Figura 3: Cafeto de Robusta (Coffea Robusta). Semilla, fruto y planta.



Fuente: La cafecultura en la región del Soconusco.
Convenio Estatal del Café en Chiapas.
Colección Chiapas Google Images 2012.

Figura 4: Comparación entre la semilla de cafeto de Arabia o arábica y la semilla de cafeto de Robusta.



Fuente: La cafecultura en la región del Soconusco.
Convenio Estatal del Café en Chiapas.
Colección Chiapas Google Images 2012.

Figura 5: Cafeto libérico (Coffea Libérica). Semilla, fruto y planta.



Fuente: La cafecultura en la región del Soconusco.
Convenio Estatal del Café en Chiapas.
Colección Chiapas Google Images 2012.

1.3.1.1.- Procesamiento del café.

El procesamiento del café comienza desde la extracción del grano hasta su comercialización en semillas o molido. A continuación se muestran los siguientes pasos que se llevan a cabo para realizar esta actividad:

Pasos básicos:

- Cosecha y preparación.
- Recolección.
- Despalillado.
- Recepción en el beneficiado.
- Despulpado.
- Zarandeado:
 - Manual.
 - Mecánico.
- Fermentación.
- Lavado.
- Secado.
- Clasificación:
 - Manual.
 - Mecánico.
- Pulido.
- Almacenamiento.
- Comercialización.

Pasos adicionales:

- Envejecimiento.
- Descafeinado.
- Tostado.
- Torrefacción.
- Enfriado.
- Molido.
- Pesado.
- Empaquetado.

1.3.1.2.- Conservación y empaquetado del café.

Uno de los elementos de mayor incidencia en la vida útil y conservación del café después del procesado es el empaque, ya que es el encargado de proteger al producto tanto de los factores ambientales, químicos o físicos como en la manipulación del producto en el transporte y almacenamiento; además de ser la carta de presentación ante el cliente final.

En el caso del café, se han utilizado diferentes tipos de materiales desde el papel kraft hasta el vidrio pasando por mono polímeros, estructuras laminadas flexibles, de alta barrera, hasta empaques rígidos como la lata, siendo las estructuras flexibles, metalizadas o laminadas las más comunes.

Las empresas productoras de películas y los convertidores procuran ofrecer en el mercado nuevas estructuras combinando diferentes películas que garanticen una mejor protección de las características del café.

Generalmente ningún material plástico posee todas las características necesarias para cumplir su función de barrera y protección como empaque por esta razón se combinan varios de ellos para formar un material complejo o laminado que reúna las propiedades más importantes de sus componentes.

La permeabilidad es básica para establecer la capacidad de barrera de una película. Las constantes de permeabilidad dependen de la estructura química del polímero, de su morfología, densidad y grado de cristalinidad.

Para estos casos, el empaque más usado para empaquetar el café es la bolsa, ya sea de fondo plano que se pueda parar o de tipo sobre sin fondo plano. El empaque se realiza de dos maneras principalmente:

- De forma manual: Se parte de bolsas preformadas las cuales son llenadas por medio de máquinas dosificadoras que trabajan en base a un tornillo dosificador a una balanza de dosificación o a un vaso volumétrico. Luego de la dosificación la bolsa es sellada por mordazas que posee la misma máquina o por una selladora independiente.

- De forma automática: Se parte de bobina de empaque, la cual forma la bolsa, dosifica y sella; la forma de dosificación es por tornillo o volumétricamente. La segunda opción es más conveniente tanto por calidad del producto (esta menos tiempo en contacto con el aire y se manipula menos) como por rendimiento.

1.3.2.- Tascalate y su pulverización.

Es un producto derivado del cacao que se identifica como una mezcla de maíz, cacao y azúcar con colorante para integrar un producto pulverizado denominado tascalate.

1.3.2.1.- Procesamiento del tascalate.

Este producto se prepara tostando y moliendo tortillas de maíz hasta convertirlas en polvo, posteriormente mezclan con el cacao tostado y el resto de los ingredientes, el polvo resultante es un polvo de color rojizo.

Los lineamientos que se debe cubrir para la empaquetación de productos pulverizados están siendo considerados en cuanto a peso, contenidos, tabla nutricional, fecha de caducidad, la marca comercial que la distribuye.

1.3.3.- Avena molida.

Otro alimento comercializado en polvo, es la harina de avena, este producto por su esencia nutricional de gran escala en la salud humana, es recomendada en todos los segmentos porque a partir de esta harina tiene diferentes derivados que pueden ser mezclados con otros polvos o agua y leche; en cuanto al impacto comercial que tiene este producto es bastante aceptado en los diversos mercados regionales, nacionales e internacionales.

1.4.- IMPORTANCIA DE LA ADQUISICIÓN DE UNA EMPAQUETADORA DE ALIMENTOS PULVERIZADOS.

Las marcas y productos que se venden en empaques de presentaciones pequeñas, requieren de una excelente presentación, debido a las múltiples necesidades que conlleva empaquetar productos para su comercialización en menudeo.

Es evidente para todos los que hemos ido a un supermercado, una tienda de autoservicio o incluso a la tienda local de cada colonia difícilmente encontraremos un producto que no esté en un empaque. No lo encontraremos debido a los grandes beneficios que aporta un empaque de calidad y su precisión en el contenido.

En cuanto la atención al empaquetado de productos pulverizados, es de suma importancia que segmentos industriales, empresariales tengan dentro de su área de procesos de alimentos máquinas que lleven a cabo procesos de empaquetado entendiéndose que este equipo mecánico es diseñado para que pueda empaquetar diversas cantidades relacionadas al factor tiempo, diseño, calidad, precisión.

1.4.1.- Comercializadoras.

En relación a empresas dedicadas al giro de comercializar productos pulverizados en el estado, son regulados por lineamientos federales y normas oficiales y mexicanas que exigen un rigor para que los productos que pasan en proceso de ser pulverizados y empaquetados para su ubicación en el mercado competitivo deben cubrir los estándares de calidad consistentes desde el producto, empaquetación, distribución hasta lograr que el usuario y/o consumidor adquiera el producto.

Cabe mencionar que estas empresas que pueden ser Pymes, se encuentran en la vanguardia de tener una infraestructura dentro de la rama industrial, comercial y tecnológica para poder participar dentro de la competencia del mercado; en este sentido se tiene referencia:

Figura 6. Proceso industrial y/o comercial.



Fuente: Diseño propio. 2014.

En relación a la figura señalada se demuestra que el factor tiempo, la empaquetación y distribución del producto para su comercialización de éxito es tener equipos o maquinaria con tecnología de vanguardia.

En relación a la comercialización en el estado se tiene en marcha un programa de certificación para productos chiapanecos, hasta junio del 2013, hay un resultado del programa de certificación de 633 productos chiapanecos certificados con la “Marca Chiapas” y se encuentran 150 más en la lista de espera, 104 son alimentos en diversas presentaciones, de los cuales 60 se venden en tiendas de autoservicio y supermercados, de estos 60 productos, 14 son productos en polvo.

Las empresas que comercializan productos en polvo en Chiapas son las siguientes:

- Café Galilea
- Finca Irlanda
- LinaVida
- Poli energéticos Penagos
- Tía Chalvi

También hay empresas que no cuentan con el distintivo de marca Chiapas, pero también venden sus productos en gran parte de expendios locales de Tuxtla Gutiérrez, como la empresa Tía Angelita.

CAPITULO II.- MARCO TEÓRICO

2.1.- ¿QUÉ ES LA AUTOMATIZACIÓN?

Automatización es la tecnología que trata de la aplicación de sistemas mecánicos, electrónicos y de bases computacionales para operar y controlar un funcionamiento deseado, para esta tecnología se incluyen los siguientes elementos:

- Herramientas automáticas para procesar partes.
- Máquinas de montaje automático.
- Robots industriales.
- Manejo automático de material y sistemas de almacenamiento.
- Sistemas de inspección automática para control de calidad.
- Control de reaprovechamiento y control de proceso por computadora.
- Sistemas por computadora para planear colecta de datos y toma de decisiones para apoyar las actividades manufactureras.

Bajo este contexto, la automatización se encuentra en vanguardia y en diversas aplicaciones tecnológicas para la industria y otros conceptos que se requieran en la exigencia globalizadora del ámbito moderno.

Así entonces, clasificar automatización consta de lo siguientes elementos:

- Neumática: Tecnología que emplea el aire comprimido como modo de transmisión de la energía necesaria para mover y hacer funcionar mecanismos.
- Hidráulica: Se ocupa de las máquinas, dispositivos y aparatos que trabajan con fluidos líquidos, en este caso, aceite o aceite hidráulico.
- Mecánica: Es el uso de elementos mecánicos para sustituir principalmente las acciones humanas.
- Electrónica: Es el campo de la ingeniería y de la física aplicada relativo al diseño y aplicación de dispositivos, por lo general circuitos electrónicos, cuyo funcionamiento depende del flujo de electrones para la generación, transmisión, recepción, almacenamiento de información, entre otros.

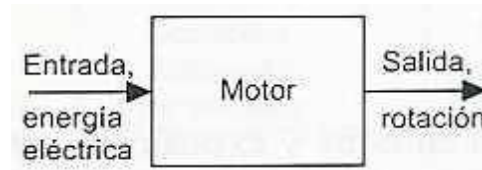
Por ende, cuando se menciona software en la automatización en el control de procesos, se hace referencia al uso de programas digitales en computadora para controlar el funcionamiento de una industria, haciendo el uso de diferentes tecnologías como el PLC el cual está guardado en el proceso de una computadora. Para monitorear un proceso de información de manufactura tiene que ser introducido para que la interfaz de la computadora sepa que monitorear.

2.2.- ¿QUÉ ES LA MECATRÓNICA?

De acuerdo a Bolton, W, 2001: 1, “El término mecatrónica es usado para describir la integración de sistemas de control basados en microprocesadores, sistemas eléctricos y sistemas mecánicos. A fin de poder diseñar sistemas que sean de menor costo, más confiables y flexibles es necesario lograr desde las primeras etapas del proceso de diseño la fusión a través de las fronteras tradicionales de las ingenierías mecánica, eléctrica, electrónica y control”. La mecatrónica adopta un enfoque concurrente o participativo entre estas disciplinas en lugar del enfoque secuencial tradicional del desarrollo, por ejemplo, del sistema mecánico, luego el diseño de la parte eléctrica y después la parte del microprocesador. En la mecatrónica se conjugan áreas tecnológicas relacionadas con sensores y sistemas de medición, sistemas de mando y de accionamiento, análisis del comportamiento de los sistemas, sistemas de control y sistemas de microprocesadores. La mecatrónica trabaja con lo que se conoce como sistemas. Un sistema puede concebirse como una caja con una entrada y una salida y de la cual no nos interesa su contenido, sino la relación que existe entre la salida y la entrada. Algunos sistemas son los siguientes:

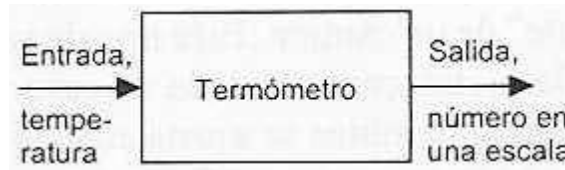
- Sistema de medición.
- Sistema de control.

Figura 7: Ejemplo de un sistema.



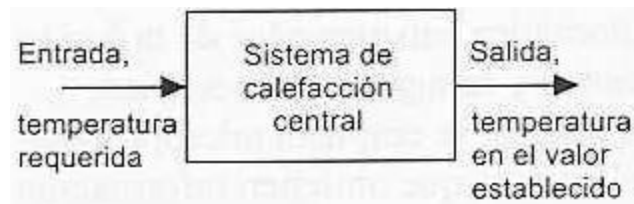
Fuente: Mecatrónica “Sistemas de control electrónico en ingeniería mecánica y eléctrica”, Bolton, 2001: 2.

Figura 8: Ejemplo de un sistema de medición.



Fuente: Bolton, 2001: 2.

Figura 9: Ejemplo de un sistema de control.



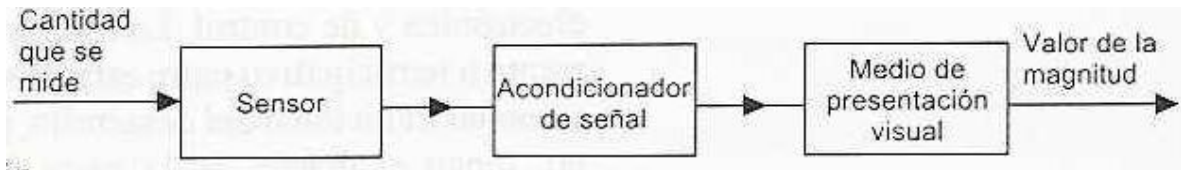
Fuente: Bolton, 2001: 2.

2.2.1.- Sistemas de medición.

En general, puede decirse que los sistemas de medición están formados por tres elementos:

- Un sensor, el cual responde a la cantidad que se mide, dando como salida una señal relacionada con dicha cantidad.
- Un acondicionador de señal, éste toma la señal del sensor y la manipula para convertir una forma adecuada para su presentación visual.
- Un sistema de presentación visual (pantalla o display), es donde se despliega la salida producida por el acondicionador de señal.

Figura 10: Sistema de medición y los elementos que lo forman.



Fuente: Bolton, 2001: 2.

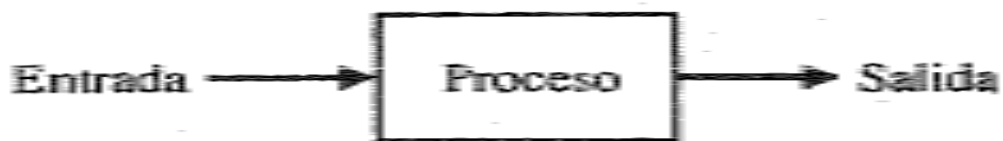
2.2.2.- Sistemas de control.

Un sistema de control es una interconexión de componentes que forman una configuración del sistema que proporcionará una respuesta deseada; a su vez, está formado por *subsistemas y procesos (o plantas)* unidos con el fin de controlar las salidas de los procesos.

El objetivo de un sistema de control es controlar las salidas en alguna forma prescrita mediante las entradas a través de los elementos del sistema de control.

La base para el análisis de un sistema es el fundamento proporcionado por la teoría de los sistemas lineales, que supone una relación entre causa y efecto para sus componentes; por tanto, un componente o proceso que vaya a ser controlado puede representarse mediante un bloque tal como se muestra en la Figura 11.

Figura 11: Proceso a controlar.



Fuente: Sistemas de control moderno, Dorf, 2005: 2.

Otros puntos a considerar para el objetivo del análisis y diseño de los sistemas de control son los siguientes:

- Producir la respuesta transitoria deseada.
- Reducir el error en estado estable considerada como la respuesta en estado estable.
- Alcanzar la estabilidad.

Algunos problemas de diseño de los sistemas de control son:

- Las funciones de costo.
- La sensibilidad del desempeño de sistema ante cambios en los parámetros.

Para el proceso de diseño de un sistema de control se consideran los pasos mostrados a continuación:

- Establecer objetivos de control.
- Identificar las variables a controlar.
- Escribir las especificaciones de las variables.
- Establecer la configuración del sistema e identificar el actuador.
- Obtener un modelo del proceso, el actuador y el sensor.
- Describir un controlador y seleccionar los parámetros claves que se deben ajustar.
- Optimizar los parámetros y analizar el comportamiento.
- Si el comportamiento no cumple las especificaciones, entonces iterar la configuración y el actuador.
- Si el comportamiento cumple las especificaciones, entonces finalizar el proceso.

2.2.2.1.- Sistemas de control en lazo abierto y cerrado.

Existen dos formas básicas de sistemas de control, una es la denominada *en lazo abierto* y *en lazo cerrado*.

Sistema de control en lazo abierto (sistemas no realimentados):

De acuerdo a Bolton, W, 2014: 4, Se define como un sistema en lazo abierto cuando la entrada o referencia se elige con base en la experiencia que se tiene con dichos sistemas para producir el valor de salida requerido. Esta salida, sin embargo, no se ve modificada por el cambio en las condiciones de operación externas.

En este sentido, se integran otros modos de sistemas de control en lazo abierto o no realimentados; los cuales son los siguientes:

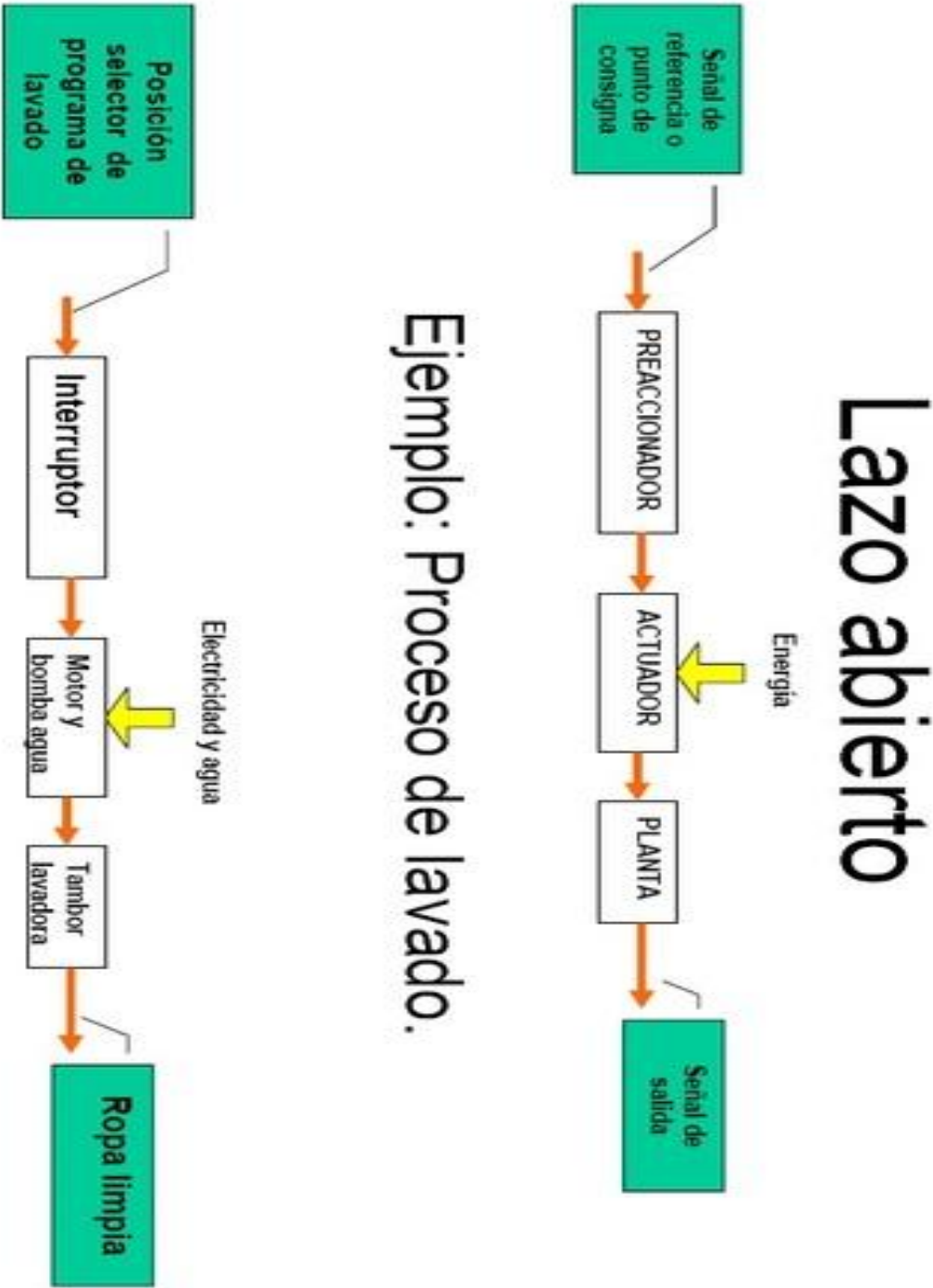
- Control de dos posiciones (encendido – apagado o mejor conocido como on – off).
- Control de secuencias o acciones conmutadas por tiempo.

Cabe hacer mención que se encuentran los subsistemas de control en lazo abierto, éstos tienen la función de integrar un proceso de control, que integran los siguientes elementos:

- Elemento de control: Este elemento determina qué acción se va a tomar dada una entrada al sistema de control.
- Elemento de corrección: Este elemento responde a la entrada que viene del elemento de control e inicia la acción para producir el cambio en la variable controlada al valor requerido.
- Proceso: El proceso o planta es el sistema en el que se va a controlar la variable.

Por mencionar algunos ejemplos de sistemas de control en lazo abierto son los siguientes: calefactores eléctricos, tostadores eléctricos, amplificadores electrónicos, lavadoras, etc.

Figura 12: Ejemplo gráfico de un sistema de control en lazo abierto para el proceso de lavado de una lavadora.



Fuente: Google. 2014.

Sistema de control en lazo cerrado (sistemas realimentados):

Es importante dar una definición referente al Sistema de control en lazo cerrado, entendiéndose Como aquel que tiene una señal de realimentación hacia la entrada desde la salida, la cual se utiliza para modificar la entrada de modo que la salida se mantenga constante a pesar de los cambios en las condiciones de operación. (Bolton, W. 2014: 4)

Existen dos métodos para el análisis y diseño de sistemas de control realimentados, estos son:

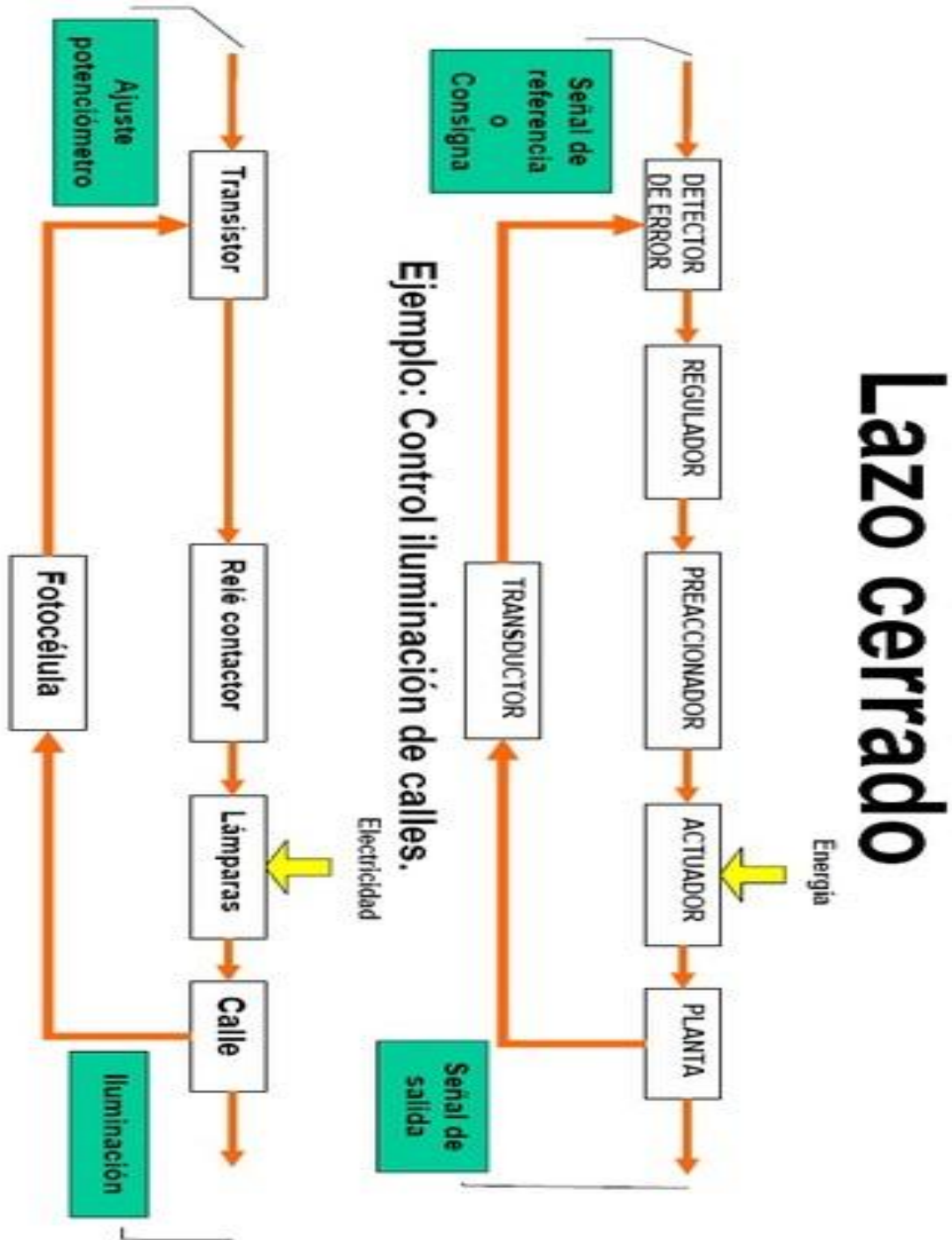
- Técnica clásica o técnica en el dominio de la frecuencia.
- Técnica moderna o técnica en el dominio del tiempo.

Ahora, refiriendo al sistema de control en lazo cerrado, a mayor abundamiento se indican los siguientes elementos:

- Elemento de comparación: Este elemento compara el valor requerido o de referencia de la variable por controlar con el valor medido de lo que se obtiene a la salida, y produce una señal de error la cual indica la diferencia del valor obtenido a la salida y el valor requerido.
- Elemento de control: Este elemento decide qué acción tomar cuando se recibe una señal de error.
- Elemento de corrección: Este elemento se utiliza para producir un cambio en el proceso al eliminar el error, y con frecuencia se denomina actuador.
- Elemento proceso: El proceso, o planta, es el sistema donde se va a controlar la variable.
- Elemento de medición: Este elemento produce una señal relacionada con la condición de la variable controlada, y proporciona la señal de realimentación al elemento de comparación para determinar si hay o no error.

Algunos ejemplos de sistemas de control en lazo cerrado son los siguientes: levantar una taza de café, el manejo de un automóvil, calefactores eléctricos, sistemas de autopiloto digitales para el guiado de misiles, manejo de control de válvulas para sistemas de control de temperaturas, control de niveles en tanques de agua, control para velocidades angulares de ejes, control de iluminación de calles, etc.

Figura 13: Ejemplo gráfico de un sistema de control en lazo abierto para el proceso de control de iluminación de calles.



Fuente: Google. 2014.

Ahora bien, se desarrollará los pasos del proceso de diseño:

- Transformar los requerimientos en un sistema físico o bien, determinar un sistema físico y especificaciones a partir de requerimientos.
- Trazar o dibujar un diagrama de bloques funcional.
- Crear un diagrama esquemático o transformar el sistema físico en diagrama.
- Usar el diagrama para obtener un modelo matemático (diagrama de bloques), diagrama de flujo de señal, o representación en el espacio de estados.
- Si hay bloques múltiples, reducir el diagrama de bloques a un solo bloque o sistema en lazo cerrado.
- Analizar, diseñar y probar para ver que se satisfagan los requisitos y las especificaciones.

Para entender este proceso seguidamente se indican los tipos de sistemas de control en lazo cerrado o realimentados, estos tipos se clasifican en diversas formas, dependiendo del propósito:

- De acuerdo con el método de análisis y diseño, los sistemas de control se clasifican en:
 - Sistemas lineales.
 - Sistemas no lineales.
 - Sistemas variantes con el tiempo.
 - Sistemas invariantes con el tiempo.
- Con los tipos de señales usados en el sistema, se hace referencia a:
 - Sistemas en tiempo continuo, éstos a su vez se subclasifican en:
 - Sistemas de control de corriente continua o directa (CC o CD).
 - Sistemas de control de corriente alterna (CA).

Sistemas en tiempo discreto, también, éstos se subclasifican en:

Sistemas de control de datos muestreados.

Sistemas de control digital.

Sistemas modulados y sistemas no modulados.

➤ De acuerdo al control de las variables de salida se clasifican en:

Sistemas de control de posición.

Sistemas de control de velocidad.

Por consiguiente, se indican los modos de sistemas de control en lazo cerrado o realimentados. Entre los modos para los sistemas de control en lazo cerrado o realimentados son los siguientes:

- Control de dos posiciones: La señal de error de entrada al elemento de control es una salida de encendido o de apagado, que se utiliza para encender o apagar al elemento de corrección.
- Control proporcional: La salida del elemento de control es una señal, la cual es proporcional al error: cuanto mayor sea el error, mayor será la salida. Esto significa que el elemento de corrección recibirá una señal que depende de la magnitud de la corrección que se necesite. Debido a que el control proporcional por sí solo puede presentar algunos problemas, con frecuencia se combina con otras formas de control.
- Control derivativo: Donde la salida es proporcional a la razón de cambio de la señal de error.
- Control integral: Donde la salida en el tiempo t es proporcional a la integral de la señal de error entre $t=0$ y t .

2.3.- SENSORES Y TRANSDUCTORES.

