



# VÁLVULAS Y ACTUADORES

Capítulo Tercero

---

**DEFINICIÓN** Los actuadores son dispositivos capaces de generar una fuerza a partir de líquidos, de energía eléctrica y gaseosa. El actuador recibe la orden de un regulador o controlador y da una salida necesaria para activar a un elemento final de control como lo son las válvulas. Existen tres tipos de actuadores:

- T Hidráulicos
- T Neumáticos
- T Eléctricos

Los actuadores hidráulicos, neumáticos eléctricos son usados para controlar sistemas mecánicos. Por lo general, los actuadores hidráulicos se emplean cuando lo que se necesita es potencia. Una de las desventajas de los actuadores hidráulicos es que requieren demasiado equipo para suministrarles energía, así como mantenimiento periódico.

Por otro lado, las aplicaciones de los modelos neumáticos también son limitadas desde el punto de vista de precisión y mantenimiento. Los actuadores eléctricos también son muy utilizados en los aparatos mecatronicos, como por ejemplo, en los robots. Los servomotores CA sin escobillas se utilizarán en el futuro como actuadores de posicionamiento preciso, debido a que pueden funcionar muchas horas, sin tanto mantenimiento. Por todo esto es necesario conocer muy bien las características de cada actuador para utilizarlos correctamente, y de acuerdo a su aplicación específica.

## ACTUADORES HIDRÁULICOS

### ACTUADORES HIDRÁULICOS

#### Sistemas Hidráulicos

Los sistemas hidráulicos son mecanismos que utilizan el agua para realizar movimientos y para ejercer fuerza sobre las cosas a movilizar. Aquí ponemos una lista de ventajas y desventajas de cada uno de ellos

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Posibilidad de generar grandes fuerzas	Dificultades resultantes por el uso de altas presiones
Posibilidad de movimientos suaves y lentos	Soportes mecánicos o complicados paneles de control necesarios para desplazamientos exactos
Relativa simplicidad del lugar donde se colocan los elementos móviles	Grietas que pueden influenciar la presión dentro del sistema
La posibilidad de cambiar la velocidad de los desplazamientos de una manera no abrupta	La variación en la viscosidad de los líquidos con los cuales se trabaja debido a cambios en la temperatura
El hecho de que no es explosivo (la presión baja de manera abrupta cuando hay fuga de líquido)	

Los actuadores hidráulicos, funcionan en base a fluidos a presión, y pueden ser clasificados en tres grandes grupos, de acuerdo a su forma de operación.

1. Cilindro hidráulico
2. Motor hidráulico
3. Motor hidráulico de oscilación

## CILINDRO HIDRÁULICO

## CILINDRO HIDRÁULICO

De acuerdo con su función podemos clasificar a los cilindros hidráulicos en 2 tipos: de Efecto simple y de acción doble. En el primer tipo se utiliza fuerza hidráulica para empujar y una fuerza externa, diferente, para contraer. El segundo tipo se emplea la fuerza hidráulica para efectuar ambas acciones. El control de dirección se lleva a cabo mediante un solenoide que se muestra a continuación

En el interior poseen un resorte que cambia su constante elástica con el paso de la corriente. Es decir, si circula corriente por el pistón eléctrico este puede ser extendido fácilmente.

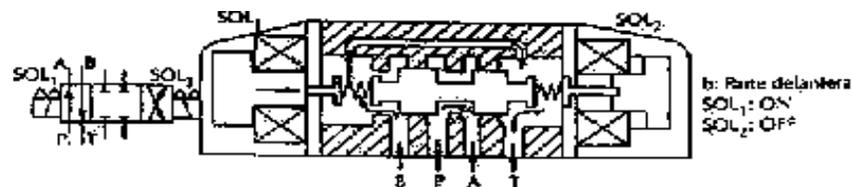


Figura 3.1 - Diagrama de un pistón de doble acción con su válvula solenoide

### CILINDRO DE PRESIÓN DINÁMICA

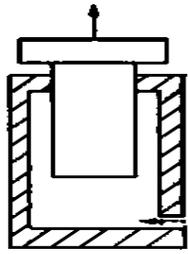


Figura 3.2 - Cilindro de Presión Dinámica

### CILINDRO DE PRESIÓN DINÁMICA

Lleva la carga en la base del cilindro. Los costos de fabricación por lo general son bajos ya que no hay partes que resbalen dentro del cilindro

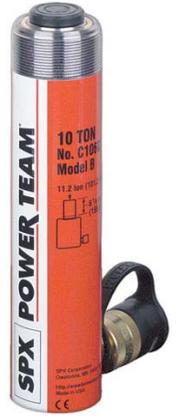


Figura 3.3 - Cilindro de Presión Dinámica Power Team (CILINDRO P.W. C101C)

### CILINDRO DE EFECTO SIMPLE

### CILINDRO DE EFECTO SIMPLE

La barra esta solo en uno de los extremos del pistón, el cual se contrae mediante resortes o por la misma gravedad. La carga puede colocarse solo en un extremo del cilindro.

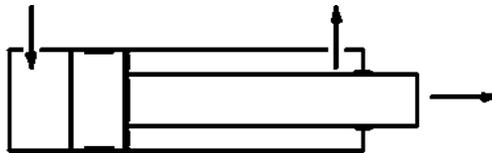


Figura 3.4 - Esquema de un Cilindro De Efecto Simple

### CILINDRO DE DOBLE EFECTO

### CILINDRO DE DOBLE EFECTO

La carga puede colocarse en cualquiera de los lados del cilindro. Se genera un impulso horizontal debido a la diferencia de presión entre los extremos del pistón.



Figura 3.5 - Esquema de un Cilindro de doble efecto

### CILINDRO TELESCÓPICO

### CILINDRO TELESCÓPICO.

La barra de tipo tubo multietápico es empujada sucesivamente conforme se va aplicando al cilindro aceite a presión. Se puede lograr una carrera muy larga en comparación con la longitud del cilindro.

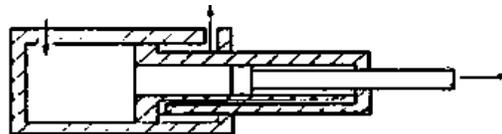


Figura 3.6 - Esquema de un cilindro telescópico

## MOTOR HIDRÁULICO

## MOTOR HIDRÁULICO

En los motores hidráulicos el movimiento rotatorio es generado por la presión. Estos motores los podemos clasificar en dos grandes grupo: El primero es uno de tipo rotatorio en el que los engranes son accionados directamente por aceite a presión, y el segundo, de tipo oscilante, el movimiento rotatorio es generado por la acción oscilatoria de un pistón o percutor; este tipo tiene mayor demanda debido a su mayor eficiencia. A continuación se muestra la clasificación de este tipo de motores:

- < Motor de engranaje
- < Tipo Rotatorio Motor de Veleta
- < Motor de Hélice
- < Motor Hidráulico Motor de Leva excéntrica
- < Pistón Axial
- < Tipo Oscilante
- < Motor con eje inclinado

### MOTOR DE ENGRANAJE

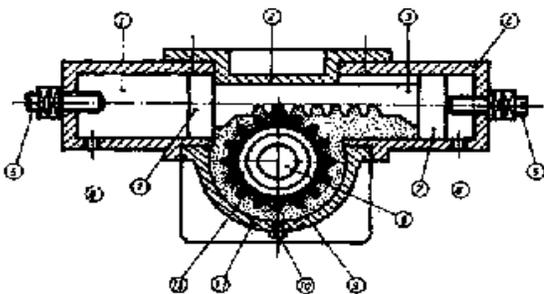
### MOTOR DE ENGRANAJE.

