



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA
MECÁNICA Y ELÉCTRICA**

“DETECCIÓN DE SISMOS UTILIZANDO UN DIODO LÁSER”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO EN
CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN

PRESENTAN:

ALVARO GUZMÁN ONOFRE

MARIO ALBERTO VALDÉS MARTÍN

ASESORES:

ING. JOSÉ ÁNGEL MEJÍA DOMÍNGUEZ

DR. ALEXANDRE MITCHENKO



MÉXICO, DF. NOVIEMBRE DE 2012

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELECTRICA
UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”

TEMA DE TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
POR LA OPCIÓN DE TITULACIÓN
DEBERA(N) DESARROLLAR

INGENIERO EN CONTROL Y AUTOMATIZACION
TESIS COLECTIVA Y EXAMEN ORAL INDIVIDUAL
C. ALVARO GUZMÁN ONOFRE
C. MARIO ALBERTO VALDÉS MARTÍN

“DETECCIÓN DE SISMOS UTILIZANDO UN DIODO LÁSER”

INNOVACIÓN DE UN SISMOGRAFO PARA SU INSTALACIÓN EN ESPACIOS REDUCIDOS MEDIANTE LA AYUDA DE UN DIODO LÁSER Y UN SENSOR ÓPTICO.

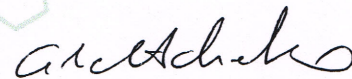
- GENERALIDADES.
- CARACTERÍSTICAS DEL DIODO LÁSER.
- APLICACIÓN DE LOS SISMÓGRAFOS Y LOS DIODOS LÁSER.
- PROPUESTA DE UN SISMÓGRAFO E IMPLEMENTÁNDOLE UN DIODO LÁSER.
- CONCLUSIONES Y PROPUESTA DE MEJORA.

MÉXICO D. F., A 19 DE NOVIEMBRE DE 2013.

ASESORES



ING. JOSÉ ÁNGEL MEJÍA DOMÍNGUEZ



DR. ALEXANDRE MICHTCHENKO



DRA. BLANCA MARGARITA OCHOA GAL
JEFA DEL DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE
INGENIERÍA EN CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN



RESUMEN

El presente trabajo muestra la propuesta para el desarrollo de un sismómetro con la implementación de un diodo láser y un arreglo óptico de espejos, esto servirá para poder conformar el sensor del sismógrafo.

El objetivo principal es proponer un sismómetro accesible para las personas, siendo barato y fácil de usar.

El sismómetro es basado en un sismómetro mecánico, contando con elementos como un resorte, una masa, un amortiguador y un sensor (receptor de rayo de diodo láser).

Para el sensor se necesita elaborar una fuente de alimentación para el diodo laser, donde el haz de luz es parte fundamental del sensor sismográfico (sismógrafo), ya que este es el que produce el haz de luz y este es detectado por una serie de fototransistores y activa a su vez alertas dependiendo de la intensidad del sismo, dicho sensor no da lecturas exactas, solo al detectar ondas sísmicas (movimiento) activa tres niveles de alerta.

Estos niveles de alerta se dividen de la siguiente manera: En el fototransistor del centro indicara el correcto funcionamiento del sismógrafo, los dos fototransistores siguientes indicaran sismos más elevados y los últimos fototransistores del los extremos indicaran los sismos más fuertes.

La alimentación es mediante baterías para no depender siempre del suministro eléctrico, ya que algunas veces este suministro se ve interrumpido debido a las ondas sísmicas.

El presente trabajo contiene mejoras que se proponen en los últimos capítulos y la forma en la cual se puede optimizar el uso del sismógrafo, así como dar una lectura más precisa de acuerdo al uso de la tecnología usada.

ABSTRACT

This document shows the proposal for the development of a seismometer with the implementation of a laser diode and an optical arrangement of mirrors; this will serve to shape the seismograph sensor.

The main objective is to propose a seismometer accessible to people, being cheaper and easy to use.

The seismometer is based on a mechanical seismometer, with items such as a spring, a mass, a shock absorber and a sensor which receives the diode laser beam.

For the sensor needs to make a power source for the diode laser where the beam of light is a fundamental part of seismographic sensor (seismograph). As this is the one that produces the light beam and this is sensed by a series of phototransistors and in turn activates alerts depending on the intensity of the earthquake. This sensor provides accurate readings not only to detect seismic waves (moving) three levels of alert active.

These alert levels are divided as follows: In the center phototransistor indicate the correct operation of the seismograph. The two phototransistors following indicate recent earthquakes and high ends of phototransistors indicate the strongest earthquakes.

Power is provided by batteries in order not to depend on AC power supply, as sometimes this supply is interrupted due to seismic waves.

This work contains improvements proposed in the last chapters and the way in which you can optimize the use of seismograph and give a more accurate according to the use of the technology used reading.

OBJETIVO

Innovación de un sismógrafo para su instalación en espacios reducidos mediante la ayuda de un diodo laser y un sensor óptico.

JUSTIFICACIÓN

La República Mexicana está ubicada en una zona sísmológica con actividad constante, es por ello que en la actualidad se han producido un gran número de temblores a lo largo de todo el país de hasta 8.5 grados en la escala de Richter.

Es por ello que se está proponiendo una innovación de un sismógrafo que sea accesible para todo público y que además su composición sea sencilla para la comprensión y la instalación sencilla de quienes llegasen a instalarlos.

La aportación que estamos generando es que no sea un gran aparato y que se pueda instalar en cualquier rincón de algún hogar u otro lugar que no tenga mucho espacio para instrumentos aparatosos, además de alarmas tanto visibles como sonoras que alerten de estos hechos naturales.

Con esto, estaremos contribuyendo a reducir más accidentes y que se pueda tomar una acción correctiva cuando se presente algún movimiento sísmico, al instante. Así habrá mayor organización y se podrá tener una mejor respuesta ante estos inconvenientes de la naturaleza.

ÍNDICE

	PÁGINA
RESUMEN	II
ABSTRACT	III
OBJETIVO	IV
JUSTIFICACION	IV
ÍNDICE	V
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XII
CAPÍTULO 1 GENERALIDADES	1
1.1 INTRODUCCIÓN	2
1.2 SISMOS	2
1.3 ONDAS SISMICAS	4
1.3.1 Ondas primarias (p)	4
1.3.2 Ondas secundarias (s)	5
1.3.3 Ondas superficiales	5
1.3.4 Ondas love o tipo L	6
1.3.5 Ondas rayleigh o tipo r	6
1.4 EL SISMÓGRAFO.	8
1.4.1 El sismógrafo mecánico	9
1.4.2 El sismógrafo electromagnético	10
1.4.3 El sismógrafo de banda ancha	11
1.6 ESCALAS SÍSMICAS.	12
1.6.1 Escala de Richter	12
1.6.2 Escala de Mercalli	14
1.7 LOS SISMOS EN MÉXICO.	15

CAPÍTULO 2	CARACTERÍSTICAS DEL DIODO LASER	17
2.1	INTRODUCCIÓN	18
2.1.1	Radiación láser y sus propiedades	18
2.1.2	Radiación Electromagnética.	18
2.1.3	Propiedades de la Radiación Láser	20
2.1.3.1	Monocromaticidad	20
2.1.3.2	Direccionalidad	20
2.1.3.3	Coherencia	21
2.2	EL LÁSER DE DIODO	21
2.2.1	Los Semiconductores	22
2.2.2	Niveles de Energía	22
2.2.2.1	Aislante	23
2.2.2.2	Conductor	23
2.2.2.3	Semiconductor	24
2.2.3	Impurezas	25
2.2.4	Acción Láser en un Láser de Semiconductor	26
2.2.4.1	Aplicación de voltaje a la unión p-n	26
2.2.5	Construcción del Láser de Diodo	28
2.2.6	Radiación de Salida de un Láser de Diodo	28
2.2.7	I -V Curva del Láser de Diodo	29
2.2.8	Dependencia de los parámetros del láser de diodo con la temperatura	30
2.2.9	Confinamiento de la Luz dentro de la Región Activa	30
2.2.10	Diferentes Estructuras de los Láseres de Diodo	31
2.2.11	Láseres de diodo basados en la ganancia	32
2.2.12	Empaquetado del Láser de Diodo	33
2.2.13	Cavidades Ópticas Especiales en Láseres de Diodo	36
2.2.14	Láseres de Diodo Acoplados	37
2.2.15	Comparación del diodo láser con el diodo LED	38

CAPÍTULO 3 APLICACIONES DE LOS SISMÓGRAFOS Y LOS LÁSERES ACTUALES	41
3.1 SISMOGRAFOS ACTUALES	42
3.2 APLICACIONES DEL SISMÓGRAFO	44
3.2.1 Vibrometros (sismómetros) en equipos celulares	44
3.2.2 Sismógrafo en computadores	45
3.2.3 Sismógrafo para el hogar Quakealarm	45
3.2.4 Sismógrafo con acelerómetro programable	46
3.3 LASERES ACTUALES Y SUS APLICACIONES	49
3.3.1 El láser de rubí	49
3.3.2 Láser de helio-neón	50
3.3.3 El láser de argón ionizado	51
3.3.4 Láser de bióxido de carbono	53
3.3.5 El láser de gas dinámico de CO ₂	55
3.3.6 Láser de electrones libres	56
CAPÍTULO 4 PROPUESTA DE UN SISMÓGRAFO IMPLEMENTÁNDOLE UN DIODO LASER	58
4.1 INTRODUCCIÓN	59
4.2 FUENTE DE ALIMENTACIÓN PARA DIODO LÁSER	59
4.3 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL SISMOGRAFO LASER	60
4.3.1 Resorte	61
4.3.2 Masa	63
4.3.3 Amortiguamiento	63
4.3.4 Movimiento armónico amortiguado	64
4.4 ÓPTICA DE ESPEJOS DENTRO DEL SISMÓGRAFO LASER	65
4.5 RECEPTORES OPTICOS DE RAYOS LASER	70
4.5.1 Fotodiodo	71
4.5.1.1 Matriz de fotodiodos	71
4.5.2 Fototransistor	72

4.6 PERTURBACIONES DENTRO DEL PROYECTO	74
4.6.1 Ruido	74
4.6.2 Ruido sísmico	74
4.6.3 Ruido electrónico	74
4.7 SIMULACIÓN CON AUTODESK INVENTOR, COCODRILE TECHNOLOGY Y DETALLES DE LA PROPUESTA GENERADA PARA EL SISMOGRAFO LÁSER	75
4.7.1 Modelado con Autodesk Inventor	75
4.7.2 Arreglo de espejos y fototransistores	78
4.7.3 Simulación del circuito	79
4.8 COTIZACIÓN DEL PROYECTO	83
4.9 PROPUESTAS A FUTURO	87
4.9.1 Acelerómetro y sistemas MEMS	87
4.9.2 Celdas solares	90
4.9.3 CCD y CMOS	91
4.9.3.1 Sensores con tecnología CCD vs CMOS	91
4.9.3.2 Sensor CCD	92
4.9.3.3 Sensor CMOS	93
CONCLUSIONES	95
REFERENCIAS	XIII
ANEXOS	XV

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1.1 Mapa de la división de las placas tectónicas en el mundo.	3
Figura 1.2 Mapa placas tectónicas que interactúan debajo de México.	4
Figura 1.3 Propagación ondas primarias (P).	5
Figura 1.4 Propagación ondas secundarias (S).	5
Figura 1.5 Propagación onda love (tipo L).	6
Figura 1.6 Propagación onda Rayleigh (Tipo R).	7
Figura 1.7 Ondas sísmicas (Tipo P, S, L y R).	7
Fig. 1.8 Sismógrafo de Péndulo Horizontal.	8
Fig. 1.9 Sismógrafo de Péndulo Vertical.	8
Fig. 1.10 Sismograma de sismógrafo horizontal.	9
Fig. 1.11 Partes que conforman un sismógrafo mecánico.	10
Figura 1.12 Partes que conforman al sismógrafo electromagnético.	10
Figura 1.13 Partes que conforman al sismógrafo de banda ancha.	11
Figura 1.14 Actividad sísmica en México Propiciada por las placas tectónicas donde se ubica.	16
Figura 2.1 El Espectro Electromagnético.	19
Figura 2.2 Luz blanca pasando a través de un prisma.	20
Figura 2.3 Anchura de banda de la radiación láser en teoría y en realidad.	20
Figura 2.4 Comparación entre la luz emitida por un láser, y la que emite una lámpara incandescente.	21
Figura 2.5 Superposición de ondas.	21
Figura 2.6 Niveles de Energía de un Aislante.	23
Figura 2.7 Niveles de Energía de un conductor.	24
Figura 2.8 Niveles de Energía de un Semiconductor.	24
Figura 2.9 Niveles de energía en un semiconductor con impurezas.	25
Figura 2.10 Niveles de energía en una unión p-n cuando no se aplica un voltaje externo.	26
Figura 2.11 Banda de energía de una unión p-n en la cual se aplica un voltaje polarizado hacia adelante.	27
Figura 2.12 Estructura básica de un láser de diodo.	28

Figura 2.13 Perfil de la radiación de un láser simple de diodo.	28
Figura 2.14 Potencia de salida de un láser de diodo en función de la corriente de entrada.	29
Figura 2.15 Cambio de la longitud de onda del láser de diodo con la temperatura.	30
Figura 2.16 Ejemplos de diferentes estructuras láser para el confinamiento de la luz láser a una región específica.	32
Figura 2.17 Empaquetado de un Láser de Diodo comercial.	33
Figura 2.18 Vista de corte de un láser de diodo.	34
Figura 2.19 Sección Perpendicular del Ensamblaje de un láser de Diodo comercial.	34
Figura 2.20 Pines del diodo láser.	34
Figura 2.21 Cavidades Ópticas Especiales usadas para producir líneas de emisión estrechas en un láser de diodo.	37
Figura 2.22 Láser C^3 de Diodos Acoplados de Cavidad Horadada.	37
Figura 2.23 Emisión fotónica de un diodo LED y un diodo láser.	39
Figura 2.24 Espectros de un LED y un láser.	39
Figura 3.1 Acelerómetro ejes “X”, “Y” y “Z”.	43
Figura 3.2 Características del Acelerómetro.	43
Figura 3.3 Aplicación del vibrometro en equipos celulares.	44
Figura 3.4 Sismograma dado por la aplicación en el computador.	45
Figura 3.5 Sismógrafo diseñado para el hogar.	46
Figura 3.6 Una imagen de la computadora registro de los datos. Es realmente pequeño.	47
Figura 3.7 El sensor en una caja de aluminio con un LED que muestra a través de la parte superior de una mesa de nivelación pequeño. La luz es azul. Así que ha de detección de la gravedad en el eje Z.	47
Figura 3.8 El interior del sensor sismómetro.	48
Figura 3.9 El acelerómetro BMA180.	48
Figura 3.10 Tratamiento dermatológico con laser.	50
Figura 3.11 Esquema del grabado con laser.	50
Figura 3.12 Esquema operación ocular con laser.	52
Figura 3.13 Operación ocular con laser.	53
Figura 3.14 Corte con laser.	54
Figura 3.15 Grabado con laser.	54

Figura 3.16 Diagrama de un láser de gas dinámico de CO ₂ .	55
Figura 3.17 Soldadura laser.	56
Figura 3.18 Aplicación del laser de electrones libres en la milicia	57
Figura 4.1 Circuito de alimentación para laser de diodo.	60
Figura 4.2. Diagrama esquemático del funcionamiento de un sismógrafo para la componente transversal de las ondas sísmicas.	61
Figura 4.3 Resorte de tensión.	61
Figura 4.4 Resorte helicoidal.	63
Figura 4.5 Sistema de un movimiento armónico amortiguado.	64
Figura 4.6 Diagrama de fuerzas en un instante determinado.	64
Figura 4.7 Gráficas de oscilaciones de un sistema amortiguado	65
Figura 4.8 Rayo de luz láser.	66
Figura 4.9 Rayo láser dentro de una caja.	66
Figura 4.10 Trayectoria de la luz en una superficie transparente.	66
Figura 4.11 Trayectoria de la luz en una superficie semitransparente.	67
Figura 4.12 Trayectoria de la luz en una superficie no transparente opaca.	67
Figura 4.13 Trayectoria de la luz en una superficie no transparente reflectante	68
Figura 4.14 Reflexión especular de la luz	68
Figura 4.15 Ley de la reflexión de la luz	68
Figura 4.16 Doble reflexión en espejos que forman 90°	69
Figura 4.17 Doble reflexión en espejos que forman 120°	69
Figura 4.18 Doble reflexión de la luz 45°	70
Figura 4.19 Fotodiodos	71
Figura 4.20 Símbolo del fotodiodo	71
Figura 4.21 Matriz de fotodiodos	72
Figura 4.22 Fototransistor	73
Figura 4.23 Símbolo electrónico del fototransistor	73
Figura 4.24 Vista 3D del sismógrafo simulado con Autodesk inventor	76
Figura 4.25 Vista en 3D del sismógrafo desde otra perspectiva.	77
Figura 4.26 Emisión del rayo laser en el sismógrafo en sistema estable.	78
Figura 4.27 Emisión del rayo laser en el sismógrafo detección de sismos.	79

Figura 4.28 Circuito de fototransistores para sismógrafo láser.	80
Figura 4.29 Activación de LED indicando funcionamiento del sismógrafo laser.	81
Figura 4.30 Activación de lámpara con incidencia de luz al fototransistor.	82
Figura 4.31 Activación de sonido con incidencia de luz al fototransistor.	83
Figura 4.32 Diodo de Láser Comercial	83
Figura 4.33 Resortes de tensión	84
Figura 4.34 Espejos para láser	84
Figura 4.35 Tarjeta acelerómetro.	87
Figura 4.36 Acelerómetro MEMS con sistema ultra delgado.	89
Figura 4.37 Tarjeta comercial de un acelerómetro	89
Figura 4.38 Celda solar	90
Figura 4.39 CCD chip	92
Figura 4.40 Tecnología CMOS	93

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Velocidades y riesgo de los tipos de ondas sísmicas.	7
Tabla 1.2 Escala de Richter.	13
Tabla 1.3 Escala Mercalli (resumida).	15
Tabla 4.1 Materiales usados en los fototransistores	73

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo conoceremos los conceptos básicos y necesarios de la sismología en general y su presencia particularmente en México. Para posteriormente con ello poder realizar la propuesta de un sismógrafo o sensor sísmico.

1.2 SISMOS

Los sismos son movimientos convulsivos en el interior de la tierra y que generan una liberación repentina de energía que se propaga en forma de ondas provocando el movimiento del terreno.

Un sismo es un temblor o una sacudida de la tierra por causas internas. El término es sinónimo de terremoto o sismo, aunque en algunas regiones geográficas los conceptos de sismo o seísmo se utilizan para hacer referencia a temblores de menor intensidad que un terremoto.

Estos movimientos se producen por el choque de las placas tectónicas. La colisión libera energía mientras los materiales de la corteza terrestre se reorganizan para volver a alcanzar el equilibrio mecánico.

Una de las principales causas de los sismos es la deformación de las rocas contiguas a una falla activa, que liberan su energía potencial acumulada y producen grandes temblores. Los procesos volcánicos, los movimientos de laderas y el hundimiento de cavidades cársticas también pueden generar sismos.

Existen zonas que tienen una mayor tendencia a sufrir sismos. Se trata de aquellas regiones donde la concentración de fuerzas generada por los límites de las placas tectónicas hace que los movimientos de reajuste sean más frecuentes, tanto en el interior de la corteza terrestre como en la superficie de la Tierra.

La capa más superficial de la Tierra, denominada Litosfera es rígida, está compuesta por material que puede fracturarse cuando se ejerce presión sobre ella y forma un rompecabezas llamado placas tectónicas. Estas placas viajan como "bloques de corcho en

agua" sobre la Astenosfera, la cual es una capa visco-elástica donde el material fluye al ejercer una fuerza sobre él.

Este fenómeno provoca el movimiento de las placas y es justo en los límites entre placas, donde hacen contacto unas con otras, generando fuerzas de fricción que mantienen atoradas dos placas adyacentes, produciendo grandes esfuerzos en los materiales. Cuando se vence la fuerza de fricción, se produce la ruptura violenta y la liberación repentina de una gran cantidad de energía acumulada, generándose así un temblor que radia dicha energía en forma de ondas que se propagan en todas direcciones.



Figura 1.1 Mapa de la división de las placas tectónicas en el mundo [1].

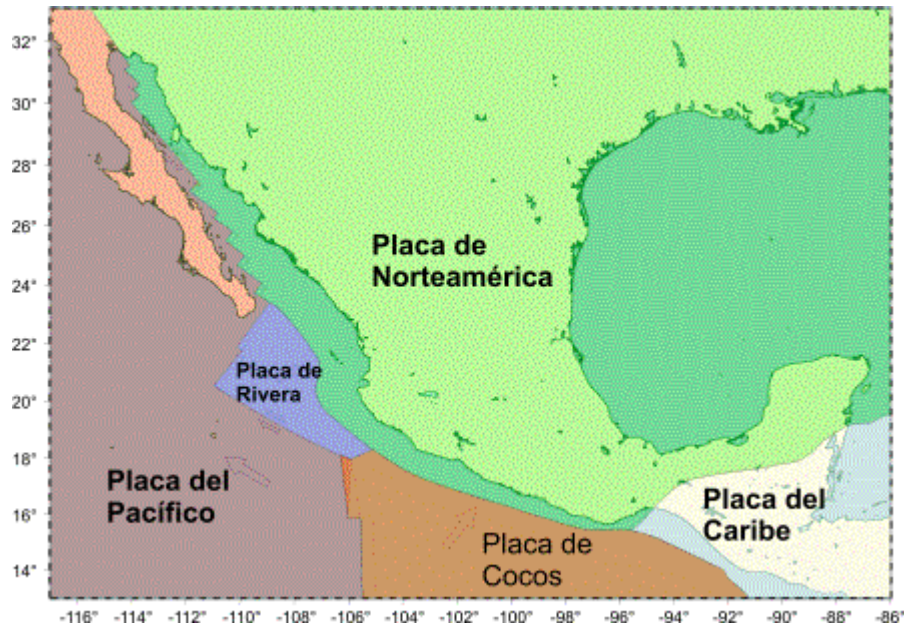


Figura 1.2 Mapa placas tectónicas que interactúan debajo de México [2].

1.3 ONDAS SISMICAS

En un terremoto se transmiten ondas que viajan por el interior de la tierra. Siguen caminos curvos debido a la variada densidad y composición del interior de la Tierra. Este efecto es similar al de la refracción de ondas de luz.

A este tipo de ondas se llaman ondas internas, centrales o de cuerpo, transmiten los temblores preliminares de un terremoto pero poseen poco poder destructivo. Las ondas de cuerpo son divididas en dos grupos: ondas primarias (P) y secundarias (S).

1.3.1 ONDAS PRIMARIAS (P)

Las ondas P (Primarias) son ondas longitudinales, lo cual significa que el suelo es alternadamente comprimido y dilatado en la dirección de la propagación. Estas ondas generalmente viajan a una velocidad 1.73 veces de las ondas S y pueden viajar a través de cualquier tipo de material. Velocidades típicas son 330m/s en el aire, 1450m/s en el agua y cerca de 5000m/s en el granito.



Figura 1.3 Propagación ondas primarias (P).

1.3.2 ONDAS SECUNDARIAS (S)

Las ondas S (Secundarias) son ondas transversales o de corte, lo cual significa que el suelo es desplazado perpendicularmente a la dirección de propagación, alternadamente hacia un lado y hacia el otro. Las ondas S pueden viajar únicamente a través de sólidos debido a que los líquidos no pueden soportar esfuerzos de corte. Su velocidad es alrededor de 58% la de una onda P para cualquier material sólido. Usualmente la onda S tiene mayor amplitud que la P y se siente más fuerte que ésta.



Figura 1.4 Propagación ondas secundarias (S).

1.3.3 ONDAS SUPERFICIALES

Cuando las ondas generadas en el foco alcanzan la superficie son influidas por una discontinuidad y aparecen ondas de superficie, su velocidad es aproximadamente de 0,9 veces a la de las ondas transversales. Estas ondas superficiales son producidas por las ondas de cuerpo y se dividen en ondas Love y ondas Rayleigh.

1.3.4 ONDAS LOVE O TIPO L

Estas se generan sólo cuando un medio elástico se encuentra estratificado, situación que se cumple en nuestro planeta pues se encuentra formado por capas de diferentes características físicas y químicas. Las ondas de Love se propagan con un movimiento de las partículas, perpendicular a la dirección de propagación, como las ondas S, sólo que polarizadas en el plano de la superficie de la Tierra, es decir sólo poseen la componente horizontal a superficie.

Las ondas de Love pueden considerarse como ondas S "atrapadas" en la superficie. Como para las ondas de Rayleigh, la amplitud de las mismas decrece rápidamente con la profundidad. En general su existencia se puede explicar por la presencia del vacío o un medio de menor rigidez, tiende a compensar la energía generando este tipo especial de vibraciones.

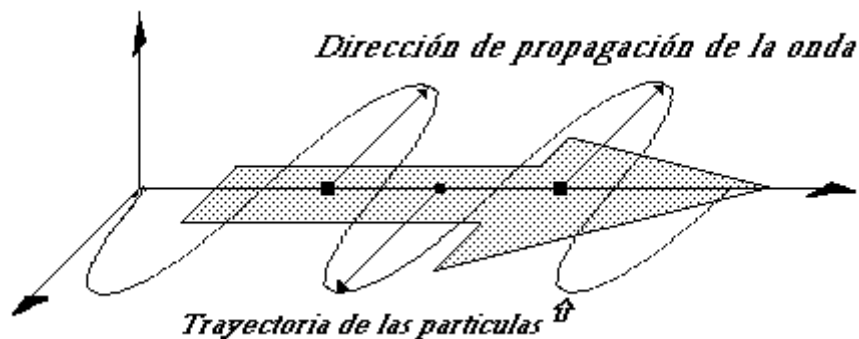


Figura 1.5 Propagación onda love (tipo L).

1.3.5 ONDAS RAYLEIGH O TIPO R

Cuando un sólido posee una superficie libre, como la superficie de la tierra, pueden generarse ondas que viajan a lo largo de la superficie. Estas ondas tienen su máxima amplitud en la superficie libre, la cual decrece exponencialmente con la profundidad, y son conocidas como ondas de Rayleigh en honor al científico que predijo su existencia.

La trayectoria que describen las partículas del medio al propagarse la onda es elíptica retrógrada y ocurre en el plano de propagación de la onda. Una analogía de estas ondas lo constituyen las ondas que se producen en la superficie del agua [3].

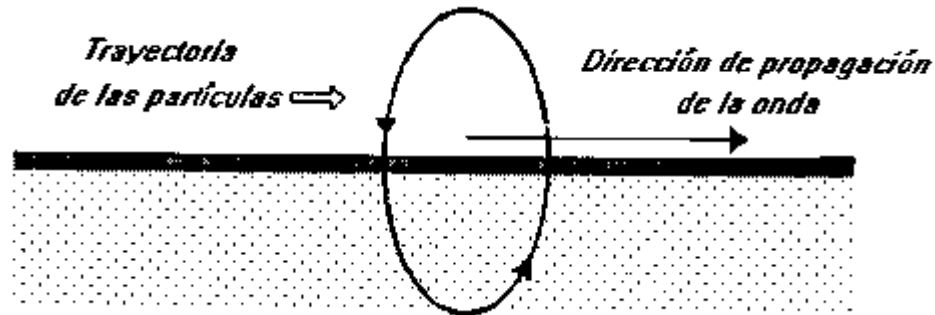


Figura 1.6 Propagación onda Rayleigh (Tipo R).

