



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA
UNAN-MANAGUA
RECINTO UNIVERSITARIO RUBÉN DARÍO
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS**

**TEMA: SISMÓGRAFO ELECTRÓNICO DE MEDICIÓN Y DETECCIÓN
DE MOVIMIENTO TELÚRICOS CON SALIDA IMPRESA, PARA LA
CARRERA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA DE LA UNAN – MANAGUA
2016.**

**SEMINARIO DE GRADUACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA.**

AUTORES:

BR. LUZ MARINA SOTELO ALMENDAREZ

BR. ERICK YAMIR REQUENE

TUTOR: MSC. MILCIADES DELGADILLO

Septiembre 2016

DEDICATORIA

Le doy gracias a Dios por haberme dado la oportunidad de llegar a finalizar mi carrera universitaria y permitirme estar alado de mis seres queridos.

A mis padre Hazael Sotelo Olivares y Dominga del Carmen Almendarez, por el apoyo económico y por conducirme en la vida para no desviarme de mi meta logrando de esta manera concluir mis estudios, ya que con su gran sacrificio lograron apoyarme durante esta jornada de educación superior.

A mis amigos con los cuales he compartido momentos agradables por saberme llevar bien con todos ellos y conocer el verdadero significado de compañerismo y trabajo en equipo, al Ingeniero Néstor López Castro que ha sido uno de mis asesores en la elaboración de este documento.

Luz Marina Sotelo Almendarez.

A Dios, por darme la vida y la libertad de tomar mis propias decisiones, que me han llevado a culminar una meta más, de poder titularme como Ingeniero Electrónico.

A mi madre, Ángela María Requene, por conducirme por el buen camino, aconsejarme en tomar las mejores decisiones de mi vida y motivarme a finalizar con éxito mis metas propuestas.

A mis hermanas Jessica, Ana y Erika por su apoyo incondicional en todo el transcurso de mis estudios universitarios, tanto moral como económicamente, gracias por creer en mí y ser un ejemplo de superación.

Erick Yamir Requene

AGRADECIMIENTOS

A DIOS, por darnos la sabiduría y la fuerza para seguir adelante, mediante el cual poder optar al título de Ingeniero Electrónico y de esta manera poder desempeñar en el ámbito laboral.

A la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN-Managua), por permitirnos formar parte del gremio estudiantil de esta institución, de igual manera por brindarnos los recursos necesarios para formarnos como grandes profesionales y tener a disposición excelentes maestros laborando para la Universidad.

A los docentes, Msc. Milciades Delgadillo y Msc. Gema Velásquez por dedicarnos tiempos y brindarnos las instrucciones necesarias para poder elaborar correctamente el documento de acuerdo con las normativas de la universidad y cumplir con los requerimientos técnicos del prototipo.

INDICE	Página
RESUMEN	I
INTRODUCCIÓN	II
JUSTIFICACIÓN	IV
OBJETIVO GENERAL:	V
OBJETIVOS ESPECIFICOS:	V
CAPÍTULO 1 CONCEPTOS GENERALES DE SISMOS Y SISMÓGRAFOS	1
1.1 Introducción	2
1.2 Sismos	2
1.3 Ondas sísmicas	4
1.3.1 Ondas primarias (p)	4
1.3.2 Ondas secundarias (s)	5
1.4 Ondas superficiales	6
1.4.1 Ondas Love o tipo L	6
1.4.2 Ondas Rayleigh o tipo R	7
1.5 Tipos de sismo	8
1.6 Sistemas de detección y monitoreo convencional	9
1.7 El sismógrafo	11
1.7.1 El sismógrafo mecánico	13
1.7.2 El sismógrafo electromagnético	14
1.7.3 El sismógrafo de banda ancha	15
1.8 Escalas sísmicas	16
1.8.1 Escala de Richter	16
1.8.2 Escala de Mercalli	18
1.9 Los sismos en Nicaragua	20
CAPÍTULO 2 CARACTERÍSTICAS DE TARJETAS ARDUINO Y SENSOR PIEZOELÉCTRICO	22
2.1 Arduino	23
2.2 ¿Qué es lenguaje Processing/Wiring?	23
2.3 ¿Por qué Arduino?	24
2.4 Las placas Arduino	24
2.5 Estructura de una placa Arduino	26

2.5.1	Diagrama de bloques.....	26
2.5.2	Arquitectura AVR.....	27
2.6	Elección de Arduino Leonardo.....	28
2.7	Arduino Leonardo.....	28
2.7.1	Multi-plataforma.....	29
2.7.2	Software ampliable y de código abierto.....	29
2.7.3	Hardware ampliable y de código abierto.....	30
2.8	Características de Arduino Leonardo.....	30
2.9	Distribución de pines del ATMEGA 32U4-AU.....	31
2.10	Materiales y métodos.....	32
2.10.1	Software.....	32
2.10.2	Lenguaje de programación.....	34
3.1.1	Aplicaciones de sensores piezoeléctricos.....	37
3.2	Fundamentos teóricos del sensor piezoeléctrico.....	38
3.2.1	¿Cómo funcionan los piezoeléctricos?.....	38
3.2.2	Característica.....	39
CAPÍTULO 4 DESARROLLANDO EL PROTOTIPO DE SISMOGRAFO.....		40
4.1	Introducción.....	41
4.2	Paso 1: Instalar programa Arduino y elegir puerto de conexión.....	41
4.3	Paso 2: Esquema electrónico.....	42
4.4	Paso 3: Programación en el microcontrolador Atmega32U4.....	43
4.4.1	Paso 4: Declarando variables.....	44
4.5	Resultados.....	52
4.6	Diagrama de flujo de la programación.....	53
4.7	Factibilidad del prototipo.....	55
4.8	Presupuesto del proyecto.....	56
4.9	Utilidad del sismógrafo con la asignatura de sismología y riesgo sísmico.....	57
4.9.1	Movimientos telúricos.....	57
4.9.2	El problema de la magnitud.....	57
4.10	¿Cómo se estiman los parámetros de los gráficos magnitud-frecuencia?..	64
CAPÍTULO 5 FINALIDAD Y RECOMENDACIONES DEL PROYECTO.....		71
5.1	Conclusión.....	72
5.2	Recomendaciones.....	73

5.2.1	Acelerómetro: otra propuesta de desarrollo.....	73
5.3	Bibliografía	74
	ANEXOS	76
5.4	Aplicaciones del sismógrafo.....	77
5.4.1	Vibrómetros (sismómetros) en equipos celulares.....	77
5.5	Descripción del acelerómetro	78
5.6	Programación utilizando el sensor Acelerómetro.....	79
5.7	Glosario.....	80

Índice de Figuras	Página
Figura 1.2.1 Mapa de la división de las placas tectónicas en el mundo.....	3
Figura 1.2.2 Placa que interactúa sobre Nicaragua.....	4
Figura 1.3.1 Propagación ondas primarias (P).....	5
Figura 1.3.2 Propagación ondas secundarias (S)	5
Figura 1.4.1 Propagación ondas Love (L).....	6
Figura 1.4.2 Propagación ondas Rayleigh (Tipo R).	7
Figura 1.5.1 Zonas de sismos Interplaca e Intraplaca.....	8
Figura 1.5.2 Zonas de sismos volcánicos.....	9
Figura 1.7.1 Sismógrafo de péndulo vertical y horizontal.....	11
Figura 1.7.2 Sismograma de sismógrafo horizontal.	12
Figura 1.7.3 Partes que conforman al sismógrafo de banda ancha.....	15
Figura 1.9.1 Actividad sísmica en Nicaragua.	21
Figura 2.5.1 Diagrama de bloques de una placa Arduino.....	26
Figura 2.5.2 Diagrama de flujo de arquitectura AVR.....	27
Figura 2.7.1 Arduino Leonardo esquema electrónico.....	28
Figura 2.9.1 Características del microcontrolador Atmega 32U4-AU.	31
Figura 2.10.1 Entorno de trabajo software Arduino.	32
Figura 2.10.2 Barra de Herramientas del terminal de Arduino.	33
Figura 2.10.3 Estructura de la programación.....	34
Figura 3.2.1 Desplazamiento de la carga eléctrica.	38
Figura 4.2.1 Captura de pantalla de programa Arduino instalado y donde buscar el puerto COM.	42

Figura 4.3.1 Esquema eléctrico; prototipo de sismógrafo.	43
Figura 4.4.1 Declaración de las constantes en el programa de Arduino.....	44
Figura 4.4.2 Declaraciones de las entradas y salidas del programa al microcontrolador.	45
Figura 4.4.3 Declarando las ejecuciones de bucles.....	47
Figura 4.4.4 Declaración de impresión de la grafica.	48
Figura 4.4.5 cuadro para verificar o compilar el programa.	48
Figura 4.4.6 Cuadro de proceso de compilación.....	49
Figura 4.4.7 Cuadro de compilación sin errores de programación.	49
Figura 4.4.8 Procedimientos para escoger placa Arduino Leonardo.....	50
Figura 4.4.9 Procedimientos para escoger Puerto COM Arduino Leonardo...	51
Figura 4.4.10 Indicador para subir el programa a la tarjeta de Arduino Leonardo.....	51
Figura 4.5.1 Gráfica que imprime la programación utilizando el prototipo de sismógrafo.	52
Figura 4.6.1 Diagrama de bloques de la programación del prototipo de sismógrafo.	54
Figura 4.9.1 El número medio anual de los terremotos 1/10 magnitudes unitarias.	59
Figura 4.9.2 Intervalos de Magnitud.....	62
Figura 4.9.3 Modelo del terremoto característico.....	64
Figura 4.10.1 Intervalo de representatividad o completitud	65
Figura 4.10.2 Ocurrencia de sismos en los respectivos años.....	66
Figura 4.10.3 Estadística de la ocurrencia de sismos en los respectivos años.	66
Figura 4.10.4 Magnitudes	67
Figura 4.10.5 Intervalo de magnitud MMV.....	68
Figura 4.10.6 Intervalo de magnitud MMC	68
Figura 4.10.7 Izquierda: Magnitud de corto tiempo y Derecha: Magnitud largo tiempo.....	69
Figura 5.4.1 Aplicación del Vibrómetros en equipos celulares	77
Figura 5.5.1 Acelerómetro ejes “X”, “Y” y “Z”.....	78
Figura 5.5.2 Características del Acelerómetro.....	78

Índice de Tablas	Página
Tabla 1.4.1 Velocidades y riesgo de los tipos de ondas sísmicas.....	7
Tabla 1.6.1 Instrumentos de registros de actividad sísmica	10
Tabla 1.8.1 Escala de Richter.....	17
Tabla 1.8.2 Escala Mercalli (resumida)	19
Tabla 2.8.1 Características de Arduino Leonardo.	30
Tabla 4.8.1 Presupuesto de prototipo de sismógrafo utilizando sensor piezoeléctrico.	56
Tabla 4.8.2 Presupuesto de prototipo de sismógrafo utilizando sensor acelerómetro.	56

RESUMEN

El desarrollo de un prototipo de sismógrafo, es en gran manera útil para el departamento de geología ya que no cuentan con este equipo para realizar las prácticas de laboratorio de la asignatura de sismología y riesgos sísmicos. Es necesario para su pleno desarrollo, es por esto que optamos por la elaboración de un equipo sismógrafo controlado por micro controlador Atmega 32U4 que se encuentra en la placa Arduino Leonardo optando a la elección de la última placa creada de Arduino tomando en cuenta las características que brindaran el proceso adecuado con nuestro equipo.

Este equipo es controlado por medio de una programación en lenguaje C++ el cual es una herramienta de código abierto este permitirá darle las instrucciones necesaria que necesita realizar el micro controlador para el funcionamiento del sismógrafo logrando así la impresión de la señal que brindara las vibraciones que transmite el sensor piezoeléctrico. De esta manera se puede manipular el sismógrafo sin ninguna dificultad ya que solo con seguir los pasos logramos la ejecución de mismo.

El funcionamiento se basa en los registros de vibración, golpe o movimiento que detecte el sensor piezoeléctrico, este manda señales eléctricas al Arduino de manera constante, el cual por medio de la programación genera una señal en donde se observan las frecuencias altas y bajas que han sido detectados.