El aceite a presión fluye desde la entrada que actúa sobre la cara dentada de cada engranaje generando torque en la dirección de la flecha. La estructura del motor es simple, por lo que es muy recomendable su uso en operaciones a alta velocidad.

### MOTOR CON PISTÓN EJE INCLINADO

### MOTOR CON PISTÓN EJE INCLINADO

EL aceite a presión que fluye desde la entrada empuja el pistón contra la brida y la fuerza resultante en la dirección radial hace que el eje y el bloque del cilindro giren en la dirección de la flecha. Este tipo de motor es muy conveniente para usos a alta presión y a alta velocidad. Es posible modificar su capacidad al cambiar el ángulo de inclinación del eje.



MOTOR OSCILANTE

- 1 - Cámara del cilindro
- 2 - Tope fijo que delimita cámara
- 3 - Vástago
- 4 - Cercas
- 5 - Topes regulables que delimitan el ángulo de giro
- 6 - Entradas y salidas de fluidos a la cámara
- 7 - Embobos
- 8 - Eje piratorio donde se hace la aplicación
- 9 - Pistón transmisor del esfuerzo
- 10 - Tuercas tapón de relleno
- 11 - Cercas
- 12 - Anillo

Figura 3.8 - Motor Oscilante con pistón axial

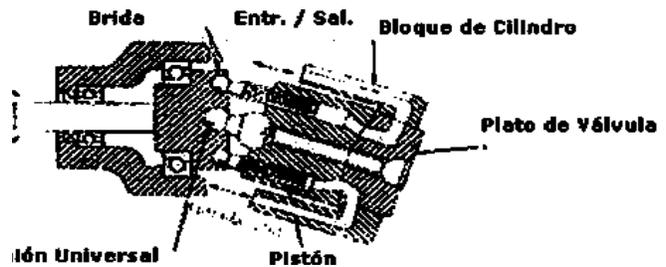


Figura 3.7 - Motor con pistón eje inclinado

### MOTOR OSCILANTE CON PISTÓN AXIAL

Tiene como función, el absorber un determinado volumen de fluido a presión y devolverlo al circuito en el momento que éste lo precise

## ACTUADORES NEUMÁTICOS

## ACTUADORES NEUMÁTICOS

A los mecanismos que convierten la energía del aire comprimido en trabajo mecánico se les denomina actuadores neumáticos. Aunque en esencia son idénticos a los actuadores hidráulicos, el rango de compresión es mayor en este caso, además de que hay una pequeña diferencia en cuanto al uso y en lo que se refiere a la estructura, debido a que estos tienen poca viscosidad. En esta clasificación aparecen los fuelles y diafragmas, que utilizan aire comprimido y también los músculos artificiales de hule, que últimamente han recibido mucha atención. Los dispositivos neumáticos los podemos dividir de la siguiente manera:

- T Cilindro de simple Efecto
- T Actuador Neumático De efecto Doble
  - T Con engranaje
  - T Sin engranaje
- T Motor Neumático de veleta
  - T Con Veleta
  - T Con una veleta a la vez
  - T Multiveleta
- T Motor Rotatorio Con pistón
  - T De ranura Vertical
  - T De émbolo
- T Fuelles, Diafragma y músculo artificial



Figura 3.9 - Cilindro neumático

## CILINDRO DE SIMPLE EFECTO

### CILINDRO DE

**SIMPLE EFECTO** El cilindro de simple efecto, sólo puede realizar trabajo en un único sentido, para hacer avanzar el vástago, el aire a presión penetra por el orificio de la cámara trasera, llenándola y haciendo avanzar al vástago. Para que esto sea posible, el aire de la cámara delantera ha de ser desalojado al exterior, a través del orificio correspondiente. Para el retorno, el cilindro cuenta con un muelle recuperador que lleva incorporado el cilindro, o bien mediante la acción de fuerzas exteriores.

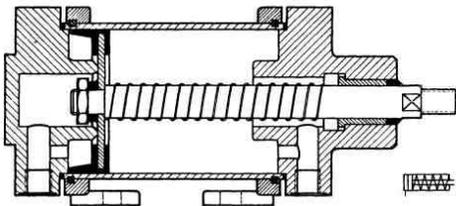


Figura 3.10 - Esquema de un cilindro de simple efecto

En la práctica existen varios tipos. Los más empleados son los cilindros de émbolo. El movimiento de trabajo es efectuado por el aire a presión que obliga a desplazar al émbolo comprimiendo el muelle, y al desaparecer la presión, el muelle retorna al émbolo a su posición original. Por eso, los cilindros de simple efecto se utilizan cuando el trabajo debe realizarse en una sola dirección. Hay que tener presente que en la cámara opuesta existe aire a presión atmosférica, pero que por eso existe un orificio para que dicho aire escape por allí.

## CILINDRO DE DOBLE EFECTO



Figura 3.12 - Cilindro de doble efecto tipo ISO6432

Al mencionar que el cilindro es de doble efecto, nos referimos a que se puede mover en dos direcciones en función de por dónde le entre el aire comprimido al cilindro y por donde lo expulse. Así el cilindro tiene la habilidad de ejercer un trabajo en los dos sentidos del movimiento. El campo de aplicación de los cilindros de doble efecto es mucho más extenso que el de los cilindros de simple efecto. Incluso si no es necesario ejercer una fuerza en los dos sentidos, el cilindro de doble efecto es preferible, que el cilindro de simple efecto con muelle de retorno incorporado.

El cilindro de doble efecto se construye siempre en forma de cilindro de émbolo y posee dos tomas para el aire comprimido situados a ambos lados del émbolo. Al aplicar aire a presión en la cámara posterior y comunicar la cámara anterior con la atmósfera a través de una válvula, el cilindro realiza la carrera de avance. La carrera de retroceso se efectúa introduciendo aire a presión en la cámara anterior y comunicando la cámara posterior con la atmósfera, para que el aire atrapado en esa cámara salga y permita el desplazamiento.

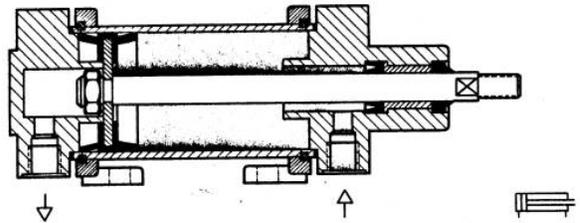


Figura 3.11 - Esquema de un cilindro de doble efecto

Los fabricantes de cilindros adoptan varios criterios sobre las dimensiones de los mismos, ya que, según las implicaciones geográficas o las licencias de fabricación que poseen, adoptan unas u otras normativas. Pero las principales características son las siguientes:

**Fuerza del cilindro:** La transmisión de potencia mediante aire comprimido se base en el principio de Pascal: Toda presión ejercida sobre un fluido se transmite íntegramente en todas direcciones. Por tanto, la fuerza ejercida por un émbolo es igual al producto de la presión por la superficie.



