



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN

**“DESCRIPCION Y ALGUNAS APLICACIONES DE LA
ENERGIA PIEZOELECTRICA”**

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

ÁREA: INGENIERÍA ELÉCTRICA ELECTRÓNICA

PRESENTAN:

CARLOS INGALLS CARRERA

DANIEL RAMIREZ HERRERA

ASESOR:

ING. ELEAZAR MARGARITO PINEDA DIAZ



SAN JUAN DE ARAGÓN, EDO. DE MÉXICO, 2011.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Agradecimiento

Para mí, la cosa más importante en este mundo no es dónde nos encontramos sino el rumbo al que nos dirigimos. Para llegar al puerto deseado a veces tenemos que navegar a favor del viento y a veces en contra, pero debemos navegar y no ir a la deriva.

La presente Tesis es un esfuerzo en el cual, directa o indirectamente, participaron varias personas leyendo, opinando, corrigiendo, teniéndome paciencia, dando ánimo, acompañando en los momentos de crisis y en los momentos de felicidad.

Quiero agradecer hoy y siempre a mi familia porque está claro que si no fuese por el esfuerzo realizado por ellos, mis estudios no hubiesen sido posibles, por inculcarme los valores que ahora poseo ya que sin su comprensión no hubiera podido salir adelante y lograr ser lo que en estos momentos soy.

Al Ing. Eleazar Margarito Pineda Díaz por la colaboración, paciencia, apoyos brindados desde siempre y sobre todo por esa gran amistad que me ha brindado, por escucharme y aconsejarme porque a pesar de ser poco el tiempo que nos conocemos ha demostrado ser una gran persona con la que sé que podré contar siempre.

A mis compañeros y amigos Daniel, Isaías y Uriel por compartir buenos y malos momentos en la trayectoria de nuestra carrera, por su gran amistad.

A todas y cada una de las personas que han vivido conmigo la realización de esta tesis, con sus altos y bajos, que no necesito nombrar porque tanto ellas como yo sabemos que desde lo más profundo de mi corazón les agradezco el haberme brindado todo el apoyo, colaboración, ánimo y sobre todo cariño y amistad.

Por lo que significan en mi vida y por todo lo que me han dado solo puedo decir GRACIAS.

Carlos Ingalls Carrera



AGRADECIMIENTO

Principalmente doy gracias a Dios por haberme dado una familia maravillosa, las fuerzas, el coraje y la fe para superar los obstáculos que he atravesado para lograr mis metas y así llegar a ser una mejor persona cada día.

Sinceramente con mucho amor y cariño le agradezco a mi familia por apoyarme y creer en mí, en los buenos y malos momentos. En especial agradezco a mi madre por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido superarme cada día, pero más que nada por todo el amor y cariño que me ha brindado, gracias a ello he podido llegar hasta esta etapa de mi vida la cual con orgullo le dedico y le agradezco GRACIAS MAMA. Agradezco a mi padre por haber me brindado los recursos necesarios, apoyarme y creer en mí. Agradezco a mi hermano por apoyarme, creer en mí y sinceramente por ser el mejor amigo.

Agradezco a mis amigos, Carlos, Isaías y Uriel por compartir buenos y malos momentos en la trayectoria de nuestra carrera, por su gran amistad y principalmente porque cada uno y a su manera me han enseñado a reafirmar más mis valores que con orgullo se que hacen de mí una mejor persona.

Agradezco al Ingeniero Eleazar Margarito Pineda Díaz por sus enseñanzas como profesor durante la carrera, por sus consejos que me ayudaron a lograr mis metas y principalmente por su apoyo y paciencia al guiarnos durante la realización de esta tesis y realmente le estoy muy agradecido.

ありがとうございますリリアナ 私は本当にあなたを愛して

En verdad agradezco a todos por su apoyo y muchas gracias por tener fe en mí, GRACIAS A TODOS.

Atte.

Daniel Ramírez Herrera



Índice General

	pagina
INTRODUCCION	I
Capitulo 1: Historia de la electricidad	
1.1 Antecedentes de la electricidad	1
1.2 Características de la electricidad	13
1.2.1 La conductividad y resistividad en su medio de conducción	13
1.2.2 Materiales conductores y no conductores de electricidad	14
1.2.3 Corriente continúa	16
1.2.4. Corriente alterna	16
1.2.5 Potencia eléctrica	17
1.2.6 Fuerza electromotriz	17
1.2.7 Voltaje, tensión o diferencia de potencial	17
1.2.8 Polaridad	18
1.3 Algunas leyes que rigen la electricidad	18
1.3.1 Ley de Coulomb	19
1.3.2 Ley de Ohm	20
1.3.3 Ley de Faraday	21
1.3.4 Leyes de Kirchoff	21
Capitulo 2: Generación de la energía eléctrica	
2.1 Generación de energía no renovable	22
2.1.1 Combustibles fósiles	22
2.1.2 Plantas termoeléctricas	27



2.1.3	Plantas nucleares	29
2.2	Generación de energía eléctrica renovable	35
2.2.1	Energía solar	36
2.2.2	Energía eólica	40
2.2.3	Plantas hidroeléctricas	45
2.2.4	Energía geotérmica	49
2.2.5	Energía piezoeléctrica	53

Capítulo 3: Energía piezoeléctrica

3.1	Principios de la piezoelectricidad	55
3.2	Descripción	59
3.2.1	Piezoelectricidad y características	59
3.2.2	Materiales	71
3.2.3	Cristales naturales	73
3.2.4	Cristales artificiales	76
3.2.5	Cerámicos	78
3.3	Algunos dispositivos piezoeléctricos	79
3.3.1	Actuadores piezoeléctricos	79
3.3.2	Generadores y motores piezoeléctricos	81
3.3.3	Sensores piezoeléctricos	84
3.3.4	Transformadores piezoeléctricos	85

Capítulo 4: Algunas Aplicaciones de la energía piezoeléctrica

4.1	Como transductor o sensor	87
4.1.1	Aplicación en un motor de combustión interna	87



4.1.2	Aplicación como control de tránsito	90
4.1.3	Aplicación en microbalanzas	92
4.1.4	Aplicación en teclados	93
4.1.5	Aplicación en ultrasonido	94
4.1.6	Aplicación en micrófonos piezoeléctricos	100
4.1.7	Aplicaciones en pastillas acústicas	102
4.2	Como actuador	103
4.2.1	Aplicación en impresoras	103
4.2.2	Aplicación en la microscopía	105
4.2.3	Aplicación en calentadores de gas	106
4.3	Como motor	107
4.3.1	Aplicación en cámaras digitales	107
4.3.2	Aplicación en mini robots	108
Capítulo 5: Futuro de la energía piezoeléctrica		
5.1	Futuro de los nano generadores	111
5.1.1	Generadores superficiales	112
5.1.2	Generadores dentro del cuerpo humano	115
5.1.3	Generadores en la ropa	117
5.1.4	Generadores piezo- eólicos	118
5.2	Futuro en la medicina	119
	Conclusión	121
	bibliografía	123



INTRODUCCION

En esta tesis sobre la piezoelectricidad que lleva como título “DESCRIPCION Y ALGUNAS APLICACIONES DE LA ENERGIA PIEZOELECTRICA” describiremos sus antecedentes, descubrimientos, concepto y características principales; así como algunas aplicaciones más importantes de este tipo de energía.

El objetivo principal de este trabajo es explicar porque es importante aplicar al fenómeno piezoeléctrico como una forma sustentable para la generación de energía, con lo cual se pretende mejorar la calidad de vida de las personas y de esta manera obtener un mejor ahorro en la producción y uso de la energía eléctrica no renovable.

En el primer capítulo titulado historia de la electricidad se hace un repaso brevemente a la historia y desarrollo de la electricidad hasta nuestros tiempos, resaltando aquellos personajes que hicieron posible el descubrimiento de la electricidad; así como un atinado concepto y sus principales aportaciones en su respectiva época. Se solidifica el concepto de electricidad y su aplicación a lo que es nuestra vida diaria; así como su gran importancia para la humanidad. También se describen las principales características de la electricidad, así como los conceptos y leyes que rigen su principio y propiedades.

En el segundo capítulo titulado generación de la energía eléctrica se describe a detalle las formas de generación de energía eléctrica, clasificándolas principalmente en energía renovable y energía no renovable, Se mencionan algunos de los procesos principales de cada una de estas dos clasificaciones, resaltando la manera y tendencia del hombre por buscar maneras de generación de energía en la mayor parte de energía renovable; dado que esta es mas practica y limpia para el medio ambiente y así evitar los efectos de lo que recientemente se conoce como el calentamiento global. La piezoelectricidad es una forma de energía renovable que está empezando a tener mayor importancia y aplicaciones en la vida cotidiana, de aquí su importancia en el futuro.

En el tercer capítulo titulado energía piezoeléctrica se hace una breve reseña sobre su aparición y los personajes que le descubrieron y estudiaron; así como la



descripción de sus propiedades eléctricas y características naturales del fenómeno piezoeléctrico. Se mencionan los materiales que tienen esta propiedad piezoeléctrica, así mismo su clasificación, y algunas aplicaciones de dichos materiales en dispositivos de uso común, tanto en el hogar como a nivel empresarial y científico; que ha revolucionado y mejorado los procesos haciéndolos más confiables y precisos.

En el cuarto capítulo titulado algunas aplicaciones de la energía piezoeléctrica se describen algunas aplicaciones de los materiales piezoeléctricos aplicados a dispositivos como son: los sensores, motores, transformadores, etc. Generalmente usados hoy en día en diversas áreas de la industria de la manufactura, el control, la medicina y con empleos más específicos como en el desarrollo de nuevas tecnologías; describiendo la mejora de los dispositivos mediante la utilización de materiales con el efecto piezoeléctrico.

En el quinto y último capítulo titulado futuro de la energía piezoeléctrica se da un panorama general de lo que puede llegar a ser la energía piezoeléctrica en un futuro cercano, si se optimizan los procesos para el almacenamiento de energía y los materiales para obtener un mejor desempeño de la piezoelectricidad; para que de este modo se pueda establecer a la piezoelectricidad como una fuente de energía viable, económica y que no contamina el medio ambiente, dando como resultado un excelente medio que establecería un ciclo de generación de energía, con una gran gama de posibilidades de suministro de energía, desde la autonomía energética de un aparato pequeño como un celular hasta el mismo suministro de una ciudad. Resaltando de esta manera la importancia del fenómeno piezoeléctrico y sus grandes aplicaciones hacia el futuro.



Capítulo 1.- Historia de la electricidad.

1.1. Antecedentes de la electricidad.

La electricidad hoy en nuestras vidas es imprescindible, ha recorrido un largo camino desde el principio de los tiempos, siendo muchos los hombres que con su reflexión y duro trabajo la han ido desarrollando y adaptando a cada una de las necesidades de nuestra vida.

La electricidad es originada por las cargas eléctricas en movimiento, y las interacciones entre ellas. Cuando varias cargas eléctricas están en reposo se ejercen entre ellas fuerzas electrostáticas. Cuando las cargas eléctricas están en movimiento se ejercen también fuerzas magnéticas. Se conocen dos tipos de cargas eléctricas: positivas y negativas. Los átomos que conforman la materia contienen partículas subatómicas positivas (protones), negativas (electrones) y neutras (neutrones) como se muestra en la figura 1.1.

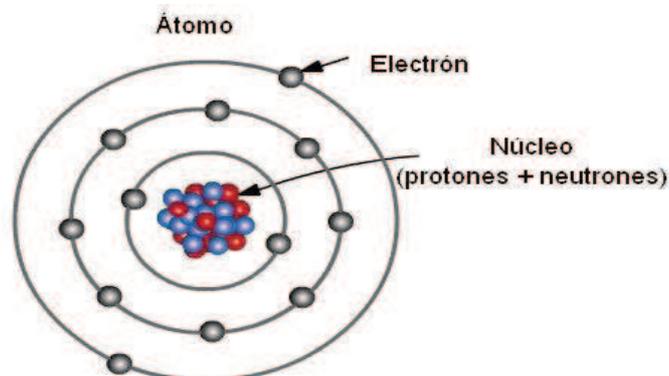


Figura 1.1. Atomo formado por electrones, protones y neutrones.

El consumo de energía ha estado asociado con el hombre desde las más remotas épocas. Con el tiempo el hombre fue aprendiendo gradualmente a aprovechar las fuentes de energía que le brindaba la naturaleza.

Las propiedades eléctricas o electroestáticas de ciertos materiales ya eran conocidas por civilizaciones antiguas. Hacia el año 600 a.c. el filósofo y científico griego Tales de



Mileto observó que frotando una varilla de ámbar con una piel o con lana se obtenían pequeñas cargas que eran capaces de atraer pequeños trozos de paja o plumas. En los dominios de la antigua roma ya se explotaba un mineral que también poseía la propiedad de atraer ciertos materiales (los metales), este material recibía el nombre de magnetita, mineral muy apreciado en la antigüedad por sus particulares características. Pero no fue hasta la época del Renacimiento cuando comenzaron los primeros estudios metodológicos, en los cuales la electricidad estuvo íntimamente relacionada con el magnetismo.

La electricidad evolucionó históricamente desde la simple percepción del fenómeno, a su tratamiento científico. Se registraron a lo largo de la edad antigua y media otras observaciones aisladas y simples especulaciones, así como intuiciones médicas como fue el uso de peces eléctricos en enfermedades como la gota y el dolor de cabeza u objetos arqueológicos de interpretación discutible, como la Batería de Bagdad, un objeto encontrado en Iraq en 1938, fechado alrededor de 250a.c., que se asemeja a una celda electroquímica. No se han encontrado documentos que evidencien su utilización, aunque hay otras descripciones de dispositivos eléctricos en muros egipcios y escritos antiguos.

En el año 1600 el estudio de los fenómenos eléctricos y magnéticos solo interesó a unos cuantos científicos, que hicieron importantes contribuciones al conocimiento y estudio de la electricidad.

William Gilbert científico inglés fue quien realizó los primeros estudios científicos sobre los fenómenos eléctricos, este científico verificó que muchos materiales se comportaban como el ámbar, atrayendo otros objetos, mientras que otros no ejercían atracción alguna. Clasificó dichas sustancias en cuerpos eléctricos (conductores) y aneléctricos (aislantes). Fue el primero en realizar experimentos de electrostática y magnetismo.

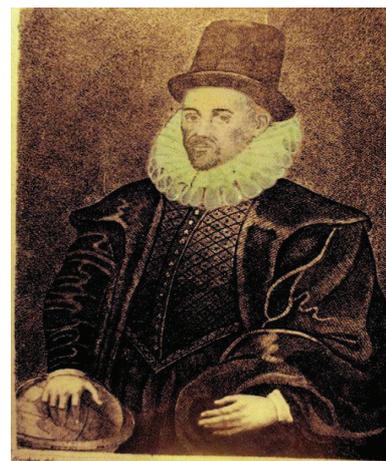


Figura 1.2. William Gilbert.



Las investigaciones de Gilbert fueron continuadas por el físico alemán Otto Von Guericke quien realizó investigaciones sobre electrostática y observó que se producía una repulsión entre cuerpos electrizados luego de haber sido atraídos con ayuda de la primera máquina que estaba formada por una esfera de azufre movida por una manivela, sobre la que se inducía una carga cuando se apoyaba la mano sobre ella.

Stephen Gray principalmente estudió la conductibilidad de los cuerpos y después de muchos experimentos fue el primero en transmitir electricidad a través de un conductor. En sus experimentos también descubrieron que para que la electricidad pueda circular por un conductor este tiene que estar aislado de tierra, más tarde se dedicó al estudio de la transmisión de energía eléctrica.

En 1752 Benjamín Franklin lleva a cabo en Filadelfia un experimento con un cometa, haciéndola volar en un día de tormenta como se muestra en la figura 1.3, con este experimento confirmó que la llave se cargaba de electricidad demostrando así que los rayos son descargas eléctricas de tipo electrostático.



Figura 1.3. Experimento de Benjamín Franklin.



La ley de la fuerza entre cargas eléctricas fue demostrada experimentalmente por el químico británico Joseph Priestley alrededor de 1766. Fue Priestley quien también demostró que una carga eléctrica se distribuye uniformemente sobre la superficie de una esfera metálica hueca, y que en el interior de una esfera así no existen cargas ni campos eléctricos. Con las observaciones de Priestley se demostró que la fuerza entre dos cargas también es proporcional al producto de las cargas individuales.

En 1785 el físico francés Charles Coulomb fue el primero en establecer las leyes de la electrostática donde cuantificaba las fuerzas de atracción y repulsión de cargas eléctricas estáticas como se puede ver en la figura 1.4 y describía, por primera vez, cómo medirlas usando una balanza de torsión, además de realizar muchas investigaciones sobre magnetismo, rozamiento, electricidad, etc. Coulomb también estudio la electrización por frotamiento y la polarización, e introdujo el concepto de momento magnético. Con ese aparato confirmó las observaciones de Priestley y demostró que la fuerza entre dos cargas también es proporcional al producto de las cargas individuales

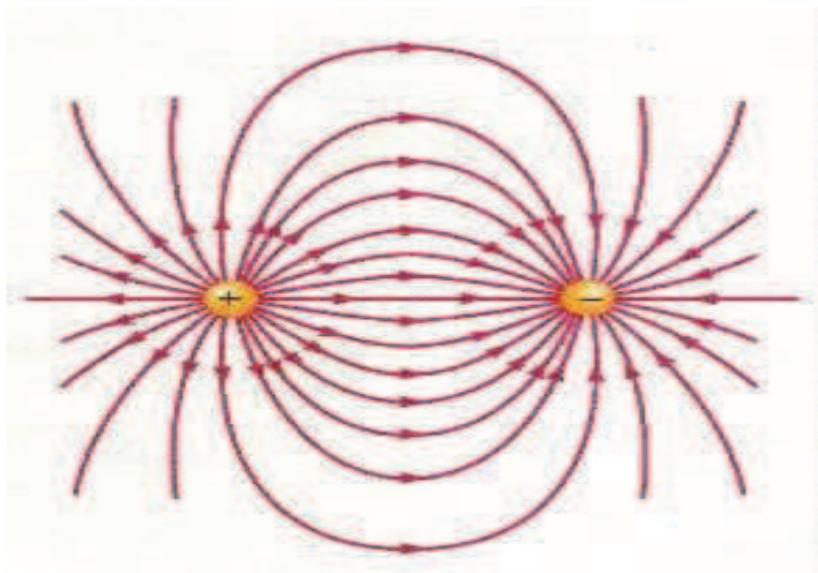


Figura 1.4. Líneas de campo electromagnético.



A principios del siglo XIX, el conde Alessandro Volta construyó una pila galvánica, colocó capas de zinc, papel y cobre; con esto descubrió que si se unía la base de zinc con la última capa de cobre, el resultado era una corriente eléctrica que fluía por el hilo de la unión. Este sencillo aparato fue el prototipo de las pilas eléctricas.

Mientras tanto, George Simon Ohm sentó las bases del estudio de la circulación de las cargas eléctricas en el interior de materias conductoras, postulando su ley en la cual se relacionaba la resistencia con la intensidad y la tensión.

En 1819, Hans Cristian Oersted descubrió que una aguja magnética colgada de un hilo se apartaba de su posición inicial cuando pasaba próxima a ella una corriente eléctrica, y postuló que las corrientes eléctricas producían un efecto magnético. Sobre esta base André Marie Ampere descubrió las acciones mutuas entre corrientes eléctricas, al demostrar que dos conductores paralelos por los que circula una corriente en el mismo sentido, se atraen, mientras que si los sentidos de la corriente son opuestos, se repelen.

Ampere y otros científicos ya habían observado que los campos magnéticos eran generados por corrientes eléctricas; sin embargo, ninguno había descubierto como se podían obtener corrientes eléctricas a partir de campos magnéticos. Fue el descubrimiento de Ampere lo que llevó a Michael Faraday a comprobar que el trabajo mecánico empleado en mover un imán podía transformarse en corriente eléctrica. Faraday trabajó en ello de 1821 a 1831. Posteriormente construyó una máquina generadora de voltaje y postuló los principios de inducción magnética.

James Prescott Joule hizo su principal contribución a la electricidad al hacer la cuantificación de la generación de calor producido por una corriente eléctrica que atraviesa una resistencia, descubrió que se debían las pérdidas de energía.

Los años centrales del siglo XIX habían presenciado extraordinarios avances en la aplicación de la electricidad. No obstante, el desarrollo de una teoría que unificara la electricidad con el magnetismo como dos manifestaciones de un mismo fenómeno no se alcanzó hasta que los experimentos de Faraday fueron expresados



matemáticamente por James Maxwell quien presentó sus ecuaciones, que describían los comportamientos eléctricos y magnéticos a través del espacio en forma de ondas.

Varios investigadores incluyendo Carl Siemens, Wheatstone, Varley, Gramme, entre otros, aplicaron los principios de inducción en la construcción de generadores eléctricos en el periodo comprendido entre 1840 a 1870. Casi al mismo tiempo, un fenómeno descubierto algunos años atrás, atrajo especial atención, cuando se observó a dos electrodos que conducían corriente se mantenían separados y se formaba entre ellos un arco eléctrico de intenso brillo.

En 1878 Thomas Alva Edison comenzó con los experimentos que terminarían un año más tarde con la invención de la lámpara eléctrica, que universalizaría el uso de la electricidad.



Heinrich Rudolf Hertz continuó con sus estudios sobre las ondas electromagnéticas, midiendo la longitud y velocidad de estas, además para establecer la presencia del efecto mencionado, Hertz fabricó un dispositivo conformado de dos espiras entre las cuales existía un pequeño espacio de aire; Hertz se dio cuenta de que al pasar corriente por la primera espira, se originaba corriente en la segunda.

Figura 1.5. Heinrich Rudolf Hertz.

La explicación que dio a este fenómeno fue que la transmisión de ondas electromagnéticas se generaba a través del espacio existente entre las dos espiras. Por medio de un detector, Hertz determinó la longitud de onda y su velocidad, comprobando que las ondas se podían someter a reflexión y refracción además de que al mismo tiempo eran capaces de atravesar ciertos materiales, dicho de otra forma, fue el primero en transmitir ondas electromagnéticas.



Estas características descritas coincidían con las de la luz y el calor, por lo cual Hertz dedujo que su naturaleza era la misma y todas eran ondas electromagnéticas. También el científico hizo las primeras observaciones del efecto fotoeléctrico

Después de la Exposición Mundial de París en 1881 y de la presentación de la lámpara de Edison, los nuevos sistemas de iluminación eléctricos se convirtieron en el logro tecnológico más importante del mundo. La electricidad podía sustituir el vapor para hacer funcionar los motores.

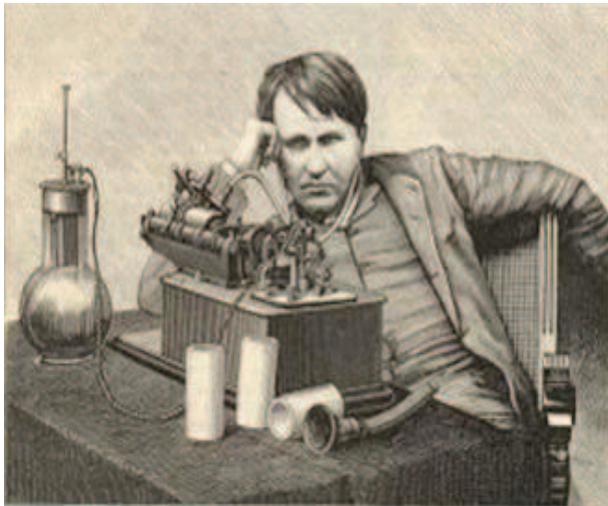


Figura 1.6. Thomas Alva Edison.

Era una segunda revolución industrial y, en ciudades europeas y americanas, las centrales eléctricas se multiplicaban basadas en el diseño de la central que Edison estableció en 1882 en Nueva York. Fue la primera instalación para la producción eléctrica comercial del mundo y aunque era una planta enorme para su época, podía producir y distribuir electricidad hasta, aproximadamente, 330 hectáreas de Manhattan.

La demanda de electricidad pronto condujo al deseo de construir centrales eléctricas más grandes y de llevar la energía a mayores distancias. Además, la rápida distribución de motores eléctricos industriales provocó una fuerte demanda por un voltaje diferente a los 110 V usados para la iluminación

El sistema de Edison, que utilizaba la corriente continua (CC), era poco adecuado para responder a estas nuevas demandas. El problema del transporte era aún más difícil, puesto que la transmisión interurbana de grandes cantidades de CC en 110 volts era muy costosa y sufría enormes pérdidas por disipación en forma de calor.



En 1886, George Westinghouse, un rico empresario pero un recién llegado en el negocio eléctrico, fundó Westinghouse Electric para competir con General Electric de Edison.

El sistema de Westinghouse se basó en los descubrimientos y las patentes de Nikola Tesla, quien creyó apasionadamente en la superioridad de la corriente alterna (CA) sobre la CC. Su argumento se basaba en que las pérdidas en la transmisión de electricidad dependen del voltaje: a mayor voltaje, menores pérdidas. Y a diferencia de la CC, el voltaje de CA se puede elevar con un transformador para ser transportado largas distancias con pocas pérdidas en forma de calor. Entonces, antes de proveer energía a los clientes, el voltaje se puede reducir a niveles seguros y económicos.

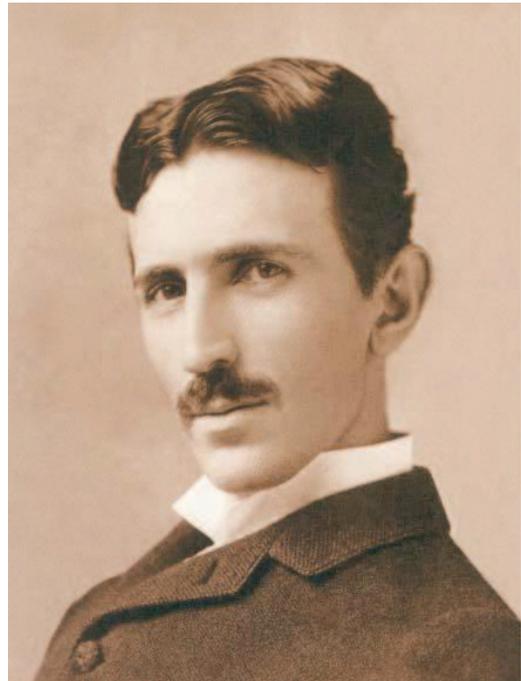


Figura 1.7. Nikola Tesla.

Edison estaba preocupado por la aparición de la tecnología de Tesla, que amenazaba sus intereses en un campo que él mismo había creado.

Edison y Westinghouse se enfrentaron en una batalla de relaciones públicas que los periódicos denominaron “la guerra de las corrientes” para determinar qué sistema se convertiría en la tecnología dominante. Harold Brown (empleado de Edison) inventó una silla eléctrica de CA y electrocutó a perros, gatos y hasta un elefante para demostrar que la corriente alterna era peligrosa.

Para neutralizar esta iniciativa, Tesla se expuso a una CA que atravesó su cuerpo sin causarle ningún daño. Ante esta prueba, Edison nada pudo hacer y su prestigio quedó momentáneamente destruido. Durante la Feria Mundial de Chicago de 1893, Tesla tuvo su gran oportunidad. Cuando Westinghouse presentó un presupuesto por la mitad de lo



que pedía General Electric, la iluminación de la Feria le fue adjudicada y Tesla pudo exhibir sus generadores, dínamos y motores de CA.

Un poco más tarde, el uso de CC se vio desplazado por el sistema de CA desarrollado por Nikola Tesla, quien desarrolló la teoría de los campos rotantes.

En 1887 logra construir el motor de inducción de CA y trabaja en los laboratorios Westinghouse, donde concibe el sistema polifásico para trasladar la electricidad a largas distancias. Años más tarde los generadores de corriente alterna de Tesla se instalaron en la central experimental en las cataratas del Niágara

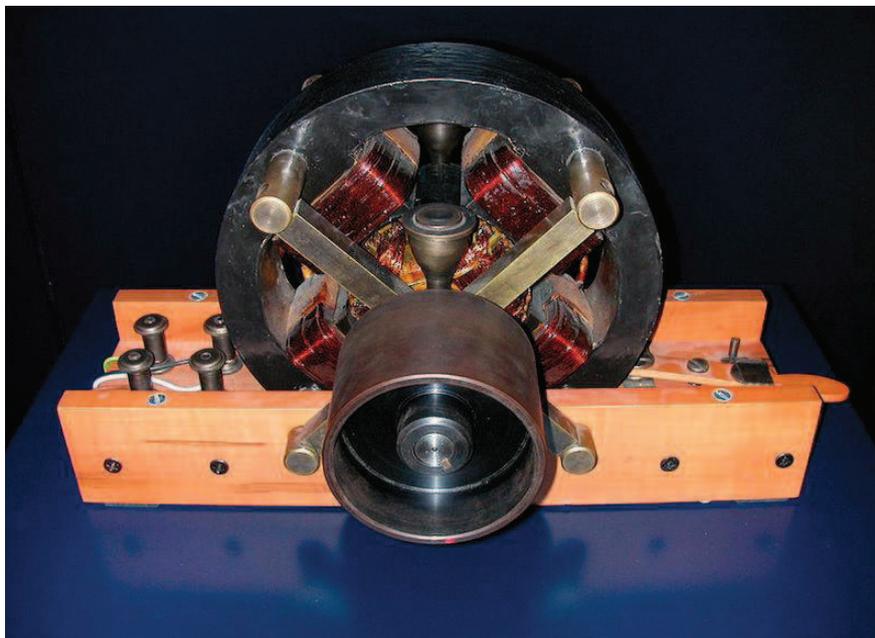


Figura 1.8. Modelo de un generador eléctrico de Tesla.

Más tarde, la Niagara Falls Power Company encargó a Westinghouse el desarrollo de su sistema de transmisión. Fue el final de la “guerra de las corrientes” y la CA acabaría imponiéndose en todo el mundo.

Una vez que se estandarizó la CA, apareció prácticamente el concepto de estación central y desaparecieron los problemas de las cargas lejanas. Este tipo de compañías



tuvieron cada vez mayor número de clientes, ya que la mayor parte del incremento de carga se podía manejar sin que hubiera necesidad de incrementar la inversión del capital; se abarató el costo por unidad de energía, lo que atrajo aún más clientes.