INTRODUCCIÓN

Un sismógrafo es un instrumento que detecta y registra ondas sísmicas, el estudio del mismo permitirá conocer el mecanismo de trabajo, y desarrollar ideas que ayuden a diseñar un prototipo que cumpla con las mismas funciones de un sismógrafo, pero utilizando instrumentos electrónicos para hacer un equipo más compacto y sencillo de usar.

Los equipos de medición existentes como: el sismógrafo mecánico, electromagnético, de banda ancha, se asemejan en muchas cosas y es que cuentan con péndulos o masas suspendidas, que al captar movimientos la masa oscila ya sea horizontal o verticalmente lo que hace que grafique sobre papel bond, acoplado a un mecanismo disminuye errores o gráficas traspuesta en el mismo papel. Las dificultades que presenta este tipo de mecanismo es que toda la armazón tiene que estar muy bien calibrado y con un estudio físico del cual dependerá la sensibilidad de detección de movimientos sísmicos.

Por esta problemática presentamos el prototipo de sismógrafo, cuyo diseño cuenta únicamente con dos elementos principales; el microcontrolador y el sensor que registra la actividad sísmica. Si se habla de microcontroladores, existe una gran variedad de modelos, según la problemática a resolver, pero muchas de ellas con un alto costo de inversión, por lo que es necesario buscar otras alternativas tecnológicas. Por ello se decide implementar la tarjeta Arduino Leonardo, que posee un microcontrolador Atmega 32U4, cuenta con 20 pines digitales (7 de ellos son PWM) y 12 pines analógicos.

El sistema consta de un sensor piezoeléctrico, que capta frecuencias de vibración de 10kHz a 10 MHz y abarca las siguientes etapas:

Sensor piezoeléctrico (Adquisición de datos).

Tarjeta Arduino (controlador digital).



**Sismógrafo Electrónico De Medición Y Detección De Movimiento Telúricos Con Salida
Impresa, Para La Carrera De Ingeniería Geológica De La Unan – Managua 2016.**

En la primera etapa los datos obtenidos se adquieren por medio del sensor, que capta las vibraciones del medio y las convierte en carga eléctrica.

En la segunda etapa, la carga es captada por las entradas analógicas de la tarjeta Arduino Leonardo, y se programara en el microcontrolador que se encargara de graficar dicha señal.

Tras el desarrollo del prototipo se logró que el microcontrolador grafique, pero debido a que el sensor solo captas frecuencias de vibración altas, detecta solo golpes sobre la superficie de la cual se encuentra, por lo que se propone adaptar un sensor con mejores características.



JUSTIFICACIÓN

Nicaragua presenta uno de los índices de sismicidad más alto del mundo y la historia geológica de Nicaragua confirma que la zona del Pacífico presenta una mayor susceptibilidad sísmica en relación con el resto del país, tanto por encontrarse próxima a la zona de subducción, como por estar sobre la cadena volcánica nicaragüense.

El Municipio de Managua ha sido afectado por diversos sismos a lo largo de su historia, los cuales han causado daños a la infraestructura del municipio. Existieron dos eventos principales que destruyeron la ciudad casi por completo, mismos que marcaron la historia económica y social de los habitantes de Managua; éstos eventos fueron los sismos de 1931 y 1972. Así mismo, dichos sucesos confirmaron el grado de vulnerabilidad del municipio.

Tomando en cuenta lo antes mencionado en este trabajo de investigación, se propone realizar un equipo electrónico (acelerógrafos), que nos permita realizar mediciones de la amplificación del suelo ante la llegada de las ondas sísmicas (ondas de cuerpo y superficiales), que son los causantes más frecuentes de los daños causados a las infraestructura civil (edificio, caminos, puentes etc).

La elaboración de este equipo electrónico, tiene como propósito aportar a las capacidades, habilidades y destrezas que adquieren los estudiantes en el curso de sismología y riesgo sísmico que es parte del área disciplinar de geología ambiental de la carrera de ingeniería geológica que se oferta en la Unan-Managua. Además, contribuye a la adquisición de equipos para la carrera debido a que estos equipos tienen un costo alto y esta propuesta ayudaría a obtener un sensor que cumple con las mismas características de un acelerógrafo con un costo menor.



**Sismógrafo Electrónico De Medición Y Detección De Movimiento Telúricos Con Salida
Impresa, Para La Carrera De Ingeniería Geológica De La Unan – Managua 2016.**

OBJETIVO GENERAL:

Montar prototipo de sismógrafo que detecte movimientos telúricos controlado por Arduino – Leonardo.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- Analizar las características de la placa Arduino.
- Programar el intérprete de las señales obtenidas por el sensor para que guarde y grafique los movimientos.
- Comprobar que el prototipo de sismógrafo realice la gráfica de las frecuencias que capta el sensor piezoeléctrico.

CAPÍTULO 1

CONCEPTOS

GENERALES DE

SISMOS Y

SISMÓGRAFOS



1.1 Introducción

En este capítulo conoceremos los conceptos básicos y necesarios de la sismología en general y su presencia en Nicaragua. Posteriormente realizar la propuesta de un sismógrafo electrónico.

1.2 Sismos

Para poder entrar en la materia, es indispensable preestablecer unas definiciones de gran importancia. *Sismo* este nombre ha sido usada, por primera vez en España, por el sismólogo Vicente Inglada Ors¹.

El nombre Sismo se definió de la siguiente manera: "La ruptura súbita del equilibrio elástico de una región de lo interior de la tierra, son causados por el desplazamiento de los dos lados de un plano de fractura de cizalla con el relajamiento consiguiente de las deformaciones elásticas acumuladas por la acción de esfuerzos diferenciados que actúan en diversas regiones de la corteza terrestre" (Rodríguez, F., 1999).

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 kársticas, 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

¹(Alicante, 1879 - 1949) militar, geofísico y sismólogo español.



Sismógrafo Electrónico De Medición Y Detección De Movimiento Telúricos Con Salida Impresa, Para La Carrera De Ingeniería Geológica De La Unan – Managua 2016.

"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 1.2.1 Mapa de la división de las placas tectónicas en el mundo

Fuente: Saarikoski y Saavedra. Las placas tectónicas y sus consecuencias, (2010).



Figura 1.2.2 Placa que interactúa sobre Nicaragua
Fuente: *Terremotos en Ecuador (Historia)*, (2016).

1.3 Ondas sísmicas

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 1.3.1 Propagación ondas primarias (P)

Fuente: Material educativo. *Conceptos básicos*, (2016).

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 1.3.2 Propagación ondas secundarias (S)

Fuente: Material educativo. *Conceptos básicos*, (2016).



1.4 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.

1.4.1 Ondas Love o tipo L

Según los estudios de la Universidad de Costa Rica (2001), 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. Años atrás se dedujo que “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” Hough, A. E. (1991).

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.

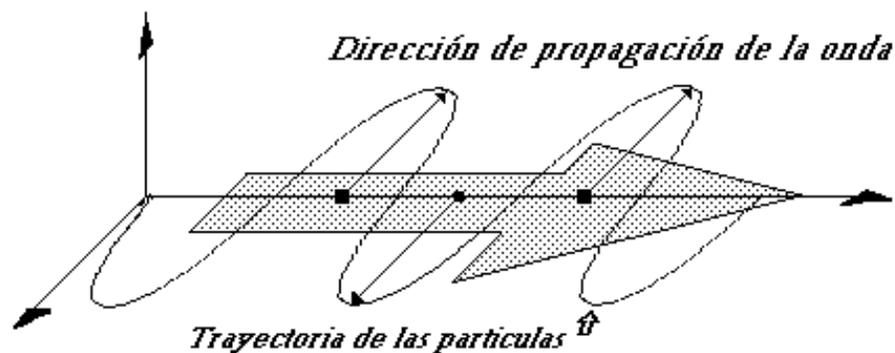


Figura 1.4.1 Propagación ondas Love (L)

Fuente: Material educativo. *Conceptos básicos*, (2016).



1.4.2 Ondas Rayleigh o tipo R

Como afirma Paul Gálvez (2013) 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, nombrada así por John William Strutt (conocido como Lord Rayleigh), quien matemáticamente predijo la existencia de esta clase de ondas en 1885.

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.

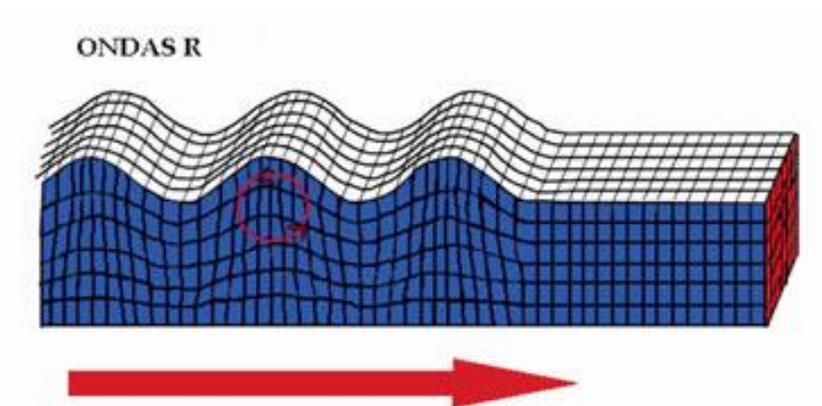


Figura 1.4.2 Propagación ondas Rayleigh (Tipo R).

Fuente: Material educativo. *Conceptos básicos*, (2016).

Tabla 1.4.1 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.

Fuente: Material educativo. *Conceptos básicos*, (2016).



1.5 Tipos de sismo

Según el equipo de redacción de Mas tipos de (2016, 01), los sismos equivalen al rompimiento repentino de las rocas en el interior de la Tierra. Esta liberación repentina de energía se propaga en forma de ondas que provocan el movimiento del terreno.

Tipos de sismo:

- **Interplaca:** Se generan en las zonas de contacto de las zonas tectónicas, tienen una alta magnitud, un foco profundo y liberan gran cantidad de energía. Alejados de los centros de población.
- **Intraplaca:** Se originan de las placas tectónicas, en las fallas locales. Tienen magnitudes pequeñas o moderadas y son cercanos a los centros de población.

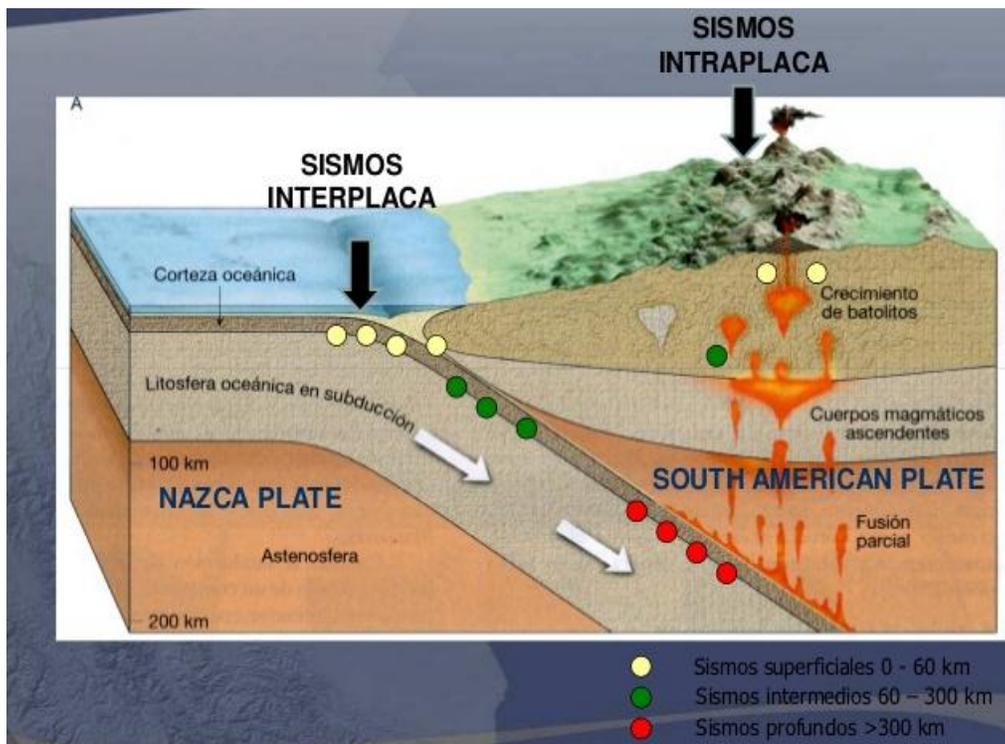


Figura 1.5.1 Zonas de sismos Interplaca e Intraplaca

Fuente: Benavente y Delgado. *Fallas activas y sismicidad en la ciudad del cusco*, (2012).