Figura 3.13 - Cilindro de doble efecto tipo NFPA

**Consumo de aire:** La energía del aire comprimido que alimenta los cilindros, se transforma en trabajo, y una vez utilizado, se expulsa del cilindro. Se entiende como consumo teórico de aire, al volumen de aire consumido en cada ciclo de trabajo. Un ciclo de trabajo se refiere al desplazamiento del émbolo desde su posición inicial hasta el final de su carrera de trabajo, más el retorno a su posición inicial.



Figura 3.14 - Actuador giratorio neumático de paletas

**Velocidad del émbolo:** La velocidad del émbolo es función de la presión de trabajo, de la fuerza antagonista, de las secciones de las tuberías y también del diámetro nominal de la válvula de mando. Además, la velocidad del émbolo puede ser afectada por válvulas estranguladoras o por válvulas de escape rápido. La obtención de una velocidad uniforme a lo largo de toda la carrera es un problema muy complejo, ya que no debemos olvidar que estamos tratando con un fluido compresible, y este fenómeno produce una no-linealidad. La velocidad media del émbolo en los cilindros estándar, está comprendida entre 0.1 y 1.5 m/s. En los cilindros especiales la velocidad puede ser mayor.

**Carrera del cilindro:** En comparación con los cilindros de simple efecto con muelle de retorno, la carrera de los de doble efecto está considerablemente menos limitada. Las principales razones para la limitación de las carreras son:

- X La disponibilidad comercial de los materiales para la fabricación de piezas largas
- X La proporción entre longitud y diámetro del cilindro.

## MOTORES NEUMÁTICOS

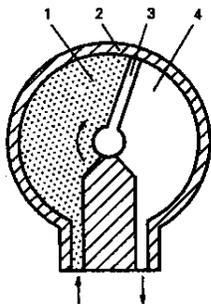


Figura 3.15 - Esquema de dos motores rotativos de paletas

## MOTORES NEUMÁTICOS

Los motores neumáticos realizan la función de transformar la energía neumática en energía mecánica de rotación. El proceso se desarrolla de forma inversa al de la compresión. Sus principales características pueden resumirse en:

- T Son ligeros y compactos
- T El arranque y paro es muy rápido, pueden trabajar con velocidad y par variable, sin necesidad de un control complejo
- T Baja inercia

## MOTORES DE PALETAS

Son elementos motrices destinados a proporcionar un giro limitado en un eje de salida. Son muy simples y su utilización está muy extendida. Estos motores son de construcción análoga a los de los compresores de paletas. El rotor está montado excéntricamente en el cuerpo del motor.

El par de giro se desarrolla cuando el aire a presión actúa sobre la sección libre de las paletas y las empuja haciendo girar el rotor. Cuando la cámara, entre paletas, con el aire comprimido alcanza la abertura de salida, se produce la correspondiente expansión a la atmósfera. Estos motores no superan los 270° y los de paleta doble no superan los 90°.

## MOTORES DE PISTONES

**MOTORES DE PISTONES** Según la disposición de los pistones, pueden ser de tipo radial o axial. Su comportamiento es similar, caracterizándose los de pistones axiales por un par elevado y rápido en el arranque. Su empleo se limita principalmente a las máquinas de grandes potencias. Trabajan a velocidades inferiores a las de los motores de paletas. Una característica importante es el bajo nivel de vibración a cualquier velocidad, siendo esto muy interesante a bajas velocidades, en las que, además se obtiene el par máximo.

## CREMALLERAS

**CREMALLERAS** Transforman un movimiento lineal en un movimiento rotacional y no superan los 360°



Figura 3.16 - Actuador giratorio neumático con piñón y cremallera

## VÁLVULAS

Las válvulas de control de dirección, conocidas en la práctica, como válvulas distribuidoras, son las que gobiernan el arranque, paro y sentido del aire comprimido a través del circuito neumático.

El objetivo de las válvulas dentro de la automatización es la de mantener o cambiar, según las órdenes recibidas, las conexiones entre los conductos, para obtener señales de salida o comportamientos deseados. De acuerdo con su uso, las válvulas distribuidoras se pueden dividir en:

- Distribuidores de potencia o principales:** Su función es la de suministrar aire directamente a los actuadores neumáticos y permitir igualmente el escape.
- Distribuidores de fin de carrera:** Estos distribuidores abren o cierran pasos al aire, cuya función no será la de ir directamente al actuador, sino que se utilizan solamente para el accionamiento de otros mecanismos de control. En esencia, este tipo de válvulas no se utilizan, cuando se tiene de un controlador electrónico, son remplazadas por sensores de fin de carrera. Por tal motivo no las analizaremos en este trabajo.
- Distribuidores auxiliares:** Son distribuidores utilizados en los circuitos y que en combinación con válvulas de fin de carrera y de potencia, se utilizan para dirigir apropiadamente el cauce del aire comprimido. Éstas tampoco se utilizan cuando existe un controlador electrónico, y por tanto no las analizaremos.



Figura 3.17 - Válvula neumática tipo CPE de Festo



Figura 3.18 - Válvula neumática tipo VUVB de Festo

Hay que tomar en cuenta que la localización de las válvulas distribuidoras en máquinas o mecanismos, deben de seguir los siguientes puntos:

- Los distribuidores principales deben montarse lo más próximo a los cilindros que comandan
- La localización de las válvulas de fin de carrera o manuales, viene fijada por el punto y la manera en que han de ser controladas
- La colocación de los distribuidores auxiliares es independiente, teniendo cuidado, de evitar trayectos innecesarios. Ya que el aire pierde energía al viajar por los ductos
- Los distribuidores neumáticos no trabajan en forma proporcional, sino que lo hacen en forma discreta, es decir, permiten el paso del aire o no lo permiten, no dan lugar a puntos intermedios.

Para llevar a cabo la elección de una válvula neumática en conveniente recurrir a ciertos criterios de elección, los cuales pueden abarcar los siguientes conceptos:

- Número de vías y posiciones
- Sistemas de accionamiento
- Características del caudal

### CONCEPTOS DE VÍAS Y POSICIONES

Se entiende por número de vías al número máximo de conductos que pueden interconectarse a través del distribuidor. El número de posiciones es el de conexiones diferentes que se pueden obtener entre las vías del distribuidor. Las válvulas de vías se designan en los catálogos por el número de vías controladas y de las posiciones de maniobra estables. Así una válvula 3/2, quiere decir que posee tres vías y dos posiciones de maniobra. Hay que observar que la primera cifra siempre indica el número de vías y la segunda el número de posiciones.