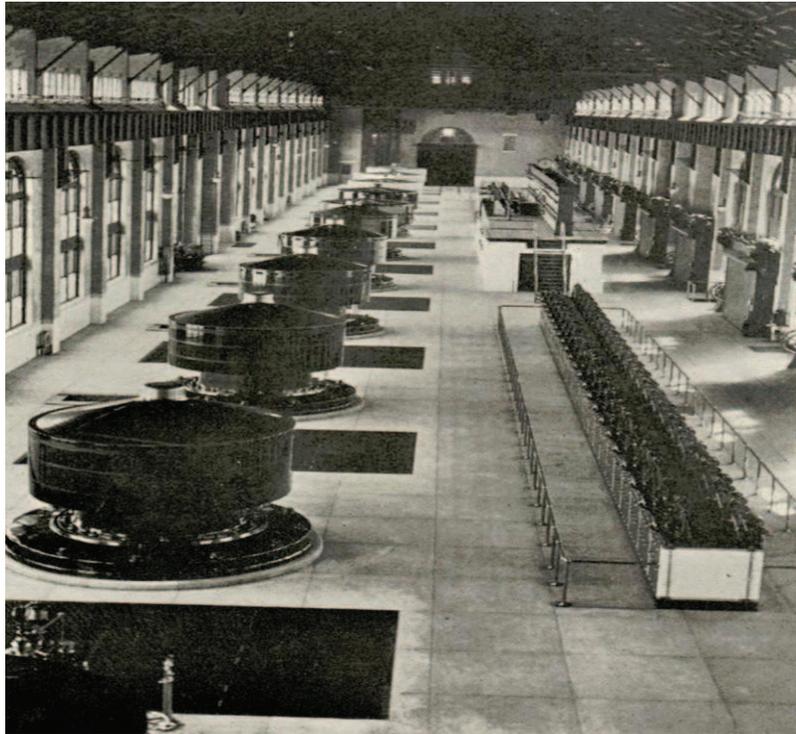


Figura 1.9. Interior de la planta generadora Niagara Falls Power.

En los años siguientes Tesla se concentraría en la experimentación especialmente en el campo de las ondas de radio y de las altas frecuencias.

Gracias a las altas frecuencias Tesla pudo desarrollar algunas de las primeras lámparas fluorescentes de neón. También tomó la primera fotografía en Rayos X. Pero estos inventos palidecían comparados con su descubrimiento en noviembre de 1890, cuando consiguió iluminar un tubo de vacío sin cables, haciéndole llegar la energía necesaria a través del aire. Este fue el comienzo de la gran obsesión de Tesla: la transmisión inalámbrica de energía



Como los sistemas interconectados debían operar a la misma frecuencia, se requerían equipos de conversión de frecuencia de alto costo. Fue evidente el incentivo para estandarizar las frecuencias. En aquel tiempo, las unidades generadoras de las cataratas del Niágara y otras instalaciones hidroeléctricas usaban 25 Hz, El problema con 25 Hz radicaba en el hecho de que producía un parpadeo perceptible en las lámparas incandescentes. Eventualmente se adoptó una frecuencia mayor, de 60 Hz, como norma en Estados Unidos.

El progreso tecnológico en el diseño de aparatos de potencia continuó: cuando una empresa extendía sus sistemas, los nuevos generadores y transformadores comprados eran invariablemente de mayor capacidad y rendimiento. Se desarrollaron mejores lámparas eléctricas, proporcionando al cliente más luz por unidad de energía. Con la constante baja en el costo de la energía, la selección de motores eléctricos como propulsores mecánicos llegó a ser muy popular para toda clase de aplicaciones.

Después de la segunda guerra mundial, el mundo se vio enfrentado a la guerra fría entre los Estados Unidos y la Unión Soviética presencié la frenética carrera de armamentos y la carrera espacial que impulsó de modo extraordinario la competencia científica y tecnológica entre ambos países.

En la sociedad de consumo capitalista, orientada al mercado, algunos de estos logros encontraron aplicación a la vida cotidiana como retorno tecnológico de lo invertido en las áreas de investigación; caso de algunos rubros de la industria y los servicios. Mientras que en el bloque soviético la planificación estatal privilegiaba la industria pesada. La reconstrucción de Europa Occidental y Japón permitió que en ambos espacios se pudiera continuar a la vanguardia de la ciencia y la tecnología, además de contribuir con la fuga de cerebros a los espacios centrales.

Los programas de investigación se habían hecho tan costosos, con tantas implicaciones y a tan largo plazo que las decisiones que les afectaban habían de ser tomadas por instancias políticas y empresariales de alto nivel, y su publicidad o su



mantenimiento en secreto con fines estratégicos o económicos constituyen un problema serio de control social.

La segunda mitad del siglo XX se caracterizó, entre otras cosas, por la denominada revolución científico-técnica de la tercera revolución industrial, con avances de las tecnologías (especialmente la electrónica y la medicina) y las ciencias, que ha dado lugar al desarrollo de una numerosísima serie de inventos dependientes de la electricidad y la electrónica en su diseño y funcionamiento que transformaron la vida social, primero en las clases medias de los países desarrollados, y posteriormente en todo el mundo con el proceso de globalización. El desarrollo de las telecomunicaciones e internet permite hablar de una sociedad de la información en la que, en los países industrialmente más desarrollados las decisiones económicas como consumir, producir y distribuir y sociales como el establecimiento de todo tipo de relaciones personales, redes sociales y redes ciudadanas.



Figura 1.10. Desarrollo de las telecomunicaciones.



La automatización transformó radicalmente los procesos de trabajo industrial. Entre los inventos que han contribuido a la base material de esa nueva forma de vida caben destacar: electrodomésticos, electrónica digital, ordenadores, robótica, satélites artificiales de comunicación, energía nuclear, trenes eléctricos, refrigeración, etc.

Por todo lo expuesto, la electricidad constituye, hoy por hoy, una de las manifestaciones energéticas más difundidas, tanto por su facilidad de generación, transporte y consumo como por sus numerosas aplicaciones y conversión en otras formas de energía (mecánica y térmica, principalmente).

La electrificación no sólo fue un proceso técnico, sino un verdadero cambio social de implicaciones extraordinarias, comenzando por el alumbrado y siguiendo por todo tipo de procesos industriales y de comunicaciones

No obstante, no está todo solucionado en el campo eléctrico. Actualmente el gran problema que se plantea es la imposibilidad de almacenar energía eléctrica en su forma alterna no existiendo métodos realmente eficaces para conseguirlo de forma definitiva y en grandes cantidades.

1.2. Características de la electricidad.

1.2.1. La conductividad y resistividad en su medio de conducción.

La conductividad eléctrica es la propiedad de los materiales conductores de la electricidad, que cuantifica la facilidad con que las cargas eléctricas pueden moverse cuando un material conductor es sometido a un campo eléctrico.

La resistividad es una magnitud inversa a la conductividad, aludiendo al grado de dificultad que encuentran los electrones en sus desplazamientos, dando una idea de lo buen o mal conductor que es. Un valor alto de resistividad indica que el material es mal conductor mientras que uno bajo indicará que es un buen conductor. Generalmente la resistividad de los metales aumenta con la temperatura, mientras que la de los semiconductores disminuye ante el aumento de la temperatura.



1.2.2 Materiales conductores y no conductores de electricidad.

Todos los cuerpos o elementos químicos existentes en la naturaleza poseen características diferentes, agrupadas todas en la denominada tabla de elementos químicos. Desde el punto de vista eléctrico, todos los cuerpos simples o compuestos formados por esos elementos se pueden dividir en tres amplias categorías que son conductores, semiconductores y aislantes

En la categoría de los conductores se encuentran agrupados todos los metales que en mayor o menor medida conducen o permiten el paso de la corriente eléctrica por sus cuerpos. Los mejores conductores eléctricos son de mucha importancia para uso en la distribución de la energía eléctrica de alta, media y baja tensión, así como para la fabricación de componentes de todo tipo como dispositivos y equipos eléctricos y electrónicos, se encuentran el cobre (Cu), aluminio (Al), plata (Ag), mercurio (Hg) y oro (Au).

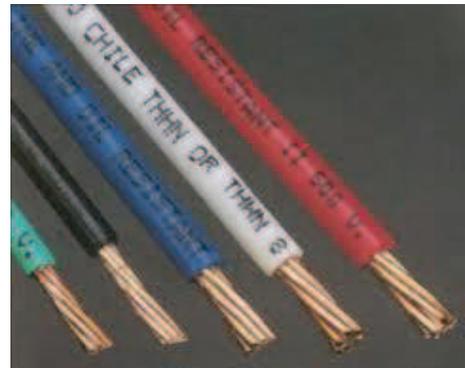


Figura 1.11. Conductores eléctricos aislados

Existen otros materiales no metálicos que también poseen la propiedad de conducir la electricidad, como son: el grafito, las soluciones salinas (por ejemplo, el agua de mar) y cualquier material en estado de plasma. Para el transporte de la energía eléctrica, así como para cualquier instalación de uso doméstico o industrial, el metal más empleado es el cobre en forma de cables de uno o varios hilos.

Alternativamente se emplea el aluminio, metal que tiene una conductividad eléctrica del orden del 60% y el cobre que es un material mucho más ligero, lo que favorece su empleo en líneas de transmisión de energía eléctrica en las redes de alta tensión.

La conductividad eléctrica del cobre puro fue adoptada por la Comisión Electrotécnica Internacional en 1913 como la referencia estándar para esta magnitud, la cual fue establecida por el International Annealed Copper Standard (IACS). Según este



estándar, la conductividad del cobre es medida a 20°C y es igual a 0,58108 S/m. A este valor se lo denomina 100% IACS, y la conductividad del resto de los materiales se expresa como un cierto porcentaje de IACS. La mayoría de los metales tienen valores de conductividad inferiores a 100% IACS.

A diferencia de los cuerpos metálicos buenos conductores de la corriente eléctrica, existen otros como: el aire, la porcelana, el cristal, la mica, las resinas sintéticas, los plásticos, etc., que ofrecen una alta resistencia a su paso. A esos materiales se les conoce como aislantes o dieléctricos.

En los aislantes al contrario de lo que ocurre con los átomos de los conductores, que ceden sus electrones con facilidad y conducen bien la corriente eléctrica, los elementos aislantes poseen electrones que están fuertemente ligados a su última órbita, lo que les impide cederlos. Esa característica los convierte en malos conductores de la electricidad, o no la conducen en absoluto.

Aunque no existen materiales absolutamente aislantes o conductores, sino mejores o peores aislantes, son materiales muy utilizados para evitar cortocircuitos, forrando con ellos los conductores eléctricos para mantener alejadas del usuario determinadas partes de los sistemas eléctricos que, de tocarse accidentalmente cuando se encuentran en tensión, pueden producir una descarga también para confeccionar aisladores que son los elementos utilizados en las redes de distribución eléctrica, para fijar los conductores a sus soportes sin que haya contacto eléctrico.

Un semiconductor es un material que se comporta como conductor o como aislante dependiendo de la temperatura del ambiente en el que se encuentre. El incremento de la conductividad en un elemento semiconductor, la mayor o menor conductividad eléctrica que pueden presentar los materiales semiconductores depende en gran medida de su temperatura interna.

En el caso de los conductores, a medida que la temperatura aumenta, la resistencia al paso de la corriente también aumenta, disminuyendo la conductividad. Todo lo



contrario ocurre con los elementos semiconductores, pues mientras su temperatura aumenta, la conductividad también aumenta.

En resumen, la conductividad de un elemento semiconductor se puede variar aplicando uno de los siguientes métodos:

- Elevación de su temperatura
- Introducción de impurezas (dopaje) dentro de su estructura cristalina
- Conectando una fuente de alimentación.

1.2.3. Corriente continúa.

Se denomina corriente continua (CC) al flujo de cargas eléctricas que no cambia de polaridad con el tiempo. La corriente eléctrica a través de un material se establece entre dos puntos de distinto potencial. Cuando hay corriente continua, las terminales de mayor (+) y menor (-) potencial no se intercambian entre sí. No fue hasta los trabajos de Edison sobre la generación de electricidad, cuando la corriente continua comenzó a emplearse para la transmisión de la energía eléctrica. La CC se mide en amperes pico.

1.2.4. Corriente alterna.

Se denomina corriente alterna (CA) a la corriente eléctrica en la que su magnitud y dirección varían cíclicamente con el tiempo. La corriente en todo circuito fluye del terminal negativo hacia el positivo, por lo mismo, para que haya flujo de corriente alterna la polaridad debe de cambiar su dirección. La CA se mide en amperios pico, de pico a pico y RMS.



1.2.5. Potencia Eléctrica.

La potencia eléctrica es la relación de paso de energía por unidad de tiempo; es decir, la cantidad de energía entregada o absorbida por un elemento en un tiempo determinado. La potencia se mide en joule por segundo (J/seg).

1.2.6. Fuerza electromotriz (FEM).

Se define como el trabajo que un generador realiza para pasar por su interior la unidad de carga positiva del polo negativo al positivo, dividido por el valor en Culombios de dicha carga.

Esto se justifica en el hecho de que cuando circula esta unidad de carga por el circuito desde el polo positivo al negativo, es necesario realizar un trabajo o consumo de energía (mecánica, química, etcétera) para transportarla por el interior desde un punto de menor potencial (el polo negativo al cual llega) a otro de mayor potencial (el polo positivo por el cual sale). La FEM se mide en volts, al igual que el potencial eléctrico.

1.2.7. El voltaje, tensión o diferencia de potencial.

El voltaje, tensión o diferencia de potencial es la presión que ejerce una fuente de suministro de energía eléctrica o fuerza electromotriz (FEM) sobre las cargas eléctricas o electrones en un circuito eléctrico cerrado, para que se establezca el flujo de una corriente eléctrica.

A mayor diferencia de potencial o presión que ejerza una fuente de FEM sobre las cargas eléctricas o electrones contenidos en un conductor, mayor será el voltaje o tensión existente en el circuito al que corresponda ese conductor.

En otras palabras, el voltaje, tensión o diferencia de potencial es el impulso que necesita una carga eléctrica para que pueda fluir por el conductor de un circuito eléctrico cerrado. Este movimiento de las cargas eléctricas por el circuito se establece a partir del polo negativo de la fuente de FEM hasta el polo positivo de la propia fuente.



1.2.8 Polaridad.

La polaridad es la propiedad de diferencia de potencias en las terminales de una pila o una batería, los terminales que forman parte de estos pueden ser positivos o negativos y obtienen el nombre de polos. Es muy importante conocer la polaridad de los elementos que nos suministran la energía eléctrica ya que en algunos casos en cambios de polaridad el usuario puede encontrarse en graves peligros. En la mayoría de los casos, los pequeños dispositivos de corriente continua no suelen incorporar protecciones frente a un eventual cambio de polaridad en su alimentación, lo que puede acarrear daños irreversibles en el aparato. Para evitar esto, y dado que generalmente la causa del problema es la colocación inadecuada de las baterías, es común que estos aparatos incorporen un diagrama que muestre cómo deben colocarse.

Asimismo, los contactos se distinguen empleando, convencionalmente a un resorte metálico para el polo negativo y una placa para el polo positivo o bien contactos en forma de corchetes que solo permiten su abrochado en el sentido correcto. Del mismo modo, en los aparatos con baterías recargables, existe una salida tal que la conexión con el aparato alimentado sólo puede hacerse de una manera, impidiendo así la inversión de la polaridad.

Muchos de los aparatos electrónicos contienen una ilustración de cómo deben de ser conectada la corriente en los polos, por lo que se explico anteriormente, y de esta manera evitar problemas por la colocación inadecuada de las baterías.

1.3. Algunas leyes que rigen la electricidad.

Para el estudio de la electricidad se realizaron diversos experimentos para poder comprender y analizar la electricidad y el resultado de ello los llevó a publicar leyes que rigen en el estudio de la electricidad.



1.3.1 Ley de Coulomb.

Charles Augustin de Coulomb desarrolló la balanza de torsión con la que determinó las propiedades de la fuerza electrostática. La ley de Coulomb también conocida como ley de cargas tiene que ver con las cargas eléctricas de un material, es decir, depende de si sus cargas son negativas o positivas.

El enunciado dice:

La magnitud de cada una de las fuerzas eléctricas con que interactúan dos cargas puntuales en reposo es directamente proporcional al producto de la magnitud de ambas cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa.

La ley es válida sólo en condiciones estacionarias, es decir, cuando no hay movimiento de las cargas o, como aproximación cuando el movimiento se realiza a velocidades bajas y en trayectorias rectilíneas uniformes. Es por ello que es llamada fuerza electrostática.

La expresión matemática de la ley de Coulomb es:

$$F_e = K \frac{q \cdot q'}{r^2}$$

Donde:

- q y q' = Son los valores de las cargas que interactúan tomadas con su signo positivo o negativo.
- r = representa la distancia que las separa.
- K = es la constante de proporcionalidad correspondiente que depende del medio en que se hallen dichas cargas.
- F_e = Fuerzas electroestáticas.

El hecho de que las cargas aparezcan con su signo propio en la ecuación anterior da lugar a la existencia de dos posibles signos para la fuerza F_e , lo cual puede ser



interpretado como el reflejo de los dos tipos de fuerzas: atractivas y repulsivas. Son características de la interacción electrostática. Por lo que las cargas con signos iguales darán lugar a fuerzas (repulsivas) de signo positivo, en tanto que cargas con signos diferentes experimentarán fuerzas (atractivas) de signo negativo.

La constante de proporcionalidad K toma en el vacío un valor igual a:

$$K = 8.9874 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$$

1.3.2 Ley de Ohm.

Esta Ley toma su nombre en honor de su autor, el Sr. George Zimón Ohm y su enunciado es el siguiente:

La Intensidad de la comente que fluye por un circuito eléctrico es directamente proporcional a la Tensión aplicada e inversamente proporcional a la resistencia del circuito.

Dicho en otras palabras: la corriente es igual al voltaje dividido entre la resistencia. Expresada en una fórmula la llamada ley de ohm con sus variables V , I y R ; como se muestran en la fugira1.12, dicha fórmula es:

$$V = I R$$

Donde:

- V = Diferencia de potencial en voltios (V)
- I = Intensidad en amperios (A)
- R = resistencia en ohmios (Ω)

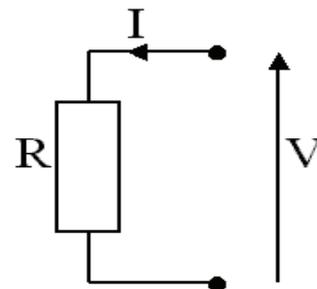


Figura 1.12. Variables de la ley de ohm



1.3.3 Ley de Faraday.

La inducción electromagnética fue descubierta casi simultáneamente y de forma independiente por Michael Faraday y Joseph Henry en 1830. La inducción electromagnética es el principio sobre el que se basa el funcionamiento del generador eléctrico, el transformador y muchos otros dispositivos.

La ley nos dice que la magnitud de la FEM (fuerza electromotriz inducida) en un circuito es igual a la razón de cambio del flujo magnético a través del circuito. Con todos los experimentos se llegó a la conclusión que la FEM se puede inducir, al igual que la corriente, mediante una simple bobina o un simple alambre dentro de un campo magnético

1.3.4 Leyes de Kirchoff.

Las leyes son una consecuencia directa de las leyes básicas del Electromagnetismo para circuitos de baja frecuencia. Aunque no tienen validez universal, forman la base de la Teoría de Circuitos y de gran parte de la Electrónica. Pueden enunciarse en la forma siguiente:

La primera ley de Kirchoff.

La ley de los nodos o ley de las corrientes: La suma de las corrientes que entran a cualquier nodo, debe ser igual a la suma de las corrientes que salen.

La segunda ley de Kirchoff.

La ley de las mallas o ley de tensiones: La suma algebraica de los cambios de potencial a través de todos los elementos que se encuentran, en una malla de circuito cerrado debe ser cero volts.

Dichas leyes ayudan al diseño de los circuitos eléctricos y electrónicos, y son muy utilizadas para obtener valores de intensidad de corriente y potencial en cada nodo y malla de un circuito eléctrico.



Capítulo 2.- Generación de la energía eléctrica.

2.1. Generación de energía no renovable.

La energía es lo que hace que todo funcione. Sin energía no podrían funcionar las máquinas, ni siquiera podrían producirse los procesos vitales, por lo que no sería posible la vida. En resumen: puede decirse que la energía es todo aquello que hace posible cualquier actividad, tanto física como biológica.

No obstante, el concepto de energía no es fácil de comprender, ya que la energía solo se pone de manifiesto cuando pasa de un cuerpo a otro, es decir, cuando se transforma. Continuamente se producen transformaciones de energía en la naturaleza, cuando la energía que recibimos del sol transforma en agua la nieve de las montañas, eleva la temperatura del medio ambiente y hace crecer las plantas que alimentan a diferentes animales, etc. Es decir, muchas de estas transformaciones tienen lugar sin que intervenga el hombre.

Se puede definir la energía en los siguientes términos: La energía es la propiedad de los cuerpos que produce transformaciones en ellos mismos o en otros cuerpos.

La generación de energía eléctrica se realiza, básicamente, mediante un generador; si bien estos no difieren entre sí en cuanto a su principio de funcionamiento, varían en función a la forma en que se accionan.

Las energías no renovable se refiere a aquellas fuentes de energía que se encuentran en la naturaleza en una cantidad limitada y una vez consumidas en su totalidad, no pueden sustituirse, ya que no existe sistema de producción o extracción viable.

2.1.1 Combustibles fósiles.

Los combustibles fósiles consisten en depósitos de organismos fósiles que en una ocasión estuvieron vivos. La materia orgánica se forma durante siglos. Los combustibles fósiles consisten principalmente en uniones de carbón e hidrogeno.



Existen tres tipos de combustibles fósiles que pueden usarse para la provisión energética: carbón, petróleo y gas natural.

Posiblemente el primer combustible fósil utilizado por el hombre fuera la turba, primera fase en la formación del carbón. Los yacimientos de turba se hallan en los pantanos, en zonas con unas determinadas condiciones climáticas y topográficas, ya que el suelo debe ser capaz de retener el agua en la superficie o cerca de ella, y la temperatura debe ser tal que no se produzca una evaporación y una putrefacción rápida (entre 5 y 9 °C). Por eso existen yacimientos de turba en zonas templadas del norte de Europa.

Como consecuencia de la propia temperatura del interior de la Tierra y de la presión ejercida por las capas de arena y lodo acumuladas sobre la turba, primero se formó el lignito, sustancia blanda de color marrón, que es considerada como carbón a medio formar. En función de las características de cada zona, evidentemente, existen yacimientos de los cuatro tipos de carbón.



Figura 2.1. Carbon.

Las distintas clases de carbón están formadas por carbono, oxígeno, hidrógeno y nitrógeno, además de otros elementos.

Cualquier compuesto que contenga más de un 95% de carbón puede considerarse carbono puro o grafito, y sólo arde a temperaturas muy elevadas, por lo que no tienen aplicación como combustible doméstico.

Como resultado de la destilación seca, o calentamiento en ausencia de aire; del carbón, surge un residuo, el coque que también tiene gran utilidad como combustible y como agente reductor.



La ventaja mayor del carbón es su abundancia, ya que se estima que las reservas son, por lo menos, 250 veces la cantidad usado en un año. Hay muchos problemas relacionados con el uso de grandes cantidades de carbón, uno de ellos es la transportación porque requiere grandes inversiones en barcos y trenes. Las plantas generadoras y las calderas operadas con carbón son muy costosas, no solo para construirlas sino para operarlas también. El carbón puede convertirse en un líquido o en un gas, pero esto aumentaría dos o tres veces el costo de la energía. Los mayores perjuicios del aumento en el uso del carbón son los daños en la salud y el ambiente. Más carbón quiere decir más contaminación del aire, más destrucción de la tierra y más daño a las comunidades bióticas. Al quemar el carbón, se aumentan los niveles de bióxido de carbono en la atmósfera.

El gas natural es una fuente de energía no renovable formada por una mezcla de gases ligeros que se encuentra frecuentemente en yacimientos de petróleo, disuelto o asociado con el petróleo o en depósitos de carbón. Aunque su composición varía en función del yacimiento del que se saca, está compuesto principalmente por metano en cantidades que comúnmente pueden superar el 90 ó 95% y suele contener otros gases como nitrógeno, helio y mercaptanos.

Como fuentes adicionales de este recurso natural, no renovable se están investigando los yacimientos de hidratos de metano que, según estimaciones, pueden suponer una reserva energética muy superiores a las actuales de gas natural.

Puede obtenerse también con procesos de descomposición de restos orgánicos (basuras, vegetales, gas de pantanos, etc.) en las plantas de tratamiento de estos restos como lo son: depuradoras de aguas residuales urbanas, plantas de procesado de basuras, de alpechines, etc. El gas obtenido así se llama biogás.

Algunos de los gases que forman parte del gas natural extraído, se separan de la mezcla porque no tienen capacidad energética (nitrógeno o CO_2) o porque pueden depositarse en las tuberías usadas para su distribución debido a su alto punto de



ebullición. Si el gas fuese criogénicamente licuado para su almacenamiento, el dióxido de carbono (CO_2) solidificaría interfiriendo con el proceso criogénico

El propano, butano e hidrocarburos que son más pesados en comparación con el gas natural son extraídos, puesto que su presencia puede causar accidentes durante la combustión del gas natural.

El vapor de agua también se elimina por estos motivos y porque a temperaturas cercanas a la temperatura ambiente y presiones altas forma hidratos de metano que pueden obstruir los gasoductos. Los compuestos de azufre son eliminados hasta niveles muy bajos para evitar corrosión y olores perniciosos, así como para reducir las emisiones de compuestos causantes de lluvia ácida.

El petróleo o aceite crudo se extrae de pozos perforados a grandes profundidades, en los estratos rocosos de la corteza terrestre. No se conoce con exactitud el origen del petróleo, pero se cree que es el resultado de procesos geológicos sobre la materia orgánica en descomposición. En la búsqueda de los depósitos de petróleo, los geólogos emplean muchas técnicas, pero la más importante es la que consiste en sondear las diferentes capas de roca con objeto de localizar la presencia de una corona o de una elevación redondeada en la cual puede estar atrapado un depósito de petróleo.

A pesar de que algunos compuestos del oxígeno, azufre y nitrógeno se encuentran en el petróleo, éste está compuesto, principalmente, por una mezcla de hidrocarburos, los cuales se refinan mediante el proceso llamado destilación fraccionada, para obtener productos útiles. Este proceso se basa en el hecho de que las volatilidades de los diferentes hidrocarburos varían inversamente con sus masas moleculares. Los compuestos que poseen menor masa molecular tienen mayor volatilidad y hierven a menor temperatura.

Debido a que el enorme mercado del petróleo reside en la gran demanda de gases ligeros, gasolina, aceites combustibles, disolventes, aceites para motores, grasas,



parafinas y asfalto, el aceite crudo se destila fraccionadamente para dar productos que tienen amplios márgenes de ebullición. A pesar de que dichos productos son aún bastante impuros, tienen suficiente mercado y uso. Para aplicaciones especiales necesitarán refinaciones posteriores con el consecuente aumento del costo. Se obtienen muchos compuestos puros del petróleo.



Figura 2.2. Torre de extracción de petróleo.

Existen tres grandes categorías de petróleos crudos: los parafínicos, los asfálticos y los de base mixta.

Los petróleos parafínicos están compuestos por moléculas en las que el número de átomos de hidrógeno es siempre superior al doble del número de átomos de carbono. Las moléculas características de los petróleos asfálticos son los naftenos, que contienen exactamente el doble de átomos de hidrógeno que de carbono. Los petróleos de base mixta contienen hidrocarburos de ambos tipos.



El petróleo provee el 38 % de la energía mundial total y tiene más energía por gramo que ningún otro combustible fósil. Es también, una fuente importante de sustancias químicas para la industria de los plásticos.

Los estimados de las reservas globales de petróleo han cambiado muy poco en épocas recientes. Probablemente, ya se ha descubierto todo el petróleo fácil de obtener muchos pozos están produciendo menos petróleo cada año. Porque no es probable que los geólogos encuentren nuevas reservas grandes de petróleo, en el futuro habrá que usar otras fuentes de energía.

2.1.2. Plantas Termoeléctricas.

Una central termoeléctrica o central térmica es una instalación empleada para la generación de energía eléctrica, a partir de la energía liberada en forma de calor y normalmente mediante la combustión de combustibles fósiles como petróleo, gas natural o carbón. Este calor es empleado por un ciclo termodinámico convencional para mover un alternador y producir energía eléctrica. Este tipo de generación eléctrica es contaminante pues libera dióxido de carbono.

El funcionamiento de todas las plantas térmicas o termoeléctricas es semejante, el principio de funcionamiento de una central térmica se basa en el intercambio de energía calorífica a energía mecánica y luego en energía eléctrica

El combustible se almacena en depósitos adyacentes, desde donde se suministra a la planta, pasando a la caldera, en la que se provoca la combustión. Esta se emplea para calentar el agua que se encuentra en la caldera y producir el vapor. Este con una alta presión hace girar los álabes de la turbina, cuyo eje rotor gira solidariamente con el de un generador que produce la energía eléctrica; luego la energía se transporta mediante líneas de alta tensión a los centros de consumo. Por su parte, el vapor es enfriado en un condensador y convertido otra vez en agua vuelve a los tubos de la caldera, comenzando de nuevo el ciclo. El agua en circulación que refrigera el condensador expulsa el calor extraído a la atmósfera, a través de las torres de refrigeración que son grandes estructuras que identifican a estas plantas.