Sismógrafo Electrónico De Medición Y Detección De Movimiento Telúricos Con Salida Impresa, Para La Carrera De Ingeniería Geológica De La Unan – Managua 2016.

- **Volcánicos:** Son consecuencia de la actividad propia de los volcanes, generalmente son de baja magnitud y se limitan al aparato volcánico.

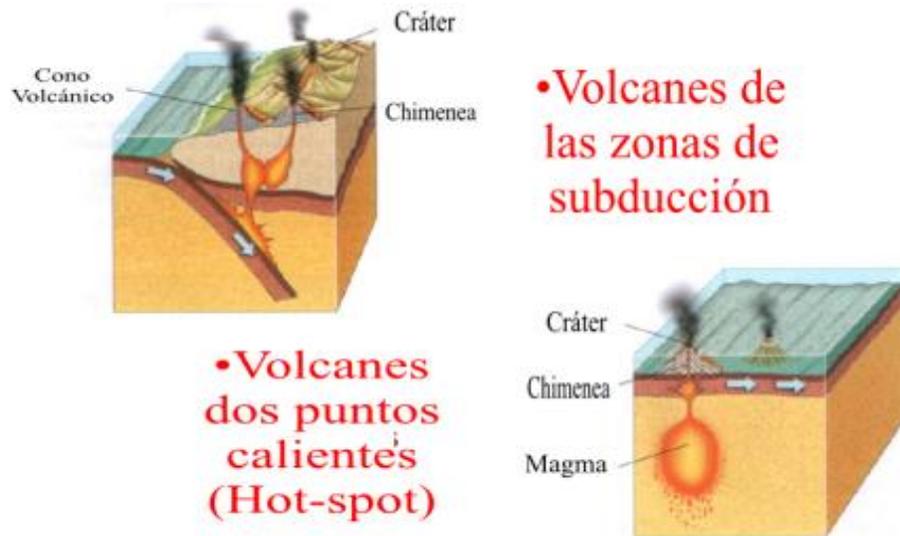


Figura 1.5.2 Zonas de sismos volcánicos.

Fuente: *Los testimonios de la dinámica interna de la Tierra volcánica* (2010)

- **Provocados por el ser humano:** Originados por explosiones o por el colapso de galerías en explosiones mineras.

1.6 Sistemas de detección y monitoreo convencional

- **Sismógrafo:** se encargan de realizar mediciones sobre las perturbaciones efectuadas en unos sismos; no obstante varias clases de instrumentos registran señales sísmicas que se encuentran enmarcadas en una amplia gama de frecuencias; es así que ondas de cuerpo de sismos regionales tienen un contenido espectral entre 1 y 10 Hz, de 0,1 a 1 Hz para sismos distantes.

El rango de frecuencias registrado en ondas superficiales en la corteza y el manto son entre 0,01 y 0,1 Hz con un período comprendido entre 10 a 100s.



Sismógrafo Electrónico De Medición Y Detección De Movimiento Telúricos Con Salida Impresa, Para La Carrera De Ingeniería Geológica De La Unan – Managua 2016.

Para registrar estas señales es fundamental tener una amplia banda de registros y esto depende de la respuesta instrumental. Existe una amplia gama de instrumentos que registran actividad sísmica tal como puede verse a continuación.

Tabla 1.6.1 Instrumentos de registros de actividad sísmica

Instrumento	Rango Espectral
Piezoeléctricos	$10^3 - 10^6$ Hz
Acelerómetros	0,01 – 100 Hz
Geófonos de Prospección	5 – 50 Hz
Sismómetros de corto períodos	0,2 – 2 s
Sismómetros de largo períodos	10 – 100 s
Extensómetros, Deformímetros, Distanciómetros	$f \ll 0,5$ Hz
Banda Ancha	0,003 – 30 Hz

Fuente: Otero, Vargas y Rodríguez. *ALTERNATIVAS PARA LA DETECCIÓN Y MONITOREO DE AMENAZAS SÍSMICAS BASADAS EN ARDUINO* (2013)

- Sensores: Los sensores sísmicos se clasifican en base a la respuesta de frecuencia que éstos tengan, estos son:
 - Corto periodo: Este tipo de sismómetro está caracterizado por tener una respuesta en velocidad normalmente plana en el rango de frecuencia entre 1 y 50 Hz (donde se sitúa la sismología de corto periodo).
 - La respuesta en frecuencia y sobre todo el rango dinámico hace a este tipo de instrumento ideal para el estudio de sismicidad local de magnitud moderada a baja, pero no para energías grandes, pues se suele producir la saturación mecánica del .
 - Banda ancha: Aunque en la mayoría de las situaciones el contenido de frecuencias de las señales volcánicas se centra en el denominado corto periodo, hay casos en los que existen señales a menor frecuencia que 1Hz,



- De movimiento fuerte: Utilizados para detectar movimientos de mediano o fuerte magnitud, por lo que los niveles de aceleración del suelo están en los umbrales detectables de este tipo de instrumentos. Por tanto, el uso de sensores de movimiento fuerte (acelerógrafos) no resulta ser una práctica extendida en la sismología volcánica.

1.7 El sismógrafo

El sismógrafo² 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 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 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.

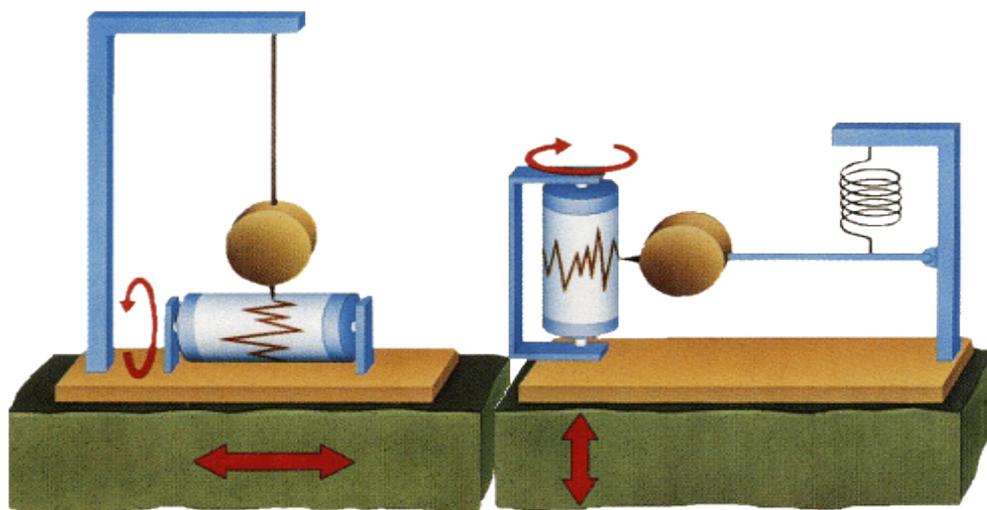


Figura 1.7.1 Sismógrafo de péndulo vertical y horizontal.

Fuente: Sismicidad en México. *CONSTITUCIÓN INTERNA DE LA TIERRA* (s.f.)

² Inventado en 1842 por el físico escocés James David Forbes.



Sismógrafo Electrónico De Medición Y Detección De Movimiento Telúricos Con Salida Impresa, Para La Carrera De Ingeniería Geológica De La Unan – Managua 2016.

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.

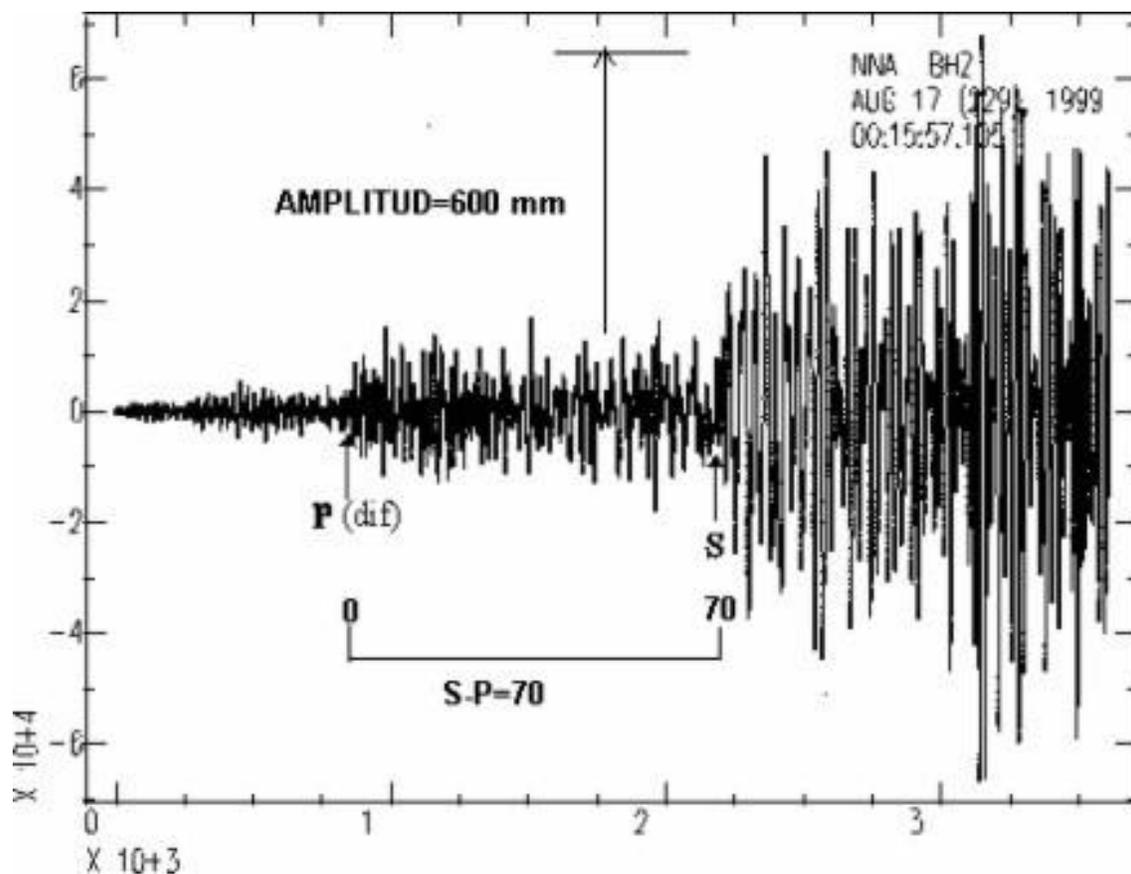


Figura 1.7.2 Sismograma de sismógrafo horizontal.

Fuente: Satorra, J. Magnitud sísmica (escala de Richter). *¿Cómo se miden los terremotos?*

(2010)



1.7.1 El sismógrafo mecánico

Los datos de sobre quién y en qué año se diseño ese sismógrafo son nulos, sin embargo Leidy, P. (2013) nos habla de un 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.

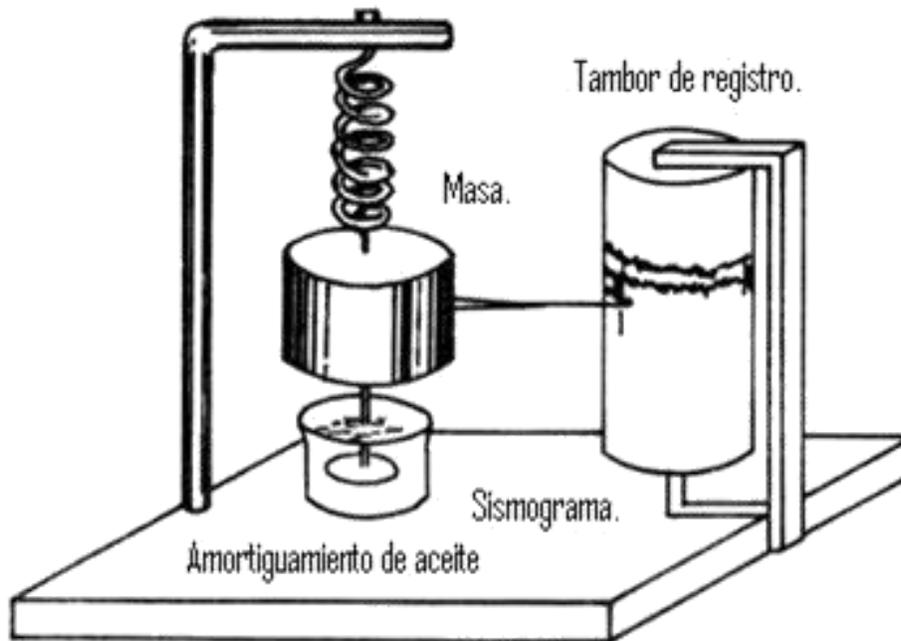


Figura 1.7.3 Partes que conforman un sismógrafo mecánico.