Un sensor es un dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas. Las variables de instrumentación pueden ser por ejemplo: temperatura, intensidad lumínica, distancia, aceleración, inclinación, desplazamiento, presión, fuerza, torsión, humedad, movimiento, pH, etc. Una magnitud eléctrica puede ser una resistencia eléctrica (como en una RTD), una capacidad eléctrica (como en un sensor de humedad), una tensión eléctrica (como en un termopar), una corriente eléctrica (como en un fototransistor), etc. (Tocci, R. 2007: 720)

Un sensor se diferencia de un transductor en que el sensor está siempre en contacto con la variable de instrumentación con lo que puede decirse también que es un dispositivo que aprovecha una de sus propiedades con el fin de adaptar la señal que mide para que la pueda interpretar otro dispositivo. Como por ejemplo el termómetro de mercurio que aprovecha la propiedad que posee el mercurio de dilatarse o contraerse por la acción de la temperatura. Un sensor también puede decirse que es un dispositivo que convierte una forma de energía en otra.

Áreas de aplicación de los sensores:

- Industria automotriz.
- Robótica.
- Industria aeroespacial.
- Medicina.
- Industria de manufactura, etc.

Los sensores pueden estar conectados a un computador para obtener ventajas como son el acceso a una base de datos, la toma de valores desde el sensor, etc.

Entre las características de los sensores encontramos las siguientes:

- Rango de medida: Dominio en la magnitud medida en el que puede aplicarse el sensor.
- Precisión: Es el error de medida máximo esperado.
- Offset o desviación de cero: Valor de la variable de salida cuando la variable de entrada es nula. Si el rango de medida no llega a valores nulos de la variable de entrada, habitualmente se establece otro punto de referencia para definir el offset.
- Linealidad o correlación lineal.
- Sensibilidad de un sensor: Suponiendo que es de entrada a salida y la variación de la magnitud de entrada.
- Resolución: Mínima variación de la magnitud de entrada que puede apreciarse a la salida.
- Rapidez de respuesta: Puede ser un tiempo fijo o depender de cuánto varíe la magnitud a medir. Depende de la capacidad del sistema para seguir las variaciones de la magnitud de entrada.
- Derivas: Son otras magnitudes, aparte de la medida como magnitud de entrada, que influyen en la variable de salida. Por ejemplo, pueden ser condiciones ambientales, como la humedad, la temperatura u otras como el envejecimiento (oxidación, desgaste, etc.) del sensor.
- Repetitividad: Error esperado al repetir varias veces la misma medida.

Un sensor es un tipo de transductor que transforma la magnitud que se quiere medir o controlar, en otra, que facilita su medida. Pueden ser de indicación directa o pueden estar conectados a un indicador (posiblemente a través de un convertidor analógico a digital, un computador y un display) de modo que los valores detectados puedan ser leídos por un humano.

En la siguiente tabla se indican algunos tipos y ejemplos de sensores electrónicos.

Tabla 1: Ejemplos de tipos de sensores electrónicos.

Magnitud	Transductor	Característica
Posición lineal o angular	<u>Potenciómetro</u>	Analógica
	Encoder	Digital
	Sensor Hall	Digital
Desplazamiento y deformación	<u>Transformador diferencial de variación lineal</u>	Analógica
	<u>Galga extensiométrica</u>	Analógica
	<u>Magnetostrictivos</u>	A/D
	<u>Magnetorresistivos</u>	Analógica
	LVDT	Analógica
Velocidad lineal y angular	Dinamo tacométrica	Analógica
	<u>Encoder</u>	Digital
	<u>Detector inductivo</u>	Digital
	<u>Servo-inclinómetros</u>	A/D
	<u>RVDT</u>	Analógica
	<u>Giróscopo</u>	
Aceleración	<u>Acelerómetro</u>	Analógico
	Servo-acelerómetros	
Fuerza y par (deformación)	<u>Galga extensiométrica</u>	Analógico
	<u>Triaxiales</u>	A/D
Presión	Membranas	Analógica
	<u>Piezoeléctricos</u>	Analógica
	<u>Manómetros Digitales</u>	Digital

<u>Caudal</u>	<u>Turbina</u>	Analógica
	Magnético	Analógica
<u>Temperatura</u>	<u>Termopar</u>	Analógica
	<u>RTD</u>	Analógica
	<u>Termistor NTC</u>	Analógica
	<u>Termistor PTC</u>	Analógica
	[<u>Bimetal - Termostato</u>]	I/O
Sensores de presencia	Inductivos	I/O
	Capacitivos	I/O
	Ópticos	I/O y Analógica
Sensores táctiles	Matriz de contactos	I/O
	<u>Piel artificial</u>	Analógica
Visión artificial	Cámaras de video	Procesamiento digital
	Cámaras CCD o <u>CMOS</u>	Procesamiento digital
<u>Sensor de proximidad</u>	<u>Sensor final de carrera</u>	
	<u>Sensor capacitivo</u>	Analógica
	<u>Sensor inductivo</u>	Analógica
	<u>Sensor fotoeléctrico</u>	Analógica
Sensor acústico (<u>presión sonora</u>)	<u>Micrófono</u>	Analógica
Sensores de <u>acidez</u>	FET	

<u>Sensor de luz</u>	<u>Fotodiodo</u>	Analógica
	<u>Fotorresistencia</u>	Analógica
	<u>Fototransistor</u>	Analógica
	<u>Célula fotoeléctrica</u>	Analógica
Sensores captura de movimiento	Sensores inerciales	

Fuente: Diseño propio. 2014.

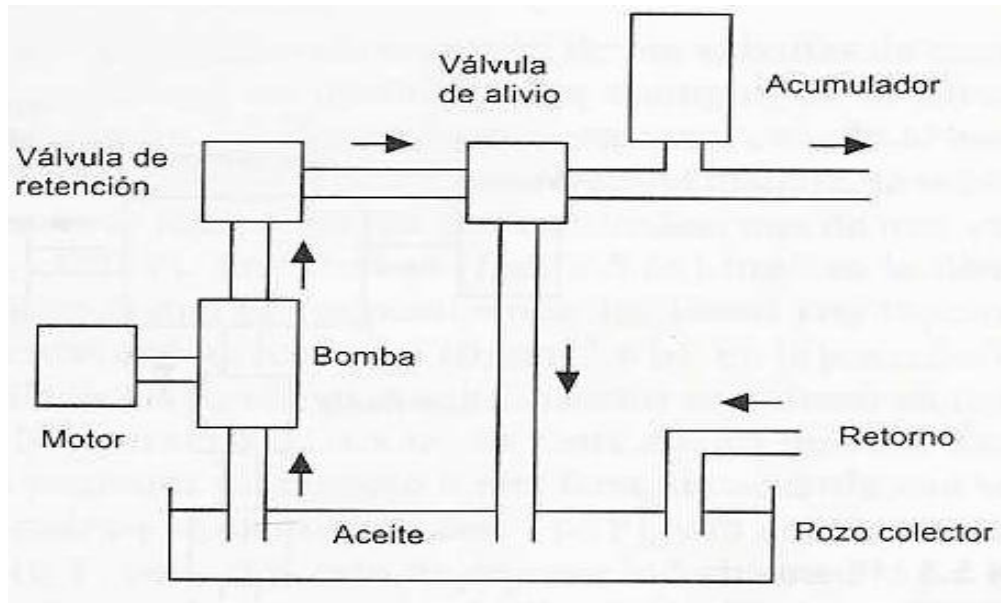
2.4.- SISTEMAS DE ACTUADORES.

Los sistemas de actuadores son los elementos de los sistemas de control que transforman la salida de un microprocesador o un sistema de control en una acción de manipulación para una máquina o dispositivo.

2.4.1.- Actuadores neumáticos e hidráulicos.

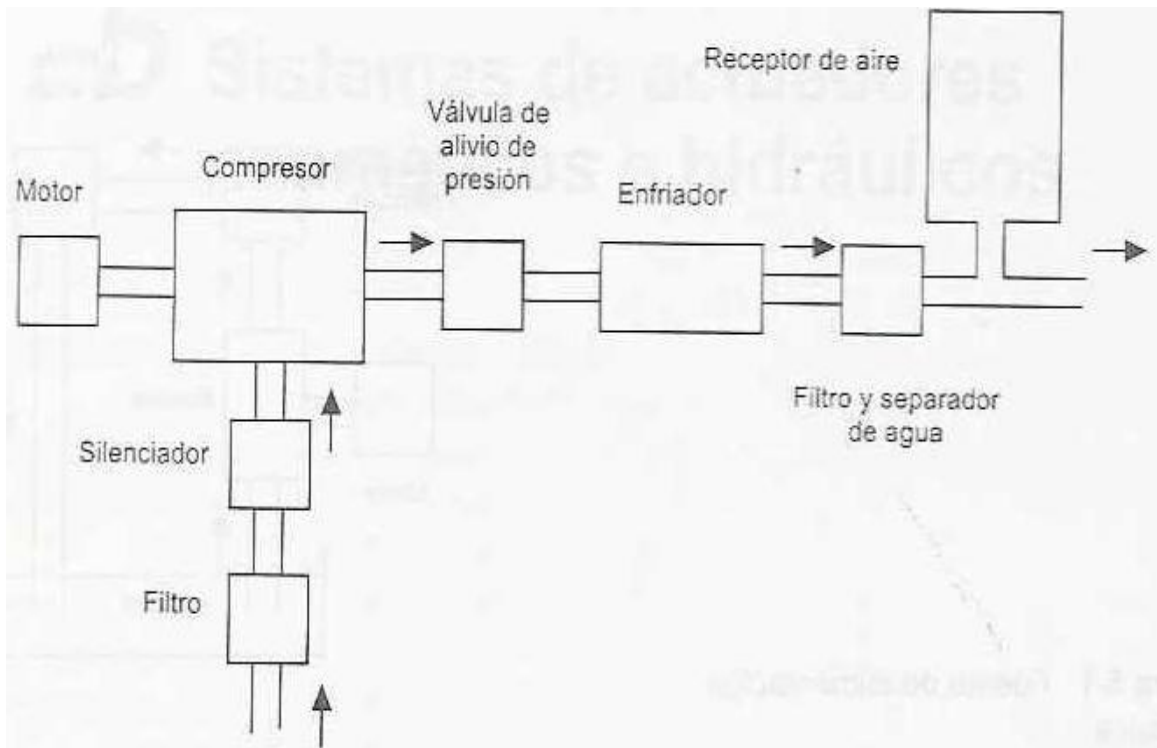
Con frecuencia las señales neumáticas son utilizadas para controlar elementos de actuación final, incluso cuando el sistema de control es eléctrico. Esto se debe a que con dichas señales es posible accionar válvulas de grandes dimensiones y otros dispositivos de control que requieren mucha potencia para mover cargas considerables. La principal desventaja de los sistemas neumáticos es la compresibilidad del aire. Las señales hidráulicas se usan en dispositivos de control de mucha mayor potencia; sin embargo, son más costosas que los sistemas neumáticos y hay riesgos asociados con fugas de aceite, que no existen en una fuga de aire.

Figura 14: Fuente de alimentación hidráulica con sus componentes.



Fuente: Bolton, 2001: 123.

Figura 15: Fuente de alimentación neumática con sus componentes.

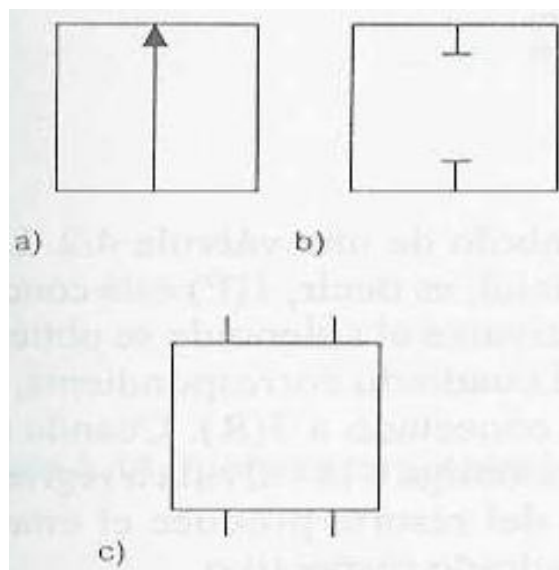


Fuente: Bolton, 2001: 124.

2.4.1.1.- Válvulas para control de dirección.

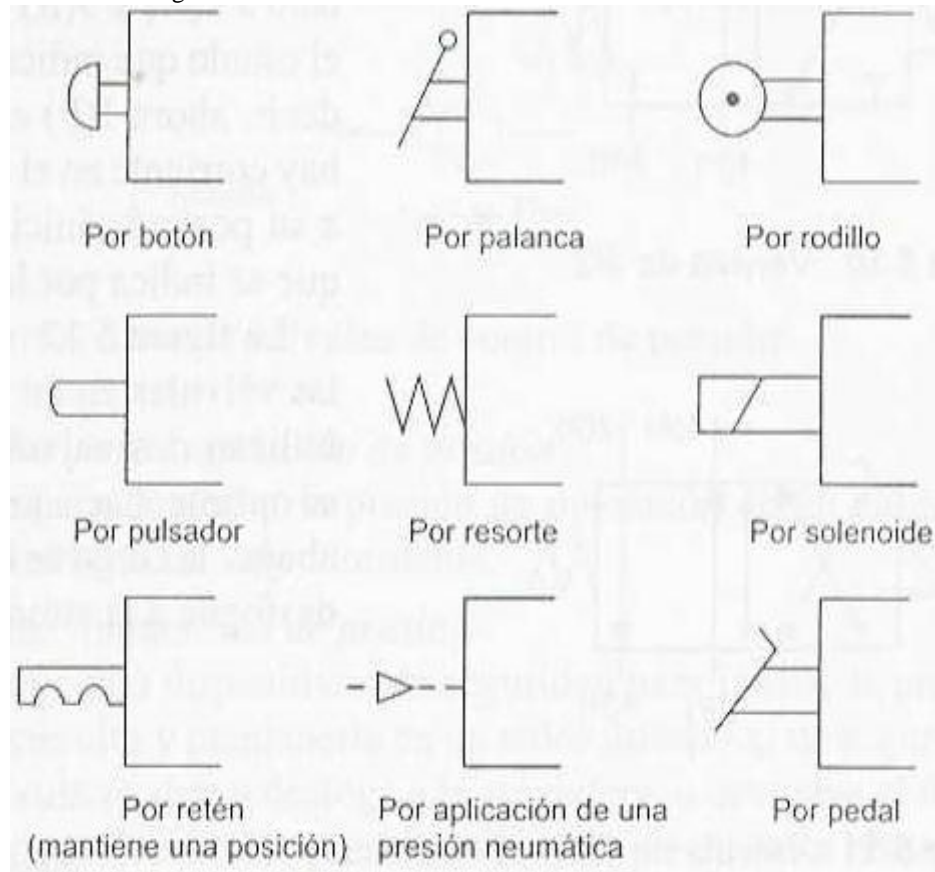
En los sistemas neumáticos e hidráulicos se utilizan válvulas de control de dirección para controlar el sentido de flujo de un fluido que pasa por un sistema. Su función no es modificar el gasto de un fluido, pero son dispositivos abiertos o cerrados por completo, es decir abierto/cerrado (on/off). Estas válvulas se utilizan con frecuencia en el diseño de sistemas de control de secuencia, y se activan para cambiar la dirección del flujo de un fluido mediante señales mecánicas, eléctricas o de presión de fluidos. La simbología de las válvulas para representar diferentes posiciones de conexión se muestran mediante un cuadrado.

Figura 16: a) Trayectoria del flujo, b) Interrupción del flujo, c) Conexiones lineales.



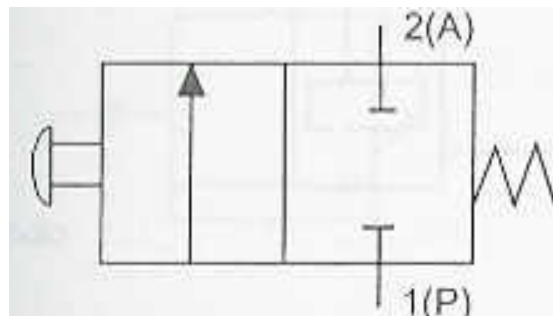
Fuente: Bolton, 2001: 125.

Figura 17: Símbolos de modalidades de actuación de válvulas.



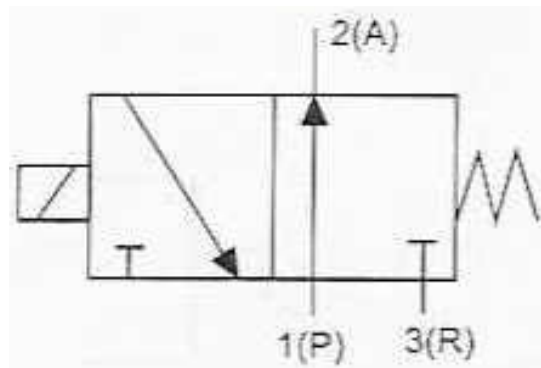
Fuente: Bolton, 2001: 125.

Figura 18: Válvula de dos puertos y dos posiciones o válvula 2/2.



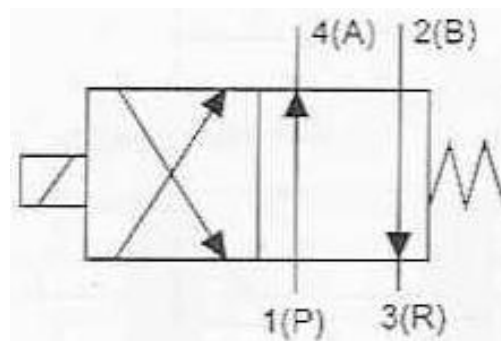
Fuente: Bolton, 2001: 125.

Figura 19: Válvula de tres puertos y dos posiciones o válvula 3/2.



Fuente: Bolton, 2001: 126.

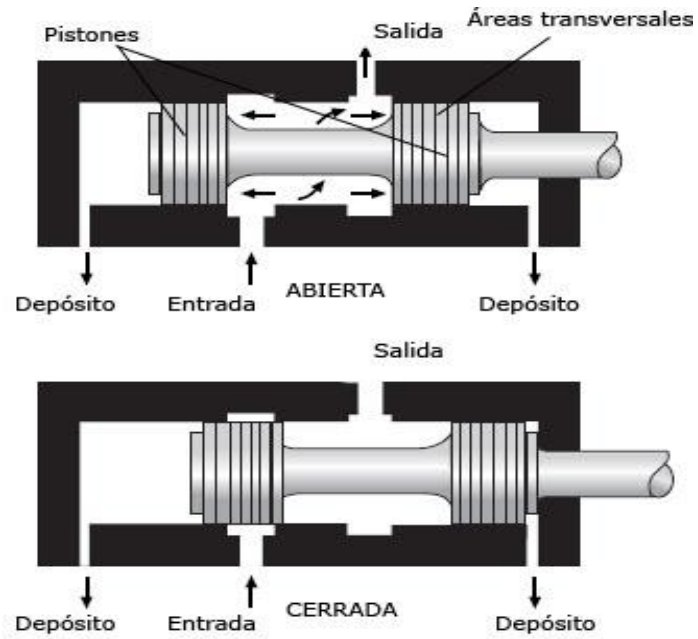
Figura 20: Válvula de cuatro puertos y dos posiciones o válvula 4/2.



Fuente: Bolton, 2001: 126.

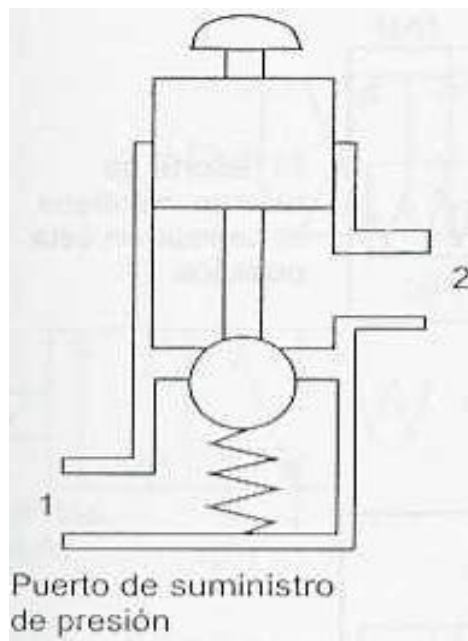
A continuación, en este apartado, mencionaremos el nombre de diversas válvulas utilizadas en los sistemas de neumáticos e hidráulicos.

Figura 21: Válvula de carrete.



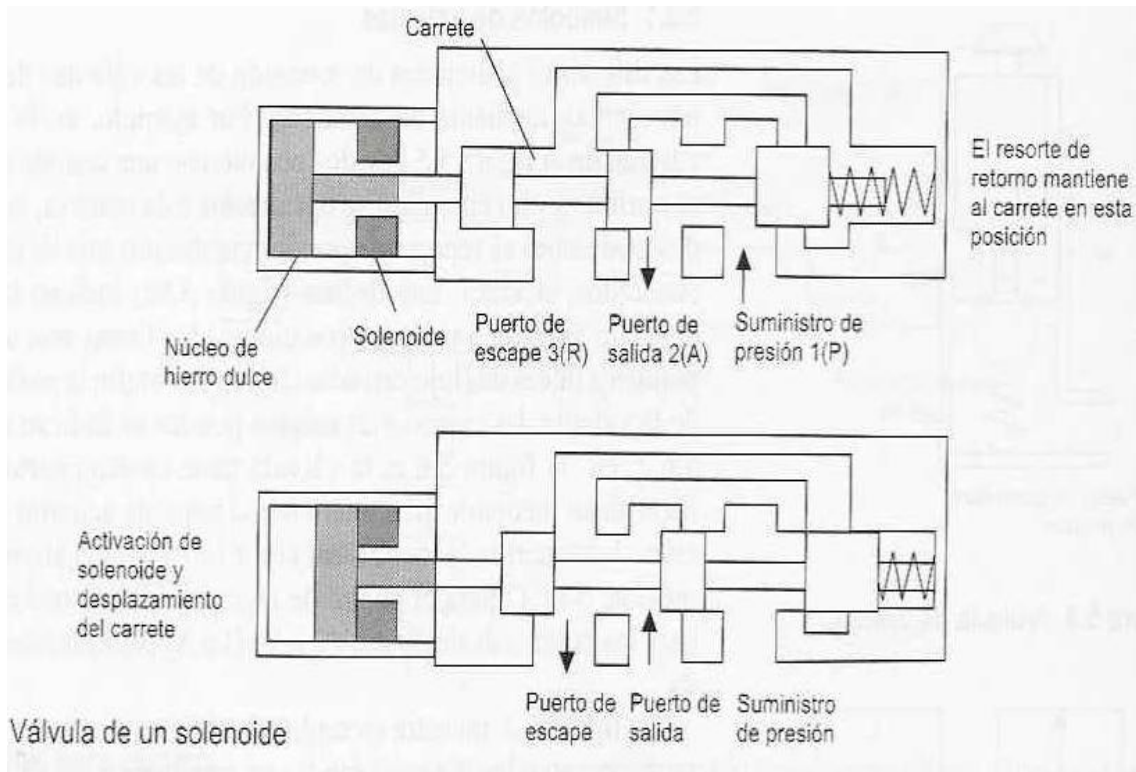
Fuente: Google. 2014.

Figura 22: Válvula de vástago.



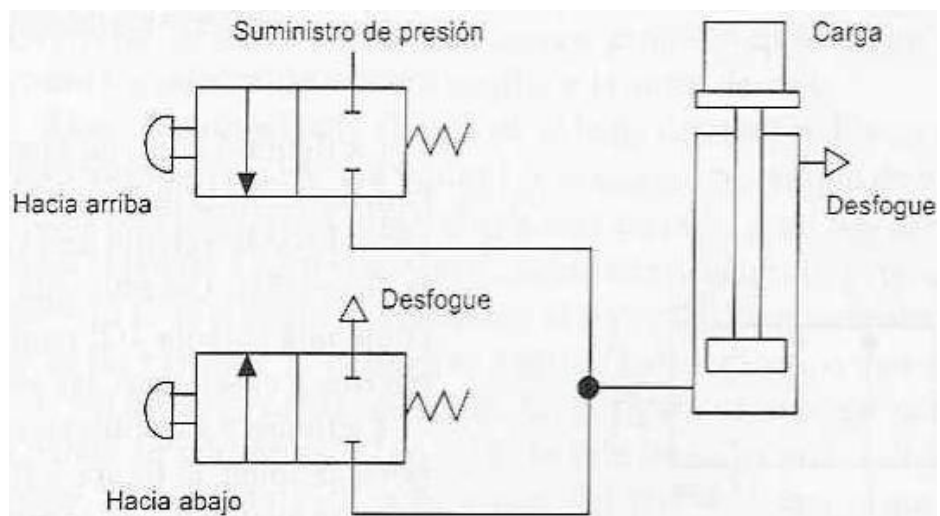
Fuente: Bolton, 2001: 125.

Figura 23: Válvula de un solenoide.



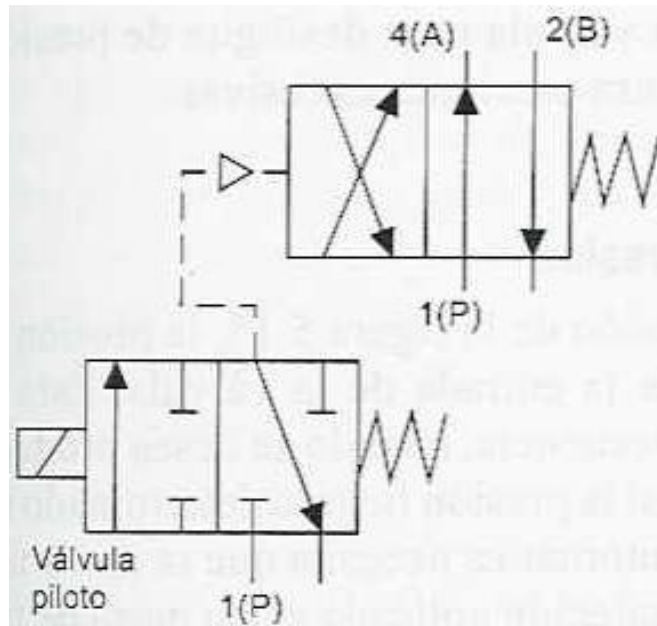
Fuente: Bolton, 2001: 126.

Figura 24: Diagramación y uso de válvulas en un sistema de levantamiento de peso neumático.



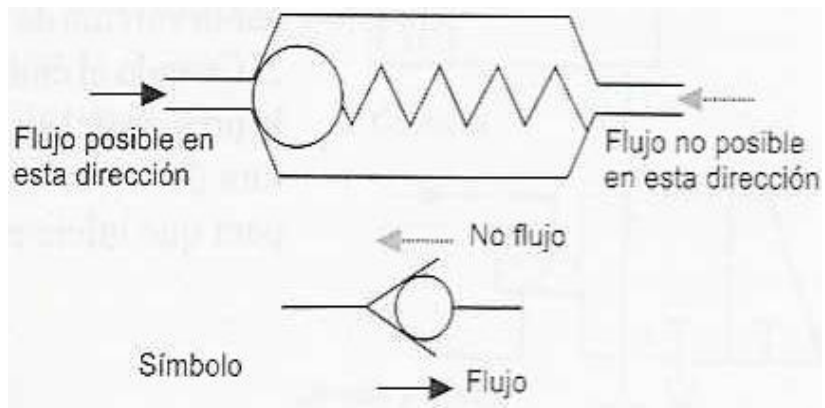
Fuente: Bolton, 2001: 126.

Figura 25: Conjunto de válvulas accionadas por piloto o llámese también pilotaje.



Fuente: Bolton, 2001: 127.

Figura 26: Válvula direccional.



Fuente: Bolton, 2001: 128.

2.4.1.2.- Válvulas de control de presión

Existen varios tipos de válvulas de control de presión:

- Válvulas para regulación de presión: Llámense también válvulas reguladoras de presión, sirven para controlar la presión de operación de un circuito y mantenerla en un valor constante.

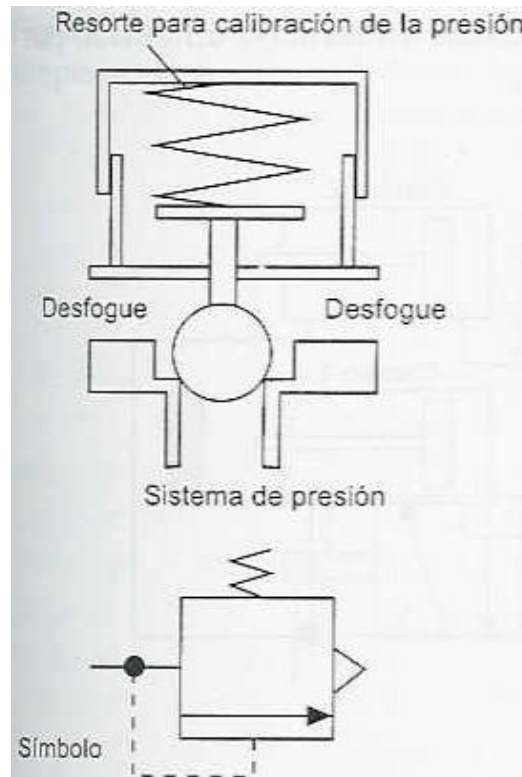
Figura 27: Válvula reguladora de presión.



Fuente: Google. 2014.