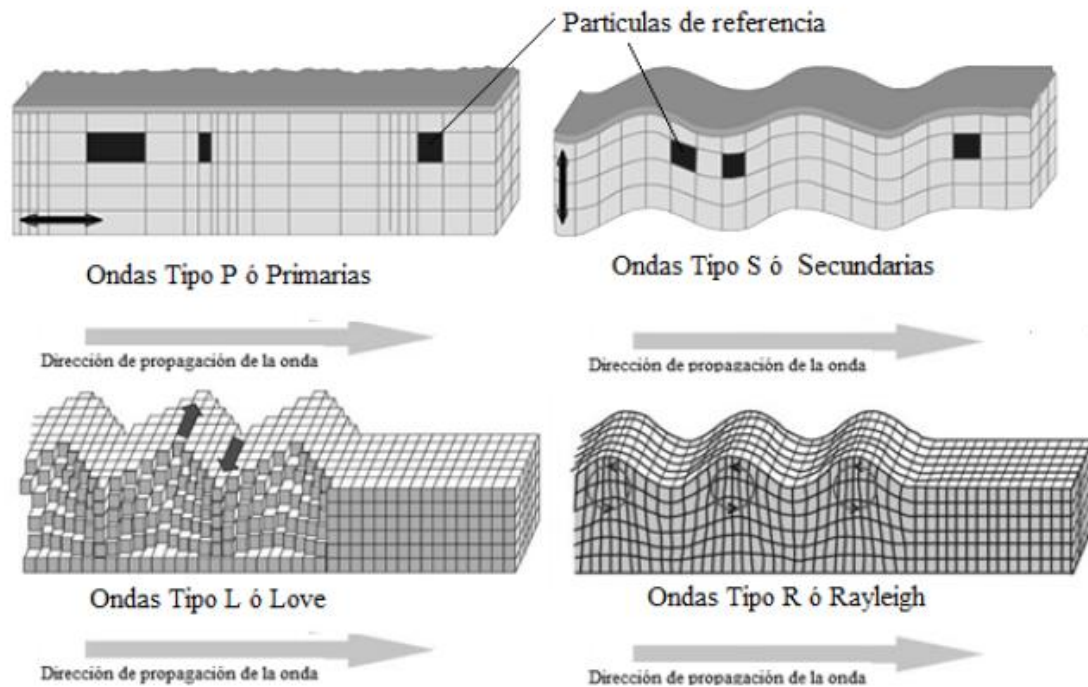


Figura 1.7 Ondas sísmicas (Tipo P, S, L y R).

Tabla 1.1 Velocidades y riesgo de los tipos de ondas sísmicas.

Tipo de onda.	Velocidad promedio (km/s).	Riesgo.
Primarias (P).	1,5 a 5	Bajo.
Secundarias (S).	0,86 a 3	Medio.
Superficiales (L y R).	0,8	Alto.

1.4 EL SISMÓGRAFO

El sismógrafo es un instrumento que detecta y registra de manera continua las ondas sísmicas originadas en un sismo. Se distinguen dos tipos principales: los sismógrafos horizontales (Fig. 1.8) que registran la componente vertical de un movimiento sísmico y que están formados por un péndulo suspendido de un eje horizontal, y los sismógrafos verticales (Fig. 1.9) constituido por un péndulo cuya masa está suspendida de un eje vertical, y que sirven para detectar la componente horizontal de un movimiento sísmico.

En la actualidad, estos instrumentos han alcanzado un alto grado de desarrollo electrónico, pero el principio básico empleado no ha cambiado como veremos a continuación.

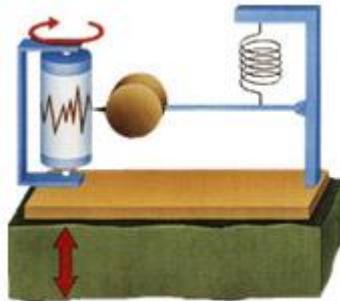


Fig. 1.8 Sismógrafo de Péndulo Horizontal.

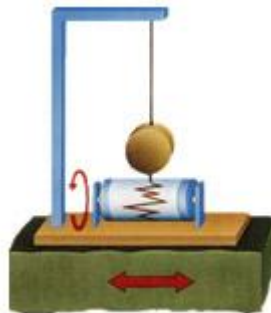


Fig. 1.9 Sismógrafo de Péndulo Vertical.

El mecanismo consiste usualmente en una masa suspendida de un resorte atado a un soporte acoplado al suelo, cuando el soporte se sacude al paso de las ondas sísmicas, la inercia de la masa hace que ésta permanezca un instante en el mismo sitio de reposo. Posteriormente cuando la masa sale del reposo, tiende a oscilar. Sin embargo, ya que esta

oscilación posterior del péndulo no refleja el verdadero movimiento del suelo, es necesario amortiguarla.

Este instrumento detecta la componente vertical u horizontal del movimiento. El papel donde traza el movimiento se conoce como sismograma [4].

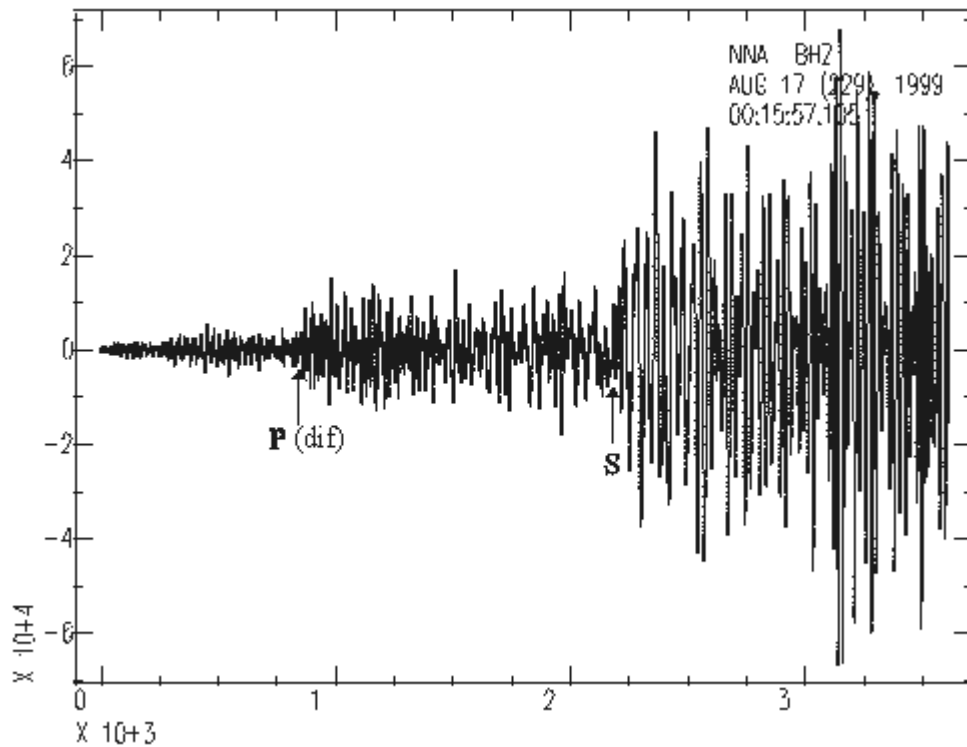


Fig. 1.10 Sismograma de sismógrafo horizontal.

1.4.1 EL SISMÓGRAFO MECÁNICO

Este sismógrafo es el más simple y se basa en un péndulo o una masa suspendida a un bastidor que al haber un movimiento causado por el movimiento del suelo se desliza relativo a este en virtud de su inercia, estos movimientos son detectados por amplificadores en función del tiempo.

Este sismógrafo está compuesto por un detector y un sistema de palancas que sirven para amplificar el movimiento, donde también se cuenta con un papel ahumado que se encuentra anexado a un cilindro que gira a una velocidad fija y que a su vez es donde se realiza un registro.

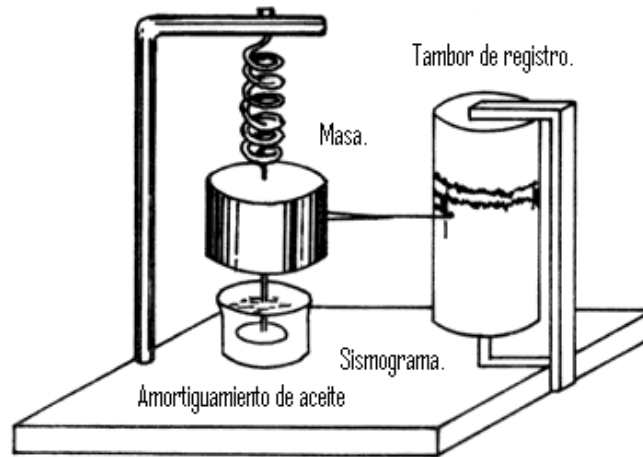


Fig. 1.11 Partes que conforman un sismógrafo mecánico.

1.4.2 EL SISMÓGRAFO ELECTROMAGNÉTICO

Aunque se utiliza el mismo principio que el mecánico, cambia en que el desplazamiento de la masa genera electricidad al mover una bobina dentro de un campo magnético colocando un imán. Al producirse movimiento en el suelo, se genera corriente en la bobina proporcional al movimiento del suelo. Un galvanómetro amplifica el movimiento y pasa al registro en papel.

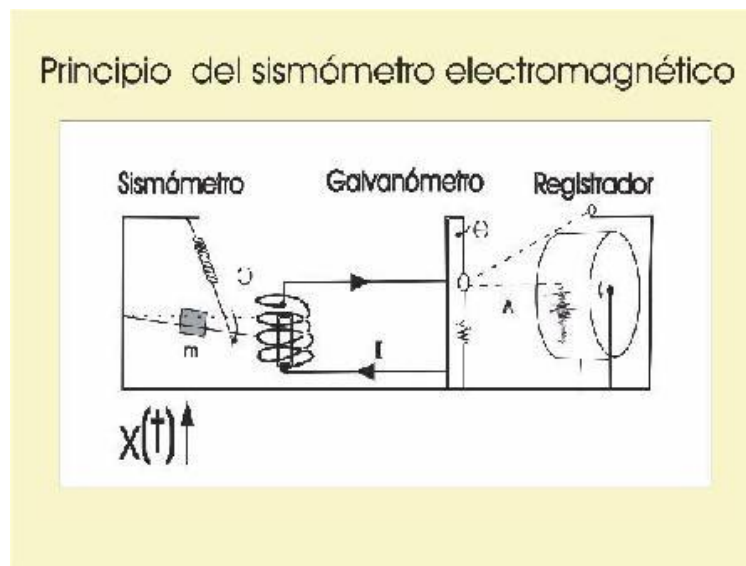


Figura 1.12 Partes que conforman al sismógrafo electromagnético.

1.4.3 EL SISMÓGRAFO DE BANDA ANCHA

Este sistema consiste de un circuito de retroalimentación negativo, el cual ejerce una fuerza proporcional al desplazamiento de la masa inercial para cancelar el movimiento relativo. Un transductor eléctrico convierte el movimiento de la masa en una señal eléctrica, la cual es una estimación de la fuerza de retroalimentación que debe ejercerse para anular el movimiento.

La cantidad de fuerza que se debe ejercer para anular el movimiento del péndulo corresponde a la aceleración del suelo. Este sistema permite extender el ancho de banda y la linealidad de los sismómetros, porque no permite grandes movimientos de la masa que doblen los resortes o los niveles. La señal de salida de estos sistemas posee un gran rango dinámico debido a que los transductores electromagnéticos tienen un amplio rango dinámico [5].

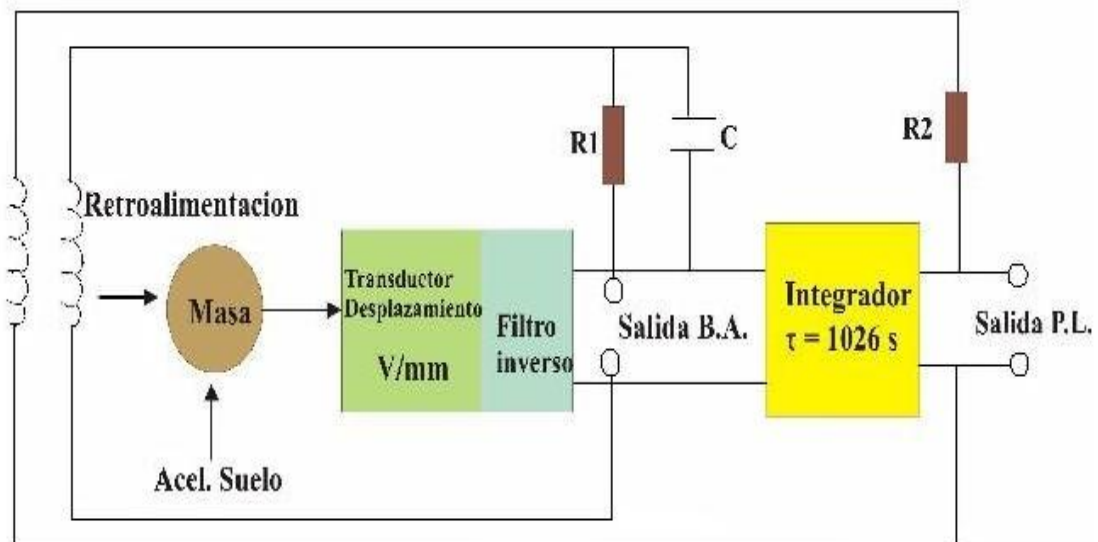


Figura 1.13 Partes que conforman al sismógrafo de banda ancha.

1.6 ESCALAS SÍSMICAS

Las escalas están relacionadas con la energía liberada por un sismo mediante la identificación de las ondas sísmicas; la intensidad, se refiere a los daños que causan los sismos. Ambas escalas son muy importantes y necesarias ya que cada una mide características diferentes de lo que ocurre después de un temblor.

Las escalas de magnitud están relacionadas con el proceso físico mismo, mientras que la de intensidad lo esta con el efecto que ocasiona el sismo en la población, las construcciones y la naturaleza.

1.6.1 ESCALA DE RICHTER

La escala sismológica de Richter, también conocida por su nombre más adecuado de escala de magnitud local (ML), es una escala logarítmica arbitraria que asigna un número para cuantificar el tamaño de un terremoto, nombrada así en honor a Charles Richter (1900-1985), sismólogo nacido en Hamilton, Ohio, Estados Unidos.

Richter desarrolló su escala en la década de 1930. Calculó que la magnitud de un terremoto o sismo puede ser medida conociendo el tiempo transcurrido entre la aparición de las ondas P y las ondas S, y la amplitud de éstas.

Las primeras hacen vibrar el medio en la misma dirección que la del desplazamiento de la onda, son ondas de compresión -y dilatación-. De velocidad de propagación muy rápida -de 5 a 11 km/s-, aparecen las primeras en un sismograma. A continuación llegan las ondas S, ondas de cizalla, que hacen vibrar el medio en sentido perpendicular a la dirección de su desplazamiento.

La escala de Richter es la escala utilizada para evaluar y comparar la intensidad de los sismos. Esta escala mide la energía del terremoto en el hipocentro o foco y sigue una escala de intensidades que aumenta exponencialmente de un valor al siguiente.

Aunque la escala de Richter no tiene límite superior, hasta hoy ningún sismo ha superado 9.6 de magnitud.

Ésta es una escala logarítmica: La magnitud de un sismo aumenta 10 veces de un grado al siguiente. Por ejemplo, un temblor de grado 5 es 10 veces más intenso que uno de grado 4 y un temblor de grado 8 no es el doble de intenso que uno de grado 4, sino 10000 más fuerte .

Tabla 1.2 Escala de Richter [6].

Richter.	La energía TNT.	Referencias.
-1.5	1 g.	Rotura de una roca en una mesa de laboratorio.
1	170 g.	Pequeña explosión en un sitio de construcción.
1.5	910 g.	Bomba convencional de la II Guerra Mundial.
2	6 kg.	Explosión de un tanque de gas.
2.5	29 kg	Bombardeo a la ciudad de Londres.
3	181 kg.	Explosión de una planta de gas.
3.5	455 kg.	Explosión de una mina.
4	6 t.	Bomba atómica de baja potencia.
5	199 t.	Terremoto en Albolote de 1956 (Granada España).
5.5	500 t.	Terremoto en Colombia (El Calvario, Meta, Colombia; 2008).
6	1,270 t.	Terremoto de Doublé Spring Flat de 1994 (Nevada, Estados Unidos).
6.2		Terremoto de Morón (2009) (Venezuela) Estado Carabobo.
6.5	31,550 t.	Terremoto de Northridge de 1994 (California, Estados Unidos).
7	199,000 t.	Terremoto de Puerto Príncipe de 2010 (Haití).
7.2	250,000 t.	Terremoto de Spitak 1988 (Armenia).
7.5	750,000t.	Terremoto de Santiago 1985 (Chile).
7.8	1,250,000 t.	Terremoto de Sichuan 2008 (China).
8	5,850,000 t.	Terremoto de Perú de 2007.
8.1	6,450,000 t.	Terremoto de México de 1985 (Distrito Federal).
8.5	31.55 Millones de	Terremoto de Sumatra de 2007.

	t.	
8.8	100 Millones de t.	Terremoto de Chile de 2010.
9	150 Millones de t.	Terremoto de Lisboa de 1755.
9.2	220 Millones de t.	Terremoto de Océano Índico de 2004.
9.5	260 Millones de t.	Terremoto de Valdivia de 1960 (Chile).
10	6,300 Millones de t.	Estimado para el choque de un meteorito rocoso de 2 km de diámetro que impacte a 25 m/s.
13	Teratones.	Impacto en la península de Yucatán que causó el cráter de Chicxulub hace 65 millones de años.

1.6.2 ESCALA DE MERCALLI

La Escala de Mercalli. Toma su nombre del físico italiano Giuseppe Mercalli quien la desarrolló en el siglo XXI. Es una escala subjetiva, porque evalúa la percepción humana del sismo. Sirve para recolectar información en zonas donde no existen aparatos detectores, o instrumentos de medición. Se basa en lo que sintieron las personas que vivieron el sismo, o en los daños ocasionados.

Cuando se utiliza esta escala, se habla de grados de intensidad. Se basa en el efecto o daño producido en las estructuras y en la sensación percibida por la gente. Para establecer la Intensidad se recurre a la revisión de registros históricos, entrevistas a la gente, noticias de los diarios públicos y personales, etc. La Intensidad puede ser diferente en los diferentes sitios reportados para un mismo terremoto.

Tabla 1.3 Escala Mercalli (resumida) [7].

Grado	Descripción
I Muy débil.	Es solo detectado por algunos instrumentos.
II Débil.	Solo lo detectan algunas personas que se encuentran en reposo.
III Leve.	Se percibe en los interiores de los edificios y casas.
IV Moderado.	Sentido por las personas fuera de las casas y edificios.
V Fuerte.	La mayoría de las personas lo perciben aun en el exterior.
VI Bastante fuerte.	Lo perciben todas las personas.
VII Muy fuerte.	Algunas estructuras sufren algún daño leve.
VIII Destructivo.	Daños considerables a las estructuras.
IX Ruinoso.	Pánico generalizado. Todas las estructuras sufren daños graves.
X Desastroso.	Destrucción de gran parte de las estructuras.
XI Muy desastroso.	Pocas estructuras quedan en pie.
XII Catastrófico.	El daño es casi total.

1.7 LOS SISMOS EN MÉXICO

El país se encuentra en una región del planeta que desde hace tiempo ha estado afectada por los sismos y lo seguirá estando. En otras palabras, México es una zona de alta sismicidad. Lo anterior obedece a que las placas de Cocos y de Rivera, que se encuentra al sur y sureste de México, en el océano Pacífico, se están metiendo bajo la placa Norteamérica, de la cual forma parte la placa continental del país. En el lenguaje de los sismólogos, las placas de Cocos y la Rivera subducen a la placa Norteamérica. La primera se mueve con una velocidad relativa de aproximadamente 5 cm/año, respecto a la placa continental, mientras que la segunda se desplaza 2.5cm/año aproximadamente.

En la falla de esta zona costera del Pacífico se acumulan grandes cantidades de energía que al liberarse provocan los grandes sismos que afectan a nuestro país. De ello se desprende que el conocimiento de esta zona de subducción es fundamental para determinar la sismicidad en nuestro territorio. Para lograrlo, sismógrafos, acelerógrafos, el área de ruptura de la corteza terrestre y la frecuencia de los sismos en la región, son algunos de los elementos fundamentales con los que trabajan los sismólogos.

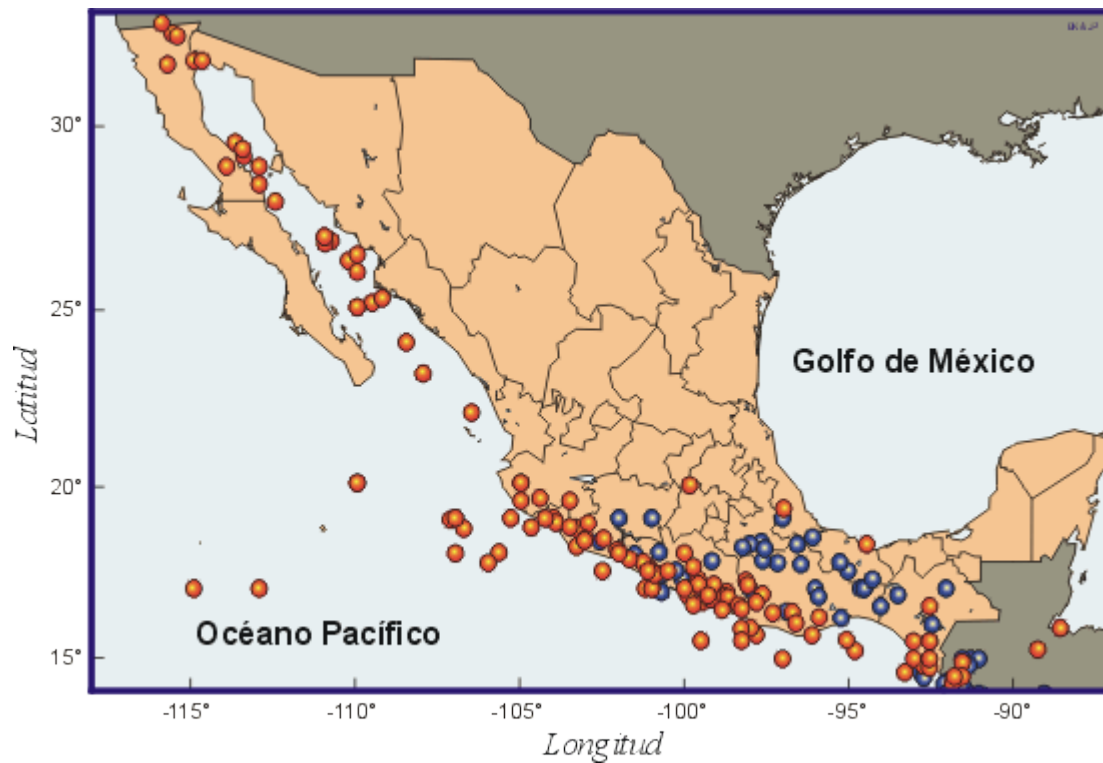


Figura 1.14 Actividad sísmica en México Propiciada por las placas tectónicas donde se ubica [8].

CAPÍTULO 2

CARACTERÍSTICAS DEL DIODO LASER

2.1 INTRODUCCIÓN

2.1.1 Radiación láser y sus propiedades

La tecnología láser es una de las áreas de las modernas tecnologías que mayor desarrollo ha tenido.

Cuando se inventó el láser, se consideró que era una solución en busca de un problema, y hoy la tecnología láser se aplica en áreas muy diferentes, tales como: medicina, comunicación, dispositivos de uso cotidiano, militar y en la industria.

En principio, el láser es un dispositivo que transforma otras formas de energía en radiación electromagnética.

Al láser se le puede suministrar la energía de diversas formas, tales como: radiación electromagnética, energía eléctrica, energía química, etc.

La energía del láser siempre se emite como radiación electromagnética (incluyendo los haces de luz).

De esta emisión de luz es de donde el láser toma la denominación: **LASER**=Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (Amplificación de Luz por Emisión Estimulada de Radiación).

2.1.2 Radiación Electromagnética.

La radiación electromagnética que produce el láser, puede situarse en cualquier región del espectro, incluyendo el espectro visible, el espectro Ultra-Violeta (UV), el espectro Infra-Rojo (IR), y más allá.

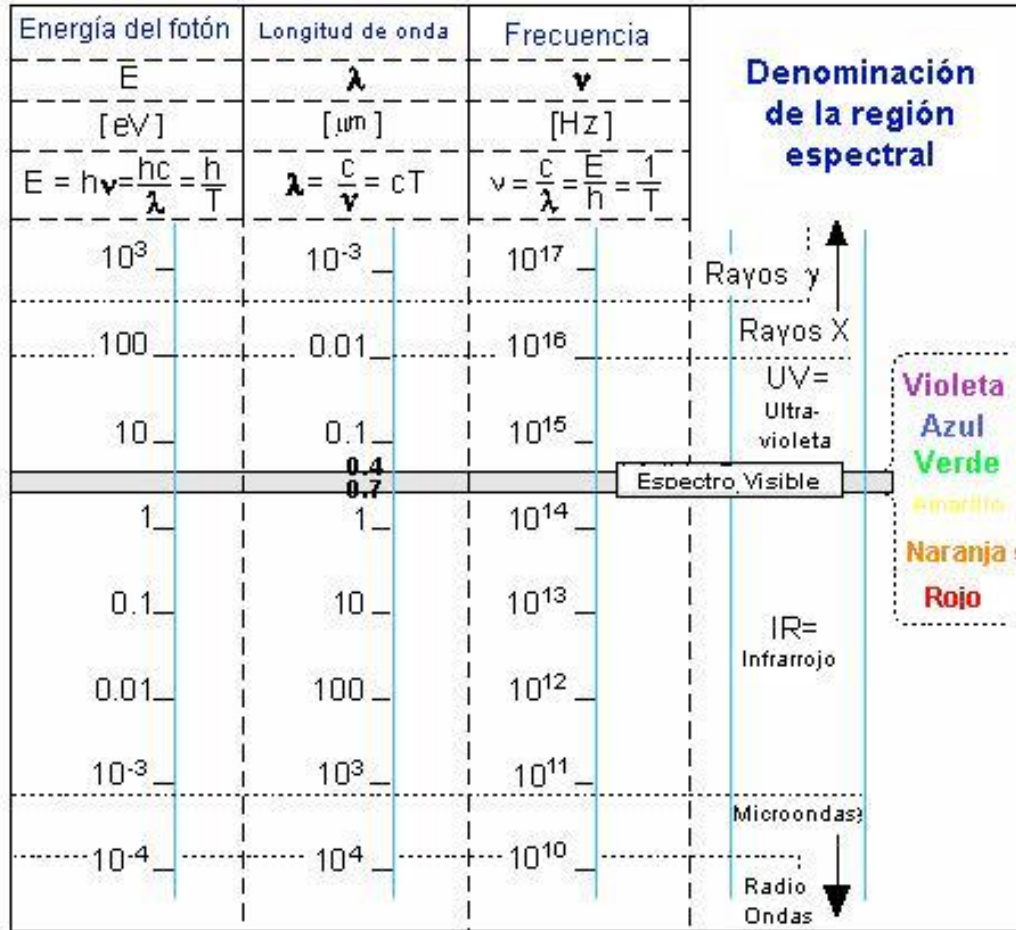


Figura 2.1 El Espectro Electromagnético

Las ideas más importantes concretadas en la figura 2.1 son:

1. Las ondas electromagnéticas abarcan muchos órdenes de magnitud en longitud de onda (o frecuencia).
2. La frecuencia de la radiación electromagnética es inversamente proporcional a la longitud de onda.
3. El espectro visible es una región muy pequeña del espectro electromagnético.
4. La energía del fotón aumenta cuando la longitud de onda disminuye. Cuanto más corta es la longitud de onda, mayor es la energía de los fotones.