Fuente: Espínola y Jiménez. *SISMOLOGÍA Y TECTÓNICA DE PLACAS* (s.f.)



1.7.2 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.

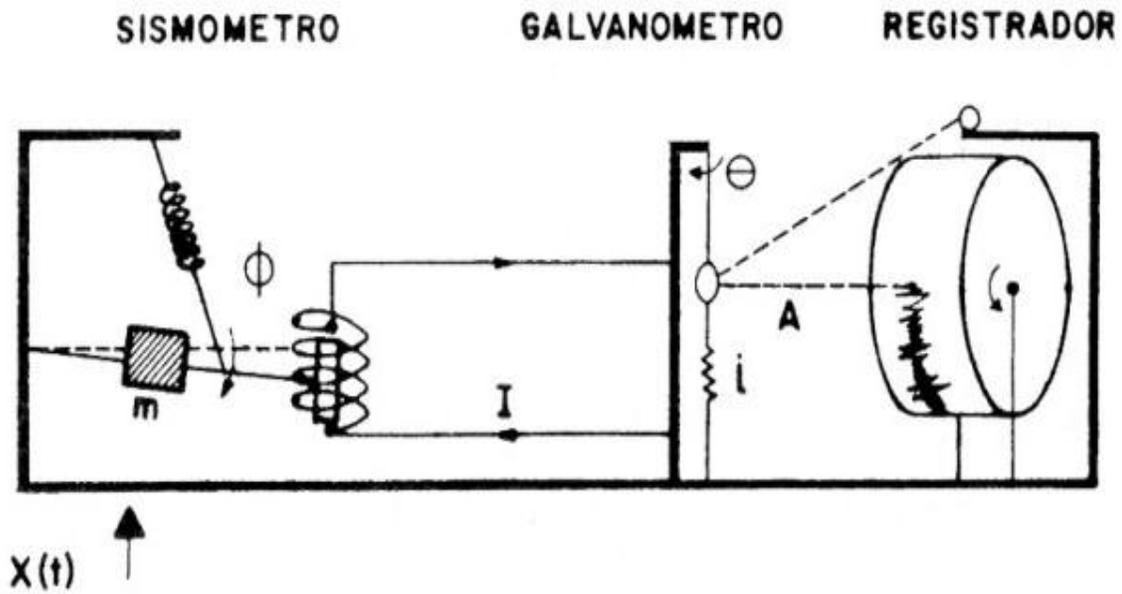


Figura 1.7.4 Partes que conforman al sismógrafo electromagnético.

Fuente: Leidy, P. Los sismógrafos. *Como es un sismógrafo* (2013)



1.7.3 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. Este sismógrafo fue desarrollado por el príncipe B.Galitzin en 1906, sin embargo los sismógrafo electromagnéticos fueron utilizados frecuentemente a partir de los años de 1950 con sistema de registro en papel.

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.

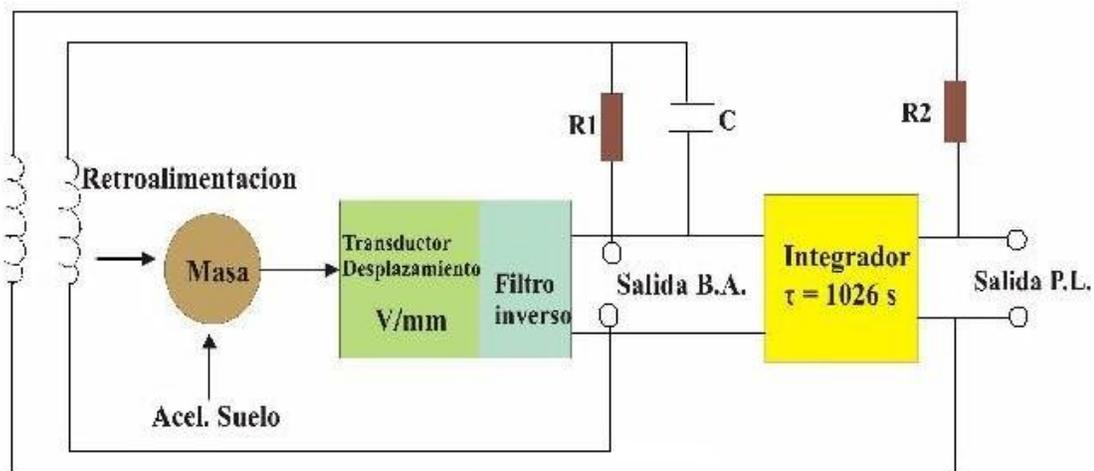


Figura 1.7.3 Partes que conforman al sismógrafo de banda ancha.

Fuente: Sismicidad. *Sismógrafos y sus tipos* (s.f.)



1.8 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 está con el efecto que ocasiona el sismo en la población, las construcciones y la naturaleza.

1.8.1 Escala de Richter

La escala sismológica de Richter³, 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.

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.

Esta escala es utilizada para evaluar y comparar la intensidad de los sismos. 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 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

³ Charles Francis Richter (1900-1985), sismólogo nacido en Hamilton, Ohio, Estados Unidos.



**Sismógrafo Electrónico De Medición Y Detección De Movimiento Telúricos Con Salida
Impresa, Para La Carrera De Ingeniería Geológica De La Unan – Managua 2016.**

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 1.8.1 Escala de Richter

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).



Sismógrafo Electrónico De Medición Y Detección De Movimiento Telúricos Con Salida Impresa, Para La Carrera De Ingeniería Geológica De La Unan – Managua 2016.

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 t	Terremoto de Sumatra de 2007.
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 causo el cráter de Chicxulub hace 65 millones de años.

Fuente: Sismos y Volcanes. *Escala de Richter* (2010)

1.8.2 Escala de Mercalli

La Escala de Mercalli⁴, 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

⁴ Giuseppe Mercalli, físico italiano quien la desarrolló en el siglo XXI.



Sismógrafo Electrónico De Medición Y Detección De Movimiento Telúricos Con Salida Impresa, Para La Carrera De Ingeniería Geológica De La Unan – Managua 2016.

Intensidad puede ser diferente en los diferentes sitios reportados para un mismo terremoto

Tabla 1.8.2 Escala Mercalli (resumida)

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.

Fuente: Velásquez, V. Geografía y Medio Ambiente. *Sismos* (2012)



1.9 Los sismos en Nicaragua

Según Álvarez (2016) del diario La Prensa. “Los temblores son comunes sobre todo en la zona del Pacífico de Nicaragua, ya que al este se encuentra la cordillera volcánica y al oeste la zona de subducción, que es donde chocan las placas continentales Coco y Caribe”.

Para dar un ejemplo, la densidad de fallas sísmicas en Managua es de 0.69 metros, según estudios del Ineter⁵, con lo cual, el espacio para construcciones seguras dentro de la ciudad es del 80 por ciento, sin incluir zonas de posibles fallamientos.

Otro de los reportes según Moncada, R. (2016). Los desastres no necesariamente dependen de los movimientos de tierra, en el caso de los sismos, sino en la ubicación y calidad de las construcciones, así como del comportamiento de las personas ante un evento de esta naturaleza.

En el caso de Nicaragua, los temblores pueden darse por fallas geológicas locales, erupciones volcánicas, o por el movimiento de las placas tectónicas Coco y Caribe, que chocan en las profundidades del Océano Pacífico, a poco más de 100 kilómetros frente a las costas nicaragüenses.

Mientras las fallas locales o volcanes pueden provocar, la zona de subducción, como le llaman los científicos al punto de choque entre las placas tectónicas Coco y Caribe, también pueden ocasionar un tsunami, como el del 1 de septiembre de 1992 en Nicaragua.

Además algunos terremotos llegan repentinamente, pero otros pueden presentar signos premonitorios. Esto significa que cuando hay un enjambre sísmico, muchos temblores pequeños, es probable que ocurra un terremoto de gran magnitud.

⁵ Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales.



Sismógrafo Electrónico De Medición Y Detección De Movimiento Telúricos Con Salida Impresa, Para La Carrera De Ingeniería Geológica De La Unan – Managua 2016.

Esto ocurrió con el terremoto del 23 de diciembre 1972. Aquella sacudida prácticamente borró de la historia la vieja Managua, dejó 10,000 muertos y 20,000 heridos.

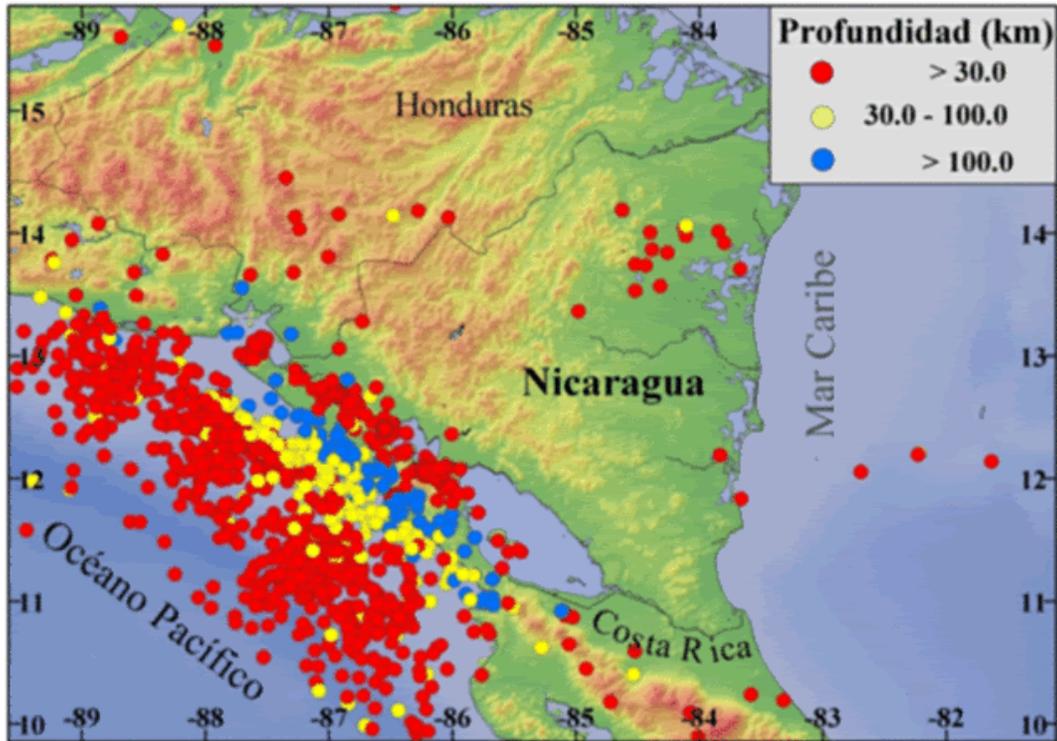


Figura 1.9.1 Actividad sísmica en Nicaragua.

Fuente: Aspectos Generales de la Sismicidad de diciembre (2004)



CAPÍTULO 2

CARACTERÍSTICAS

DE TARJETAS

ARDUINO Y

SENSOR

PIEZOELÉCTRICO



2.1 Arduino

El estudio que realizado por Thayer, L. (s.f.). Nos dice que Arduino es una plataforma de prototipos electrónica de código abierto⁶, basada en hardware y software flexibles y fáciles de usar.