- Válvulas limitadoras de presión: Conocidas también como válvulas limitadoras de desfogue, se usan como dispositivos de seguridad para limitar la presión en un circuito y mantenerla en un valor inferior al de seguridad. La válvula se abre y desfoga a la atmósfera, o devuelve el fluido al pozo recolector si la presión es mayor que un valor de seguridad predeterminado.

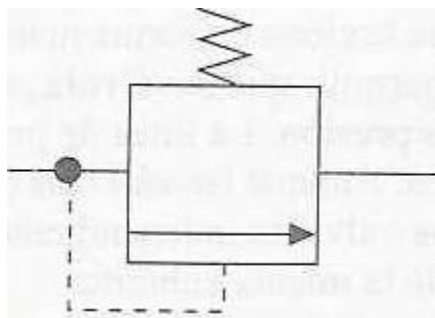
Figura 28: Válvula limitadora de presión con su respectivo símbolo.



Fuente: Bolton, 2001: 127.

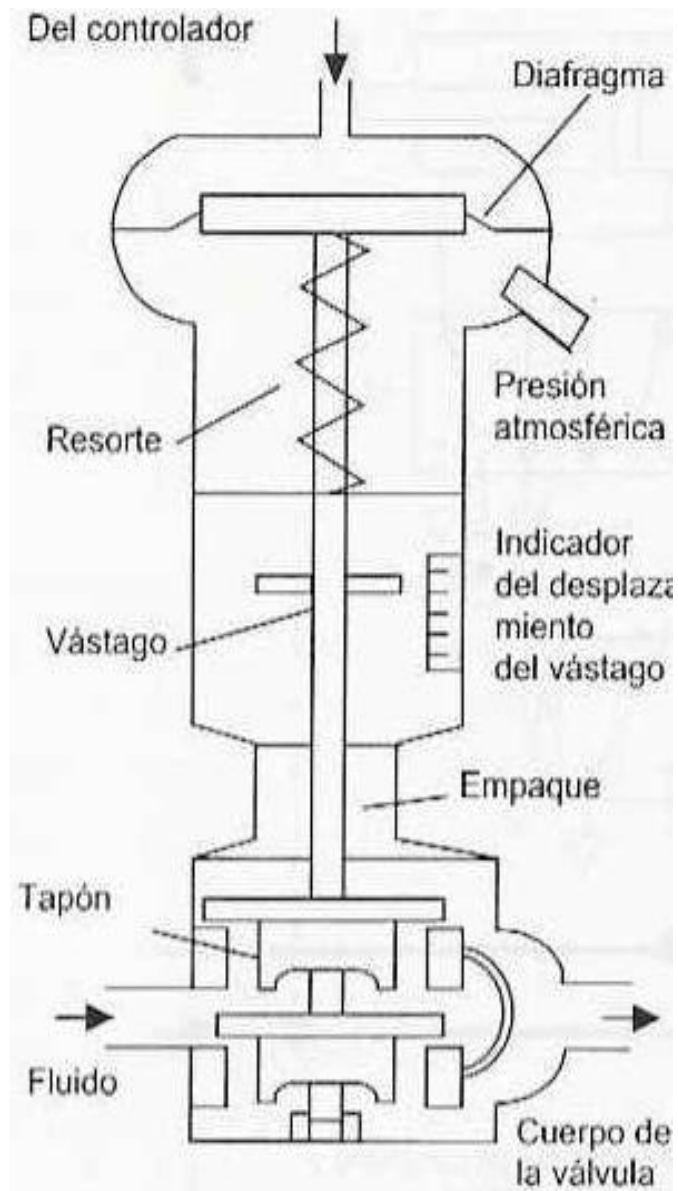
- Válvulas de secuencia de presión: Estas válvulas se usan para detectar la presión de una línea externa y producir una señal cuando se alcanza un valor ya determinado.

Figura 29: Símbolo de una válvula de secuencia de presión.



Fuente: Bolton, 2001: 128.

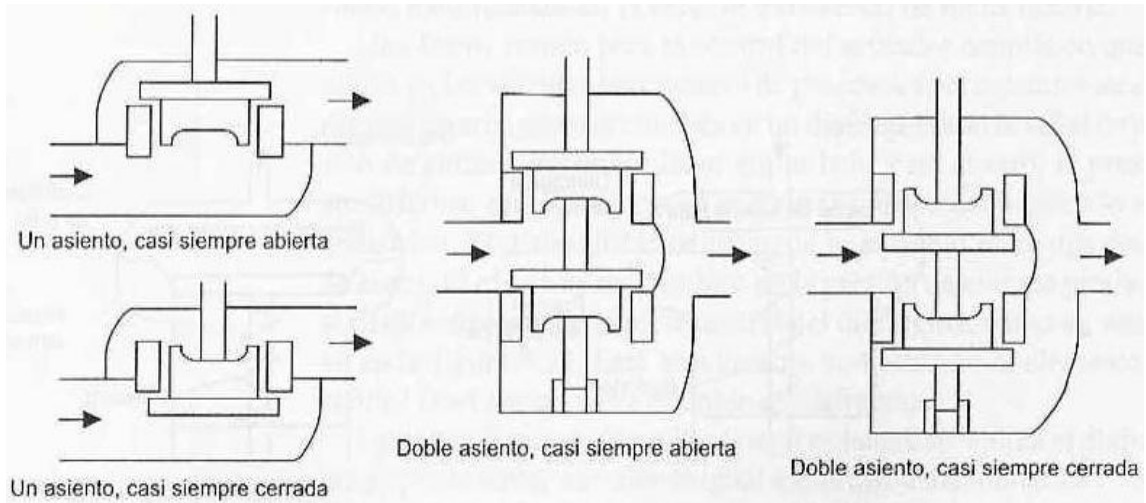
Figura 30: Válvula para control de proceso accionada por diafragma.



Fuente: Bolton, 2001: 134.

Diversas válvulas usadas en procesos automáticos utilizan distintos cuerpos y tapones, a continuación algunos de ellos:

Figura 31: Diversos tipos de cuerpos de válvulas.



Fuente: Bolton, 2001: 134.

Figura 32: Diversas formas de tapones de válvulas.



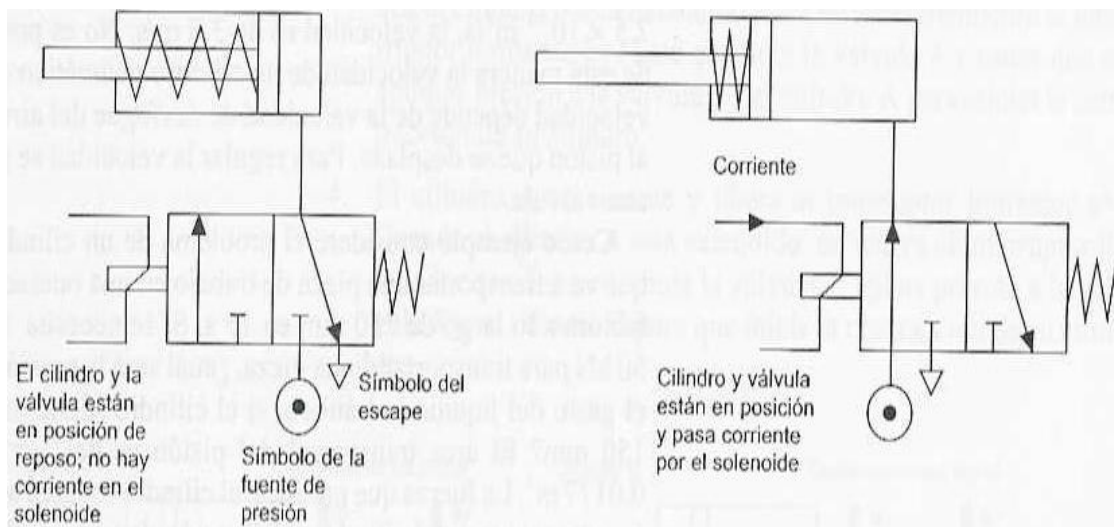
Fuente: Bolton, 2001: 135.

2.4.1.3.- Cilindros.

El cilindro hidráulico o neumático son ejemplos de actuadores lineales. Los principios y configuración son los mismos, tanto para la versión hidráulica como para la neumática; las únicas diferencias son el tamaño, debido a las mayores presiones que se utilizan en las versiones hidráulicas. El cilindro consiste en un tubo cilíndrico por el que se desplaza un pistón/émbolo.

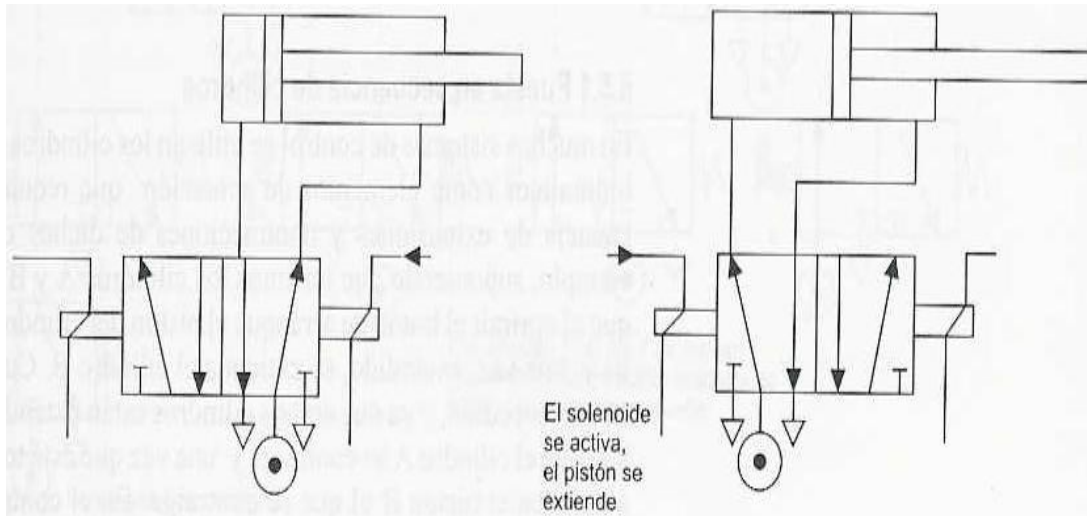
El término *simple efecto* se utiliza cuando la presión se aplica sólo en uno de los extremos del pistón; en general se utiliza un resorte para oponerse al desplazamiento del pistón. El término *doble efecto* se utiliza cuando se aplica presión de control a los dos lados del pistón, el cual se desplaza por el cilindro en alguna de las dos direcciones debido a las señales de alta presión.

Figura 33: Control de un cilindro de simple acción o efecto.



Fuente: Bolton, 2001: 129.

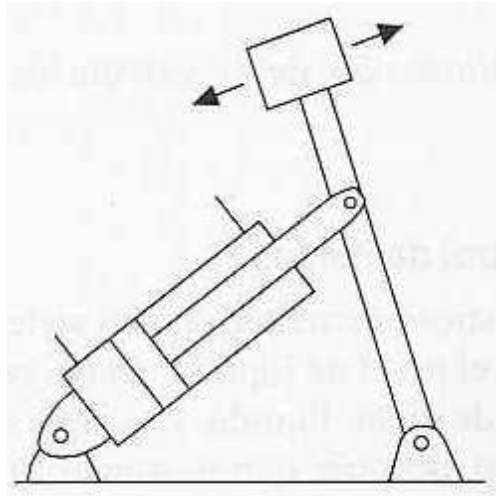
Figura 34: Control de un cilindro de doble acción o efecto.



Fuente: Bolton, 2001: 129.

Si requerimos realizar movimientos giratorios a 360 grados o semi – giratorios podemos emplear actuadores giratorios, o bien, cilindros lineales provisto de conexiones necesarias para producir movimientos rotatorios con ángulos menos de 360 grados como los siguientes, así como el elemento que los hace funcionar, en este caso un motor neumático de álabes:

Figura 35: Cilindro lineal para producir una rotación.



Fuente: Bolton, 2001: 138.

Figura 36: Actuador semigratorio tipo álabe.

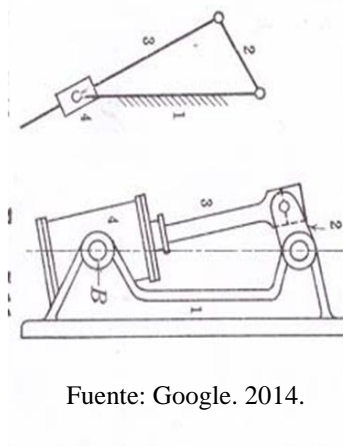


Fuente: Bolton, 2001: 139.

2.4.2.- Actuadores mecánicos.

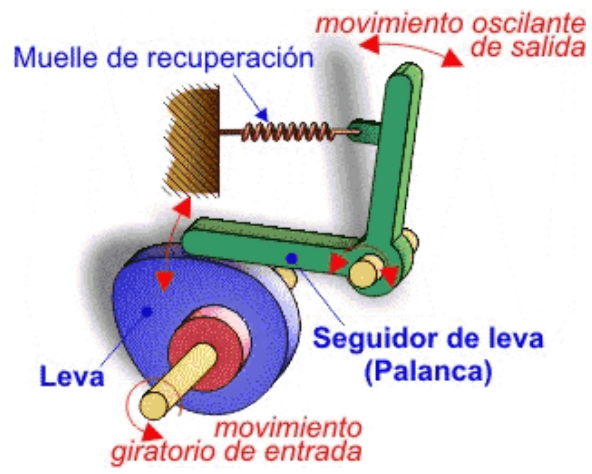
Dentro de los actuadores mecánicos se encuentra el tema de los *mecanismos*, es decir, dispositivos que se pueden considerar convertidores de movimientos, en tanto, transforman el movimiento de una forma a otra. Entre los elementos mecánicos están los mecanismos de barras articuladas, levas, engranes, cremalleras, cadenas, correas de transmisión; Ver figuras, como ejemplos.

Figura 37: Mecanismo de barra articulada.



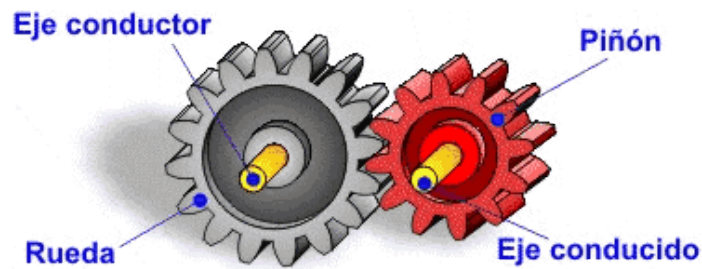
Fuente: Google. 2014.

Figura 38: Leva.



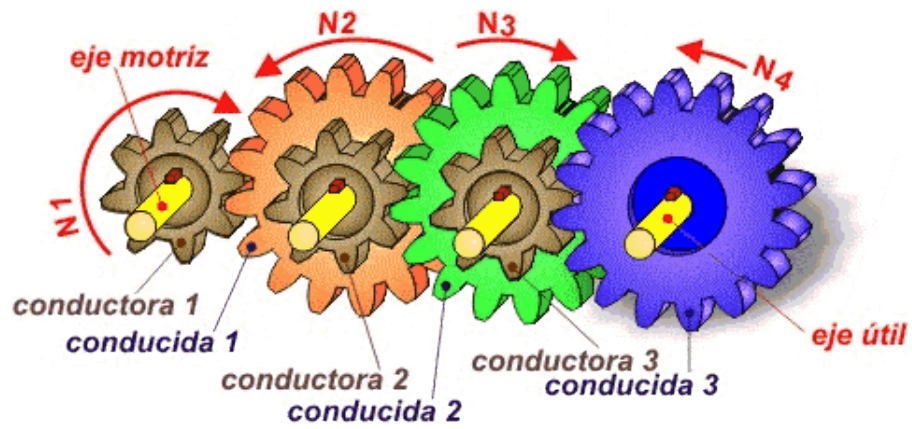
Fuente: Google. 2014

Figura 39: Eje de engranes.



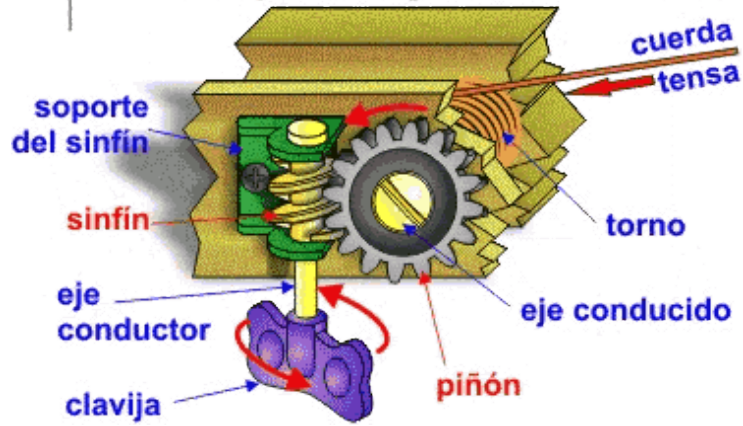
Fuente: Google. 2014.

Figura 40: Tren de engranes.



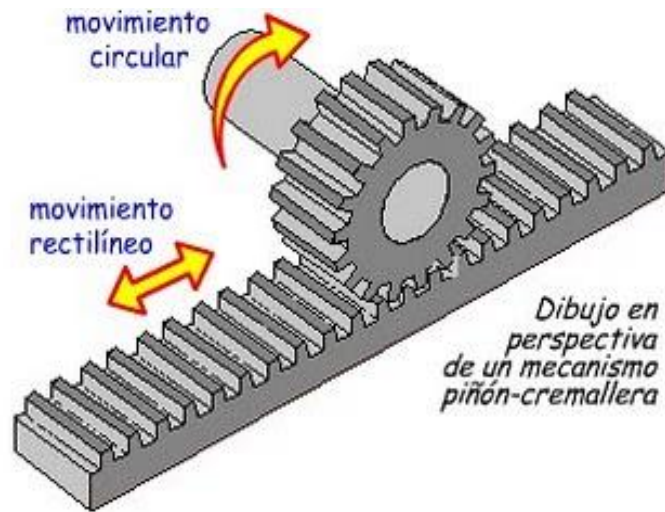
Fuente: Google. 2014.

Figura 41: Tornillo sin fin.
clavija de una guitarra



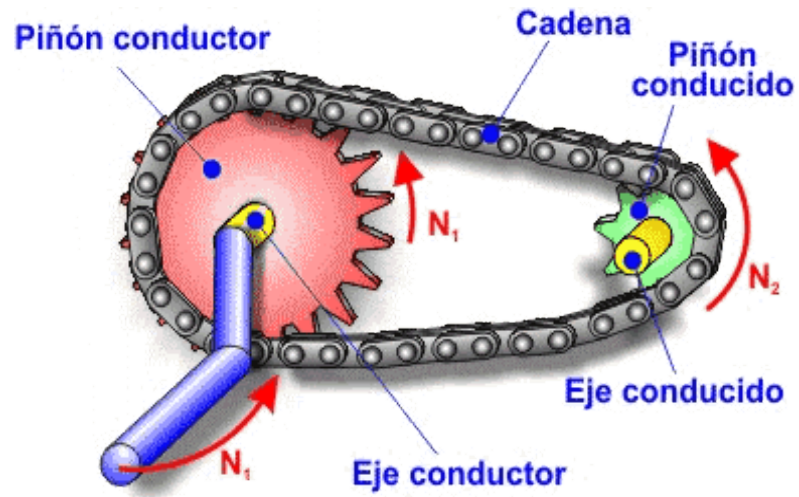
Fuente: Google. 2014.

Figura 42: Mecanismos piñón – cremallera.



Fuente: Google. 2014.

Figura 43: Mecanismo cadena – piñón.



Fuente: Google. 2014.

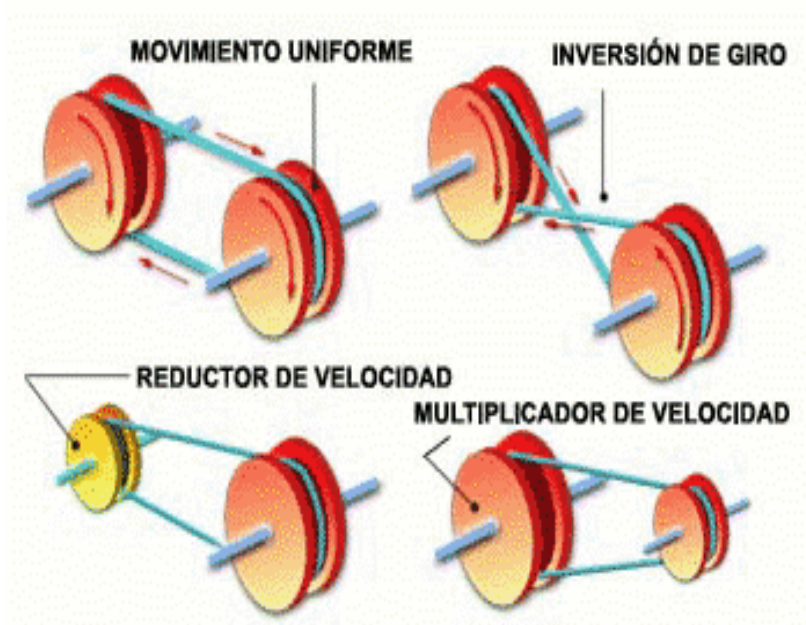
Para ampliar más el referente de la temática tratada se indican las correas de transmisión o bandas; Ver las figuras como ejemplos:

Figura 44: Correa plana.



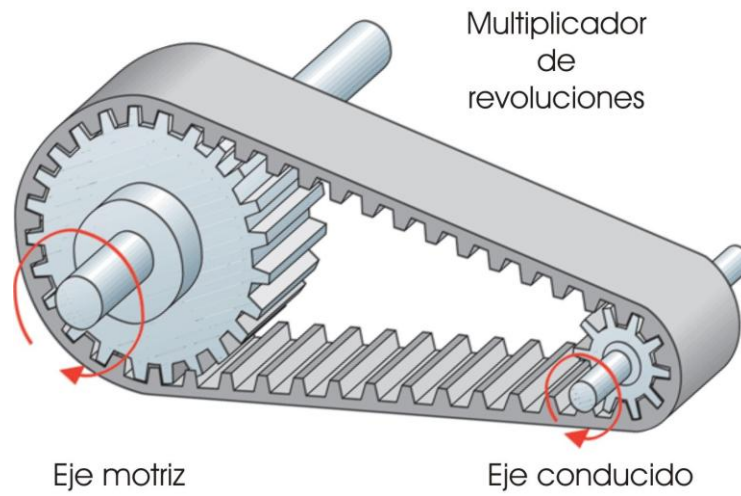
Fuente: Google. 2014.

Figura 45: Correa redonda o circular.



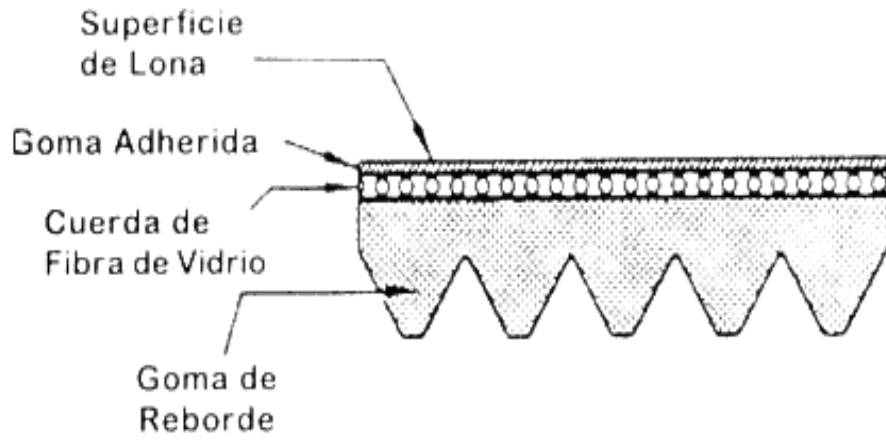
Fuente: Google. 2014.

Figura 46: Correa dentada.

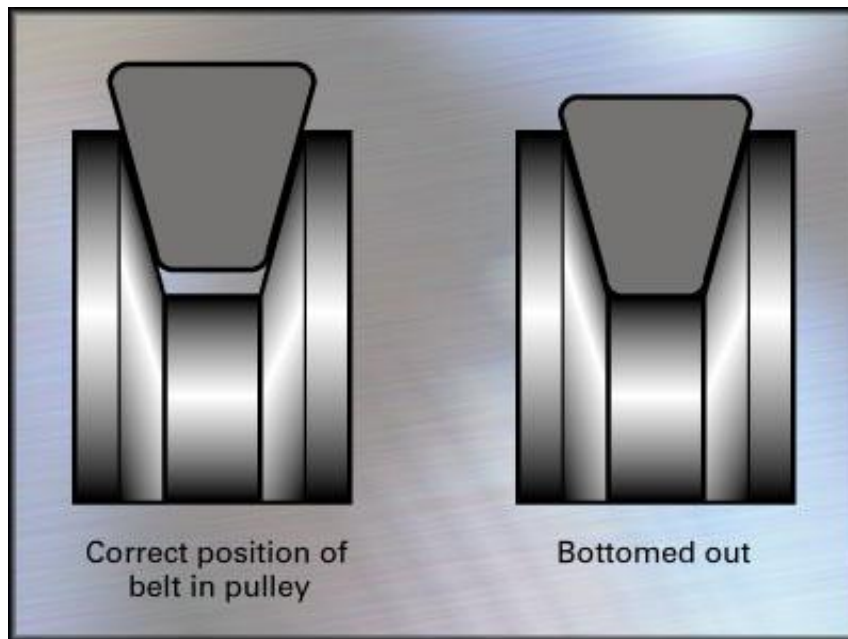


Fuente: Google. 2014.

Figura 47: a) Componentes de una correa en V, b) Correa nervada en V.



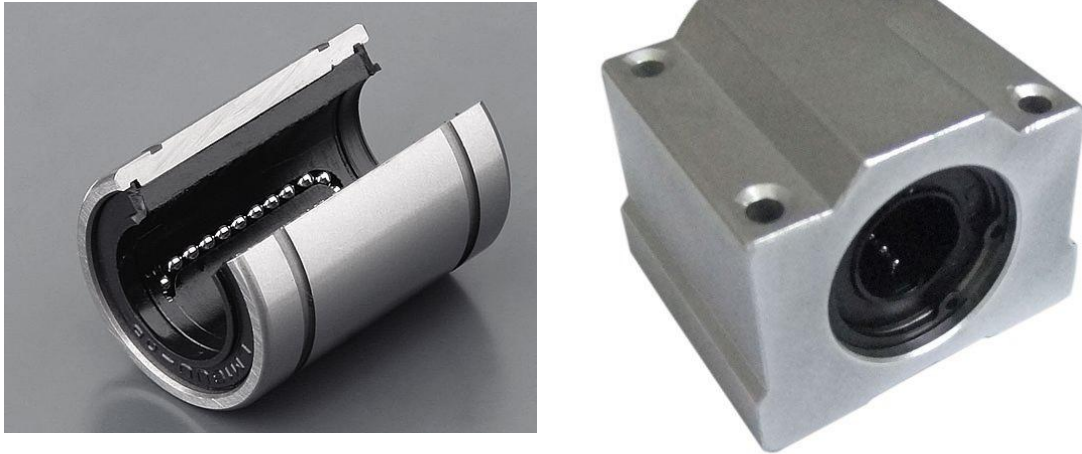
Correa Nervada en V



Fuente: Google. 2014.

Seguidamente se plasman otros ejemplos como en el caso de las chumaceras, hallamos los siguientes tipos y formas de lubricación:

Figura 48: Cojinetes de deslizamiento.