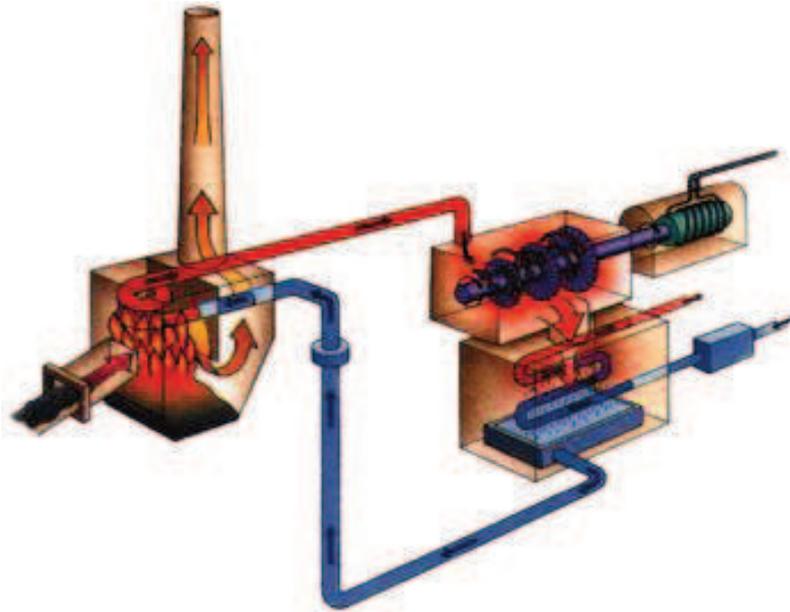


Figura 2.3. Esquema de una planta termoelectrica.

Las torres de refrigeración son enormes cilindros construidos a media altura (hiperboloides), que emiten constantemente vapor de agua, el cual se forma durante el ciclo y es no contaminante para la atmósfera. Para minimizar los efectos contaminantes de la combustión en el calentamiento del agua sobre el entorno, la central dispone de una chimenea de gran altura (llegan a los 300 m) y de unos precipitadores que retienen las cenizas y otros volátiles de la combustión. Las cenizas se recuperan para su aprovechamiento en procesos de metalurgia y en el campo de la construcción, donde se mezclan con el cemento.

Las ventajas que ofrece este sistema son: las más económicas de construir, especialmente las de carbón, debido a la simplicidad de arquitectura y a la gran cantidad de energía generada. Además el vapor de agua es reciclado para un nuevo ciclo dentro de la central.

Su inconveniente es el uso de combustibles fósiles que generan emisiones de gases de efecto invernadero y de lluvia acida a la atmosfera, junto con partículas que pueden contener metales pesados



En la actualidad se están construyendo numerosas centrales termoeléctricas de las denominadas de ciclo combinado, que son un tipo de central que utiliza gas natural, gasóleo o incluso carbón preparado como combustible para alimentar una turbina de gas. Luego los gases de escape de la turbina de gas que todavía tienen una elevada temperatura, se utilizan para producir vapor que mueve una segunda turbina, esta vez de vapor. Cada una de estas turbinas está acoplada a su correspondiente alternador para generar la electricidad como en una central termoeléctrica clásica.

Normalmente durante el proceso de partida de estas centrales, sólo funciona la turbina de gas, a este modo de operación se le llama ciclo abierto. Si bien la mayoría de las centrales de este tipo pueden intercambiar el combustible (entre gas y diésel) incluso en funcionamiento.

2.1.3. Plantas nucleares.

Las centrales nucleares son instalaciones que aprovechan una fuente de calor para convertir en vapor de alta temperatura, a un líquido que circula por un conjunto de conductos; dicho vapor acciona a un grupo de turbina/alternador, produciendo así la energía eléctrica. La diferencia esencial con entre las centrales nucleares y las termoeléctricas reside en la fuente de calor, en las termoeléctricas el calor se consigue mediante la combustión de combustibles, carbón o gas en una caldera mientras que en las nucleares mediante la fisión de núcleos de uranio para generar energía eléctrica.

Los reactores nucleares son máquinas que permiten iniciar, mantener y controlar una reacción en cadena de fisión nuclear.

Una central nuclear utiliza combustible nuclear, esto es, material que contiene núcleos fisionables (es decir que se pueden 'partir'); en lugar del combustible convencional.

Esta conversión se realiza en tres etapas: en la primera, la energía del combustible se utiliza para producir vapor a elevada presión y temperatura; en la segunda etapa la energía del vapor se transforma en movimiento de una turbina; y la tercera, el giro del eje de la turbina se transmite a un generador, que produce energía eléctrica.



El calor para generar vapor proviene del proceso de fisión y esta comienza cuando un neutrón a gran velocidad choca contra un núcleo, el núcleo no puede albergar el neutrón extra y se parte formando dos núcleos más pequeños. Al mismo tiempo se liberan varios neutrones que van a chocar contra otros núcleos, que a su vez se rompen y liberan más neutrones, y así sucesivamente. Dado que el primer neutrón desencadena una serie de fisiones, este procedimiento se denomina reacción en cadena. Así, se puede generar una enorme cantidad de energía y de calor en una fracción de segundo.

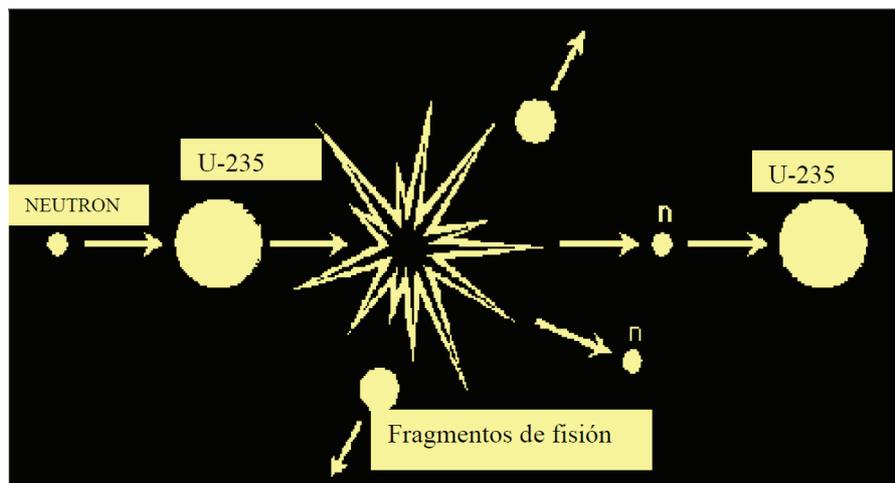


Figura 2.4. Proceso de reacción en cadena.

La obtención del calor a partir de un combustible nuclear se basa en la ruptura del uranio 235, que puede dividirse bombardeándolo con neutrones. Cuando un neutrón golpea un núcleo U-235, éste se parte en dos y libera una gran cantidad de calor, radiación gamma y dos o tres neutrones nuevos.

En un reactor nuclear se dispone todo de forma que, cuando se rompe un núcleo, uno de los neutrones liberados golpea otro núcleo de uranio a la velocidad adecuada y hace que también se rompa, y así sucesivamente. Además, la reacción en cadena se controla para que la producción de calor no supere los límites fijados.



El combustible de Uranio o Plutonio es introducido en el reactor bajo la forma de unas barras cilíndricas revestidas con una cubierta metálica. Las barras de combustible deben ser capaces de resistir las altas temperaturas a las que funciona un reactor.

Su calor es extraído por el agente de enfriamiento, el cual lo transporta fuera del reactor, donde la cede a otro sistema de generación de vapores que pone en movimiento las turbinas de los generadores de energía eléctrica y el vapor es enviado dentro de un condensador donde se convierte en agua que es nuevamente enviada al generador de vapores. El agua de enfriamiento del condensador es con regularidad sacada de los cursos de agua cercanos.

De forma casi universal la electricidad se produce, gracias a un principio mecánico, haciendo girar el rotor de un alternador.

Un reactor nuclear consta de varios elementos, que tienen cada uno un papel importante en la generación del calor. Estos elementos son:

El combustible, formado por un material fisionable, generalmente un compuesto de uranio, en el que tienen lugar las reacciones de fisión, y por tanto, es la fuente de generación del calor.

El moderador, que hace disminuir la velocidad de los neutrones rápidos, llevándolos a neutrones lentos o térmicos. Este elemento no existe en los reactores denominados rápidos. Se emplean como materiales moderadores el agua, el grafito y el agua pesada.

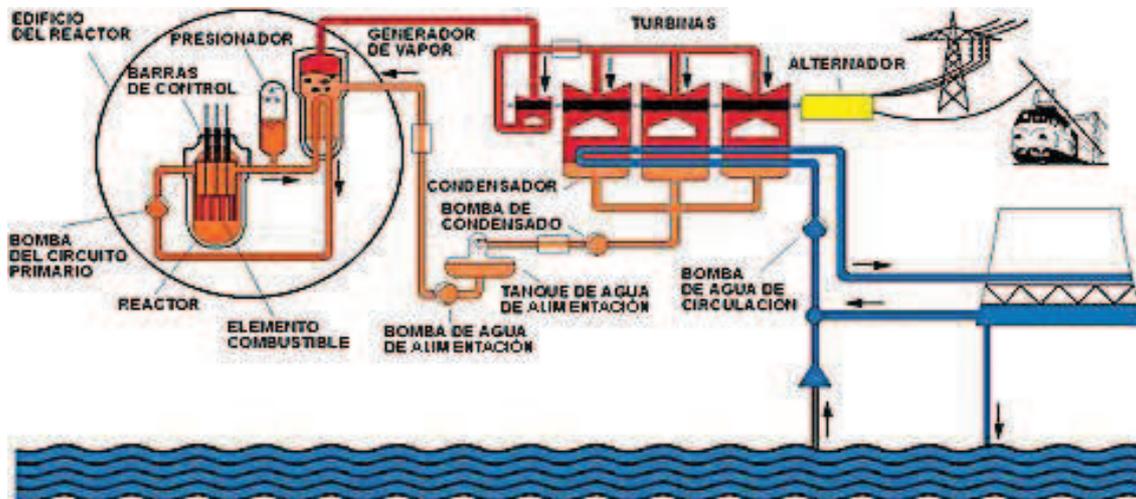


Figura 2.5. Diagrama de una planta nuclear.

El refrigerante, que extrae el calor generado por el combustible del reactor, generalmente es refrigerantes líquido como el agua ligera y el agua pesada, o gases como el anhídrido carbónico y el helio.

El reflector, que permite reducir el escape de neutrones de la zona del combustible, y por lo tanto disponer de más neutrones para la reacción en cadena, generalmente es el agua, el grafito y el agua pesada.

Los elementos de control, que actúan como absorbentes de neutrones, permiten controlar en todo momento la población de neutrones, y por tanto, la reactividad del reactor, haciendo que sea crítico durante su funcionamiento, y sub crítico durante las paradas. Los elementos de control tienen formas de barras, aunque también pueden encontrarse diluido en el refrigerante.

El blindaje, que evita el escape de radiación gamma y de neutrones del reactor, generalmente es un material de hormigón y de plomo.

Los reactores térmicos se clasifican, de acuerdo con el tipo de moderador empleado, en: reactores de agua ligera, reactores de agua pesada y reactores de grafito. Con cada uno de estos reactores está asociado, generalmente por el tipo de combustible usado, así como el refrigerante empleado.



Los reactores más empleados en las centrales nucleoelectricas son:

- Reactor de agua a presión (PWR), que emplea agua ligera como moderador y refrigerante; óxido de uranio enriquecido como combustible. El refrigerante circula a una presión tal que el agua no alcanza la ebullición, y extrae el calor del reactor, que después lleva a un intercambiador de calor, donde se genera el vapor que alimenta a la turbina.
- Reactor de agua en ebullición (BWR), que emplea elementos similares al anterior, pero ahora el refrigerante al trabajar a menor presión, alcanza la temperatura de ebullición al pasar por el núcleo del reactor, y parte del líquido se transforma en vapor, el cual una vez separado de aquél y reducido su contenido de humedad, se conduce hacia la turbina sin necesidad de emplear el generador de vapor.
- Reactor de agua pesada (HWR), que emplea agua pesada como moderador. Existen versiones en las que el refrigerante es agua pesada a presión, o agua pesada en ebullición. Puede emplear uranio natural o ligeramente enriquecido como combustible.
- Reactor de grafito-gas (GR). Este tipo de reactor usa grafito como moderador y CO_2 como refrigerante. Mientras que los primeros reactores de este tipo emplearon uranio natural en forma metálica, los actuales denominados avanzados de gas (AGR) utilizan óxido de uranio enriquecido; y los denominados reactores de alta temperatura (HTGR), usan helio como refrigerante.
- Reactor de agua en ebullición (RBMK), moderado por grafito, desarrollado en la Unión Soviética, que consiste en un reactor moderado por grafito, con uranio enriquecido, y refrigerado por agua en ebullición. Este tipo de reactores no se han empleado en Europa occidental.

En estos reactores el combustible de la zona central, formado por un óxido de uranio o de uranio y plutonio, se rodea de una zona de óxido de uranio muy empobrecido, con un contenido de U-235 menor o igual al del uranio natural.



Con esta disposición, y si se usa un refrigerante que no produzca la moderación de neutrones (normalmente se emplea sodio), se puede conseguir que en la capa de U-238 que rodea al combustible se genere más plutonio que el que se consume. De esta forma, al mismo tiempo que se está generando energía térmica, se está produciendo combustible en forma de Pu-239, que puede usarse en cualquier tipo de reactor, tanto rápido como térmico.

A este tipo de reactores también se les conoce por reactores reproductores, y su importancia es enorme, ya que permiten obtener un mejor aprovechamiento de los recursos existentes de uranio.

Ventajas de las centrales nucleares:

- Aprovecha la materia prima de la naturaleza.
- Posee elementos en su construcción que permiten una muy buena seguridad y que evitan el escape de radiación gamma y de neutrones del reactor. Los materiales usados como blindaje son el hormigón, el agua y el plomo.
- Este sistema consta de dos torres de refrigeración de tiro natural, un canal de recogida del agua y las correspondientes bombas de impulsión para la refrigeración del condensador y elevación del agua a las torres.
- El caudal de agua evaporado por la torre es restituido a partir de la toma de agua en un azud de un río próximo.

Desventajas de las plantas nucleares:

- Si el combustible irradiado no se reelabora es considerado en su totalidad como residuo radiactivo, lo que se denomina ciclo abierto, con lo que no se completa el denominado ciclo del combustible nuclear.
- La salida al exterior tanto de la radiación como de productos radiactivos es imposible por tres barreras físicas: Las vainas que albergan el combustible, La



propia vasija del reactor integrada en el circuito primario, El recinto de contención, estructura esférica de acero recubierto de hormigón, asegurando cada una de ellas.

- Generan de residuos reactivos que pueden ser perjudiciales para el medio ambiente y que además son difíciles de destruir.
- Si el combustible irradiado no se reelabora es considerado en su totalidad como residuo radiactivo, lo que se denomina ciclo abierto, con lo que no se completa el denominado ciclo del combustible nuclear.

2.2. Generación de energía Renovable.

Una energía renovable o más precisamente una fuente de energía alternativa es aquella que puede suplir a las energías o fuentes energéticas no renovables, ya sea por su menor efecto contaminante o fundamentalmente por su posibilidad de renovación.

El consumo de energía es uno de los grandes medidores del progreso y bienestar de una sociedad. El concepto de crisis energética aparece cuando las fuentes de energía de las que se abastece la sociedad se agotan poco a poco. Un modelo económico como el actual, cuyo funcionamiento depende de un continuo crecimiento, exige también una demanda igualmente creciente de energía. Puesto que las fuentes de energía fósil y nuclear son finitas, es inevitable que en un determinado momento la demanda no pueda ser abastecida y todo el sistema colapse, salvo que se descubran y desarrollen otros nuevos métodos para obtener energía: éstas serían las energías alternativas.

En conjunto con lo anterior se tiene también que, el abuso de las energías no renovables hoy día, tales como: el petróleo la combustión de carbón entre otras acarrearán consigo problemas graves progresivos como la contaminación, el aumento de los gases invernadero y la perforación de la capa de ozono.

La discusión sobre el uso de la energía alternativa/convencional no es una mera clasificación de las fuentes de energía, sino que representa un cambio que necesariamente tendrá que producirse durante este siglo. Es importante destacar que las energías alternativas, aun siendo renovables, también son finitas, y como cualquier otro recurso natural tendrán un límite máximo de explotación. Por tanto, incluso aunque podamos realizar la transición a estas nuevas energías de forma suave y gradual, tampoco van a permitir continuar con el modelo económico actual basado en el crecimiento perpetuo. Es por ello por lo que surge el concepto del desarrollo sostenible.

Como ventajas medioambientales importantes podemos destacar la no emisión de gases contaminantes como los resultantes de la combustión de combustibles fósiles, responsables del calentamiento global del planeta y la no generación de residuos peligrosos de difícil tratamiento y que suponen durante generaciones una amenaza para el medio ambiente como los residuos radiactivos relacionados con el uso de la energía nuclear.

Otras ventajas a señalar de las energías renovables son su contribución al equilibrio territorial, ya que pueden instalarse en zonas rurales y aisladas, y a la disminución de la dependencia de suministros externos, ya que las energías renovables son autóctonas, mientras que los combustibles fósiles sólo se encuentran en un número limitado de países.



Figura 2.6. Energías renovables

2.2.1. Energía solar.

La radiación solar existe en el Planeta como resultado de la captación de radiaciones electromagnéticas provenientes del Sol; la superficie terrestre capta sólo una parte de



esta energía radiante, aproximadamente un 15%, ya que el resto la refracta a la atmósfera.

Dado que la emisión de radiación solar es permanente, diaria, inagotable; se formula la captación de energía solar como una forma alternativa, renovable, limpia, sin contaminación o residuos al ecosistema.

Las técnicas para capturar directamente una parte de esta energía están disponibles y están siendo mejoradas permanentemente. Se pueden distinguir tres tipos energía solar fotovoltaica, solar térmica y solar pasiva.

Energía solar fotovoltaica: Se refiere a la electricidad producida por la transformación de una parte de la radiación solar con una celda fotoeléctrica que es un componente electrónico que, expuesto a la luz o fotones, genera una tensión eléctrica. Varias celdas están conectadas entre sí en un módulo solar fotovoltaico. Y, después, varios módulos se agrupan para formar un sistema solar para uso individual o una planta de energía solar fotovoltaica, que suministra una red de distribución eléctrica. El término fotovoltaica se refiere al fenómeno físico el efecto fotovoltaico o bien a la tecnología asociada.

El sistema de generación de energía solar se desarrolla a través de tecnología de punta, con paneles fotovoltaicos, siendo éstos los que generan energía eléctrica bajo la acción del flujo luminoso permanente de los rayos solares. Los paneles se disponen en forma tal, que obtengan la mayor cantidad de luminosidad durante gran parte del día; la radiación obtenida se concentra en las celdas fotovoltaicas, que son paneles de aproximadamente 400 micras, las que procesan la radiación, generando energía eléctrica limpia, sin impacto sobre el medio ambiente, como son otras formas de generación de electricidad.



Figura 2.7. Esquema de una central fotovoltaica.

Las celdas fotovoltaicas constan de dos electrodos separados por una delgada capa de semiconductor. Las pilas solares por ejemplo, están fabricadas mediante pequeñas capas de silicio cubiertas por una fina capa de impurezas. Un número considerable de estas placas, convenientemente acopladas, producen corriente eléctrica continua de bajo voltaje, suficiente para ser utilizada para usos domésticos, dado que se pueden alcanzar rendimientos superiores a los 110 Watts por metro cuadrado de captador fotovoltaico. El almacenaje de la electricidad captada para su utilización durante la noche se lleva a cabo por medio de baterías convencionales de gran capacidad.

Además de la electricidad, las celdas fotovoltaicas pueden producir calefacción en invierno y aire frío en verano; proveer de agua caliente, mantener piscinas temperadas, saunas, jacuzzi, spa, y otros durante todo el año, sin costos ambientales.

La solar térmica que consiste en utilizar el calor de la radiación solar.

La energía solar termodinámica es una técnica que utiliza energía solar térmica para generar electricidad. Mediante el sistema foto térmico se trata de captar la energía de la

radiación solar, calentando un fluido generalmente líquido, de forma que en otro lugar se pueda aprovechar la energía interna.

Cuando el fluido capta energía en un recipiente que tiene algunas características especiales, el líquido circula por unos tubos oscuros situados sobre una superficie del mismo color, todo el conjunto está tapado con un vidrio de forma que se produzca el efecto invernadero y se permite el paso de la radiación pero se impide la salida del calor.

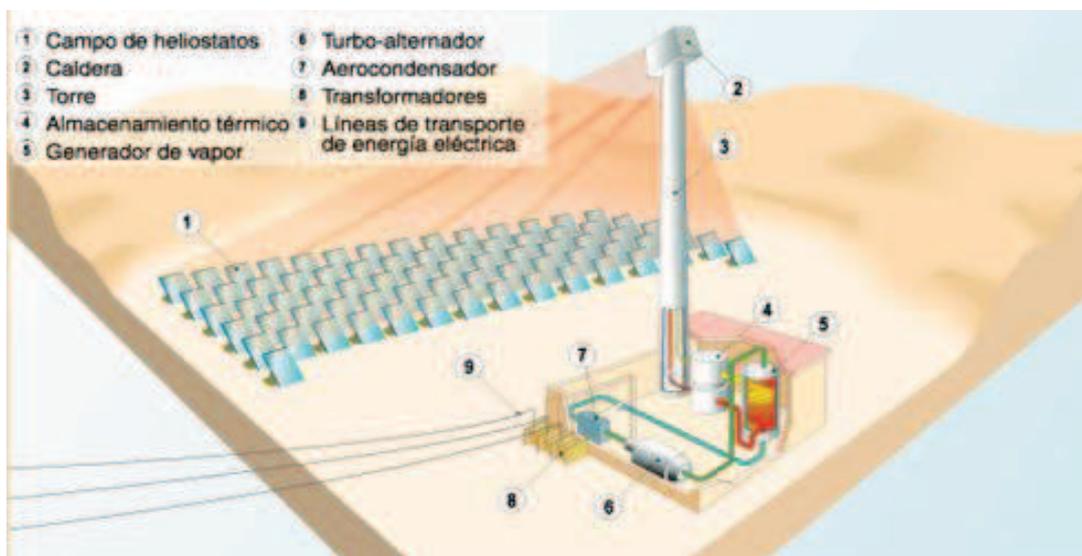


Figura 2.8. Esquema de una central solar térmica.

Energía solar pasiva: El uso más antiguo de la energía solar consiste en beneficiarse del aporte directo de la radiación solar y es la llamada energía solar pasiva. Para que un edificio se beneficie con muy buena radiación solar, se debe tener en cuenta la energía solar en el diseño arquitectónico: fachadas dobles, orientación hacia el sur y superficies vidriadas, entre otros. El aislamiento térmico desempeña un papel importante para optimizar la proporción del aporte solar pasivo en calefacción y en la iluminación de un edificio. Una casa o un edificio que posean energía solar pasiva estarán contribuyendo a un importante ahorro energético.



Existen dos tipos principales de instalaciones solares: las de torre, en que centenares de heliostatos (espejos) orientados hacia el sol a través de un servomotor, reflejan la luz solar en lo alto de una torre y las colectoras, donde el fluido receptor se calienta hasta unos 400 grados centígrados, al circular por un conducto paralelo a cada colector (heliostato cilindro parabólico) y situado en su eje focal. El receptor genera vapor de agua en el circuito de turbina mediante un intercambiador de calor.

Las ventajas que presenta esta energía renovable son las siguientes:

- Utilización maximizada de energía solar.
- Sin desechos o residuos.
- Costo cero en descontaminación.
- Incorpora elementos arquitectónicos innovadores.
- Creación e investigación de tecnología moderna e innovadora.
- Recurso renovable y gratuito

Entre las desventajas, se pueden considerar las siguientes:

- Costo tecnológico inicial elevado.
- Investigación interdisciplinaria.
- Creación de centros de investigación y equipos humanos especializados.

2.2.2. Energía eólica.

Esta energía renovable es la que se obtiene del movimiento constante del viento o de la brisa. En todas las regiones del Planeta existen masas de aire ciclónicas y anticiclónicas, que circulan normalmente en la misma dirección, pero puede variar algunas según la estación del año. Lo relevante es que existen todo el año, suelen ser intensos, otras veces en calma, pero jamás desaparecen; por esta razón, son de gran relevancia al momento de generar energía alternativa basada en el factor eólico

Para poder aprovechar la energía eólica es importante conocer las variaciones diurnas y nocturnas y estacionales de los vientos, la variación de la velocidad del viento con la altura sobre el suelo, la entidad de las ráfagas en espacios de tiempo breves, y valores



máximos ocurridos en series históricas de datos con una duración mínima de 20 años. Es también importante conocer la velocidad máxima del viento.

Su funcionamiento es muy sencillo: el viento mueve las palas de la hélice, que transmite el movimiento, a través de un eje, hasta una caja de engranajes y Allí la velocidad de giro del eje se regula para garantizar la mayor producción energética, en el generador, el cual produce electricidad. La electricidad viaja desde el generador hasta los transformadores, donde se aumenta la tensión para poder ser transportada la energía eléctrica hasta los lugares de consumo.

Los generadores o dinamos pueden producir CC, los generadores sincrónicos o alternadores y generadores asincrónicos o de inducción pueden producir CA. Las dínamos tienen el inconveniente de utilizar escobillas, que exigen mantenimiento periódico, y son más pesadas y caras que los generadores de CA de igual potencia; aunque tienen la ventaja de no necesitar de sistemas especiales para cargar baterías, su uso se ha ido abandonando reemplazándolos por los generadores de CA.



Figura 2.9. Aerogenerador.

El tipo de generador de CA que se debe de emplear, depende fundamentalmente de las características del servicio a prestar. Como regla general puede decirse que los alternadores son mayoritariamente usados en máquinas que alimentan instalaciones autónomas y los generadores de inducción en turbinas eólicas interconectadas con otros sistemas de generación.

Los generadores de inducción o aerogenerador tienen la enorme ventaja de que, una vez en marcha y conectados a las líneas de distribución, giran a una velocidad constante impuesta por la frecuencia de la red, entregando más o menos energía



según la intensidad del viento, pero siempre rotando al mismo número de revoluciones. En otras palabras, los aerogeneradores no requieren de costosos sistemas de regulación de velocidad, ventaja a la que se adiciona la apreciable diferencia de costos entre un generador asincrónico y un alternador de la misma potencia.

Es importante destacar que los generadores asincrónicos necesitan tomar energía de la red para mantener la corriente de magnetización; de interrumpirse esta conexión la máquina debe ser frenada para evitar su aceleración.

Los generadores sincrónicos, aunque tienen un mayor rendimiento potencial, deben operar a velocidad constante si se quiere mantener fija la frecuencia. El mantenimiento del número de revoluciones, acorde con la frecuencia de línea, es función exclusiva del motor que los impulsa (en nuestro caso el rotor eólico), siendo necesario elaborados sistemas de control.

Los aerogeneradores pueden trabajar de manera aislada o agrupados en parques eólicos o plantas de generación eólica, distanciados unos de otros, en función del impacto ambiental y de las turbulencias generadas por el movimiento de las palas.

Para aportar energía a la red eléctrica, los aerogeneradores deben estar dotados de un sistema de sincronización para que la frecuencia de la corriente generada se mantenga perfectamente sincronizada con la frecuencia de la red.

Existen diferentes tipos de aerogeneradores, dependiendo de su potencia, la disposición de su eje de rotación, el tipo de generador, etc.

Aerogeneradores de eje horizontal: Son aquellos en los que el eje de rotación del equipo se encuentra paralelo al piso. Ésta es la tecnología que se ha impuesto por su eficiencia, confiabilidad y la capacidad de adaptarse a diferentes potencias.

Las partes principales de un aerogenerador de eje horizontal son:

- Palas del rotor: construidas principalmente con materiales compuestos de polietileno.

- Rotores: pueden llegar a tener un diámetro de 42 a 80 metros y producir potencias equivalentes de varios MW. La velocidad de rotación está normalmente limitada por la velocidad de punta de pala, cuyo límite actual se establece por criterios acústicos.
- Caja de engranajes o multiplicadora: puede estar presente o no dependiendo del modelo. Transforman la baja velocidad del eje del rotor en alta velocidad de rotación en el eje del generador eléctrico.
- Generador: existen diferentes tipos dependiendo del diseño del aerogenerador. Pueden ser síncronos o asíncronos, jaula de ardilla o doblemente alimentados, con excitación o con imanes permanentes.
- Torre: sitúa el generador a una mayor altura, donde los vientos son de mayor intensidad y para permitir el giro de las palas y transmite las cargas del equipo al suelo.
- Sistema de control: se hace cargo del funcionamiento seguro y eficiente del equipo, controla la orientación de la góndola, la posición de las palas y la potencia total entregada por el equipo.

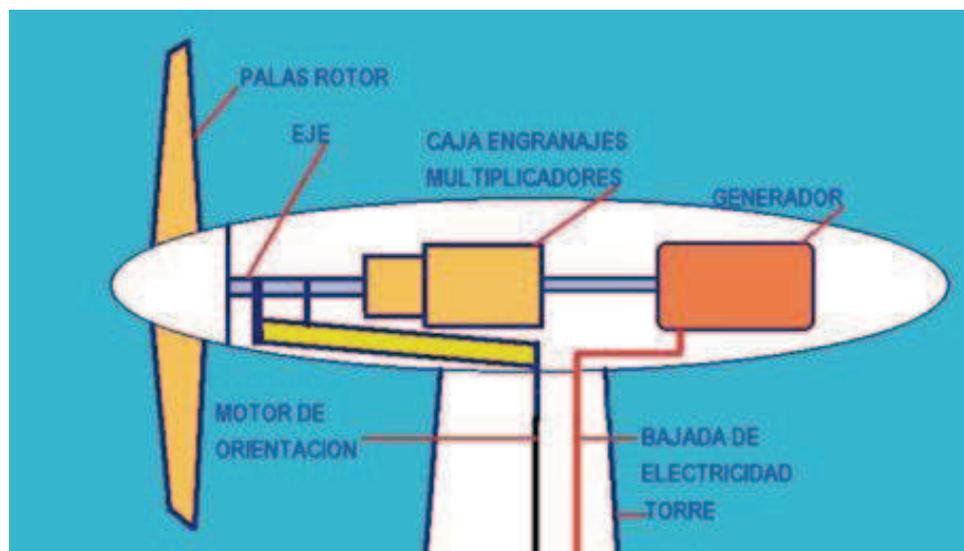


Figura 2.10. Partes de un aerogenerador.



Todos los aerogeneradores de eje horizontal tienen su eje de rotación principal en la parte superior de la torre y tiene que orientarse hacia el viento de alguna manera. Los aerogeneradores pequeños se orientan mediante una veleta, mientras que los más grandes utilizan un sensor de dirección y se orientan por servomotores. Dado que la velocidad de rotación de las aspas es baja, la mayoría hacen uso de una caja reductora para aumentar la velocidad de rotación del generador eléctrico.