Arduino puede sentir el entorno mediante la recepción de entradas desde una variedad de sensores y puede afectar a su alrededor mediante el control de luces, motores y otros artefactos. El microcontrolador de la placa se programa usando el *Arduino Programming Language* (basado en Wiring) y el *Arduino Development Environment* (basado en Processing). Los proyectos de Arduino pueden ser autónomos o se pueden comunicar con software en ejecución en un ordenador (por ejemplo con Flash, Processing, MaxMSP, etc.).

2.2 ¿Qué es lenguaje Processing/Wiring?

Processing no es solamente un lenguaje de programación orientado a la creación visual, si no todo una plataforma de creación de aplicaciones computacionales altamente interactivas que no solo se alimentan de los eventos producidos por los usuarios, si no por una gran cantidad de librerías que permiten conectarse a un sin número de plataformas y aplicativos que enriquecen las aplicaciones y le permiten producir una gran cantidad de acciones sobre el mundo virtual de la computadora. Además Revuelta, K. (2011) en su investigación, nos relaciona processing con el lenguaje wiring.

El wiring es un entorno de programación de entradas/salidas de código abierto para explorar las artes electrónicas, los medios materiales, la enseñanza y el aprendizaje de la programación informática y creación de prototipos con electrónica.

⁶ Hace referencia al hecho de adquirir un software de manera gratuita.



2.3 ¿Por qué Arduino?

Algunas de las principales ventajas de la utilización de Arduino como placa microcontroladora son:

El valor monetario de una placa de Arduino oscila alrededor de los U\$ 50, por tal motivo la utilización genera costos mínimos en la implementación

El software de Arduino tiene la característica de ser multiplataforma⁷, este puede ser ejecutado en sistemas operativos como Windows, Macintosh OSX y GNU/Linux.

- La curva de aprendizaje que genera el entorno de programación de Arduino, concibe que el conocimiento y tiempo de aprendizaje del lenguaje de programación de la Placa, sea flexible para los usuarios.
- El software Arduino está publicado como herramientas de código abierto, por tal motivo está disponible la extensión de la aplicación desarrollada por programadores experimentados.
- Arduino está basado en microcontroladores ATMEGA8 y ATMEGA168 de Atmel⁸. Los planos para los módulos están publicados bajo licencia Creative Commons, por lo que diseñadores experimentados de circuitos pueden hacer una propia versión del módulo, extendiéndolo y mejorándolo.

2.4 Las placas Arduino

Desde la iniciación del proyecto Arduino, hasta el día de hoy, la variedad de las placas crece conforme a la creatividad de los desarrolladores. Cada Placa hasta la fecha creada, cuenta con avances y mejoras en aspectos como la cantidad de memoria disponible, número de puertos, entre otras. Los modelos más populares de las placas Arduino son:

⁷ Conferido a programas informáticos o métodos y conceptos de cómputo que son implementados e interoperan en múltiples plataformas informáticas.

⁸ Atmel Corp. es una compañía de semiconductores, fundada en 1984. Su línea de productos incluye microcontroladores.



Sismógrafo Electrónico De Medición Y Detección De Movimiento Telúricos Con Salida Impresa, Para La Carrera De Ingeniería Geológica De La Unan – Managua 2016.

- Arduino UNO: Es la placa de Arduino que se conecta al PC a través de un cable USB estándar. Esta conexión permite la alimentación de la placa, además de programarla y utilizarla.
- Arduino Mega: Es una placa similar a la de USB, está calificada como la placa Arduino de mayor tamaño. Además es la más potente de todas las tarjetas disponibles. Utiliza un microcontrolador ATmega1280, 4 puertos UARTS, entre otras características.
- Arduino Mega ADK: Es una placa similar al Arduino Mega, pero con una interface USB para conectar con teléfonos basados en Android.
- Arduino Ethernet: Posee un conector RJ-45 para dar soporte Ethernet. Permite tomar la alimentación del propio conector Ethernet.
- Arduino LilyPad: LilyPad representa una aplicación distinta, creada para ser colocada en ropa y textiles en general. Hace uso del microcontrolador ATmega168V.
- Arduino BT: Posee la capacidad de comunicación sin cables o inalámbrica, mediante el aporte que genera la utilización de un módulo Bluetooth, mismo que es configurable mediante el puerto serie del ATmega168.
- Arduino Leonardo: la nueva versión basada en un microcontrolador ATmega32u4 arquitectura de un único procesador, sólo un microcontrolador en la placa que se comunica con el ordenador directamente por USB. Mayor número de entradas analógicas, la Arduino Leonardo dispone de 12 en lugar de las 6 disponibles en modelos anteriores.



2.5 Estructura de una placa Arduino

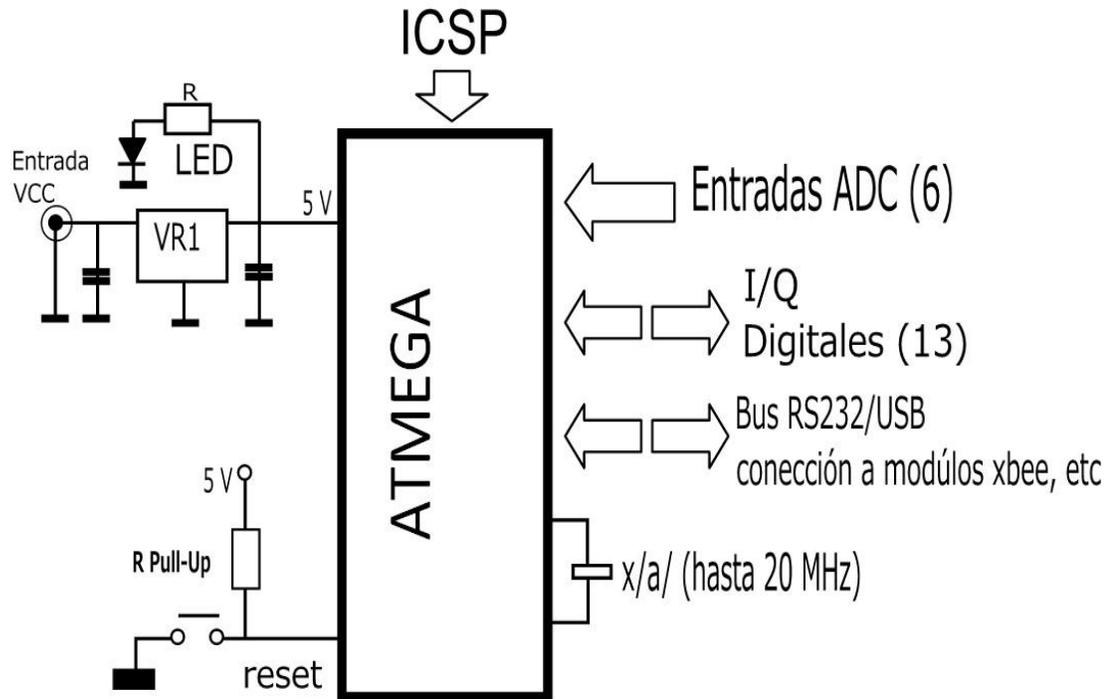


Figura 2.5.1 Diagrama de bloques de una placa Arduino
Fuente: *Comparativa Arduino: Arduino vs. el resto* (2009)

2.5.1 Diagrama de bloques

Pines de programación ICSP: son usados para programar microcontroladores en protoboard o sobre circuitos impresos sin tener que retirarlos de su sitio.

Leds de recepción y transmisión: se enciende cuando la tarjeta se comunica con el PC. El Tx indica transmisión de datos y el Rx recepción.

Puertos de conexiones de pines de entradas o salidas digitales: La configuración como entrada o salida debe ser incluida en el programa. Cuando se usa la terminal será es conveniente usar los pines cero (Rx) y uno (Tx).

Chip de comunicación: permite la conversación serial al USB.



Las tarjetas Arduino son placas que contienen un microcontrolador de la marca Atmel, denominada AVR® 8-Bit RISC, ésta línea de microcontroladores está formada por varios grupos, entre los cuales se encuentra Atmega⁹.

2.5.2 Arquitectura AVR

La características que tienen en común las familias pertenecientes a la línea AVR® 8-Bit RISC es que están basados en la arquitectura AVR¹⁰, mostrada a continuación.

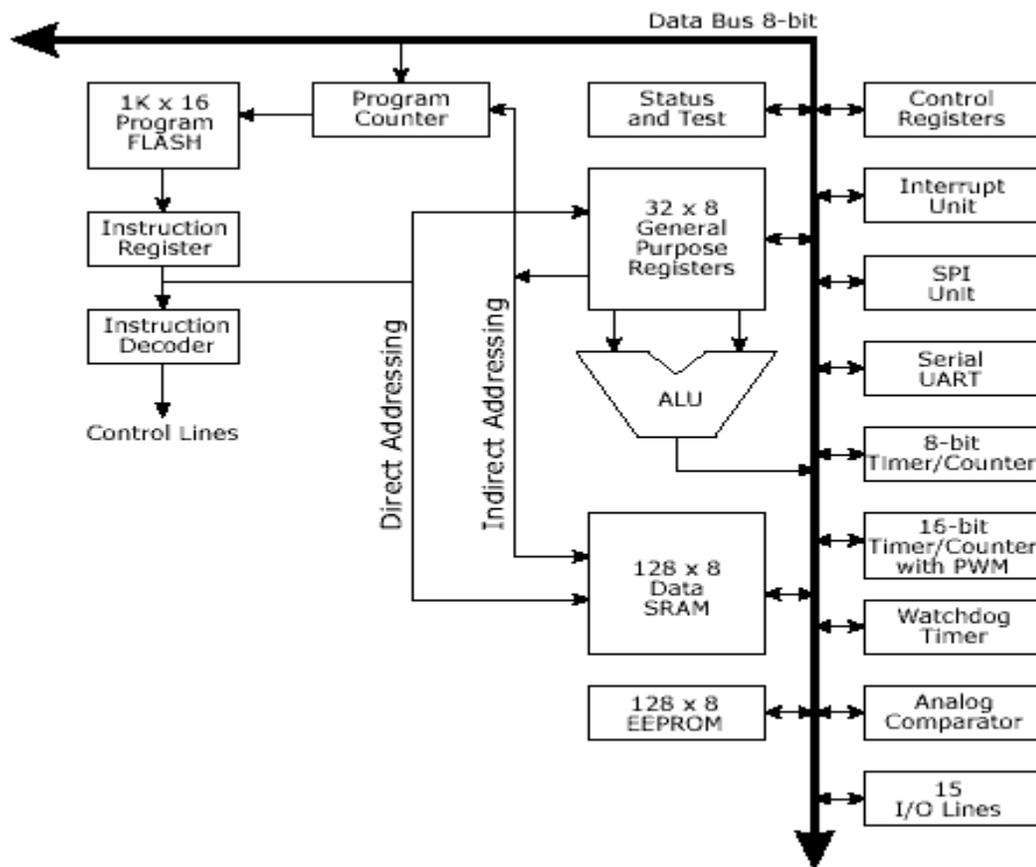


Figura 2.5.2 Diagrama de flujo de arquitectura AVR

Fuente: Casillas, F. E. *DESARROLLANDO ALGORITMOS DE CONTROL PID* (2016)

⁹ Microcontroladores AVR grandes con 4 a 256 kB de memoria flash programable, encapsulados de 28 a 100 pines, conjunto de instrucciones extendido (multiplicación y direccionamiento de programas mayores) y amplio conjunto de periféricos.

¹⁰ son una familia de microcontroladores RISC del fabricante estadounidense Atmel.



2.6 Elección de Arduino Leonardo

La elección de la placa Leonardo se llevo a cabo tomando en cuentas sus características, y por ser la última tarjeta que fabrica Arduino, esta agrega un microcontrolador que ejecuta el programa más rápido, mas entradas y salidas tanto analógicas como digitales, lo que ayuda a la realización de un equipo más compacto, sin necesidad de utilizar convertidores, además que su puerto de conexión está estandarizada porque integra conector mini-USB, es decir, con un USB de celular, buen puedo conectar Arduino Leonardo a la computadora.