2.1.3 Propiedades de la Radiación Láser

2.1.3.1 Monocromaticidad

Monocromaticidad significa "Un color". Cuando la "luz blanca" se transmite a través de un prisma se divide en los diferentes colores que la componen, como se puede apreciar en la figura.

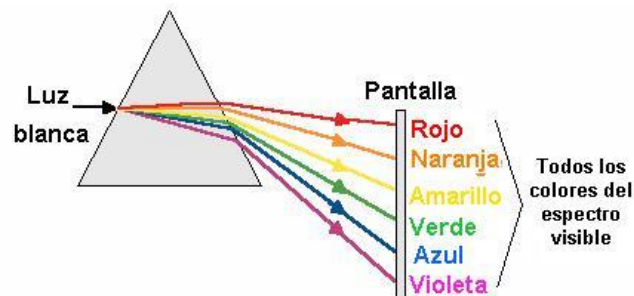


Figura 2.2 Luz blanca pasando a través de un prisma

El Significado de "Un Color". En sentido teórico "Un Color", que recibe el nombre de "línea espectral", significa una longitud de onda (λ_0).

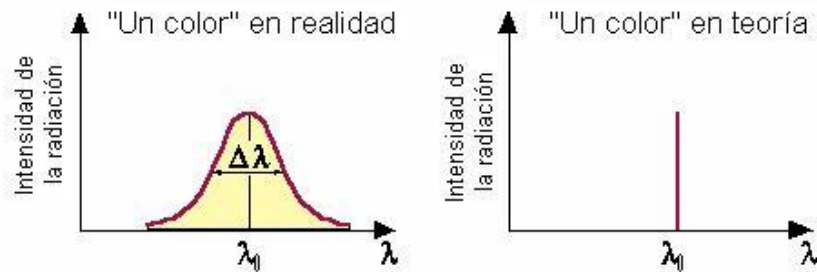


Figura 2.3 Anchura de banda de la radiación láser en teoría y en realidad

2.1.3.2 Direccionalidad

La radiación que sale del láser, lo hace en cierta dirección, y se dispersa con un ángulo de divergencia (θ) definido. Esta dispersión angular del rayo láser es muy pequeña comparada con otras fuentes de radiación electromagnética, y se describe mediante un pequeño ángulo de divergencia (del orden de mili-radianes).

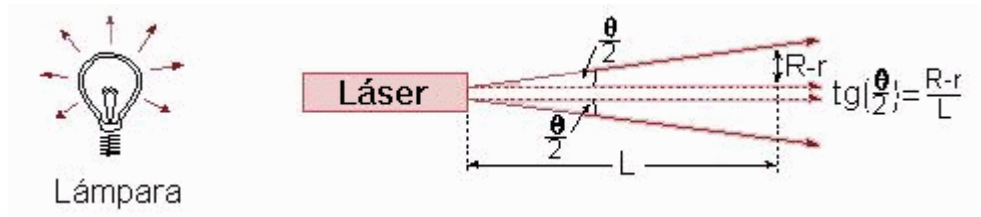


Figura 2.4 Comparación entre la luz emitida por un láser, y la que emite una lámpara incandescente

2.1.3.3 Coherencia

Puesto que la radiación electromagnética es un fenómeno ondulatorio, cada onda electromagnética se puede describir como una suma (superposición) de ondas sinusoidales en función del tiempo.

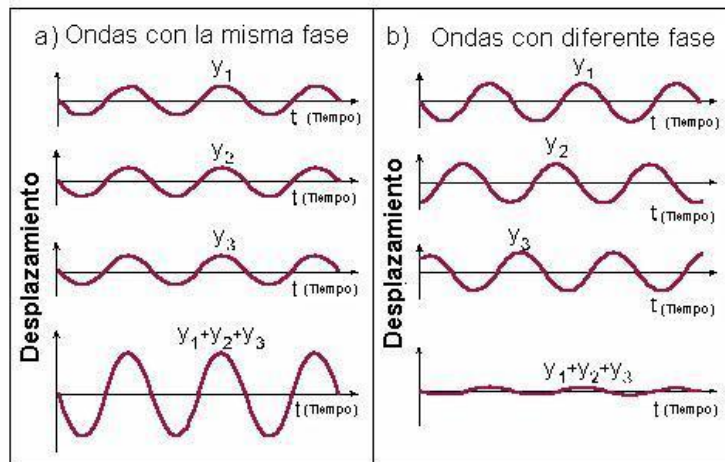


Figura 2.5 Superposición de ondas

2.2 EL LÁSER DE DIODO

Todos los láseres de diodo están contruidos con materiales semiconductores, y tienen las propiedades características de los diodos eléctricos. Por esta razón reciben nombres como:

- ❖ Láseres de semiconductor - por los materiales que los componen
- ❖ Láseres de diodo - ya que se componen de uniones p-n como un diodo
- ❖ Láseres de inyección - ya que los electrones son inyectados en la unión por el voltaje aplicado

Hoy en día el número de láseres de diodo vendidos en un año se mide en millones, mientras que todos los demás tipos de láser juntos se miden en millares. De hecho, la familia actual de láseres de diodo es utilizada en productos de alto consumo como: CD -Compact Discs, Impresoras Láser, Escáners y comunicaciones ópticas.

El diodo láser fue inventado en 1962, en tres laboratorios de investigación en USA de modo independiente. Los investigadores consiguieron radiación electromagnética coherente de un diodo de unión p-n en base al material semiconductor GaAs - Arsenuro de Galio.

2.2.1 Los Semiconductores

En general, los sólidos pueden dividirse en tres grupos:

- ❖ Aislantes - Materiales que no son conductores de la electricidad como cuarzo, diamante ,goma o plástico
- ❖ Conductores- Materiales que son conductores de la electricidad como oro , plata, cobre
- ❖ Semiconductores- Materiales con una conductividad eléctrica intermedia entre materiales conductores y no conductores. Ejemplos: Ge, Si, GaAs, InP, GaAlAs.

La conductividad de un semiconductor aumenta con la temperatura, contrariamente a lo que sucede con los materiales metálicos, cuya conductividad disminuye con la temperatura debido al aumento de las vibraciones de los átomos.

2.2.2 Niveles de Energía

Las bandas de energía en un semiconductor se dividen en dos grupos:

- ❖ Banda de Valencia - Los electrones en la banda de valencia están ligados a los átomos del semiconductor.
- ❖ Banda de Conducción - Los electrones en la banda de conducción están libres y pueden moverse por el semiconductor.

La separación entre la banda de valencia y la de conducción es llamada Separación de Energía, y en esta región no hay niveles de energía de los electrones. Si un electrón de la banda de valencia tiene suficiente energía, puede "saltar" a la banda de conducción superando la diferencia de energía entre las dos bandas.

Las bandas de energía llenas son los niveles de energía de los electrones internos, los cuales están ligados al átomo, y no participan en los enlaces entre los átomos del sólido. Para que el sólido tenga conductividad eléctrica, los electrones han de moverse en el sólido.

2.2.2.1 Aislante

En un aislante - la banda de valencia está llena de electrones, de modo que los electrones no pueden moverse en esta banda. Para posibilitar la conducción eléctrica, los electrones de la banda de valencia han de llegar a la banda de conducción. Por ello, ha de suministrarse a los electrones una energía mayor que la separación de energía entre las bandas, para transferirlos a la banda de conducción. Debido a que la separación de energía es muy grande en un aislante, ello hace muy difícil este cambio de energía de los electrones. Por ello, los aislantes son conductores muy pobres.

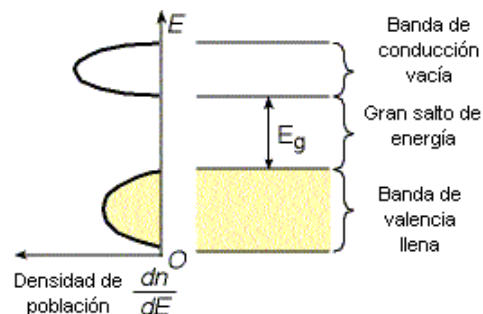


Figura 2.6 Niveles de Energía de un Aislante.

2.2.2.2 Conductor

En un conductor (metal) - Las bandas de valencia y de conducción están solapadas, por lo que prácticamente la separación de energía es nula. Por ello los electrones necesitan muy poca energía para pasar a la banda de conducción, y conducen la electricidad.

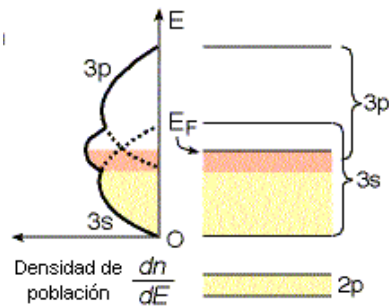


Figura 2.7 Niveles de Energía de un conductor.

2.2.2.3 Semiconductor

En un semiconductor - la separación de energía es muy pequeña, y se necesita poca energía para transferir a los electrones de la banda de valencia a la banda de conducción. Incluso la energía térmica a temperatura ambiente es suficiente. Al aumentar la temperatura, más y más electrones son transferidos a la banda de conducción. Este proceso produce un aumento de la conductividad eléctrica al aumentar la temperatura.

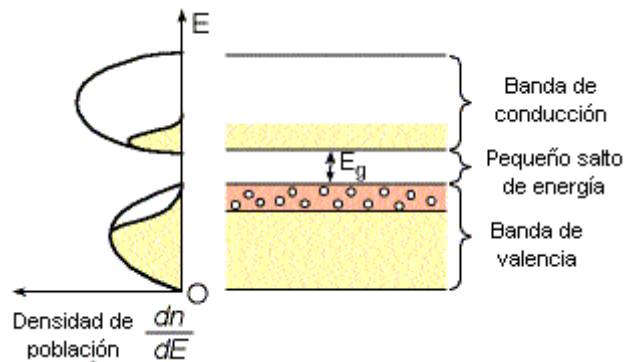


Figura 2.8 Niveles de Energía de un Semiconductor.

Después de que un electrón es transferido de la banda de valencia a la de conducción, aparece un " hueco " en la banda de valencia. Esto huecos se comportan de modo similar a las cargas positivas moviéndose en la banda de valencia al aplicar un voltaje. En el proceso de conducción eléctrica, participan los electrones en la banda de conducción, y en los "huecos positivos" que permanecen en la banda de valencia después de que los electrones "salten" a la banda de conducción.

Al semiconductor se añaden impurezas que proporcionan portadores de carga adicionales, para controlar el tipo y la densidad de los portadores de carga. Estas impurezas son átomos eléctricamente neutros.

2.2.3 Impurezas

En un material semiconductor "puro" la estructura de las bandas de energía y de la separación de energía está determinada por el material.

Mediante la adición de un material con diferente número de portadores de carga, aparecen niveles de energía adicionales en la banda de separación.

Si la impureza contiene más electrones que el semiconductor puro, los portadores de carga adicionales son negativos (electrones), y el material es llamado "semiconductor tipo n". En este material se añaden niveles de energía muy próximos a la banda de conducción. Una pequeña cantidad de energía es suficiente para excitar a los electrones desde estos niveles a la banda de conducción, de modo que hay disponibles portadores de carga para conducir la electricidad.

Si la impureza contiene menos electrones que el semiconductor puro, los niveles de energía extra añadidos, están muy próximos de la banda de valencia. Los electrones de la capa de valencia pueden promocionar a estos niveles, dejando "huecos positivos". Este material es llamado " semiconductor tipo p".

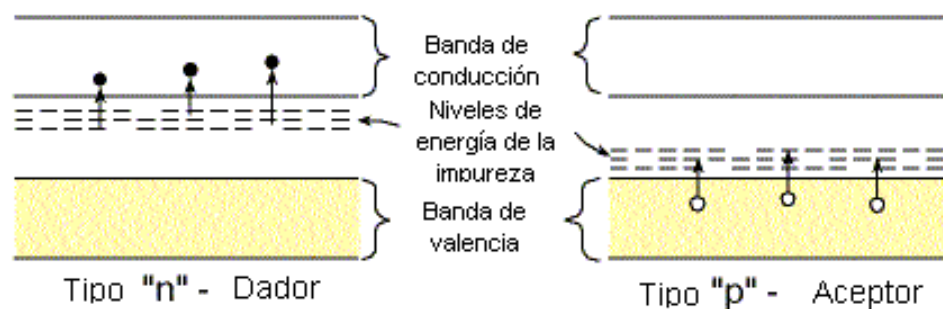


Figura 2.9 Niveles de energía en un semiconductor con impurezas.

2.2.4 Acción Láser en un Láser de Semiconductor

Cuando un semiconductor tipo "p" se asocia a un semiconductor tipo "n", tenemos una unión p-n. Esta unión conduce la electricidad en una dirección preferencial. Este aumento direccional de la conductividad es el mecanismo habitual para todos los diodos y los transistores en electrónica.

En la figura 2.10 se visualizan las bandas de energía de una unión p-n ideal cuando no se aplica ningún voltaje externo. Esta disposición de las bandas en la unión, es la base de la acción del láser diodo.

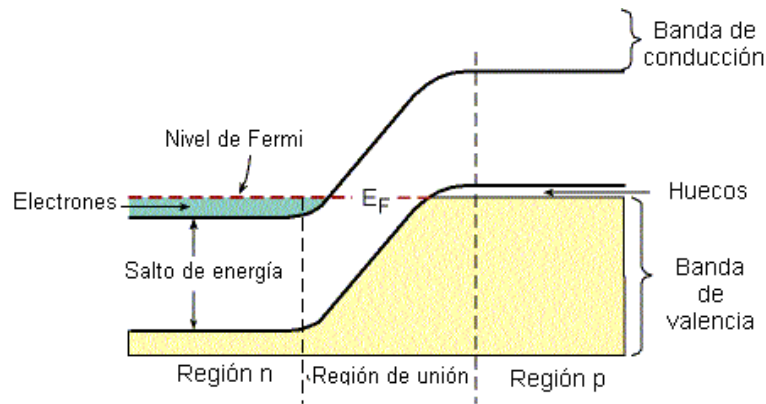


Figura 2.10 Niveles de energía en una unión p-n cuando no se aplica un voltaje externo.

El nivel de máxima energía ocupado por electrones se denomina nivel de Fermi. Cuando el contacto positivo de la fuente de voltaje se une a la parte p de la unión p-n, y el contacto negativo se conecta a la parte n, la corriente fluye a través de la unión p-n. Esta conexión se denomina Voltaje polarizado hacia adelante.

Cuando se conecta la polaridad inversa, esta conexión es llamada Voltaje de polarización posterior, y esto provoca un aumento del potencial de barrera entre la parte p y la parte n. Ello dificulta el flujo de corriente a través de la unión p-n.

2.2.4.1 Aplicación de voltaje a la unión p-n

Cuando se aplica un voltaje sobre la unión p-n, cambia la población de las bandas de energía. Puede aplicarse el voltaje a la unión en dos configuraciones posibles:

1. Voltaje polarizado hacia adelante - significa que el polo negativo de la fuente de voltaje está conectado a la parte "n" de la unión, y la parte positiva está conectada al semiconductor tipo "p".

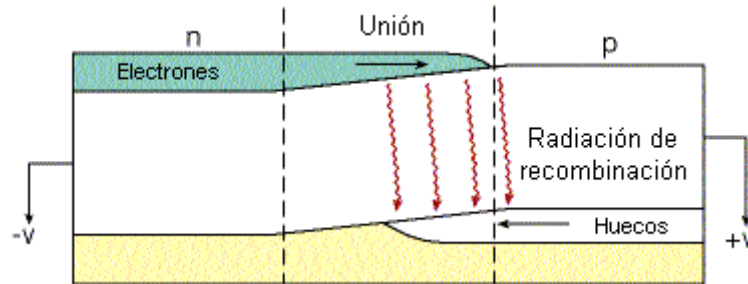


Figura 2.11 Banda de energía de una unión p-n en la cual se aplica un voltaje polarizado hacia adelante.

Cuando un electrón de la parte "n" de la banda de conducción, es inyectado a través de la unión a un hueco vacío de la banda de valencia en la parte "p", se produce un proceso de recombinación (de un electrón más un hueco). Como resultado del proceso de recombinación, se libera energía.

Para los láseres de diodo interesan los casos específicos en los que esta energía se libera en forma de radiación láser. Se produce un aumento sostenido de la conductividad cuando el voltaje polarizado hacia adelante es aproximadamente igual a la separación de energía del semiconductor.

2. Voltaje Inverso (hacia atrás) - el cual provoca un aumento del potencial de barrera de la unión, y disminuye la posibilidad de que un electrón cruce la unión hasta otro lado. Aumentando el voltaje inverso hasta valores elevados (decenas de voltios), puede producirse una ruptura del voltaje de la unión (avalancha).

2.2.5 Construcción del Láser de Diodo

En la figura 2.12 se muestra la estructura de las capas de un láser de diodo simple.

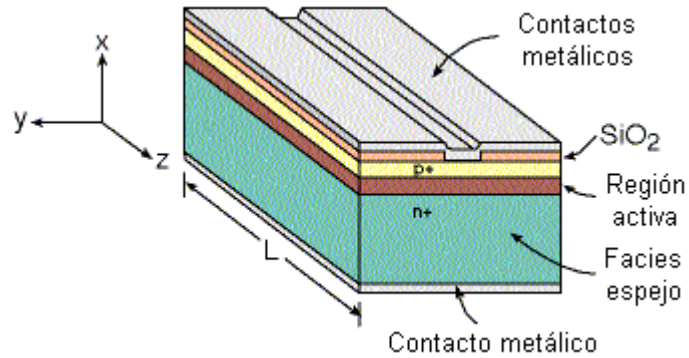


Figura 2.12 Estructura básica de un láser de diodo.

Estas capas de materiales semiconductores están dispuestas de modo que se crea una región activa en la unión p-n, en la cual se generan fotones mediante procesos de recombinación. Una capa de metal en las capas de arriba y abajo, permite conectar al láser una fuente de voltaje externa. El voltaje se aplica a los contactos de metal por encima y por debajo de las capas de semiconductor. La cara del semiconductor cristalino se corta para servir como espejos en los extremos de la cavidad óptica.

2.2.6 Radiación de Salida de un Láser de Diodo

La figura 2.13 describe la forma de la radiación electromagnética láser de un láser simple de diodo construido en capas.

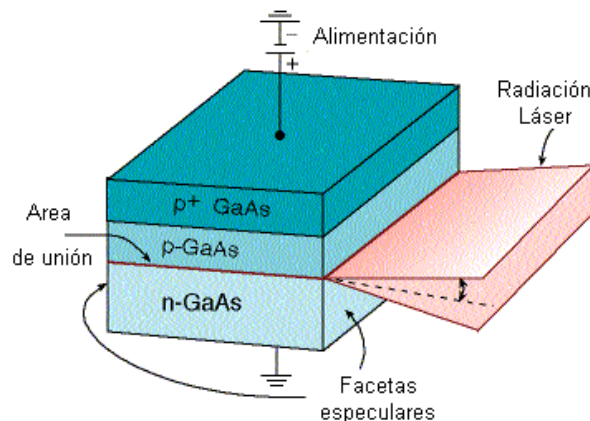


Figura 2.13 Perfil de la radiación de un láser simple de diodo.

La radiación proviene de la forma rectangular de una capa muy delgada, y se dispersa con diferentes ángulos en 2 direcciones.

2.2.7 I -V Curva del Láser de Diodo

Si la condición de "Inversión de Población " no existe, los fotones se emiten por emisión espontánea. Estos fotones se emiten aleatoriamente en todas las direcciones, lo que es la base de operación de un diodo emisor de luz (LED).

La condición de inversión de población depende del bombeo. Incrementando la corriente que se inyecta a la unión p-n, se llega a una corriente umbral que cumple esta condición.

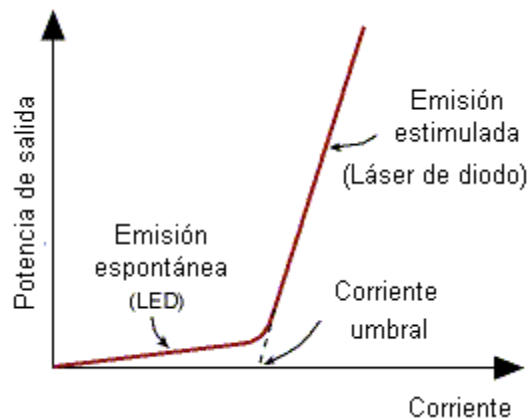


Figura 2.14 Potencia de salida de un láser de diodo en función de la corriente de entrada.

Como se ve claramente, la pendiente de esta gráfica en la emisión estimulada (láser) es mucho mayor que la pendiente en la emisión espontánea (LED). La corriente umbral para acción láser está determinada por el punto de corte de la tangente de la gráfica para emisión estimulada con el eje de la corriente (este punto está muy próximo al punto de cambio en la pendiente).

Cuando la corriente umbral es baja, se pierde menos energía en forma de calor, y se transmite más energía como radiación láser (aumenta el rendimiento del láser). En la práctica, el parámetro importante es la densidad de corriente, lo que se mide en unidades de Amperios por centímetro cuadrado $[A/cm^2]$ de la sección perpendicular a la unión.

2.2.8 Dependencia de los parámetros del láser de diodo con la temperatura

Uno de los problemas de los láseres de diodo es el aumento de la corriente umbral para la acción láser al aumentar la temperatura (μT^3). El funcionamiento del láser de diodo a baja temperatura requiere corrientes bajas. Conforme la corriente fluye a través del diodo, se va generando calor. Si la disipación de calor no es adecuada, la temperatura del diodo aumenta, y al corriente umbral requerida también aumenta.

Los cambios en la temperatura provocan cambios en la longitud de onda emitida por el láser de diodo. En la figura 2.15 se ilustra el cambio de la longitud de onda con la temperatura. Éste está compuesto de dos partes:

1. Un aumento gradual de la longitud de onda al aumentar la temperatura.
2. Se produce un salto a otro modo longitudinal. Este salto se denomina "Modo de Salto".

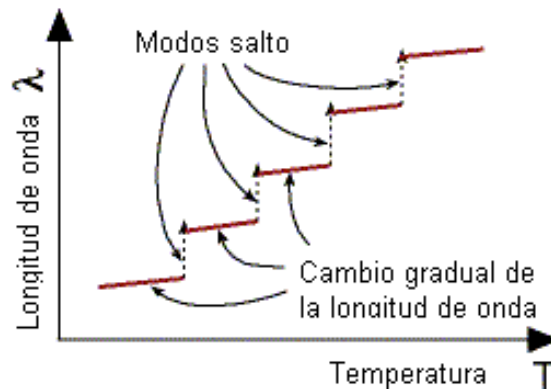


Figura 2.15 Cambio de la longitud de onda del láser de diodo con la temperatura.

Debido a las variaciones de temperatura, se necesitan diseñar estructuras especiales para los láseres de diodo, para poder lograr radiación láser continua de alta potencia.

2.2.9 Confinamiento de la Luz dentro de la Región Activa.

El confinamiento se lleva a cabo poniendo diferentes materiales junto a la capa activa. Por ello, la primera clasificación de los láseres de diodo, se realiza en cuanto a la estructura de las capas próximas a la capa activa.

El nombre de cada familia de láseres de diodo viene dado por el tipo de materiales cerca de la capa activa:

- Láser de unión homogénea - el láser está compuesto enteramente de una única sustancia, normalmente GaAs. En esta estructura simple, los fotones emitidos no están confinados en la dirección perpendicular al eje del láser. Por ello, el láser no es eficiente.
- Hetero estructura Simple - En un lado de la capa activa hay un material con una diferente separación de energía. La diferente separación de energía de las dos capas provoca una diferencia en el índice de refracción de los materiales, de modo que pueden construirse estructuras guías ondas que confinen a los fotones en un área específica. Normalmente, la segunda capa está construida de un material que es similar al de la primera capa, pero con un menor índice de refracción.

Ejemplo: GaAs y GaAlAs son materiales típicos usados para capas adyacentes en un láser de diodo.

- Hetero estructura Doble - En ambos lados de la capa activa hay otro material, el cuál es diferente del de la capa activa y tiene un menor índice de refracción (mayor separación de energía).

Ejemplo: Capa activa de GaAs confinada entre dos capas de GaAlAs. En esta estructura la luz está confinada en la capa activa. Por ello, estos tipos de estructuras incrementan el rendimiento del láser, haciendo posible la operación de los láseres de diodo a temperatura ambiente.

2.2.10 Diferentes Estructuras de los Láseres de Diodo

Una típica construcción de la capa activa es en forma de una franja estrecha (Geometría de Línea), confinada por los dos lados (por arriba y por abajo) con otro material. Esta familia de láseres de diodo se denomina Láseres basados en índice.

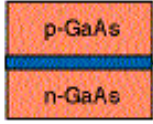



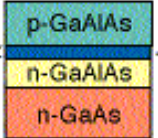

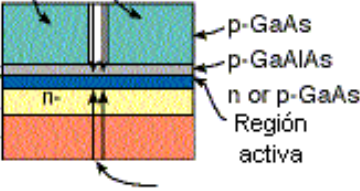
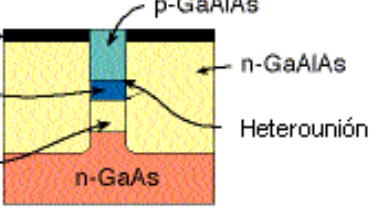
Tipo de Láser	Estructura del láser	Confinamiento de la radiación
Homounión		 Pequeño confinamiento en el plano del papel
Heterounión simple	Heterounión → 	 Confinamiento bueno en una cara del plano perpendicular
Doble heterounión	Heterounión ↔ 	 Confinamiento de la radiación buena en ambas caras del plano perpendicular
Línea basada en la ganancia	Material de alta resistencia eléctrica 	
Heterounión enterrada (Geometría de línea basada en índices)		Confinamiento de la radiación buena en ambos planos, horizontal y vertical

Figura 2.16 Ejemplos de diferentes estructuras láser para el confinamiento de la luz láser a una región específica.

2.2.11 Láseres de diodo basados en la ganancia

Por la colocación de los electrodos de metal en la parte superior e inferior del láser, la región por la que pasa la corriente es limitada. La forma espacial del flujo de corriente provoca un bombeo selectivo. Por consiguiente, la inversión de población se produce únicamente en la región por la que pasa la corriente.

En la figura anterior, donde una franja estrecha que forma el electrodo está en la parte superior del láser. La corriente limita la región en la que puede producirse la amplificación. Sólo en esta región la luz será amplificada.

Ventajas de los láseres de diodo basados en la ganancia:

1. Producción simple.
2. Resulta sencillo conseguir potencia elevada, ya que aumentando la corriente, se expande la región donde se produce la amplificación.

Desventajas de los láseres de diodo basados en la ganancia

1. La calidad de salida del haz es menor que con láseres basados en el índice.
2. Es más difícil conseguir una frecuencia de salida única estable para estos láseres.

2.2.12 Empaquetado del Láser de Diodo

Los tamaños miniaturizados de los láseres de diodo, requieren de un empaquetado especial que permita usarlos cómodamente. Hay muchos tipos de ensamblajes, pero el estándar es similar al de un transistor, e incluye los colimadores ópticos básicos para producir un haz aprovechable.