Aerogeneradores de eje vertical son aquellos en los que el eje de rotación se encuentra perpendicular al suelo. También se denominan VAWT (Vertical Axis Wind Turbine). Son generadores que se utilizan en barcos y caravanas. Los hay que producen desde 50 W hasta unos pocos kW.

La configuración más ideal para un aerogenerador es montado sobre un mástil sin necesidad de cables de anclaje y en un lugar expuesto al viento. Muchos de los diseños convencionales de turbinas eólicas no son recomendados para su montaje en edificios. Sin embargo, si el único sitio disponible es el tejado de un edificio, instalar un pequeño sistema eólico puede ser, sin embargo, factible si se monta lo suficientemente alto como para minimizar la turbulencia, o si el régimen del viento en ese emplazamiento en particular es favorable

En general, las palas están emplazadas de tal manera que el viento, en su dirección de flujo, la encuentre antes que a la torre (rotor a barlovento). Esto disminuye las cargas adicionales que genera la turbulencia de la torre en el caso en que el rotor se ubique detrás de la misma (rotor a sotavento). Las palas de la hélice se montan a una



Figura 2.11. Aerogenerador vertical.



distancia razonable de la torre y tienen alta rigidez, de tal manera que al rotar y vibrar naturalmente no choquen con la torre en caso de vientos fuertes.

La mayoría de los sistemas de energía eólica que están disponibles necesitan la intervención del usuario durante el funcionamiento. Muchos fabricantes ofrecen servicio de mantenimiento para las turbinas eólicas que ellos instalan. También debe al menos, haber detallado la información acerca de los procedimientos de mantenimiento y debe estar en condiciones de decirle cuándo debe ser llevado a cabo el mantenimiento.

A pesar de la desventaja en el incremento de la turbulencia, se han construido aerogeneradores con hélices localizadas en la parte posterior de la torre, debido a que se orientan en contra del viento de manera natural, sin necesidad de usar un mecanismo de control. Sin embargo, la experiencia ha demostrado la necesidad de un sistema de orientación para la hélice que la ubique delante de la torre. Este tipo de montaje se justifica debido a la gran influencia que tiene la turbulencia en el desgaste de las aspas por fatiga. La mayoría de los aerogeneradores actuales son de este último tipo.

2.2.3. Plantas Hidroeléctricas.

Una planta hidroeléctrica es la que aprovecha la energía hidráulica para producir energía eléctrica. El principio fundamental de esta forma de aprovechamiento hidráulico de los ríos, se basa en el hecho de que la velocidad del flujo de estos es básicamente constante a lo largo de su cauce y el cual siempre es descendente.

Este hecho revela que la energía potencial no es íntegramente convertida en cinética como sucede en el caso de una masa en caída libre, la cual se acelera, sino que ésta es invertida en las llamadas pérdidas, es decir, la energía potencial se pierde en vencer las fuerzas de fricción con el suelo, en el transporte de partículas, en formar remolinos, etc. Entonces esta energía potencial podría ser aprovechada si se pueden evitar las llamadas pérdidas.



El agua es conducida hasta el rodete de la turbina hidráulica y su fuerza hace girar las aspas, transformando la energía potencial del agua en energía cinética, la que posteriormente se transforma en energía mecánica.

Un generador transforma esa energía mecánica en eléctrica. La energía generada es transportada a través de líneas de transmisión que se enlazan con los centros de distribución.

El conjunto de obras que permiten el aprovechamiento de la energía anteriormente mencionada reciben el nombre de central hidroeléctrica o Hidráulica.

La tecnología hidroeléctrica requiere la instalación de equipos electromecánicos de una turbina, un generador eléctrico y transformadores. Estas instalaciones deben estar debajo del fondo de la base de la cortina de la presa, con la finalidad de aprovechar la energía potencial del agua.

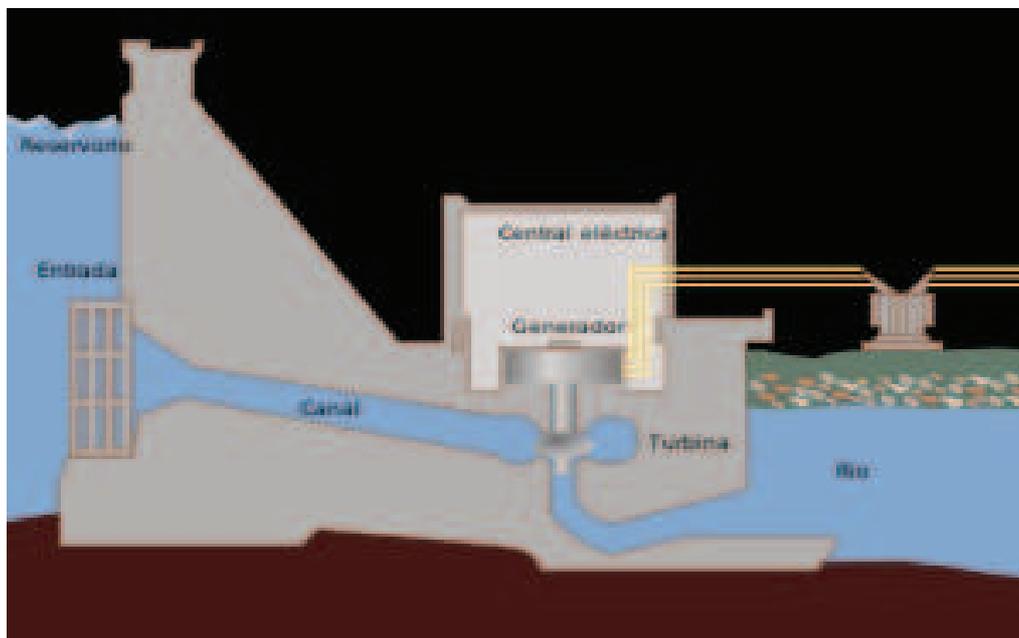


Figura 2.12. Esquema de una planta hiroelectrica.

Esta energía se propaga a los generadores que se encuentran acoplados a las turbinas, los que la transforman en energía eléctrica, la cual pasa a la subestación



contigua o cerca de la planta. La subestación eleva la tensión o voltaje para que la energía llegue a los centros de consumo con la debida calidad.

El diseño de las turbinas depende del caudal de agua; por ejemplo las turbinas Francis se utilizan para caudales grandes y saltos medios y bajos. Y las turbinas Pelton para grandes saltos y pequeños caudales.

Las dos principales características de una central hidroeléctrica, desde el punto de vista de su capacidad de generación de electricidad son:

- La potencia, que está en función del desnivel existente entre el nivel medio del embalse y el nivel medio de las aguas debajo de la central, y del caudal máximo, además de las características de las turbinas y de los generadores usados en la transformación.
- La energía garantizada en un lapso de tiempo determinado, generalmente un año, que está en función del volumen útil del embalse, y de la potencia instalada.

Una central se clasifica según su régimen de flujo de 3 maneras, que son:

- Plantas de agua fluyente. También denominadas centrales de filo de agua o de pasada, utilizan parte del flujo de un río para generar energía eléctrica. Operan en forma continua porque no tienen capacidad para almacenar agua, no disponen de embalse. Turbinan el agua disponible en el momento, limitadamente a la capacidad instalada. En estos casos las turbinas pueden ser de eje vertical, cuando el río tiene una pendiente fuerte u horizontal cuando la pendiente del río es baja.
- Plantas de embalse.-Es el tipo más frecuente de central hidroeléctrica porque utiliza un embalse para reservar agua e ir graduando el agua que pasa por la turbina. Es posible generar energía durante todo el año si se dispone de reservas suficientes. Requieren una inversión mayor.



- Plantas de bombeo reversibles.- Para su instalación se necesita de dos embalses y son aquellas en función de la demanda que pueden volver a bombear el agua que ha pasado por la turbina desde el embalse inferior hacia el embalse superior.

También se pueden clasificar por la altura de salto de 3 formas:

- Centrales de alta presión. Aquellas cuyo salto está por encima de los 200 metros de altura (alcanzando incluso los 2,000 metros). En estas los caudales son relativamente pequeños de unos $20 \frac{m^3}{s}$ por turbina. Suelen ser ubicadas en zonas de alta montaña.
- Centrales de media presión. Comprende los saltos entre 20 y 200 metros de altura. Según altura la central puede estar bajo la presa o alejada de ella si con ello se consigue mas altura.
- Centrales de baja presión. Corresponde a saltos pequeños de menos de 20 metros, con caudales en la turbina de unos $300 \frac{m^3}{s}$, aun que los hay más del doble, llegando a 600 u $800 \frac{m^3}{s}$.

Algunas de las ventajas de estas centrales son:

- No requieren combustible, sino que usan una forma renovable de energía, constantemente renovada por la naturaleza de manera gratuita.
- Es limpia, pues no contamina ni el aire ni el agua.
- A menudo puede combinarse con otros beneficios, como riego, protección contra las inundaciones, suministro de agua, caminos, navegación y aun ornamentación del terreno y turismo.
- Los costos de mantenimiento y explotación son bajos.
- Las obras de ingeniería necesarias para aprovechar la energía hidráulica tienen una duración considerable.



- La turbina hidráulica es una máquina sencilla, eficiente y segura, que puede ponerse en marcha y detenerse con rapidez y requiere poca vigilancia siendo sus costes de mantenimiento, por lo general, reducidos.

Contra estas ventajas deben señalarse ciertas desventajas como:

- El emplazamiento, determinado por características naturales puede estar lejos del centro o centros de consumo y exigir construcción de un sistema de transmisión de electricidad, lo que significa un aumento de la inversión y en los costos de mantenimiento y pérdida de energía.
- La construcción lleva por lo común largo tiempo en comparación con la de las centrales termoeléctricas.
- La disponibilidad de energía, puede fluctuar de estación y de año en año.

2.2.4. Energía Geotérmica.

La energía geotérmica es energía calorífica renovable producida en las profundidades de nuestro planeta. El calor ahí generado es llevado casi a la superficie por conducción térmica y por intrusión de la capa de magma originado a gran profundidad, esto ocurre en ciertas zonas volcánicas. Las manifestaciones geotérmicas se pueden observar fácilmente en géiseres y en aguas termales. Lo que sucede es que el agua de los mantos friáticos se calienta para formar recursos geotérmicos naturalmente, formando agua caliente y vapor. Los recursos geotérmicos son utilizados debido a la existencia de tecnología de perforación de pozos y conversión de energía para generar electricidad o para producir agua caliente para uso directo.

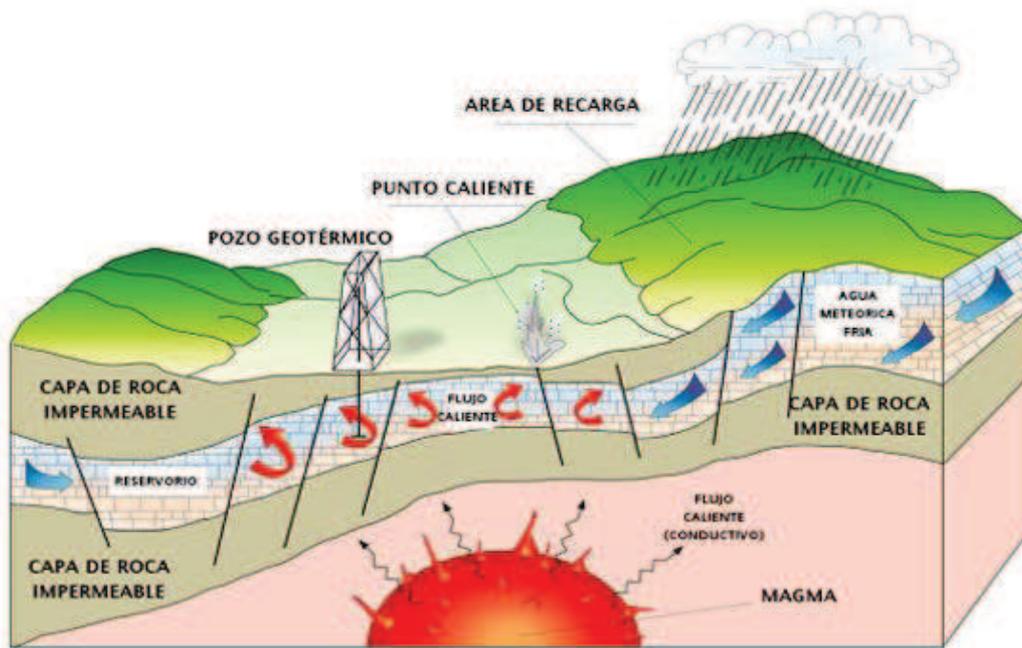


Figura 2.13. Esquema de un sistema geotérmico.

La energía de la Tierra, es extraída de la reserva subterránea a la superficie por medio de pozos de producción perforados a 2000m de profundidad con una temperatura en el fondo de 310°C. El vapor es separado del líquido en naves especiales para la liberación de presión y alimenta a turbinas, que lo transforman en los generadores en electricidad. El fluido geotérmico extraído es inyectado nuevamente a partes de la periferia de la reserva para mantener presión en la misma. Si la reserva se va a utilizar para la aplicación de calor directo, el agua geotérmica es alimentada normalmente a su intercambiador de calor antes de ser inyectada de regreso a la tierra. El agua caliente, de la salida del intercambiador de calor, es utilizada para la calefacción de casas, invernaderos, para secado de vegetales, en lavanderías y en una gran variedad de usos alternos.

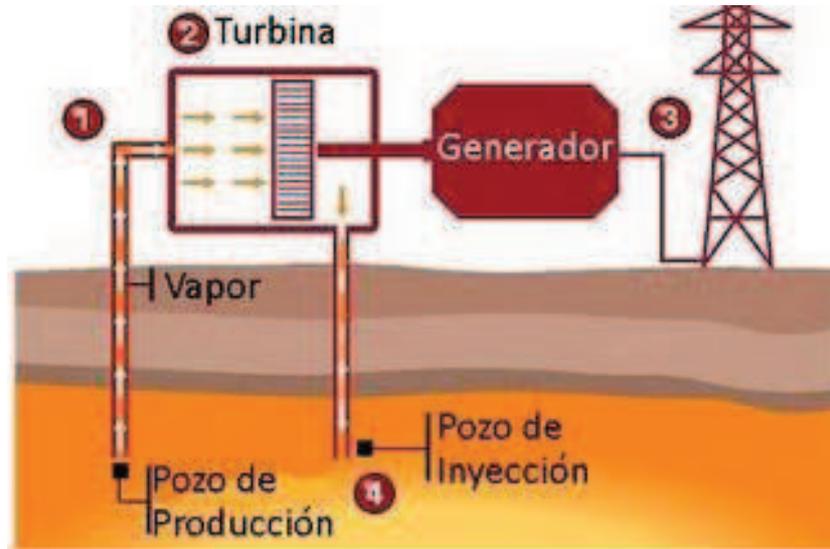


Figura 2.14. Esquema de una planta geotérmica.

La energía geotérmica no es sólo una, la misma se divide en tres y esta división dependerá de la temperatura en la que el agua saldrá. Tenemos la energía geotérmica de baja temperatura, aquí los fluidos se calientan a bajas temperaturas 20°C y 60°C ; la misma es empleada para el campo doméstico, zonas agrícolas y urbanas.

Luego tenemos la energía geotérmica de temperaturas medias, que es aquella en donde los fluidos se encuentran a temperaturas no tan elevadas, entre 70°C y 150°C . Por esto, convertir el vapor en electricidad se lleva a cabo con un menor rendimiento haciendo que las pequeñas centrales eléctricas puedan emplear de gran forma estos recursos.

Por último contamos con la energía geotérmica de alta temperatura la cual solo se hace presente en áreas activas, su temperatura va desde 150°C a 400°C originando un vapor en la superficie; en el caso de que se quiera realizar allí un campo geotérmico, se debe poner un techo de rocas impermeables, un depósito acuífero y rocas que favorezcan la circulación de fluidos haciendo así que la transferencia de calor sea eficiente. Para poder explotar este tipo de energía de alta temperatura se necesitan hacer perforaciones técnicas, las cuales son muy parecidas a las que se utilizan en la extracción de petróleo, La energía geotérmica de cualquier tipo de temperatura le



ofrece al mundo muchas ventajas que deben ser aprovechadas; entre ellas un flujo constante de producción durante todo el año, sin importar las condiciones climáticas.

La energía geotérmica de baja temperatura es un recurso doméstico de bajo costo, confiable y con ventajas ambientales que superan a las formas de producción de energía convencionales. Esta energía contribuye tanto a la generación de energía, produciendo electricidad como con usos directamente de calor, tanto como para reducir la demanda de energía, como con ahorros en electricidad y gas natural a través del uso de bombas geotérmicas tanto para calentar como para enfriar edificios. Solo una pequeña fracción de nuestros recursos geotérmicos son explotados hoy en día, muchos más podrían ser activados en el corto plazo con los incentivos apropiados.

El uso de la energía geotérmica es económico y existe en varios sitios como: la piedra seca y caliente, el magma y la energía geotérmica presurizada en la tierra tienen un inmenso potencial.

A su vez, sirve como alternativa de energías que se obtienen quemando fósiles o de fisión nuclear, es de gran uso en las plantas hidroeléctricas; y no contaminan el medio ambiente.

Algunas de las ventajas son:

- Es una fuente que evitaría la dependencia energética del exterior.
- Los residuos que produce son mínimos y ocasionan menor impacto ambiental
- Sistema de gran ahorro, tanto económico como energético
- Ausencia de ruidos exteriores
- Los recursos geotérmicos son mayores que los recursos de carbón, petróleo, gas natural y uranio combinados.
- No está sujeta a precios internacionales, sino que siempre puede mantenerse a precios nacionales o locales.
- El área de terreno requerido por las plantas geotérmicas por megavatio es menor que otro tipo de plantas. No requiere construcción de represas, tala de bosques, ni construcción de tanques de almacenamiento de combustibles.



Algunas de las desventajas son:

- En ciertos casos emisión de ácido sulfhídrico que se detecta por su olor a huevo podrido, pero que en grandes cantidades no se percibe y es letal.
- También la emisión de CO_2 , con aumento de efecto invernadero; es inferior al que se emitiría para obtener la misma energía por combustión.
- Contaminación de aguas próximas con sustancias como arsénico, amoníaco, etc.
- Contaminación térmica.
- Deterioro del paisaje.
- No se puede transportar (como energía primaria).
- No está disponible más que en determinados lugares.

2.2.5. Energía piezoeléctrica.

La piezoelectricidad es un fenómeno presentado por determinados cristales, que al ser sometidos a tensiones mecánicas adquieren una polarización eléctrica en su masa, apareciendo una diferencia de potencial y cargas eléctricas en su superficie. Este fenómeno también se presenta a la inversa, esto es, se deforman bajo la acción de fuerzas internas al ser sometidos a un campo eléctrico.

El efecto piezoeléctrico es normalmente reversible porque al dejar de someter los cristales a un voltaje exterior o campo eléctrico, recuperan su forma. Cabe señalar que el efecto piezoeléctrico depende fuertemente de la simetría del cristal es decir un cristal que no deforma lo suficiente su simetría produce poca tensión eléctrica bajo la influencia externa de la fuerza mecánica.

Los materiales piezoeléctricos son cristales naturales o sintéticos que no poseen centro de simetría. El efecto de una compresión o de un cizallamiento consiste en disociar los centros de gravedad de las cargas positivas y de las cargas negativas. Aparecen de este modo dipolos elementales en la masa y, por influencia, cargas de signo opuesto en las superficies enfrentadas



Pueden distinguirse dos grupos de materiales: los que poseen carácter piezoeléctrico de forma natural como cuarzo y turmalina, y los llamados ferroeléctricos, que presentan propiedades piezoeléctricas tras ser sometidos a una polarización como son tantalio de litio, nitrato de litio, bernilita en forma de materiales mono cristalinos y cerámicas o polímeros polares bajo forma de micro cristales orientados. Los materiales piezoeléctricos más conocidos son el cuarzo, la sal de rochelle, el rubidio y diversos cerámicos.

Para explicar el efecto piezoeléctrico debemos volcar nuestra atención en la estructura cristalina de estos materiales.

Como sabemos, las moléculas pueden ser polares o no polares, aunque la suma de los momentos internos del cuerpo sea cero. Algunos materiales no solo están compuestos por moléculas polares, sino que éstas están alineadas en lo que se conoce como dominios.

Así, el objeto presenta un momento dipolar neto observable y permanente. Estos objetos son llamados electretos y son el equivalente eléctrico de un imán. Sin embargo no son tan útiles pues las cargas del aire anulan rápidamente a las cargas de polarización y hacen que no se observen campos eléctricos resultantes.

La propiedad de la piezoelectricidad fue observada por primera al someter un cristal a la acción mecánica de la compresión, las cargas de la materia se separan y esto da lugar a una polarización de la carga. Históricamente el cuarzo fue el primer piezoeléctrico usado en dispositivos dada la existencia en la naturaleza de grandes mono cristales lo cual hace este material relativamente barato. Presenta como gran ventaja la poca variación con la temperatura de sus coeficientes piezoeléctricos.

El efecto piezoeléctrico encuentra usos útiles tales como la producción y la detección del sonido, generación de altos voltajes, generación electrónica de la frecuencia, micro balanzas, y ultrasonidos. También son útiles en el campo de la óptica ya que logran hacer enfoques con los aparatos ópticos.



Capítulo 3.- Energía piezoeléctrica.

3.1. Principios de la piezoelectricidad.

Los hermanos Curie descubrieron en 1880, una inusual característica de ciertos cristales minerales: cuando eran sometidos a una presión mecánica, el cristal se polarizaba eléctricamente. La tensión y compresión generaban voltajes de polaridad opuesta y en proporción a la fuerza aplicada.

Consecuentemente la reacción opuesta fue también confirmada, si uno de estos cristales generadores de voltaje era expuesto a un campo eléctrico se alargaba o acortaba de acuerdo a la polaridad del campo, y en proporción a la fuerza de dicho campo. Estos comportamientos fueron etiquetados como el efecto piezoeléctrico.

Aunque las magnitudes de los voltajes piezoeléctricos, movimientos o fuerzas son pequeñas y normalmente requieren una amplificación. Un típico disco cerámico piezoeléctrico aumentara o disminuirá su anchura una fracción de milímetro, los materiales piezoeléctricos han sido adaptados a un rango impresionante de aplicaciones. El efecto piezoeléctrico es usado para aplicaciones de sensores como por ejemplo: sensores de fuerza o desplazamiento. El efecto piezoeléctrico inverso tiene aplicaciones como control de dispositivos o motores que precisan de un control de posicionamiento, y en la generación de señales sónicas y ultrasónicas.

La primera demostración experimental de una conexión entre el fenómeno piezoeléctrico macroscópico de una estructura cristalográfica, fue publicado por Pierre Jacques Courier.

El experimento consistía en una medición de las cargas especiales que aparecían en cristales especialmente preparados (Formalina, Cuarzo, Topacio, Kanesugar, y sal de Rochelle, entre otros) cuando fueron sometidos a presiones mecánicas. Los resultados fueron un reconocimiento a la imaginación y perseverancia de Courier.



En los círculos científicos del momento, el efecto fue considerado como un descubrimiento que se nombró como piezoelectricidad, con objetivo de distinguirlo de otras áreas de ciencia experimental como la electricidad de contactos, (electricidad estática generada por fricción) y piroelectricidad (electricidad generada por cristales mediante el calor).

Los hermanos Courier afirmaron que no había ninguna correspondencia entre los efectos eléctricos del cambio de temperatura y la presión mecánica en un cristal dado, y que ellos habían usado esta correspondencia no solo para escoger los cristales para el experimento, sino también para determinar los cortes de dichos cristales. Para ellos, su demostración fue la confirmación de las predicciones que fueron a su vez

consecuencia lógica de su entendimiento de los orígenes microscópicos cristalográficos de la piroelectricidad.



Figura 3.1. Los Hermanos Curie.

Los Hermanos Courier no predijeron sin embargo que estos cristales que exhibían directamente el efecto piezoeléctrico, también exhibirían el efecto piezoeléctrico a la inversa (cambios mecánicos en respuesta a un campo eléctrico aplicado). Esta propiedad fue matemáticamente deducida de la leyes fundamentales de la termodinámica por Liman en 1881. Los hermanos Courier inmediatamente confirmaron la existencia del efecto Inverso y continuaron trabajando para obtener una prueba cuantitativa de la completa reversibilidad de las deformaciones electro-erasto-mecánicas en cristales piezoeléctricos.

Llegado a este punto, después de solo dos años de trabajo cooperativo dentro de la comunidad Científica Europea, el núcleo de las aplicaciones de la ciencia piezoeléctrica



fue establecido: La identificación de cristales piezoeléctricos en base a una estructura cristalina asimétrica, el intercambio reversible entre energía eléctrica y mecánica además de la utilidad de la termodinámica en la cuantificación de las complejas relaciones entre las variables mecánicas, térmicas y eléctricas.

En los siguientes veinticinco años llegando a 1910, se trabajó mucho para hacer que este núcleo creciera dentro de un completo y versátil marco de trabajo, el cual definía completamente las veinte clases naturales de cristales, en los cuales el efecto piezoeléctrico ocurría y a su vez definía los dieciocho posibles coeficientes piezoeléctricos macroscópicos que acompañaban a un riguroso tratamiento termodinámico de los cristales sólidos, usando el apropiado análisis tensorial.

Durante esos veinticinco años que se invirtieron en llegar a los principios de Voight, el mundo permanecía ajeno a la piezoelectricidad. Una ciencia de tal sutileza que requería un análisis tensorial solo para definir cantidades mensurables relevantes en comparación al electromagnetismo, el cual para entonces había madurado de la ciencia a la tecnología, produciendo unas sorprendentes y notorias máquinas. La piezoelectricidad fue subestimada incluso entre los cristalógrafos; las matemáticas requeridas para entenderlo eran complicadas; y no había ninguna aplicación visible para el efecto piezoeléctrico.

El primer trabajo serio sobre las aplicaciones de los materiales piezoeléctricos tuvo lugar durante la primera Guerra Mundial. En 1917, Langevin y sus colegas franceses empezaron a perfeccionar un detector submarino ultrasónico. Su transductor fue un mosaico de finos cristales de cuarzo embutidos entre dos láminas de acero, esta composición poseía una frecuencia resonante de aproximadamente cincuenta Khz. ensamblados en una estructura adecuada para sumergirla.

Pasada la primera Guerra Mundial, lograron su meta de emitir un pitido submarino de alta frecuencia y medir las profundidades marinas, cronometrando el eco retornante. La estratégica importancia de su logro no fue pasada por alto por ninguna nación



industrializada, sin embargo y desde entonces el desarrollo de transductores sonar, circuitos, sistemas y materiales no ha cesado.

El éxito de las investigaciones estimuladas por el sonar sobre todos los tipos de materiales piezoeléctricos, ambos resonantes y no resonantes.

Una nueva clase de métodos de prueba de materiales fue relacionada en base a la propagación de ondas de ultrasonido. Por primera vez, las propiedades tanto elásticas como viscosas de líquidos y gases podían ser determinadas con facilidad y las previamente invisibles fluctuaciones en los diferentes miembros de estructuras metálicas sólidas, podían ser ahora detectadas, incluso técnicas holográficas acústicas fueron exitosamente demostradas.

También nuevos parámetros para la medición de la presión fueron expuestos para permitir el estudio de motores de explosión y combustión interna, abriendo también la posibilidad del estudio de los antes inmensurables parámetros de vibración aceleración e impacto. De hecho, durante la revolución tecnológica consecuente a la primera Guerra Mundial, la mayoría de las aplicaciones clásicas de la piezoelectricidad con las cuales ahora estamos familiarizados, como son: micrófonos, acelerómetros, transductores ultrasónicos, pastillas fonográficas, filtros de señal, etc.

Durante la Segunda Guerra Mundial, los grupos de investigación independientes en los Estados Unidos, Rusia y Japón descubrieron una nueva clase de materiales artificiales llamados ferroeléctricos, que contienen constantes piezoeléctricas superiores a los que existen en los materiales naturales.

El desarrollo de dispositivos y materiales piezoeléctricos en los Estados Unidos se mantuvo dentro de las empresas encargadas de su elaboración, sobre todo debido a los inicios de la guerra y en aras de asegurar sus patentes rentables.

Los nuevos materiales fueron los primeros en ser desarrollados, los cristales de cuarzo fueron los primeros en explotarse comercialmente como material piezoeléctrico, pero los científicos buscaron materiales de mayor rendimiento.



A pesar de los avances en los materiales y la maduración de los procesos de fabricación, el mercado de Estados Unidos no había crecido tan rápidamente. Sin muchas aplicaciones nuevas, el crecimiento de la industria piezoeléctrica de los Estados Unidos sufrió.

En cambio, los fabricantes japoneses compartieron su información, superando rápidamente desafíos técnicos y de fabricación creando nuevos mercados. Los principales acontecimientos piezoeléctricos en Japón incluyen nuevos diseños de filtros piezocerámicos, utilizado en radios y televisiones, zumbadores piezoeléctricos y transductores de audio que pueden ser conectados directamente en los circuitos electrónicos, y un encendedor piezoeléctrico que genera las chispas para los sistemas de ignición y encendedores de parrilla de gas mediante la compresión de un disco de cerámica. Los transductores de ultrasonido que pueden transmitir a las ondas sonoras a través del aire han existido durante bastante tiempo, pero ha encontrado su primer gran comercio en la televisión. También estos transductores ahora están montados en varios modelos de coches como un dispositivo de eco para la localización, ayudando al conductor a determinar la distancia desde la parte trasera del coche para cualquier objeto que pueda estar en su camino.

3.2. Descripción.

3.2.1. Piezoelectricidad y características.

Para explicar a la energía piezoeléctrica debemos volcar nuestra atención en las características de la estructura molecular de estos materiales, el ferromagnetismo y la resonancia.

Como sabemos, las moléculas pueden ser polares o no polares. Dentro de una molécula, los átomos están unidos mediante fuerzas intramoleculares (enlaces iónicos, metálicos o covalentes, principalmente). Estas son las fuerzas que se deben vencer para que se produzca un cambio químico y son estas fuerzas, por tanto, las que determinan las propiedades químicas de las sustancias.