2.7 Arduino Leonardo

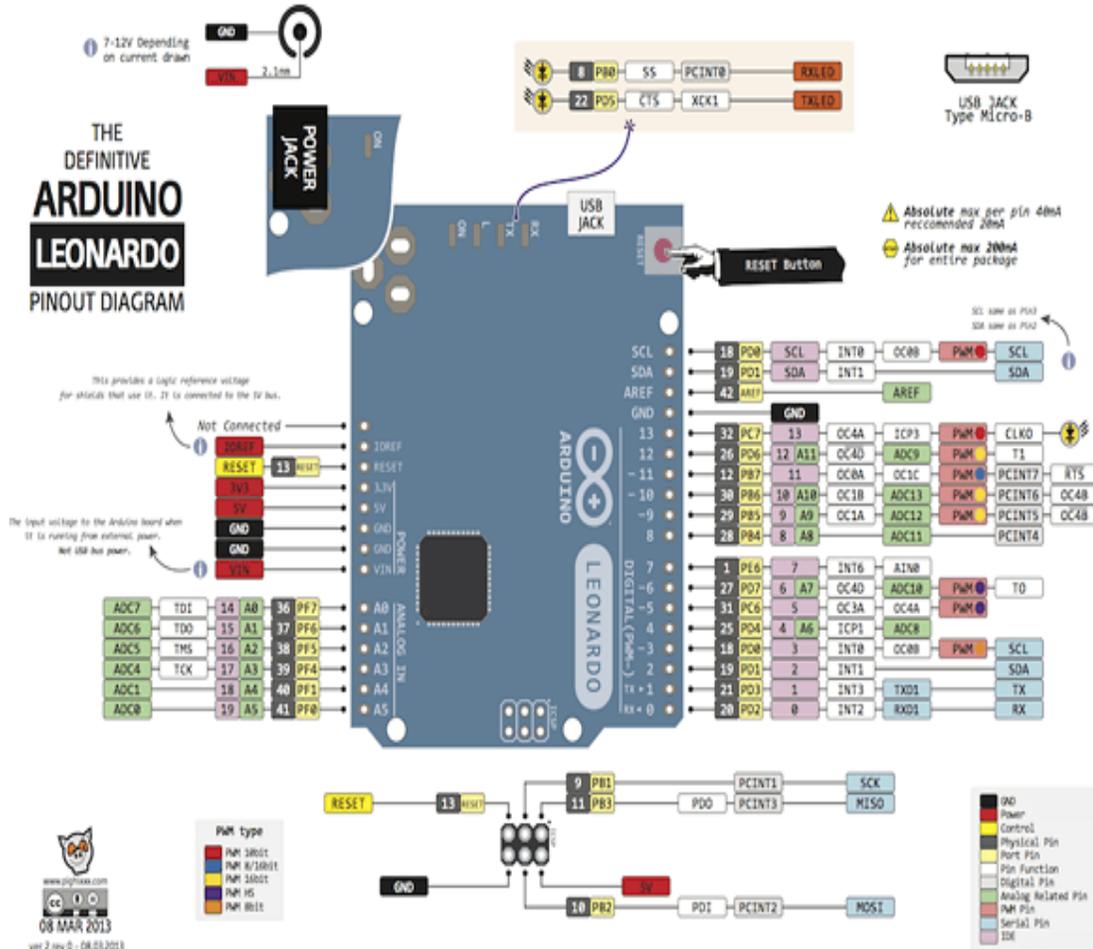


Figura 2.7.1 Arduino Leonardo esquema electrónico

Fuente: Martin, L. Automatismo mar de plata. *Diagramas de Arduino Leonardo y MEGA*

(2013)



Sismógrafo Electrónico De Medición Y Detección De Movimiento Telúricos Con Salida Impresa, Para La Carrera De Ingeniería Geológica De La Unan – Managua 2016.

Es una placa basada en un micro-controlador Atmega32u4 de bajo consumo y que trabaja a 16Mhz. La memoria flash tiene una capacidad de 32KB (4KB para el bootloader) y 2.5KB de SRAM. La EEPROM es de 1KB, también muy similar a Arduino UNO en cuanto a capacidades de almacenamiento. A nivel electrónico y de voltajes es igual al UNO. Pero este micro-controlador puede manejar 20 pines digitales (7 de ellos pueden ser manejados como PWM) y 12 pines analógicos.

El volumen ocupado por Leonardo es inferior al de UNO, puesto que carece de las inserciones de los pines y en su lugar posee perforaciones con pads de conexión en la propia placa. Además las dimensiones del conector USB de la placa es mucho menor, ya que en vez de una conexión USB emplea una mini-USB para ahorrar espacio. Por eso es idóneo para proyectos en los que se requiera ahorrar algo de espacio.

2.7.1 Multi-plataforma

El software de Arduino funciona en los sistemas operativos Windows, Macintosh OSX y Linux. La mayoría de los entornos para micro-controladores están limitados a Windows.

2.7.2 Software ampliable y de código abierto

El software Arduino está publicado bajo una licencia libre y preparada para ser ampliado por programadores experimentados. El lenguaje puede ampliarse a través de librerías de C++¹¹, y si se está interesado en profundizar en los detalles técnicos, se puede dar el salto a la programación en el lenguaje AVR C en el que está basado. De igual modo se puede añadir directamente código en AVR C en los programas si así se desea.

¹¹ Es un lenguaje de programación diseñado a mediados de los años 1980 por Bjarne Stroustrup.



2.7.3 Hardware ampliable y de código abierto

El hardware libre o abierto toma las mismas ideas del software, pero aplicadas al campo de los componentes físicos. Una placa de hardware abierto significa que se distribuye junto con todos sus esquemas y ficheros necesarios para la fabricación y se otorga permiso explícito para que cualquiera copie los esquemas, los modifique o fabrique la placa, mantiene esta libertad en cualquier diseño derivado.

Los planos de los módulos están publicados bajo licencia Creative Commons, por lo que diseñadores de circuitos con experiencia pueden hacer su propia versión del módulo, ampliándolo u optimizándolo. Incluso usuarios relativamente inexpertos pueden construir la versión para placa de desarrollo para entender cómo funciona y ahorrar algo de dinero.

2.8 Características de Arduino Leonardo

Estas características son brindadas en las páginas de ventas de Arduino, como especificaciones de trabajo de cada tarjeta, así como precios de venta.

Tabla 2.8.1 Características de Arduino Leonardo.

Características de Arduino Leonardo.	Atmega32u4
Voltaje de funcionamiento	5V
Alimentación (recomendada)	7-12V
Voltaje máximo de entrada(no recomendado)	20V
Pines digitales I/O	20 (de los cuales 7 dan salida PWM)
Pines de entrada analógica	12
Corriente DC por I/O Pin	40 Ma
Corriente DC para el pin 3.3V	50 Ma
Memoria Flash	32 KB
SRAM	3.3 KB
EEPROM	1 KB
Velocidad de reloj	16 MHz

Fuente: *Arduitiendas* (2016)



2.9 Distribución de pines del ATMEGA 32U4-AU.

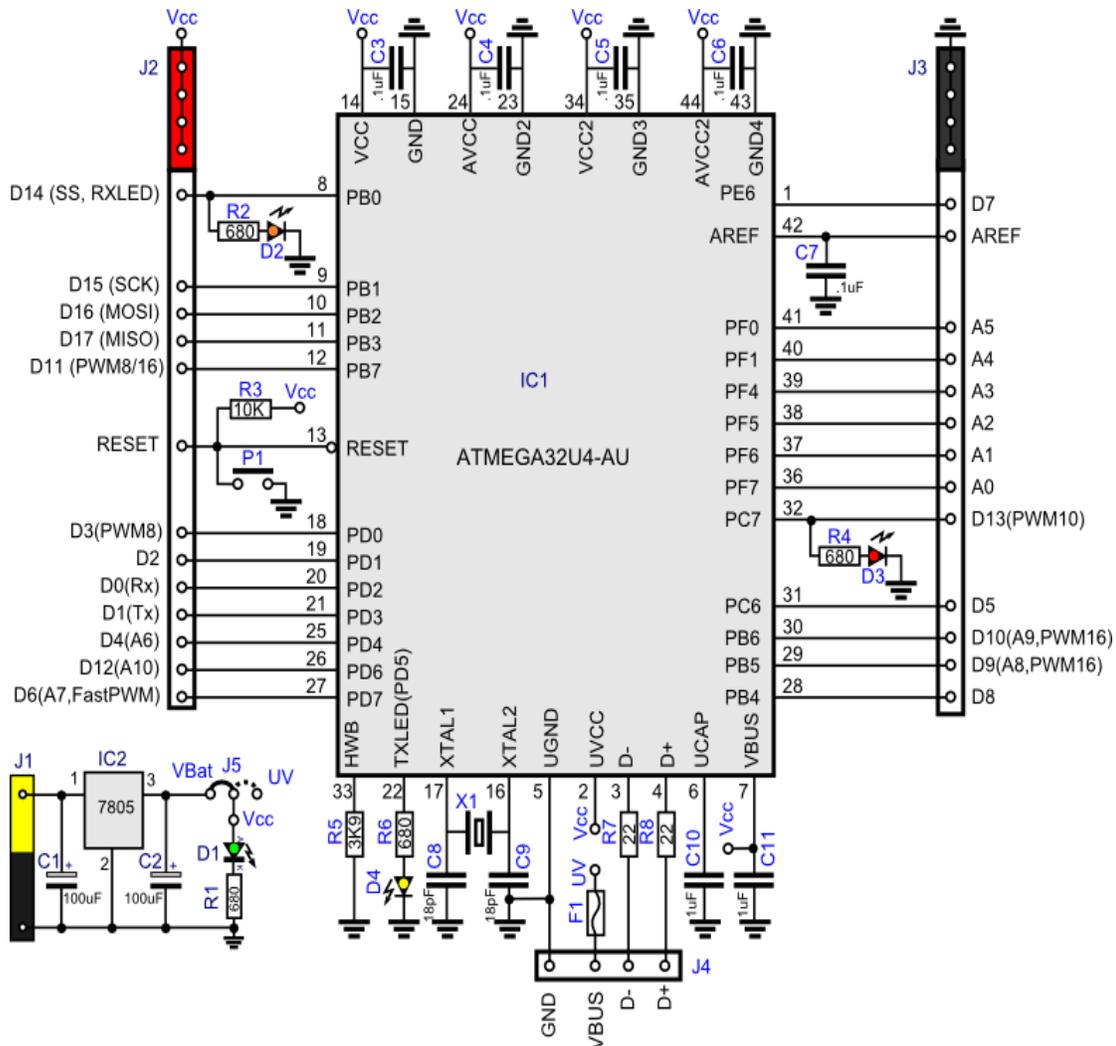


Figura 2.9.1 Características del microcontrolador Atmega 32U4-AU.

Fuente: *Paperduino Leonardo: Clon de Arduino Leonardo en un PCB de una sola cara* (2011)

El Atmega32U4 es un micro-controlador de alto performance de bajo consumo de potencia de 8 bits. Es un micro-controlador con 32K Bytes en un sistema de flash programable. Tiene una estructura RISC avanzada, con 131 instrucciones y sus registros de trabajo general es 32X8.



Sismógrafo Electrónico De Medición Y Detección De Movimiento Telúricos Con Salida Impresa, Para La Carrera De Ingeniería Geológica De La Unan – Managua 2016.

El micro-controlador Arduino es recomendable utilizarlo ya que permite manejar proyectos interactivos, tiene la posibilidad de leer datos de varios elementos, por ejemplo interruptores, sensores, etc. Además se puede controlar el funcionamiento de actuadores físicos, motores, luces, etc. Los proyectos desarrollados en Arduino pueden ser autónomos o ser controlados a través de un programa que se ejecute desde un computador. La placa puede ser comprada lista para usar, convirtiéndose en una poderosa herramienta para un diseño rápido y seguro de micro-controladores.

2.10 Materiales y métodos

2.10.1 Software

Arduino dispone de un terminal para visualizar las peticiones enviadas y recibidas en el momento que se establece una comunicación con dispositivos externos. Está escrito en Java y basado en Processing, avrgcc entre otros programas de código abierto. Para el correcto funcionamiento, Arduino requiere de la instalación de drivers FTDI fabricados por la empresa Future Technology Devices International Ltd. (Desarrolla, fabrica, y da apoyo a dispositivos y sus correspondientes controladores de software (drivers) para la conversión de transmisiones serie RS-232 o TTL a señales USB, con el fin de permitir la compatibilidad de dispositivos heredados con los ordenadores modernos.)