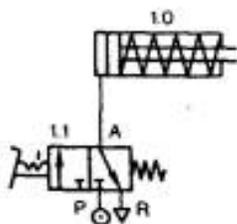


Figura 3.19 - Ejemplo de la utilización de una válvula, se pretende mostrar que A es la salida, P es la presión y R la salida de aire

Para evitar errores durante el montaje y además de identificarlos, se estandarizó la nomenclatura de las conexiones de las válvulas distribuidoras. Así:

Según la norma DIN 24300, se indica:

- P = Alimentación del aire comprimido
- A, B, C = Salidas de trabajo
- R, S, T = Escape de aire
- X, Y, Z = Conexiones de mando

Según las normas CETOP:

- 1 = Alimentación del aire comprimido
- 2 y 4 = Salidas de trabajo
- 3 y 5 = Escape de aire
- 12 y 14 = Conexiones de mando

De acuerdo con estos conceptos podemos proceder a una primera clasificación de los distribuidores:

### VÁLVULAS 2/2

#### VÁLVULAS 2/2

Estas válvulas difícilmente pueden llamarse distribuidores, ya que solo abren o cierran un conducto. Tienen un orificio para la entrada de aire y otro para la utilización. Evidentemente sólo admiten dos posiciones: vías cerradas o vías abiertas. Si está en reposo, la válvula sin accionar y las vías están cerradas, se denomina válvula normalmente cerrada, en caso de lo contrario se denomina normalmente abierta. En circuitos neumáticos, la aplicación de estas válvulas es de cierre o aislamiento entre zonas del circuito.

### VÁLVULAS DE TRES VÍAS

#### VÁLVULAS DE TRES VÍAS

En lugar de emplear dos válvulas de dos vías para controlar un cilindro de simple efecto, se usa una válvula distribuidora de tres vías y dos posiciones. Una válvula de tres vías consta de un orificio de entrada, otro de salida y un tercer orificio para la descarga del aire. El accionamiento de la válvula comunica la entrada con la salida, quedando el escape cerrado. Al retornar la válvula a su posición inicial, se cierra la entrada de aire y se comunica la salida con el escape.

Por lo general los distribuidores de tres vías son de dos posiciones 3/2, aunque también existen de tres posiciones 3/3, quedando en su posición central o de reposo todas las vías cerradas. Normalmente se emplean para el mando de cilindros de simple efectos, como válvulas de puesta en marcha, paro de la instalación o válvulas piloto para el accionamiento de válvulas de mayor tamaño.

En casos excepcionales se pueden utilizar las válvulas de tres vías para el mando de un cilindro de doble efecto; para ello se utilizan dos válvulas. Una de ellas alimenta a una de las cámaras del cilindro con aire a presión, simultáneamente la otra comunica la cámara contraria al escape.



Figura 3.20 - Válvula neumática tipo Midi, de Festo

## VÁLVULAS DE CINCO VÍAS

**VÁLVULAS DE CINCO VÍAS** Para poder controlar un cilindro de doble efecto, hace falta contar con dos distribuidores de tres vías, que además de comunicar con la fuente de presión, cerrar el escape de una de las entradas del cilindro, hay que hacer simultáneamente la operación inversa para la otra entrada. En vez de ello, se utiliza una válvula de cinco vías y dos posiciones.

La válvula de cinco vías consta de un orificio para la entrada, dos salidas para la utilización y dos escapes correspondientes. Todas las válvulas de cinco vías son de émbolo deslizante. Cada desplazamiento de éste, comunica la entrada con una u otra salida, quedando la otra salida conectada al exterior mediante el escape correspondiente. Se utiliza para el control de cilindros de doble efecto o para el accionamiento de válvulas piloto de mayor tamaño.

Aparte de las válvulas distribuidoras de 5/2, existen dos versiones de 5/3, una con ambas salidas a escape en posición central, que deja el cilindro libre y puede usarse para hacer la descarga previa, y otra con todas las vías cerradas para dejar el cilindro inmovilizado o bloqueado en una posición central.

## ACTUADORES

### PIEZOELÉCTRICOS

### INTRODUCCIÓN

## ACTUADORES PIEZOELÉCTRICOS

La palabra "piezo" se deriva de la palabra griega  $\pi\epsilon\zeta\omega$  que significa estrechar, apretar u oprimir. El descubrimiento de la piezoelectricidad en 1880 por los hermanos Paul Jacques y Pierre Curie es quizá uno de los pilares que eventualmente dieron soporte y cabida a la creación de los circuitos digitales. Descubrieron que cristales asimétricos como el cuarzo y la sal Rochelle (Tartrato de Sodio Potasio) generan una carga eléctrica cuando se les aplica una presión, e inversamente, se obtienen vibraciones mecánicas al aplicar oscilaciones eléctricas a estos mismos.

Poco después de su descubrimiento, los Curies divisaron diversos instrumentos que utilizaban el efecto piezoeléctrico. Uno de estos fue el voltmetro piezoeléctrico, y otro el piezoelectrómetro que eventualmente se convertiría en el instrumento básico utilizado por Pierre y Marie Curie en el trabajo que llevaría al descubrimiento del Radio. En otras formas, el efecto piezoeléctrico permaneció como una curiosidad de laboratorio por más de tres décadas.

Después de los Curies, la primera aplicación del efecto piezoeléctrico fue realizado por el profesor P. Langevin en Francia en 1917. Langevin utilizó platos de cuarzo cortados en forma de X para generar y detectar ondas sonoras en el agua. Su objetivo era proveer un medio para la detección de submarinos y su trabajo llevó al desarrollo del Sonar y a la ciencia del ultrasonido.

Actualmente el efecto piezoeléctrico es a menudo encontrado en la vida diaria. Por ejemplo: en encendedores de gas para cigarrillos o encendedores para parrillas en estufas de gas; una palanca aplica presión a un cristal piezoeléctrico creando un campo eléctrico lo bastante fuerte para producir una chispa que encienda el gas.

Además relojes con alarma utilizan a menudo elementos piezoeléctricos. Cuando una señal con una frecuencia en el rango audible es aplicada a un material piezoeléctrico, éste se mueve a la misma frecuencia que la de la señal de CA.

En el campo de la ingeniería el uso más común del fenómeno piezoeléctrico, actualmente en los actuadores piezoeléctricos. Un actuador piezoeléctrico es un dispositivo que produce movimiento aprovechando el fenómeno físico de la piezoelectricidad

. Los actuadores que utilizan este fenómeno están disponibles desde hace aproximadamente 20 años y han cambiado el mundo del posicionamiento de precisión. El movimiento preciso que resulta cuando un campo eléctrico es aplicado al material, es de gran valor para el nanoposicionamiento.

El efecto piezoeléctrico se refiere a la generación de carga eléctrica por un material cristalino cuando éste se somete a una fuerza. El efecto existe en cristales naturales como: el cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ), la turmanila, la sal de rochelle Ya que el efecto piezoeléctrico exhibido por materiales naturales es muy pequeño. Se han desarrollado materiales con propiedades mejoradas (cerámicos artificiales polarizados), por ejemplo: los materiales cerámicos ferroeléctricos, policristalinos como el BaTiO y el Zirconato Titanato de Plomo (PZT) y algunos polímeros como PVDF (Polyvinylideno fluoride). Los cerámicos PZT que están disponibles en muchas variaciones, son los materiales más ampliamente usados hoy para aplicaciones como actuadores o sensores.