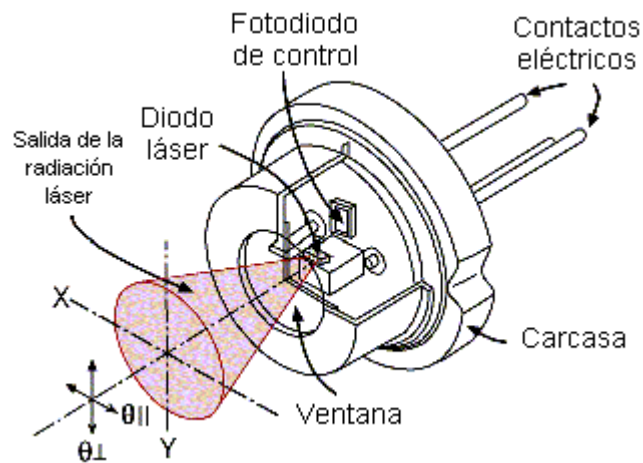


Figura 2.17 Empaquetado de un Láser de Diodo comercial.

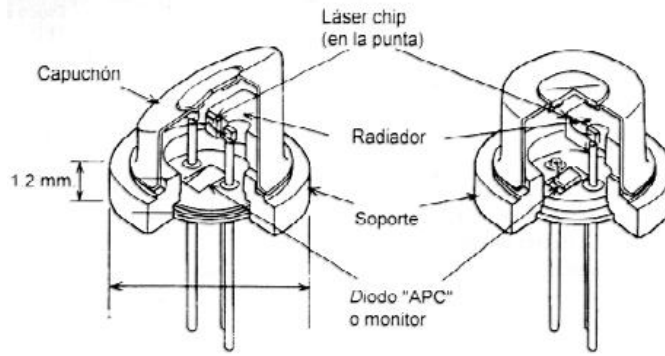


Figura 2.18 Vista de corte de un láser de diodo

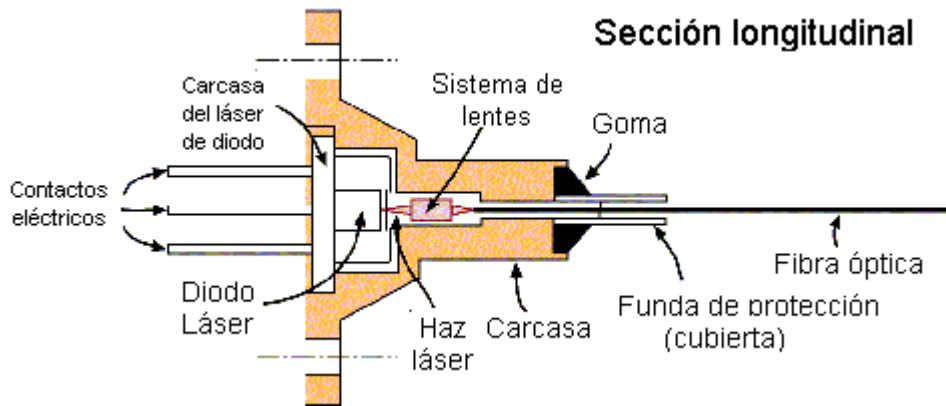


Figura 2.19 Sección Perpendicular del Ensamblaje de un láser de Diodo comercial.

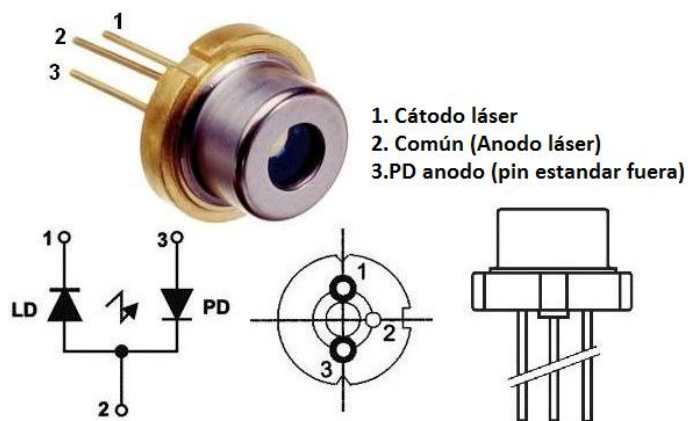


Figura 2.20 Pines del diodo láser [10].

Para conseguir una potencia elevada con los láseres de diodo, se han desarrollado series especiales de láseres de diodo. Estas series de diodos emiten radiación conjuntamente de forma sincronizada, de forma que se puede disponer de una potencia de salida de decenas de vatios. Aunque la radiación se emite por muchos láseres de diodo, estos están ópticamente acoplados, de forma que es posible conseguir una salida láser coherente en estos láseres especiales.

Ventajas de los láseres de diodo:

- ❖ Rendimiento muy alto (más del 20% de la energía suministrada es emitida como radiación láser).
- ❖ Alta fiabilidad.
- ❖ Tiempo de vida muy largo (se estima que más de 100 años de operación continua)
- ❖ Precio muy barato - Los láseres de diodo se fabrican utilizando técnicas de producción a gran escala utilizadas en la industria electrónica.
- ❖ Posibilidad de realizar la modulación directa de la radiación emitida, controlando la corriente eléctrica a través de la unión p-n. La radiación emitida es función lineal de la corriente y puede llegar a una velocidad de modulación de decenas de GHz.
- ❖ Pequeño peso y volumen
- ❖ Corriente umbral muy baja.
- ❖ Bajo consumo de energía.
- ❖ Bandas espectrales estrechas, las cuales pueden ser de unos pocos kilohertzios en láseres de diodo especiales.
- ❖ Un sistema experimental, utilizando fibras ópticas de modo sencillo, transmite la información a una velocidad de 4 [GHz], lo cual es equivalente a la transmisión simultánea de alrededor de 50,000 llamadas telefónicas en una fibra (cada llamada ocupa una banda de frecuencia de 64 [KB/s]).

2.2.13 Cavidades Ópticas Especiales en Láseres de Diodo

La cavidad óptica más simple de un láser de diodo se construye haciendo un hueco en el cristal del semiconductor de modo que el láser va de un extremo al otro del mismo. La hendidura genera un plano perpendicular al plano del medio activo, el cuál es perpendicular al eje del láser.

Debido al alto índice de refracción de los materiales semiconductores ($n \gg 3.6$) utilizados en la fabricación de los láseres de diodo, la reflexión del borde de la hendidura del cristal es de alrededor del 30%. Es posible cambiar esta reflexión utilizando un recubrimiento reflectante en la superficie. Un tipo de recubrimiento es 100% reflectante en un lado del láser de diodo.

En algunos láseres de diodo la radiación emitida a través de la superficie trasera se utiliza para monitorizar la salida del láser. Un detector se puede fabricar del mismo material semiconductor del láser, utilizando el mismo proceso de fabricación. Por ello, la monitorización es directa y en tiempo real, y puede usarse como retroalimentación para controlar la salida del láser.

Una cavidad diferente y más complicada, puede fabricarse utilizando una rejilla cerca de la capa activa del láser. Dos estructuras principalmente utilizan rejillas en lugar de espejos en los extremos de la cavidad óptica.

1. DFB = Distributed Feed Back Laser (Láser de retroalimentación distribuida) - en el cuál la rejilla está distribuida a lo largo de todo el medio activo. La longitud de onda de la rejilla determina la longitud de onda emitida por el láser. Este láser emite radiación en una línea espectral muy estrecha.
2. DBR = Distributed Bragg Reflector (Reflector de Bragg distribuido) - en el cuál la rejilla está fuera de la región del medio activo, en un lugar por el que no pasa corriente (la parte pasiva de la cavidad).

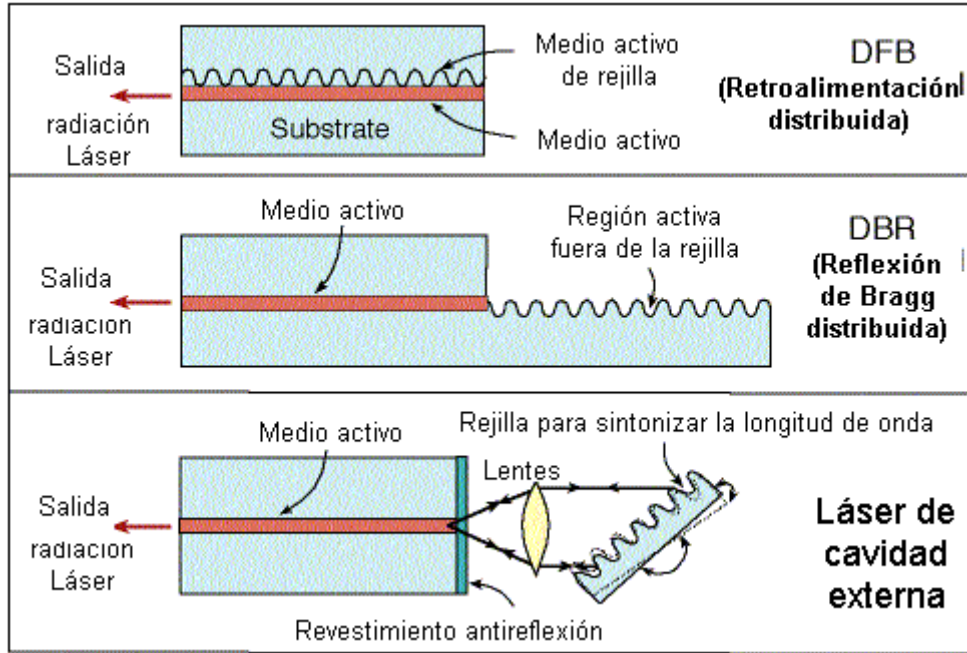


Figura 2.21 Cavidades Ópticas Especiales usadas para producir líneas de emisión estrechas en un láser de diodo.

2.2.14 Láseres de Diodo Acoplados

Existen estructuras láser especiales en las que dos láseres están ópticamente conectados. La radiación emitida por un láser se transfiere al otro, que se controla separadamente por otra fuente de corriente. Estos láseres se denominan: C^3 Diode Lasers = Cleaved Coupled Cavity Diode Lasers (Láseres de diodo acoplados de cavidad horadada) [9].

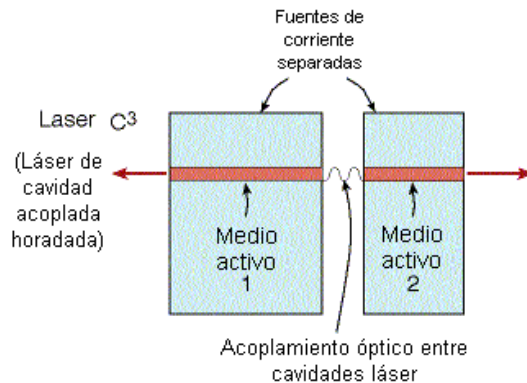


Figura 2.22 Láser C^3 de Diodos Acoplados de Cavidad Horadada.

2.2.15 Comparación del diodo láser con el diodo LED

La aplicación básica que se le ha dado al diodo LASER es como fuente de alimentación lumínica para sistemas de telecomunicaciones vía fibra óptica. El diodo láser es capaz de proporcionar potencia óptica entre 0.005-25mW, suficiente para transmitir señales a varios kilómetros de distancia y cubren un intervalo de longitud de onda entre 920 y 1650 nm. Sin embargo para utilizar un diodo láser como fuente lumínica, es necesario diseñar un sistema de control que mantenga el punto de operación del sistema fijo, debido a que un corrimiento de este punto puede sacar al diodo fuera de operación o incluso dañarlo.

Los diodos laser tienen una dependencia de salida como función de la temperatura. Los diodos láser son más recomendables como fuentes ópticas para sistemas de comunicación con grandes separaciones entre repetidores y altas velocidades de transmisión. Se puede lograr distancias de 100Km sin repetidores con velocidades de 1 GHz.

Diferencias del diodo láser con un diodo LED:

LASER

- ❖ Más rápido
- ❖ Potencia de salida mayor
- ❖ Emisión coherente de luz
- ❖ Construcción es más compleja
- ❖ Actúan como fuentes adecuadas en sistemas de telecomunicaciones
- ❖ Modulación a altas velocidades, hasta GHz

LED

- ❖ Mayor estabilidad térmica
- ❖ Menor potencia de salida, mayor tiempo de vida
- ❖ Emisión incoherente
- ❖ Más económico
- ❖ Se acoplan a fibras ópticas en distancias cortas de transmisión
- ❖ Velocidad de modulación hasta 200MHz

Ventajas del diodo láser con un diodo LED:

- ❖ La emisión de luz es dirigida en una sola dirección.
- ❖ Un diodo LED emite fotones en muchas direcciones.
- ❖ Un diodo láser, en cambio, consigue realizar un guiado de la luz preferencial una sola dirección.

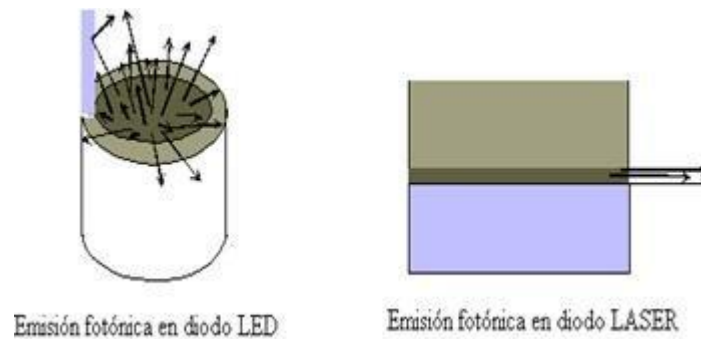


Figura 2.23 Emisión fotónica de un diodo LED y un diodo láser.

La emisión de luz láser es monocromática: Los fotones emitidos por un láser poseen longitudes de onda muy cercanas entre sí. En cambio, en la luz emitida por diodos LED, existen fotones con mayores dispersiones en cuanto a las longitudes de onda.

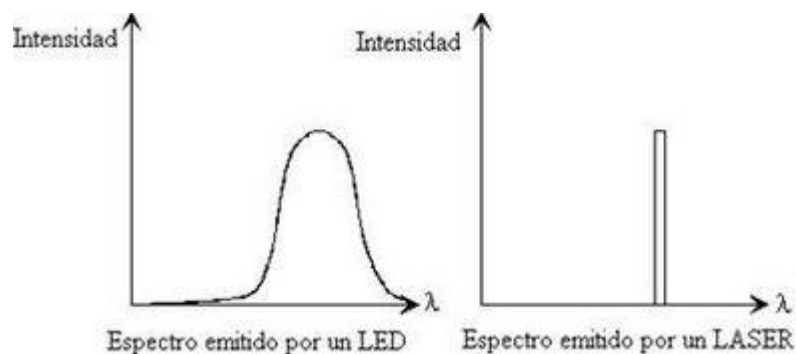


Figura 2.24 Espectros de un LED y un láser

Con el láser se pueden conseguir rayos de luz monocromática dirigidos en una dirección determinada. Como además también puede controlarse la potencia emitida, el láser resulta un dispositivo ideal para aquellas operaciones en las que sea necesario entregar energía con precisión.

Un diodo láser requiere de una fuente de alimentación de 100 a 200 mW. Se les hizo funcionar primero en el modo de pulsos en 1962. Luego se usaron en operación en onda continua (OC) en los años setentas. Los diodos láser han tenido uso extenso como emisores en comunicación por fibras ópticas de alcance corto y largo, y como sensores en los reproductores de discos de compactos (DC). Los diodos láser se modulan con facilidad, conmutando la corriente de entrada a conectado y desconectado. Los diodos láser de un solo modo, capaces de emitir de 20 a 50 mW, tienen demanda para grabación óptica, impresión a alta velocidad, sistemas de distribución de datos, transmisión de datos y comunicaciones espaciales entre satélites en órbita [11].

CAPÍTULO 3

APLICACIONES DE LOS SISMÓGRAFOS Y LOS LÁSERES ACTUALES

3.1 SISMOGRAFOS ACTUALES

Los sismógrafos actuales son muy precisos en la detección de sismos, gracias a su interacción con nuevas tecnologías, lo que es de gran ayuda para el objetivo del sismógrafo "Detectar sismos".

Se denomina acelerómetro a cualquier instrumento destinado a medir aceleraciones.

Esto no es necesariamente la misma que la aceleración de coordenadas (cambio de la velocidad del dispositivo en el espacio), sino que es el tipo de aceleración asociadas con el fenómeno de peso experimentada por una masa de prueba que se encuentra en el marco de referencia del dispositivo.

Los acelerómetros se emplean para medir vibraciones y oscilaciones en muchas máquinas e instalaciones, así como para el desarrollo de productos (p. e. de componentes o herramientas). La medición proporciona los siguientes parámetros: aceleración de la vibración, velocidad de vibración y variación de vibración. De este modo se caracterizan las vibraciones con precisión.

El principio básico del acelerómetro (como el de otros sensores) depende de un sistema de masas y resortes. La tensión y la fuerza en resortes están descritas por la ley de Hooke. Esta ley propone: "la fuerza de resistencia o la fuerza para establecer la posición de equilibrio en un resorte, es proporcional a la cantidad de fuerza al estirarlo o comprimirlo".

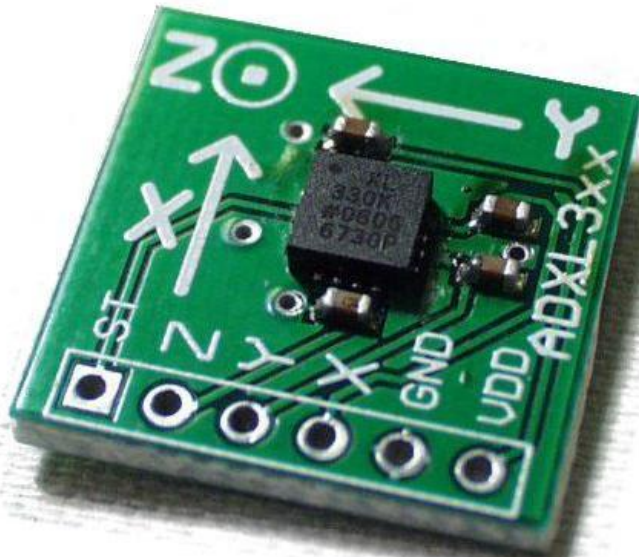


Figura 3.1 Acelerómetro ejes “X”, “Y” y “Z” [12].

Características

• Sensibilidad:	100 ± 5 %	mV/g
• Respuesta frecuencial:		
± 10% →	0,3 - 14.000	Hz
± 3 dB →	0,13 - 22.000	Hz
• Frecuencia de resonancia:	> 23	kHz
• Ruido (típico): a 10 Hz →	3	µg/√ Hz
a 100 Hz →	1	µg/√ Hz
• Impedancia de salida:	< 130	Ω
• Tensión Bias de Salida	12 a 14	V
• Alimentación:	2 - 20	mA cc
• Margen de amplitud:	± 55	g
• Aceleración máxima sin rotura:	4000	g

Condiciones ambientales

• Margen de temperatura de funcionamiento:	-20 a 120	°C
--	-----------	----

Características físicas

• Dimensiones:	4,5 x Ø1,9	cm
• Peso sin cable:	65,5	g
• Material carcasa:	Acero inoxidable	
• Tornillo de montaje (desmontable):	M8	

Figura 3.2 Características del Acelerómetro.

3.2 APLICACIONES DEL SISMÓGRAFO.

Los sismógrafos actualmente no solo son utilizados para detección de sismos y terremotos, su campo de aplicación es bastante extenso a medida de que en el mundo actual se realizan trabajos donde es muy común producir ondas sísmicas o vibraciones como por ejemplo:

En explotaciones mineras, canteras, construcción de obras públicas, demoliciones, etc.

3.2.1 Vibrometros (sismómetros) en equipos celulares.



Figura 3.3 Aplicación del vibrometro en equipos celulares [13].

Mide la vibración del teléfono o un terremoto con tu teléfono.

Vibration Meter es la parte 4 del paquete Smart Tools (Sismógrafo, sismómetro, temblor del cuerpo).

Con esta aplicación puedes medir la vibración del teléfono o un terremoto usando los sensores del teléfono, mostrando una referencia, como en un detector sísmico.

Los valores medidos se rigen por la escala de Intensidad de Mercalli Modificada (MMI). Si la medición no es precisa puedes calibrarla de forma de que el valor máximo esté sobre 10-11.

3.2.2 Sismógrafo en computadores.

Si eres de los afortunados poseedores de un MacBook o un MacBook pro, SeisMac es una aplicación que aprovecha los sensores de movimiento incluidos en el interior de este equipo portátil y lo convierte en un auténtico sismógrafo.

El movimiento al que está siendo sometido el ordenador se representa mediante tres gráficas que equivalen a las diferentes coordenadas espaciales: desplazamiento horizontal (eje X), desplazamiento vertical (eje Y) y profundidad (eje Z).

No es necesario que haya un terremoto para comprobar el funcionamiento del programa, basta con acercarlo a un altavoz, golpear la mesa o agitarlo para observar la evolución de los gráficos.

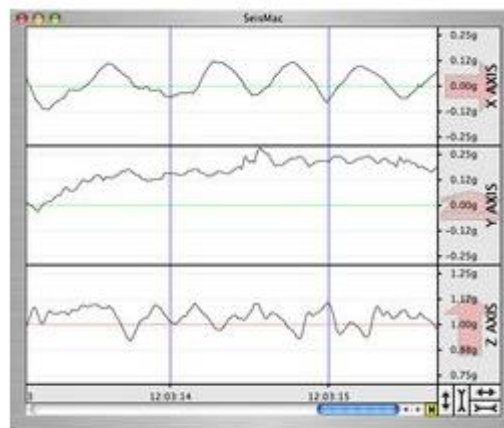


Figura 3.4 Sismograma dado por la aplicación en el computador [14].

3.2.3 Sismógrafo para el hogar Quakealarm.

QuakeAlarm es el único detector de terremotos para el hogar y la oficina en Perú. Detecta la onda sísmica 'P' que no genera movimiento sensible y nos permite ganar segundos valiosos para buscar a los niños, cerrar las llaves del gas, evacuar el hogar y/o ponernos a buen recaudo. Usa el mismo principio que usan todos los sismógrafos a nivel mundial.



Figura 3.5 Sismógrafo diseñado para el hogar [15].

3.2.4 Sismógrafo con acelerómetro programable.

La instalación utiliza un bajo consumo de energía CompuLab fit-PC2. Normalmente se consume menos de 10 vatios, pero el disipador de calor es una buena idea, ya que se está ejecutando en mi garaje, que puede ir mucho más allá de las temperaturas normales de trabajo de un ordenador. Puedo conectar el Arduino micro controlador a este equipo a través de un cable USB. Toda la configuración se une a mis UPS para asegurarse de que continúa la grabación durante un corte de energía, lo cual es posible después de fuertes terremotos.



Figura 3.6 Una imagen de la computadora registro de los datos. Es realmente pequeño.



Figura 3.7 El sensor en una caja de aluminio con un LED que muestra a través de la parte superior de una mesa de nivelación pequeño. La luz es azul. Así que ha de detección de la gravedad en el eje Z.

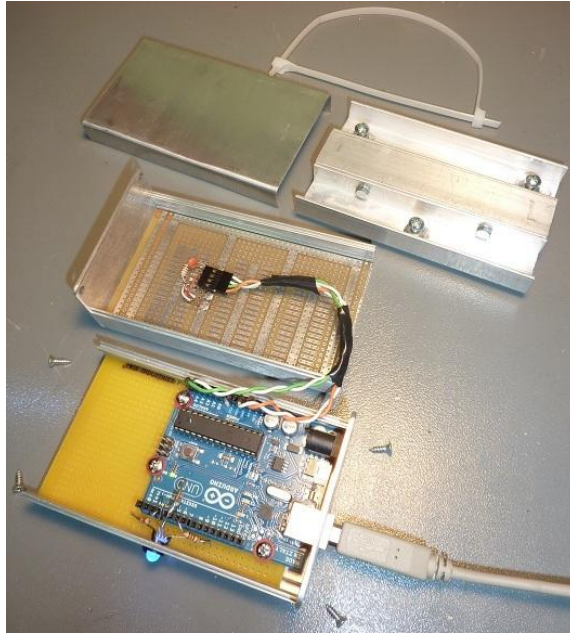


Figura 3.8 El interior del sensor sismómetro.

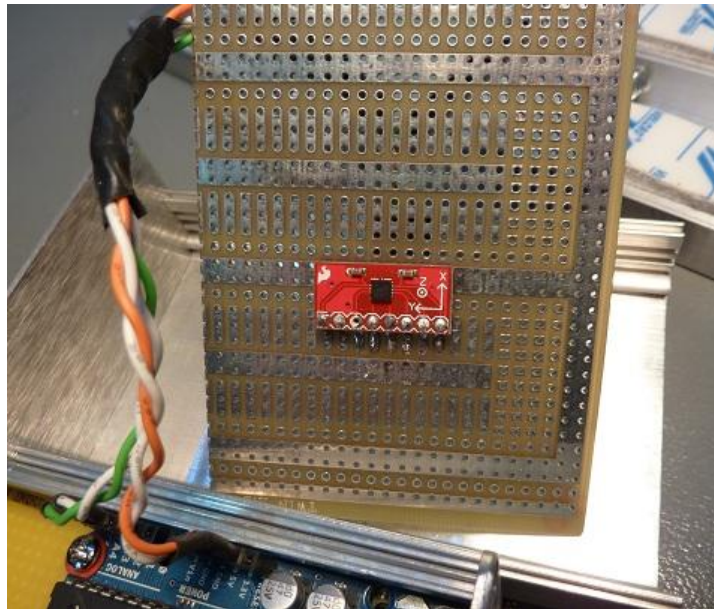


Figura 3.9 El acelerómetro BMA180.

3.3 LASERES ACTUALES Y SUS APLICACIONES.

3.3.1 El laser de rubí.

Históricamente éste fue el primer láser que funcionó en el mundo. Fue construido por Theodore Maiman en 1960, quien usó como medio activo un cristal de rubí sintético.

Aplicaciones.

Este láser ha sido utilizado con éxito en aplicaciones industriales, militares, médicas y científicas. No obstante, hay que mencionar que debido a lo costoso y complicado de fabricación de las barras sintéticas de rubí, desde hace algunos años este tipo de láser ha sido desplazado por láseres similares en concepción y diseño que utilizan como centros activos iones de neodimio. La diferencia básica entre ambos láseres está en la longitud de onda de emisión: en el láser de rubí es de 0.6943 μm y en el de neodimio de 1.064 μm . Por lo tanto, prácticamente en todas las aplicaciones que a continuación se describen debemos tener en mente que se puede usar indistintamente un láser de rubí o uno de neodimio.

Entre sus aplicaciones industriales destaca su uso en la micro perforación, así como en la producción de componentes electrónicos de precisión, como por ejemplo resistencias, en las cuales es necesario volatilizar muy pequeñas cantidades de material para fabricar resistencias de muy alta precisión.

En el campo de la industria militar, estos láseres han sido utilizados como "marcadores de blanco". Con un láser de baja potencia de este tipo se apunta hacia el objetivo que se desea destruir; en seguida un misil o cohete con un sensor adecuado, diseñado para identificar el lugar en donde el láser está siendo apuntado se dirige a dicho lugar y logra así la destrucción del objetivo.

Entre las aplicaciones médicas se puede mencionar su uso en el tratamiento de problemas dermatológicos y tumores cancerosos, y su uso como cauterizador o bisturí láser.

Ya que la radiación producida por este láser puede propagarse a través de fibras ópticas, es posible realizar en forma simple, segura y sin muchas molestias para el paciente,

intervenciones en el estómago para el tratamiento de úlceras, o en las venas para destruir obstrucciones que podrían causar serios problemas circulatorios. En ambos casos dichas operaciones pueden realizarse en cuestión de minutos, y no requieren hospitalización ni cirugía mayor.

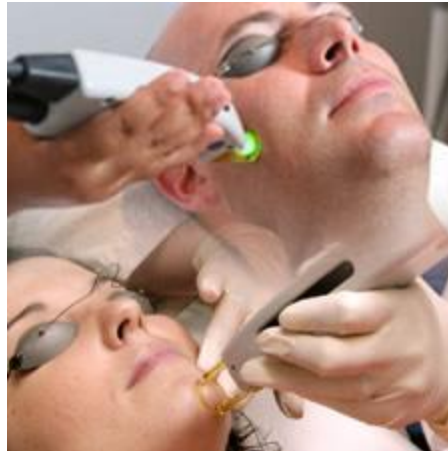


Figura3.10 Tratamiento dermatológico con laser.