Reconocida por fabricar los chips conversores USBSerie, que simulan el puerto USB de comunicaciones COM. Utilizado para conectar a diversos computadores; la instalación se exceptúa en sistemas operativos Linux. El entorno virtual de Arduino está constituido por las siguientes opciones de control:



Sismógrafo Electrónico De Medición Y Detección De Movimiento Telúricos Con Salida Impresa, Para La Carrera De Ingeniería Geológica De La Unan – Managua 2016.

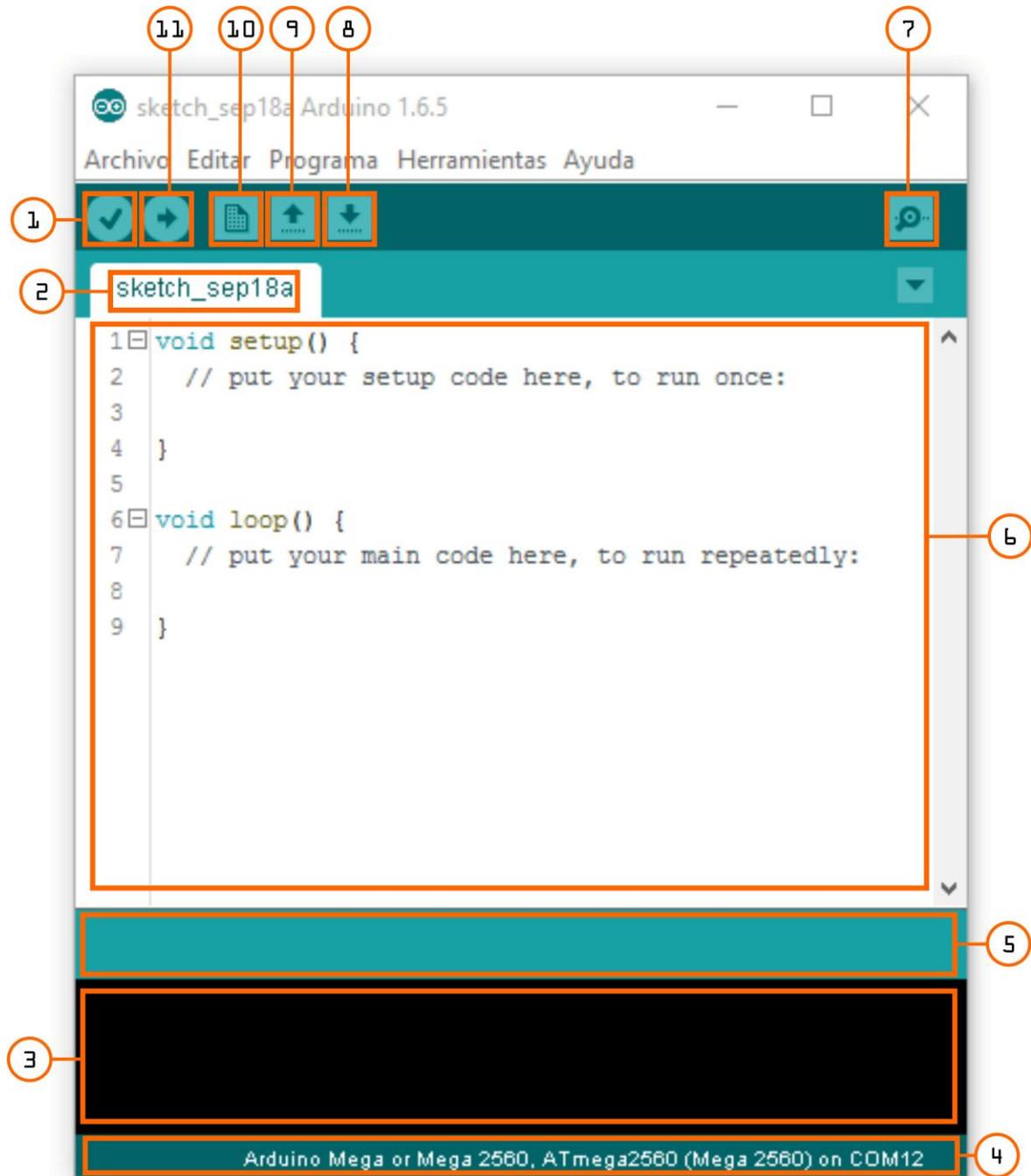


Figura 2.10.2 Barra de Herramientas del terminal de Arduino.

Fuente: Alonso, J. Conociendo el IDE de Arduino – Introducción a Arduino (2015)



Sismógrafo Electrónico De Medición Y Detección De Movimiento Telúricos Con Salida Impresa, Para La Carrera De Ingeniería Geológica De La Unan – Managua 2016.

El IDE con una sección para escribir el código (6) de nuestro Sketch, una barra de estado (4) donde se muestra la placa que se está utilizando, el tipo de Microcontrolador y el puerto COM al cuál está conectada. Cuenta con botones para compilar el código (1), para transferir el algoritmo a la placa (11), crear nuevo Sketch (10), Abrir un Sketch (9), y Salvar Sketch (8). También cuenta con un acceso al Monitor Serial (7), una consola de registro de las acciones que lleva a cabo el compilador (3) y una barra destinada a informar el estado de la compilación y la transferencia hacia la placa (5).

2.10.2 Lenguaje de programación

El IDE (Entorno de desarrollo Integrado) de Arduino se encuentra en la página oficial, no cuenta con soporte técnico sino con una comunidad a nivel mundial que trabaja en conjunto para dar solución a los problemas que se puedan presentar.

El lenguaje de programación de Arduino está basado en C++, es un lenguaje de programación híbrido diseñado a mediados de los años 1980 por Bjarne Stroustrup. La intención de su creación fue el extender al exitoso lenguaje de programación C con mecanismos que permitan la manipulación de objetos.

2.10.2.1 Elementos básicos en la programación en C++

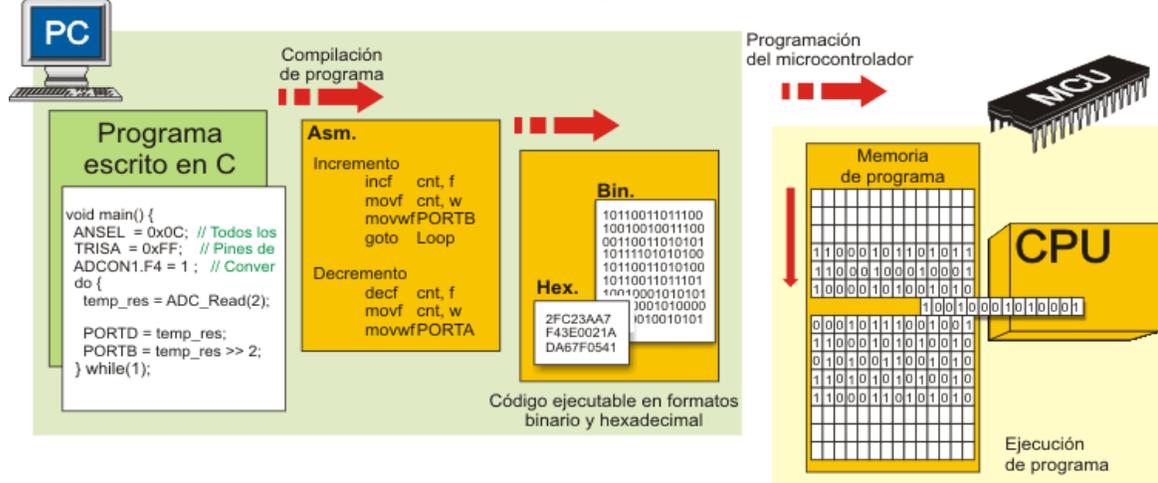


Figura 2.10.3 Estructura de la programación.

Fuente: Aprendiendo Arduino. Lenguaje de programación C++ (s.f.)



Sismógrafo Electrónico De Medición Y Detección De Movimiento Telúricos Con Salida Impresa, Para La Carrera De Ingeniería Geológica De La Unan – Managua 2016.

Estas son unos de los caracteres esenciales en la programación C++, donde a falta de alguno de ellos, al compilar la programación marcaría error.

- **{ “Entre llaves”**

Las llaves sirven para definir el principio y el final de un bloque de instrucciones. Se utilizan para los bloques de programación `setup()`, `loop()`, `if..`, etc.

Una llave de apertura “{” siempre debe ir seguida de una llave de cierre “}”, si no es así el compilador dará errores. El entorno de programación de Arduino incluye una herramienta de gran utilidad para comprobar el total de llaves. Sólo tienes que hacer click en el punto de inserción de una llave abierta e inmediatamente se marca el correspondiente cierre de ese bloque (llave cerrada).

- **; “punto y coma”**

El punto y coma “;” se utiliza para separar instrucciones en el lenguaje de programación de Arduino. También se utiliza para separar elementos en una instrucción de tipo “bucle for”.

Nota: Si olvidáis poner fin a una línea con un punto y coma se producirá en un error de compilación.

- **/*... */ “bloque de comentarios”**

Los bloques de comentarios, o comentarios multi-línea son áreas de texto ignorados por el programa que se utilizan para las descripciones del código o comentarios que ayudan a comprender el programa. Comienzan con `/ *` y terminan con `* /` y pueden abarcar varias líneas.

Debido a que los comentarios son ignorados por el compilador y no ocupan espacio en la memoria de Arduino pueden ser utilizados con generosidad.



Sismógrafo Electrónico De Medición Y Detección De Movimiento Telúricos Con Salida Impresa, Para La Carrera De Ingeniería Geológica De La Unan – Managua 2016.

- **// línea de comentarios**

Una línea de comentario empieza con // y terminan con la siguiente línea de código. Al igual que los comentarios de bloque, los de línea son ignoradas por el programa y no ocupan espacio en la memoria.

Una línea de comentario se utiliza a menudo después de una instrucción, para proporcionar más información acerca de lo que hace esta o para recordarla más adelante.

Existe una guía de estilo para escribir código claro de Arduino y que sea fácil de entender. No es obligatorio, pero es una recomendación:

- Documentar al máximo
- Usar esquemas
- Predominar la facilidad de lectura sobre la eficiencia del código
- Poner el setup() y loop() al principio del programa
- Usar variables descriptivas
- Explicar el código al principio



3.1.1 Aplicaciones de sensores piezoeléctricos.

Los sensores piezoeléctricos se consideran herramientas versátiles para la medición de distintos procesos, por ejemplo en garantías de calidad, procesos de control o investigación y desarrollo en diferentes campos industriales. Aunque el efecto piezoeléctrico fue descubierto por Pierre Curie¹² en 1880, no comenzó a ser implementado en las aéreas sensoriales de la industria hasta 1950. Desde entonces, el uso de este principio de medición se ha incrementado, debido a su fácil manejo y su alto nivel de fiabilidad. Tiene aplicaciones en campos como la medicina, la industria aeroespacial y la instrumentación nuclear, así como en pantallas táctiles de teléfonos móviles. En la industria automovilística, los elementos piezoeléctricos se utilizan para monitorear la combustión durante el desarrollo de motores de combustión interna, bien montados directamente en hoyos adicionales en la culata o en las bujías, que están equipadas con un sensor piezoeléctrico en miniatura.

Una desventaja de los sensores piezoeléctricos es que no se pueden utilizar para mediciones de estática, ya que una fuerza estática resultaría en una cantidad fija de cargas sobre el material piezoeléctrico. Al trabajar con dispositivos de visualización convencionales y materiales aislantes imperfectos, así como por la reducción de la resistencia interna del sensor, resulta poco eficiente debido a la pérdida constante de electrones y el bajo rendimiento de la señal. Además, las temperaturas elevadas causan una falla adicional en la resistencia interna y en la sensibilidad de la medición. La principal consecuencia del efecto piezoeléctrico es que cuando aumenta significativamente la presión y la temperatura la sensibilidad se reduce debido al llamado montaje gemelo (*twin-formation*).

¹² Pierre Curie (1859 - 1906) físico francés, pionero en el estudio de la radiactividad y descubridor de la piezoelectricidad, galardonado con el Premio Nobel de Física del año 1903.