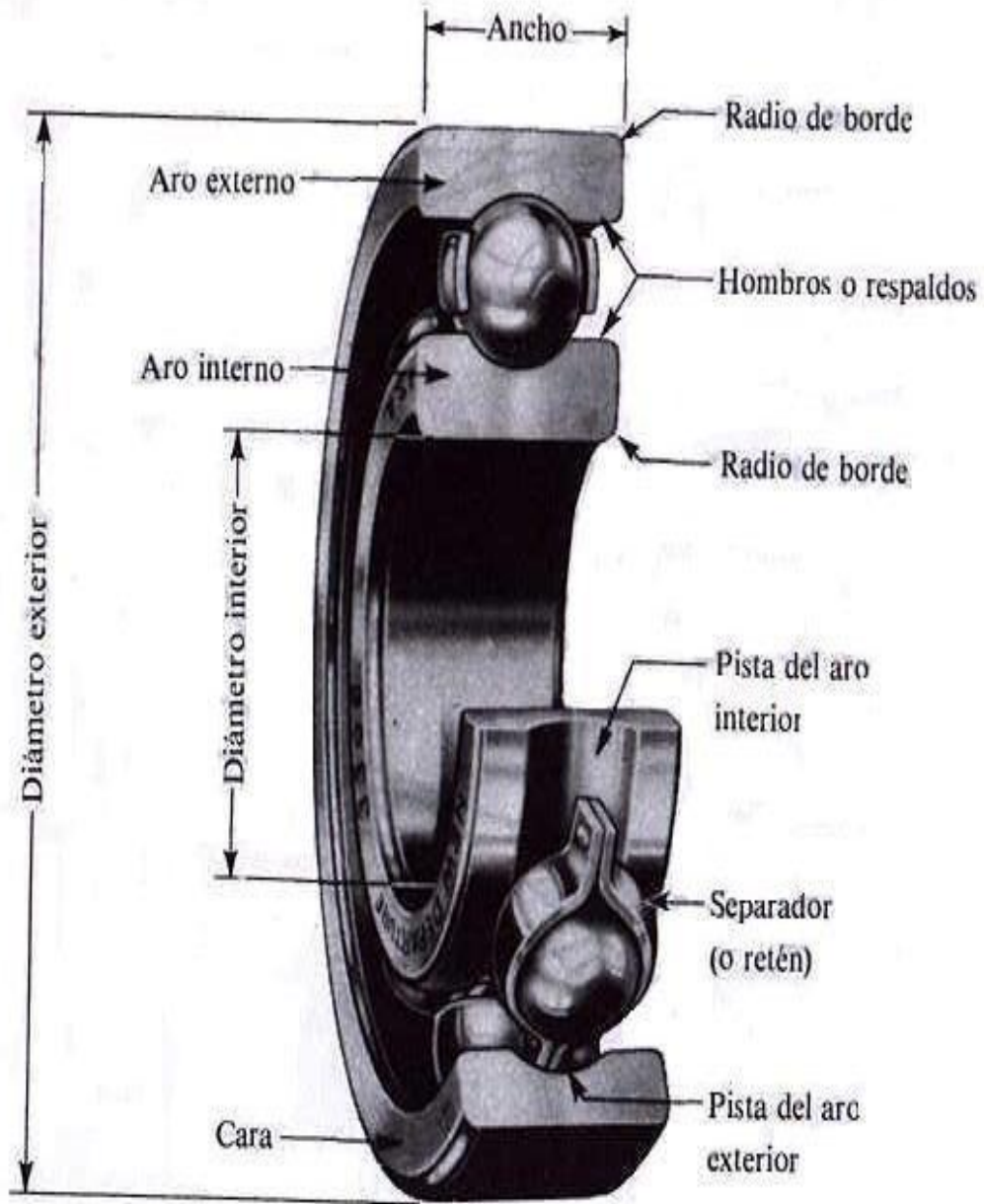


Fuente: Google. 2014.

Para la lubricación del cojinete, existen estos tipos:

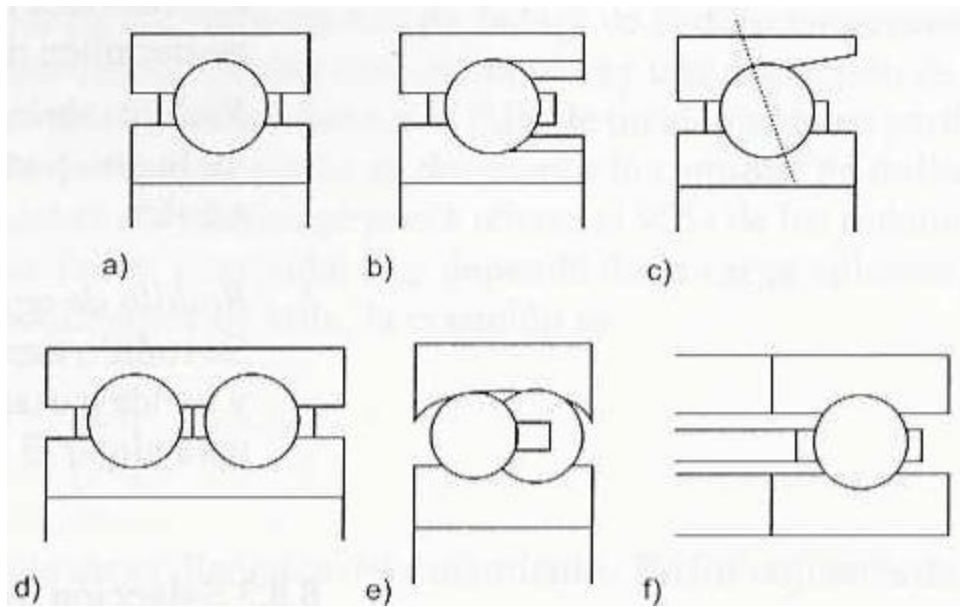
- Hidrodinámica
- Hidrostática
- Capa sólida
- Capa límite

Figura 49: Cojinete rígido de bolas y sus elementos básicos.



Fuente: Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, Budynas & Nisbett, 2008: 551.

Figura 50: Tipos de rodamientos de bolas: a) Rígido de bolas, b) Ranura de relleno c) Contacto angular d) De doble hilera e) Cojinete autoalineable f) Axiales.



Fuente: Bolton, 2001: 155.

También hay diversos tipos de cojinetes de rodillo, los siguientes son algunos ejemplos de ellos:

Figura 51: Rodillo cilíndrico.



Fuente: Google. 2014.

Figura 52: Rodillo cónico.



Fuente: Google. 2014.

Figura 53: Rodillo de agujas.



Fuente: Google. 2014.

2.4.3.- Actuadores eléctricos.

Al conocer los sistemas eléctricos que se emplean como actuadores de control deberán tenerse en cuenta los siguientes dispositivos y sistemas:

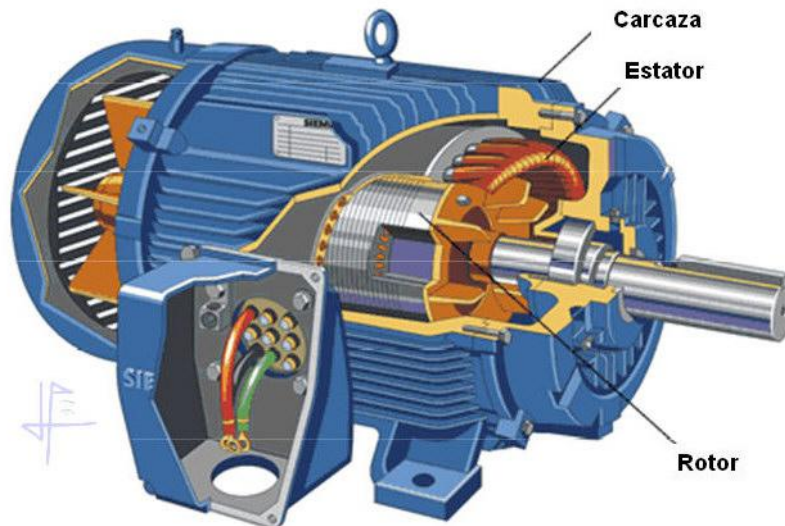
- *Dispositivos de conmutación*, como son los interruptores mecánicos (relevadores) y los interruptores en estado sólido (diodos, tiristores y transistores), en los que la señal de control enciende o apaga un dispositivo eléctrico.
- *Dispositivos tipo solenoide*, en los cuales una corriente que pasa por un solenoide acciona un núcleo de hierro dulce.
- *Sistemas motrices*, por ejemplo, motores de corriente directa y motores de corriente alterna, en los cuales la corriente que pasa por el motor produce una rotación.

Para el caso de los *sistemas motrices* en los que se incluyen los motores de corriente directa y corriente alterna, se hace una clasificación como tal, mencionando sus componentes básicos:

Motores de corriente directa o continua CD:

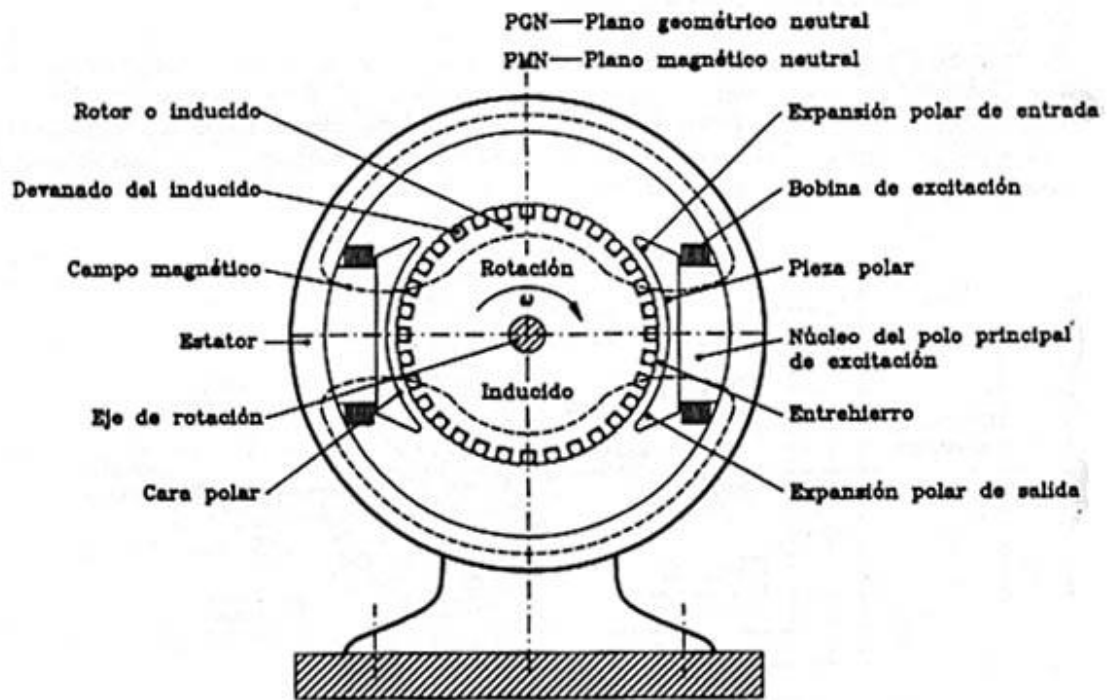
- Motor de CD de imán permanente.
- Motor de CD con devanados de campo.
 - Motores con excitación en serie.
 - Motor en derivación o en paralelo.
 - Motor de excitación compuesta.
 - Motor de excitación independiente.
- Motor de CD de imán permanente y sin escobillas.

Figura 54: Ejemplo de motor de corriente continua.



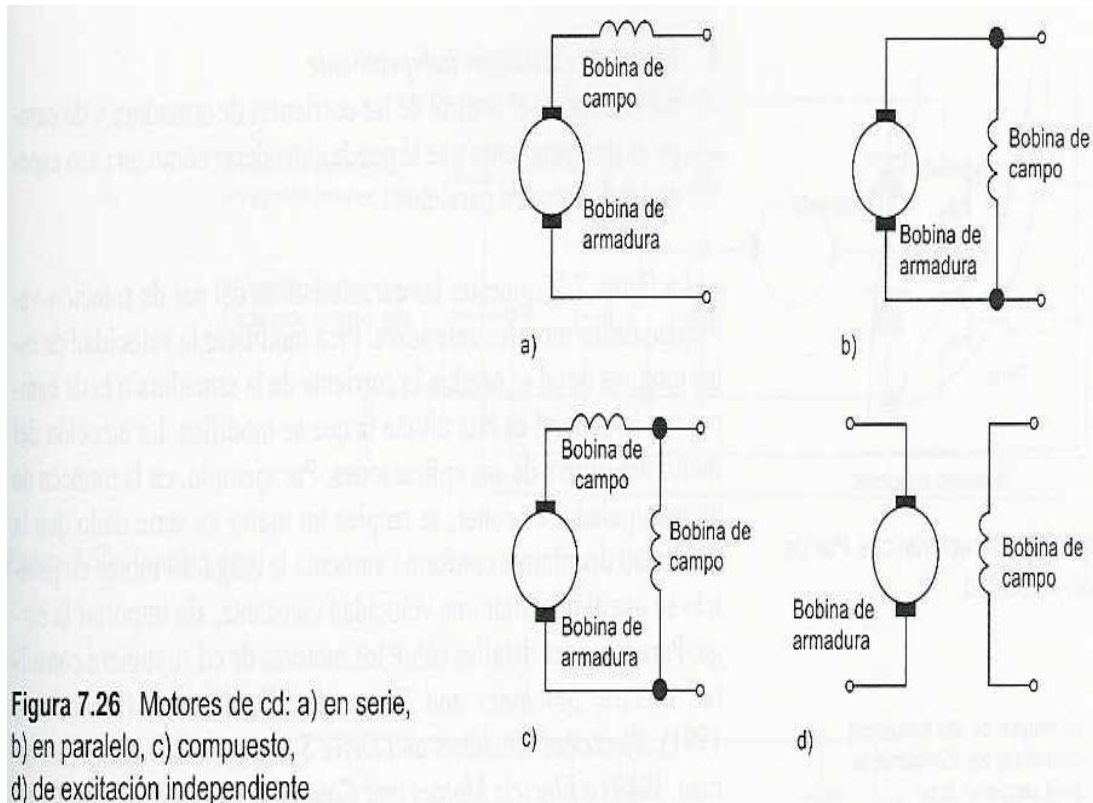
Fuente: Google. 2014.

Figura 55: Componentes de un motor de corriente continua.



Fuente: Google. 2014.

Figura 56: Diagrama para motores de corriente continua en: a) serie o con excitación, b) paralelo o derivación, c) excitación compuesta, d) excitación independiente.



Fuente: Bolton, 2001: 171.

Motores de corriente altera CA:

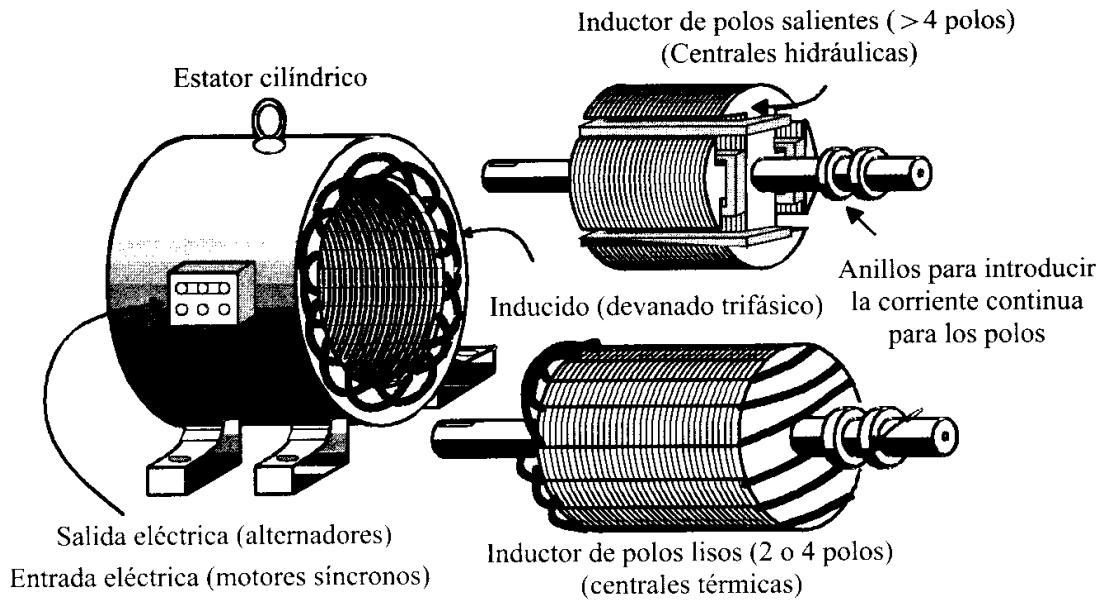
- Monofásicos.
 - Motores de inducción, jaula de ardilla o asíncrono.
 - Motores síncronos.
- Polifásicos.
 - Motores de inducción, jaula de ardilla o asíncrono.
 - Motores síncronos.

Figura 57: Motor de inducción con rotor de jaula de ardilla.



Fuente: Google. 2014.

Figura 58: Tipos de máquinas síncronas.



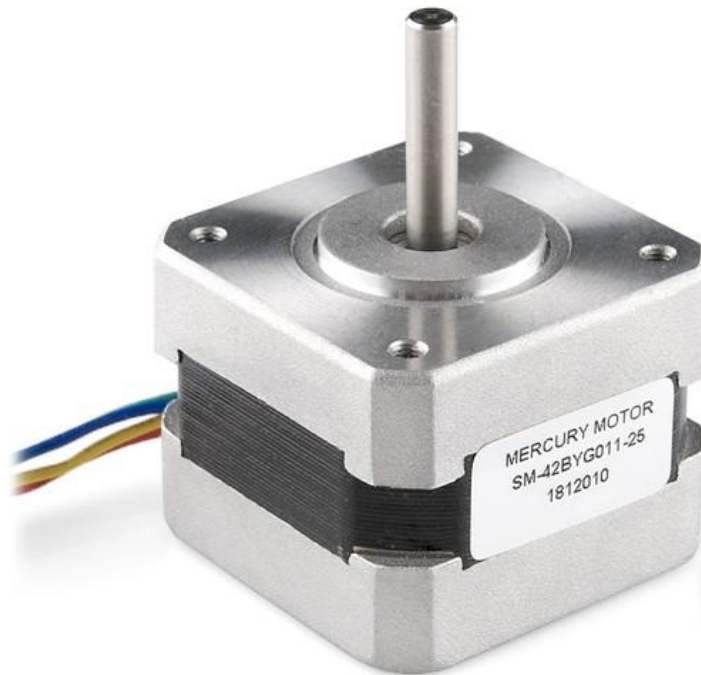
Tipos de máquinas síncronas.

Fuente: Google. 2014.

Los *motores paso a paso* son dispositivos que producen una rotación en ángulos iguales, denominados *pasos*, por cada impulso digital que llega a su entrada. Por ejemplo, si en el caso de un motor a pulso produce un giro de 6° , entonces 60 pulsos producirán una rotación de 360° . Existen diversos tipos de motores paso a paso:

- Motor paso a paso de reluctancia variable.
- Motor paso a paso de imán permanente.
- Motor paso a paso híbrido.

Figura 59: Ejemplo de motor paso a paso.



Fuente: Google. 2014.

Para los motores paso a paso se manejan las siguientes especificaciones:

- Fase: La cantidad de devanados independientes del estator.
- Ángulo de paso: Ángulo que gira el rotor durante un cambio de estado en los devanados del estator.
- Par de retención: Es el máximo par de rotación que se puede aplicar a un motor energizado sin modificar su posición de reposo y provocar la rotación del eje.
- Par máximo de enganche: Es el par de rotación máxima con el que puede arrancar un motor, dada una frecuencia de pulsos, y lograr la sincronización sin perder un paso.
- Par máximo de desenganche: Es el par de rotación máximo que es posible aplicar a un motor, trabajando a determinada frecuencia de pasos, sin perder su sincronización.
- Frecuencia de enganche: Es la frecuencia de conmutación máxima a la que un motor cargado puede arrancar sin perder un paso.
- Frecuencia de desenganche: Es la frecuencia de conmutación en la que un motor cargado puede mantener su sincronía conforme se reduce la frecuencia de conmutación.
- Velocidad de progresión: Es el rango de frecuencias de conmutación entre el enganche y el desenganche con el cual el motor funciona en sincronía, pero no puede ni arrancar ni invertir su giro.

2.5.- MODELADO MATEMÁTICO DE SISTEMAS FÍSICOS O DINÁMICOS.

Un primer paso importante en el análisis y diseño de sistemas de control es el modelado matemático de los procesos controlados. Para analizar los sistemas de control se necesitan *modelos matemáticos* de los elementos que se emplean en dichos sistemas, así, como el conjunto de variables que describen las características dinámicas de éstos mismos. Estos modelos son ecuaciones que representan la relación entre la entrada y la salida del sistema y éstas pueden ser lineales o no lineales, variantes o invariantes con el tiempo. Las bases de cualquier modelo matemático provienen de las leyes físicas fundamentales que gobiernan el comportamiento de un elemento.

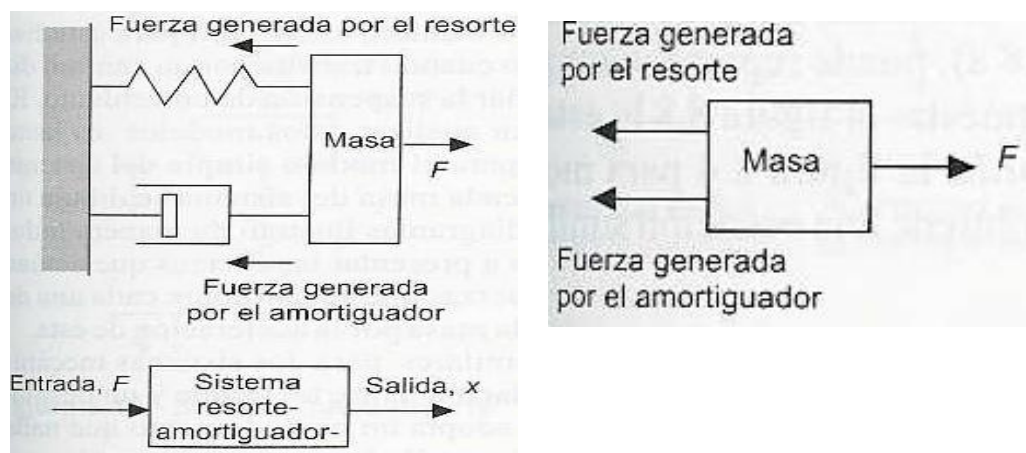
En resumen, el tratamiento de los problemas de sistemas dinámicos puede establecerse como sigue:

- Definir el sistema y sus componentes.
- Formular el modelo matemático y enumerar las suposiciones necesarias.
- Escribir las ecuaciones que describan el modelo.
- Resolver las ecuaciones para las variables de salidas deseadas.
- Examinar las soluciones y las hipótesis.
- Si es necesario, volver a analizar o diseñar el sistema.

2.5.1.- Elementos básicos de sistemas mecánicos.

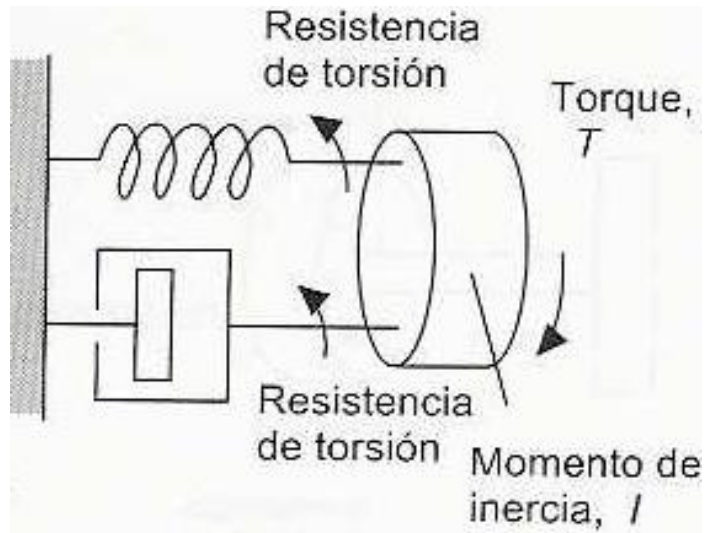
Los elementos básicos que se representan y se utilizan para representar sistemas mecánicos son los resortes, amortiguadores y masas. Los *resortes* representan la rigidez del sistema, los *amortiguadores*, las fuerzas que se oponen al movimiento, es decir, los efectos de fricción o amortiguamiento, y las *masas*, la inercia o resistencia a la aceleración; considerando desplazamientos traslacionales o sin rotación. En realidad el sistema mecánico no tiene que estar hecho de resortes, amortiguadores o masas, sino poseer las propiedades de rigidez, amortiguamiento e inercia. Si existe una rotación, los elementos básicos equivalentes son el resorte de torsión, el amortiguador giratorio y el momento de inercia.

Figura 60: Sistema resorte – amortiguador – masa y respectivos diagramas de cuerpo libre.



Fuente: Bolton, 2001: 189.

Figura 61: Construcción del modelo de rotación de una masa con elementos básicos.



Fuente: Bolton, 2001: 191.

Tabla 2: Elementos básicos mecánicos.

Elemento unitario	Ecuación que lo describe	Energía almacenada o potencia disipada
<i>Movimientos traslacionales</i>		
Resorte	$F = kx$	$E = \frac{1}{2} \frac{F^2}{k}$
Amortiguador	$F = c \frac{dx}{dt}$	$P = cv^2$
Masa	$F = m \frac{d^2x}{dt^2}$	$E = \frac{1}{2} mv^2$
<i>Movimientos rotacionales</i>		
Resorte	$T = k\theta$	$E = \frac{1}{2} \frac{T^2}{k}$
Amortiguador de rotación	$T = c \frac{d\theta}{dt}$	$P = c\omega^2$
Momento de inercia	$T = I \frac{d^2\theta}{dt^2}$	$E = \frac{1}{2} I\omega^2$

Fuente: Bolton, 2001: 189.

2.5.2.- Elementos básicos de sistemas eléctricos.

Los elementos básicos de los sistemas eléctricos son los inductores, capacitores y resistencias. Para la obtención de modelos matemáticos en sistemas eléctricos, las ecuaciones que describen la combinación de los elementos básicos eléctricos son las *leyes de Kirchoff*, las cuales pueden expresarse como:

1.- Ley: “La corriente total que entra en un nodo es igual a la corriente total que sale de éste, es decir, la suma algebraica de las corrientes de un nodo es cero”.

2.- Ley: “En un circuito de lazo cerrado o malla, la suma algebraica de las diferencias de potencial de cada una de las partes del circuito es igual al voltaje aplicado o fuerza electromotriz (f. e. m.)”.

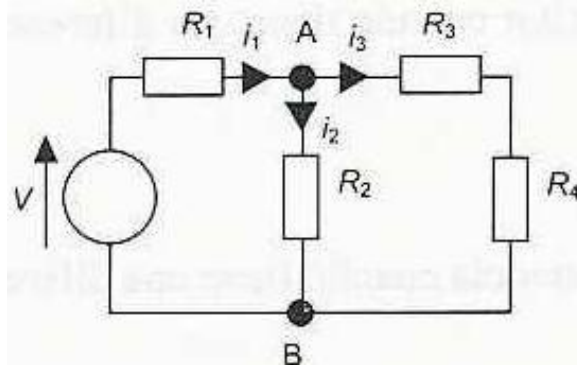
Una manera práctica de aplicar la primera ley es a través del *análisis de nodos*, ya que ésta se aplica a cada uno de los principales nodos del circuito eléctrico; un nodo es un punto de conexión o unión de diferentes elementos básicos o elementos de circuito y un nodo principal es en el que se confluyen tres o más ramas de un circuito. Para aplicar de manera práctica la segunda ley se utiliza el *análisis de malla*, puesto que se aplica a cada una de las mallas del circuito eléctrico, una malla es una trayectoria o lazo cerrado que no contiene otra malla.

Tabla 3: Elementos básicos eléctricos.

Elemento básico	Ecuación que lo describe	Energía almacenada o potencia disipada
Inductor	$i = \frac{1}{L} \int v dt$	$E = \frac{1}{2} Li^2$
Capacitor	$i = C \frac{dv}{dt}$	$E = \frac{1}{2} C v^2$
Resistencia	$i = \frac{v}{R}$	$P = \frac{v^2}{R}$

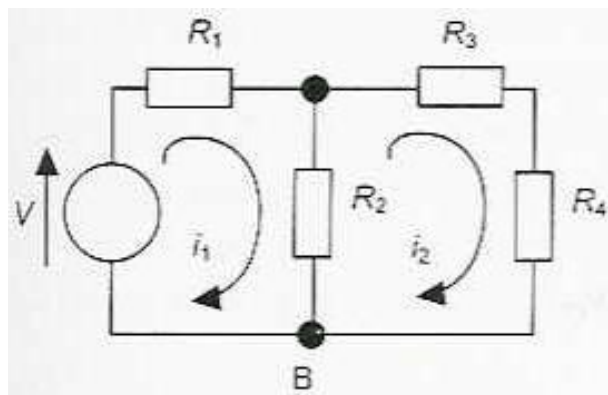
Fuente: Bolton, 2001: 194

Figura 62: Circuito eléctrico analizado mediante análisis nodal.



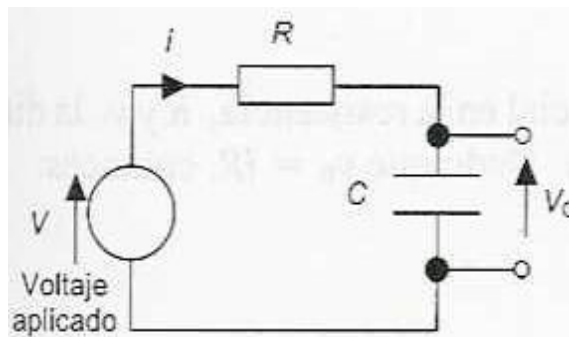
Fuente: Bolton, 2001: 194.

Figura 63: Circuito eléctrico analizado mediante análisis de malla.



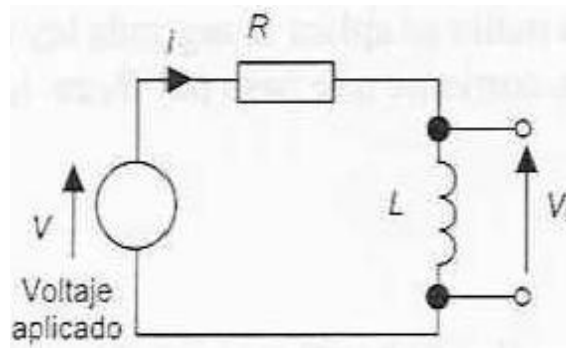
Fuente: Bolton, 2001: 195.