Sin embargo, existen otras fuerzas intermoleculares que actúan sobre distintas moléculas o iones y que hacen que éstas se atraigan o se repelan. Estas fuerzas son las que determinan las propiedades físicas de las sustancias como, por ejemplo, el estado de agregación, el punto de fusión y de ebullición, la solubilidad, la tensión superficial, la densidad, etc.

La polaridad es una propiedad de las moléculas que representa la desigualdad de las cargas eléctricas en la misma. Al formarse una molécula de forma covalente (con intercambio de electrones entre dos átomos) los electrones tiende a desplazarse hacia el átomo que tiene mayor carga nuclear (más número de protones).

Esto origina una densidad de carga desigual entre los núcleos que forman el enlace entonces se forma un dipolo. Una molécula es un dipolo cuando existe una distribución asimétrica de los electrones, debido a que la molécula está formada por átomos de distinta electronegatividad (la capacidad de un átomo para atraer hacia él los electrones) y como consecuencia de ello, los electrones se encuentran preferentemente en las proximidades del átomo más electronegativo. Se crean así dos regiones (o polos) en la molécula, una con carga parcial negativa y otra con carga parcial positiva.

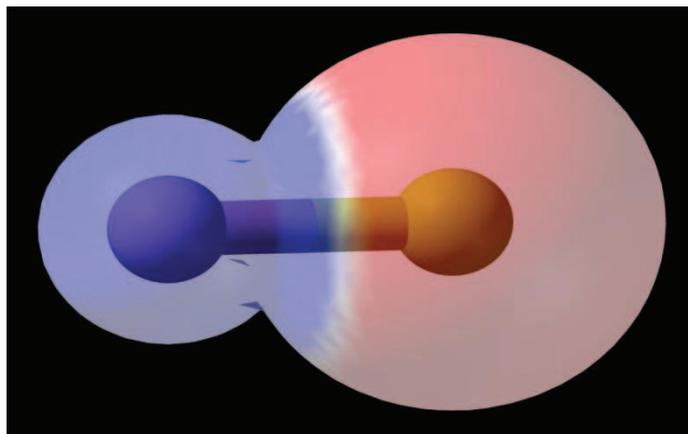


Figura 3.2. Molécula dipolar.

Cuando dos moléculas dipolos se aproximan, se produce una atracción entre el polo positivo de una de ellas y el negativo de la otra. Esta fuerza de atracción entre dos



dipolos es tanto más intensa cuanto mayor es la polarización de dichas moléculas polares o dicho de otra forma: cuanto mayor sea la diferencia de electronegatividad entre las moléculas enlazadas.

El momento dipolar es un vector que se define como una magnitud vectorial con módulo igual al producto de la carga (q) por la distancia que las separa (d), cuya dirección es la recta que las une, y cuyo sentido va de la carga negativa a la positiva. Esta magnitud es, por tanto, un vector que permite cuantificar la asimetría de cargas en la molécula y la polaridad será la suma vectorial de los momentos dipolares de los enlaces. La forma de la molécula también afecta al momento dipolar.

Si los momentos dipolares en el material predominan en un sentido, el material será un electreto. Si, en cambio, están dispuestos al azar, el material puede prepararse alineando dichos momentos dipolares moleculares mediante campos eléctricos a temperaturas cercanas a la temperatura a la que un cuerpo ferromagnético pierde su magnetismo (temperatura Curie). En todos los ferromagnetos encontró un descenso de la magnetización hasta que la temperatura llegaba a un valor crítico, llamada temperatura de Curie (T_c), donde la magnetización se hace igual a cero; por encima de la T_c . Esta es la forma de conseguir piezoeléctricos mejorados.

El término fuerzas de Van Der Waals engloba colectivamente a las fuerzas de atracción entre las moléculas. Son fuerzas de atracción débiles que se establecen entre moléculas eléctricamente neutras tanto polares como no polares.

Las fuerzas de Van Der Waals son fuerzas de estabilización en un enlace químico no covalente, en el que participan dos tipos de fuerzas o interacciones: las fuerzas de dispersión (que son fuerzas de atracción) y las fuerzas de repulsión entre las capas electrónicas de 2 átomos contiguos.

Fuerzas de dispersión: Todos los átomos, aunque sean apolares, forman pequeños dipolos debidos al giro de los electrones en torno al núcleo. La presencia de este dipolo transitorio hace que los átomos contiguos también se polaricen, de tal manera que se



producen pequeñas fuerzas de atracción electrostática entre los dipolos que forman todos los átomos

Fuerzas de repulsión: A estas fuerzas de dispersión se opone la repulsión electrostática entre las capas electrónicas de dos átomos contiguos. La resultante de estas fuerzas opuestas es una distancia mínima permitida entre los núcleos de dos átomos contiguos. Distancia que se conoce como radio de Van der Waals.

Las fuerzas de Van Der Waals conforman el tipo más débil de fuerza intermolecular que puede darse en la naturaleza, necesiándose un aporte energético de 0,1 a 35 kJ/mol para romper dicha interacción.

Distinguimos tres clases de enlace de van der Waals:

- Orientación: interacción dipolo permanente-dipolo permanente. Tienen lugar entre moléculas polares como el HCl por ejemplo, produciéndose una atracción eléctrica entre polos opuestos de moléculas contiguas, pero no así el solapamiento de los átomos interactuantes al ser de mayor tamaño que en el puente de hidrógeno. Cuanto mayor sea la polaridad de la molécula (diferencia de electronegatividad entre los átomos que la forman), más fuerte será la interacción.
- Inducción: interacción dipolo permanente-dipolo inducido. Se produce entre una molécula polar y otra apolar. En este tipo de interacción, el dipolo permanente de la molécula polar provoca una deformación en la nube electrónica de la molécula apolar que se aproxima (el polo negativo de la molécula polar induce el desplazamiento de los electrones de la molécula apolar hacia el polo opuesto, apareciendo un dipolo). De este modo, se establece una atracción eléctrica entre polos opuestos. Este tipo de enlace también se conoce como polarización, siendo tanto más intenso cuanto mayor sea la polarización de la molécula apolar. La intensidad de este fenómeno dependerá de la mayor o menor polaridad (diferencia de electronegatividad entre los átomos que forman la

molécula polarizante; la polar) así como del tamaño de la molécula polarizada (a mayor número de electrones, más desigualdad de disposición puede existir).

- Dispersión a fuerzas de London: dipolo instantáneo-dipolo instantáneo. Aparecen en todos los compuestos moleculares, siendo la única fuerza intermolecular que aparece entre moléculas apolares. Se produce por la aparición de una distribución asimétrica de la carga en una molécula (dado el movimiento continuo de los electrones). Este fenómeno induce la aparición de un dipolo instantáneo en la molécula que se aproxima, estableciéndose una interacción muy débil e instantánea.

La intensidad de esta interacción depende del tamaño de la molécula ya que a mayor número de electrones, mayor posibilidad de la aparición de un dipolo instantáneo.

El ferromagnetismo es un fenómeno físico en el que se produce ordenamiento magnético de todos los momentos magnéticos de una muestra, en la misma dirección y sentido.

La interacción ferromagnética es la interacción magnética que hace que los momentos magnéticos tiendan a disponerse en la misma dirección y sentido.

Generalmente, los ferromagnetos están divididos en dominios magnéticos que son agrupaciones de dipolos magnéticos. Un dominio magnético puede aparecer en un material, en el que se dé un ordenamiento magnético a medio alcance.

Quien observó a este fenómeno fue Pierre Weiss al darse cuenta, en 1907, que los materiales ferromagnéticos están formados por

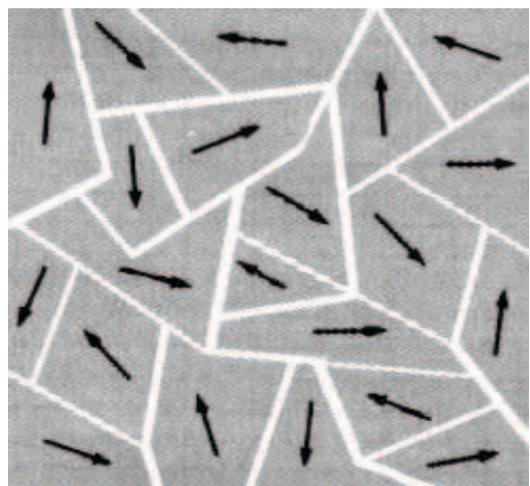


Figura 3.3. Dominios ferromagnéticos.



estos dominios, los cuales si están orientados al azar hacen que el material no exhiba propiedades magnéticas. Estos dominios magnéticos permiten explicar por qué el hierro no es espontáneamente ferromagnético. Esto fue probado por Barkhausen en 1919, quien por medio de amplificadores electrónicos oyó los clics cuando un campo externo obliga a los dominios de Weiss a alinearse. Este es un comportamiento irreversible que explica el fenómeno de histéresis.

Los dominios ferromagnéticos están separados por superficies conocidas como paredes de Bloch, estas paredes son un volumen estrecho de transición entre dos dominios magnéticos. En esa transición, los dipolos giran desde la orientación inicial en un dominio hasta la orientación del dominio situado del otro lado de la pared o hasta la orientación impuesta por un campo externo, en su caso.. En cada uno de estos dominios, todos los momentos magnéticos están alineados. En las fronteras entre dominios hay cierta energía potencial.

Los materiales ferromagnéticos, compuestos de hierro y sus aleaciones con cobalto, tungsteno, níquel, aluminio y otros metales, son los materiales magnéticos más comunes y se utilizan para el diseño y constitución de núcleos de los transformadores y máquinas eléctricas. En un transformador se usan para maximizar el acoplamiento entre los devanados, así como para disminuir la corriente de excitación necesaria para la operación del transformador. En las máquinas eléctricas se usan los materiales ferromagnéticos para dar forma a los campos, de modo que se logren hacer máximas las características de producción de par.

Al someter un material ferromagnético a un campo magnético intenso, los dominios tienden a alinearse con éste, de forma que aquellos dominios en los que los dipolos están orientados con el mismo sentido y dirección que el campo magnético inductor aumentan su tamaño. Este aumento de tamaño se explica por las características de las paredes de Bloch, que avanzan en dirección a los dominios cuya dirección de los dipolos no coincide; dando lugar a un monodominio. Al eliminar el campo, el dominio permanece durante cierto tiempo.



En esa transición, los dipolos giran desde la orientación inicial en un dominio hasta la orientación del dominio situado del otro lado de la pared y se alinean en la misma dirección y sentido que el campo eléctrico externo.

La ferroelectricidad es una propiedad de materiales que poseen por lo menos dos estados de orientación, que pueden ser intercambiados de uno al otro por influencia de un campo eléctrico externo y cuya única diferencia es la dirección del vector de polarización. El efecto físico observable es que el material presenta una polarización después que se retira el campo eléctrico.

La polarización no puede ser medida directamente a partir de mediciones de carga, debido a que el material podría tener eventualmente una polarización neta igual a cero, que es un estado de mínima energía libre al cual siempre tiende este tipo de materiales.

Cuando se aplica un campo eléctrico externo al material los dipolos eléctricos se alinearán en dirección del campo eléctrico aplicado, pero cuando se deja de aplicar el campo eléctrico no todos los dipolos vuelven a su estado de mínima energía, sino que muchos quedan apuntando en la dirección en que el campo se había aplicado; esta es la propiedad clave de los materiales ferroeléctricos.

La ferroelectricidad aparece debido a una distorsión en la red cristalina. Esta distorsión se refiere a que los iones que conforman una celda unitaria del material están desplazados levemente unos de otros, tales desplazamientos son menores a un ángstrom, es decir, 10 mil veces menores al micrómetro. Esta fase cristalográfica conforma la llamada fase ferroeléctrica.

Para comprender el efecto piezoeléctrico se debe entender que los momentos dipolares explicados anteriormente están íntimamente ligados a la estructura física del material.

Es por ello que una deformación mecánica altera ese conjunto de momentos levemente y, por ende, al momento resultante. Un cristal piezoeléctrico colocado en un campo



eléctrico variable reaccionará de forma variable en armonía con el campo. En particular, si el cristal se le coloca entre dos placas metálicas conectadas a un generador de corriente alterna, el cual produce un voltaje variable con una forma de una onda sinusoidal, el cristal deberá responder con un movimiento oscilante que intentará simular a dicho voltaje.

El efecto piezoeléctrico directo es utilizado para obtener movimientos pequeños, precisos y rápidos, conociendo cuál será su respuesta mecánica frente a un cierto voltaje aplicado. Así se consiguen movimientos menores que el radio de un átomo para microscopios de muy alta resolución. Si se aplica una presión a lo largo de un eje particular del cristal (el denominado eje polar), se puede medir una tensión en los extremos de las correspondientes caras opuestas y si se aplica una tensión en los extremos del cristal, éste se contrae o se expande, lo cual se conoce como efecto piezoeléctrico inverso.

La potencia de trabajo que es disipada por el cristal está normalmente especificada en micro o mili volts, siendo un valor típico 100 microvolts. Como ya se había mencionado, el cristal se ve afectado por la temperatura, y tiene cierta tolerancia a ella.

Dependiendo de cómo se corta un material piezoeléctrico, el modo de operación de puede ser distinguido: transversal, longitudinal, y esquileo.

Modo transversal: Una fuerza se aplica a lo largo de un eje neutral (Y) y las cargas se generan a lo largo (X) de la dirección perpendicular a la línea de la fuerza. La cantidad de carga depende de las dimensiones geométricas del elemento piezoeléctrico respectivo.

Modo longitudinal: La cantidad de carga producida es terminantemente proporcional a la fuerza aplicada y es independiente del tamaño y de la forma del elemento piezoeléctrico. Usando varios elementos que están mecánicamente en serie y eléctricamente adentro paralelo es la única manera de aumentar la salida de la carga.



Modo de esquiroleo: Una vez más las cargas producidas son terminantemente proporcionales a las fuerzas aplicadas y son independiente del tamaño del elemento y forma. Para los elementos en paralelo la carga están mecánicamente en serie y eléctricamente en paralelo.

La resonancia magnética (RM) hace uso de las propiedades de resonancia aplicando radiofrecuencias a los átomos o dipolos, los cuales se encuentran entre los campos alineados de la muestra y permite estudiar la información estructural o química de una muestra.

La RM utiliza algunas propiedades fundamentales de los núcleos atómicos, en particular los momentos magnéticos. Cuando se colocan en un campo magnético externo potente, la dirección del momento magnético oscila o cambia según la dirección del campo con una frecuencia proporcional a la fuerza del campo externo y la RM se produce cuando la fuerza del campo magnético se manipula hasta que la frecuencia de presión de la partícula coincide con la radio frecuencia aplicada. Esto hace que el momento magnético de la partícula cambie de orientación en relación al campo magnético externo, una señal detectable que revela la estructura interna y la actividad de cualquier cosa, desde elementos químicos hasta el cerebro humano.

Las frecuencias a las cuales resuena un átomo son directamente proporcionales a la fuerza del campo magnético ejercido, Los campos magnéticos mayores son a menudo preferidos puesto que correlacionan con un incremento en la sensibilidad de la señal. Existen muchos otros métodos para incrementar la señal.

Reglas de la resonancia.

- 1- En las estructuras resonantes las posiciones relativas de todos los núcleos atómicos han de ser las mismas. Las estructuras resonantes sólo implican corrimientos electrónicos.
- 2- Las estructuras resonantes contribuyentes al mismo valor de resonancia y deben tener el mismo número de electrones desapareados o sin compartir. Este número puede ser cero.



- 3- Cuanto más estable sea una estructura, mayor será su contribución al estado resonante.
- 4- Sí las diferentes estructuras resonantes tienen el mismo número de enlaces, pero algunas de ellas tienen separación de cargas eléctricas, estas serán más inestables que las estructuras sin separación de cargas. Por lo tanto serán menos contribuyentes.
- 5- Las estructuras contribuyentes que tienen más de ocho electrones en su capa de valencia, para los elementos del 2º período deben ser ignoradas.

Características de la resonancia

1. El contenido energético de la molécula real (híbrido de resonancia) es menor que el más estable de las estructuras contribuyentes, en una cantidad llamada energía de resonancia.
2. Si la energía de resonancia es mayor, por lo tanto la molécula es más estable, cuantas más estructuras resonantes hay y más pequeñas son las diferencias de energía entre ellas. Sí son del mismo contenido energético, la energía de resonancia es máxima, se dice que el compuesto está completamente estabilizado.
3. la contribución de una estructura resonante a la descripción de la molécula real es menor, cuanto mayor es el contenido energético de dicha estructura en comparación con las restantes.
4. Las propiedades químico-físicas, tales como longitud de enlace, momento dipolar, energía de enlace y distribución electrónica de la molécula real son alterados con respecto a los valores esperados para las estructuras resonantes contribuyentes, pero se acercan más a la más importante de estas estructuras.

Un cristal de cuarzo se puede representar mediante un circuito eléctrico, el cual se muestra a la figura 3.4 y representa un esquema del cristal de cuarzo trabajando a una determinada frecuencia de resonancia.



El capacitor C' o capacidad en paralelo, representa en total la capacidad entre los electrodos del cristal más la capacidad de la carcasa y sus terminales. R , C y L conforman la rama principal del cristal y se conocen como componentes o parámetros donde:

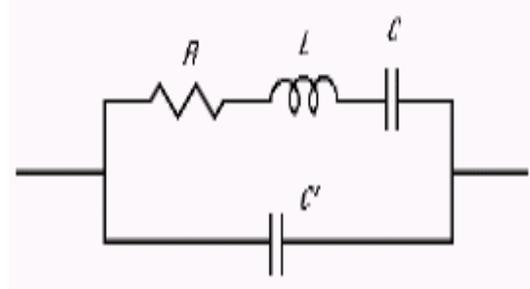


Figura 3.4. Parámetros de un circuito RCL.

L representa la masa vibrante del cristal.

C representa la elasticidad del cuarzo.

R representa las pérdidas que ocurren dentro del cristal.

Las principales propiedades de los materiales piezoeléctricos son:

1.- Constante de carga piezoeléctrica: es la proporción entre la variación dimensional (Δl) del material piezoeléctrico (en metros) y la diferencia de potencial aplicada (en Volts), y entre la generación de cargas eléctricas (en Coulombs) y la fuerza aplicada en el material (en Newtons). Valores típicos: De 0,2 a 8 Angstroms por Volt aplicado, y de 20 a 800 pico Coulomb por Newton aplicado, para cerámicas piezoeléctricas de PZT.

2.- Constante de tensión piezoeléctrica: es la proporción entre la diferencia de potencial generada (en Volts) la fuerza aplicada (en Newton) para una cerámica con longitud de 1 metro. Valores típicos: De -1 a 60 Volts para cada Newton aplicado (considerando el tamaño del eje en cuestión de 1 metro), para cerámicas piezoeléctricas de PZT. Disminuyendo la dimensión de la cerámica o aumentando la fuerza, el módulo de la tensión generada también aumenta.

3.- Coeficiente de acoplamiento: es la eficiencia del material en la transducción/conversión de energía eléctrica en mecánica y viceversa. Valores típicos: De 0.02 (equivalente a 2% de eficiencia) a 0.75 (equivalente a 75% de eficiencia), para cerámicas piezoeléctricas de PZT. En el control de calidad de las cerámicas piezoeléctricas y en el diseño de dispositivos en que no se desea la conversión de energía cruzada, o sea, que una vibración o deformación en un eje no genere cargas



eléctricas o diferencia potencial en otro eje. En este caso, cuanto menor sea el respectivo factor de acoplamiento mejor.

4.- Factor de calidad mecánico: Es una medida del amortiguamiento del material. Valores típicos: De 50 a 1500, para cerámicas piezoeléctricas de PZT. Cuándo/Dónde es una información indispensable: En el diseño de dispositivos dinámicos de alta potencia.

5.- Factor de disipación dieléctrica $\tan \delta$: Es una medida dieléctricas del material. Valores típicos: De 2×10^{-3} a 25×10^{-3} para cerámicas piezoeléctricas de PZT (sobre bajo campo). Cuándo/Dónde es una información indispensable: En el diseño de dispositivos dinámicos de alta potencia y/o sometidos a altos campos eléctricos.

6.- Temperatura de Curie Es la temperatura donde la estructura cristalina del material sufre una transición de fase dejando de presentar propiedades piezoeléctricas. Después de superar esta temperatura, el material pierde la polarización remanente inducida, tornándose inservible para su utilización como elemento transductor de energía eléctrica en mecánica. Valores típicos: De 150 a 350°C , para cerámicas piezoeléctricas de PZT.

7.- Constantes de frecuencia: Es un factor importante ya que permite la estimación de la frecuencia de resonancia de los dispositivos piezoeléctricos. Valores típicos: De 800 a 3000 Hzm, para cerámicas piezoeléctricas de PZT. Cuándo/Dónde es una información indispensable: En el diseño de dispositivos que funcionan en resonancia.

8.- Impedancia acústica: Es la manera con que la energía mecánica se propaga por el medio, es una propiedad análoga a la del índice de refracción. La diferencia entre las impedancias acústicas de dos medios adyacentes es determinante de la fracción de la energía reflejada y transmitida de una onda que incide en la interfaz. Valores típicos: De 25 a 40 MRayls, para cerámicas piezoeléctricas de PZT. Es calculado por el producto de la densidad por la velocidad (la velocidad es aproximadamente igual a dos veces la respectiva constante de frecuencia, en el caso de las cerámicas).



3.2.2. Materiales.

Muchas sustancias cristalinas poseen propiedades piezoeléctricas, pero solamente algunas se usan a escala industrial, entre éstas se encuentran: el cuarzo, la Sal de Rochelle, el titanato de bario, el fosfato dihidrogenado de amonio, etc.

Los cristales se cortan utilizando discos de acero con esmeriladas de diamante engarzadas en su periferia, o bien utilizando discos de acero de 0,5mm de espesor, alimentados con agua y glicerina con carborúndum (carburo de silicio artificial, utilizado como abrasivo) en polvo en suspensión. Los cristales obtenidos, después de los sucesivos cortes, son rigurosamente examinados y pulidos hasta obtener las dimensiones deseadas.

De los cristales piezoeléctricos se cortan láminas que se usan fundamentalmente como patrones o controles de frecuencia, o como transductores. Estas láminas, que se cortan siguiendo determinadas reglas, vinculadas a los ejes cristalográficos, se suelen llamar simplemente cristales. Los materiales piezoeléctricos son variados y hay tanto naturales como artificiales.

Los primeros cristales utilizados, se obtienen de cortes perpendiculares sobre los ejes X y Y. El corte Y, tiene un coeficiente de temperatura elevado y discontinuo; el corte X un coeficiente de temperatura también alto, pero mucho más continuo, lo que permite obtener una buena estabilidad cuando se usan hornos termostáticos. Sin embargo, este corte es menos activo que el Y.

En la actualidad existen muchos otros modos de corte. Para frecuencias comprendidas entre 500KHz y 6MHz, se usan preferentemente el corte AT; este corte tiene un excelente comportamiento térmico, pero por encima de los 6MHz los cristales son muy delgados y difíciles de obtener. Para frecuencias entre los 6 y 12MHz se usa preferentemente el corte BT.

Para bajas frecuencias, del orden de 50 a 500KHz se usan los cortes CT y DT; y para frecuencias del orden de los 100KHz se recomienda el corte GT.

Cortes y pulidos especiales permiten que el cristal vibre en una armónica de su fundamental, se pueden obtener cristales con cortes AT y BT para funcionar en la 3ra ; 5ta y hasta 7ma armónica.

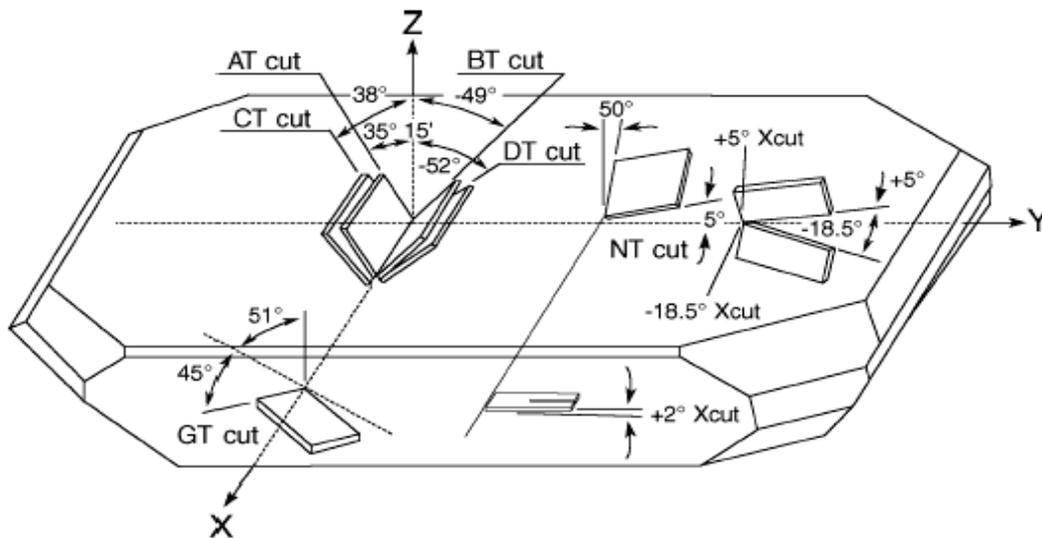


Figura 3.5. Tipos de cortes en un cristal piezoeléctrico.

Los cristales se usan como patrones de frecuencia, cuando la frecuencia de resonancia mecánica de los mismos es muy estable (por ejemplo, láminas convenientemente cortadas de un cristal de cuarzo); estos cristales al vibrar generan una tensión proporcional a la amplitud de la vibración, y de la misma frecuencia que ésta; y provistos de electrodos convenientes, tienen las características de un circuito resonante. Los cristales piezoeléctricos se usan también como transductores, debido a que el efecto piezoeléctrico posibilita la conversión de energía mecánica en eléctrica o viceversa.

Para el montaje, pueden metalizarse las caras del cristal en este caso se baja la frecuencia de resonancia del mismo. El metalizado puede obtenerse cubriendo las caras con un barniz con óxido de plata en suspensión, y calentando los cristales, barnizados y secos a una temperatura del orden de los 300°C, con lo cual el óxido de plata se reduce a plata metálica; otras veces la metalización de las caras puede obtenerse evaporando al vacío plata, oro o aluminio.

Una vez montado el cristal, puede controlarse la frecuencia de resonancia y la presencia de resonancias no deseadas, con un arreglo como el de la Figura 3.6. o similar.

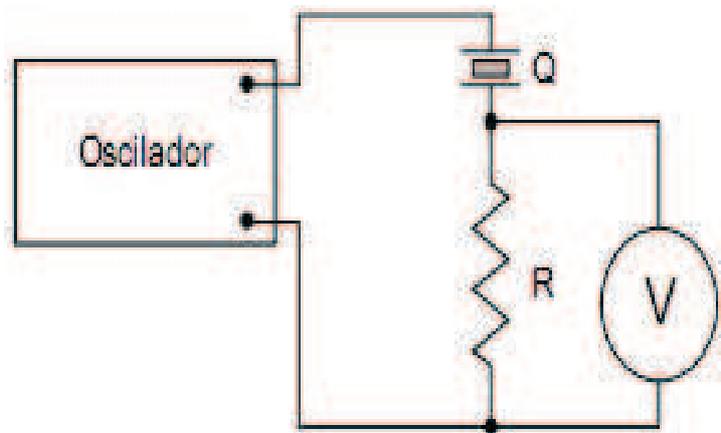


Figura 3.6. Circuito para controlar la frecuencia.

El circuito consiste en un oscilador de frecuencia variable, a cuya salida se conecta un cristal Q en serie con una resistencia R, un

voltímetro de alta impedancia conectado entre los extremos de la resistencia indica tensión máxima cuando la frecuencia del oscilador coincida con la resonancia en serie; y tensión mínima cuando coincide con la de resonancia paralelo.

3.2.3. Cristales naturales

Algunos cristales en la naturaleza tienen propiedades piezoeléctricas como el azúcar, pero aunque no tiene gran potencial piezoeléctrico, lo vemos comúnmente en el hogar.

Uno de los cristales naturales con grandes propiedades piezoeléctricas es la sal de Rochelle o también llamado sal de Seignette y Su nombre químico es tartrato de potasio de sodio. Es una sal que tiene más de un catión o más de un anión. El catión es el ión cargado positivamente, el anión esta cargado negativamente. Es a través de estos iones cargados que los enlaces iónicos se forman. Positivos y negativos adjuntar.

Fue obtenido por primera vez, por un farmacéutico de la Rochelle (Francia), de nombre Seignette. Es un cristal ortorrómbico que debe sus propiedades físicas al ácido tartárico del cual proviene.

La sal de Rochelle es estable entre el 35% y el 85% de humedad relativa. Por encima del 85% de humedad el cristal absorbe agua de la atmósfera y se disuelve lentamente. Para aminorar los efectos de la humedad se cubren los cristales con ceras que

retardan, más bien, que evitan la deshidratación. La máxima temperatura a que puede estar expuesto este cristal es del orden de 45°C. a los 55°C pierden de forma permanente sus propiedades piezoeléctricas.



Figura 3.7. Cristal natural.

El corte de los cristales de sal de Rochelle como el de cualquier otro cristal soluble, se efectúa preferentemente, con un dispositivo similar a una sierra sinfín, provista de un sutil hilo de acero cuya principal misión es aportar agua, la que por disolución efectúa el corte, en la zona de contacto del hilo con el cristal, ya que el hilo no debe efectuar ninguna acción abrasiva sobre el cristal lo anterior aparece en la figura 3.8.

Las láminas de sal de Rochelle pueden montarse para trabajar a la torsión o a la flexión, y según cuál sea el montaje, varía la orientación del corte. Después de cortado, y antes de utilizarlo, los cristales se mantienen un cierto tiempo en armarios, a temperaturas controladas. Sus aplicaciones pueden variar desde dispositivos de detección o en aplicaciones más comunes como micrófonos y altavoces.