Otra importante aplicación de estos láseres se encuentra en el mercado de productos de venta con logotipos comerciales, la cual se muestra esquemáticamente en la siguiente figura.

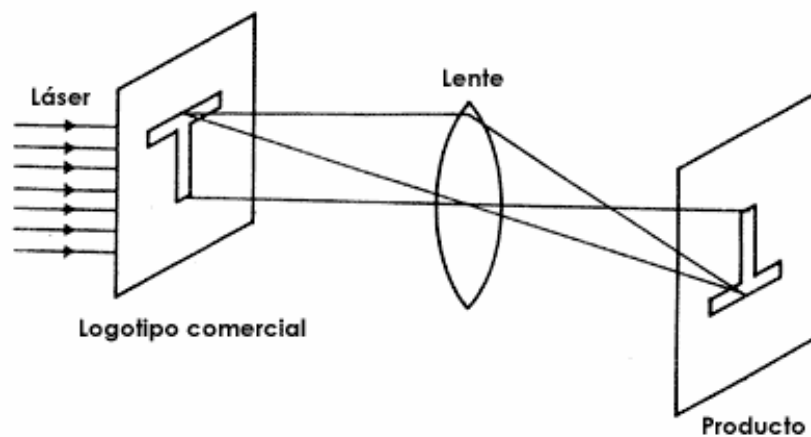


Figura 3.11 Esquema del grabado con laser.

3.3.2 Laser de helio-neón.

El láser de helio-neón fue el primer láser de gas que se construyó. Actualmente sigue siendo muy útil y se emplea con mucha frecuencia. Los centros activos de este láser son los átomos de neón, pero la excitación de éstos se realiza a través de los átomos de helio. Una mezcla típica de He-Ne para estos láseres contiene siete partes de helio por una parte de neón.

Generalmente estos láseres operan a una longitud de onda de $0.6328 \mu\text{m}$, y las potencias típicas de salida son de 1 a 50 mW de potencia continua.

Aplicaciones.

Este láser es sin duda alguna uno de los más ampliamente utilizados tanto en investigación básica como para fines didácticos o industriales que no requieran altas potencias luminosas.

Sus principales aplicaciones se presentan en el campo de la metrología, la holografía. Y la interferometría holográfica, por ejemplo, en la realización de pruebas mecánicas no destructivas para verificar el estado de fatiga de tanques de alta presión, estructuras mecánicas y llantas de avión. De este modo, utilizando una simple prueba óptica se puede saber la resistencia y confiabilidad que un elemento mecánico puede tener. En la industria naval y aeroespacial, entre algunas otras, este tipo de pruebas introducen un factor de seguridad nunca antes imaginado.

Los láseres de He-Ne han sido también utilizados con éxito en algunas aplicaciones médicas; en dermatología para el tratamiento de manchas en la piel, o como auxiliares para estimular la regeneración de tejido en cicatrices.

3.3.3 El laser de argón ionizado.

Entre estos láseres, el de argón ionizado es el que más se utiliza, debido a sus intensas líneas de emisión en la región azul-verde del espectro electromagnético y a la relativa alta potencia continua que se puede obtener de él.

Aplicaciones.

Su uso en foto impresión y litografía está muy difundido, así como en el mercado de logotipos comerciales.

Actualmente este tipo de láseres son extensamente utilizados en el estudio de la cinética de reacciones químicas y en la excitación selectiva de éstas. Hay algunas reacciones químicas que sólo se producen en presencia de radiación láser o cuya rapidez puede incrementarse notablemente cuando los reactantes son irradiados con luz láser de longitud de onda apropiada. En el primer caso podemos obtener sustancias que de otro modo sería difícil obtener y en el segundo caso se tiene la posibilidad de incrementar la productividad de algunas industrias químicas.

Otro importante campo de aplicación de estos láseres está en el área médica. En particular destacan sus aplicaciones en oftalmología para la fotocoagulación y "soldadura" de pequeñas áreas. El ojo es transparente a la luz entre aproximadamente 0.38 y 1.4 μ m. A menores longitudes de onda el cristalino y la córnea absorben la radiación y a mayores longitudes de onda son las moléculas de agua presentes en el ojo las que absorben la luz. Por medio de radiación láser es posible en la actualidad tratar casos de desprendimiento de retina. Como se muestra en la figura 3.8 el haz láser es focalizado en la retina por el propio cristalino del paciente.

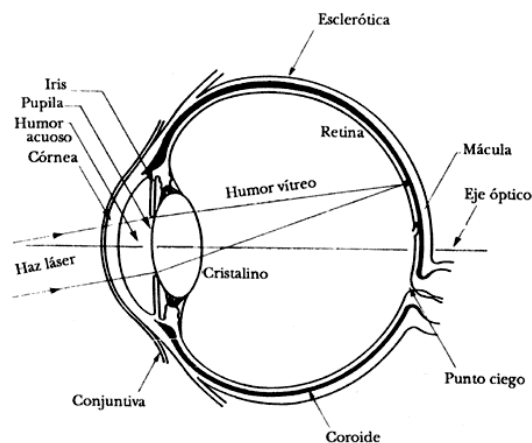


Figura 3.12 Esquema operación ocular con laser.



Figura 3.13 Operación ocular con laser.

3.3.4 Laser de bióxido de carbono.

El medio activo en este láser es una mezcla de bióxido de carbono (CO_2), nitrógeno (N_2) y helio (He), aunque las transiciones láser se llevan a cabo en los niveles energéticos del CO_2 .

Aplicaciones.

Las altas potencias proporcionadas por estos láseres han difundido su aplicación a varios procesos de manufactura y se ha logrado hacer eficiente la producción bajando al mismo tiempo los costos.

Algunas de las principales aplicaciones de los láseres de CO_2 están en la industria metal-mecánica, plástica y textil, entre muchas otras. Son usados en el endurecimiento de metales así como en corte, soldadura y perforación. El cuadro III.2 ilustra la aplicación de este tipo de láseres en el corte de diversos materiales. En la mayoría de estas aplicaciones el uso del láser está sincronizado con elementos automáticos o computarizados tales como robots. De esta forma el corte de complicados diseños en diversos materiales puede realizarse en forma rápida y precisa. Hoy en día son ya: innumerables las industrias que utilizan robots-láser en sus líneas de producción, como la industria electrónica y la automotriz.

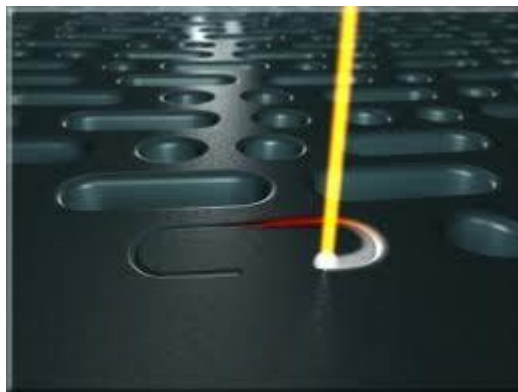


Figura 3.14 Corte con laser.



Figura 3.15 Grabado con laser.

Además de estas aplicaciones industriales, destacan las aplicaciones médicas del láser de CO_2 . Esto es debido a que la radiación láser emitida de $10.6 \mu\text{m}$ es fuertemente absorbida por las moléculas de agua. Dado que el cuerpo humano está compuesto en más del 80% por estas moléculas, al hacer incidir dicha radiación en el tejido humano ésta es rápidamente absorbida.

Al focalizar esta radiación en un tejido se produce una fina quemadura, cuya profundidad (para un sistema de focalización dado) puede controlarse variando la potencia del láser, lo cual constituye el principio de operación del bisturí láser. Las aplicaciones de este instrumento en cirugía general están ampliamente difundidas en la actualidad.

Una importante ventaja que tiene sobre los bisturíes convencionales radica en que con el láser al mismo tiempo que se corta se está cauterizando; de este modo, es posible realizar complicadas intervenciones quirúrgicas sin gran pérdida de sangre y con mayor rapidez.

Aparte de las aplicaciones quirúrgicas del láser de CO_2 destacan sus aplicaciones en dermatología, ginecología, proctología y, recientemente odontología.

3.3.5 El láser de gas dinámico de CO_2 .

En el láser de gas dinámico la radiación láser es producida al enfriar rápidamente una mezcla de gas precalentado que fluye a lo largo de una tobera hasta la cavidad del resonador.

Un láser dinámico de CO_2 utiliza mezclas gaseosas de CO_2 : N_2 : H_2O en una relación típica de 0.8:9: 0.2 respectivamente. Un requisito esencial de estos láseres es que el tiempo de paso de la mezcla gaseosa a través de la tobera debe ser menor que el tiempo de vida del CO_2 y del N_2 en sus estados excitados.

La figura 3.12 muestra esquemáticamente el diagrama de un láser de gas dinámico de CO_2 .

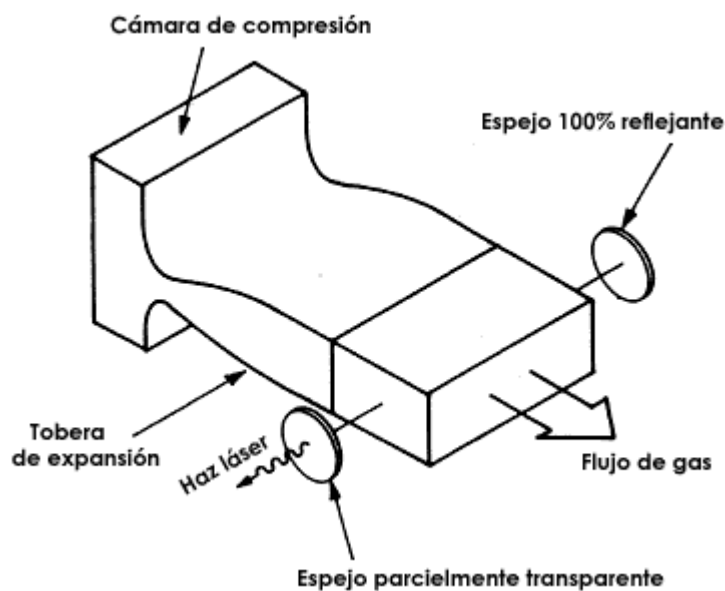


Figura 3.16 Diagrama de un láser de gas dinámico de CO_2 .

Aplicaciones.

En virtud de las altas potencias que se pueden alcanzar con estos láseres, sus aplicaciones son importantes y variadas, destacan aplicaciones en la industria metal-mecánica para soldadura, corte y tratamiento de materiales.

Por ejemplo, en la industria naval y aeroespacial es utilizado para el corte de placas metálicas con alta precisión, en donde la manipulación y control del láser se realiza por medio de robots y computadoras. Debido a su alta potencia, las aplicaciones militares de estos láseres también han sido objeto de estudio. Destruir objetivos militares en movimiento en tierra o aire ha sido ya exitosamente realizado.



Figura 3.17 Soldadura laser.

3.3.6 Láser de electrones libres.

Un láser basado en la emisión de radiación estimulada por electrones libres no tiene las limitaciones propias de los láseres anteriormente vistos, pues los electrones libres no están sujetos a la existencia de transiciones energéticas particulares y por lo tanto pueden generar radiación electromagnética en cualquier longitud de onda del espectro. Este tipo de láseres utilizan como medio activo un haz de electrones que se mueve con velocidades cercanas a la de la luz. Debido a esto se le llama *haz relativista de electrones*.

Podemos describir un láser de electrones libres como un instrumento que convierte la energía cinética de un haz relativista de electrones en radiación láser.

Aplicaciones.

La mayoría de las aplicaciones de este tipo de láseres están apenas en investigación, pero por su utilidad destacan las relacionadas con el campo médico. Por otra parte, aplicaciones militares relacionadas con el proyecto de la iniciativa de defensa estratégica estadounidense, mejor conocida como "La Guerra de las galaxias", siguen en estudio. Uno de los objetivos es desarrollar sistemas láser colocados en la Tierra o en el espacio, capaces de destruir misiles nucleares. No obstante las ventajas actuales y potenciales de este tipo de láser, uno de sus mayores inconvenientes es, sin duda, su elevado costo, ya que para generar el medio activo (el haz de electrones) en la actualidad se están usando enormes y muy costosos aceleradores de partículas [16].

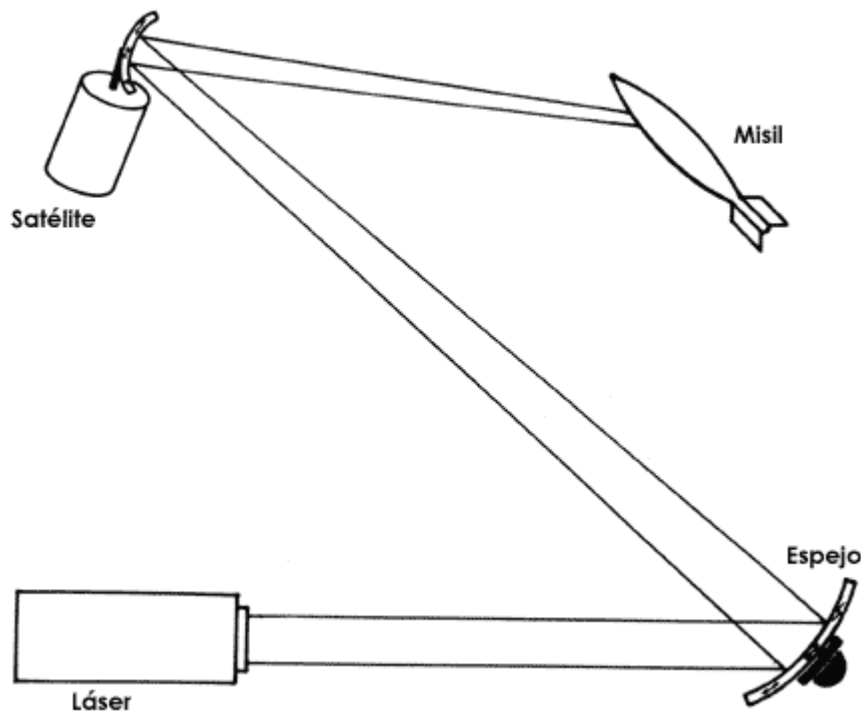


Figura 3.18 Aplicación del laser de electrones libres en la milicia.

CAPÍTULO 4
PROPUESTA DE UN
SISMÓGRAFO
IMPLEMENTÁNDOLE
UN DIODO LÁSER

4.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se hace una compilación de todos los elementos necesarios que integran el sismógrafo laser, basado en el principio de un movimiento armónico amortiguado; así como su simulación y modelado en 3D, los circuitos para su funcionamiento, el arreglo de espejos para manejar el haz de luz del diodo laser y como se podría mejorar a futuro esta propuesta que estamos generando.

Cabe mencionar que también se presenta una cotización del proyecto para alguna construcción a futuro y los costos que implica esta propuesta. Esto dependerá de las distintas tecnologías que se deseen implementar para un mejor funcionamiento del sismógrafo laser.

4.2 FUENTE DE ALIMENTACIÓN PARA DIODO LÁSER

El siguiente diagrama es la fuente de alimentación del diodo laser, esta alimentación es constante, se tiene una alimentación al circuito de 5v y con la interacción de los componentes electrónicos, se obtiene a la salida del mismo una tensión de 3v y 200 mw aproximadamente, valores necesarios para que el diodo láser funcione correctamente.

Materiales:

- ❖ 1 Resistencia de $1K\Omega$.
- ❖ 1 Potenciómetro de $1K\Omega$.
- ❖ 1 LM317 (Regulador de voltaje).
- ❖ 1 Capacitor de $1\mu F$.
- ❖ 1 Capacitor electrolítico de $1\mu F$.
- ❖ Una fuente de alimentación de 5v C.D.

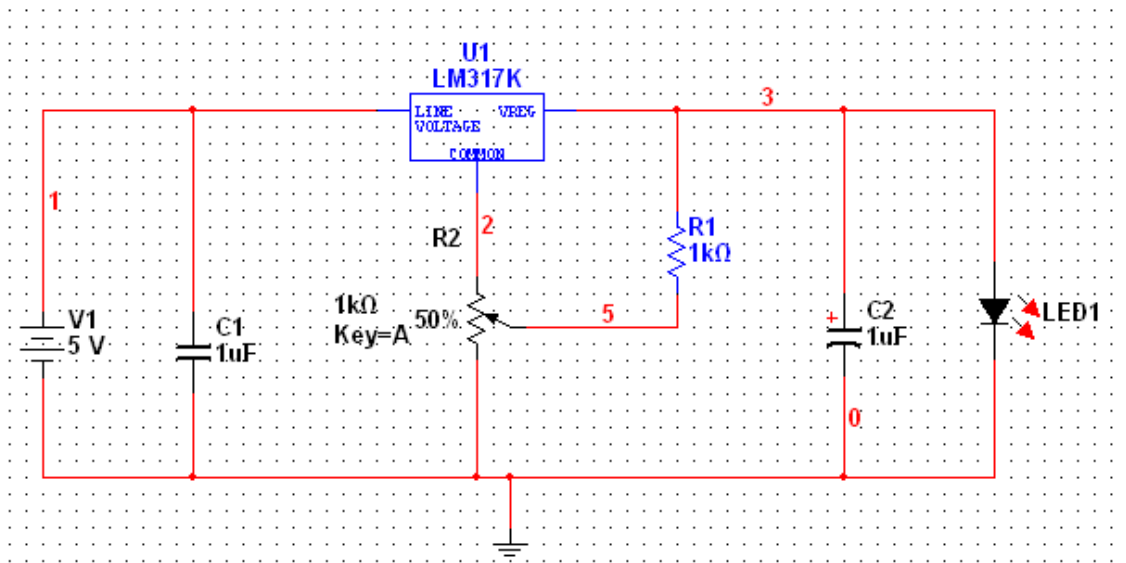


Figura 4.1 Circuito de alimentación para laser de diodo.

4.3 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL SISMOGRAFO LASER

Actualmente estos instrumentos han alcanzado un alto grado de desarrollo, pero el principio básico empleado no ha cambiado. Si tomamos en cuenta que al ocurrir un temblor el suelo se mueve, entonces para poder observar este movimiento tendríamos que estar en un punto fijo fuera de la Tierra para no sufrir nosotros mismos ese movimiento y poder detectarlo; esto obviamente es imposible. Sin embargo, es posible construir un mecanismo que pueda medir este movimiento relativo.

El mecanismo consiste de una masa suspendida de un resorte atado a un soporte acoplado al suelo; cuando el soporte se sacude al paso de las ondas sísmicas, la inercia de la masa hace que ésta permanezca un instante en el mismo sitio de reposo. Posteriormente, cuando la masa sale del reposo, oscila. El movimiento posterior del péndulo no refleja el movimiento del suelo, por lo cual se ha ideado un método para volver a la masa a su sitio original, esto es lo que se conoce como amortiguamiento del aparato. En la figura se representa el amortiguamiento como una lámina, sumergida en un líquido (comúnmente aceite).

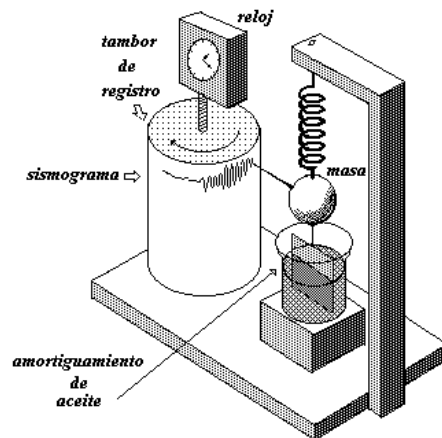


Figura 4.2. Diagrama esquemático del funcionamiento de un sismógrafo para la componente transversal de las ondas sísmicas.

Si se sujeta un lápiz de la masa suspendida para que pueda inscribir sobre un papel pegado sobre un cilindro que gira a velocidad constante, se podrá registrar sucesivamente el movimiento del suelo. El instrumento aquí descrito para detectar la componente vertical del movimiento del suelo, se conoce como sismógrafo vertical y el papel donde se inscribe se llama registro o sismograma.

4.3.1 RESORTE

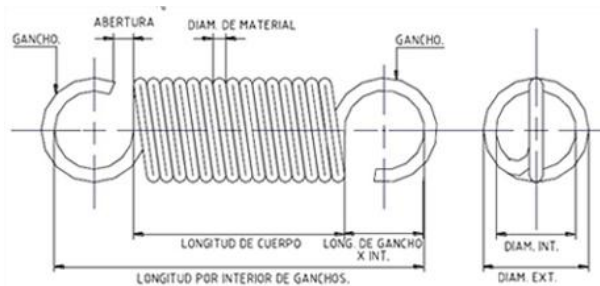


Figura 4.3 Resorte de tensión.

Los Resortes de tensión funcionan de manera contraria a los Resortes de compresión, o sea, se extienden al ejercer una fuerza en sus extremos. Se utilizan para absorber o almacenar energía, ejercer fuerzas, proporcionar flexibilidad.

Normalmente los resortes de tensión son fabricados en alambre redondo (desde aceros al carbón hasta aceros inoxidables o aleaciones especiales) y con las espiras cerradas con

tensión inicial, aunque algunas veces se requieren con espiras abiertas sin tensión inicial. Los resortes de tensión se fabrican con diferentes terminales o ganchos para ensamble dependiendo de cada aplicación.

Un alambre helicoidal de acero se puede extender casi al doble sin que pierda sus propiedades flexibles, mientras que un tornillo del mismo acero deja de ser elástico y se deforma si se le aplica una carga que produzca una deformación de un 0.4%.

Las formulas para los resortes de tensión y compresión son las mismas, solo que en los primeros también se debe tomar en cuenta la resistencia del gancho [17].

MATERIALES PARA RESORTES

- ❖ Alambre para cuerda musical (0.8 – 0.9 C), es el más utilizado para resortes pequeños, se fabrica en diámetros de 0.12 a 3 mm. Temperatura máxima de uso 120 °C.
- ❖ Alambre revenido en aceite de uso general es más económico que el de cuerda musical. No se emplea con cargas de impacto o choque, se fabrica en diámetros de 3 – 12mm, no se usa a mas de 180 °C.
- ❖ Alambre estirado duro 0.6 – 0.7 C de uso general y de menor costo produce resortes de menos calidad, no se usa a mas de 120 °C.
- ❖ Acero al cromo vanadio, produce resortes durables y de alta resistencia a la fatiga así como para cargas de impacto, se usa en válvulas para motores de aviación resiste temperaturas de hasta 220°C.
- ❖ Acero al cromo silicio para resortes de larga duración sometidos a cargas de choque resiste hasta 250°C.

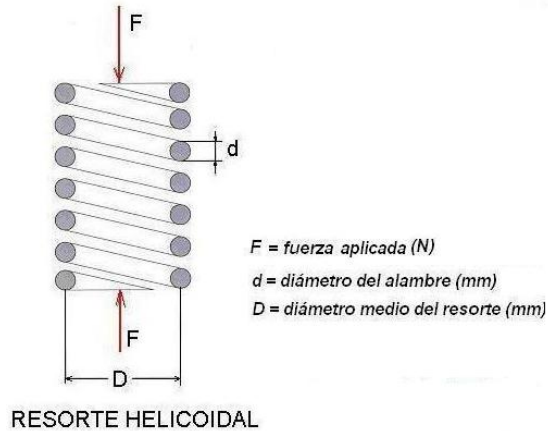


Figura 4.4 Resorte helicoidal [18]

4.3.2 MASA

Los sismógrafos que se emplean actualmente tienen, en general, masas que pueden ser de unos gramos hasta de 100 kg y los sismógrafos antiguos de amplificación mecánica solían tener grandes masas con el fin de vencer las fuerzas de rozamiento, tal es el caso del sismógrafo horizontal *Wiechert* de 17 000 kg de la Estación Sismológica de Tacubaya.

4.3.3 AMORTIGUAMIENTO

Los amortiguadores viscosos y los amortiguadores viscoelásticos son clasificados como mecanismos de amortiguamiento viscoso. Estos amortiguadores utilizan materiales viscosos o viscoelásticos. Los amortiguadores viscosos utilizan la resistencia viscosa, el cual opera como una función de la velocidad. Los amortiguadores viscoelásticos aprovechan la deformación de corte de materiales basados en polímeros altamente disipativos.

Estos sistemas pueden funcionar para niveles de vibración muy pequeños comparados con los mecanismos de histéresis. El efecto de amortiguamiento por unidad de volumen del dispositivo es limitado y por ello, estos amortiguadores deben ser grandes para compensar. Las funciones de los mecanismos de amortiguamiento viscoso son también afectados por factores como la temperatura y la velocidad de vibración. Durante el diseño de los amortiguadores se debe investigar la capacidad de deformación y amortiguamiento de éstos, bajo condiciones de temperatura locales. Debido a que la temperatura de los materiales viscosos y viscoelásticos se elevan bajo repetidos ciclos de carga, los efectos de

amortiguamiento descienden, es por ello que pueden ser necesario la utilización de placas de acero con gran capacidad térmica u otras medidas de resistencia al calor en el dispositivo. Los mecanismos de amortiguamiento viscoso requieren mantenimiento, tales como cambios de aceite de los amortiguadores de aceite, para prevenir la deterioración.

4.3.4 MOVIMIENTO ARMÓNICO AMORTIGUADO

La esfera que está sumergida en el líquido tiene masa despreciable. El resorte tiene una constante k , y el cubo es de masa m . Al estar sumergida en un fluido, la esfera se encuentra sometida a fuerzas de fricción por viscosidad que son proporcionales a la velocidad del cuerpo.

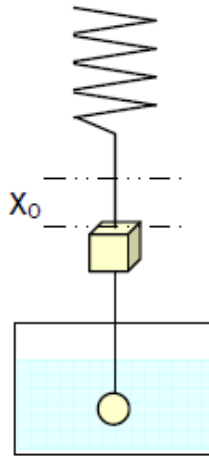


Figura 4.5 Sistema de un movimiento armónico amortiguado

Cuando al bloque se le suministra un impulso inicial, el sistema comienza a oscilar, pero la fricción hace que vaya perdiendo energía y que la amplitud de las oscilaciones disminuya, hasta detenerse totalmente. Como la fuerza de fricción siempre se opone al sentido del movimiento, el diagrama de fuerzas en un instante determinado es el de la figura 4.6 [19].

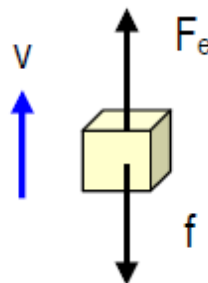


Figura 4.6 Diagrama de fuerzas en un instante determinado.

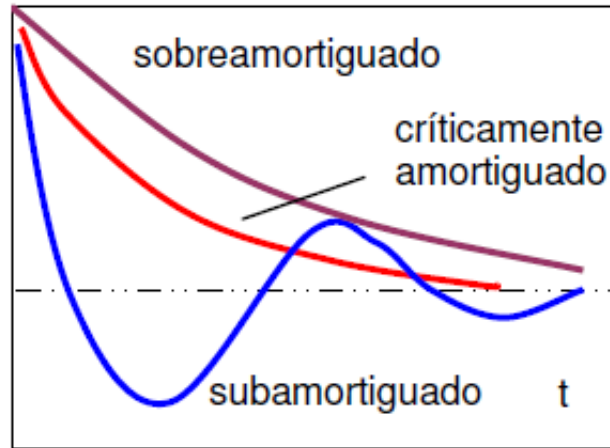


Figura 4.7 Gráficas de oscilaciones de un sistema amortiguado

4.4 ÓPTICA DE ESPEJOS DENTRO DEL SISMÓGRAFO LASER

Un rayo láser puede ser reflejado en casi cualquier número de espejos y mantener su fuerza visual. Con un poco de práctica y suficiente superficie brillante, puede reflejar un rayo láser a través de la totalidad del hogar y a un señalar un objetivo del tamaño de la cabeza de un alfiler. Dado que el proceso científico actual de reflexión láser altamente precisa requiere muchos cálculos, tener una versión simplificada como ésta cerca es probablemente una buena idea.