Figura 64: Circuito RC (Resistencia – Capacitancia).



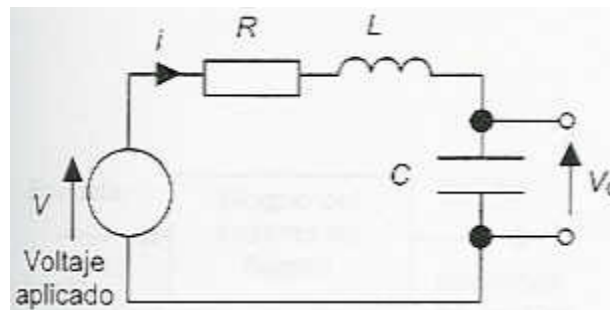
Fuente: Bolton, 2001: 195.

Figura 65: Circuito RL (Resistencia – Inductancia).



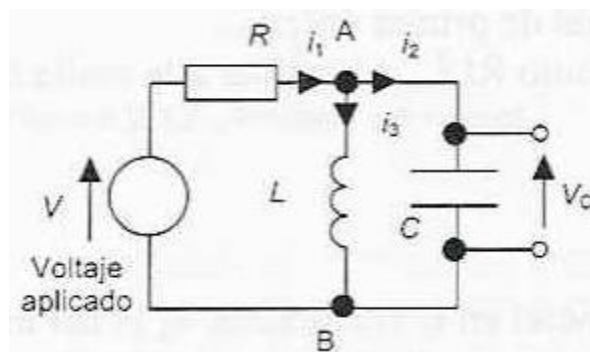
Fuente: Bolton, 2001: 196.

Figura 66: Circuito RLC (Resistencia – Inductancia – Capacitancia).



Fuente: Bolton, 2001: 195.

Figura 67: Circuito RCL (Resistencia – Capacitancia – Inductancia).

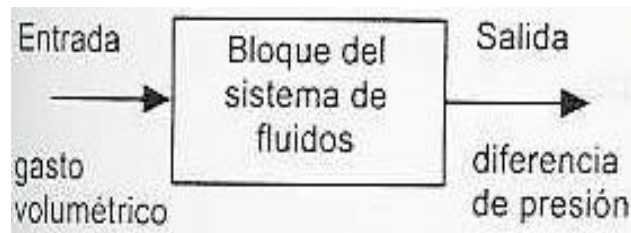


Fuente: Bolton, 2001: 196.

2.5.3.- Elementos básicos de sistemas de fluidos.

En los sistemas de fluidos hay tres elementos básicos que se pueden considerar los equivalentes de la resistencia eléctrica, la capacitancia y la inductancia; para esto, consideramos a la corriente eléctrica como el flujo volumétrico o caudal q , la diferencia de potencial como la diferencia de presiones $p_1 - p_2$. Se puede considerar que los sistemas de fluidos pertenecen a dos categorías: *hidráulicos*, donde el fluido es un líquido no compresible; y *neumático*, los cuales contienen gases compresibles que, por lo tanto, experimentan cambios de densidad.

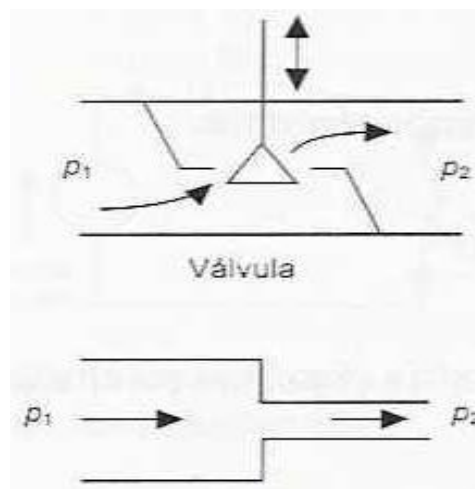
Figura 68: Elemento básico de un sistema de fluido.



Fuente: Bolton, 2001: 197.

La *resistencia hidráulica* es la que presenta un líquido cuando fluye a través de una válvula o debido a los cambios en el diámetro de la tubería.

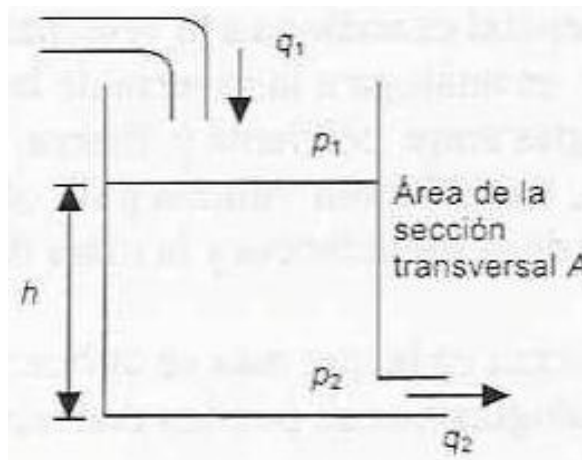
Figura 69: Ejemplos de resistencia hidráulica.



Fuente: Bolton, 2001: 198.

Capacitancia hidráulica es el término que describe la energía almacenada en un líquido cuando ésta se almacena en forma de energía potencial, es decir, lo que se conoce como carga de agua, una modalidad de este almacenamiento de energía.

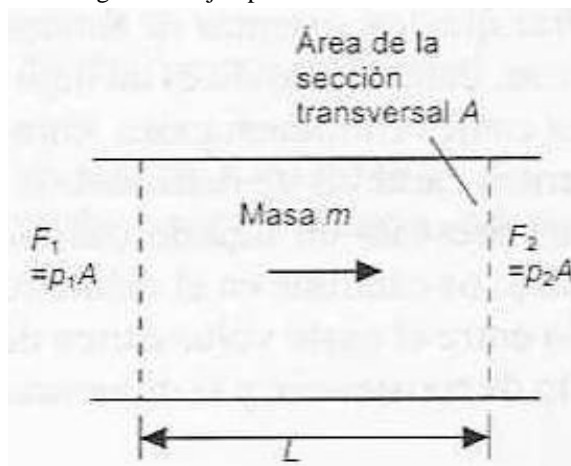
Figura 70: Ejemplo de capacitancia hidráulica.



Fuente: Bolton, 2001: 198.

La *inercia hidráulica* es el equivalente a la inductancia en un sistema eléctrico o de un resorte en los sistemas mecánicos. Para acelerar un fluido y así aumentar su velocidad, se requiere una fuerza.

Figura 71: Ejemplo de inercia hidráulica.



Fuente: Bolton, 2001: 198.

En los *sistemas neumáticos* los tres elementos básicos son, al igual que los hidráulicos, la resistencia, la capacitancia y la inercia. Sin embargo, los gases difieren de los líquidos por su compresibilidad; es decir, un cambio de presión modifica el volumen y por lo tanto su densidad.

La *resistencia neumática* R se define en función del gasto másico y la diferencia de presión.

La *capacitancia neumática* C , se debe a la compresibilidad del gas y es comparable a la forma en que la compresión de un resorte almacena energía.

La *inercia neumática* se debe a la caída de presión necesaria para acelerar un bloque de gas.

Tabla 4: Elementos básicos hidráulicos y neumáticos.

Elemento básico	Ecuación que lo describe	Energía almacenada o potencia disipada
<i>Hidráulico</i>		
Inercia	$q = \frac{1}{L} \int (p_1 - p_2) dt$	$E = \frac{1}{2} I q^2$
Capacitancia	$q = C \frac{d(p_1 - p_2)}{dt}$	$E = \frac{1}{2} C (p_1 - p_2)^2$
Resistencia	$q = \frac{p_1 - p_2}{R}$	$P = \frac{1}{R} (p_1 - p_2)^2$
<i>Neumático</i>		
Inercia	$\dot{m} = \frac{1}{L} \int (p_1 - p_2) dt$	$E = \frac{1}{2} I \dot{m}^2$
Capacitancia	$\dot{m} = C \frac{d(p_1 - p_2)}{dt}$	$E = \frac{1}{2} C (p_1 - p_2)^2$
Resistencia	$\dot{m} = \frac{p_1 - p_2}{R}$	$P = \frac{1}{R} (p_1 - p_2)^2$

Fuente: Bolton, 2001: 201.

2.5.4.- Elementos básicos de sistemas térmicos.

Los elementos básicos de los sistemas térmicos son dos: resistencia y capacitancia. Existe un flujo neto de calor entre dos puntos si entre ellos hay una diferencia de temperatura.

La *resistencia térmica* R es la relación de la velocidad del flujo calorífico q con la diferencia de temperaturas $T_1 - T_2$.

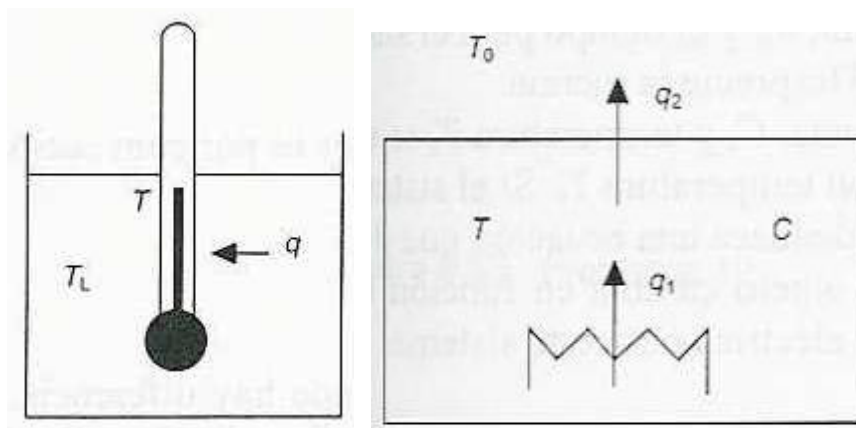
La *capacitancia térmica* C es la medida de almacenamiento de energía interna en un sistema.

Tabla 5: Elementos básicos térmicos.

Elemento básico	Ecuación que lo describe	Energía almacenada
Capacitancia	$q_1 - q_2 = C \frac{dT}{dt}$	$E = CT$
Resistencia	$q = \frac{T_1 - T_2}{R}$	

Fuente: Bolton, 2001: 206.

Figura 72: Ejemplos de sistemas térmicos.



Fuente: Bolton, 2001: 206.

2.5.5.- Bloques funcionales, flujogramas o diagramas de bloques.

El diagrama de bloques es la representación gráfica del funcionamiento interno de un sistema, que se hace mediante bloques y sus relaciones, y que, además, definen la organización de todo el proceso interno, sus entradas y sus salidas. Un diagrama de bloques de modelo matemático es el utilizado para representar el control de sistemas físicos (o reales) mediante un modelo matemático, en el cual, intervienen gran cantidad de variables que se relacionan en todo el proceso de producción. (Dorf, R. 2005: 63).

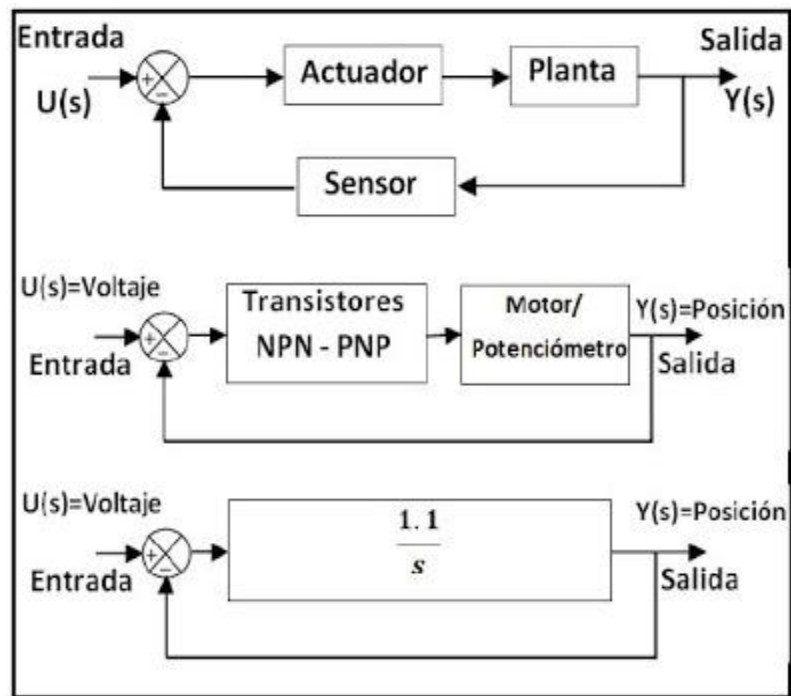
2.5.5.1.- Técnicas de trazado del diagrama de bloques.

A continuación se indican las siguientes técnicas para el trazado de un diagrama de bloques:

- Describir las ecuaciones diferenciales de cada componente del sistema.
- Aplicar la Transformada de Laplace con condiciones nulas.
- Representar individualmente el diagrama de bloques de cada ecuación diferencial.
- Unir los bloques a través de sus variables de entrada y salida.

Ver la siguiente figura como ejemplo:

Figura 73: Diagrama de bloques de un sistema Actuador – Planta – Sensor.



Fuente: Google. 2014.

2.5.6.- Funciones de transferencia.

La forma clásica de modelar sistemas lineales es utilizar funciones de transferencia para representar las relaciones entrada – salida entre variables. Una forma de determinar la función de transferencia es empleando la respuesta al impulso, que se define a continuación:

Respuesta al impulso: Considere que un sistema lineal invariante en el tiempo tiene la entrada $g(t)$, que se define como la salida cuando la entrada es una función impulso unitario $\delta(t)$. Una vez que se conoce la respuesta al impulso de un sistema lineal, la salida del sistema, $y(t)$, para cualquier entrada $u(t)$, se puede encontrar mediante la función de transferencia.

La función de transferencia de un sistema lineal invariante con el tiempo se define como la transformada de Laplace de la respuesta al impulso, con todas las condiciones iniciales iguales a cero. Suponga que $G(s)$ denota la función de transferencia de un sistema con una entrada y una salida, con entrada $u(t)$ y una salida $y(t)$ y una respuesta al impulso $g(t)$. (Kuo, B. 1995: 78).

Entonces la función de transferencia $G(s)$ se define como:

Ecuación 1.

$$G(s) = \mathcal{L}[g(t)]$$

Fuente: (Kuo, B. 1995: 78).

La función de transferencia $G(s)$ se relaciona con la transformada de Laplace de la entrada y la salida a través de la siguiente relación:

Ecuación 2.

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)}$$

Fuente: (Kuo, B. 1995: 78).

con todas las condiciones iniciales puestas a cero, $Y(s)$ y $U(s)$ son las transformadas de Laplace de $y(t)$ y $u(t)$, respectivamente.

Ahora bien, las propiedades de la función de transferencia se resumen de la siguiente forma:

- La función de transferencia está definida solamente para un sistema lineal invariante con el tiempo. No está definida para sistemas no lineales.
- La función de transferencia entre una variable de entrada y una variable de salida de un sistema está definida como la transformada de Laplace de la respuesta al impulso. En forma alterna, la función de transferencia entre un par de variables de entrada y salida es la relación entre la transformada de Laplace de la salida y la transformada de Laplace de la entrada.

- Todas las condiciones iniciales del sistema son iguales a cero.
- La función de transferencia es independiente de la entrada del sistema.

2.6.- CONTROLADORES EN LAZO CERRADO.

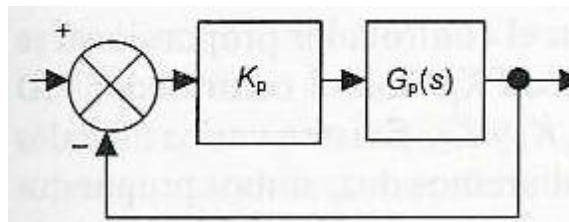
En esencia, el control en lazo abierto es sólo un control de encendido – apagado, por ejemplo, para calentar una habitación, un calentador eléctrico se enciende o se apaga. En los sistemas de control en lazo cerrado, el controlador se usa para comparar la salida de un sistema con la condición requerida y convertir el error que de esa comparación resulte en una acción de control diseñada para reducir dicho error. Los controladores pueden ser sistemas neumáticos o sistemas basados en amplificadores operacionales.

2.6.1.- Modos de control.

Una unidad de control puede reaccionar de distintas maneras ante una señal de error y proporcionar determinadas señales de salida para que actúen los elementos correctores:

- En el *modo de dos posiciones*, el controlador es en ausencia un interruptor activado por la señal de error y proporciona sólo una señal correctora tipo encendido – apagado.
- El *modo proporcional (P)* produce una acción de control que es proporcional al error. La señal correctora aumentará en la medida que lo haga el error. Si el error disminuye, también disminuye la magnitud de la corrección y el proceso de corrección desacelera.

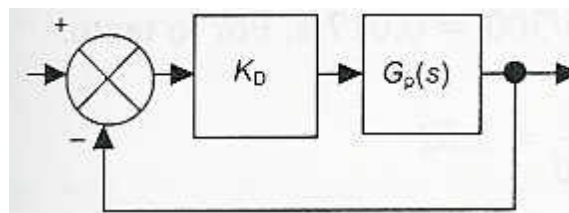
Figura 74: Sistema con control proporcional.



Fuente: Bolton, 2001: 297.

- El *modo derivativo (D)* produce una acción de control que es proporcional a la rapidez con la cual el error está cambiando. Cuando hay un cambio súbito en la señal de error, el controlador produce una señal correctora de gran magnitud; cuando el cambio es gradual, sólo se produce una pequeña señal correctora. El control derivativo no se emplea solo, sino siempre en combinación con el control proporcional y, con frecuencia, con el control digital.

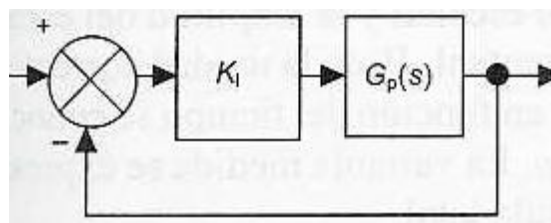
Figura 75: Sistema con control derivativo.



Fuente: Bolton, 2001: 297.

- El *modo integral (I)* produce una acción de control que es proporcional a la integral del error en el tiempo. Es decir, una señal de error constante producirá una señal de corrección que aumenta en forma constante. La corrección seguirá aumentando en tanto el error persista.

Figura 76: Sistema con control integral.



Fuente: Bolton, 2001: 297.

- Combinación de modos: proporcional y derivativo (PD), proporcional e integral (PI) y proporcional, integral y derivativo (PID). A este último se le conoce como *controlador de tres términos*.

2.6.2.- Controladores digitales.

El término *control digital directo* se usa cuando el controlador digital, básicamente un microprocesador, controla el sistema de control en lazo cerrado. El controlador recibe las señales de entrada de los sensores, ejecuta los programas de control y proporciona una señal que envía a los elementos de corrección.

En el controlador digital se realiza básicamente el siguiente ciclo de eventos:

- Se muestra la señal de medición.
- Ésta se compara con el valor predeterminado y se obtiene el error.
- Se realizan cálculos con base en la magnitud del error, así como en valores guardados de señales de entrada y de salida anteriores para obtener la señal de salida.
- La señal de salida se envía al convertidor digital a analógico (CDA).
- Aguarda hasta el siguiente tiempo de muestreo para entonces repetir el ciclo.

2.7.- LENGUAJE C.

C es un lenguaje de programación de propósito general que ofrece economía sintáctica, control de flujo y estructuras sencillas y un buen conjunto de operadores. No es un lenguaje de muy alto nivel y más bien un lenguaje pequeño, sencillo y no está especializado en ningún tipo de aplicación. Esto lo hace un lenguaje potente, con un campo de aplicación ilimitado y sobre todo, se aprende rápidamente.

C trabaja con tipos de datos que son directamente tratables por el hardware de la mayoría de computadoras actuales, como son los caracteres, números y direcciones. Estos tipos de datos pueden ser manipulados por las operaciones aritméticas que proporcionan las computadoras. No proporciona mecanismos para tratar tipos de datos que no sean los básicos, debiendo ser el programador el que los desarrolle. Esto permite que el código generado sea muy eficiente y de ahí el éxito que ha tenido como lenguaje de desarrollo de sistemas. No proporciona otros mecanismos de almacenamiento de datos

que no sea el estático y no proporciona mecanismos de entrada ni salida. Ello permite que el lenguaje sea reducido y los compiladores de fácil implementación en distintos sistemas.

(Bolton, W. 2001: 383).

Para el lenguaje C se utilizan los siguientes términos característicos:

- Palabras claves.
- Instrucciones.
- Funciones.
- Retornos.
- Funciones de librerías estándar.
- Preprocesado.
- Función *main* (*principal*).
- Comentarios.
- Variables.
- Asignaciones.
- Operadores aritméticos.
- Operadores de relación.
- Operadores lógicos.
- Operadores sobre bits (bitwise).
- Secuencias.
- Secuencias de escape.
- Apuntadores.

Figura 77: Ejemplo de programa sencillo para mostrar el uso de algunos de los términos mencionados anteriormente.

```
/* Programa sencillo en C*/  
  
# include <stdio.h>  
void main(void)  
{  
    int a, b, c, d; /*a, b, c, y d son enteros*/  
    a = 4; /*a a se le asigna el valor 4*/  
    b = 3; /*a b se le asigna el valor 3*/  
    c = 5; /*a c se le asigna el valor 5*/  
    d = a * b * c; /*a d se le asigna el valor de a x b x c*/  
    printf( "a * b * c = %d\n", d);  
}
```

Fuente: Bolton, 2001: 391.

Las instrucciones que permiten el control de flujo y la realización de ciclos en los programas son:

- If (si).
- If/else (si/entonces).
- For (para).
- While (en tanto).
- Switch (conmutar).

Para crear el diseño de un programa como el ejemplo mostrado anteriormente, el cual se utilizan instrucciones y elementos característicos son:

- Creación del código fuente.
- Compilación del código fuente.
- Vinculación (linking) para crear un archivo ejecutable.
- Ejecución del programa.

2.8.- CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES.

Un *controlador lógico programable* (PLC, por sus siglas en inglés) se define como un dispositivo electrónico digital que usa una memoria programable para guardar instrucciones y llevar a cabo funciones lógicas, de configuración de frecuencia, de sincronización, de conteo y aritméticas, para el control de maquinaria y procesos. Este tipo se denomina *lógico* debido a que su programación básicamente tiene que ver con la ejecución de operaciones lógicas y de conmutación. Los dispositivos de entrada y los dispositivos de salida, que están bajo control, se conectan al PLC; de esta manera el controlador monitorea las entradas y las salidas de acuerdo con el programa diseñado por el operador para el PLC y que éste conserva en memoria, y de esta manera se controlan máquinas o procesos. Los PLC's tienen la gran ventaja de que permiten modificar un sistema de control sin tener que volver a alambrar las conexiones de los dispositivos de entrada y de salida; basta con que el operador digite en un teclado las instrucciones correspondientes.

Poseen las siguientes características:

- Son robustos y están diseñados para resistir vibraciones, temperatura, humedad y ruido.
- La interfaz para las entradas y las salidas están dentro del controlador.
- Es muy fácil programarlos, así como entender el lenguaje de programación. La programación básicamente consiste en operaciones lógicas y de conmutación.

Figura 78: Ejemplos físicos de controladores lógicos programables (PLC's) por sus siglas en inglés.



Fuente: Google. 2014.

La estructura interna básica de un PLC consta de los siguientes elementos:

- Unidad central de procesamiento (CPU): Controla y procesa todas las operaciones dentro del PLC .
- Memoria :
 - ROM: Guarda en forma permanente la información del sistema operativo y datos corregidos.
 - RAM: Para el programa del usuario y memoria buffer temporal para los canales de entrada/salida.

- Circuitos de entrada/salida: Son conocidas como unidades de entrada/salida, son la interfaz entre el sistema y el mundo externo. Para introducir programas en esta unidad se usan tableros, teclados y pantallas. Los canales de entrada/salida proporcionan funciones para el acondicionamiento y aislamiento de señales, lo que permite conectar directamente a sensores y actuadores, sin necesidad de otros circuitos.

2.8.1.- Procesamiento de la entrada/salida.

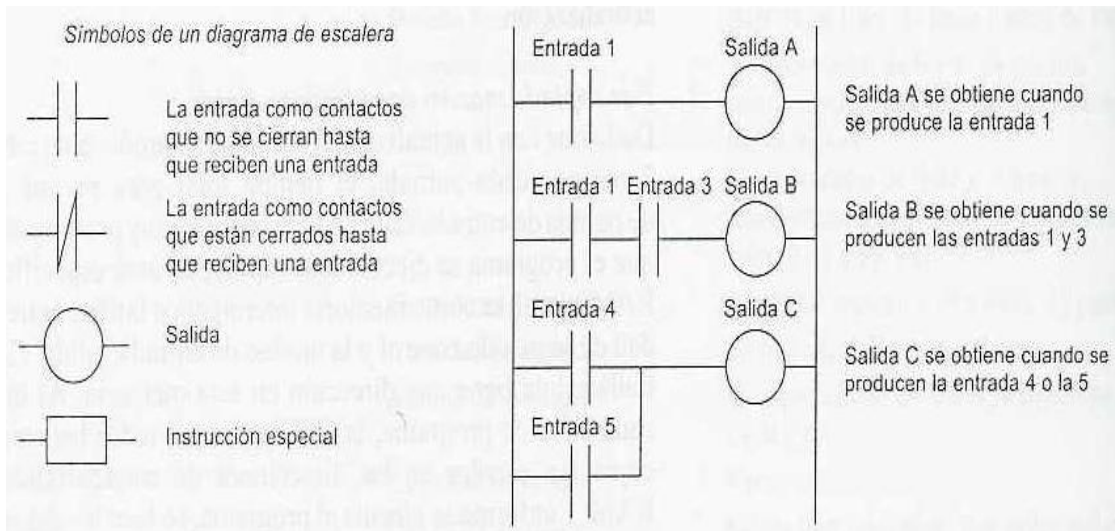
La forma básica de programación más común en los PLC's es la *programación de escalera*. Ésta especifica cada una de las tareas de un programa como si fuera un peldaño de una escalera. La secuencia que sigue un PLC para realizar un programa se resume de la siguiente manera:

- 1.- Explora las entradas asociadas a un peldaño del programa de escalera.
- 2.- Solución de la operación lógica de cada una de las entradas.
- 3.- Encendido/apagado de las salidas del peldaño.
- 4.- Continúa con el siguiente peldaño y repite los pasos 1, 2 y 3.
- 5.- Y así sucesivamente, hasta finalizar el programa.

Existen dos métodos para el procesamiento de entradas/salidas:

- Por actualización continua.
- Por copiado masivo de entradas/salidas.

Figura 79: Ejemplo de diagrama de escalera y símbolos utilizados.

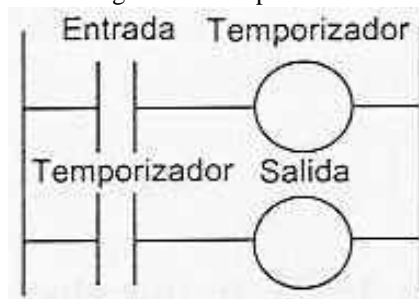


Fuente: Bolton, 2001: 428.

2.8.2.- Temporizadores, relevadores internos y contadores.

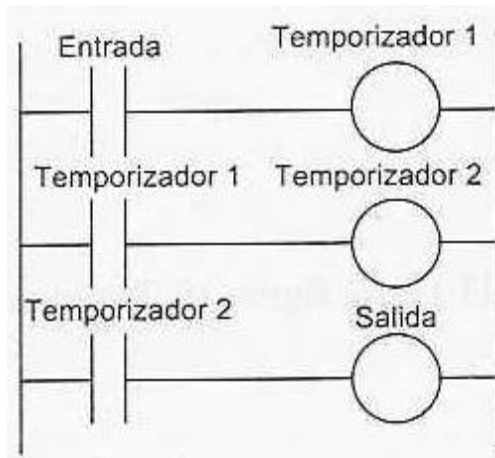
Para el funcionamiento de los PLC's existen tareas en las que se requiere retrasos y conteo de eventos. Para estos casos, pueden emplearse algunos dispositivos de los PLC's como son temporizadores y contadores, los cuales se controlan mediante instrucciones lógicas y tienen representación en los diagramas de escalera.

Figura 80: Temporizador.



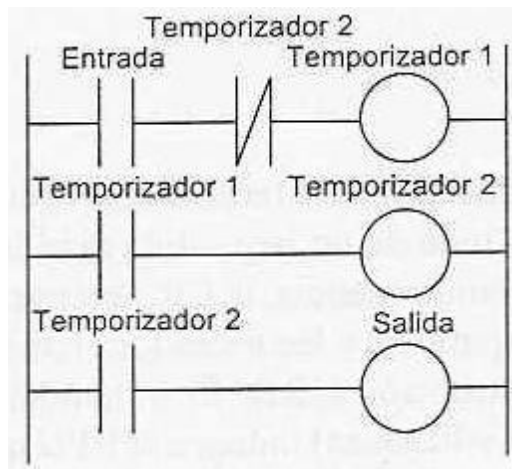
Fuente: Bolton, 2001: 436.

Figura 81: Temporizadores en cascada.