La estructura cristalina del PZT es cúbica centrada en las caras (isotrópico, ver figura 2) antes de la polarización y después de la polarización exhiben simetría tetragonal (estructura anisotrópica ver figura 3) por debajo de la temperatura de Curie, que es aquella en la cual la estructura cristalina cambia de forma piezoeléctrica (no simétrica) a no-piezoeléctrica. A esta temperatura los cerámicos PZT pierden las propiedades piezoeléctricas.

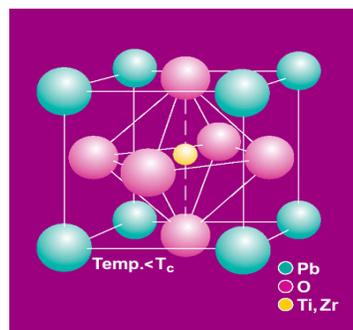


Figura 3.21 - Estructura FCC isotrópica cristalina del PZT, antes de la polarización

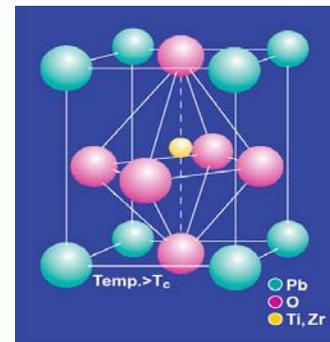


Figura 3.22 - Estructura FCC anisotrópica cristalina del PZT, después de la polarización

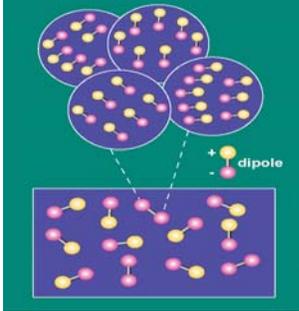


Figura 3.23 - Formación de dipolos en las moléculas

La razón del comportamiento del dipolo eléctrico es la separación entre los iones de carga positiva y negativa. Una región de dipolos eléctricos con orientación similar es llamada dominio. A los grupos de dipolos con orientación paralela se les llama dominio de Weiss. Inmediatamente después de que se forman esos dominios se van agrupando y van formando un momento bipolar mucho más grande (ver figura 4). En el material PZT está formado de muchos dominios de Weiss orientados aleatoriamente en el grueso del material. Esto hace que los dipolos se vayan cancelando y haciendo que el dipolo eléctrico total se haga cero.

Para incrementar las propiedades piezoeléctricas se debe de alinear todos los dominios en una sola dirección. Para este propósito se aplica un campo eléctrico (mayor a 2000 V/mm) al piezo cerámico (calentado). Con el campo aplicado, el material se expande a lo largo del eje del campo y se contrae perpendicularmente a este eje. Los dipolos eléctricos se alinean y permanecen rígidamente alineados hasta su enfriamiento. El material tiene ahora una polarización permanente. Como resultado hay una distorsión que causa un aumento en las dimensiones alineadas con el campo y una contracción en los ejes normales al campo.

Cuando un voltaje es aplicado a un material piezoeléctrico polarizado, el dominio de Weiss aumenta su alineamiento proporcionalmente al voltaje. El resultado es un cambio en las dimensiones (expansión, contracción) del PZT

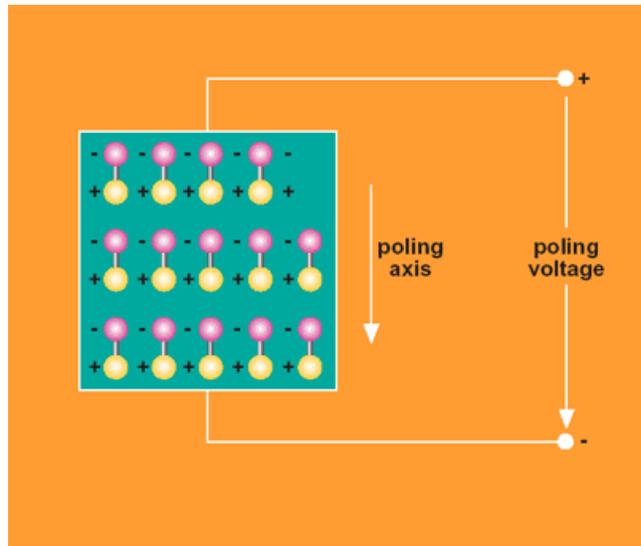


Figura 3.24 - Cambio de las dimensiones del material, debido a la alineación de los dominios, resultado de una diferencia de potencial

**ALGUNAS FÓRMULAS** Un sensor piezoeléctrico se convierte en un capacitor al aplicársele electrodos para medir el voltaje generado. Los electrodos ecualizan la carga bajo su área, sin embargo, es posible crear un arreglo de electrodos para hacer la percepción más sensitiva.

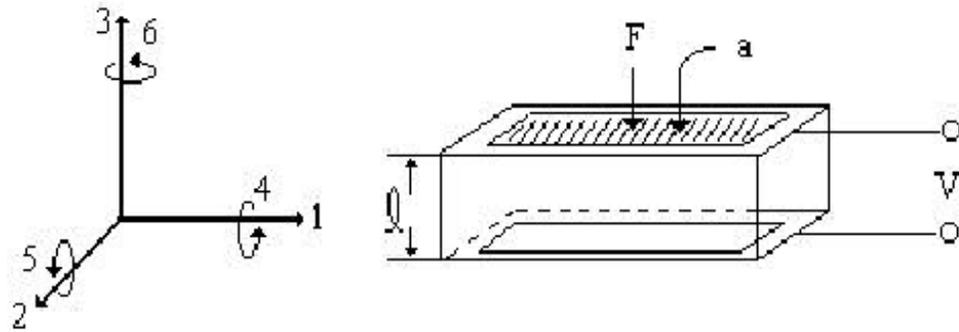


Figura 3.25 - Esquema de un material piezoeléctrico y de las variables que intervienen en el fenómeno

$$V = \frac{d_{ii}}{C} Fx = \frac{d_{iil}}{\xi \xi_0 a} Fx$$

El voltaje de un sensor piezoeléctrico es:

Donde:

C = es la capacitancia formada,

Fx = es la fuerza aplicada

l = es el espesor del cristal,

a = es el área cubierta por los electrodos

dii = es un coeficiente piezoeléctrico axial.

Se usan varias constantes físicas con subíndices dobles para describir numéricamente el fenómeno. La convención es que el primer subíndice se refiere a la dirección del efecto eléctrico y el segundo al efecto mecánico.