Consejos y advertencias

- ❖ Los láseres con una potencia mayor pueden ir aún distancias más largas sin que se aprecie debilidad.
- ❖ Aún los láseres de baja potencia pueden causar daño y para darle al ojo humano así que utiliza protección para los ojos apropiara todo el tiempo cuando estás trabajando cerca de ellos.

Rayo láser

Se usa un emisor láser de tipo común. Al apuntar con el emisor a una superficie se puede observar un punto rojo que corresponde a la incidencia del rayo láser sobre esa superficie. Si se espolvorea un polvo entre el emisor y el punto se puede observar el rayo láser debido a la reflexión del mismo en las partículas de polvo.

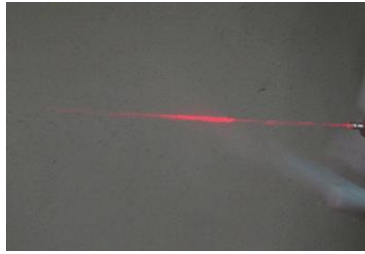


Figura 4.8 Rayo de luz láser.

Rayo láser dentro de una caja

Se utiliza una caja de vidrio transparente dentro de la cual se coloca un poco de humo. Desde la parte externa de la caja se activa un emisor láser de tipo común, se puede observar el rayo solamente dentro de la caja fuera de ella no se percibe.

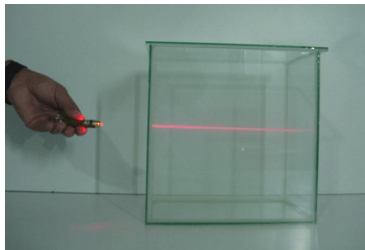


Figura 4.9 Rayo láser dentro de una caja.

Trayectoria de la luz en una superficie transparente

En una pecera que contiene humo se coloca un vidrio transparente en posición vertical. Al hacer incidir un rayo láser, formando un ángulo con la superficie de transparente, se puede observar que parte del rayo atraviesa la superficie y otra parte se refleja en la misma, siendo de menor intensidad el rayo reflejado.

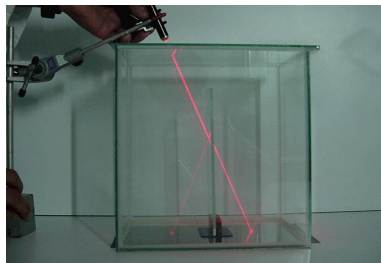


Figura 4.10 Trayectoria de la luz en una superficie transparente.

Trayectoria de la luz en una superficie semitransparente

En una pecera que contiene humo se coloca un vidrio semitransparente en posición vertical. Al hacer incidir un rayo láser, formando un ángulo con la superficie semitransparente, se puede observar que parte del rayo atraviesa la superficie y otra parte se refleja en la misma, siendo de mayor intensidad el rayo reflejado.

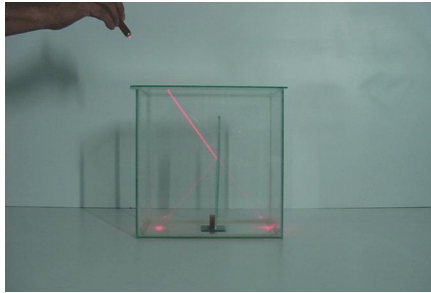


Figura 4.11 Trayectoria de la luz en una superficie semitransparente.

Trayectoria de la luz en una superficie no transparente opaca

En una pecera que contiene humo se coloca una superficie no transparente opaca en posición vertical. Al hacer incidir un rayo láser, formando un ángulo con esa superficie, se puede observar que el rayo no se refleja.

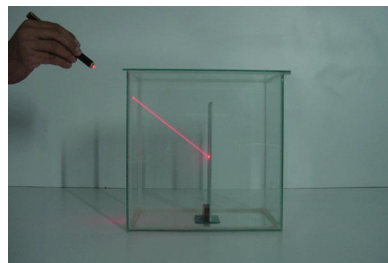


Figura 4.12 Trayectoria de la luz en una superficie no transparente opaca.

Trayectoria de la luz en una superficie no transparente reflectante

En una pecera que contiene humo se coloca un espejo en posición vertical. Al hacer incidir un rayo láser, formando un ángulo con esa superficie no transparente, se puede observar que el rayo se refleja.

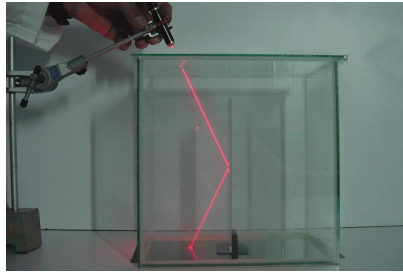


Figura 4.13 Trayectoria de la luz en una superficie no transparente reflectante.

Reflexión especular de la luz

Se utiliza una pecera que contiene un poco de humo. Al hacer incidir un rayo láser, proveniente de un apuntador, sobre un espejo colocado en su base, se puede observar que el rayo se refleja de forma nítida.

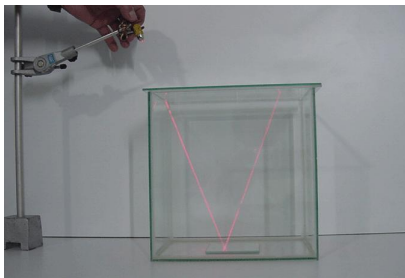


Figura 4.14 Reflexión especular de la luz.

Ley de la Reflexión de la Luz

Se utiliza una pecera que contiene un poco de humo. Al hacer incidir un rayo láser, proveniente de un apuntador, sobre un espejo colocado en su base, se puede observar que el ángulo del rayo incidente es igual al ángulo del rayo reflejado.

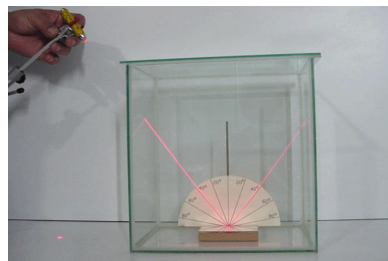


Figura 4.15 Ley de la reflexión de la luz.

Doble reflexión en espejos que forman 90°

Se dispone de dos pequeños espejos que forman 90° entre sí y se encuentran ubicados dentro de una caja de vidrio transparente con humo. Al hacer incidir un haz de rayo láser en uno de los espejos y ajustarlo de tal manera que se refleje en el otro, se puede observar que el rayo de la segunda reflexión es paralelo al rayo incidente.

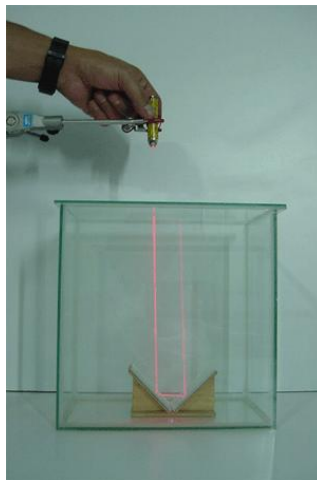


Figura 4.16 Doble reflexión en espejos que forman 90°.

Doble reflexión en espejos que forman 120°

Se dispone de dos pequeños espejos que forman 120° entre sí y se encuentran ubicados dentro de una caja de vidrio transparente con humo. Al hacer incidir un haz de rayo láser en uno de los espejos y ajustarlo de tal manera que se refleje en el otro, se puede observar que el rayo de la segunda reflexión es divergente con respecto al rayo incidente.

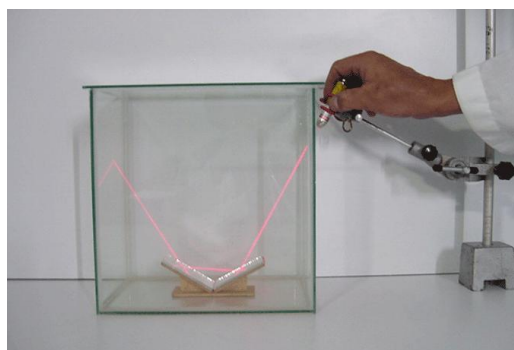


Figura 4.17 Doble reflexión en espejos que forman 120°.

Doble reflexión de la luz 45°

Se dispone de dos pequeños espejos que forman 45° entre sí y se encuentran ubicados dentro de una caja de vidrio transparente con humo. Al hacer incidir un haz de rayo láser en uno de los espejos y ajustarlo de tal manera que se refleje en el otro, se puede observar que el rayo de la segunda reflexión es convergente con el rayo incidente, formándose un triángulo de rayos láser entre los espejos [20].

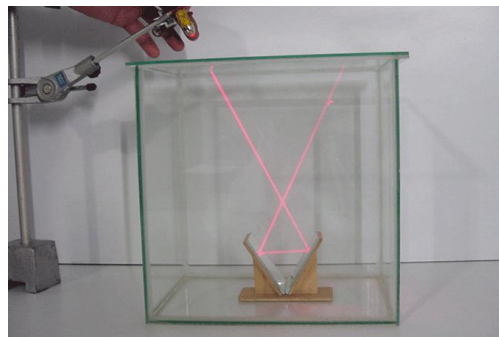


Figura 4.18 Doble reflexión de la luz 45°.

4.5 RECEPTORES OPTICOS DE RAYOS LASER

4.5.1 Fotodiodo

El fotodiodo se puede utilizar como dispositivo detector de luz, pues convierte la luz en electricidad y esta variación de electricidad es la que se utiliza para informar que hubo un cambio en el nivel de iluminación sobre el fotodiodo.

La mayoría de los fotodiodos vienen equipados con un lente que concentra la cantidad de luz que lo incide, de manera que su reacción a la luz sea más evidente.

A diferencia del LDR o fotorresistencia, el fotodiodo responde a los cambios de oscuridad a iluminación y viceversa con mucha más velocidad, y puede utilizarse en circuitos con tiempo de respuesta más pequeño.



Figura 4.19 Fotodiodos.



Figura 4.20 Símbolo del fotodiodo.

4.5.1.1 Matriz de fotodiodos

Órdenes del fotodiodo (PDA) para los usos científicos. Las series de WS y del HS del semiconductor del AMI son dos familias distintas de órdenes explorados uno mismo linear del fotodiodo. Estos sensores del fotodiodo emplean la imagen propietaria del Cmos del semiconductor del AMI que detecta tecnología para integrar los sensores en una sola viruta monolítica. Se diseñan óptimo para los usos en espectroscopia y CLAR [21].

Características

- ❖ Capacidad de la saturación 65pC para el rango dinámico ancho
- ❖ Respuesta espectral amplia (180 - 1000nm) para la respuesta ULTRAVIOLETA y del IR
- ❖ Fotodiodos de la ensambladura de NP con resistencia superior al daño ULTRAVIOLETA
- ❖ Corriente oscura baja
- ❖ Tiempo de integración hasta nueve segundos en la temperatura ambiente
- ❖ Tiempo de integración prolongado a las horas refrescándose
- ❖ Altas linealidades
- ❖ Disipación de las energías bajas (menos que 1mW)
- ❖ Estructura geométrica para la estabilidad y el registro realzados
- ❖ Paquete dual-in-line del IC del plomo del estándar 22

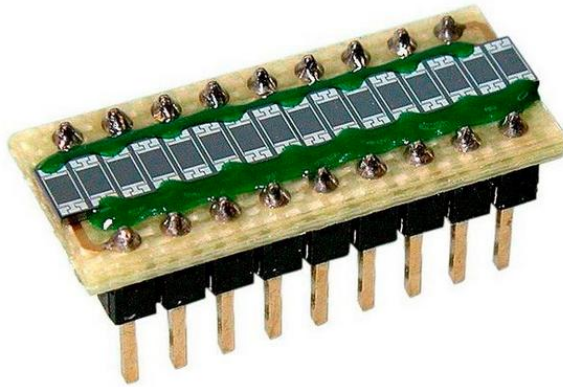


Figura 4.21 Matriz de fotodiodos.

4.5.2 Fototransistor

Se llama fototransistor a un transistor sensible a la luz, normalmente a los infrarrojos. La luz incide sobre la región de base, generando portadores en ella. Esta carga de base lleva el transistor al estado de conducción. El fototransistor es más sensible que el fotodiodo por el efecto de ganancia propio del transistor.

Un fototransistor es igual a un transistor común, con la diferencia que el primero puede trabajar de 2 formas:

1. Como transistor normal con la corriente de base I_b (modo común).
2. Como fototransistor, cuando la luz que incide en este elemento hace las veces de corriente de base. I_p (modo de iluminación).
3. Puede utilizarse de las dos en formas simultáneamente, aunque el fototransistor se utiliza principalmente con el pin de la base sin conectar.

En el mercado se encuentran fototransistores tanto con conexión de base como sin ella y tanto en cápsulas plásticas como metálicas provistas de una lente.

Se han utilizado en lectores de cinta y tarjetas perforadas, lápices ópticos, etc. Para comunicaciones con fibra óptica se prefiere usar detectores con fotodiodos p-i-n. También se pueden utilizar en la detección de objetos cercanos cuando forman parte de un sensor de proximidad.

Se utilizan ampliamente encapsulados conjuntamente con un LED, formando interruptores ópticos (opto-switch), que detectan la interrupción del haz de luz por un objeto. Existen en dos versiones: de transmisión y de reflexión.

Para obtener un circuito equivalente de un fototransistor, basta agregar a un transistor común un fotodiodo, conectando en el colector del transistor el cátodo del fotodiodo y el ánodo a la base [22].



Figura 4.22 Fototransistor.



Figura 4.23 Símbolo electrónico del fototransistor.

Tabla 4.1 Materiales usados en los fototransistores

Material	Longitud de onda del espectro electromagnético rango (nm)
Silicio	190–1100
Germanio	400–1700
Arseniuro de galio indú	800–2600
Sulfuro de plomo (II)	<1000–3500

4.6 PERTURBACIONES DENTRO DEL PROYECTO

4.6.1 Ruido

Se define al ruido como una señal no deseada al momento de realizar alguna medición. Específicamente en el caso de un sensor sísmico tiene dos orígenes el ruido: El ruido provocado por las vibraciones que produce la tierra y el ruido electrónico, que es producido por el dispositivo o instrumento electrónico, a continuación se detallaran estas fuentes de ruido para saber identificarlas y poder evitarlas al momento de poner en marcha al sensor.

4.6.2 Ruido sísmico

El ruido es la energía sísmica incoherente, la cual no está relacionada con la energía de reflexión del subsuelo. Generalmente esta energía enmascara reflexiones coherentes, y muchas veces se confunde con la señal deseada. La energía sísmica incoherente (ruido) es producida por diferentes factores y la podemos clasificar de la siguiente forma:

- ❖ Onda de Aire
- ❖ Onda de tierra
- ❖ Repetición de la Onda refractada
- ❖ Ruido aleatorio
- ❖ Ruido sobrepuesto

Además de los factores que afectan a las amplitudes, tales como:

- ❖ Efectos de absorción y dispersión de la energía
- ❖ Deficiente acoplamiento de los receptores
- ❖ Eventualmente deficiente Balanceo de la dinámica de la fuente de energía

4.6.3 Ruido electrónico

En los dispositivos electrónicos el ruido consiste en fluctuaciones aleatorias de la corriente eléctrica a través de un conductor, causadas por el hecho de que la corriente se transporta en cargas discretas (electrones). Esto no sólo ocurre en las uniones p-n, sino en cualquier

conductor, incluso en las situaciones en que la carga no esté bien localizada.

Debe distinguirse el ruido de disparo de las fluctuaciones de corriente en equilibrio, las cuales se producen sin aplicar ningún voltaje y sin necesidad de que exista ningún flujo promedio de corriente. Estas fluctuaciones de la corriente de equilibrio se conocen como ruido de Johnson-Nyquist.

Ruido electrónico es una señal indeseada característica de todos electrónicos circuitos. Dependiendo del circuito, ruido puesto hacia fuera por los dispositivos electrónicos puede variar grandemente. Este ruido viene de muchos diversos efectos electrónicos.

4.7 SIMULACIÓN CON AUTODESK INVENTOR, COCODILE TECHNOLOGY Y DETALLES DE LA PROPUESTA GENERADA PARA EL SISMOGRAFO LÁSER

4.7.1 Modelado con Autodesk Inventor

A continuación se presenta el modelado del sismógrafo como propuesta con el sistema de movimiento armónico amortiguado, el cual está compuesto por un resorte, una masa y un amortiguamiento.

También, se puede observar una caja con espejos, los cuales por medio de su arreglo dirigen el haz de luz láser hacia el sensor, que en este caso son cinco fototransistores colocados verticalmente que detectaran si ha existido algún movimiento generado en la masa, el cual fue provocado por un movimiento sísmico.

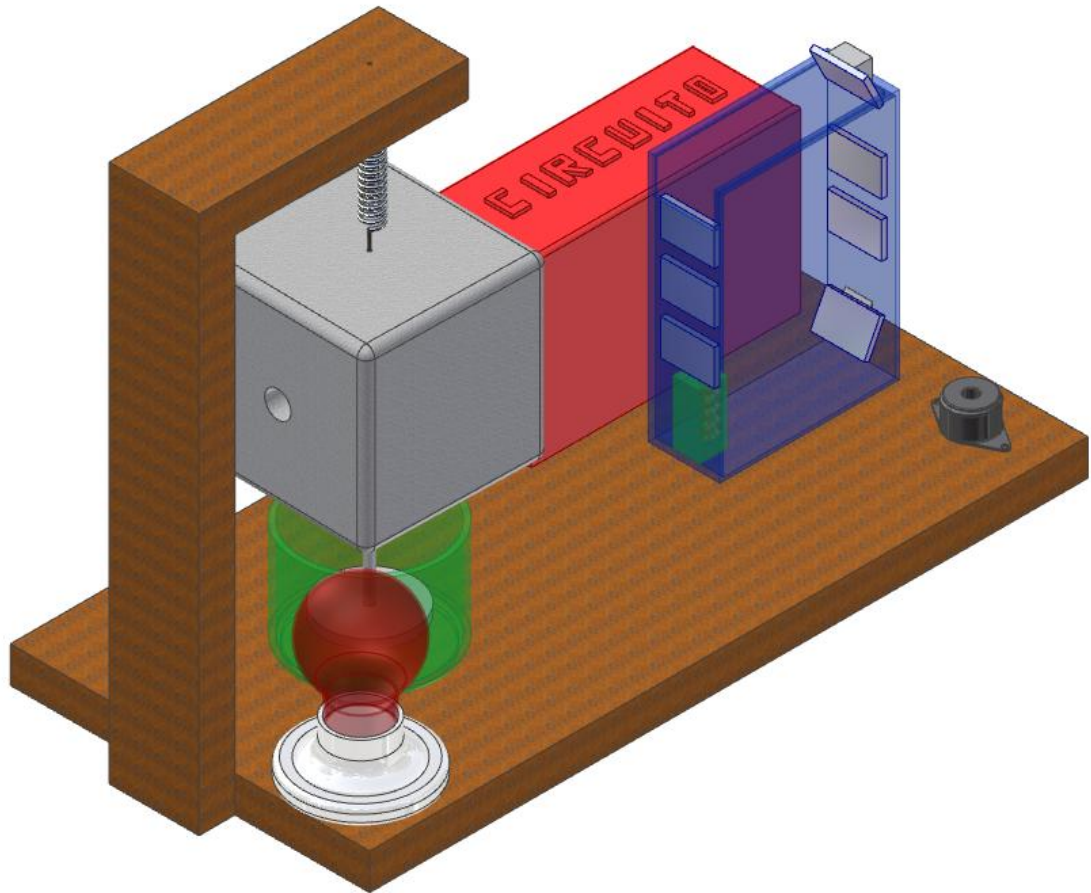


Figura 4.24 Vista 3D del sismógrafo simulado con Autodesk inventor

Cabe aclarar, el hecho de tener un foco rojo y un zumbador como alarmas de detección de algún sismo. Se puede apreciar en la figura 4.24 que están colocados en la base del sismógrafo, pero se pueden colocar en cualquier otro sitio, como una pared por ejemplo en el caso de ubicar el sismógrafo en un lugar no visible y solo se deseen ver las alertas de sismos.

La base del sismógrafo para su instalación debe ser instalada en un lugar fijo y para un funcionamiento óptimo, se recomienda instalarlo sobre una superficie directa a tierra o donde esta misma superficie no presente perturbaciones que generen falsas alarmas o interfieran con el buen funcionamiento del sismógrafo.

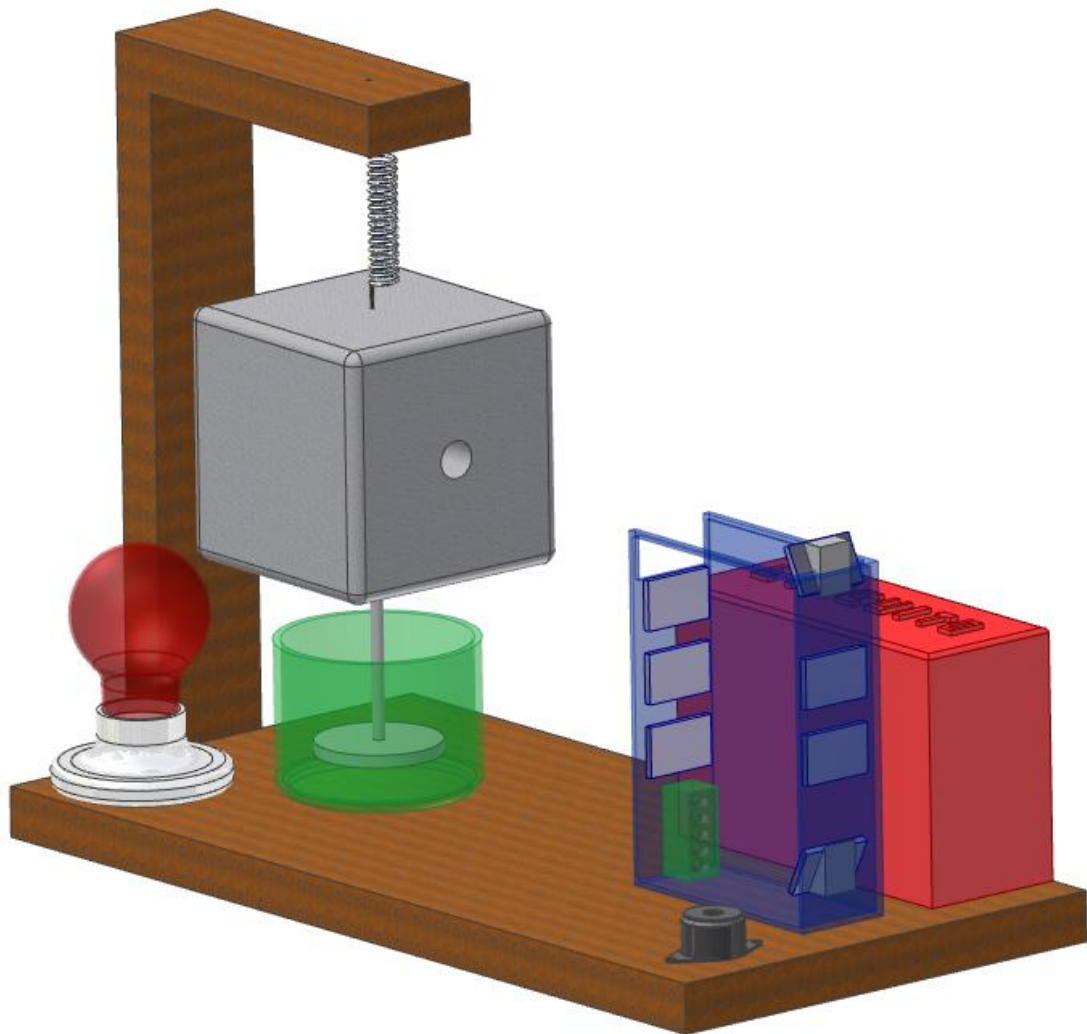


Figura 4.25 Vista en 3D del sismógrafo desde otra perspectiva.

En la figura anterior se puede tener una vista más sobre los elementos que componen al sismógrafo. También se aprecia que detrás del arreglo de espejos existe una caja cubierta, es aquí donde se colocara el circuito, además de que se le da una protección.

El diodo laser se encuentra dentro de la masa y direcciona su rayo hacia el arreglo de espejos, de los cuales más adelante se explicara como es su direccionamiento.

Para una mejor perspectiva sobre todo el modelado en 3D del sismógrafo laser y sobre sus componentes se puede consultar la sección de Anexos.

4.7.2 Arreglo de espejos y fototransistores

Dentro de este arreglo, cuando la masa esta en un reposo o mejor dicho, tiene un movimiento estable, el laser direccionara su haz de luz hacia el primer espejo que se encuentra inclinado y en condiciones optimas, se reflejara en el espejo en ángulo recto hacia el ultimo espejo que direccionara el haz hacia los fototransistores colocados frente a él.

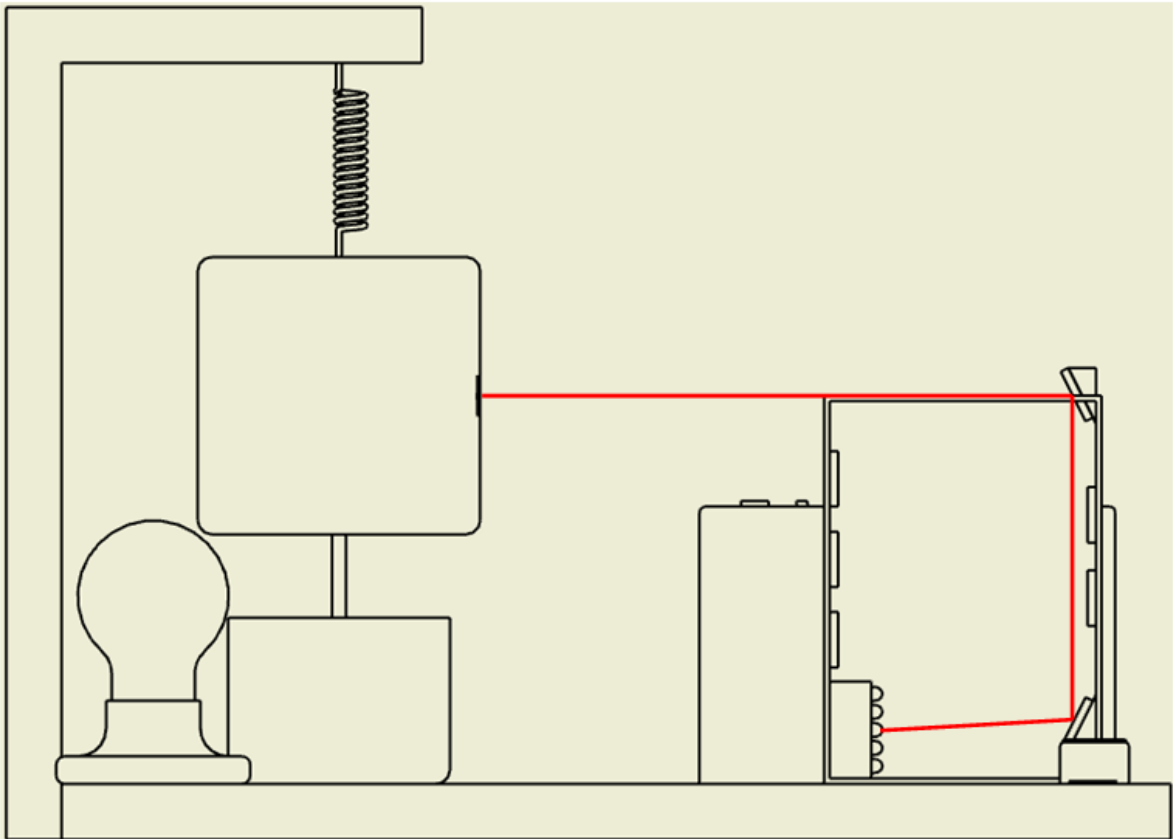


Figura 4.26 Emisión del rayo laser en el sismógrafo en sistema estable.