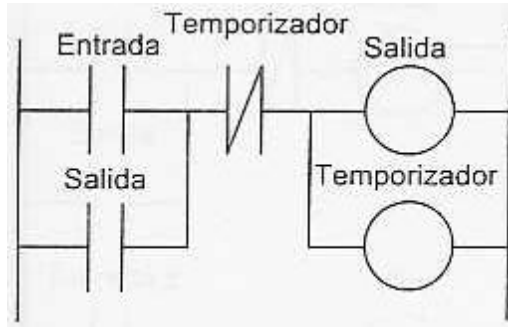
Fuente: Bolton, 2001: 436.

Figura 82: Temporizador cíclico de encendido – apagado.



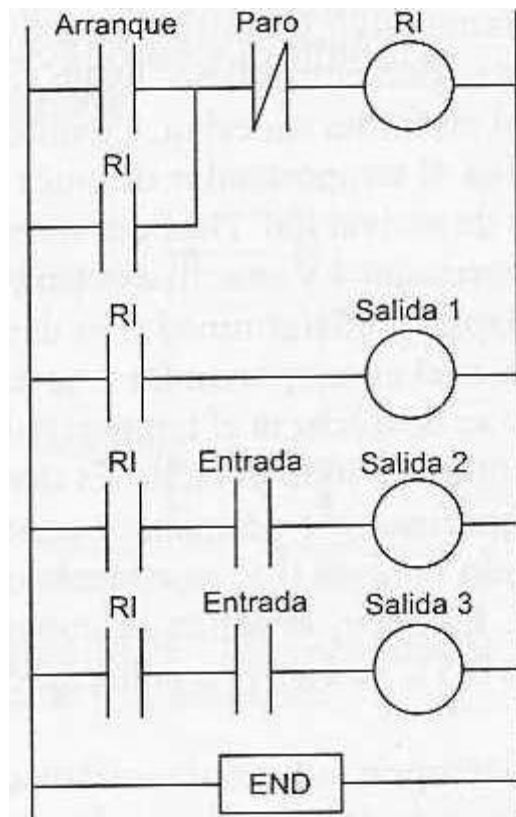
Fuente: Bolton, 2001: 436.

Figura 83: Temporizador de retraso a la activación.



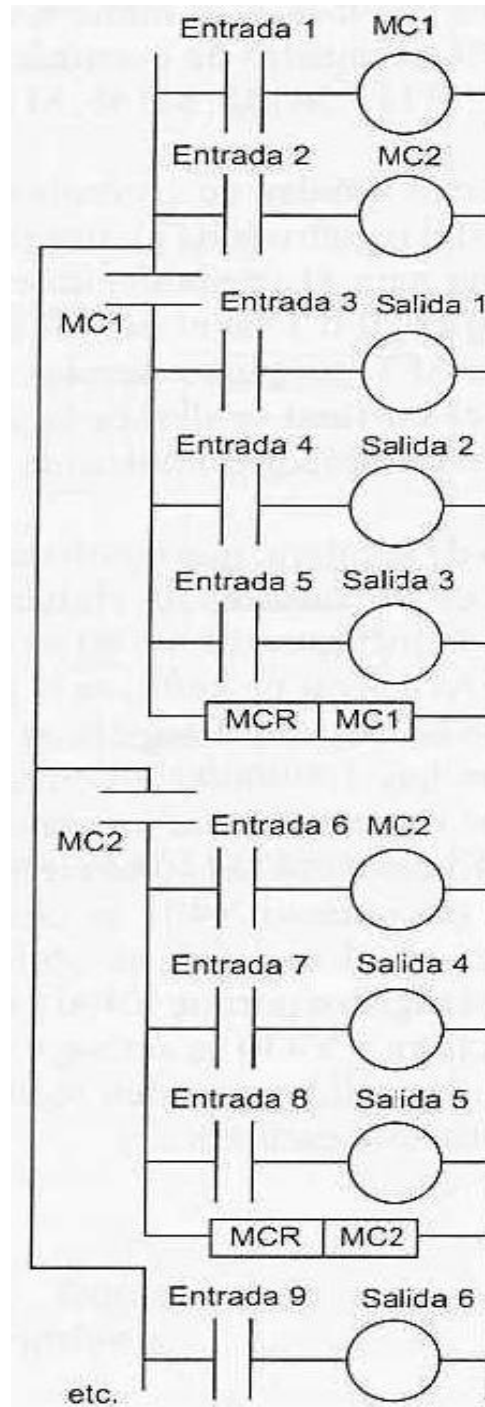
Fuente: Bolton, 2001: 437.

Figura 84: Activación de varias salidas con relevadores.



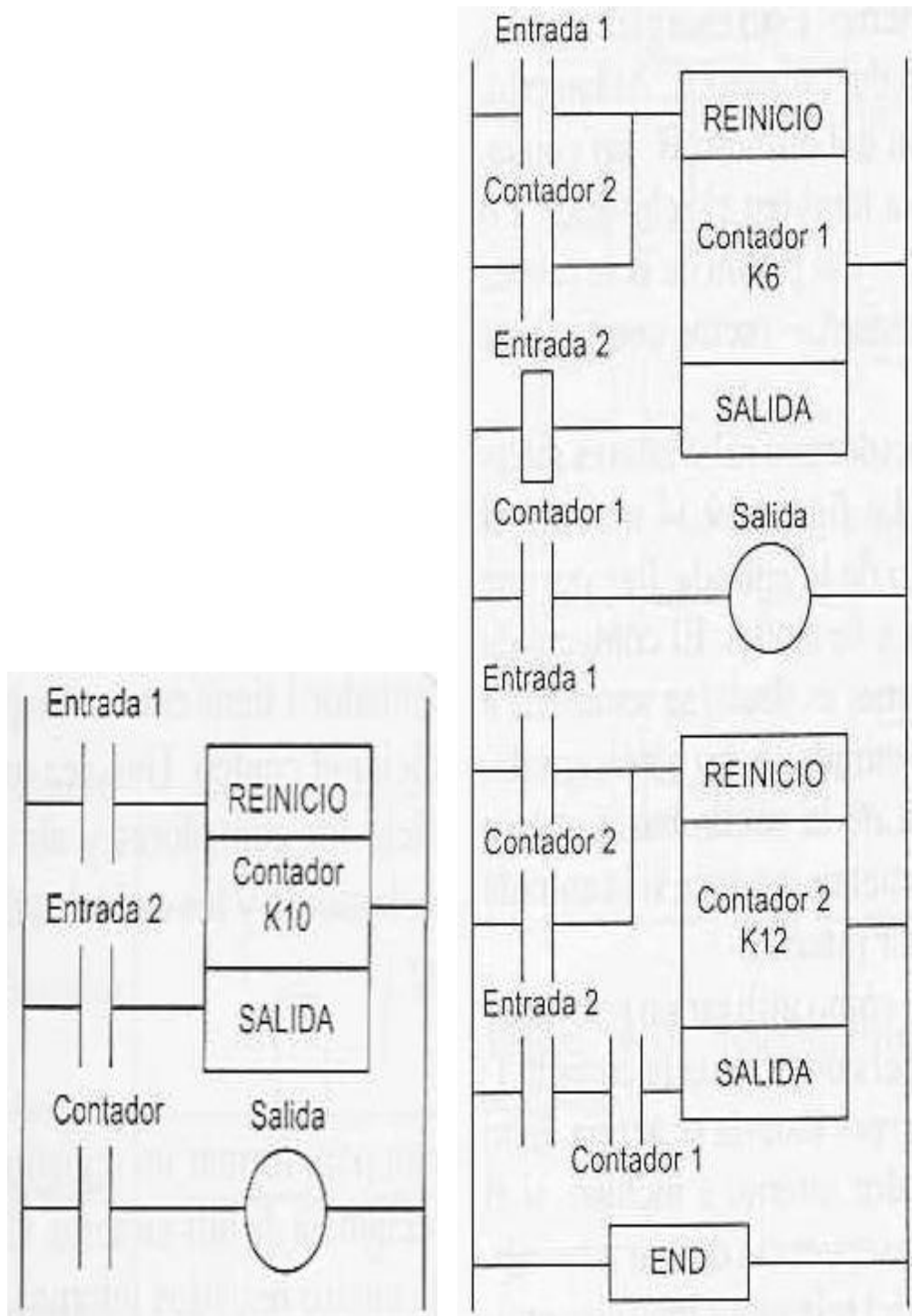
Fuente: Bolton, 2001: 438.

Figura 85: Relevador maestro.



Fuente: Bolton, 2001: 442.

Figura 86: Diagramas de escaleras con uso de contadores.



Fuente: Bolton, 2001: 440.

2.8.3.- Selección de un PLC.

Cabe mencionar que al evaluar la capacidad y tipo de PLC necesario para llevar a cabo una tarea, los factores que se deben tomar en cuenta son:

- ¿Qué capacidad de entrada/salida se requiere? Es decir, la cantidad de entradas/salidas, la capacidad de expansión para necesidades futuras.
- ¿Qué tipo de entradas/salidas se requieren? Es decir, tipo de aislamiento, fuente de alimentación incluida para entradas/salidas, acondicionamiento de señal, etc.
- ¿Qué capacidad de memoria se necesita? Esto tiene relación con la cantidad de entradas/salidas y la complejidad del programa utilizado.
- ¿Qué velocidad y capacidad debe tener la CPU? Esto tiene relación con cuantos tipos de instrucciones manejará el PLC. Cuantos más tipos haya, más rápida deberá ser la CPU. Asimismo, cuanto mayor sea la cantidad de entradas/salidas que se manejen, más rápida tendrá que ser la CPU requerida.

Por lo anterior, se describió en este capítulo el contexto teórico de la automatización, mecatrónica, sensores, sistemas de actuadores, modelos matemáticos, controladores en lazo cerrado, microprocesadores y lenguaje C; estos permite tener un panorama general existente sobre la automatización.

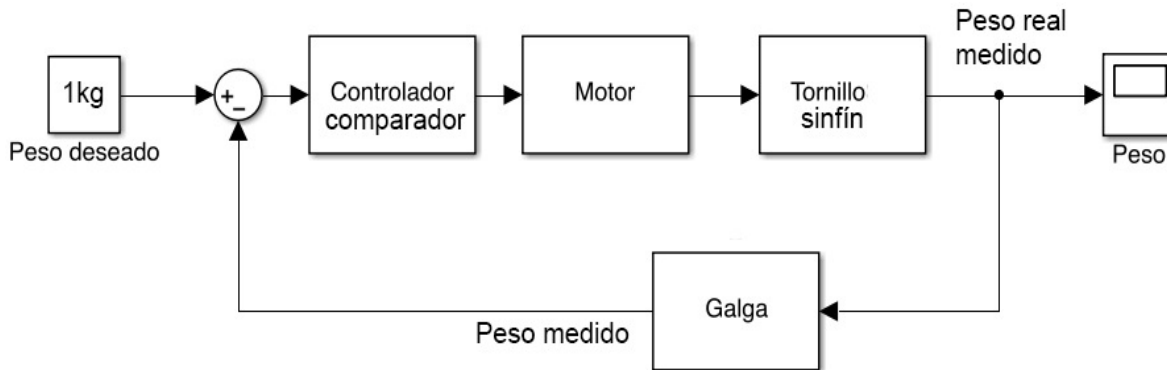
CAPÍTULO III.- CÁLCULOS.

3.1.- SUB ETAPA 1: Transporte de alimentos pulverizados por tornillo sin fin.

3.1.1.- Sistema de control.

La empaquetadora cuenta con un sistema de control de llenado por peso del polvo que se dosifica por medio del tornillo sinfín. Con este control, se pretende reducir el grado de error de peso en las bolsas y tener un control de calidad del producto. El sistema de control propuesto para la aplicación es el que se muestra en el siguiente diagrama a bloques:

Figura 87: Diagrama de bloques del sistema de control de peso tipo ON – OFF.



Fuente: Diseño propio. 2014.

Se propone un sistema de control de lazo cerrado, en el que la galga extensiométrica mida el peso del polvo suministrado y envíe la señal a un controlador comparador autoajutable que compare la señal con el peso indicado por el usuario. El control podrá ajustarse a los pesos que indique el usuario, siendo estos definidos como: 1kg, 1/2 kg y 1/4 kg, los más utilizados en el mercado.

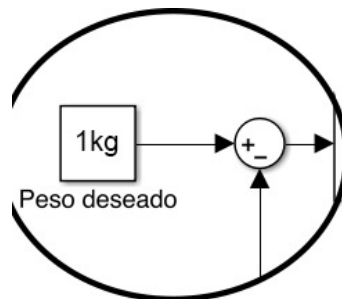
3.1.2.- Descripción de los bloques del sistema.

- El usuario podrá introducir los pesos deseados a la maquina por medio de pulsadores eléctricos, los cuales estarán dispuestos para ser interpretados por la maquina y poder determinar el peso que se indique.
- Estos datos introducidos por el usuario serán recopilados por el microcontrolador encargado de controlar el encendido y apagado del motor.
- El microcontrolador está programado para recibir los datos del usuario así como también los datos provenientes de la galga extensiométrica, comparándolos y tomando las decisiones adecuadas para el correcto funcionamiento de la maquina.
- El motor se enciende y apaga automáticamente en función de las decisiones del controlador, esto para que en cuanto se alcance el peso deseado, el motor sea apagado y la bolsa contenga el peso indicado por el usuario.
- El motor mueve el tornillo sinfín que deja pasar el caudal de polvo hasta que el sistema detecte que se ha alcanzado el peso requerido.
- La galga mide continuamente el peso actual y envía la información al controlador, para que en cuanto el peso que se indique por el usuario se alcance, el motor se detenga y continúe el proceso de sellado de la bolsa.

3.1.3.- Componentes necesarios en cada bloque del sistema.

- 1.- El usuario introduce la cantidad de polvo en la máquina por medio de un arreglo de pulsadores, indicando con una etiqueta y color a que peso pertenece cada pulsador. El pulsador azul indica $\frac{1}{4}$ kg, el verde $\frac{1}{2}$ kg y finalmente el rojo un 1 kg. (Ver Figura 88).

Figura 88: Peso deseado.



Fuente: Diseño propio. 2014.

Figura 89: Pulsadores para selección de peso.



Fuente: SIEMENS MÉXICO.

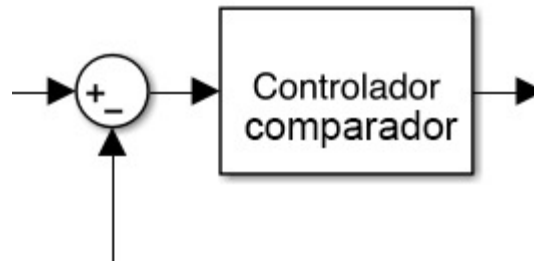
Tabla 6: Características de los pulsadores.

Ciclo de vida:	Voltaje de 120 V y 1 000 000 pulsaciones o pulsos manuales.
Ciclo de vida:	Voltaje de 24 V y 150 000 pulsaciones o pulsos manuales.
Ciclo de vida:	Voltaje de 12 V y 130 000 pulsaciones o pulsos manuales.
Material:	Nylon.
Metal:	Acero inoxidable.
Proveedor:	http://www.siemens.com/answers/mx/es/
Costo unitario	\$143.00 MN.

Fuente: Diseño propio. 2014.

- 2.- La selección del usuario es identificada por medio de un microcontrolador que selecciona el modo de programa correspondiente al peso indicado.

Figura 90: Controlador comparador.



Fuente: Diseño propio. 2014.

La placa con microcontrolador propuesto para el sistema es Arduino NANO. (Ver Figura 91).

Figura 91: Placa con microcontrolador Arduino NANO.

(Vista frontal)



(Vista trasera)



Fuente: ARDUINO.

Arduino es una plataforma de hardware libre, por lo tanto tiene costos reducidos y es muy versátil, la calidad no se ve comprometida comparada con el precio al que es posible adquirirla.

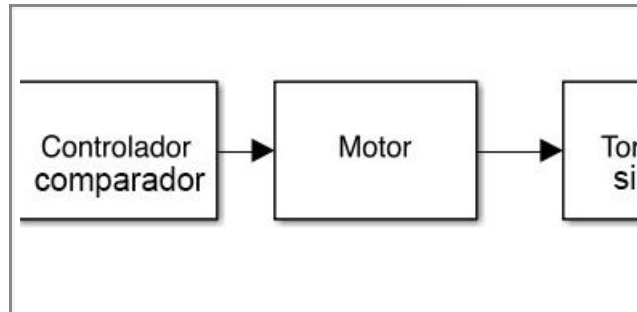
Tabla 7: Características de la placa con microcontrolador Arduino NANO.

Microcontrolador:	Atmel ATmega 328.
Voltaje operativo:	5V.
Voltaje de entrada (recomendado):	7V - 12V.
Voltaje de entrada (limites):	6V - 20V.
Pines digitales:	14 (6 proveen salidas PWM).
Entradas analógicas:	8 entradas analógicas.
Proveedor:	http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardNano
Costo unitario:	\$538.98 MN

Fuente: Diseño propio. 2014.

- 3.- El controlador accionará un motorreductor que permanecerá encendido hasta que el controlador mediante la programación determine que es necesario apagarlo.

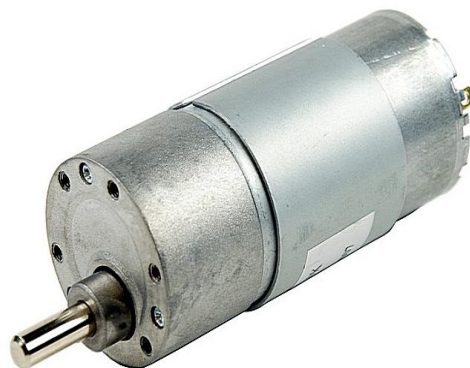
Figura 92: Motorreductor accionado por controlador.



Fuente: Diseño propio. 2014.

Ahora bien, la velocidad de rotación del tornillo sin fin para polvos ligeros es de hasta 600 rpm, para estas velocidades se ha encontrado el siguiente motorreductor de corriente continua:

Figura 93: Motorreductor metálico 37D con relación de engranaje 19:1.



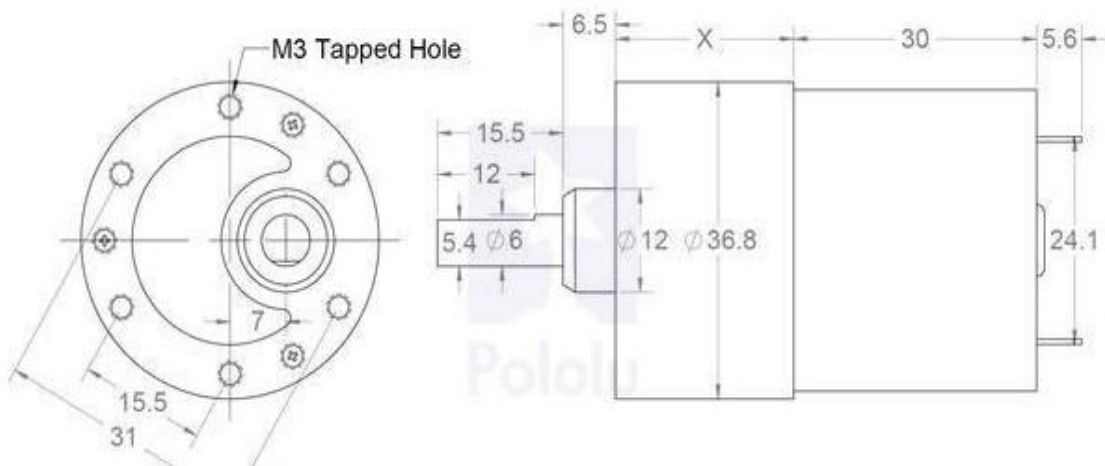
Fuente: ROBODACTA.

Tabla 8: Características del Motorreductor metálico 37D con relación de engranaje 19:1.

Motorreductor metálico 37D con relación de engranaje 19:1.			
Rango de voltaje de operación:	6 V a 12 V (Corriente continua).		
Dimensiones:	52 mm. de longitud (L) x 37 mm. de diámetro (D).		
Peso:	180 gramos.		
Eje: largo:	12 mm. de longitud (L) x 6 mm. de diámetro (D) en forma de "D".		
X:	22 mm. de longitud (L).		
Fuerza nominal:	10 kg. a máxima eficiencia.		
Fuerza:	5 kgf.		
Material:	Hierro.		
Proveedor:	http://www.robodacta.mx/index.php?dispatch=products.view&product_id=56		
Costo unitario:	Costo \$400 MN.		
Características a 12 V DC:		Características a 6 V DC:	
Velocidad:	600 rpm.	Velocidad:	256 rpm.
Corriente sin carga:	300 mA.	Corriente sin carga:	250 mA.
Corriente máxima:	5 A.	Corriente máxima:	2.5 A.
Torque máximo:	5 Kg-cm (84oz-in).	Torque máximo:	2.9 Kg-cm (42oz-in).

Fuente: Diseño propio. 2014.

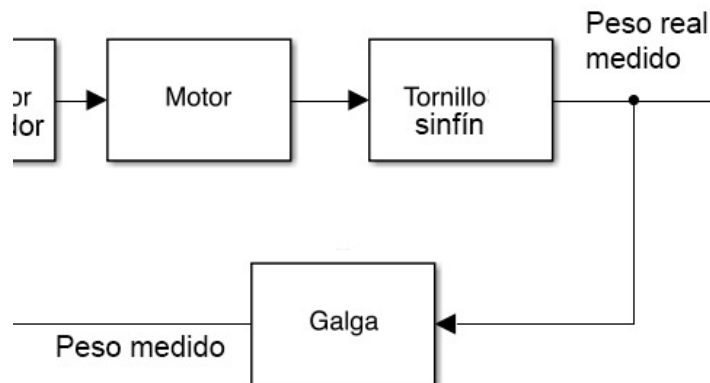
Figura 94: Vista frontal y lateral con dimensiones en mm del motorreductor metálico 37D con relación de engranaje 19:1.



Fuente: ROBODACTA.

- El motorreductor permanece encendido mientras el controlador así lo indique. La siguiente fase del control es el sistema sensorial, el cual está compuesto por una galga extensiométrica que está encargada de medir el peso en tiempo real del polvo y enviar la información al controlador para ser comparada con el peso de referencia establecido por el usuario.

Figura 95: Galga extensiométrica creando el lazo de retroalimentación en el diagrama de bloques.



Fuente: Diseño propio. 2014.

Para esta parte del sistema de control, se propone el uso del siguiente sensor electrónico:

Figura 96: Sensor fuerza - presión 0 kg - 45 kg.



Fuente: ROBODACTA.

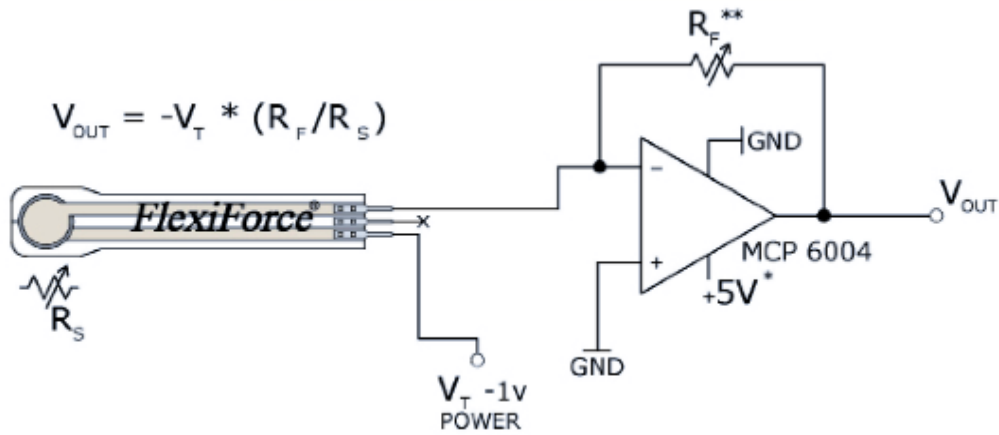
Tabla 9: Características del sensor.

Error:	0.35 gramos.
Voltaje de operación:	5 V - 24 V.
Máxima corriente:	2.5 mA.
Intervalo:	0 Kg - 45 Kg.
Proveedor:	http://www.robodacta.mx/index.php?dispatch=products.view&product_id=724
Costo unitario:	\$455.00 MN.

Fuente: Diseño propio. 2014.

Si bien se utiliza este sensor, los circuitos de acople de señal recomendados para la aplicación son los mostrados en el diagrama electrónico.

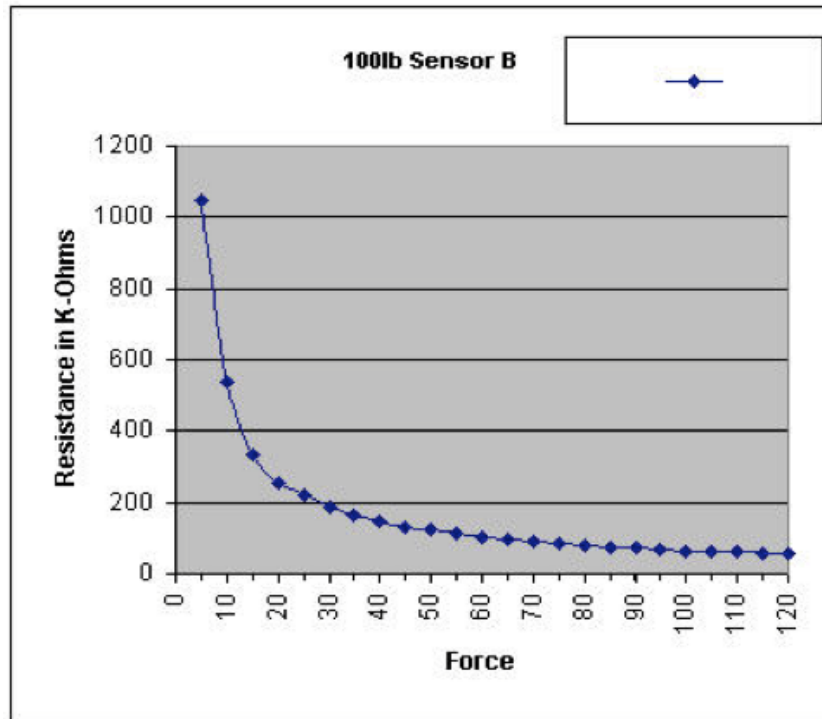
Figura 97: Circuito de acople recomendado para la lectura del sensor.



Fuente: ROBODACTA.

Este sensor tiene un cambio en su resistencia eléctrica conforme incrementa o decrecienta la fuerza aplicada sobre él. A mayor fuerza aplicada en el sensor, menor es la resistencia eléctrica que éste presenta, obteniendo una curva de comportamiento como se muestra en la Figura 98:

Figura 98: Curva característica del sensor.

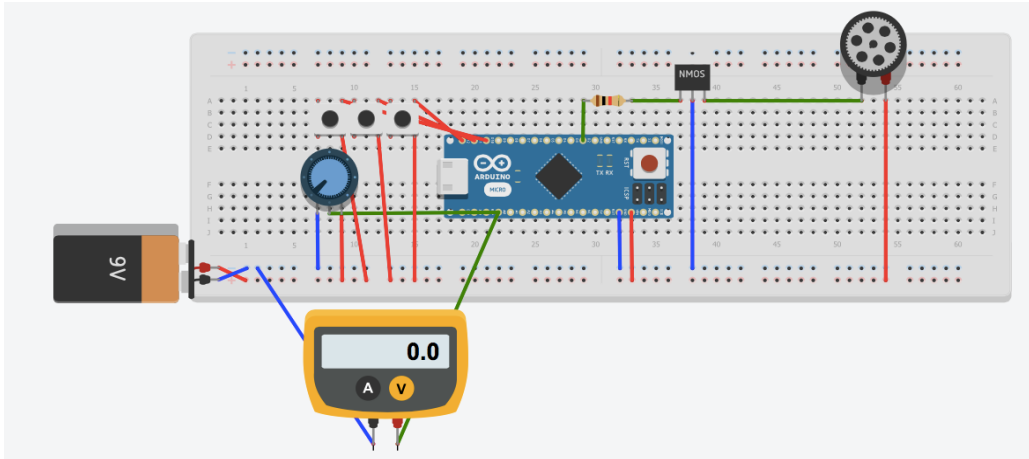


Fuente: ROBODACTA.

3.1.4.- Interconexión eléctrica de los componentes.