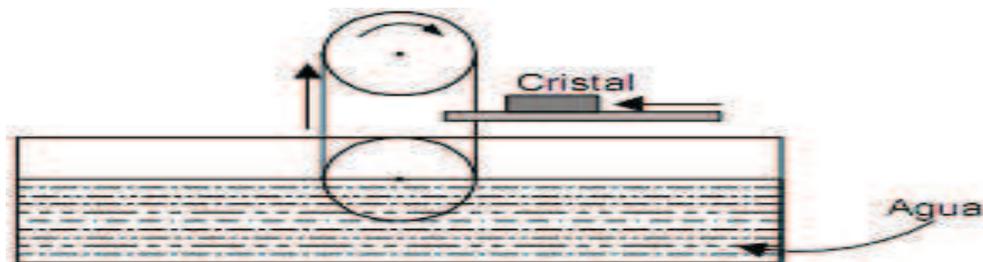


Figura 3.8. Corte de un cristal con una sierra sin fn.



El cuarzo que se conoce por sus propiedades piezoeléctricas: cuando se comprime se produce una separación de cargas eléctricas que genera a su vez una diferencia de tensión y de manera recíproca, reacciona mecánicamente cuando se somete a un cierto voltaje. La célula unitaria de cuarzo (Si-O_2) está compuesta por 6 átomos de oxígeno, con dos cargas negativas cada uno, y 3 de silicio con cuatro cargas positivas cada uno. Lo anterior se muestra en la figura 3.9.

En dicha estructura se ejerce una presión, por ejemplo, en el sentido indicado por las flechas, se producen una deformación de la célula; un desplazamiento de las cargas, y el equilibrio eléctrico resulta alterado. Como consecuencia aparecen cargas de signo opuesto en la parte superior e inferior de la célula esquematizada. La estructura que tiene le permite obtener, mediante cortes, láminas con propiedades piezoeléctricas.

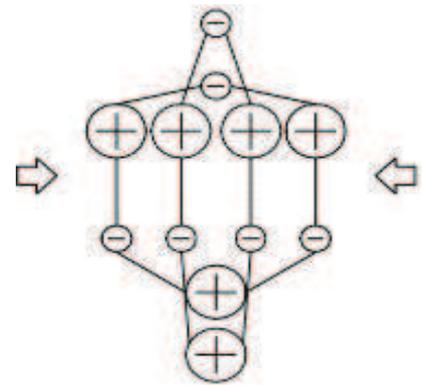


Figura 3.9. Estructura del cuarzo.

Estas láminas, con sus correspondiente electrodos, tienen las características de un circuito resonante, varias veces mayor que el que puede obtenerse con un circuito convencional de constante concentradas; la frecuencia de resonancia es, fundamentalmente, función de las dimensiones del cristal, del montaje y de la orientación del corte; esto último determina además, la actividad, el coeficiente de temperatura, y otras características del cristal.

Un cristal de cuarzo tiene varias resonancias, pues las oscilaciones pueden ser, longitudinales, transversales, de corte o de flexión. Dando al cristal, y al soporte del mismo, formas adecuadas, pueden acentuarse un modo de resonancia y atenuarse las llamadas resonancias secundarias.

otro cristal natural muy parecido es el Berlinita; también conocido como ortofosfato de aluminio (AlPO_4), es un cristal rómbico hecho de fosfato de sodio y la sal de aluminio, estructuralmente es idéntico al cuarzo, sin embargo, químicamente tiene sus diferencias.



La turmalina pertenece al sistema cristalino trigonal y se presenta como larga y delgada a gruesa y cristales prismáticos columnares que suelen ser triangulares en sección transversal. El estilo de terminación en los extremos de los cristales es asimétrico, llamada hemimorphism. Pequeños cristales prismáticos delgados son comunes en un granito de grano fino llamada aplita, a menudo formando patrones radiales. Turmalina se distingue por sus prismas de tres lados, ningún otro mineral común tiene tres lados. Las caras de las prismas tienen a menudo estriaciones verticales pesadas que producen un efecto triangular redondeado. La turmalina es hexagonal con un eje polar. Las placas cortadas normales a esta dirección producen una corriente eléctrica cuando son sometidas a una presión transitoria. La corriente generada es proporcional al área de la placa y a la presión.

La piezoelectricidad de la turmalina se conoce desde hace tanto tiempo como la del cuarzo, pero comparada con este. La turmalina es un oscilador menos efectivo y es extremadamente rara. No obstante, pequeñas cantidades de ella se usan hoy día en manómetros piezoeléctricos. Los manómetros de turmalina fueron desarrollados para registrar la presión de estallido de la primera bomba atómica en 1945, y desde entonces han sido utilizados por los Estados Unidos en cada explosión atómica. Como las originadas por el disparo de un rifle o por el choque de las olas en un muro de contención.

3.2.4. Cristales artificiales.

Los cristales artificiales que se obtienen por cultivo. Son cristales artificiales piezoeléctricos, los cuales son creados para mejorar un desempeño y ser aplicados en condiciones que los cristales naturales no pueden soportar o con rendimientos que no pueden alcanzar.

Se parte de soluciones saturadas en caliente, y por enfriamiento o evaporación se forman y crecen dentro de la misma, los cristales. El crecimiento debe ser lento si se desean obtener cristales perfectos. Para acelerar el proceso, se puede partir de trozos cortados de cristales grandes que actúan como gérmenes.



Uno de los cristales artificiales es el Fosfato del galio (GaPO_4) y es un cristal incoloro trigonal con una dureza de 5,5 en la escala de Mohs. GaPO_4 es isotrópico con el cuarzo, ya que poseen propiedades muy similares, pero los átomos de silicio están alternativamente sustituidos con galio y fósforo, duplicando así el efecto piezoeléctrico. GaPO_4 . Tiene muchas ventajas sobre cuarzo para aplicaciones técnicas, como un mayor coeficiente de acoplamiento electromecánico en resonadores, debido a esta duplicación. Al contrario del cuarzo, GaPO_4 no se encuentra en la naturaleza. Por lo tanto, un proceso hidrotérmico debe ser utilizado para sintetizar el cristal.

Los Sensores de presión a base de cuarzo tienen que ser enfriados con agua para aplicaciones a altas temperaturas (por encima de 300°C). A partir de 1994 fue posible sustituir estos sensores grandes por miniaturizados no refrigerados, con base en GaPO_4 . Otras características excepcionales de GaPO_4 es su uso a altas temperaturas con un efecto piezoeléctrico casi independientes de temperatura y un excelente aislamiento eléctrico de hasta 900°C . Para aplicaciones de mayor resonancia, la temperatura de exposición del cristal se compenso con los recortes de hasta 500°C , y el tener un factor Q comparable con el del cuarzo. Hace estas propiedades de los materiales, GaPO_4 una opción muy conveniente para los sensores de presión piezoeléctricos a altas temperaturas y de microbalanza de alta temperatura.

Otro cristal artificial es el langasite, también conocido como Silicato del galio del lantano tiene una fórmula química de $\text{A}_3\text{BC}_3\text{D}_2\text{O}_{14}$, donde A, B, C y D indican determinados sitios de cationes. Langasite es un solo material cristalino con aplicaciones potenciales como transductor piezoeléctrico a temperaturas elevadas. Aplicaciones previstas incluyen sensores de resonancia de gas con la capacidad de detectar la composición del gas. El material excede significativamente el límite de temperatura de operación del cuarzo y presenta oscilaciones a granel a temperaturas de al menos 1400°C .



3.2.5. Cerámicos.

En primera aproximación puede decirse que los materiales cerámicos son aquellos materiales químicamente definidos como inorgánicos y no metálicos, pueden ser definidos también, como un compuesto sólido que se obtiene por la aplicación de calor y en ocasiones con la combinación de calor y presión, comprimiendo por lo menos dos elementos con la condición que uno de ellos es un no-metal o un elemento sólido no-metálico. En general, se consideran únicamente como materiales cerámicos aquellos que han sido producidos por el hombre de forma artificial.

Por lo general los materiales cerámicos presentan un buen comportamiento a alta temperatura, mientras que pueden sufrir roturas por choque térmico a temperaturas inferiores, entonces pueda tener:

- Termo fluencia: La conservación de las propiedades mecánicas a altas temperaturas toma gran importancia en determinados sectores como la industria aeroespacial. Los materiales cerámicos poseen por lo general una buena resistencia a la termo fluencia. Esto es debido principalmente a dos factores en el caso de cerámicos cristalinos: altos valores de temperatura de fusión y elevada energía de activación para que comience la difusión.
- Choque térmico: Se define como la fractura de un material como resultado de un cambio brusco de temperatura. Esta variación repentina da lugar a tensiones superficiales de tracción que llevan a la fractura. Entre los factores que condicionan la resistencia al choque térmico toma gran importancia la porosidad del material. Al disminuir la porosidad (aumentar la densidad) la resistencia al choque térmico y las características de aislamiento se reducen, mientras que la resistencia mecánica y la capacidad de carga aumentan. Muchos materiales son usados en estados muy porosos y es frecuente encontrar materiales combinados: una capa porosa con buenas propiedades de aislamiento.



Las cerámicas piezoeléctricas son cuerpos macizos semejantes a las utilizadas en aisladores eléctricos, ellas están constituidas por innumerables cristales ferroeléctricos microscópicos llegando a denominarse como policristalinas. Particularmente en las cerámicas del tipo PZT, esos pequeños cristales poseen estructuras cristalinas tipo Perovskita.

Estando por debajo de una temperatura crítica, conocida como temperatura de Curie, la estructura Perovskita presentará la simetría tetragonal donde el centro de simetría de las cargas eléctricas positivas no coincide con el centro de simetría de las cargas negativas, dando origen a un dipolo eléctrico.

La existencia de este dipolo provoca que la estructura cristalina se deforme en presencia de un campo eléctrico y genere un desplazamiento eléctrico cuando es sometida a una deformación mecánica, caracterizando el efecto piezoeléctrico. La deformación mecánica o la variación del dipolo eléctrico de la estructura cristalina de la cerámica no necesariamente implica efectos macroscópicos, ya que los dipolos se organizan en dominios, que a su vez se distribuyen aleatoriamente en el material policristalino.

3.3. Algunos dispositivos piezoeléctricos.

Aunque el desarrollo de dispositivos piezoeléctricos no es que sea noticia de todos los días, esta es una de esas tecnologías que podrían revolucionar la tecnología de buena parte de los productos que nos rodean. Cada vez más se encuentran en un mayor número de aplicaciones. Estos dispositivos presentan ventajas excelentes, como una precisión que baja hasta los nanómetros y dimensiones físicas minúsculas.

3.3.1. Actuadores piezoeléctricos.

En el campo de ingeniería el uso más común del fenómeno piezoeléctrico actualmente es en los actuadores piezoeléctricos, los cuales son dispositivos que producen un movimiento aprovechando el fenómeno físico de la piezoelectricidad.



Los actuadores que utilizan este efecto están disponibles desde hace unos 20 años y han cambiado el mundo del posicionamiento y de precisión. El movimiento preciso que resulta cuando un campo eléctrico es aplicado al material es de gran valor para nano posicionamiento. Los actuadores realizan un pequeño movimiento de unos pocos micrómetros cuando se les aplica una tensión. Este movimiento puede incrementarse utilizando un sistema de palanca o colocando una serie de actuadores en una pila.

Un actuador piezoeléctrico es normalmente caracterizado en términos de dos parámetros que son la fuerza bloqueada y la deformación libre.

- La fuerza bloqueada es la fuerza requerida para restringir completamente al actuador piezoeléctrico y para impedir su deformación cuando se le aplica un campo eléctrico.
- La deformación libre es la máxima deformación inducida correspondiente al efecto piezoeléctrico que ocurre cuando se lo somete a un campo eléctrico específico sin carga externa adicional.

Existen varios diseños de estos actuadores pero la configuración más común es el tipo pila y consiste en varias capas de cerámicos piezoeléctricos con dos salidas eléctricas cada una, cubiertos por una carcasa metálica para protegerlo contra influencias externas como se muestra en la figura 3.10.

A esta carcasa se le pueden incorporar resorte para comprimir el cerámico de tal forma que permita la operación de tensión y compresión.

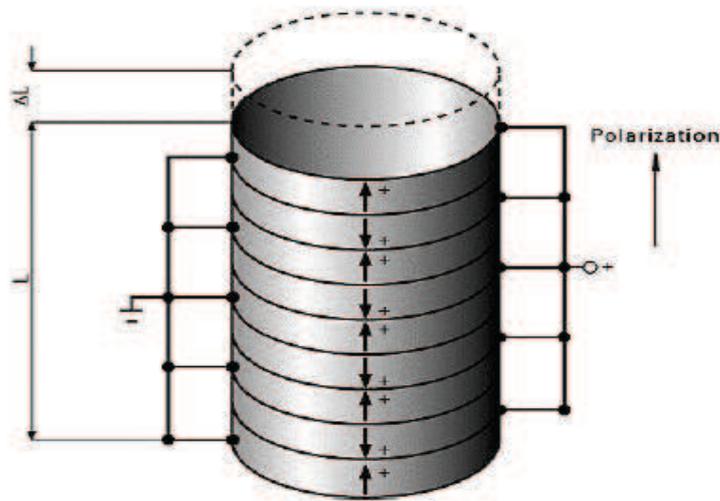


Figura 3.10. Esquema de un actuador.

Este actuador provee hasta un desplazamiento de 90 micrones y puede manejar cargas de hasta 300 Kg. Además de resistir fuerzas de estiramiento de hasta 70 N.

Los actuadores piezoeléctricos no producen campos magnéticos ni son afectados por estos, por este motivo son muy apropiados para aplicaciones donde los campos magnéticos no pueden tolerarse. Un actuador piezoeléctrico no tiene engranes ni ejes rotativos, su desplazamiento se basa en la dinámica de estado sólido y por lo tanto no presenta desgaste ni roturas, se han efectuado muchas pruebas comprobando que no se presentan cambios en la estructura después de miles de millones de ciclos. Además estos actuadores no necesitan de ningún lubricante.

3.3.2. Generadores y motores piezoeléctricos.

Recientes investigaciones han mostrado un prototipo de generador a escala nanométrica que produce corriente eléctrica directa continuamente al cosechar energía mecánica de fuentes ambientales como ondas de ultrasonido vibraciones mecánicas.

Los nano generadores sacan provecho de las propiedades únicas de piezoelectricidad y semiconductividad de las nano estructuras del óxido de zinc, que producen pequeñas



cargas eléctricas cuando son flexionadas. La fabricación comienza con el crecimiento de los nanos cables alineados verticalmente separados aproximadamente medio micrón en zafiro o un substrato de polímero flexible. Una capa de óxido de zinc se agrega encima del substrato para coleccionar la corriente. También se han fabricado electrodos de silicio, que contienen miles de extremidades a escala nanométrica hechas conductoras al ser recubiertas por platino.

El electrodo es puesto encima del arreglo de nano cables, dejando justo espacio suficiente para que un número significativo de los cables estén libres para flexionarse entre los espacios creados por las extremidades. Movidos por energía mecánica como ondas o vibración, los cables periódicamente contactan las extremidades, transfiriendo sus cargas eléctricas. Al capturar las pequeñas cantidades de corriente producidas por miles de nano cables mantenidos en movimiento, los generadores producen una corriente directa en el rango del nano-Ampère

En recientes investigaciones se espera que con la optimización de los nanos generadores se pueda producir tanto como 4 watts por centímetro cúbico basados en el cálculo por un sólo nano cable. Eso sería suficiente para suministrar energía a un gran rango de aplicaciones biomédicas, ambientales y de defensa, incluyendo biosensores implantados en el cuerpo, monitores ambientales - y hasta nano robots.

Los materiales empleados en estos nanos generadores, además, no son tóxicos: las láminas están hechas de un polímero flexible o arseniuro de galio y como ya hemos dicho, las fibras piezoeléctricas son de óxido de zinc, que tampoco es tóxico.

Proveer energía a nano dispositivos fue por mucho tiempo un desafío. Las baterías y otras fuentes tradicionales son demasiado grandes y tienden a arruinar las ventajas en tamaño de los nanos dispositivos. Y como las baterías contienen materiales tóxicos como litio y cadmio, no pueden ser implantados en el cuerpo como parte de aplicaciones biomédicas.



Para los motores piezoeléctricos el principio de estos motores fue desarrollado a principios de los años 80 del pasado siglo en Japón, y puede usarse para obtener un movimiento de rotación preciso. Un motor piezoeléctrico (figura 3.11).

El estator de forma de anillo está fabricado con elementos piezoeléctricos individuales con polarizaciones alternadas, conectadas entre sí con un contacto metálico continuo. Si se aplica una tensión continua de unos 200 voltios, los elementos piezoeléctricos se estiran y se contraen de manera alternativa, deformando el anillo del estator en forma de onda. Una tensión alterna senoidal cambia las ondas de posición. Para poder crear una onda de desplazamiento el anillo se divide en dos zonas aisladas eléctricamente y estimuladas de manera separada.

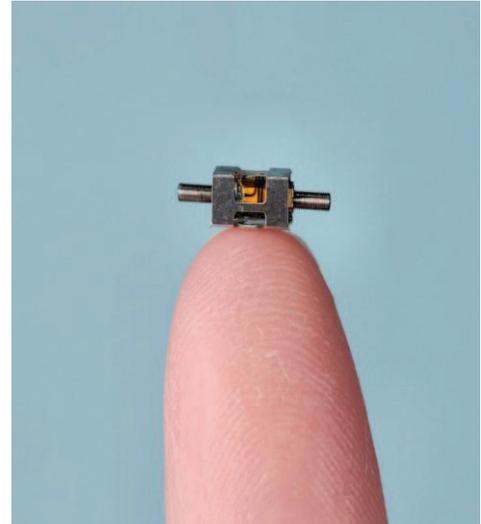


Figura 3.11. Motor piezo eléctrico.

En un motor piezoeléctrico la oscilación del elemento piezoeléctrico fijo (el estator) debe transferirse a la parte que se mueve (el rotor). En principio, el rotor puede empujarse de manera periódica, mediante un movimiento lineal del estator y quedar fijo entre los distintos empujones o puede continuar en movimiento en la misma dirección debido a su inercia. Los modelos más avanzados son los denominados motores de ultrasonidos.

En estos motores el elemento piezoeléctrico tiene una tensión aplicada en una cara y se pone a oscilar utilizando, por ejemplo, una señal de onda cuadrada. La resonancia se consigue a una frecuencia entre 30 y 1.000 KHz, de aquí el nombre de motor de ultrasonidos.

El material tiene una forma determinada de manera que las dos oscilaciones (una oscilación de curvatura y una oscilación de extensión) están superpuestas, lo que hace que el final del estator se mueva siguiendo un camino elíptico. En un punto de este



camino elíptico el estator toca el rotor, haciendo que este último se mueva durante unos pocos micrómetros. A una diferencia de frecuencia dada, las dos componentes de oscilación están superpuestas, de manera tal que el movimiento elíptico se produce en la dirección inversa y el motor gira en sentido contrario.

3.3.3. Sensores piezoeléctricos.

Los sensores piezoeléctricos se basan en que cuando se aplica una presión, fuerza o aceleración a un cristal u otros materiales piezoeléctricos se desarrolla una carga a través del cristal que es proporcional a la fuerza aplicada. Otra característica de estos sensores de cristal es que la señal generada por el cristal decae rápidamente.

Son elementos ligeros, de pequeño tamaño y de construcción robusta son adecuados para medidas dinámicas, al ser capaces de respuestas frecuenciales de hasta un millón de ciclos por segundo.

Esta deformación origina una carga eléctrica (que dura algunos segundos). La señal eléctrica resultante puede medirse como una indicación de la presión que se aplica al cristal. Estos sensores no pueden detectar presiones estáticas, pero se usan para medir presiones rápidamente cambiantes u otras fuentes de choque o vibración.

El rendimiento de los sensores de presión dinámica se expresa a menudo en unidades de presión relativa (tales como psir en vez de psig), por lo tanto referenciando la medida a la condición inicial del cristal. El rango máximo de tales sensores es 5000 o 10000 psir. Los sensores piezoeléctricos son sensibles a las variaciones de temperatura y requieren amplificación y cableado especial.

Ventajas:

- Alta sensibilidad y bajo coste.
- Alta rigidez mecánica (deformaciones experimentadas $< 1\text{microm}$), apta para medir esfuerzos variables (fuerza - presión).



Desventajas:

- No poseen respuesta en CC.
- Deben trabajar por debajo de la frecuencia de resonancia del material
- Los coeficientes piezoeléctricos son sensibles a la temperatura.
- La impedancia de salida de los materiales piezoeléctricos es muy baja.

3.3.4. Transformadores piezoeléctricos.

Estos dispositivos transforman fuerzas mecánicas en potencial eléctrico. En un transformador piezoeléctrico (TP) la función es reversible, si se aplica una tensión alterna a sus terminales de entrada, se producirán expansiones y contracciones en su espesor. Este desplazamiento en el sector primario se transfiere como una fuerza en la dirección longitudinal. Las resonancias mecánicas tienen lugar para varias frecuencias según el largo del transformador y el coeficiente de velocidad de propagación en el material.

Los TP's basados en un acoplamiento mecánico, surgen como alternativa a los transformadores magnéticos en este tipo de aplicaciones, gracias a las ventajas que proporcionan: alta densidad de potencia, ganancia de tensión elevada, menor nivel de interferencias electromagnéticas (EMI) y elevado nivel de aislamiento eléctrico. Las aplicaciones actuales desarrolladas con TPs se basan en optimizar el rendimiento y el tamaño del componente, pero se necesita añadir componentes magnéticos en la topología del convertidor.

Un TP consiste básicamente en un elemento piezoeléctrico, un electrodo unido a la entrada del elemento piezoeléctrico y adaptado para aplicar voltaje de cierto nivel y otro electrodo a la salida para hacer salir un voltaje de un nivel deseado del elemento piezoeléctrico. El voltaje CA que se aplica a la entrada tiene una frecuencia que afecta al elemento piezoeléctrico y lo hace vibrar mecánicamente. La energía mecánica de la vibración del elemento piezoeléctrico se transforma en la energía eléctrica, y entonces se envía al electrodo de salida. Así, el transformador piezoeléctrico incrementa o reduce el voltaje de entrada piezoeléctrico con las vibraciones.



Capítulo 4.- Algunas aplicaciones de la energía piezoeléctrica.

La energía piezoeléctrica no es nada nueva, aunque en comparación con otras energías renovables hay que reconocerle cierta aparición reciente. Este tipo de energía está siendo explotada en gran medida por parte de la comunidad científica, y son varias las aplicaciones que se están diseñando para aprovechar su potencial energético.

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

Como ya se ha mencionado, el efecto piezoeléctrico convierte tensiones mecánicas en corriente o voltaje eléctrico. Estas tensiones pueden venir de fuentes muy diferentes: movimiento humano, vibraciones de baja frecuencia, y ruido acústico son algunos ejemplos. Excepto en raros ejemplos el efecto piezoeléctrico opera en corriente alterna y requiere entradas que varíen temporalmente a determinadas resonancias mecánicas.

Con el descubrimiento de los materiales piezo-cerámicos, las aplicaciones de los cristales piezoeléctricos se ampliaron considerablemente. Los elementos piezo-cerámicos, además de presentar excelentes características piezoeléctricas, pueden ser fácilmente fabricados en grandes cantidades y en formas diversas (láminas, discos, cilindros, como también en formas de actuadores para ser inmediatamente ensamblados). Esto los hace ideales para aplicaciones en estructuras adaptables.

La mayoría de las fuentes de electricidad piezoeléctricas producen energía del orden de mV, demasiado pequeña para la mayoría de las aplicaciones, pero suficiente para alimentar algunos dispositivos electrónicos.

A continuación se hace una descripción de algunas de las muchas aplicaciones que existen de los cristales piezoeléctricos, como el caso de transductores, sensores, actuadores, etc.



4.1. Como transductores o sensores.

En algunas mediciones físicas estos tipos de sensores son de los más fiables, ya que en el cristal piezoeléctrico las cargas mecánicas se convierten en cargas eléctricas para que puedan ser interpretadas. A diferencia de otros principios de medida como el cuerpo elástico de cuarzo del transductor piezoeléctrico actúa como un sensor que modifica su carga eléctrica en función de su carga mecánica por lo anterior, los sensores piezoeléctricos se utilizan para medir la presión, aceleración, tensión o fuerza en algunos equipos mecánicos; como es el caso de motores automotrices, etc. También se puede ocupar para detectar el paso de las ruedas de un automóvil en balanzas de presión, etc.

4.1.1. Aplicación en un motor de combustión interna.

Los sensores piezoeléctricos de detonación son utilizados generalmente en motores de combustión interna, su principio de funcionamiento se basa en detectar a las vibraciones que son provocadas por los ruidos de impacto, que se dan en cada de los cilindros a causa del proceso de combustión.

El sensor de detonación previene un encendido espontáneo que puede ser nocivo para el motor. El efecto de detonación es la consecuencia de una combustión incontrolada, que produce temperaturas extremas en los cilindros del motor. Estas cantidades tan elevadas de calor someten a un intenso esfuerzo a las componentes del motor, tales como los pistones, las válvulas y la culata; por lo que pueden provocar daños severos. El sensor de detonación registra el sonido del motor propagado y lo convierte en impulsos eléctricos.

La forma física de este tipo de sensores aparece en la figura 4.1.



Figura 4.1. sensores de detonación.

La unidad de control del motor (computadora del automóvil) coteja los impulsos medidos con los valores que están especificados y almacenados en esta unidad, luego interviene para controlar el motor, la inyección de combustible y el encendido en la medida necesaria, antes de que la combustión alcance el límite de detonación.

El sensor de detonación, además desempeña una función adicional en la detección de la calidad del combustible. El sensor no funciona hasta que la temperatura del líquido refrigerante es superior a 75°C, una vez que es detectada una combustión detonante en un cilindro, este se pone 3° en retardo, si durante un intervalo de 20 a 120 combustiones sin detonación se regula el encendido y entonces se sincroniza a 0.75°, la unidad de control del motor corrige automáticamente la sincronización de encendido en base a la información recibida desde el sensor de detonación, esto evita que el motor se dañe.

Los sensores de detonación se ubican en el motor automotriz como se muestra en la figura 4.2.

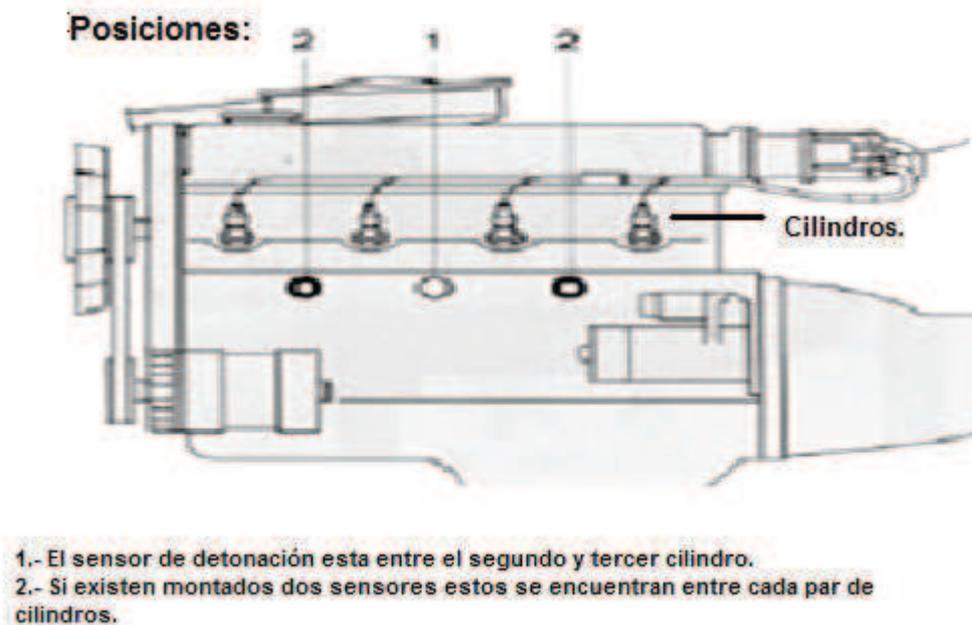


Figura 4.2. Ubicación de los sensores en el motor automotriz.

El ajuste automático del octanaje se hace a través de la regulación de la detonación de la gasolina. De ahí que se pueda pasar de la inyección por avalancha de gasolina a la moderna inyección secuencial. Con todo esto se aprovecha mucho más el consumo de la gasolina.

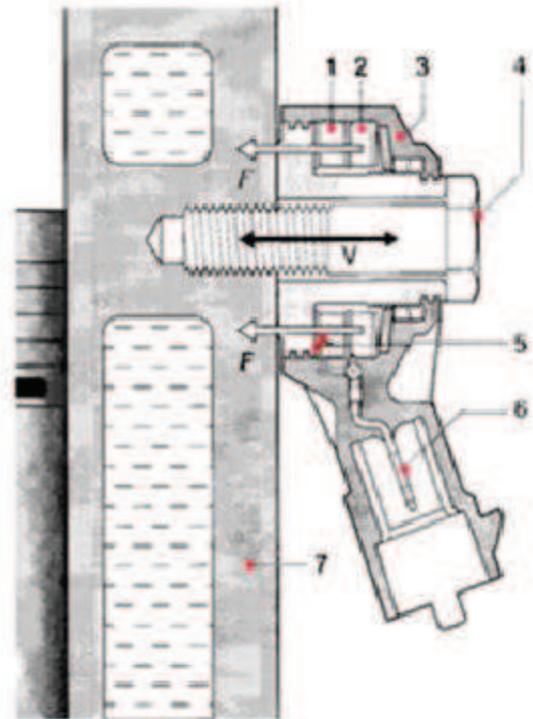
El lugar de montaje de un sensor de detonación se muestra en la figura 4.3 y la ubicación se elige para el respectivo motor de manera que el sensor pueda detectar fiablemente el detonado en cada cilindro. Generalmente se encuentra en el lado más ancho del bloque del motor, es decir cerca de la culata, suelen haber hasta dos sensores por cada 4 cilindros. Para que las señales generadas (vibraciones debidas a los ruidos de impacto) puedan ser transmitidas directamente sin resonancia del punto de medición en el bloque del motor al sensor.

En términos generales, los motores de 4 cilindros colocados en línea pueden ser equipados con un solo sensor de detonación, los motores de 5 ó 6 cilindros con dos sensores y los motores de 8 ó 12 cilindros con tres sensores o más. Los sensores se conmutan en función del orden de encendido en cada cilindro.