Cuando se produzca una alteración o movimiento que afecte el reposo de la masa, entonces el rayo láser cambiara su ángulo de direccionamiento y rebotara en los demás espejos colocados dentro de la caja como se aprecia en la figura 4.27.

La finalidad de optar por este arreglo se debe al hecho de poder ahorra espacio de instalación, puesto que con los espejos se reducen distancias y se puede comprimir más el proyecto, además de poder hacer una relación entre el tipo de amortiguamiento que se tiene y la respuesta del movimiento generado por una onda sísmica.

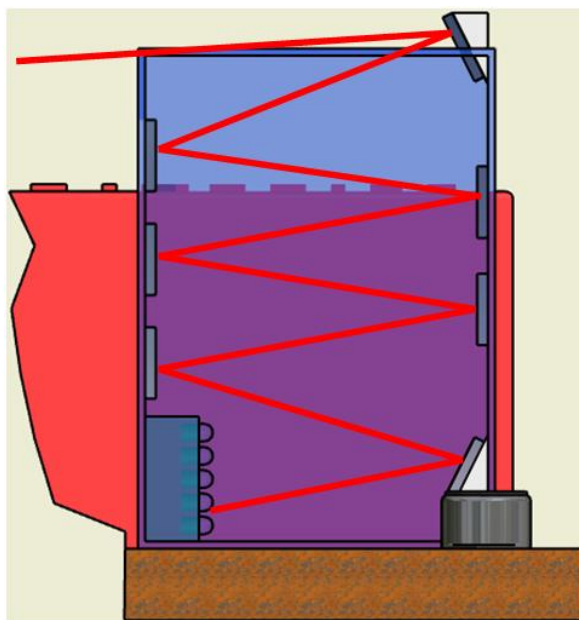


Figura 4.27 Emisión del rayo láser en el sismógrafo de detección de sismos.

4.7.3 Simulación del circuito

En la figura 4.28 se puede observar el circuito para el sismógrafo láser. Se optó por colocar cinco fototransistores y utilizar el simulador Cocodrile Technology para verificar el correcto funcionamiento del circuito.

El circuito es alimentado a 5V y existen tres elementos que dependerán de la incidencia de luz hacia los fototransistores. En este caso, el simulador nos proporciona un fototransistor con una lámpara para emular la incidencia de luz y con la cual podemos verificar la incidencia de luz en el mismo. Al variar la intensidad de la luz sobre cada fototransistor con el láser, este cambiará sus propiedades. Los parámetros del fototransistor son los siguientes:

Foto-transistor con lámpara

La corriente a través de la parte es controlada por la luz que cae sobre ella. Cuanto mayor es la intensidad de la luz, mayor es la corriente.

Parámetros:

- ❖ Foto de corriente: 2 mA
- ❖ Corriente máxima: 50 mA
- ❖ Tensión máxima: 35 V

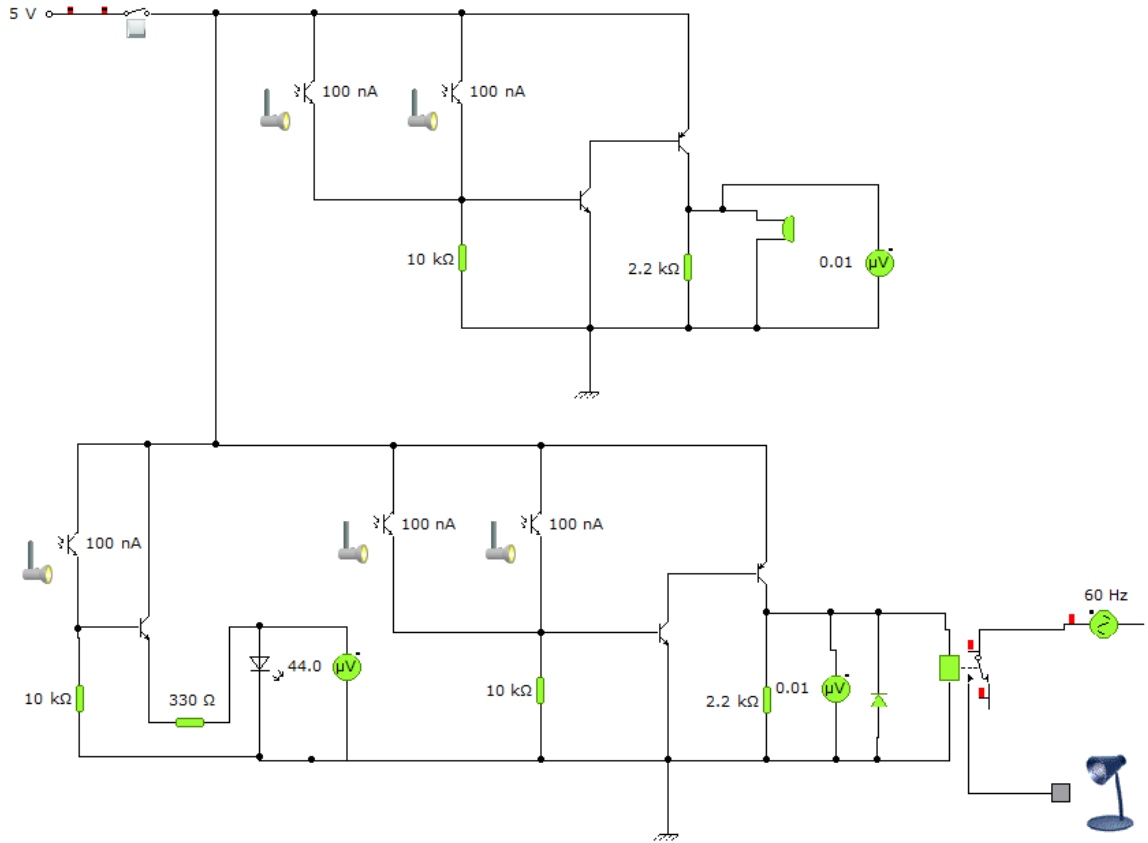


Figura 4.28 Circuito de fototransistores para sismógrafo láser.

Como se había comentado anteriormente, los fototransistores serán colocados en forma vertical alineados y por lo tanto el haz de luz láser siempre estará apuntando hacia el fototransistor del centro. Es por ello que en este primer fototransistor se colocó a su salida un LED con una resistencia solo para indicar el buen funcionamiento del sismógrafo cuando no exista movimiento alguno. Dado que el fototransistor solo nos genera 2mA de corriente, es necesario colocar otro transistor para poder activar al LED como se indica en la figura 4.29, donde al detectar luz, el LED prenderá.

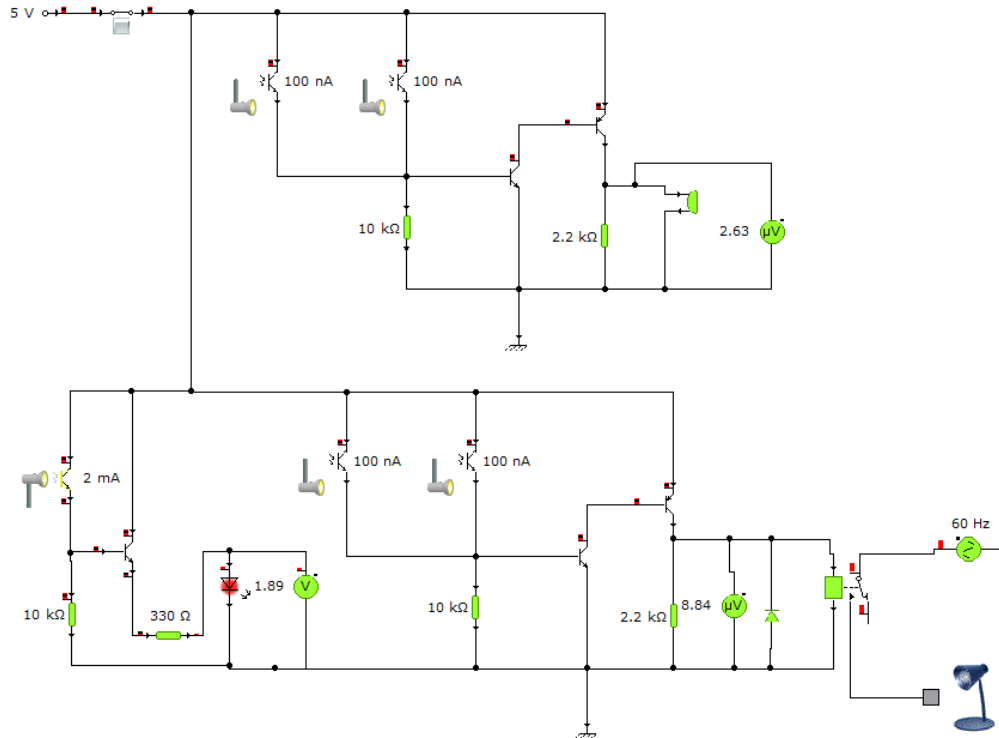


Figura 4.29 Activación de LED indicando funcionamiento del sismógrafo laser.

Ahora, los dos fototransistores que rodean al fototransistor central, fueron colocados en paralelo, dado que no se pueden activar al mismo tiempo. En la figura 4.30 se puede apreciar la incidencia de luz en uno de los fototransistores, pero ahora se necesitaran dos transistores, que en este caso son TIP31 Y TIP32 con el fin de poder generar corriente y poder activar al relé, el cual activara la lámpara que se conecta a una fuente de 127V CA, con lo cual se podrá optar por otro tipo de alarma que se desee activar. Se observa que el relé hizo el cambio de posición y además se colocó un diodo 1N4001 por seguridad y para evitar corrientes parasitas.

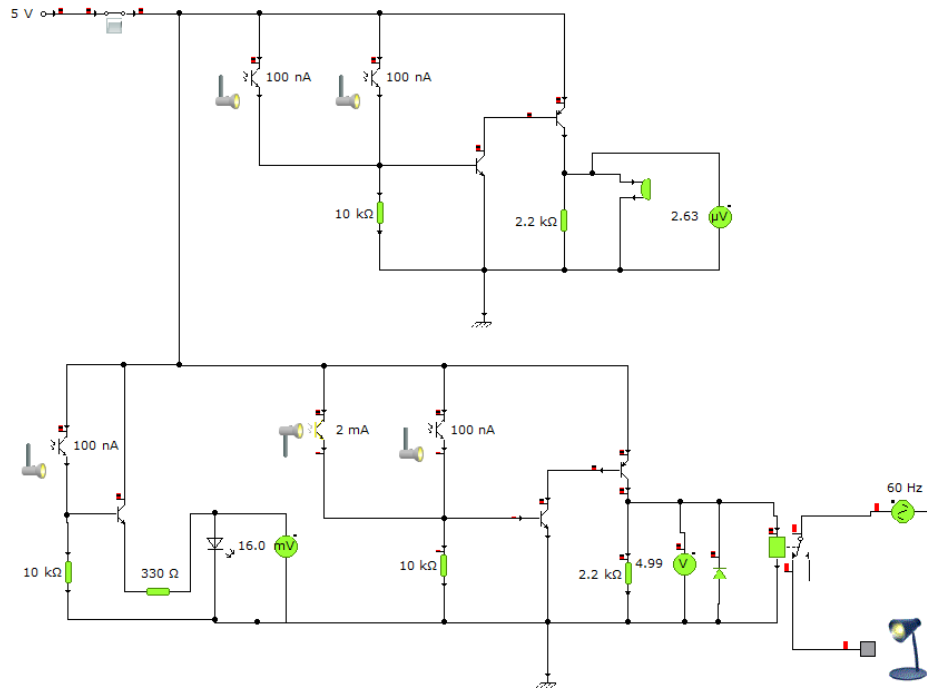


Figura 4.30 Activación de lámpara con incidencia de luz al fototransistor.

Por último, los dos fototransistores que se observan en la figura 4.31 en la parte superior, activan un zumbador, con lo cual se tendrá una alarma sonora que alertara a las personas sobre sismos de mayor grado. También, estos fototransistores están colocados en paralelo y se ayudan de transistores para activar al zumbador. Estos dos fototransistores están colocados en los extremos y solo se activan uno a la vez.

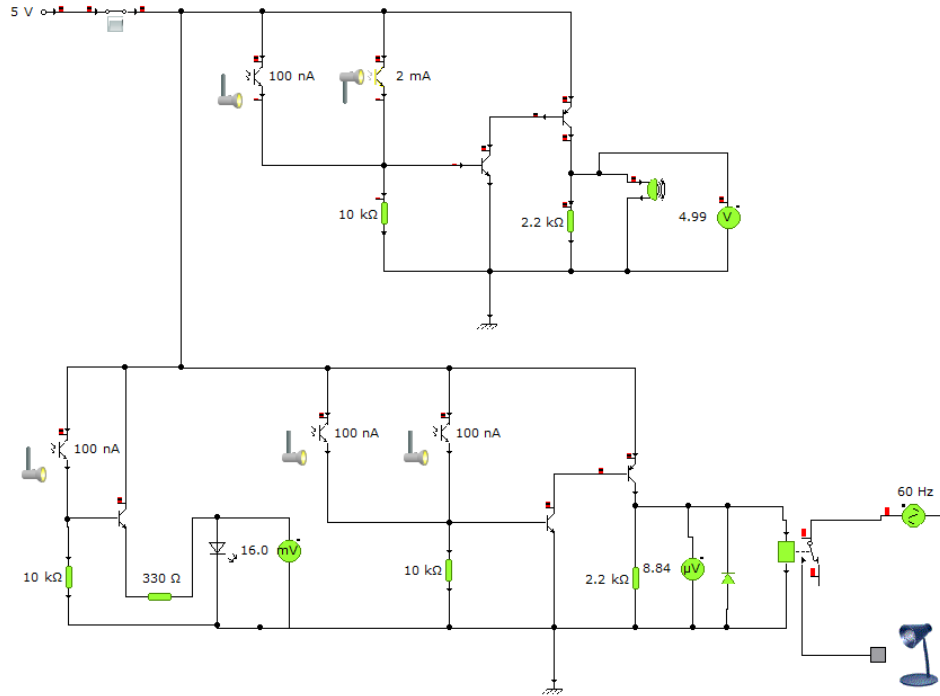


Figura 4.31 Activación de sonido con incidencia de luz al fototransistor.

4.8 COTIZACIÓN DEL PROYECTO

DIODO LÁSER



Figura 4.32 Diodo de Láser Comercial

Precio: \$150.00

Especificaciones:

- ❖ Laser Verde de 532 nm.
- ❖ Potencia de 300mW.
- ❖ Voltaje de alimentación de 3V.

RESORTE DE TENSIÓN



Figura 4.33 Resortes de tensión

Precio: \$12.00

Especificaciones:

- ❖ Baja en promedio 1.5” y 1.8”
- ❖ Soporta pesos de hasta 5Kg.
- ❖ Garantía de por vida.

ESPEJOS PARA LÁSER



Figura 4.34 Espejos para láser

Precio: \$100.00

Especificaciones:

- ❖ Servicio de vida continúa
- ❖ Recubrimiento sobre sustrato y silicón.

COMPONENTES ELECTRONICOS

Precio \$150.00 aproximadamente

- ❖ 1 Resistencia de $1K\Omega$.
- ❖ 1 Potenciómetro de $1K\Omega$.
- ❖ 1 LM317 (Regulador de voltaje).
- ❖ 1 Capacitor de $1\ \mu F$.
- ❖ 1 Capacitor electrolítico de $1\ \mu F$.
- ❖ Una fuente de alimentación de 5v C.D.
- ❖ 5 fototransistores
- ❖ 1 buzzer
- ❖ Foco de 60 watts
- ❖ Socket para foco
- ❖ 1 LED
- ❖ 1 Relevador
- ❖ 1 Switch
- ❖ 3 Resistencias de $10K\Omega$
- ❖ 2 Resistencias de $2.2K\Omega$
- ❖ 1 Resistencia de 330Ω
- ❖ 3 Transistores TIP31
- ❖ 2 Transistores TIP32
- ❖ 1 Diodo 1N4001

COMPONENTES ADICIONALES

Precio \$100 aproximadamente

- ❖ Base
- ❖ Carcasa
- ❖ Soporte
- ❖ Otros

En este caso como es un proyecto inicial, el costo es aproximado. El precio puede reducirse considerablemente a futuro con construcciones precisas y con nuevas alternativas en circuitos. Las construcciones en masa de este tipo de modelos suele disminuir el precio de fabricación, tiempo y aumentar calidades del mismo.

Los resultados de esta propuesta pudieran no ser los más precisos y exactos pero funcionan para nuestros propósitos de generar un alerta ante la presencia de un movimiento telúrico.

Este modelo presenta algunas desventajas frente a nuevas tecnologías que presentaremos más adelante, pero se demuestra que con circuitos básicos y principios conocidos se puede generar un resultado acorde a lo esperado. Además de no poseer una gran complejidad y pueda ser comprendida por un gran número de personas.

Las mediciones pueden variar dependiendo de la respuesta del resorte y de la viscosidad el líquido a usar como amortiguamiento. En este caso habría que calibrar el modelo de tal forma que exista un movimiento natural y no se presenten mediciones erróneas por simples movimientos o no se presenten en movimientos que comienzan a ser críticos.

La ventaja que presenta el láser es su direccionalidad para poder efectuar una medición correcta sobre los movimientos que llegasen a presentarse. Los láseres poseen un mayor tiempo de vida comparados con los leds y poseen un bajo consumo de igual forma, en este caso solo lo usamos para emitir el haz de luz hacia los sensores.

Como sugerencia, la base del modelo debe estar bien sujeta a una superficie plana y con movimientos mínimos que no puedan ser interpretados como movimientos erróneos. Lo ideal es que pudiera nivelarse en el momento de la instalación.

Este modelo es pequeño, dado que con el arreglo de espejos se reduce la longitud del mismo. Por su mismo tamaño se puede instalar en lugares reducidos y colocar las alertas en lugares estratégicos para conocimiento de las personas en un mismo lugar, alertando de manera óptima la generación de movimientos telúricos.

4.9 PROPUESTAS A FUTURO

A continuación se presentan otros dispositivos que pueden mejorar o pueden dar otra perspectiva acerca de la detección de ondas sísmicas y las nuevas tecnologías de detección de luz, en este caso que se podrían aplicar para los rayos láser.

Existen numerosas tecnologías en este mundo actualmente, de las cuales mencionaremos los acelerómetros y los sistemas MEMS que están teniendo un auge importante dentro de la tecnología celular, así como los receptores CCD y CMOS, sin dejar de lado a las celdas solares.

En el modo de la comunicación, se está trabajando con aplicaciones para celulares y computadoras que detecten ondas de frecuencia e interpreten eso con ayuda de programas, en el caso del sistema operativo Android para los celulares se están desarrollando aplicaciones de sismógrafos, que aunque tengan fallas, se aprovechan las ventajas de los acelerómetros dentro de un celular.

También, actualmente se busca hacer trabajos con la nanotecnología como con el caso de los sistemas NEMS, con lo cual se reduce en un impresionante número, las dimensiones de cualquier dispositivo sensor o que realice alguna actividad específica.

4.9.1 Acelerómetro y sistemas MEMS

Un acelerómetro es un dispositivo electromecánico que mide las fuerzas de aceleración. Estas fuerzas pueden ser estáticas, como la constante gravedad que te empuja al centro de la Tierra, o dinámicas, como el movimiento o la vibración del acelerómetro.

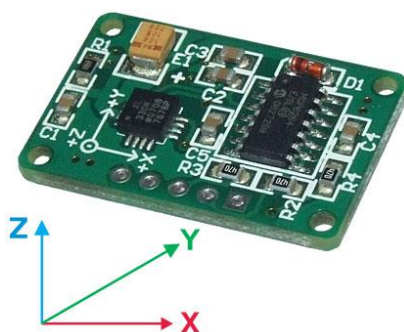


Figura 4.35 Tarjeta acelerómetro.

Ahora, midiendo la cantidad de aceleración estática de la gravedad se puede averiguar el ángulo en el que el dispositivo se inclina en relación a la Tierra. Con los sensores de aceleración dinámica es posible analizar la forma en que se mueve el dispositivo en una, dos o tres dimensiones, pues al conocerse su aceleración en todo momento, es posible calcular los desplazamientos que tuvo.

En términos de hardware, los acelerómetros pertenecen a la categoría de los MEMS (Micro Electro-Mechanical Systems), un tipo de dispositivos electromecánicos construidos generalmente a base de silicio policristalino modelado y que se miden en micrómetros. Se trata de un proceso de fabricación que comparte con los cabezales de impresión de inyección de tinta, sensores químicos, de temperatura, etc.

Un acelerómetro se encuentra constituido por una serie de estructuras similares a las agujas, que detectan el movimiento y pueden transmitir estos datos a un circuito mayor que las utiliza y las registra.

Es un componente muy compacto que puede ser insertado dentro de un chip y barato. Estos sensores pueden aportar más datos, como frenadas, curvas, velocidades. La industria automotriz ha sido -por mucho- la mayor consumidora de acelerómetros

Los MEMS (Sistemas Micro-electromecánicos) y los NEMS (Sistemas Nano-electromecánicos) estas tecnologías se desarrollan a gran velocidad, están creciendo a pasos agigantados en el uso de gadgets cotidianos. Las diferencias entre unos y otros son el tamaño, los primeros tienen un tamaño que va desde el milímetro al micrómetro y los NEMS se comprenden desde el micrómetro al nanómetro (Nanotecnología).

Hoy en día podemos encontrar MEMS en un varias cosas a nuestro alrededor:

- ❖ Automoción: utilizados en automóviles modernos para activación del airbag al sufrir una colisión, presión de neumáticos.
- ❖ Electrónica de consumo, tales como controladores de juegos, reproductores multimedia personales, teléfonos móviles, Cámaras Digitales...

- ❖ También se usa en PC, LAPTOPS O NOTEBOOKS, para estacionar el cabezal del disco duro en caso de caída libre, y evitar daños y pérdida de datos.

A partir del análisis rápido de los datos del disco duro, es posible determinar con exactitud cuándo comenzó un evento sísmico, ¿cuánto duró?, la intensidad de un evento sísmico, la frecuencia del movimiento de un evento sísmico, la dirección del movimiento de un evento sísmico, etc.

Los componentes micro-mecánicos están formados por un chip realizado mediante un proceso robusto similar al de aquellos modelos destinados a la fabricación de semiconductores convencionales. Por consiguiente, los acelerómetros y otros dispositivos, como los giroscopios, se pueden producir con unas dimensiones extremadamente pequeñas, y beneficiar de ventajas de baja fricción, mínimo desgaste y elevada resistencia al choque [23].



Figura 4.36 Acelerómetro MEMS con sistema ultra delgado.

Tarjeta acelerómetro MMA8451Q 3 ejes I2C 14-bits



Figura 4.37 Tarjeta comercial de un acelerómetro

Características de la tarjeta:

- ❖ Completo pinout MMA8451 DIL8.

- ❖ Diseño Modular.
- ❖ Voltaje de alimentación de 1.95V a 3.6V
- ❖ Voltaje lógico de 1.6V a 3.6V
- ❖ Selección de escala de trabajo
- ❖ Tasa de salida de datos (ODR) de 1.56 Hz a 800 Hz.
- ❖ Salida digital de 8 y 14-bits.
- ❖ Filtro pasa altas disponible.

4.9.2 Celdas solares

Estos son módulos formados por numerosas celdas que convierten la luz en electricidad. Estas celdas de las que hablamos muchas veces son llamadas células fotovoltaicas. Dependiendo de las técnicas y calidad de fabricación (reflejado en los costos), una celda solar con un área de unos 12×12 centímetros, puede entregar unos 0.5 voltios y hasta 1 amperios de corriente eléctrica [24].

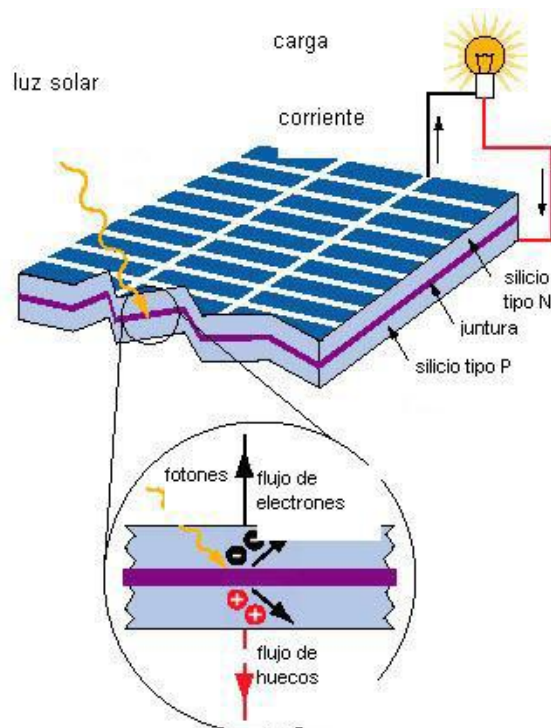


Figura 4.38 Celda solar

Entre las distintas innovaciones que se están proponiendo, lo que se busca es reducir el costo de manufacturación, pero que esto no signifique una pérdida en el rendimiento, sino todo lo contrario, teniendo como máximo exponente a la aplicación de radiación láser.

Esto se combina con la utilización de placas delgadas del material semiconductor, en lugar de utilizar paneles de mayor grosor, utilizando el haz de luz para el “grabado” de unos pequeños micro-canales que inclusive tienen una mayor calidad a los utilizados hasta ahora, contando con bordes bien definidos.

Básicamente, la eficiencia energética de los paneles solares ahora dependerá de cuan precisos se realicen estos canales, para lo cual se está trabajando en los denominados pulsos láseres, que no emplean calor y por ende disminuyen al mínimo la cantidad de fallas causadas por una deformación o daño al material ultra-delgado.

De esta manera, la utilización de paneles solares en capa fina logra un mayor desarrollo, un menor costo de manufacturación, e incrementan su eficiencia.

4.9.3 CCD y CMOS

4.9.3.1 Sensores con tecnología CCD vs CMOS

Los CCD (Charge Coupled Device) y CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor). Ambos tipos de sensores están formados en su esencia por semiconductores de metal-óxido (MOS) y están distribuidos en forma de matriz.

Su función es la de acumular una carga eléctrica en cada una de las celdas de esta matriz. Estas celdas son los llamados píxeles. La carga eléctrica almacenada en cada píxel, dependerá en todo momento de la cantidad de luz que incida sobre el mismo. Cuanta más luz incida sobre el píxel, mayor será la carga que este adquiera.

Aunque en su esencia, los CCD y CMOS funcionan de una manera muy similar, hay algunas diferencias en ambas tecnologías.