Las constantes Piezoeléctricas que relacionan el campo eléctrico producido y la tensión mecánica son las siguientes:

$$g = \frac{\text{Campo}}{\text{Esfuerzo}} = \frac{V/l}{F/a}$$

$$d = \frac{\text{Carga}}{\text{Fuerza}} = \frac{Q}{F}$$

$$d = \xi g$$

Donde d y g son direccionales

el dii para el cuarzo es 2.03 P coul / Newton

**RESPUESTA A LA FRECUENCIA** Un material Piezoeléctrico que está sujeto a diferentes voltajes con diferentes frecuencias. Presenta una respuesta característica a la variación de la frecuencia. Esto depende de los valores de caracterización del material. Lo que hace que tenga una frecuencia natural de resonancia.

Los transductores piezoeléctricos pueden ser aproximados por el circuito equivalente que se presenta a continuación (figura 9). La frecuencia de resonancia mecánica está en función de los valores de  $L_1$ ,  $C_1$  y  $R_1$  y si existe un dieléctrico entre los electrodos también estará en función de su capacitancia eléctrica  $C_2$

La gráfica que se muestra a continuación (figura 10) muestra como va variando la impedancia en función de la frecuencia. Se muestra como va

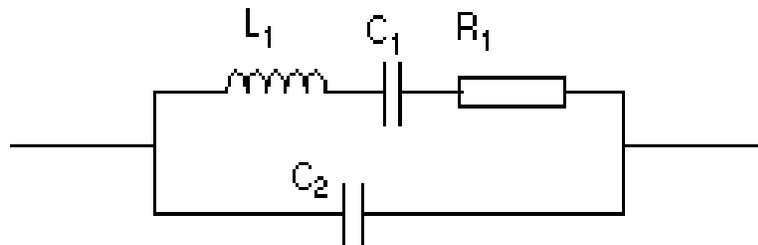
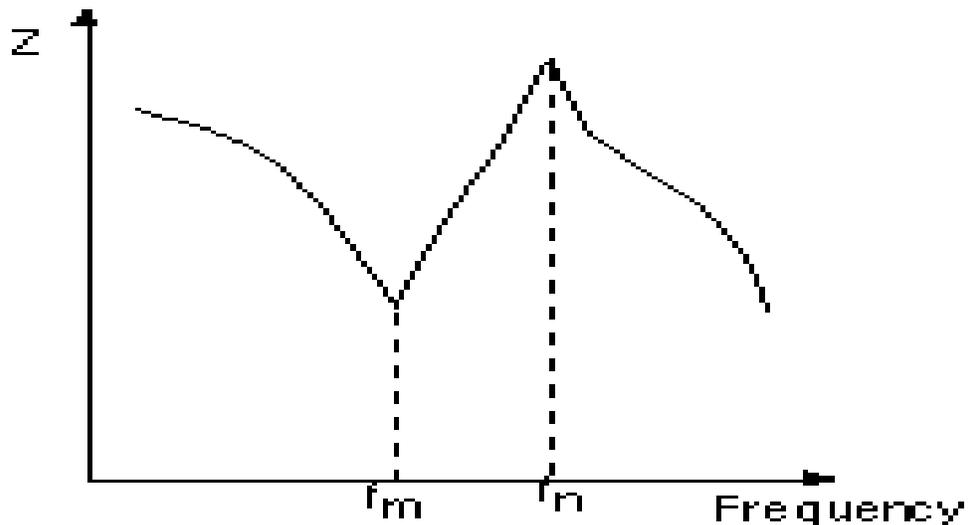


Figura 3.26 - Circuito equivalente de un transductor piezoeléctrico

cambiando de un valor determinado a un mínimo en  $f_m$  y un valor máximo en  $f_n$ . La frecuencia  $f_m$  se le llama frecuencia de antiresonancia y a la frecuencia  $f_n$  se le llama frecuencia natural de resonancia



4.27 - Diagrama de bode de la impedancia de un transductor piezo eléctrico

**DESPLAZAMIENTO DE PIEZOACTUADORES**

El desplazamiento de los cerámicos PZT es función de la intensidad de campo eléctrico aplicado E, del material utilizado y de la longitud L del cerámico PZT. Las propiedades materiales pueden ser descritas por los coeficientes piezoeléctricos de deformación unitaria  $D_{ij}$ . Estos coeficientes describen la relación entre el campo eléctrico aplicado y la deformación mecánica producida. El desplazamiento  $D_1$  de un piezoactuador de una sola capa sin carga puede ser estimado por medio de la ecuación:

$$D_1 = E * D_{ij} * L_o$$

Dónde:

$D_1$  = es el desplazamiento

$L_o$  = Longitud del cerámico

E = Intensidad del campo eléctrico

$D_{ij}$  = Coeficientes piezoeléctricos de deformación unitaria

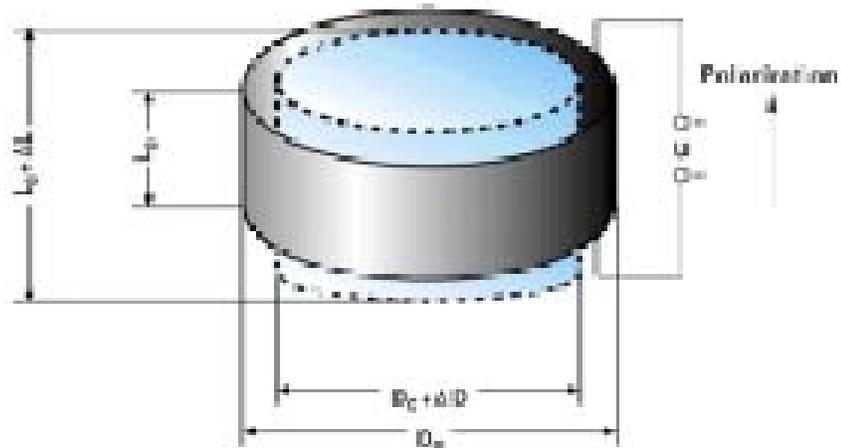


Figura 3.28 - Elongación y contracción de un disco de PZT cuando se aplica un voltaje

**HISTÉRESIS**

Los piezo actuadores de lazo abierto exhiben histéresis. La histéresis se fundamenta en los efectos de polarización cristalina y en la fricción molecular. El desplazamiento absoluto generado por un PZT de lazo abierto depende del campo eléctrico aplicado y de la piezo ganancia, la cual es relativa a la polarización permanente. La histéresis es típicamente del orden de 10 a 15% del movimiento comandado. Ver figura 12

La histéresis se puede eliminar virtualmente en actuadores a circuito cerrado de PZT. Similar a los dispositivos electromagnéticos, los actuadores de lazo abierto exhiben la histéresis. La histéresis se basa en efectos de la polarización de los cristales y efectos moleculares.

En los sistemas PI la histéresis del actuador del piezoeléctrico se compensa completamente. El PI ofrece información absoluta de la posición, así como el movimiento con altas linealidades, capacidad de repetición y exactitud para los sistemas que así lo requieran .