Por razón de la inercia del motor, una masa ejerce fuerzas de presión al ritmo de las vibraciones incitantes sobre un elemento piezoeléctrico de forma anular. Estas fuerzas provocan una transferencia de carga dentro del elemento piezoeléctrico entre el lado superior e inferior de este elemento, originando una tensión eléctrica que es tomada por discos de contacto y procesada subsiguientemente en la unidad de control.

La sensibilidad corresponde a la tensión o voltaje de corriente alterna de salida por unidad de aceleración [mV/g]. Y luego Las tensiones transmitidas por el sensor son amplificadas por medio de un amplificador de tensión alterna de alta impedancia.



- 1.- Cerámica piezoeléctrica
- 2.- Masa sísmica y fuerzas de presión "F"
- 3.- Caja tornillo
- 4.- Tornillo
- 5.- Contactos
- 6.- Conexión eléctrica
- 7.- Bloque motor
- V.- Vibración

Figura 4.3. Montaje de los sensores.

4.1.2. Aplicación como control de tránsito.

Los sensores piezoeléctricos de paso son de montaje superficial y se instalan generalmente sobre el camino, calzada, autopista, etc. para ser pisados por la rueda de los vehículos. El sensor emite una señal eléctrica de salida al paso de la rueda. La señal de salida de un sensor de montaje depende del tipo de envoltura o cubierta del cristal piezoeléctrico que se haya seleccionado, así como del equipo acondicionador que se está ocupando.

La ubicación de estos sensores se muestra en la figura 4.4.



Figura 4.4. Ubicación del sensor de montaje superficial en el paso de las llantas.

Con un solo sensor es suficiente para el conteo de ejes, permitiendo obtener los datos del flujo de tráfico de una forma muy sencilla. Este sensor también se utiliza como detector de entrada o salida de vehículos automotores en los estacionamientos para permitir su acceso. Un sensor de paso de Clase I es más sensible por lo que puede determinar el peso por eje, de aquí que se pueda emplear en las básculas de autotransportes.

Otras aplicaciones con dos sensores colocados perpendicularmente al sentido de la circulación vehicular y la distancia conocida, constituyen un muy exacto procedimiento de medida de velocidad; Esta medición es importante en los estudios de flujo de tráfico, para supervisar las limitaciones de velocidad y además que constituye una instalación simple y poco costosa.

Empleando este sistema de sensores se puede distinguir la distancia entre un vehículo y otro, por ejemplo, con solo dos sensores piezoeléctricos se puede efectuar una completa clasificación del vehículo, en función del número de ejes además de arrojar datos para estadísticas, cobro en las casetas y densidad de tráfico.

La ubicación del detector del tipo lazo inductivo con un par de sensores piezoeléctricos y el equipo de control se muestra en la figura 4.5.

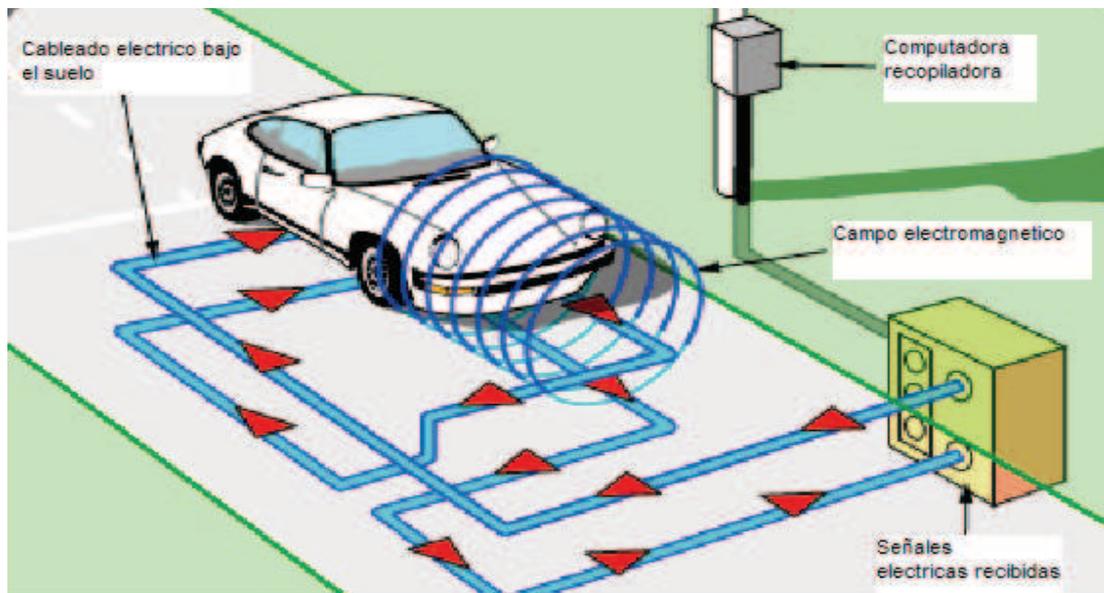


Figura 4.5. Controlador de tránsito.

4.1.3. Aplicación en microbalanzas.

El fundamento de operación de la microbalanza electroquímica de cristal de cuarzo (QCM) es la excitación mediante corriente alterna de un elemento de cristal piezoeléctrico, produciéndose una onda acústica que interacciona con el medio en contacto del cristal de cuarzo. El tipo de interacción, generalmente se caracteriza a través de desplazamientos de fase y amplitud de la corriente alterna. La onda acústica solo se propaga durante una pequeña distancia en el medio de contacto, por lo que la respuesta está determinada predominantemente por las propiedades interfaciales, lo que resulta ideal para sistemas electroquímicos.



La estructura típica de los sensores QCM consta de tres partes principales: un disco de cristal de cuarzo y dos electrodos de metal en superficies opuestas, en la cual se activa una de las superficies con un polímero. Este tipo de sensores son muy fáciles de construir, además de que no son costosos, trabajan a temperatura ambiente por lo que no requieren de una estructura de calentamiento y tienen muy buena resolución; dicha estructura se muestra en la figura 4.6.

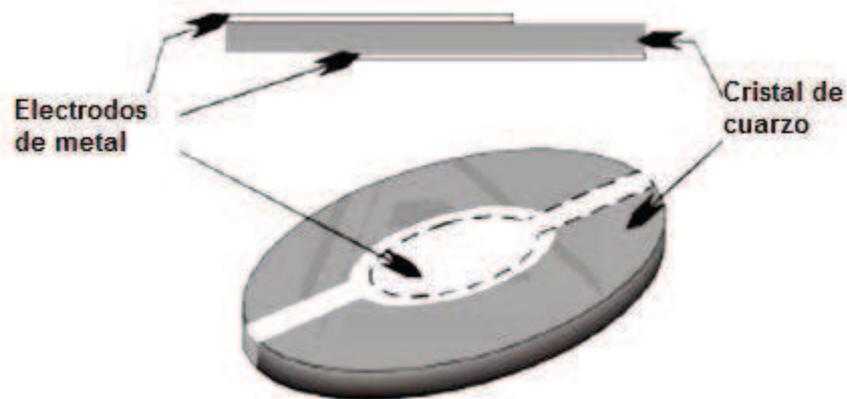


Figura 4.6. Estructura de un sensor QCM.

Dicho principio de operación le permite al sensor QCM ser usado principalmente para medir cantidades de masa muy pequeñas, ya que su sensibilidad es 100 veces mayor a la de la balanza electrónica; razón por la cual su uso se extiende a lo largo de diversas áreas de laboratorio, como es el caso de biotecnología, investigación de fármacos, formación de películas de capa fina, investigación de surfactantes, etc.

4.1.4. Aplicación en teclados.

Los teclados piezoeléctricos están contruidos con pulsadores de cristal piezoeléctrico. Si se aplica una fuerza en el cuerpo del teclado, se inducen cargas superficiales por el desplazamiento dieléctrico, por lo tanto se crea un campo eléctrico.

Si el elemento piezoeléctrico tiene electrodos este campo puede ser transformado en una tensión eléctrica. En un pulsador piezoeléctrico la tensión eléctrica generada es amplificada y acondicionada para producir un impulso eléctrico corto, el cual se usa



para producir el cierre de un contacto momentáneo de entre 10 y 1000 ms de duración, dependiendo de la fuerza y velocidad de pulsación.

Los teclados contruidos con pulsadores piezoelétricos son especialmente adecuados para equipos de seguridad de baja supervisión, aplicaciones industriales y médicas.

4.1.5. Aplicación en ultrasonido.

Los cristales piezoelétricos hicieron posible transformar los pulsos eléctricos en ondas de ultrasonido y gradualmente llegar a una conversión de la cantidad de energía a partir de las ondas reflejadas en pulsos eléctricos. Cuando se hace pasar una corriente eléctrica a través de éstos cristales que cambian de forma muy rápido. Éstos cambios de forma, generan vibraciones en forma de ondas de sonido que viajan por el aire.

Durante la Segunda Guerra Mundial las ondas ultrasónicas fueron utilizadas para detectar submarinos. El equipo mejor conocido como SONAR (Sound Navigation and Ranging), es el equipo, medio y propiedades que sirve al estudio y aprovechamiento de la propagación del sonido en el agua y su utilización para determinar la ubicación, características, distancias, velocidad, las comunicaciones y la observación de objetos, formaciones rocosas, como así también costas y lecho submarino. El sonar reemplaza al radar en el agua, ya que este último opera a través de ondas electromagnéticas que, debido a la alta conductividad del medio acuático, se pierden sin lograr su objetivo. El sonar se vale de ondas acústicas, de fácil propagación en un medio flexible como el agua y el aire.

Las ondas electromagnéticas son transversales, por lo tanto pueden polarizarse, mientras que las acústicas son longitudinales y no se polarizan; la velocidad de propagación en las ondas electromagnéticas varía inapreciablemente con las características cambiantes del medio, mientras que el sonido aumenta su velocidad a medida que decrece la compresibilidad del medio, lo que tiene una gran incidencia en el aspecto de la propagación. En el mar la compresibilidad es función de variables como la salinidad, la temperatura y la presión.

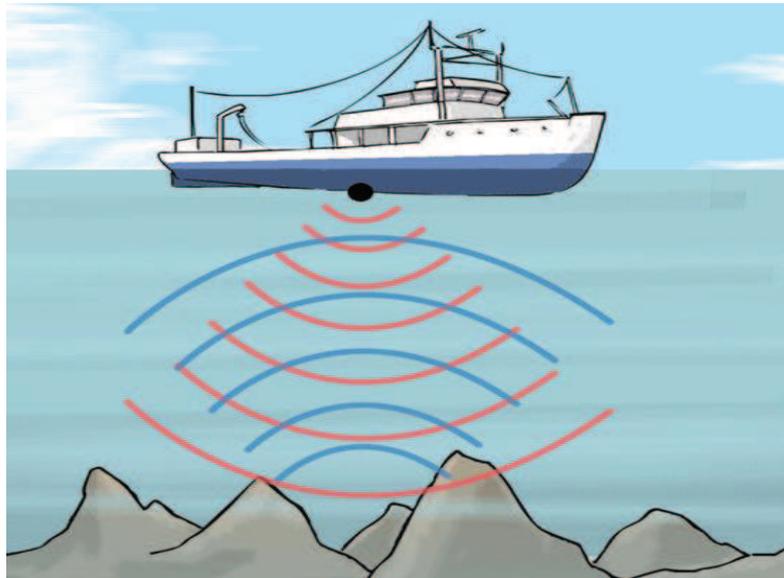


Figura 4.7. Esquema de sonar emitido por un barco.

Existen dos tipos de sonar el activo y el pasivo. Se llama Sonar Activo al equipo que emplea para detectar objetos bajo el agua, el eco que devuelve un objeto al incidir sobre él a las ondas acústicas emitidas por un transmisor. Por lo tanto el sonar activo es muy similar al funcionamiento de un radar.

Empleando el sonar activo se emite un tren de ondas acústicas con una determinada potencia al agua. Un objeto sumergido sobre el que incidan estas ondas, reflejará parte de ellas que volverán hacia el foco emisor. La energía recibida proveniente del objeto es solo una muy pequeña parte de la que se emitió y el camino que recorren las ondas es el doble de la distancia entre el emisor y el objeto.

El sonar pasivo se limita a escuchar el sonido que proviene de los objetos que se encuentran sumergidos. Estos dispositivos reciben directamente el ruido producido por el objeto y el camino que recorre la onda es la distancia existente entre el objeto y el receptor del ruido.

El alcance está limitado por un gran número de factores, siendo los más importantes la frecuencia de la onda y la efectividad del medio en el que se propaga la energía. Cuanto más baja es la frecuencia, mayor es el alcance que se obtiene.



Cuando se utilizan al sonar activo y pasivo es posible determinar la dirección en la que se encuentra el objeto, pero el sonar activo posibilita obtener la distancia midiendo el tiempo que transcurre entre el momento en que se emite la radiación y el instante en que se recibe el eco si se conoce la velocidad a la que el sonido se propaga en el agua. El sonar pasivo no contempla esa posibilidad, aunque en la actualidad existen medios para obtener la distancia a un objeto midiendo la diferencia de fase en la que las ondas llegan a varios receptores separados entre sí, pero son más complejos y menos fiables.

En general el sonar activo y el pasivo se complementan para efectuar la detección y el análisis de objetos sumergidos y tanto los submarinos como los buques de superficie con capacidad antisubmarina emplean ambos tipos de forma conjunta.

Este principio ha sido adaptado para la visualización de tejidos y líquidos con diferentes densidades en seres humanos y animales. El primer sistema para inspeccionar el abdomen y la cavidad pélvica se basó en una técnica similar al sonar:

Un transductor de ultrasonido fue sumergido en un tanque de agua y el paciente tuvo que entrar en él y el transductor fue movido en círculos alrededor de él. Gracias al desarrollo de la medicina actual, este método de contacto de contacto no está hoy en uso; ya que este avance permitió colocar los transductores directamente sobre el paciente, evitando el uso de agua para la transmisión de las ondas de ultrasonido y sus ecos.

De igual manera, cuando las ondas de sonido rebotan en los órganos y tejidos se regresan al transductor, las ondas de sonido chocan con los cristales piezoelectricos haciendo que a causa de la deformación producida por el choque produzcan una corriente eléctrica. Los mismos cristales piezoeléctricos se usan para emitir y recibir ondas de sonido, mientras que el transductor tiene un sistema de lentes acústicos que ayudan a dar dirección a las ondas de sonido emitidas.



Hay distintos tipos de transductores, y la forma de éstos depende de su uso. Algunas de las ventajas que nos pueden ofrecer son, un campo de visión más amplio, mayor profundidad y resolución en la imagen. Es bien sabido que el ultrasonido nos proporciona imágenes de un feto con un transductor que se desliza sobre el vientre de la madre, sin embargo también hay transductores que pueden ser introducidos a través de orificios del cuerpo como son vagina, el recto esófago, de ésta manera se puede ver mejor el órgano a examinar por ejemplo el útero, próstata, estómago.



Figura 4.8. Imagen obtenida por un ultrasonido.

Cabe señalar que el estudio de los efectos del ultrasonido sobre los animales no es nuevo. Se ha avanzado notablemente y se han encontrado los ultrasonidos adecuados para atacar el hábitat de numerosas especies animales logrando su erradicación inmediata. Desarrollándose así otro uso que es generar ultrasonidos muy eficientes, a muy bajo costo y afortunadamente muy efectivos para erradicar la plaga de los roedores e insectos que afectan la actividad humana.



Figura 4.9. Plagas afectadas por un sistema ultrasonico.

El ultrasonido necesario para erradicar las plagas no es igual para todos los tipos de plagas y la potencia no necesariamente tiene que ser alta. Por ejemplo, para ahuyentar mosquitos hematófagos hembras, se ha detectado que el aleteo del mosquito macho genera ondas sónicas y ultrasónicas de baja potencia (aproximadamente 60 decibeles) que ahuyentan al mosquito hembra, actualmente se imita el nivel ultrasónico del aleteo y el resultado es de alta eficiencia como repelente ecológico.

En otros casos se genera ultrasonido que ataca el sistema auditivo y nervioso del animal, por lo que expulsara a las plagas fuera del área y evitará su reproducción. En el caso de los roedores se debe emitir ultrasonido de alta potencia (mayor a 60 decibeles) debido a que se imitan los gritos amenazadores de otro roedor; estos animales no soportan el sonido producido y huyen del lugar.

Los resultados del ultrasonido dependerán de la cantidad de animales que existan en el lugar, generalmente los primeros efectos se notarán en 2 semanas de uso y una completa erradicación se obtendrá luego de 4 semanas de uso continuo. Se recomienda mantener el equipo de emisión ultrasónico en funcionamiento por un año a fin de evitar el resurgimiento de las plagas.



La principal cualidad de los equipos erradicadores de plagas por ultrasonido es que no contaminan el medio ambiente. Usando ultrasonido no se requieren productos químicos, insecticidas o venenos, se evita la contaminación del ambiente, alergias y posibles daños por intoxicación. Con el uso continuo de erradicadores ultrasónicos se obtiene reducción de costos, comparando con la aplicación de insecticidas tradicionales.

Otra de las aplicaciones del ultrasonido está en la industria y la construcción que se relacionan con el área de las pruebas no destructivas (PND). Este método de Ultrasonido se basa en la generación, propagación y detección de sonido a través de los materiales que se están probando. En la figura 4.10, se muestra un sensor o transductor acústicamente acoplado en la superficie de un material que esta bajo prueba.

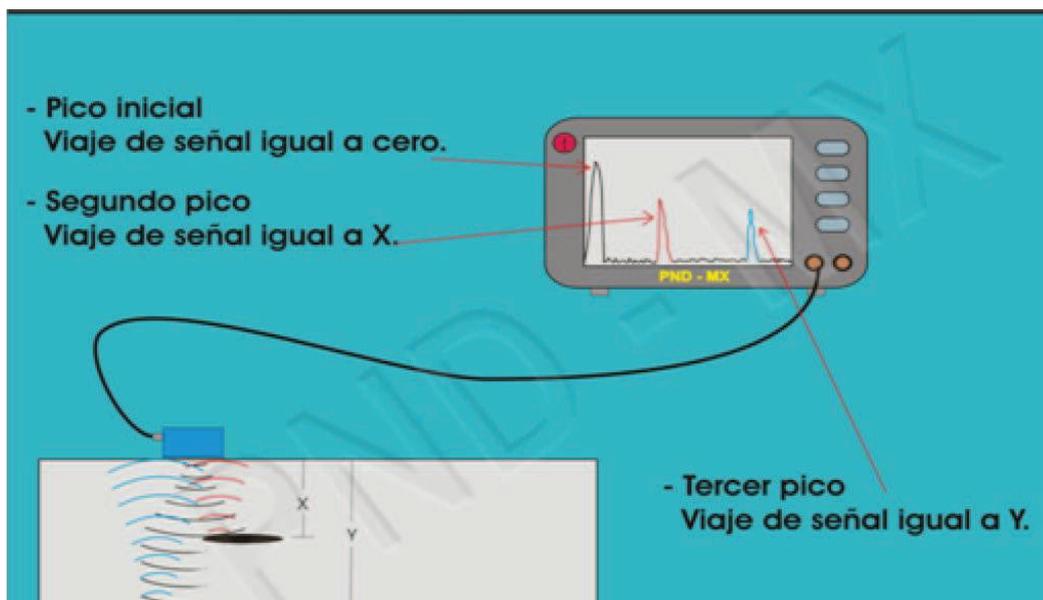


Figura 4.10. Aplicación de ondas ultrasónico en pruebas de materiales.

Este transductor, contiene un elemento piezoeléctrico, cuya función es convertir pulsos eléctricos en pequeños movimientos o vibraciones, las cuales a su vez generan ultrasonido con una frecuencia en el rango de los MHz, siendo inaudible al oído humano. El sonido o las vibraciones, en forma de ondas elásticas, se propaga a través



del material hasta que pierde por completo su intensidad ó hasta que topa con una interfase, es decir algún otro tipo de material tal como el aire o el agua y, como consecuencia, las ondas pueden sufrir reflexión, refracción, distorsión, etc; Lo cual puede traducirse en un cambio de intensidad, dirección y ángulo de propagación de las ondas originales.

De esta manera, es posible aplicar el método de ultrasonido para determinar ciertas características de los materiales tales como:

- Velocidad de propagación de ondas.
- Tamaño de grano en metales.
- Presencia de discontinuidades (grietas, poros, laminaciones, etc.)
- Adhesión entre materiales.
- Inspección de soldaduras.
- Medición del espesor de una pared.

Como puede observarse, con el método de ultrasonido es posible obtener una evaluación de la condición interna del material en cuestión. Sin embargo, el método de ultrasonido es muy complejo tanto en la práctica como en la teoría, por lo cual sus aplicaciones demandan a un personal calificado para su aplicación e interpretación de indicaciones o resultados de la prueba.

4.1.6. Aplicación en micrófonos piezoeléctricos.

El tipo de micrófono piezoeléctrico tiene la ventaja sobre todos los otros tipos por no estar limitado su uso a un medio cerrado. Los primeros micrófonos piezoeléctricos usaban cristales de sal Rochelle acoplados a un diafragma. Esto aseguraba niveles de salida muy altos (del orden de 100 mV), con una gran impedancia de salida y una linealidad muy mala. Dicha sal dejó de usarse hace tiempo debido a que el micrófono pasaba a un estado inactivo cuando se mantenía a una temperatura y humedad moderadamente altas.



Hoy en día se usan cristales piezoeléctricos sintéticos en lugar de naturales para la fabricación de micrófonos. Uno de los materiales usados es el titanato de bario, el cual se usa en micrófonos piezoeléctricos para frecuencias por encima de varios cientos de Hertz.

El micrófono piezoeléctrico tiene un gran nivel de impedancia y una amplitud de salida mucho más grande que otros tipos. En la figura 4.11 se muestran dos tipos de diagramas de micrófonos: (a) Micrófono piezoeléctrico en el cual un pin sólido convierte el movimiento del diafragma en flexión de un cristal piezoeléctrico. (b) Micrófono polímero piezoeléctrico usando un diafragma de polímero piezoeléctrico curvada para convertir directamente a la presión sonora de la voz en un potencial. Un micrófono piezoeléctrico puede estar tanto unido a un sólido como inmerso en un líquido no conductor para captar señales sonoras. Además, el micrófono piezoeléctrico se puede usar fácilmente a frecuencias ultrasónicas, algunos tipos se pueden usar hasta la región alta de los MHz. Todos los micrófonos piezoeléctricos requieren un material cristalino en el cual los iones del cristal estén desplazados de un modo asimétrico para que cuando el cristal sufra deformaciones captando el sonido. La calidad puede variar considerablemente según el tipo de material que se use.

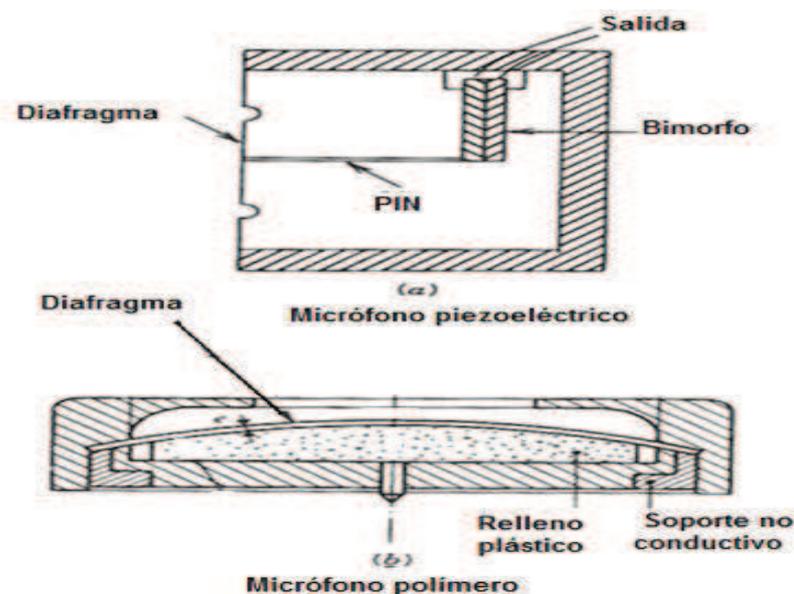


Figura 4.11. Diagramas de micrófonos piezo electricos.



El micrófono piezoeléctrico que usaba un diafragma unido a un cristal es raramente visto ahora, porque la sensibilidad de los materiales piezoeléctricos modernos a la vibración es tal que el impacto de la onda de sonido en el cristal puede producir una salida con la amplitud adecuada.

Para usos de baja calidad esto tiene poca importancia, pero no para los propósitos de los estudios de grabación. Para estos, el cristal transductor se acopla directamente a un preamplificador que puede sacar una baja impedancia de salida con el mismo nivel de alto de voltaje de salida que proporciona el micrófono piezoeléctrico.

El voltaje de operación del preamplificador puede ser dado por una simple batería para evitar los problemas de llevar la alimentación a través de cables desde la toma de corriente, además de los cables de la señal de voz.

Características generales de los micrófonos piezoeléctricos:

- Alto nivel de la impedancia de salida.
- Razonable respuesta en frecuencia entre 80 Hz y 6500 Hz.
- Se deterioran muy fácilmente con niveles altos de temperatura y humedad.
- Son de tamaño relativamente pequeño.

4.1.7. Aplicaciones en pastillas acústicas.

Lo último en pastillas acústicas es la incorporación de las pastillas piezoeléctricas, normalmente utilizadas en las guitarras acústicas debido a que ellas captan el sonido a través de la vibración de las cuerdas y no electromagnéticamente.

Las pastillas piezoeléctricas de contacto se instalan de una forma rápida y sencilla porque se algunas las que se instalan en la parte interior de la tapa de la guitarra acústica y otras se colocan en la parte superior del puente de madera. Todas ellas necesitan de un adhesivo especial para ser colocadas y recoger convenientemente las vibraciones transmitidas por la madera. Los adhesivos más utilizados son la resina y la



silicona porque la dureza de estos dos adhesivos hace que se utilicen tan solo para instalaciones definitivas. Otro material utilizado para colocar este tipo de pastillas es la cera de abeja, ya que es perfecto para ir buscando el mejor punto acústico de la guitarra y una vez encontrado se puede utilizar un adhesivo más rígido

El sonido de una guitarra acústica puede estar captado a la vez por varios tipos de pastillas. El tipo de pastilla más usado en este tipo de guitarras es el piezoeléctrico y el electromagnético. Se puede utilizar en el sistema a dos amplificadores para una posible conexión en estéreo de forma que podamos tener a la pastilla piezoeléctrica en la entrada de un amplificador y la pastilla electromagnética en otro amplificador; aunque a dos pastillas piezoeléctricas suelen pasar antes por un ecualizador.

4.2. Como actuador.

El desarrollo de las industrias de transformación, como por ejemplo la industria manufacturera, requieren continuamente de tecnologías novedosas que permitan cada vez más mejorar la calidad de los productos y minimizar los costos de producción. La calidad del producto está íntimamente relacionada con la precisión de las máquinas utilizadas para su fabricación. Normalmente, la maquinaria de alta precisión (del orden de micras) está construida con tecnologías de bajo costo, por ejemplo actuadores piezoeléctricos.

Este tipo de maquinaria tiene generalmente la ventaja de lograr alta precisión pero en espacios de trabajo muy reducidos, ya que los actuadores piezoeléctricos permiten sólo desplazamientos por debajo de un milímetro.

4.2.1. Aplicación en impresoras.

Tras su lanzamiento mundial en 1993 por Epson, la tecnología micro piezoeléctrica no sólo ha estado en la vanguardia de los avances en tecnología de fabricación del cabezal de impresión de inyección de tinta, sino que también ha planteado un reto a todas las marcas conocidas en el sector de la impresión.



El cabezal micro piezoeléctrico produce un extraordinario color y claridad a altas velocidades y resulta esencial en el cambiante mundo de la impresión fotográfica amateur y profesional, así como en el negocio de la imprenta. Asimismo, contribuye a minimizar el impacto del daño al medioambiente gracias a un uso eficiente de la tinta; y a una colocación de las gotas de tinta extraordinariamente precisa que evita el desperdicio de papel y dura tanto como la propia impresora.

Su funcionamiento consiste en que el cabezal de impresión proyecta gotas de tinta sobre una superficie, aplicando una carga eléctrica a elementos piezoeléctricos. Dichos elementos se deforman por efecto de la carga y lanzan las gotas de tinta. Cuando se hace vibrar la tinta en la punta de cada una de los cientos de boquillas que existen en un cabezal piezoeléctrico, se controlan sutilmente el flujo de corriente aplicado sobre el elemento piezoeléctrico que se encuentra encima de cada boquilla. Estas vibraciones mantienen la tinta en constante oscilación, impulsándola en la punta de la boquilla hacia delante y hacia atrás. Al aplicar fuerza a la tinta, ésta es succionada en el instante en que el menisco aumenta y la gota del líquido sobresale de la boquilla dejándose caer sobre el papel. Al optimizar el tiempo de las acciones de empuje y succión aplicadas al elemento piezoeléctrico, Epson ha sido capaz de diseñar un cabezal que produce diferentes tamaños de tinta dentro de un cierto rango, independientemente del tamaño de los agujeros de las boquillas. A mayor fuerza aplicada, más pequeñas las gotas de tinta. En cambio, cuando se aplica una fuerza menor, mayor es el tamaño de las gotas de tinta. Con este tipo de tecnología de respaldo la impresora de inyección de tinta Epson produce una calidad fotográfica sorprendente.

Esta tecnología es útil no sólo para papel ya que la gran flexibilidad de la tecnología piezoeléctrica permite trabajar en una amplia gama de campos. Además de imprimir en extraordinario color y blanco y negro en diversos tipos de papel, se utiliza también en aplicaciones industriales, entre las que se incluyen la impresión en tejidos, fabricación de filtros de color y aplicación de patrones en placas de circuitos electrónicos impresos, entre otros.



4.2.2. Aplicación en microscopia.

Uno de los instrumentos clave en la micro y nano ciencia son los microscopios de barrido con sonda. Consisten básicamente en una plataforma y una sonda que efectúa un barrido o escaneado de la muestra. El barrido puede hacerse moviendo ya sea la sonda o la plataforma, mediante actuadores de gran precisión. Los actuadores que son un factor clave en dicha aplicación, están fabricados con tecnología piezoeléctrica.