4.9.3.2 Sensor CCD

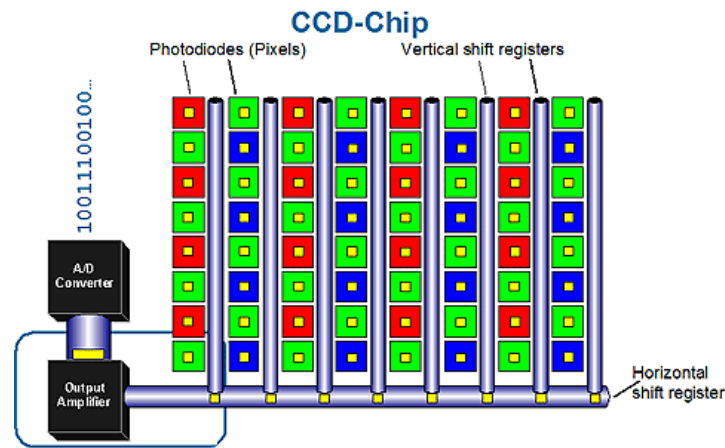


Figura 4.39 CCD chip

En el caso del CCD, éste convierte las cargas de las celdas de la matriz en voltajes y entrega una señal analógica en la salida, que será posteriormente digitalizada. En los sensores CCD, se hace una lectura de cada uno de los valores correspondientes a cada una de las celdas. Entonces, es esta información la que un convertidor analógico-digital traduce en forma de datos. En este caso, la estructura interna del sensor es muy simple, pero tenemos como inconveniente la necesidad de un chip adicional que se encargue del tratamiento de la información proporcionada por el sensor, lo que se traduce en un gasto mayor y equipos más grandes.

En el aspecto del rango dinámico, es el sensor CCD el ganador absoluto, pues supera al CMOS en un rango de dos. El rango dinámico es el coeficiente entre la saturación de los píxeles y el umbral por debajo del cual no captan señal. En este caso el CCD, al ser menos sensible, los extremos de luz los tolera mucho mejor.

En cuanto al ruido, también son superiores a los CMOS. Esto es debido a que el procesado de la señal se lleva a cabo en un chip externo, el cual puede optimizarse mejor para realizar esta función. En cambio, en el CMOS, al realizarse todo el proceso de la señal dentro del mismo sensor, los resultados serán peores, pues hay menos espacio para colocar los fotodiodos encargados de recoger la luz.

La respuesta uniforme es el resultado que se espera de un píxel sometido al mismo nivel de excitación que los demás, y que éste no presente cambios apreciables en la señal obtenida. En este aspecto, el que un sensor CMOS esté constituido por píxeles individuales, le hace más propenso a sufrir fallos. En el CCD, al ser toda la matriz de píxeles uniforme, tiene un mejor comportamiento. A pesar de todo, la adición de circuitos con realimentación nos permite subsanar este problema en los CMOS, los CCD están un poquito por encima igualmente.

4.9.3.3 Sensor CMOS

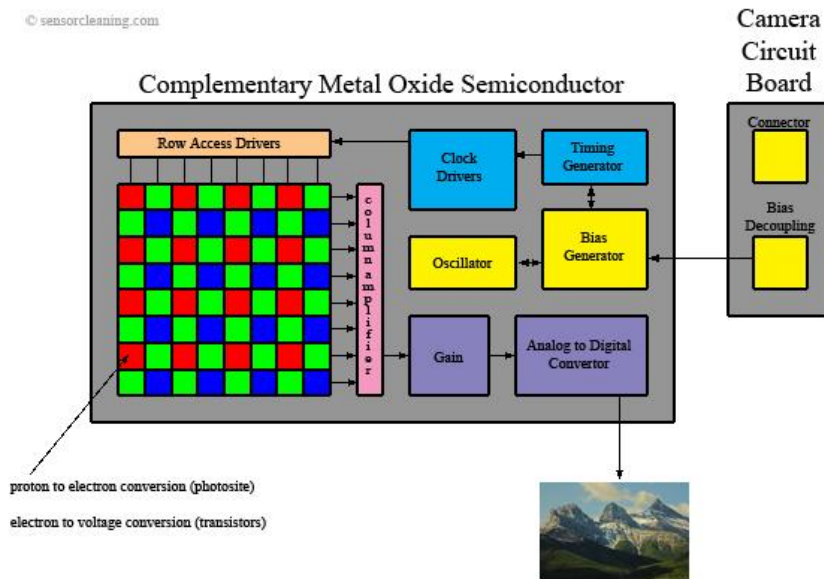


Figura 4.40 Tecnología CMOS

En el caso del CMOS, aquí cada celda es independiente. La diferencia principal es que aquí la digitalización de los píxeles se realiza internamente en unos transistores que lleva cada celda, por lo que todo el trabajo se lleva a cabo dentro del sensor y no se hace necesario un chip externo encargado de esta función. Con esto conseguimos reducir costes y equipos más pequeños.

Además de ofrecernos más calidad, los CMOS son más baratos de fabricar. Otra de las grandes ventajas es que los sensores CMOS son más sensibles a la luz, por lo que en condiciones pobres de iluminación se comportan mucho mejor. Esto se debe

principalmente a que los amplificadores de señal se encuentran en la propia celda, por lo que hay un menor consumo a igualdad de alimentación. Todo lo contrario que ocurría en los CCD.

En cuanto a la velocidad, el CMOS es claramente superior al CCD debido a que todo el procesado se realiza dentro del propio sensor, ofreciendo mayor velocidad.

Otro aspecto en el que los sensores CMOS son superiores a los CCD es en el blooming. Este fenómeno se produce cuando un píxel se satura por la luz que incide sobre él y a continuación empieza a saturar a los que están a su alrededor. Aunque este defecto puede subsanarse gracias a algunos trucos en la construcción, en el caso de los CMOS nos olvidamos del problema.

La tecnología CCD ha llegado a su límite y es ahora cuando se está desarrollando la CMOS. Así que no cabe lugar a dudas de que el futuro se llama CMOS [25].

CONCLUSIONES

A lo largo del presente trabajo se hizo una investigación sobre los detectores de sismos y una implementación con un láser.

Basado en distintos tipos de sensores de movimientos telúricos se propuso una innovación a un sistema mecánico con amortiguamiento, esto mediante la implementación de un diodo de láser con un arreglo óptico de espejos. En este caso se agregaron salidas con alarmas para avisar sobre probables movimientos sísmicos.

Mediante la implementación de simuladores tanto mecánicos, como electrónicos se pueden generar varias propuestas, en este caso se anexaron las evidencias de tal procedimiento. Con este tipo de software podemos presentar prototipos sin hacer inversiones económicas innecesarias de fallo y error, con lo cual nos permite verificar fallos y nuevas alternativas en tiempo real al diseño.

La propuesta generada permite la implementación de un medidor de sismos para espacios reducidos dado el arreglo óptico por el cual viaja el haz de luz del láser. Con esto, podemos instalar un prototipo simple, barato y pequeño en varios sitios, además poder generar una mejor reacción ante la presencia de un sismo. Así se puede tener un mejor control del personal en una empresa para poder evacuar o tomar acciones ante tal acontecimiento. De igual forma en edificios o casas habitación donde generara una alerta en tiempo real y confirmando tal evento.

Se tiene conocimiento de la simpleza de la electrónica implementada, pero con ello no se refiere a que no sea confiable, al contrario. Pero podemos tener aun mejores alternativas que la tecnología está investigando en estos días, tal es el caso de nuevos sensores ópticos como los cmos y nuevos sistemas mecánicos llamados MEMS y NEMS. Aunque el prototipo propuesto está planeado para implementar este tipo de sensores, es necesaria una mayor investigación de los mismos, dado que aunque existen aplicaciones en celulares que pueden detectar sismos, estas han fallado en sus lecturas en los momentos indicados. El proyecto cumple con los objetivos de simplicidad y además de ser un modelo barato y de conocimiento general hacia la población.

REFERENCIAS

CAPÍTULO 1

- [1] sh-33.blogspot.mx
- [2] mineriaenlinea.com/2012/09/principales-efectos-causados-por-el-sismo-del-20-de-marzo-de-2012-en-la-costa-de-los-estados-de-guerrero-y-oaxaca-mexico
- [3] www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing_ond_1/trabajos_06_07/io3/public_html/Ondas/Ondas.html
- [4] www.smis.org.mx/htm/sm8.htm
- [5] sismoclub2011-1.wikispaces.com/Tipos+de+Sismografos
- [6] es.wikipedia.org/wiki/Escala_sismol%C3%B3gica_de_Richter
- [7] www.ugr.es/~agcasco/msecgeol/actividades/actividades_01_int.doc
- [8] www.unionyucatan.mx/articulo/2012/11/15/ciencia/valladolid/yucatan-mas-de-100-anos-sin-temblores
 - ❖ S.K. Singh y G.Suárez, "Review of the Seismicity of Mexico with Emphasis on the September 1985, Michoacan Earthquakes", Instituto de geofísica, UNAM, 1986.
 - ❖ S.K. Singh, E.Mena y R. Castro, "Some aspects of Source Characteristics of the 19 september, 1985, Michoacan Earthquake and Ground Motion Amplification in and near Mexico city from Strong Motion data" (sometido a publicación del Bull. Seism, Sac. Am., 1986)

CAPÍTULO 2

- [9] www.um.es/LEQ/laser/index.htm
- [10] www.shoptronica.com/1167-diodos-led-laser.html
- [11] manitaselectricidadfacil.blogspot.mx/2009/02/comparacion-del-diodo-laser-con-el.html

CAPÍTULO 3

- [12] aerotornquist.blogspot.mx/2010/08/tecnologia-detras-de-girosco-pos-y.html
- [13] www.androidpit.es/es/android/market/aplicaciones/aplicacion/kr.sira.vibration/vibro-metro-vibration-meter
- [14] www.suitable.com/tools/seismac.html
- [15] www.quakemexico.com/productos.html
- [16] bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/105/htm/sec_7.htm

CAPÍTULO 4

- [17] www.rehisaresortes.com/resortes-de-tension/
- [18] www.fullmecnica.com/r/resortes-helicoidales-de-tension
- [19] www.fisica.uh.cu/bibvirtual/fisica_aplicada/fisica1y2/fisica1/pdf/cap8.pdf
- [20] webdelprofesor.ula.ve/ciencias/labdemfi/optica/html/optica.html
- [21] www.directindustry.es/prod/on-semiconductor/matrices-de-fotodiodos-34016-381339.html
- [22] es.wikipedia.org/wiki/Fototransistor
- [23] www.diarioelectronico hoy.com/acelerometro-mems-con-diseno-ultra-delgado/
- [24] yoreme.wordpress.com/2008/06/17/celdas-solares/
- [25] www.xatakafoto.com/camaras/sensores-con-tecnologia-ccd-vs-cmos

ANEXOS

- [26] www.abc.es/tecnologia/moviles-telefonía/20131001/abci-smartphones-apps-sismografos-201309301802.html

ANEXOS

ANEXO A SISMOS EN MÉXICO DESDE 2002

Tabla A.1 Sismos Fuertes de magnitud ≥ 6.0 en México desde el año 2002.

Fecha	Magnitud	Zona de origen
2012-11-15	6.1	Sureste de Cd. Altamirano, Gro.
2012-11-11	6.2	Suroeste de Cd, Hidalgo, Chiapas.
2012-11-07	7.3	Suroeste de Cd, Hidalgo, Chiapas.
2012-09-25	6.0	Norte de La Paz, BCS.
2012-05-01	6.1	Suroeste de Cd, Hidalgo, Chiapas.
2012-04-12	6.8	Noreste de Guerrero Negro, BCS.
2012-04-12	6.0	Noreste de Guerrero Negro, BCS.
2012-04-11	6.4	Oeste de La Mira, Michoacán.
2012-04-02	6.0	Oeste de Pinotepa Nacional, Oaxaca.
2012-03-26	6.1	Noreste de la Dorsal del Pacifico.
2012-03-20	7.4	Sur de Ometepec, Guerrero.
2012-01-21	6.0	Suroeste de Mapastepec Chiapas.
2011-12-10	6.5	Noreste de Zumpango del Rio, Guerrero.
2011-11-01	6.0	Sur de Cabo San Lucas, BCS.
2011-04-07	6.7	Suroeste de Las Choapas, Veracruz.
2011-02-25	6.0	Suroeste de Sayula de Alemán, Veracruz.
2010-10-21	6.5	Noreste de La Paz, BCS.
2010-08-23	6.1	Suroeste de Cihuatlan, Jalisco.
2010-06-30	6.0	Sur de Pinotepa Nacional, Oaxaca.
2010-04-04	7.2	Sureste de Mexicali, BC.
2009-09-24	6.2	Suroeste de Cihuatlan, Jalisco.
2009-08-03	6.9	Suroeste de M. Alemán (La Doce), Sonora.
2009-07-03	6.0	Suroeste de Los Mochis, Sinaloa.
2008-10-16	6.6	Suroeste de Cd. Hidalgo, Chiapas.
2008-09-23	6.4	Suroeste de Manzanillo, Colima.
2008-04-14	6.5	Sureste de Cd. Hidalgo, Chiapas.
2008-02-12	6.6	Sureste de Unión Hidalgo, Oaxaca.
2007-09-01	6.3	Este de la Paz, BCS.
2007-07-05	6.2	Noroeste de Cintalapa, Chiapas.
2007-06-13	6.6	Sureste de Cd. Hidalgo, Chiapas.
2007-04-13	6.3	Sur de Atoyac de Álvarez, Guerrero.
2006-01-04	6.7	Norte de Santa Rosalía, BCS.
2005-06-27	6.1	Océano Pacifico.
2004-01-01	6.3	Costa de Guerrero.
2003-08-25	6.0	Costa de Guatemala.
2003-05-19	6.0	Costa de Michoacán.
2003-01-21	7.6	Costa de Colima.
2003-01-20	6.2	Costa de Guatemala.
2002-04-18	6.3	Costa de Guerrero.
2002-01-16	6.3	Costa de Chipas.

**ANEXO B SISMÓGRAFO LÁSER CON AUTODESK
INVENTOR**

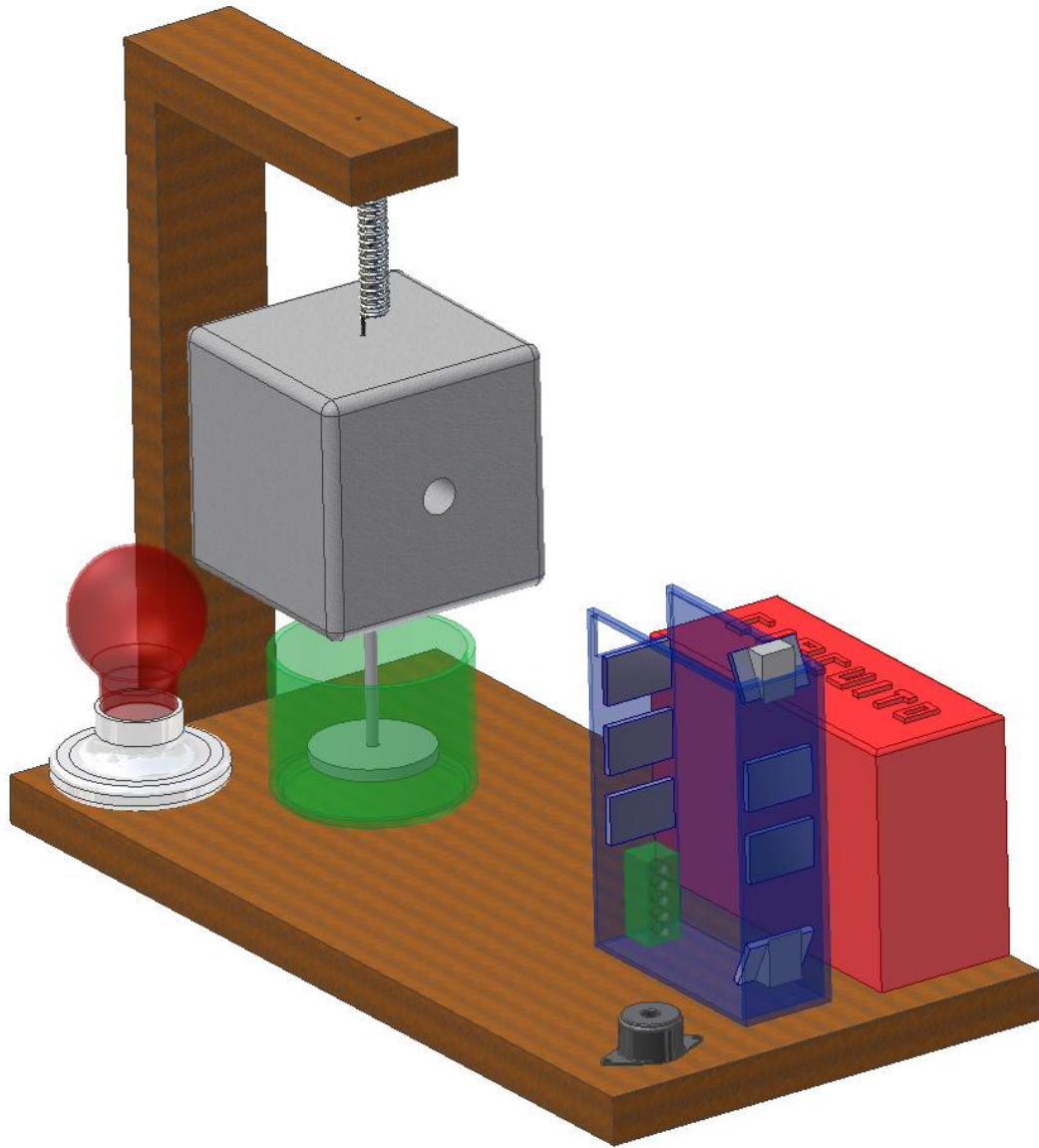


Figura B.1 Sismógrafo láser en 3D

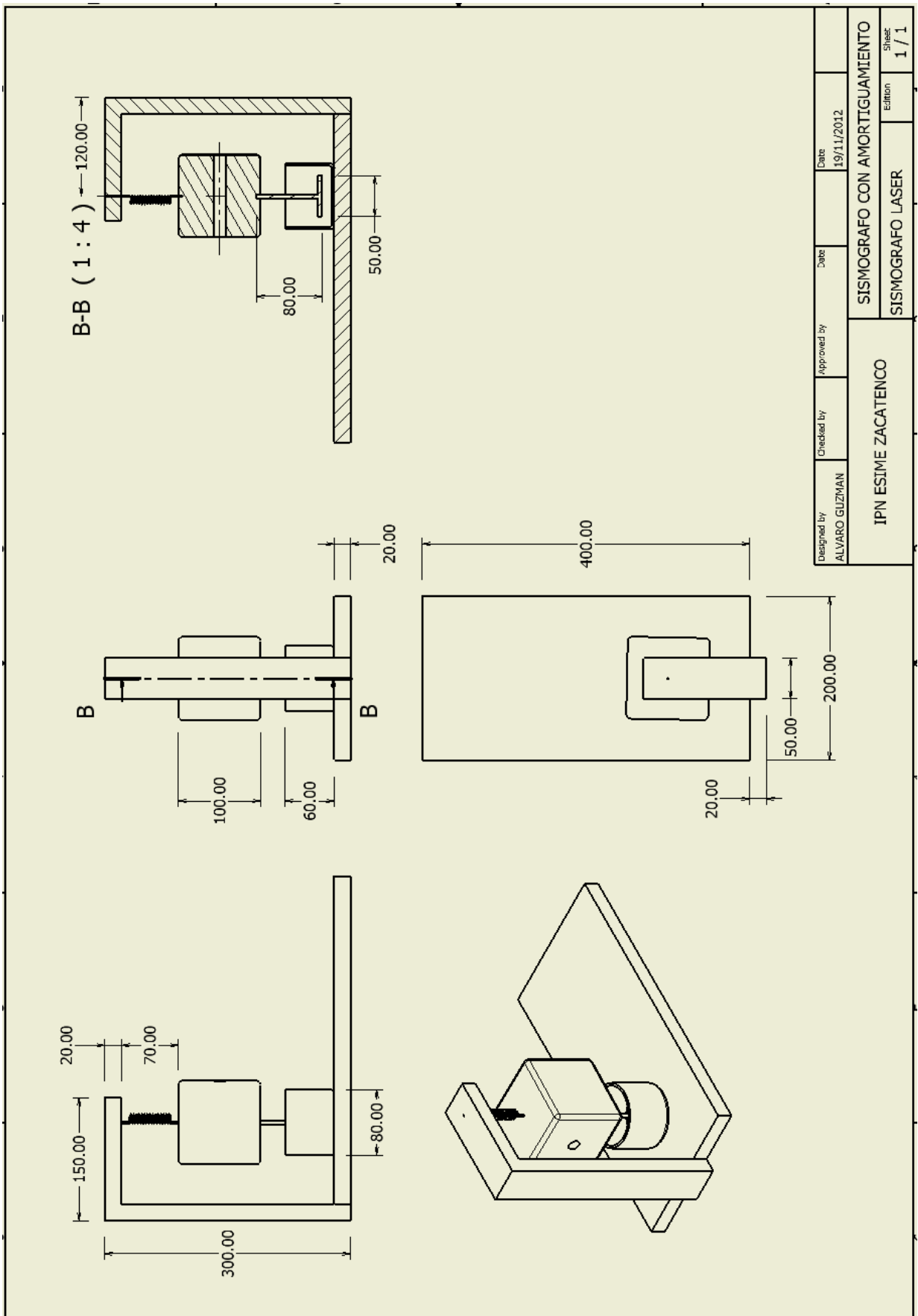


Figura B.2 Plano con medidas del sismógrafo láser

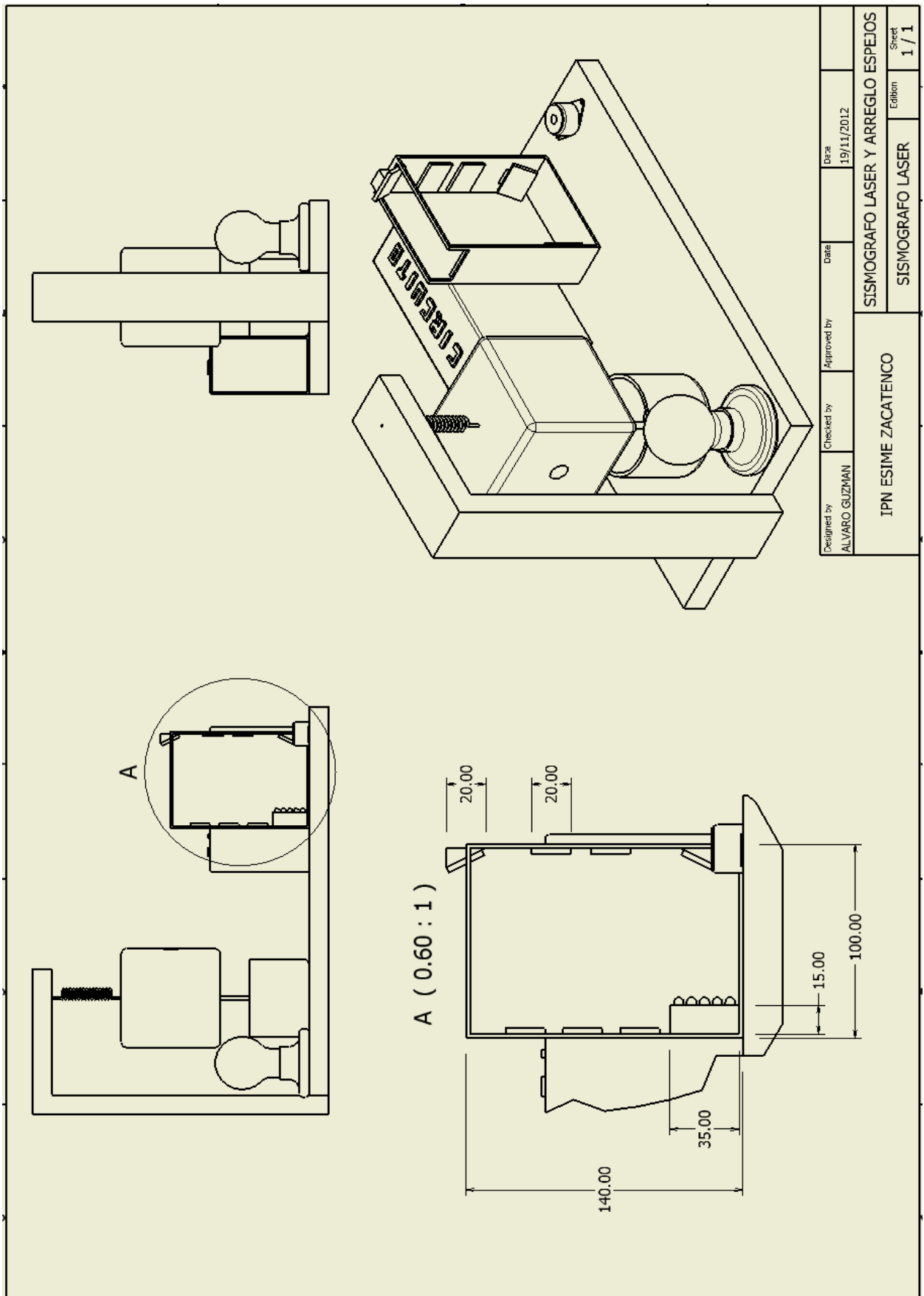


Figura B.3 Plano con zoom del arreglo de espejos

ANEXO C

Una estación sismológica en cada «smartphone»

TICBEAT.COM



MADRID

Día 01/10/2013 - 01.04h

El acelerómetro de los teléfonos inteligentes consigue unos registros muy similares a los del sismómetro cuando se trata de un terremoto con una intensidad superior a 5.

Los sensores presentes en la mayoría de los «smartphones» y los ordenadores portátiles podrían ampliar considerablemente la información que se recoge mientras se produce un terremoto de intensidad media o elevada, según las investigaciones de un grupo de científicos italianos.

Se trata de los MEMS (sistemas microelectromecánicos) o acelerómetros: los mecanismos que miden el movimiento en tres dimensiones permiten que, por ejemplo, cuando giramos nuestro teléfono, la pantalla gire con él.

Según publica la web Live Science, el equipo de investigadores, perteneciente al Instituto Italiano de Geofísica y Vulcanología, comparó los datos obtenidos del acelerómetro implementado en los modelos iPhone 4 y iPhone 5 con los de un sismómetro convencional. Y hallaron que el acelerómetro del «smartphone» consigue unos registros muy similares a los del sismómetro cuando se trata de un terremoto con una intensidad superior a 5 en la escala Richter y el dispositivo está cerca del epicentro. Los resultados del estudio han sido publicados en el Boletín de la Sociedad Sismológica de América.

Según ha explicado uno de los autores de la investigación, Antonio D'Alessandro, a Live Science, «cualquier dispositivo con MEMS conectado a Internet constituye, potencialmente, una estación sismológica y podría ser utilizado para aumentar exponencialmente el número de puntos de observación mientras sucede un terremoto».

D'Alessandro ha vinculado la importancia de una red que mida los sismos a la eficacia de las operaciones de rescate y, por tanto, al número de víctimas final que sigue a un terremoto. «Una red urbana que mida en tiempo real la intensidad del terremoto puede transmitir rápidamente la información sobre la intensidad y el alcance del sismo», ha señalado.

Aunque este tipo de chips todavía no funcionan con terremotos de escala menor, la tecnología MEMS está avanzando, y el equipo de científicos italianos considera que próximamente puede ser sensible a movimientos más pequeños. En este sentido, el grupo de investigación trabaja en un modelo del que afirman que es cien veces más sensible que el utilizado en los iPhones.

Por su parte, miembros de la Universidad de Stanford, en California, investigan también en esta línea y están creando una red internacional de usuarios móviles voluntarios que dediquen sus teléfonos móviles a este fin. D'Alessandro sí ha reconocido que éste es un sistema difícil de instaurar en zonas económicamente deprimidas, en las que la mayoría de la población no tiene acceso a smartphones ni a internet móvil. En esos casos, recomienda la instalación de dispositivos MEMS que se dediquen únicamente a registrar terremotos [26].