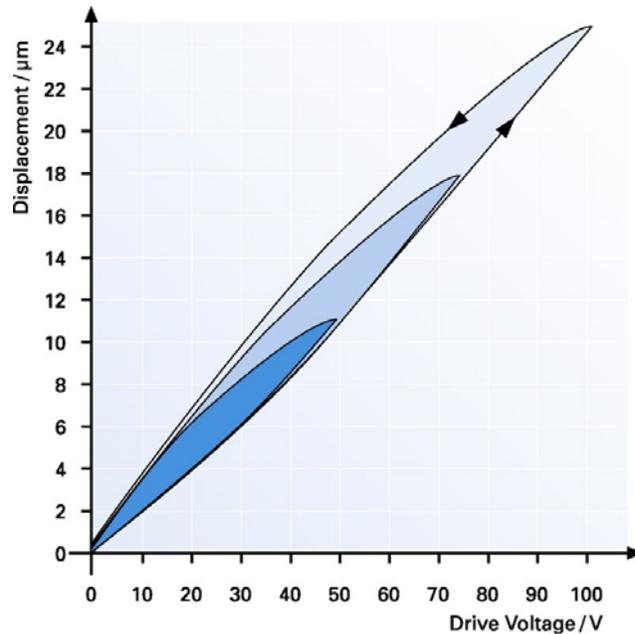


Figura 3.29 - Gráfica que ejemplifica la histéresis que presentan los actuadores piezoeléctricos

**OPERACIÓN EN LAZO ABIERTO Y LAZO CERRADO**

Los actuadores de Piezoeléctricos pueden funcionar en lazo abierto y lazo cerrado. En lazo abierto, el desplazamiento corresponde aproximadamente al voltaje manejado. Este modo es ideal cuando la exactitud absoluta de la posición no es crítica o cuando la posición es controlada por los datos proporcionados por un sensor externo. Los actuadores piezoeléctricos del lazo abierto exhiben histéresis y comportamiento de creep

Los actuadores de lazo cerrado son ideales para los usos que requieren altas linealidades, estabilidad a largo plazo de la posición, la capacidad de repetición y la exactitud. Estos sistemas de lazo cerrado PI están equipados con sistemas que miden de la posición que proporcionan la resolución subatómica y un ancho de banda de hasta 10Khz. Un servo controlador (digital o análogo) determina el voltaje de la salida al Piezoactuador comparando una señal de la referencia (posición) a la señal retroalimentada del sensor de la posición real.

Existen en el mercado posicionadores multieje de lazo cerrado que ofrecen la posibilidad de situar repetidamente un punto dentro de un cubo de 1 nanómetro cúbico

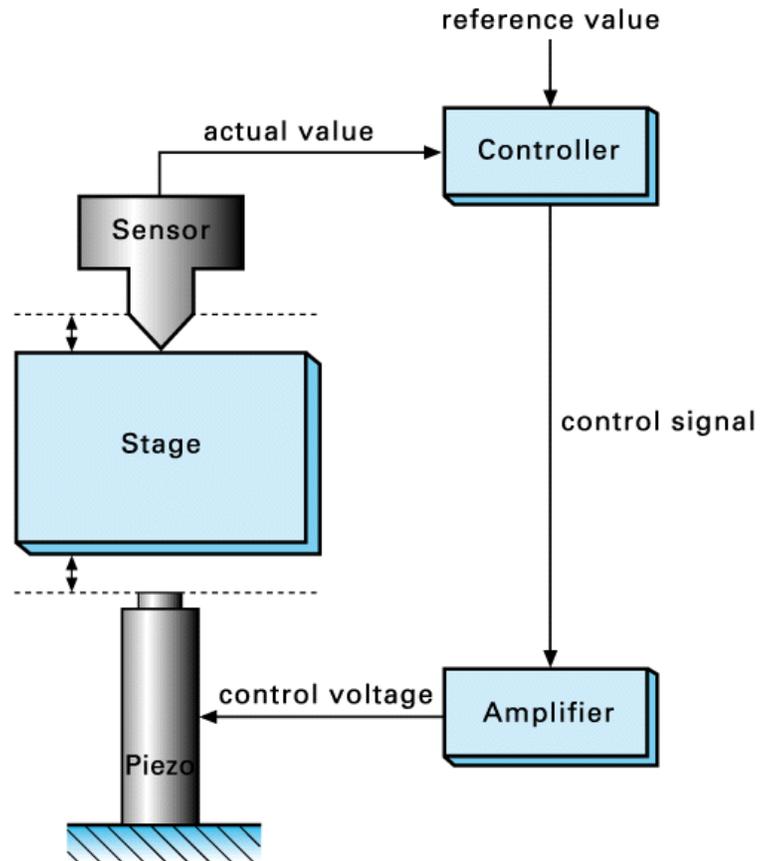


Figura 3.30 - Diagrama a bloques de un sistema de control típico para un actuador piezoeléctrico

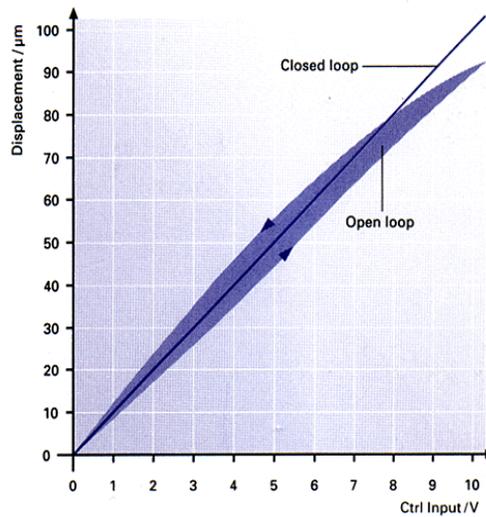


Figura 3.31 - Gráfica donde se muestra que con un sistema de control se puede eliminar el efecto de la histéresis

## COMPORTAMIENTO DINÁMICO

## COMPORTAMIENTO DINÁMICO

Un actuador del piezoeléctrico puede alcanzar su dislocación nominal en aproximadamente 1/3 del período de la frecuencia resonante. Los tiempos de subida en la orden de microsegundos y de aceleraciones de más de 10.000 g's son posibles.

Esta característica permite usos rápidos de la conmutación. Las válvulas del inyector del inyector, las válvulas hidráulicas, los relevadores eléctricos, la óptica adaptante y los interruptores ópticos son algunos ejemplos de los usos de la rápida conmutación.

Las frecuencias resonantes de los actuadores industriales del piezo de la confiabilidad se extienden de algunos diez de kilociclo para los actuadores con el recorrido total de algunos micrones a algunos kilociclos para los actuadores con recorrido más de 100 micrones.

Los actuadores Piezoeléctricos no se diseñan para ser conducidos en la frecuencia resonante, como las altas fuerzas dinámicas que resultan ponen en peligro la integridad estructural del material de cerámico.

## VENTAJAS DE LOS ACTUADORES PIEZOELECTRICOS

### VENTAJAS DE LOS ACTUADORES PIEZOELECTRICOS

#### RESOLUCIÓN:

Puesto que el desplazamiento de un actuador piezoeléctrico se basa en la orientación de dipolos eléctricos en las células elementales del material, la resolución depende del campo eléctrico aplicado y es teóricamente ilimitada. Los cambios pequeños de Infinitesimales en voltaje de se convierten a un movimiento linear.