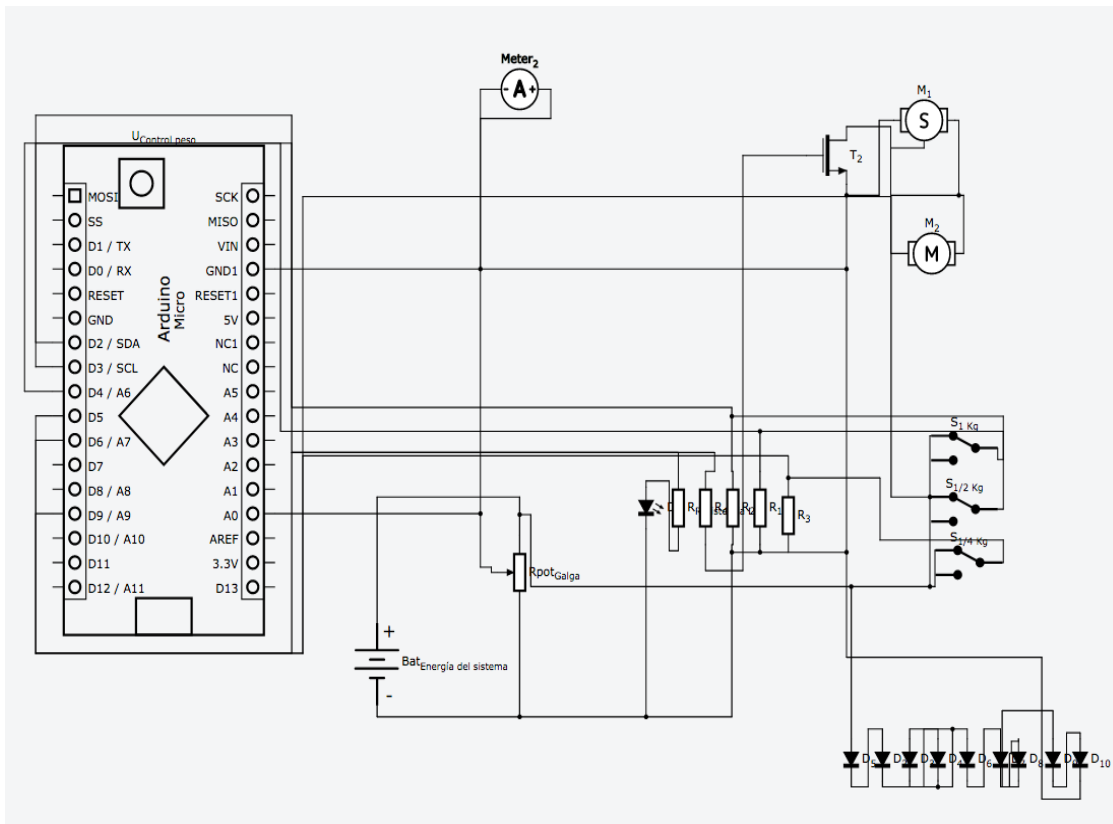
Retomando el diagrama de bloques de los apartados anteriores, procedemos a realizar la conexión eléctrica entre componentes, la cual es representada por el siguiente diagrama:

Figura 99: Interconexión de componentes.



Fuente: Diseño propio. 2014.

Figura 100: Diagrama esquemático de la interconexión de componentes para el sistema de control.



Fuente: Diseño propio. 2014.

En la Figura 99 podemos observar los componentes que son necesarios para el control del peso. Primeramente observamos el controlador en la parte central, encargando de las decisiones, a él se encuentran conectados los pulsadores de selección de peso, el motorreductor y la galga que mide el peso. En la imagen también podemos observar la presencia de un multímetro, que indica el voltaje medido en función del peso. El sistema está alimentado con una fuente de alimentación de 9V.

3.1.5.- Código del programa.

A continuación se representa en forma escrita el siguiente código en lenguaje C del programa que será utilizado para programar y hacer funcionar el sistema Arduino que realizará la acción de controlar nuestro sistema de pesado:

```

#include <Servo.h>
//Variables del sistema
int servoPin = 9;
int peso_actual=0;
int kilo = 600;
int medio_kilo = 800;
int cuarto_kilo = 1000;
int seleccion_peso = 0;
//Variables de control
int val1=0;
int val2=0;
int val3=0;
Servo servo;
void setup()
{
pinMode(5, INPUT);
pinMode(4, INPUT);
pinMode(3, INPUT);
pinMode(2, OUTPUT);
pinMode(6, OUTPUT);
servo.attach(servoPin);
digitalWrite(2,HIGH);
digitalWrite(6,LOW);
}
void loop()
{
val1 = digitalRead(5);
_11
val2 = digitalRead(4);
val3 = digitalRead(3);
if(val1 == HIGH){
seleccion_peso = 1;
}
if(val2 == HIGH){
seleccion_peso = 2;
}
if(val3 == HIGH){
seleccion_peso = 3;
}
switch(seleccion_peso){
case 3: delay(1000);
peso_actual =
analogRead(0);
if(peso_actual >= kilo){
digitalWrite(6,HIGH);
servo.write(0);
delay(100);
}else if(peso_actual <
kilo){
digitalWrite(6,LOW);
servo.write(90);
delay(500);
peso_actual = 0;
seleccion_peso = 0;
break;
}
case 2: delay(1000);
peso_actual =
analogRead(0);
if(peso_actual >=
medio_kilo){
digitalWrite(6,HIGH);
servo.write(0);
delay(100);
}
else if(peso_actual <
medio_kilo){
digitalWrite(6,LOW);
servo.write(90);
delay(500);
peso_actual = 0;
seleccion_peso = 0;
break;
}
case 1: delay(1000);
peso_actual =
analogRead(0);
if(peso_actual >=
cuarto_kilo){
_12
digitalWrite(6,HIGH);
servo.write(0);
delay(100);
}else if(peso_actual <
curto_kilo){
digitalWrite(6,LOW);
servo.write(90);
delay(500);
peso_actual = 0;
seleccion_peso = 0;
break;
}
case 0: break;
}
}
}

```

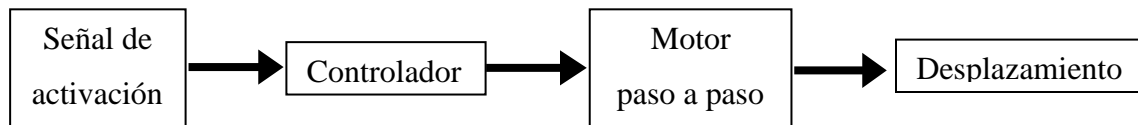
3.2.- SUB ETAPA 2: Desplazamiento de película plástica para la elaboración de bolsas empaquetadoras para alimentos pulverizados.

3.2.1.- Sistema de control y componentes necesarios.

Es necesario que las máquinas empaquetadoras de alimentos pulverizados cuenten con un sistema de desplazamiento de películas de plástico para colocar los alimentos pulverizados. Este sistema se comprende de dos elementos principales: la película de plástico para sellar y los motores que van a generar el desplazamiento.

Para el control del desplazamiento de la película plástica en nuestra máquina empaquetadora, representaremos nuestro proceso con el siguiente diagrama a bloques:

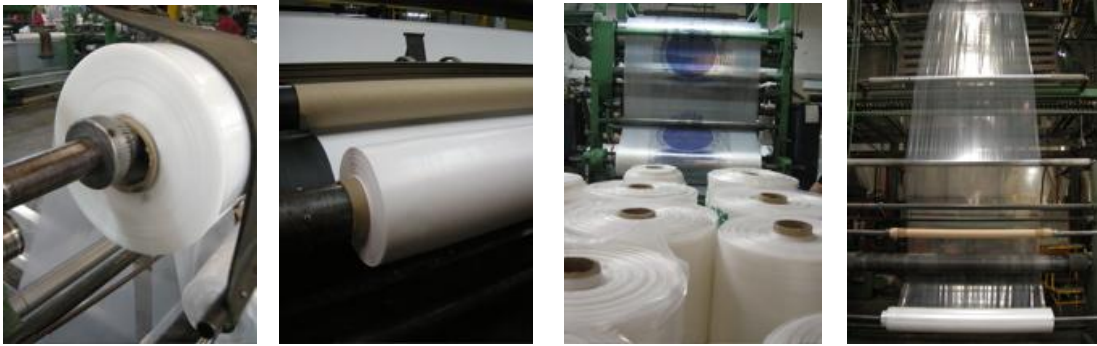
Figura 101: Diagrama de bloques del sistema de control para el desplazamiento de película plástica.



Fuente: Diseño propio.

Las bobinas, llámese también rollos de películas plásticas, por lo común, se usan en la industria del empaquetado de alimentos pulverizados y son por consiguiente de polietileno y polipropileno con números de modelo 1511 y 1521, ya que estos modelos ofrecen practicidad, durabilidad, calidad y gran resistencia en condiciones normales de transporte y almacenamiento, garantizando la seguridad y frescura del producto empaquetado.

Figura 102: Bobinas de 1511 polietileno para empaquetado de alimentos pulverizados.



Fuente: INDUSTRIAS MIROMEX S.A. DE C.V.

Tabla 10: Características de bobinas de 1511 polietileno.

Tamaño mínimo:	15 centímetros cm.
Tamaño máximo:	12 metros m.
Longitud máxima:	105 metros m.
Tipos de bobina:	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Película plana. ➤ Película tubular.
Colores:	A libre elección del comprador.
Proveedor:	http://www.miromex.com/index.php?option=com_content&view=article&id=7&Itemid=6
Costo unitario:	\$765.00 MN.
Las bobinas pueden ir acompañados de un tratamiento corona, el cual sirve para poder imprimir sobre ellos.	

Fuente: Diseño propio. 2014.

Figura 103: Bobinas de 1521 polipropileno para empaquetado de alimentos pulverizados.



Fuente: MEXINEX, S. A. DE C. V.

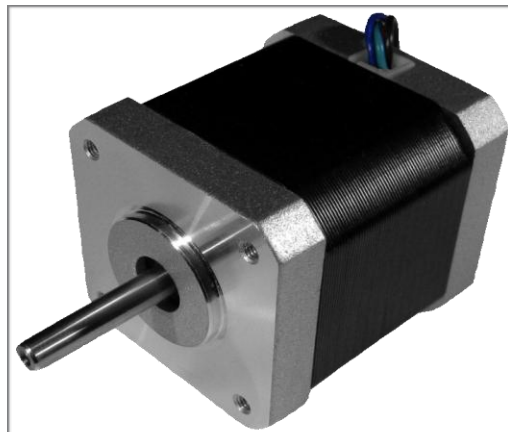
Tabla 11: Características de bobinas de 1521 polipropileno.

Tamaño mínimo:	15 centímetros cm.
Tamaño máximo:	12 metros m.
Longitud máxima:	105 metros m.
Tipos de bobina:	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Película plana. ➤ Película tubular.
Colores:	A libre elección del comprador.
Proveedor:	http://www.mexinex.com/
Costo unitario:	\$868.00 MN.
Las bobinas pueden ir acompañados de un tratamiento corona, el cual sirve para poder imprimir sobre ellos.	

Fuente: Diseño propio. 2014.

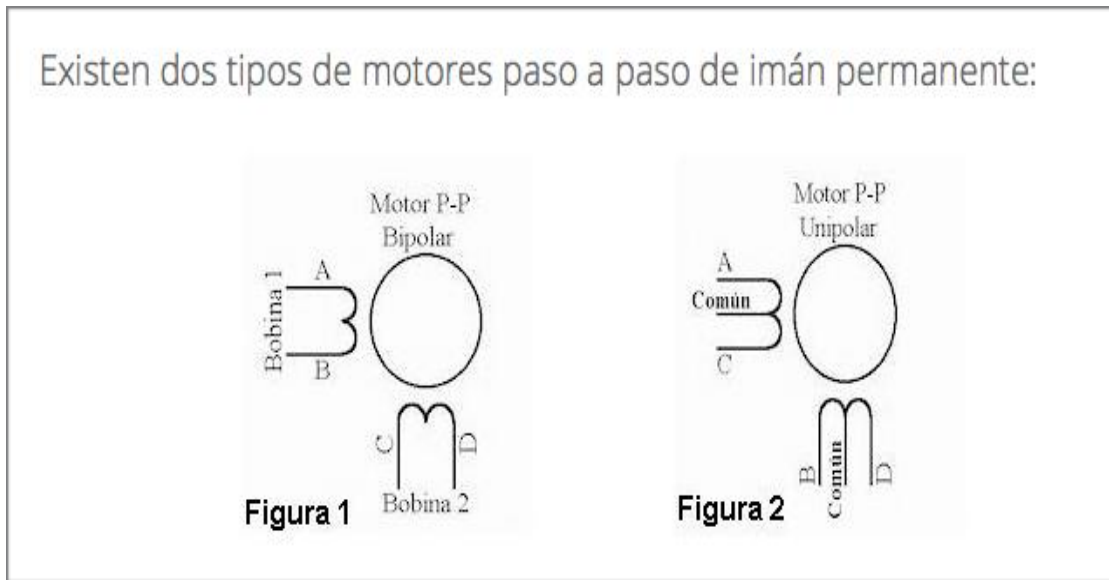
Para el desplazamiento de la película plástica usaremos los motores paso a paso, ya que son ideales para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos muy precisos. La característica principal de estos motores es el hecho de poder moverlos un paso a la vez por cada pulso que se le aplique. Este paso puede variar desde 90° hasta pequeños movimientos de tan solo 1.8°. Además poseen la habilidad de poder quedar enclavados en una posición o bien totalmente libres. Si una o más de sus bobinas están energizadas, el motor estará enclavado en la posición correspondiente y por el contrario quedará completamente libre si no circula corriente por ninguna de sus bobinas. En este capítulo trataremos solamente los motores P-P del tipo de imán permanente unipolar, ya que estos son los más usados en robótica. (Ver Figura 104).

Figura 104: Motor paso a paso del tipo imán permanente unipolar marca NEMA modelo NEMA 17.



Fuente: TODO CNC.

Figura 105: Tipos de motores paso a paso.



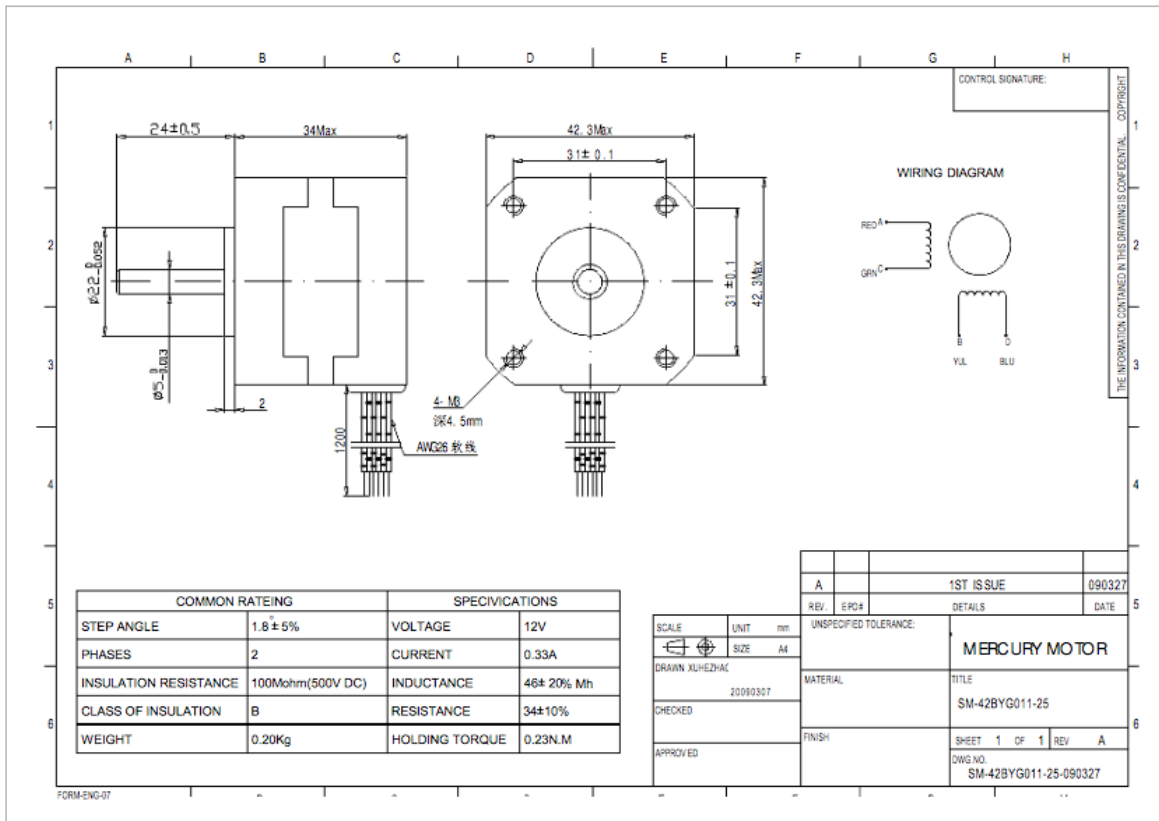
Fuente: Academia de Electrónica CONALEP San Martín Texmelucan, Puebla, México.

Tabla 12: Características del motor paso a paso del tipo imán permanente unipolar marca NEMA modelo NEMA 17.

Motor paso a paso de imán permanente unipolar:	NEMA 17
Torque:	2 kgf.
Intensidad o corriente eléctrica:	2.5 A.
Velocidad de torque:	600 rpm.
Velocidad máxima:	1200 rpm.
Voltaje de corriente continua:	6 V.
Voltaje PWM máximo:	24 V.
Proveedor:	http://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-480082707-motor-a-pasos-nema-17-5kgcm-ideal-para-cnc-y-automatizacion- JM
Costo unitario:	\$400.00 MN.

Fuente: Diseño propio. 2014.

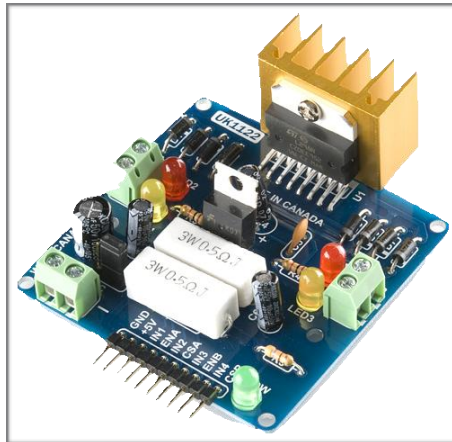
Figura 106: Medidas y conexiones eléctricas del motor paso a paso de imán permanente unipolar NEMA 17.



Fuente: TODO CNC.

Entonces, para el desplazamiento de la película de plástico, utilizaremos tres motores paso a paso del tipo de imán permanente unipolar marca NEMA modelo NEMA 17. Éstos serán conectados al controlador mediante un driver modelo L298 para manejar la etapa de potencia en los mismos (Ver Figura 107).

Figura 107: Driver modelo L298.



Fuente: SPARKFUN.

Tabla 13: Características del driver modelo L298 para motor paso a paso de imán permanente unipolar.

Corriente:	2 A.
Control:	TTL estándar.
Sensor:	De corriente.
Proveedor:	https://www.sparkfun.com/products/9670
Costo:	\$480.00

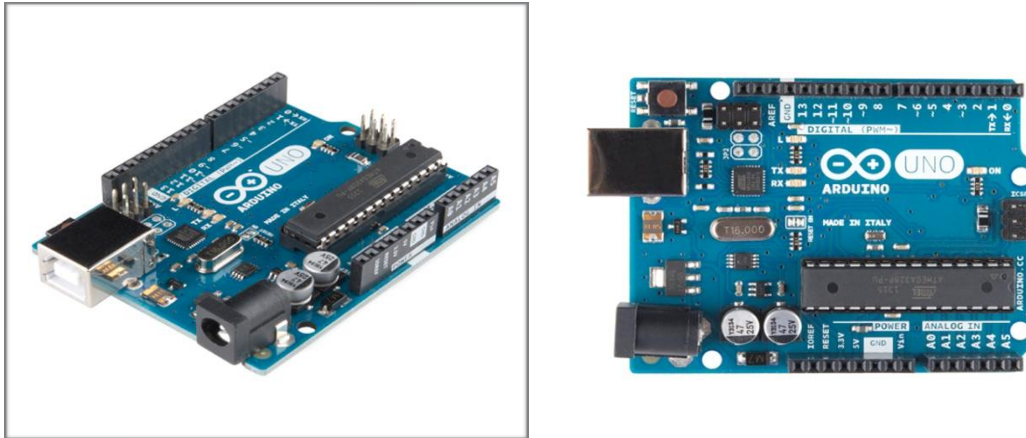
Fuente: Diseño propio. 2014.

Para nuestra maquina empaquetadora necesitaremos tres de estos drivers para manejar cada motor paso a paso de imán permanente unipolar.

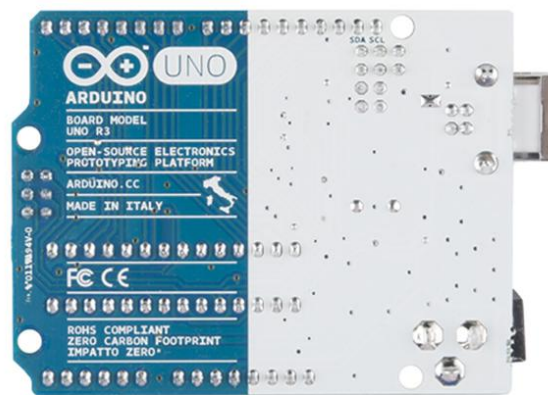
Ahora bien, la placa con microcontrolador propuesto para el sistema es Arduino UNO – R3. (Ver Figura 108).

Figura 108: Placa con microcontrolador Arduino UNO – R3.

(Vista frontal)



(Vista trasera)



Fuente: SPARKFUN.

Tabla 14: Características de la placa con microcontrolador Arduino UNO – R3.

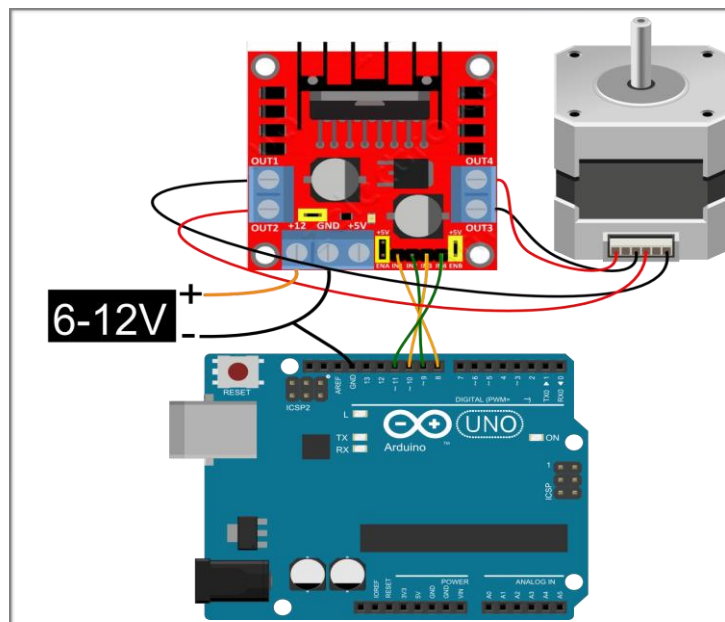
Microcontrolador:	ATmega328.
Voltaje de entrada:	7 – 12 V.
Control:	TTL estándar.
Salidas/entradas digitales:	14.
Entradas analógicas:	6.
Memoria flash:	32 K.
Velocidad de reloj:	32 Mhz.
Proveedor:	https://www.sparkfun.com/products/11021
Costo unitario:	\$350.00 MN.

Fuente: Diseño propio. 2014.

3.2.2.- Interconexión eléctrica de los componentes.

La figura siguiente muestra la conexión utilizada entre el motor paso a paso de imán permanente unipolar, el driver y la placa con microcontrolador (Ver Figura 109):

Figura 109: Interconexión de componentes necesarios.



Fuente: Diseño propio. 2014.

A continuación, se mencionan las siguientes especificaciones para la figura que ilustra la interconexión de componentes necesarios, en este caso llámese también interconexión de motor paso a paso de imán permanente unipolar – driver – placa con microcontrolador:

- Cada una de las bobinas del motor paso a paso de imán permanente unipolar está conectada a una salida del driver.
- Para identificar las bobinas de un motor paso a paso de imán permanente unipolar se utiliza un multímetro en modo de continuidad.
- Los cables que dan continuidad son los extremos de cada bobina.
- El código de Arduino UNO – R3 hace girar al motor paso a paso de imán permanente unipolar una vuelta en determinado sentido.
- En nuestro caso el motor paso a paso de imán permanente unipolar utilizado es de 48 pasos/vuelta.

3.2.3.- Código del programa.

Se representa en forma escrita el siguiente código en lenguaje C del programa que será utilizado para programar y hacer funcionar el sistema Arduino UNO – R3 que realizará los giros al motor paso a paso de imán permanente unipolar:

```
/*
```

```
Stepper Motor Control - one revolution
```

Este programa impulsa un motor paso a paso unipolar
El motor está conectado a los pines digitales 8 - 11 de la
Arduino.

El motor debe girar una vuelta en una dirección, a continuación, una revolución en la otra dirección.

```
*/
```

```
#include <Stepper.h>
```

```
int estadoActivación = FALSE;
```

```
const int pasosPorRevolucion = 48; // igual al numero de pasos de nuestro motor utilizado
```

```
// inicializa la libreria 'stepper' en los pines 8 a 11
```

```
Stepper myStepper(pasosPorRevolucion, 8,9,10,11);
```

```
void setup() {
```

```
// establece la velocidad en 60rpm myStepper.setSpeed(60);
```

```
}
```

```
void loop() {
```

```
// gira una vuelta en una dirección para mover nuestra bolsa
```

```
if(estadoActivacion == TRUE){ //Nuestro programa espera un pulso de activación
```

```
myStepper.step(stepsPerRevolution);
```

```
delay(500);} else {myStepper.step(0);
```

```
}
```

```
}
```

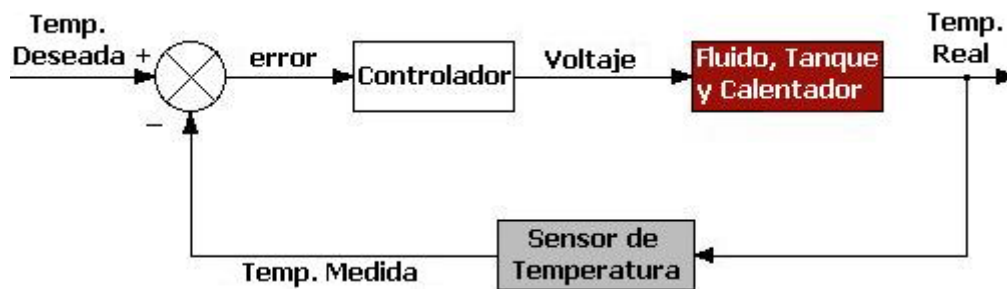
3.3.- SUB ETAPA 3: Sellado de bolsas para alimentos pulverizados.

3.3.1.- Sistema de control para sellado de bolsas y componentes necesarios.

Para el sellado de las bolsas que servirán de empaque para el alimento en polvo a empaquetar, se hará uso de una selladora que va a tener un sistema de control de temperatura constante, de velocidad por pulsos, lo que le permite sellar todo tipo de plásticos termo - sellables.

Para mantener la temperatura constante de la resistencia se propone el siguiente diagrama de bloques del sistema de control:

Figura 110: Diagrama de bloques del control de temperatura.



Fuente: Diseño propio.

Dado que no es necesario para nuestro sistema, mantener una temperatura con altos niveles de exactitud, recurriremos a un controlador tipo on - off con histéresis. Este controlador encenderá la resistencia en caso de que la temperatura este por debajo de un setpoint establecido y apagará la resistencia cuando la temperatura alcance un valor mayor al establecido.

Figura 111: Resistencias de sellado.



Fuente: WALDO PACKAGING MACHINERY.

Tabla 15: Características de las resistencias de sellado.

Material:	Acero.
Peso:	200 gramos cada hoja.
Temperatura:	0 °C a 500 °C.
Longitud:	15 cm.
Proveedor:	http://www.waldo.com.mx/control.php?cat=12
Precio unitario:	\$20.00 MN.

Fuente: Diseño propio. 2014.

Para controlar la temperatura de la resistencia, se ha de utilizar una placa con microcontrolador Arduino UNO – R3, considerando que es el mismo tipo de placa con microcontrolador que se usa para el control de los motores paso a paso de imán permanente unipolar que se utilizan en la Sub Etapa 2: Desplazamiento de película plástica para la elaboración de bolsas empaquetadoras para alimentos pulverizados (Ver Figura 108 y Tabla 14).

Así también, se propone el siguiente sensor de temperatura:

Figura 112: Sensor de temperatura con cabeza de acero modelo SEN118A2B.



Fuente: SILICIO.MX.

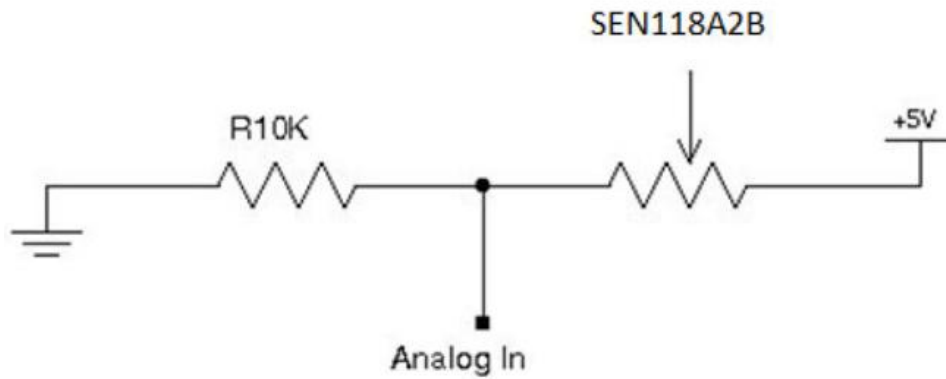
Tabla 16: Características del sensor de temperatura con cabeza de acero modelo SEN118A2B.