La sonda puede permanecer fija, elevarse o bajarse, con lo que se tiene un sistema con tres ejes coordenados, por una parte un plano x-y de barrido y por otra parte una altura z, con lo cual se puede estudiar el relieve o la topografía de una micro estructura. No sólo se mide la geometría de la muestra sino que según el tipo de sonda usada se puede medir también propiedades químicas, térmicas, eléctricas o mecánicas, con lo cual se abre una ventana muy amplia de información, que permite estudiar las propiedades de los nano materiales.

Generalmente el movimiento entre la sonda y la muestra se realiza con actuadores piezoeléctricos que pueden controlarse muy finamente y a su vez todo el sistema está controlado por computadora. De esta manera mover un objeto con gran precisión se hace fácil. Una gran ventaja es que el sistema se puede calibrar por software, es decir, los pequeños errores que resultan de la no linealidad de los actuadores se cargan en una tabla de corrección y al realizar las mediciones estos errores se restan automáticamente.

Algo que se nota a primera vista al ver uno de estos microscopios es que suelen estar montados en sistemas antivibración, con bloques de material esponjoso que amortiguan los ruidos o sacudidas que pudieran venir del exterior del laboratorio. Por muy pequeñas que fuesen estas sacudidas, afectarían grandemente los resultados o podrían provocar choques indeseables entre piezas, ocasionando la rotura de las frágiles puntas de medición.



4.2.3. Aplicación en calentadores de gas.

El calentador de gas de tipo instantáneo o de paso está constituido por un quemador, cuya llama tiene lugar en una cámara metálica. Esta va insertada en una serie de espiras de tubo de cobre dentro de las cuales circula el agua que procede del tinaco que se encuentra instalado en la casa.

Cuando se acciona la llave del tinaco que alimenta calentador, el flujo de agua que recorre el tubo ocasiona una variación de presión que acciona una válvula dispuesta en el interior del calefactor, provocando así la entrada de gas que se enciende por medio un sistema piezoeléctrico que consiste en abrir la espita de gas, esperar un minuto y se aprieta el pulsador una o más veces hasta que se produce la llama; al cabo de pocos segundos, el pulsador se podrá soltar, conservando encendida la llama piloto.

No se requiere ninguna conexión eléctrica ya que el pulsador esta construido de un cristal piezoeléctrico que genera dicha chispa. Este tipo de calentador es el más utilizado, ya que no es caro, ocupa poco espacio y es de gran afinidad, especialmente si la presión del agua es elevada y no sufre altibajos.

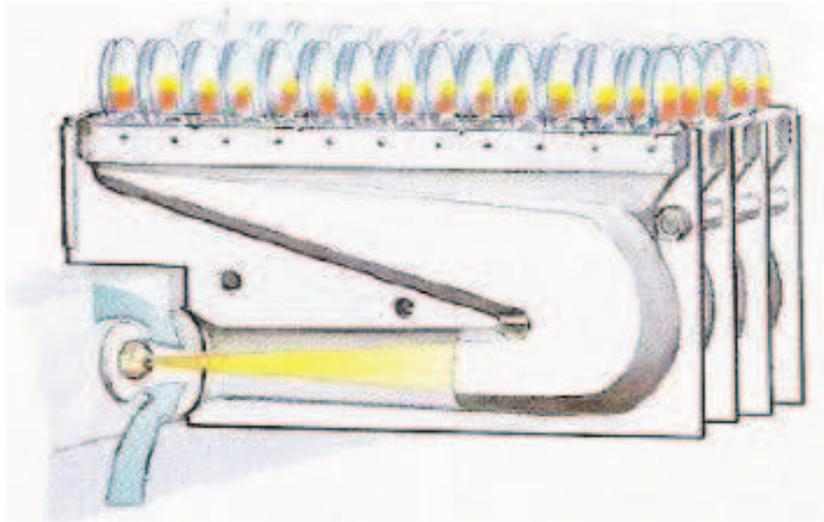


Figura 4.12. Calentador de gas.



4.3. Como Motor.

Los motores piezoeléctricos se denominan también motores ultrasónicos y se componen de una pieza fija (el estator) y una pieza móvil (el rotor). Mediante la generación de una frecuencia de resonancia se produce un movimiento de rotación.

4.3.1. Aplicación en cámaras digitales.

Las cámaras modernas suelen disponer de un enfoque automático o al menos, ofrecen un ajuste electrónico de los objetivos. El accionamiento para desplazar las lentes en el objetivo de la cámara se realiza mediante el denominado motor ultrasónico (USM). Es muy pequeño, consume poca energía y es silencioso, por lo que resulta ideal.

Un USM tiene bajo consumo de energía favorece además la duración de la batería de la cámara. Con un mando variable del régimen de revoluciones de amplia gama, entre 0,2 y 80 revoluciones por minuto, permite un control preciso y rápido del objetivo.

El USM anular alcanza fácilmente la baja velocidad y un par elevado para el motor necesarios para el accionamiento directo. Además, su gran frenado permite el bloqueo de la lente al parar el motor mediante un freno de disco automático.

El fabricante de cámaras Canon fue el primero en utilizar un USM para la función de enfoque automático del objetivo. En 1990, Canon desarrolló un USM anular, que fue mucho más económico y en 1992, le siguió el micro-USM, que permitió una automatización de la producción.



Figura 4.13. Motor USM en una cámara fotográfica.



4.3.2. Aplicación en mini robots.

La tecnología piezoeléctrica tiene grandes oportunidad en el mundo de la robotica ya que además de ser económica es muy diminuta y adaptable. Hoy en días se empiezan investigaciones y pruebas con pequeños robots.

Una de las aplicaciones de este tipo de elementos piezoeléctricos son las denominadas células de carga. Es una aplicación muy usada en los dispositivos de agarre en un brazo robot.

Es importante no solo que el robot pueda coger un objeto, sino que además la fuerza aplicada para sostenerlo sea la adecuada para evitar daños en el mismo. Las células de carga generan tensiones proporcionales a las deformaciones que sufren por aplicación de fuerza en cualquiera de las tres dimensiones.

Una nueva aplicación que Epson ha lanzado es la que consiste en un pequeño robot que se muestra a continuación en la figura 4.14, y tiene la capacidad de levitar mediante el uso de impulsores rotativos que funcionan con un motor ultra delgado y ultrasónico, con la más alta proporción poder-peso.



Figura 4.14. Micro robot usando un USM.



Asimismo, puede ser balanceado en el aire por medio del primer mecanismo estabilizador, usando un impulsor lineal.

La micro mecatrónica fue combinada con una tecnología de alta densidad para minimizar el tamaño y peso de la unidad de control de circuitos.

Epson destaca que el desarrollo del robot se hizo para demostrar la tecnología micro mecatrónica, la cual se ha cultivado en esta firma en los últimos años, y con el objetivo de explorar las aplicaciones que tiene.

Este robot, explica Epson, es parte de una familia que desde 1993 inició con el prototipo Monsieur, el cual se encuentra en el Libro de Records Guinness, como el microrobot más pequeño del mundo.

Después le siguió el Monsieur II-P que opera con un motor ultrasónico y ultradelgado, con un módulo Bluetooth ahorrador de energía y uno más que permite operar mediante control remoto diversas unidades en forma simultánea.

Estos desarrollos han permitido que la firma relacionada tradicionalmente con la tecnología de impresión sea pionera en la investigación y desarrollo de microrobots y las aplicaciones de la tecnología de componentes.



Capítulo 5. Futuro de la energía piezoeléctrica.

El modelo energético actual se basa mayoritariamente en el consumo de combustibles fósiles para el transporte y la generación de energía eléctrica. Hoy en día, existen dos factores que ponen en entredicho la supervivencia de este modelo y han estado en pie desde comienzos del Siglo XX; dichos factores son el agotamiento de las reservas de combustible y el calentamiento global.

El agotamiento de las reservas de petróleo y gas natural podría ser un hecho antes de que termine el presente Siglo XXI. Por otro lado, cada vez son más los científicos y grupos de opinión que alertan sobre el comienzo de un período de calentamiento global asociado al incremento de emisiones de gases de efecto invernadero. Aun cuando todavía no hay acuerdo sobre la inminencia y el alcance de ambos problemas, existe un consenso generalizado sobre el hecho de que tarde o temprano, el ser humano deberá de dejar de utilizar los combustibles fósiles como su principal fuente de energía primaria y optar por fuentes más seguras, abundantes y menos dañinas para el medio ambiente.

En el presente, se utilizan los combustibles fósiles en un 97% de la energía primaria que se consume en el mundo, 38% es carbón, 40% es petróleo y 19% es gas natural. Estos combustibles generan contaminación y no son renovables, por otro lado, se estima que el petróleo durará 45 años más, el gas natural 65 y el carbón 230, no obstante, existen diversas opciones de generación eléctrica ajenas a los combustibles fósiles que podrían mitigar la dependencia que la sociedad moderna tiene de estos recursos escasos y contaminantes. Algunas de estas opciones ya están disponibles y otras son meras hipótesis, cada una genera distintos y enfrentados puntos de vista sobre sus supuestas ventajas e inconvenientes.

Una opción o alternativa es la energía piezoeléctrica, cuya clave de esta tecnología es su potencial piezoeléctrico, el cual es un material (por lo general, cristal o cerámica) que genera tensión, cuando alguna forma de estrés mecánico se aplica. Por el



contrario, demuestran un cambio en sus propiedades físicas cuando se aplica un campo eléctrico.

Si bien, los avances en las aplicaciones siguen evolucionando, el trabajo piezoeléctrico a nano-escala es un esfuerzo relativamente nuevo, con diferentes y complejos aspectos a considerar.

La piezoelectricidad en los últimos años comienza a verse implementada cada vez más en diversos dispositivos. Hoy día estamos rodeados de muchos pequeños dispositivos funcionando con dicha tecnología: relojes de cuarzo, encendedores automáticos y sensores de todo tipo para la industria, entre otros. El principal defecto de los sistemas piezoeléctricos es que producen muy poca energía.

Pero ese defecto ha cambiado gracias a los investigadores y científicos, que hoy en día han mejorado considerablemente esta tecnología, con la que al parecer pretenden implementarla como una fuerte fuente de energía, gracias a la nanotecnología que ha conseguido duplicar los resultados en cuanto a la generación de energía

5.1. Futuro de los nano-generadores.

Los científicos de la Universidad de Texas A&M ya lograron duplicar la eficiencia de los llamados aparatos piezoeléctricos, los científicos descubrieron que cierto tipo de materiales piezoeléctricos pueden convertir a una vibración en energía aumentada al 100% cuando se le fabrica a un diminuto tamaño y con diminuto queremos decir casi 1000 veces más delgado que un cabello humano. Cuando los materiales son llevados a la dimensión de nano escala, sus propiedades para algunas características de rendimiento cambian drásticamente.

También comprobaron que el efecto piezoeléctrico puede ser maximizado con ménsulas nano métricas, las cuales son una especie de tablero que genera un voltaje para manipular la forma de éstas. El estudio muestra que el efecto puede hasta triplicar la cantidad de energía disponible gramo por gramo, de los materiales piezoeléctricos.



Esto significa que en vez de generar minúsculos chispazos de energía que apenas sirven para prender un mechero, con esta tecnología se podrá liberar suficiente energía como para recargar un teléfono móvil y almacenar energía en baterías para abastecer algunas fuentes eléctricas.

Lo anterior parece algo muy importante porque si esta nueva tecnología consigue imponerse, se producirá todo un cambio en los aparatos portátiles de todo tipo. Según los científicos en cuanto se desarrollen materiales más eficientes, no será necesario ni hablar para generar las vibraciones sonoras. Con el ruido de fondo será suficiente para que los aparatos funcionen. Esta tecnología tiene mucho futuro en nuestras ruidosas ciudades.

Imaginen que la vibración de su voz sea capaz de convertirse en electricidad mientras conversan por teléfono, para que el aparato sea alimentado y pueda seguir funcionando. Pero aunque parezca ciencia ficción, los equipos de ingenieros de todas partes del mundo, pero sobre todo en Japón y Estados Unidos están cada vez más cerca de lograrlo.

5.1.1. Generadores superficiales.

Los japoneses se caracterizan por ser muy prácticos a la hora de encontrar soluciones tecnológicas a distintos problemas y en este caso nos sorprenden con una idea bastante interesante.

Se trata de una instalación de luces de navidad que no poseen una fuente externa de alimentación para su funcionamiento, sino que obtienen la energía necesaria para su funcionamiento gracias al desplazamiento de los transeúntes.

La instalación de paneles piezoeléctricos como se muestra en la figura 5.1 se encuentra situada en una plaza cercana de la estación Shibuya, en donde se instaló en el suelo un panel fabricado con un material piezoeléctrico, el cual es capaz de generar electricidad cuando las personas pisan sobre él.



El panel mide 90 centímetros cuadrados y es capaz de generar 0.5 volts cuando una persona de unos 60 kilos de peso da dos pasos sobre el panel. Gracias a la energía que se genera con el paso de los transeúntes, se puede alimentar una pantalla LED que muestre información sobre la energía producida y conjuntamente iluminar las luces.



Figura 5.1. Paneles piezoeléctricos.

En Rotterdam, Holanda, el club recreativo llamado Watt acaba de sorprender a los ecologistas más serios con una pista de baile la cual recoge la energía generada por los brincos y giros de las parejas para transformarla en electricidad.

Los pisos piezoeléctricos pueden absorber la energía de cualquier paso o brinco y transformarla en electricidad. Con esa fuente de energía humana, dicho club se autoabastece de electricidad y entre mejor sea la música, son más las personas que bailan y más la electricidad que se genera. Es el primer club de baile sustentable y el equivalente a conducir un auto híbrido. La electricidad que se genera con el movimiento se usa en el espectáculo de luces dentro y alrededor de la pista de baile.



El club Watt que se muestra en la figura 5.2, es la creación de una compañía llamada Sustentable Dance Club, esta estafalaria compañía formada hace un par de años por un grupo de inventores ecologistas, ingenieros e inversionistas holandeses.



Figura 5.2.Club Watt y su pista de baile.

La energía promedio producida por una persona al bailar equivale a cerca de 20 watts, por lo que dos personas podrían encender un foco de luz. El cupo del club Watt es de mil 400 personas, la pista de baile tuvo un costo de 257 mil dólares y es apenas un proyecto experimental. La intención es que la tecnología se vuelva más económica para que las innovaciones en el club Watt reduzcan el uso de energía en 50 por ciento y el uso de agua en 30 por ciento porque en los baños, los mingitorios y los excusados funcionan con el líquido de lluvia que es almacenada en tanques que muestran la cantidad de litros de agua que contienen.

Una empresa israelí ha desarrollado un método para generar electricidad a partir del tránsito vehicular y al parecer, se analizará la implementación del sistema en algunas zonas de las autopistas del país, diseñado una rampa que será instalada en las carreteras para que pueda generar electricidad, dependiendo del peso del vehículo que pase sobre ella, entre 5 y 50 Kw/h, la cual se almacenara en baterías ubicadas a lo



largo del camino. Se han desarrollado pruebas del sistema, a lo largo de 10 metros de asfalto en la autopista. El experimento fue exitoso, dado que los vehículos que pasaban suministraron la energía para las luces del camino ubicadas al final del tramo de prueba.

Con este experimento también se demostró que este sistema trabaja mediante la utilización de generadores implantados en el asfalto y se puede producir suficiente electricidad para alimentar a las señales de tráfico de la zona.

Según los diarios de aquel país, los líderes del proyecto dijeron que los generadores se colocaron a 2 milímetros por debajo del nivel de superficie del asfalto y que trabajan con el peso de los vehículos que los pisan para generar energía.

También dijeron que piensan instalar el sistema en un solo carril de tránsito a un kilómetro de largo, con lo cual se tendrá una producción de 200 Kilowatt de electricidad por hora y que cuatro carriles en los que se implemente el sistema generarán energía suficiente para 2500 viviendas.

5.1.2. Generadores dentro del cuerpo humano.

Un proyecto mucho más ambicioso es el de generar energía eléctrica aprovechando los latidos de nuestro corazón, dicho de otra forma, con un nanogenerador de electricidad implantado en el cuerpo. Se han realizado experimentos al respecto, hace poco un nanogenerador que fue implantado en una rata de laboratorio, dio dando resultados satisfactorios porque generó electricidad procedente de corazón palpitante del animal.

En el Instituto de Tecnología de Georgia en Atlanta se investigan y desarrollan los nano-generadores que se basan en las propiedades piezoeléctricas y semiconductoras del óxido de zinc, según las cuales se puede generar corriente eléctrica mediante una deformación. Esto tiene el potencial de abrir muchas posibilidades para el futuro de la nanotecnología.

Estos nano-generadores y filamentos cuidadosamente contruidos con óxido de zinc que podrían actuar como materiales piezoeléctricos, ya que este tipo de generadores



con óxido de zinc es depositado sobre un sustrato de polímero flexible que permite que los nano- filamentos puedan ser doblados y manipulados en una variedad de maneras; son sellados en un polímero para protegerlos de los líquidos corporales y para garantizar que toda la electricidad que fue generada por el dispositivo y no sufra de interferencia.

Este dispositivo mide de 2 a 5 milímetros y se adjunta al músculo del diafragma de la rata con adhesivo tisular. Con cada respiración de la rata, se extiende y retuerce el implante deformando los nano-filamentos, dando una generación de hasta 4 picoamperes de corriente y una diferencia potencial de 2 mV.



Figura 5.3.Nanogenerador.

Además del atractivo uso dentro del cuerpo humano y porque el óxido de zinc es biocompatible, los nano-generadores también podrían usarse dondequiera que la energía mecánica esté disponible y con un desarrollo adecuado de los nano generadores funcionarán convirtiendo en electricidad a la energía mecánica del movimiento del cuerpo, la contracción de los músculos, el flujo del agua, el movimiento de un pie dentro de un zapato, etc;



Conectado a una serie ordenada de un gran número de dichos filamentos, los creadores de estos generadores creen que puede producir suficiente corriente para alimentar a los dispositivos portátiles que traiga el usuario; por lo tanto, no es difícil imaginar entonces que los dispositivos portátiles puedan funcionar con la electricidad que se genera sólo con el movimiento del usuario.

5.1.3. Generadores en la ropa.

Se han desarrollado materiales piezoeléctricos con los cuales se han construido fibras textiles que conservan sus propiedades piezoeléctricas, estas fibras están hechas de una molécula orgánica llamada fluoruro de polivinilideno o PVDF, las cuales son flexibles y relativamente baratas de obtener. Los investigadores se han dedicado a hacer pruebas con el material para calcular exactamente la cantidad de energía que puede generar, pues teóricamente prevén que habrá variantes muy serias dependiendo del tipo de actividad que tenga un usuario.

Una gran ventaja de esta fibra es que es tan pequeña que se puede tejer entre los hilos de la ropa y no se percibirá ningún cambio de textura o confort, las fibras dadas a conocer miden 500 nanómetros, lo que es 100 veces más delgado que un cabello. Los investigadores torcieron y agitaron estas fibras obteniendo emisiones de electricidad de entre 5 y 30 milivolts y entre 0.5 y 3 nanoamperes.

Esta tecnología nos podría conducir a la fabricación de ropa inteligente que pueda alimentar a dispositivos electrónicos con los movimientos que hacemos todos los días, la ropa generaría y guardaría una carga eléctrica cada vez que las personas hicieran movimientos, pues todos generamos energía mecánica con cualquier movimiento, es decir que la ropa del futuro podría funcionar como una pila recargable y alimentar instrumentos que requieran electricidad, como es el caso de un teléfono, una lámpara o un audífono para la sordera.

5.1.4. Generadores piezo-eólicos.

Este tipo de generadores se han probado como prototipo de generación de energía en los muros de los edificios y en árboles artificiales.

En el caso de los muros el desarrollo se basa en un sistema de pequeños ladrillos modulares. Cada uno de ellos comprende 5 pequeños paneles solares (capaces de producir energía fotovoltaica) con un piezo-generador permite aprovechar el movimiento provocado por el viento para producir energía eólica. Para el caso de los ladrillos y en estos se dibujan hojas flexibles y fluctuantes (figura 5.4), las cuales tienen una tinta conductora estampada sobre polietileno reciclado al 100% y encapsuladas en láminas de Tefzel DuPont (EtilenoTetrafluoroEtileno modificado), que es un material plástico con una alta resistencia a la corrosión.

Durante la construcción de las hojas solares se fijan a una red de acero inoxidable, gracias a su estructura en módulos el sistema se puede adaptar a cualquier tipo de pared y se puede sustituir fácilmente a cada una de las hojas, de hecho, puede ser removidas en caso de rotura sin interrumpir el funcionamiento de todo el sistema.

Este sistema se caracteriza además de su reducido tamaño, por el empleo de materiales reciclados y regenerados, donde es posible ver reflejado una reducción en la contaminación y en el impacto ambiental.



Figura 5.4. Hoja generadora de un árbol artificial.

En el caso del llamado piezo árbol artificial (figura 5.5), el sistema consta de una serie de ramas las cuales están llenas de hojas generadoras a lo largo de su estructura, dichas hojas estan construidas por fluoruro de polivinilideno (PVDF), que es un material piezoeléctrico muy flexible. Las hojas al ser sacudidas por el movimiento del viento crean energía eléctrica, la cual es transportada a una batería donde es almacenada y luego utilizada.

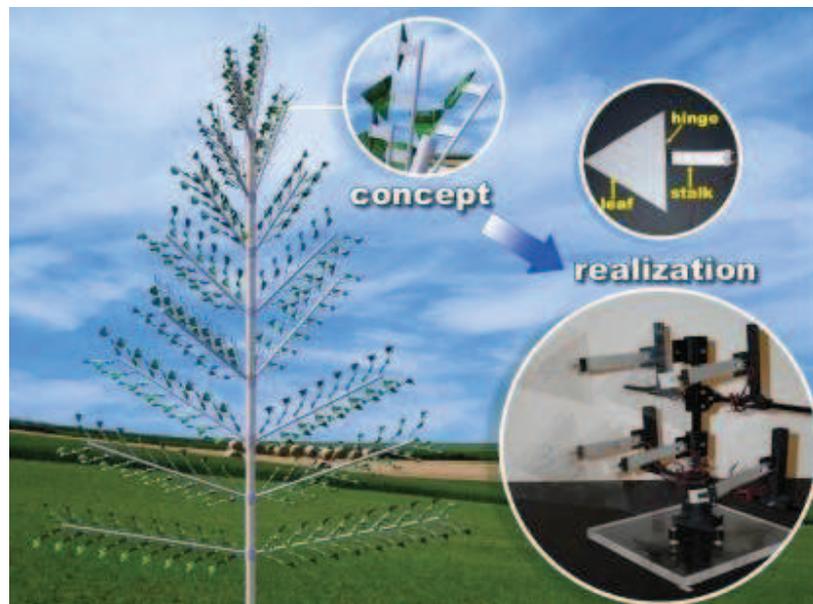


Figura 5.5. Piezo-arbol artificial.

5.2. Futuro en la medicina.

Desde hace ya varios años la física de materiales se ha convertido en una disciplina fundamental en el desarrollo de nuevas estructuras en el régimen nano. Estas nanoestructuras, pueden emplearse como piezas móviles a modo de actuadores, en una nueva generación de nano-dispositivos y cuyo campo de aplicación pasa por disciplinas tan diversas como son: la medicina y la farmacología.

La particularidad de estas nanoestructuras, conocidas desde entonces como nanosprings son de material piezoeléctrico y sus propiedades bien podrían ser usadas



en el desarrollo tanto de nano-sensores como de nano-actuadores para la construcción de nano-robots.

Sin lugar a dudas la nano-tecnología cambiara en gran medida a la medicina, ya que aunque la medicina de hoy comprende que la mayoría de las enfermedades se deben a cambios estructurales en las moléculas de las células, dista mucho ahora de corregirlas.

Por lo tanto, la nanotecnología puede significar el final de las enfermedades como la conocemos ahora. Si pesca un resfrío o se contagia de SIDA, sólo tendrá que tomar una cucharada de un líquido que contenga un ejército de nano-robots de tamaño molecular (figura 5.6) que generan su propia energía para poder funcionar, gracias a que están contruidos con materiales piezoeléctricos que pueden transformar la energía de las vibraciones o pulsaciones del cuerpo humano y luego transformarla en energía eléctrica para poder funcionar.

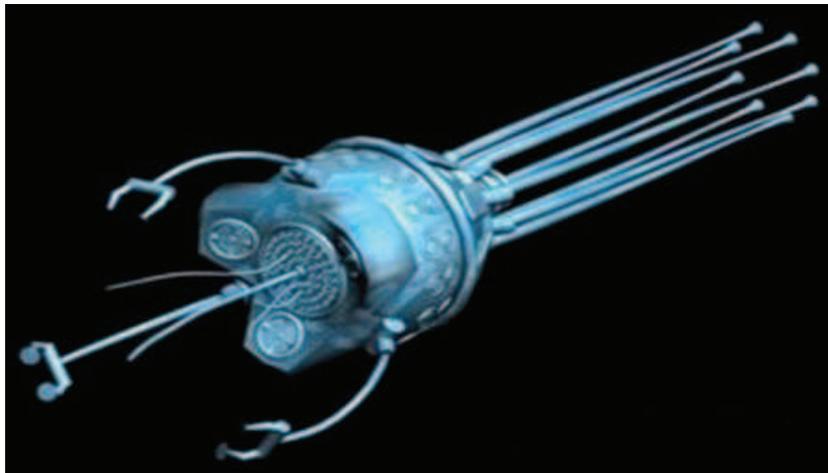


Figura 5.6. Nano-robot.

Estos robots se pueden programar para entrar a las células de un cuerpo humano para combatir los virus. Si sufre una enfermedad genética que azota a su familia, al ingerir algunos nano-robots que se introducirán en su ADN, repararán el gen defectuoso. También la cirugía plástica tradicional será eliminada, ya que nano-robots médicos podrán cambiar el color de sus ojos, alterar la forma de su nariz, etc.



CONCLUSION

En el presente documento de investigación se describieron los diferentes métodos y aplicaciones para la generación de energía eléctrica, a través de los materiales piezoeléctricos como una forma de generación de energía alternativa Y que puede ayudar a reducir las emisiones de gases contaminantes.

Las fuentes de energía renovable deben ser ahora una prioridad para todas las naciones, debido a los problemas ambientales que se están presentando a nivel mundial. La generación de energía piezoeléctrica es hoy en día una opción viable tanto económica, como tecnológicamente para llevarse a cabo en sistemas eléctricos aislados. Se demostraron diferentes alternativas de valor económicamente atractivo para la aplicación de estos sistemas, además de que presenta beneficios incuantificables en el aspecto ambiental y que van de acuerdo al desarrollo sustentable de la nación.

Se mostró que los materiales piezoeléctricos poseen el efecto de una compresión que consiste en generar cargas positivas y negativas. Pueden distinguirse dos grupos de materiales: los que poseen carácter piezoeléctrico de forma natural y los llamados ferroeléctricos, que presentan propiedades piezoeléctricas tras ser sometidos a una polarización en forma de materiales monocristalinos y cerámicas o polímeros polares.

Como se vio en el capítulo 4 hay diversas aplicaciones de los materiales piezoeléctricos en diferentes campos. La idea de generar energía eléctrica a partir de materiales piezoeléctricos es viable y es una fuente limpia y económica sobre todo en países con una población densa o en regiones donde haya una concentración considerable de personas.

Sin duda, el hombre seguirá buscando nuevas formas de producir energía eléctrica, que no contaminen y que sean fuentes renovables. La piezoelectricidad seguirá avanzando y sus aplicaciones se extenderán aun más; tanto diseñadores como ingenieros seguirán fabricando nuevos productos que le darán más vida a este fenómeno denominado piezoelectricidad. Incluso más fuerza y auge, que quizá en un futuro sea la principal fuente de energía eléctrica.

En conclusión el trabajo aquí presentado está enfocado a concienciar el empleo de una más de las energías renovables; que es la energía piezoeléctrica, ya que en la actualidad ha adquirido gran importancia en sistemas de precisión, aparatos y en la implementación de generación de energía eléctrica, de ahí no solo su importancia como energía limpia, si no como una implementación que podría mejorar la calidad de vida de las personas aportando beneficios en avance y conocimiento de la



aplicación de este fenómeno. A manera de recomendación para nuestros investigadores es trabajar sobre el desarrollo e implantación en el país de los sistemas de generación de energía eléctrica por medio de la piezoelectricidad, ya que se demostró con esta tesis que este tipo de energía es fundamental para el desarrollo, tecnológico, económico y ambiental de México.



Libros:

Piezoelectricity: evolution and future of a technology.

Walter Heywang

Karl Lubitz

Wolfram Wersing

Ed. Springer

Piezoelectric and acoustic materials for transducer applications.

Ahmad Safari

E. Koray Akdogan

Ed. Springer

Handbook of advanced dielectric, piezoelectric and ferroelectric materials.

Zuo-Guang Ye

Ed. Woodhead publishing limited

Special topics in the theory of piezoelectricity.

Jiashi Yang

Ed. Springer

Renewable Energies.

Jean-Claude Sabonnadière

Ed. Wiley



Tecnologías de generación de la energía eléctrica.

Enriquez Harper

Ed. Limusa

Energía mediante vapor, aire o gas.

W.H. Saverns

H.E. Degler

J.C. Miles

Ed. Reverte

Electricidad Principios y aplicaciones.

Richard J. Fowler

Marcos Pujal Carrera

Ed. Reverte

Páginas de Internet:

<http://www.ideasencodigo.com/tag/ciencia/>

<http://www.ficunfv.com/noticias/59-ingenieria-mercadeo-construccion/16-lo-ultimo-de-la-tecnologia-en-ingenieria>

<http://www.larepublica.com.uy/comunidad/345034-materiales-piezoelctricos-que-recogen-energia-del-movimiento>

<http://1buenaidea.com/innovacion-tecnologica-con-power-flex.html>

<http://www.wawis.com.mx/la-ropa-del-futuro-funcionaria-como-una-bateria-recargable/>

<http://blog.aptoid.org/?p=15>

<http://www.ojocientifico.com/2010/01/30/nanotecnologia-y-energia-piezoelctrica-en-banditas-de-silicona/>

http://www.technologyreview.com/es/read_article.aspx?id=1271