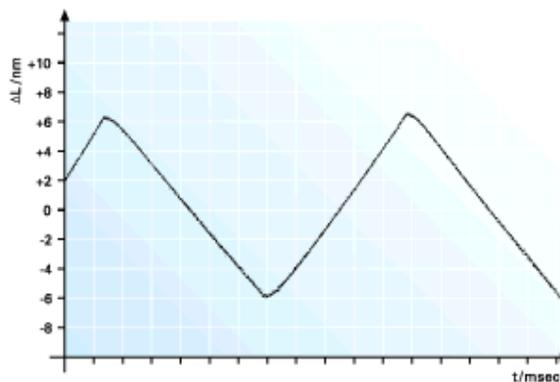


Figura 3.32 - Gráfica en donde se muestra el desplazamiento de un actuador tipo P.170

Aquí se muestra una gráfica en la que se desplaza un actuador P-170 HVPZT y al cual se le aplicó una señal triangular de 200Hz y una amplitud de un volt. Se puede notar que la escala de desplazamiento es del orden de los nanómetros. Los actuadores Piezoeléctricos se utilizan en los microscopios atómicos ya que aportan la fuerza para producir el movimiento de una distancia menor que el diámetro de un átomo. Puesto que el desplazamiento es proporcional al voltaje aplicado, la resolución óptima no se puede alcanzar con fuentes ruidosas, inestables del voltaje

### GENERACIÓN DE GRANDES FUERZAS

En la mayoría de las aplicaciones, los actuadores piezoeléctricos se utilizan para producir el desplazamiento. Si se utilizan a menos de su carrera, pueden generar fuerzas. La generación de la fuerza se junta siempre con una reducción del desplazamiento. La fuerza máxima (fuerza bloqueada) que un actuador piezoeléctrico puede generar depende de su dureza y del máximo desplazamiento

La fuerza máxima que se puede generar en un bastago infinitamente rígido. Está dada por la siguiente fórmula;

$$F_{\max} = kT \cdot \Delta L_0$$

Donde:

KT es una constante del material

$\Delta L_0$  es el desplazamiento máximo nominal

En la generación máxima de la fuerza, el desplazamiento es cero es cero

### EXPANSIÓN RÁPIDA

Los piezo actuadores ofrecen el tiempo más rápido de respuesta disponible (microsegundos). Se pueden obtener aceleraciones de más de 10,000g's

La respuesta rápida es una de las características deseables de los actuadores piezoeléctricos. Los resultados rápidos ante un cambio de voltaje es una posición que cambia rápidamente. Esta característica es necesaria en usos tales como conmutación de válvulas, generación de ondas de choque, sistemas de la cancelación de la vibración, etc. Un Piezo puede alcanzar su desplazamiento nominal en aproximadamente 1/3 del período de la frecuencia resonante.

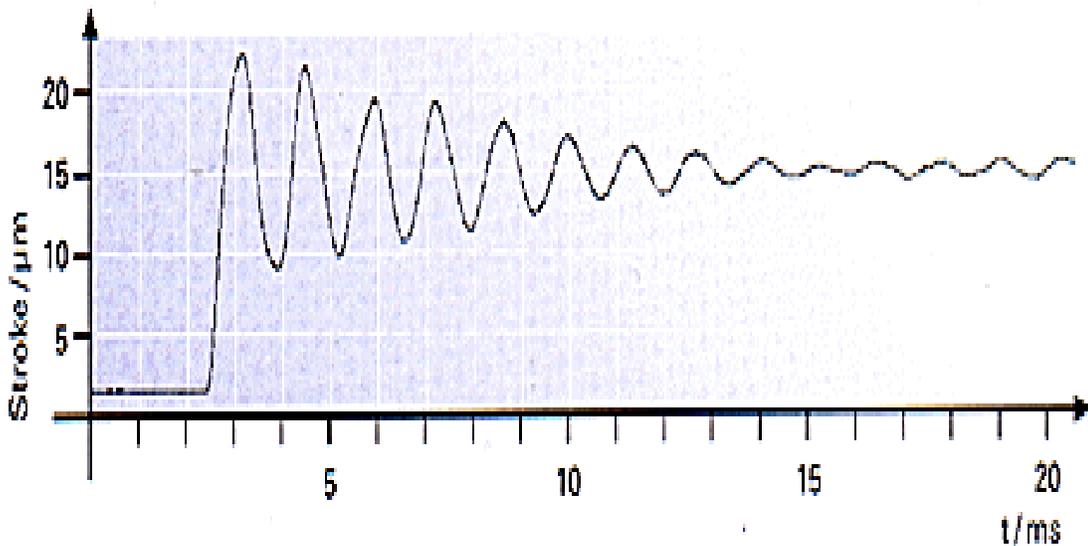


Figura 3.33 - Respuesta de un actuador piezoeléctrico, en una aplicación de cancelación de vibraciones

## BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- [1] Nelsón Díaz Tapia; **ACTUADORES**; [nelson\\_fime@hotmail.com](mailto:nelson_fime@hotmail.com);
- [2] Enciclopedia Encarta 2002 y 2003; **HIDRÁULICA**
- [3] Anthony Esposito; **BASICS OF HYDRAULIC FLOW**
- [4] P o w e r T e a m; **ESPECIFICACIONES CILINDRO SIMPLE E F E C T O**; <http://www.pegamo.es/herramientas/herramientahidraulica/cilindrohidroico/seriecsimpleefecto/cilindropwc101c/?PHPSESSID=28261879a19c88f9ddbfa113e16b1cb5>
- [5] Neumática e Hidráulica: **CONCEPTOS BÁSICOS Y A P L I C A C I O N E S**; <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica7.htm>
- [6] Antonio Guillén Salvador; **TOMO O N C E D E L A S E R I E PRODUCTIVA**; Editorial Marcombo
- [7] SMC International Training; **NEUMÁTICA**; Ed. Thomson - Paraninfo
- [8] PiezoKinetics; **ABOUT THE P I E Z O E L E C T R I C P H E N O M E N O N**; [http://www.piezo-kinetics.com/about\\_the\\_pop.htm](http://www.piezo-kinetics.com/about_the_pop.htm)
- [9] Catálogo de Omega Piezo; <http://www.omegapiezo.com/>
- [10] PhysikInstrumente; **GUÍA DE SELECCIÓN DE PRODUCTOS DE PHYSIKINSTRUMENTE**; <http://www.physikinstrumente.de/products/section1/>
- [11] Physik Instrumente; **PIEZOTUTORIAL**; <http://www.physikinstrumente.com/tutorial/>
- [12] Yutaka Yamagata, Toshiro Higuchi; **A MICROPOSITIONING DEVICE FOR PRECISION AUTOMATIC ASSEMBLY USING IMPACT FORCE OF PIEZOELECTRIC ELEMENTS**
- [13] Ivan Herrera Munsuño, Héctor Valdez, Salvador Macías; **CAPÍTULO 3 DEL REPORTE ESCRITO DEL PROYECTO WALKING MACHINE**; <http://www.geocities.com/evaristgalois/Proyectos/WalkingMachine/TrabajoEscrito/Capitulo3/WMCapIIIp07.html>