Temperatura:	0 ° C a 200 °C.
Material:	Silicio con cabeza de acero forrada de aluminio.
Proveedor:	http://silicio.mx/sensor-de-temperatura-con-cabezade-acero
Precio:	\$250.00 MN.

Fuente: Diseño propio. 2014.

Para el montaje de este sensor conectaremos directamente uno de los hilos al pin 5 V de Arduino, y el otro lo conectaremos a uno de los pines analógicos. Además, entre masa (pin GND de Arduino) y el pin analógico donde se ha conectado dicho hilo, debemos intercalar una resistencia de 10 k Ω (valor impuesto por el fabricante). En la figura 113 se muestra el esquema de conexión.

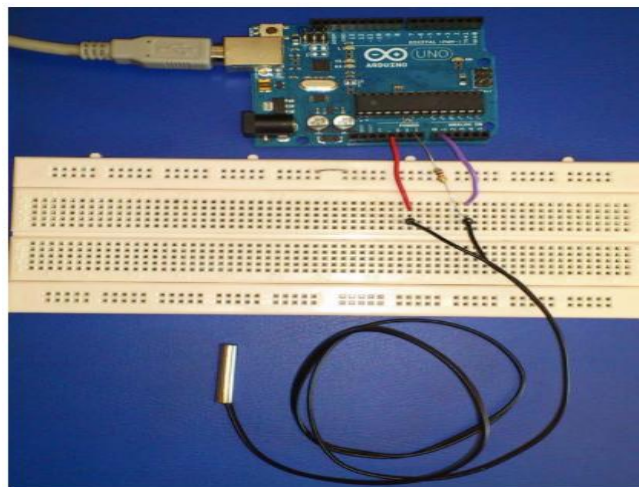
Figura 113: Esquema de conexión con Arduino UNO – R3.



Fuente: Diseño propio. 2014.

Este sensor mide hasta 200°C lo que es ideal para nuestro calentador ya que necesitamos que la resistencia oscile entre los 150 °C y 180 °C.

Figura 114: Conexión Arduino UNO – R3 - Sensor de Temperatura.

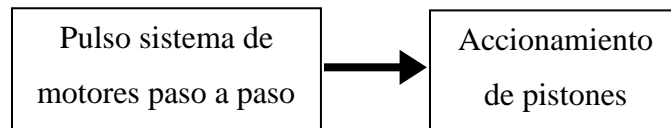


Fuente: SILICIO.MX.

3.3.2.- Sistema de control para corte de bolsas y componentes necesarios.

Para nuestra empaquetadora utilizaremos un sistema de control para el corte de las bolsas que servirán de empaque para el alimento en polvo a empaquetar.

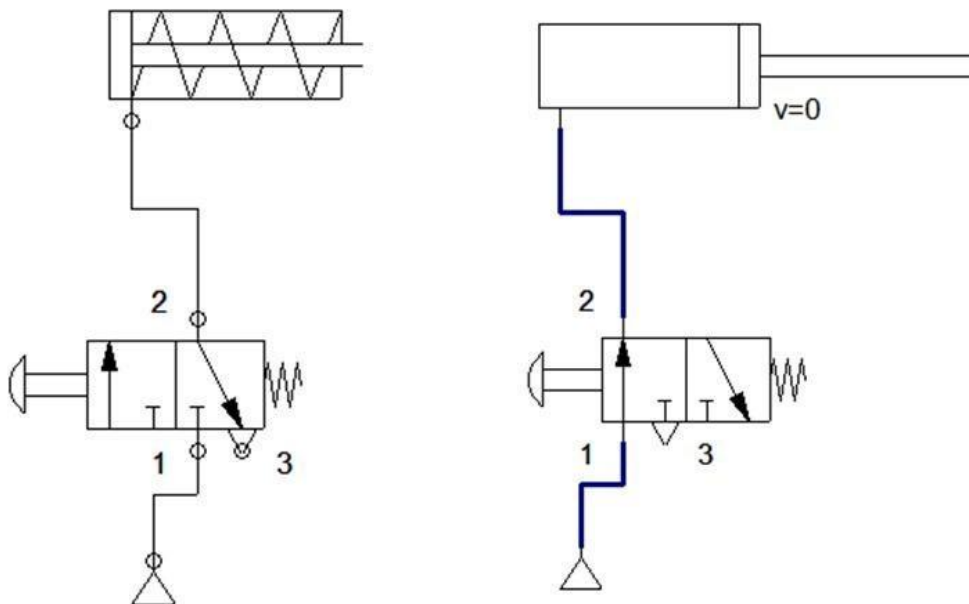
Figura 115: Diagrama de bloques del sistema de control para el accionamiento de pistones y corte de bolsas.



Fuente: Diseño propio.

Para esto, será necesario el uso de pistones de simple efecto (Ver Figura 116). Los pistones de simple efecto tienen la particularidad de ser simples para su control, ya que solo cuentan con una entrada de aire comprimido y con un resorte que le permite al vástago regresar a su posición original.

Figura 116: Diagrama esquemático de pistón de simple efecto.



Fuente: Google. 2014.

Figura 117: Pistón de simple efecto marca FESTO.



Fuente: FESTO MÉXICO.

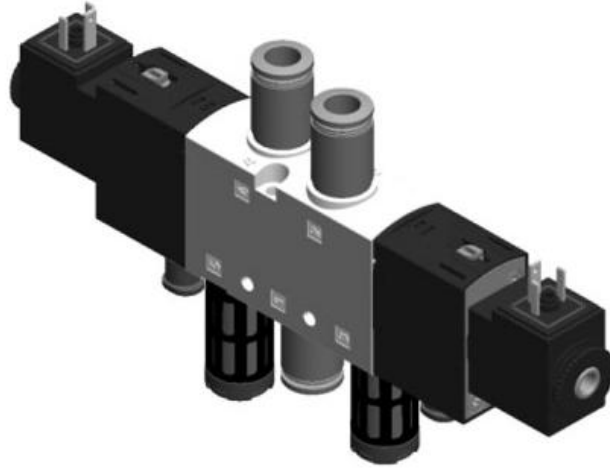
Tabla 17: Características del pistón de simple efecto marca FESTO.

Presión:	600 kpa = 6 bares.
Material:	Aluminio.
Proveedor:	http://www.festo.com/cat/es-mx_mx/data/doc_es/PDF/ES/ADN_ES.PDF
Precio:	\$400.00 MN.

Fuente: Diseño propio. 2014.

Como no es necesario un movimiento independiente entre los dos pistones que sellaran la bolsa en la parte inferior de la empaquetadora, utilizaremos una electroválvula para comandar dos pistones a la vez. De esta manera el movimiento de los dos pistones es casi idéntico y el error de sincronización es despreciable (Ver Figura 118).

Figura 118: Electroválvula modelo VUVS-L20-M32C-MS-Q4-F7 marca FESTO.



Fuente: FESTO MÉXICO.

Esta válvula es ideal para manejar pistones de simple efecto, ya que tiene activación eléctrica y el retorno de la válvula es por muelle mecánico.

Tabla 18: Características de la electroválvula modelo VUVS-L20-M32C-MS-Q4-F7 marca FESTO.

Entradas eléctricas:	1.
Retorno:	Muelle mecánico.
Presión:	600 kpa = 6 bares.
Material:	Aluminio.
Proveedor:	http://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/348658/PSI_260_1_VUVS_es.pdf
Precio:	\$566.00 MN.

Fuente: Diseño propio. 2014.

Ahora bien, cuando el sistema de jalado de bolsas haya concluido con su labor (Ver Sub Etapa 2: Desplazamiento de película plástica para la elaboración de bolsas empaquetadoras para alimentos pulverizados), se enviará un pulso al controlador maestro con el cual se activarán las válvulas que controlan a los pistones; es decir, se enviará una señal eléctrica que será convertida en una señal neumática; comprendiendo entonces, que en cuanto la válvula reciba el pulso de activación por parte del controlador maestro, el pistón de simple efecto se moverá para sellar y cortar la bolsa en cuestión.

El sistema funciona con una presión de aire de 6 bares, para esto, se propone el siguiente compresor neumático:

Figura 119: Compresor neumático marca FESTO.



Fuente: FESTO MÉXICO.

Tabla 19: Características del compresor marca FESTO.

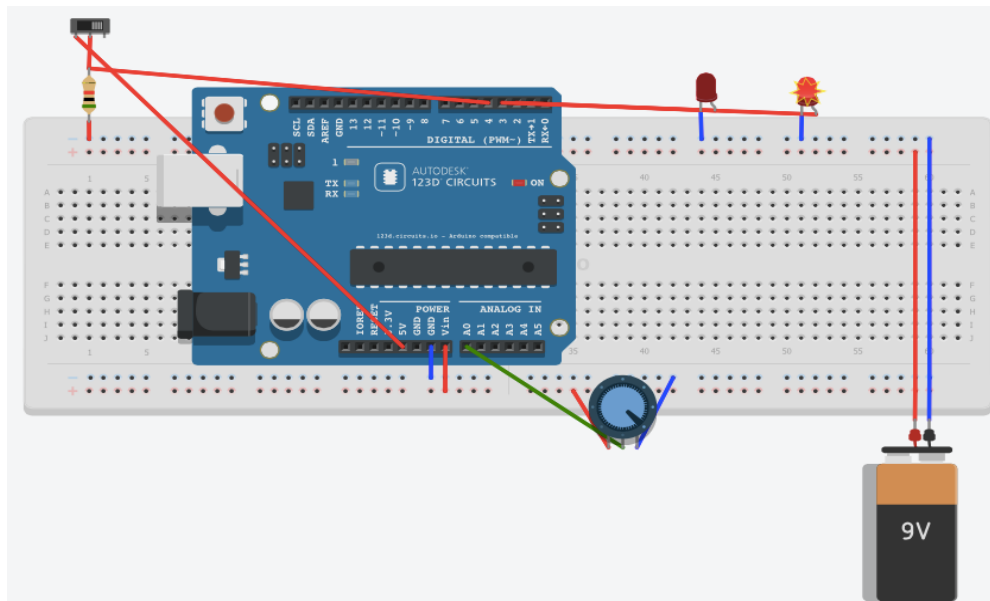
Presión máxima:	800 kpa = 8 bares.
Capacidad de aspiración:	50 Litros/minuto.
Volumen del depósito:	24 Litros.
Salida del aire comprimido:	¼" o KD4.
Emisión acústica:	45 dB (A)/1 m.
Tiempo de utilización:	Máximo de 50%.
Regulador de presión:	Manómetro.
Proveedor:	http://www.festo-didactic.com/mx-es/learning-systems/equipos-de-practicas/accesorios/general/compresor.htm?fbid=bXguZXMuNTY0LjE0LjE4LjU1NS4zMjE0&basket=add&vid=4776
Precio:	\$2000.00 MN.

Fuente: Diseño propio. 2014.

3.3.3.- Esquema de simulación e interconexión eléctrica de los componentes.

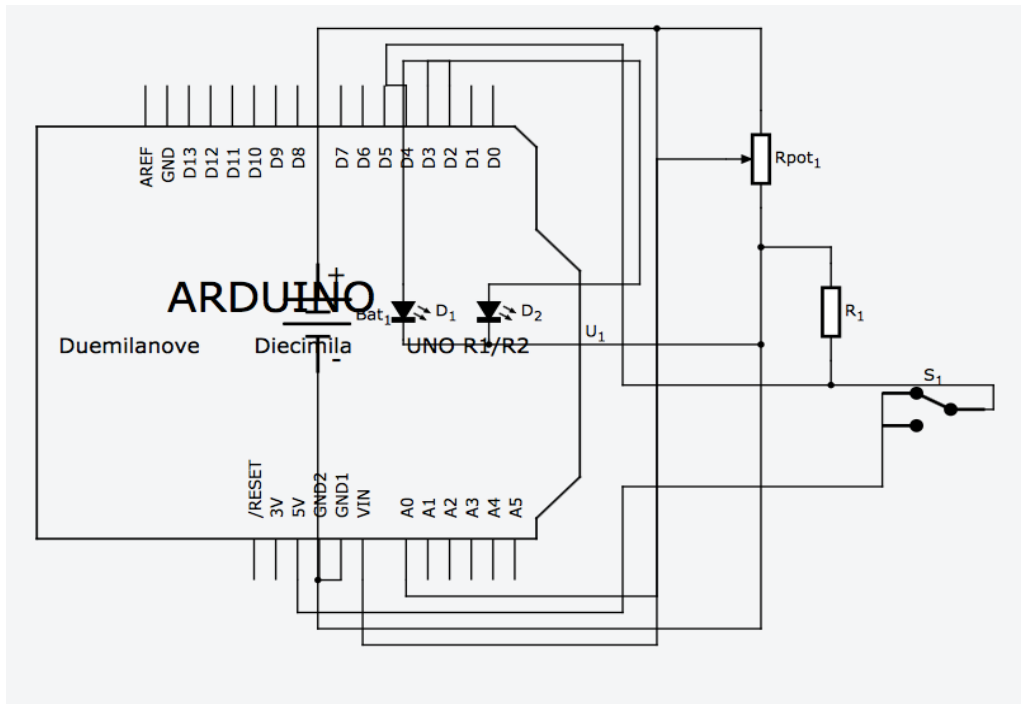
En el siguiente esquema de simulación, se ejemplifica de qué manera el controlador encenderá el pistón y la resistencia eléctrica. Los leds indican uno el pistón y otro la resistencia. El potenciómetro azul representa al sensor que está midiendo la temperatura en la resistencia con la cual se compara al valor deseado.

Figura 120: Esquema para simulación de control de resistencia y encendido de pistón.



Fuente: Diseño propio. 2014.

Figura 121: Diagrama esquemático de la interconexión de componentes para el sistema de control de sellado y corte.



Fuente: Diseño propio. 2014.

3.3.4.- Código del programa.

A continuación se representa en forma escrita el siguiente código en lenguaje C del programa que será utilizado para programar y hacer funcionar el sistema Arduino que realizará la acción de controlar la temperatura de sellado y el movimiento de los pistones:

```

int led = 3;
int led2= 2;
int sensor=0;
void setup() {
pinMode(led, OUTPUT);
pinMode(led2, OUTPUT);
pinMode(4,INPUT);
}
void loop() {
if(digitalRead(4))
{ digitalWrite(led2,HIGH);}
else if(digitalRead(4)==0)
{ digitalWrite(led2,LOW);}
sensor=analogRead(0);
if(sensor<=100){
digitalWrite(led,HIGH);
}else digitalWrite(led,LOW);
}

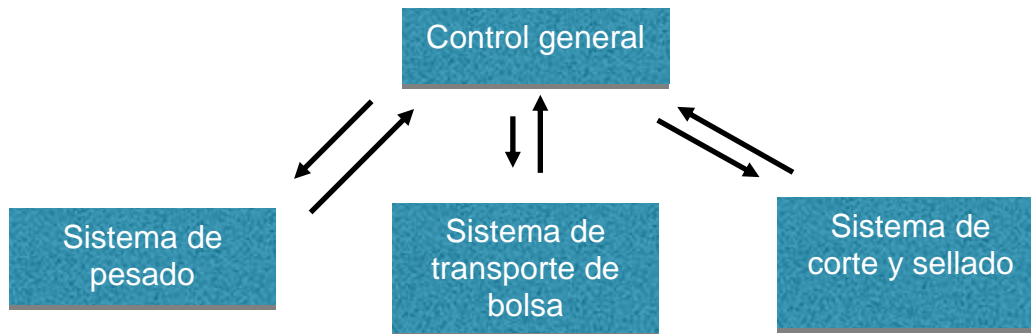
```


3.4.- SUB ETAPA 4: Sistema de control general de la máquina empaquetadora de alimentos pulverizados.

3.4.1.- Sistema de control y componentes necesarios.

Toda máquina empaquetadora de alimentos pulverizados debe contar con un sistema de control central que manipule el funcionamiento de cada componente que lo forma; así, como sus procesos que llevan a cabo para realizar un objetivo establecido a fin. Para este caso, se establece el siguiente diagrama de bloques:

Figura 122: Diagrama de bloques del sistema de control general.



Fuente: Diseño propio. 2014.

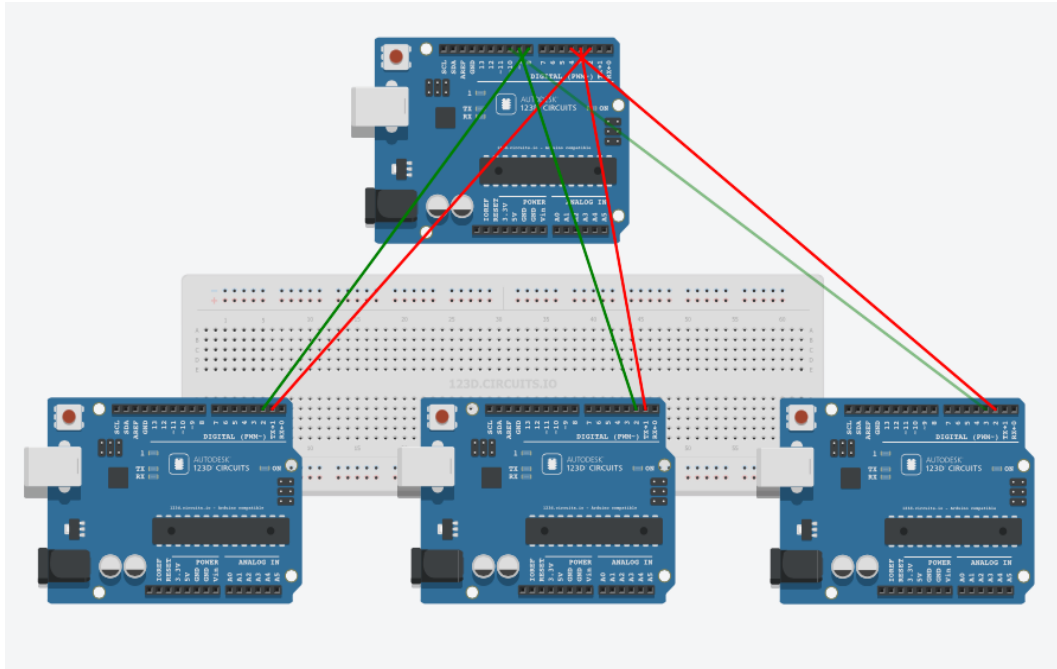
En la Figura 122 podemos observar que la comunicación que tiene cada sistema particular de control se comunica con el sistema central, que es el que coordina las acciones de los demás sistemas. La comunicación entre los módulos es bidireccional, es decir, los datos que se envían al control general son devueltos por el mismo al módulo que corresponde para continuar con el proceso.

Para el control general del funcionamiento de toda la máquina, se recurre al uso de una placa con microcontrolador Arduino UNO – R3, misma que se ha considerado en sub etapas anteriores, ya que la diferencia entre un Arduino UNO – R3 y Arduino NANO radica en los sockets de conexión para cables que posee el Arduino UNO – R3 los cuales no contiene el Arduino NANO, y así mismo, facilitar la conexión hacia los pines digitales.

3.4.2.- Interconexión eléctrica de los componentes.

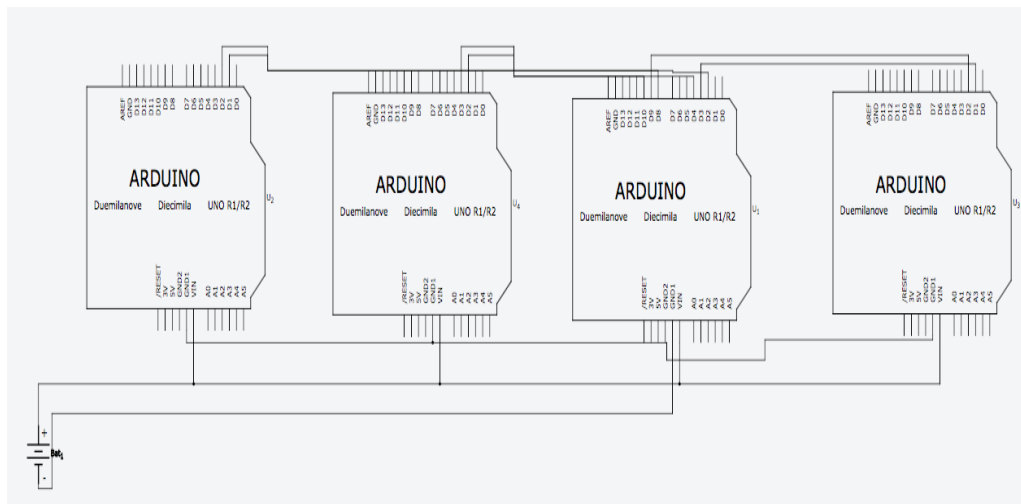
Para esta sub etapa, se muestra a continuación los siguientes diagramas:

Figura 123: Diagrama de simulación del control general.



Fuente: Diseño propio. 2014.

Figura 124: Diagrama esquemático de la interconexión de componentes para el sistema de control general.



Fuente: Diseño propio. 2014.

3.4.3.- Código del programa.

Se representa en forma escrita el siguiente código en lenguaje C del programa que será utilizado para programar y hacer funcionar el sistema Arduino UNO – R3 que realizará los giros al motor paso a paso de imán permanente unipolar:

```
void setup(){
pinMode(3,INPUT); //lee el valor de la entrada del controlador 1
pinMode(4,INPUT);
pinMode(5,INPUT);

pinMode(3,OUTPUT); //escribe los valores de sincronización con los controladores
pinMode(4,OUTPUT);
pinMode(5,OUTPUT);

int estado1 = 0;
int estado2 = 0;
int estado3 = 0;
}

void main(){

int estado1 = digitalRead(3);
int estado2 = digitalRead(4);
int estado3 = digitalRead(5);

    switch(estado){
        case 0: delay(100); //retardo de sincronización
                digitalWrite(1,6); // da paso al siguiente proceso

        case 1: delay(100);
                digitalWrite(1,7);

        case 2: delay(100);
                digitalWrite(1,8);

        break;
    }
}
```

CONCLUSIÓN

A partir de este proyecto se lleva a cabo el desarrollo de la empaquetadora de alimentos pulverizados que está fundado en la ingeniería mecánica y sus aplicaciones, destacando el diseño mecánico y la automatización.

En este proceso del prototipo de empaquetadora se describió los requerimientos que se deben utilizar al empaquetar este tipo de alimentos y se debe respetar las normas alimenticias; también se indica en las diversas fases metodológicas como el proceso mecánico y la automatización que ésta a su vez se encuentra dividida en 4 sub etapas, la primera etapa consiste en la transportación del alimento pulverizado por un tornillo sinfín y éste a su vez llegará a ser pesado por medio de una sensor o galga extensiométrica para obtener el peso deseado; la segunda etapa consta del movimiento del polímero y/o plástico por medio de motores paso a paso que servirá de envase para el polvo que se pesó en la etapa anterior; tercera etapa es el corte y sellado de la bolsa que servirá para recibir el alimento a envasar; por último, la cuarta etapa es el control central de todo el funcionamiento de la envasadora.

Se concluye que ésta empaquetadora reúne todos los requisitos para ser utilizada en alimentos pulverizados para aquellas empresas que tengan como giro este tipo de negocio, ésta máquina complementa mecánicamente todas sus funciones para poder ser ofertada en el mercado empresarial o de la agroindustria.

BIBLIOGRAFÍA:

Bolton W. (2001). *Ingeniería de control*. (2ª. Edición). México D. F.: ALFAOMEGA.

Bolton W. (2001). *Mecatrónica. Sistemas de control electrónica en ingeniería mecánica y eléctrica*. (2ª. Edición). México D. F.: ALFAOMEGA.

Boylestad R. L. (2004). *Introducción al análisis de circuitos*. (10ª. Edición). México D. F.: PEARSON EDUCATION PRENTICE HALL.

Boylestad R. L. & Nashelsky L. (2007). *Fundamentos de electrónica*. (4ª. Edición). México D. F.: PEARSON EDUCATION PRENTICE HALL.

Boylestad R. L. (2009). *Electrónica: Teoría de circuitos y dispositivos electrónicos*. (10ª. Edición). México D. F.: PEARSON EDUCATION PRENTICE HALL.

Boylestad R. L. (2010). *Análisis introductorio de circuitos*. (3ª. Edición). México D. F.: TRILLAS.

Cathey J. J. (2002). *Máquinas eléctricas. Análisis y diseño aplicando Matlab*. (1ª. Edición). México D. F.: McGraw Hill.

Chapman S. J. (2005). *Máquinas eléctricas*. (4ª. Edición). México D. F.: McGraw Hill.

Cogdell J. R. (2000). *Fundamentos de electrónica*. (1ª. Edición). México D. F.: PEARSON EDUCATION PRENTICE HALL.

Deppert W. & Stoll K. (1991). *Aplicaciones de la neumática*. México D. F.: ALFAOMEGA.

Deppert W. & Stoll K. (2001). *Dispositivos neumáticos*. (1ª. Edición). México D. F.: ALFAOMEGA.

- Dorf R. C. & Svoboda J. A. (2006). *Circuitos eléctricos*. (6ª. Edición). México D. F.: ALFAOMEGA.
- Dorf R. C. & Bishop R. H. (2008). *Sistemas de control moderno*. (10ª. Edición). México D. F.: PEARSON EDUCATION PRENTICE HALL.
- Eronini U. (2001). *Dinámica de sistemas y control*. (1ª. Edición). México D. F.: THOMSON LEARNING.
- Farrando Boix R. (1975). *Circuitos neumáticos, eléctricos e hidráulicos*. (1ª. Edición). México D. F.: ALFAOMEGA.
- Fitzgerald A. E.; Kingsley C. Jr. & Steven D. U. (2011). *Máquinas eléctricas*. (6ª. Edición). México D. F.: McGraw Hill.
- Floyd T. L. (2007). *Principios de circuitos eléctricos*. (8ª. Edición). México D. F.: PEARSON EDUCATION PRENTICE HALL.
- Floyd T. L. (2009). *Fundamentos de sistemas digitales*. (9ª. Edición). México D. F.: PEARSON EDUCATION PRENTICE HALL.
- Hayt W. H. Jr.; Kemmerly J. E. & Steven M. D. (2007). *Análisis de circuitos en ingeniería*. (7ª. Edición). México D. F.: McGRaw Hill.
- Irwin J. D. (1997). *Análisis básico de circuitos en ingeniería*. (5ª. Edición). México D. F.: PEARSON EDUCATION PRENTICE HALL.
- Hyde J.; Regué J. & Cuspinera A. (1997). *Control electroneumático y electrónico*. (1ª. Edición). México D. F.: ALFAOMEGA.

- Kuo B. C. (1995). *Sistemas de control automático*. (7ª. Edición). México D. F.: PEARSON EDUCATION PRENTICE HALL.
- Mandado Pérez E.; Acevedo J. M.; Fernández Silva C. & Armesto Quiroga J. (2010). *Autómatas programables y sistemas de automatización*. (2ª. Edición). México D.F.: ALFAOMEGA.
- Millán Teja S. (1996). *Automatización neumática y electroneumática*. (1ª. Edición). México D. F.: ALFAOMEGA.
- Nilsson J. W. (2007). *Circuitos eléctricos*. (7ª. Edición). México D. F.: PEARSON EDUCATION PRENTICE HALL.
- Nise N. S. (2002). *Sistemas de control para ingeniería*. (3ª. Edición). México D. F.: GRUPO EDITORIAL PATRIA.
- Ogata K. (1987). *Dinámica de sistemas*. (1ª. Edición). México D. F.: PEARSON EDUCATION PRENTICE HALL.
- Ogata K. (1996). *Sistemas de control en tiempo discreto*. (1ª. Edición). México D.F.: PEARSON EDUCATION PRENTICE HALL.
- Ogata K.. (2005). *Ingeniería de control moderna*. (4ª. Edición). México D. F.: PEARSON EDUCATION PRENTICE HALL.
- Tocci R. J.; Widmer N. S. & Moss G. L. (2007). *Sistemas digitales. Principios y aplicaciones*. (10ª. Edición). México D. F.: PEARSON EDUCATION PRENTICE HALL.
- Wildi T. (2007). *Máquinas eléctricas y sistemas de potencia*. (6ª. Edición). México D. F.: PEARSON EDUCATION PRENTICE HALL.

<http://program-plc.blogspot.mx/2014/06/plc-analog-input-module-with-arduino.html>

http://es.uline.mx/BL_5581/Polypropylene-Tubing

<http://es.uline.mx/Product/Detail/S-1511/Poly-Bags-Flat-Open/6-x-8-4-Mil-Industrial-Poly-Bags>

<http://corporate.siemens.com.mx/siemens-en-mexico/>

https://www.youtube.com/watch?v=INWW_ojnWn4

<https://www.youtube.com/watch?v=x-kecDS2iG0>

<http://arduinoobot.pbworks.com/f/Manual+Programacion+Arduino.pdf>

<https://www.youtube.com/watch?v=TfemwzKfKrc>

<http://www.pabloyglesias.com/arduino-iii-resolucion-de-un-sistema-complejo-y-lenguaje-de-programacion/>

<http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/11833/1/arduino.pdf>

<http://www.cortoc.com/p/arduino.html>