3.2 Fundamentos teóricos del sensor piezoeléctrico.

El piezoeléctrico (pequeño disco metálico) genera una pequeña corriente eléctrica al detectar vibración, golpeo o movimiento, la corriente la recogerá la placa Arduino de manera analógica, esto permite diferenciar una vibración mayor a una menor, o lo que lo mismo le da a nuestra sensor sensibilidad al golpeo.

3.2.1 ¿Cómo funcionan los piezoeléctricos?

Para generar una señal de salida útil, los sensores se basan en el efecto piezoeléctrico. ("Piezo" es un término griego que significa "apretar".) Cuando los elementos piezoeléctricos están tensos por una fuerza externa, la carga eléctrica se acumula en las superficies desplazadas opuestas. El desplazamiento de la carga eléctrica debido a la desviación de la red en un cristal de cuarzo natural piezoeléctrico. Los círculos más grandes representan átomos de silicio, mientras que los más pequeños representan oxígeno. Cuarzo cristalino, ya sea en su estado natural o de alta calidad, forma reprocesado, es uno de los materiales más sensibles y estable piezoeléctrico

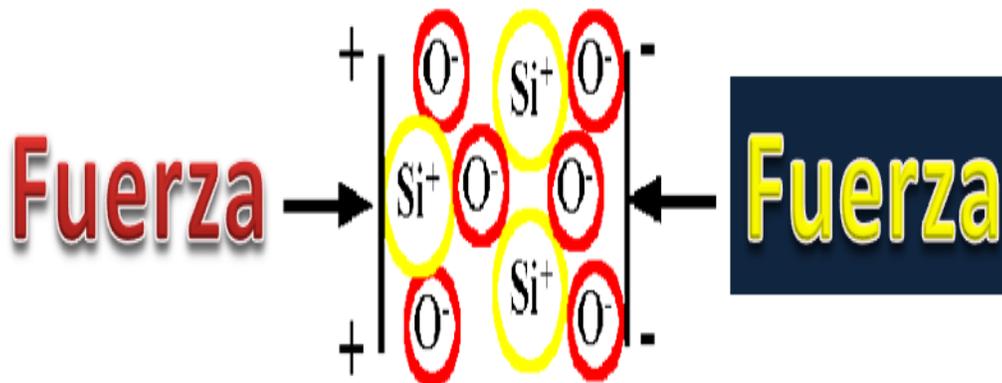


Figura 3.2.1 Desplazamiento de la carga eléctrica.

Fuente: Hernández, J. ¿Cómo funcionan los Piezoeléctricos? Teoría General. *Piezolectricidad* (2011)



3.2.2 Característica

El sensor de vibración amortigua un transductor piezoeléctrico que responde a la tensión de cambios mediante la generación de un cambio de tensión de salida medible que es proporcional con la fuerza de vibración.

Fuente de alimentación: 5V

Interfaz: analógica

La piezoelectricidad es un fenómeno que ocurre en determinados cristales que, al ser sometidos a tensiones mecánicas, adquieren una polarización eléctrica y aparece una diferencia de potencial y cargas eléctricas en su superficie que generan una tensión eléctrica.



CAPÍTULO 4

DESARROLLANDO

EL PROTOTIPO DE

SISMOGRAFO



4.1 Introducción

Para que el prototipo funcione se requiere básicamente de el programa Arduino, en el se especificara con detalle que es lo que se quiere realizar. Para saber los resultados se necesita ver la grafica de salida, que es donde se verá que el sensor está captando las frecuencias de vibración.

Existen varios métodos para obtener la gráfica, las cuales requieren de un programa graficador con Arduino, entre ellos Netbeans, C#, Processing, etc., pero la problemática está, para poder interactuar con ellos se necesita configurar el puerto serial de Arduino y acoplarlo a cualquiera de los graficadores que desee utilizar. Esto requiere tiempo y sencillamente todos harán lo mismo que el graficador integrado en Arduino llamado Serial Plotter.

4.2 Paso 1: Instalar programa Arduino y elegir puerto de conexión.

Existe mucha información sobre Arduino, por lo que simplemente iremos exponiendo las distintas situaciones con los que nos encontramos y cómo tratamos de solucionarlos.

Lo primero es sencillo, instalar el software y drivers de Arduino, se puede encontrar aquí [<http://arduino.cc/en/Main/Software>]. Una vez instalado el software (en este caso se instaló 1.6.8), conectamos la placa al USB. Windows buscará controladores y no los encontrará así que le indicaremos que busque en la carpeta “drivers” de nuestra instalación de software.

Con el controlador instalado, en el administrador de dispositivos veremos en qué puerto COM (puerto emulado) se ha instalado Arduino. Abrimos el software de programación y en:

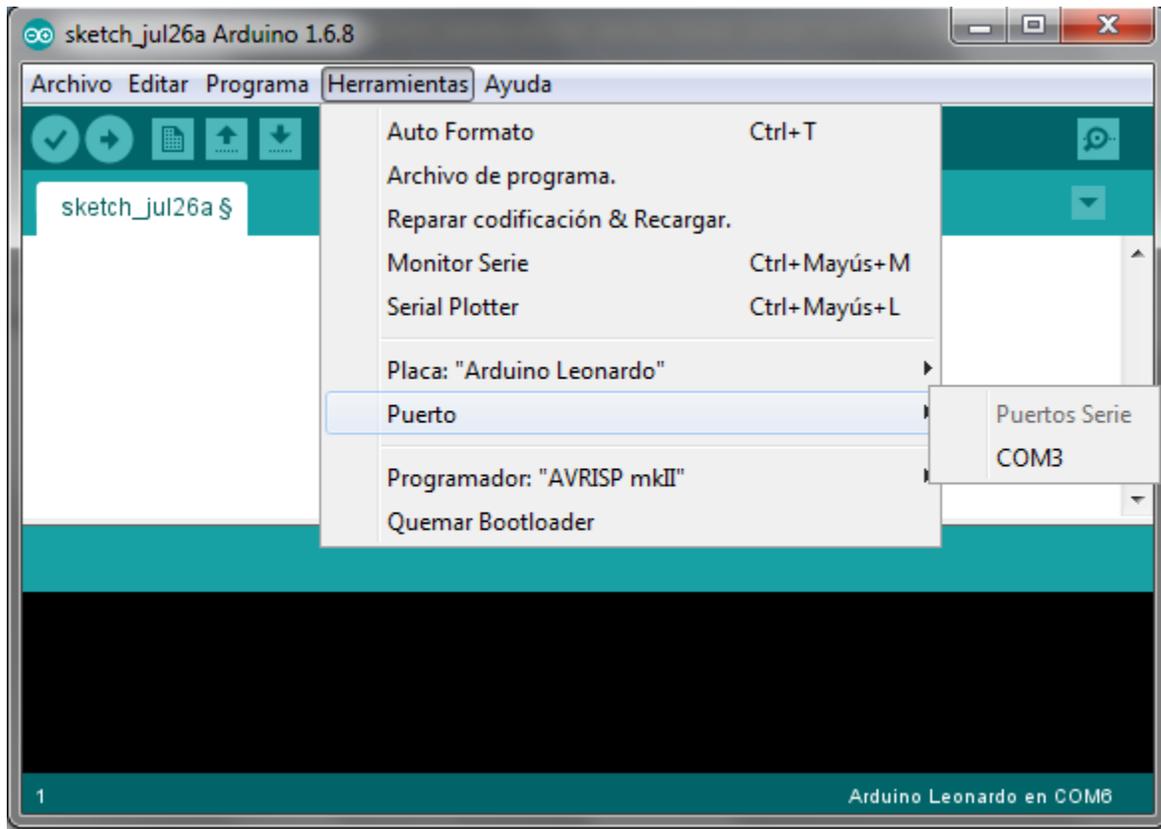


Figura 4.2.1 Captura de pantalla de programa Arduino instalado y donde buscar el puerto COM.

Seleccionamos el puerto COM dónde se encuentra Leonardo y todo listo para programar en Arduino.

4.3 Paso 2: Esquema electrónico

La circuitería es muy simple, sólo se necesita un sensor piezoeléctrico y una resistencia (de 1 mega ohm) colocada en paralelo al sensor, tiene 9 entradas analógicas, esto quiere decir que podremos sacar 9 vibraciones diferentes.



Sismógrafo Electrónico De Medición Y Detección De Movimiento Telúricos Con Salida Impresa, Para La Carrera De Ingeniería Geológica De La Unan – Managua 2016.

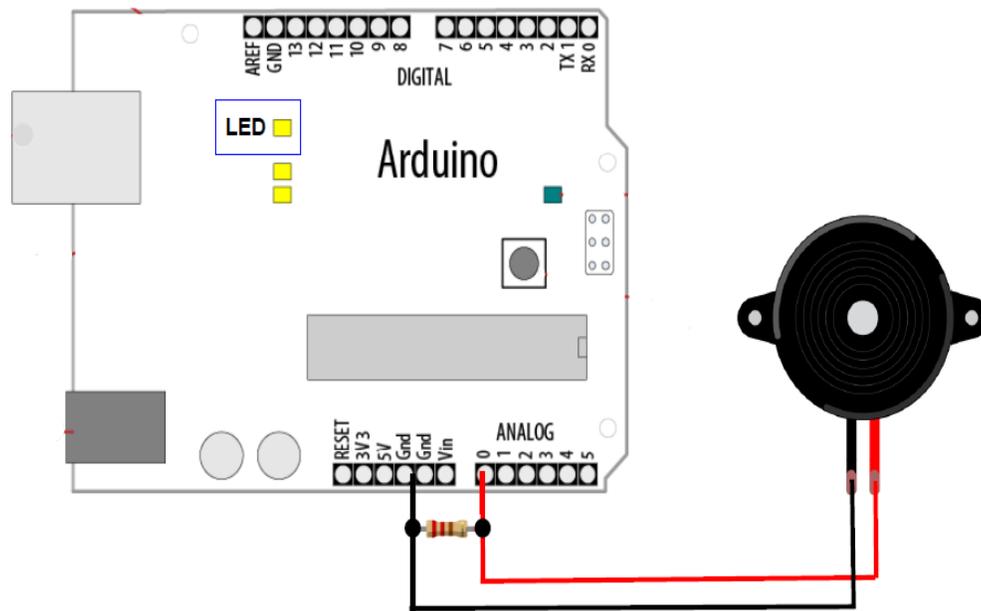


Figura 4.3.1 Esquema eléctrico; prototipo de sismógrafo.

La entrada puede ser cualquiera de ellas, simplemente se toma en cuenta en la programación, donde se detalla la acción a seguir.

4.4 Paso 3: Programación en el microcontrolador Atmega32U4

La programación en Arduino es muy sencilla: solo se inicia la comunicación serial y se hace lectura del nivel análogo que capta el piezoeléctrico y se imprime por medio del método `Serial.println()`, se coloca un retraso de 100ms para evitar una sobresaturación de datos.

Iniciamos analizando el esquema que tenemos, en este caso tenemos conectado el positivo del sensor piezoeléctrico a la entrada analógica 9 de la tarjeta Arduino, y el negativo del sensor a GND de la tarjeta. Además de un diodo LED que nos indicará cuando se esté captando alguna señal y este está conectado a la salida 13 de la tarjeta.



4.4.1 Paso 4: Declarando variables

Comenzamos por declarar los parámetros más importantes, que serán aquellos valores de entrada y salida, que el microcontrolador manipulará, para ellos utilizaremos *const*.

Una variable declarada *const* no se puede cambiar, es decir, es una *constante*. No obstante, la palabra *const* solo se tiene en cuenta durante el tiempo de compilación. Las variables guardan una dirección de memoria. Como cualquier variable su valor puede ser constante o no. Así que declaramos lo siguiente:

```
sketch_jul27a Arduino 1.6.8
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
sketch_jul27a $
const int sensorPin = A0; // entrada sensor piezoeléctrico
const int ledPin = 13; //indicador led
const int umbral = 250; //valor umbral para detectar un movimiento|
5 Arduino Leonardo en COM8
```

Figura 4.4.1 Declaración de las constantes en el programa de Arduino.

La variable se nombra según la conveniencia, A0 y 13 es arbitrario, podemos utilizar cualquiera de las 9 entradas analógicas o salidas que posee Arduino Leonardo, simplemente hay que determinarlo en la programación. En cuanto al umbral, es un rango que limita el programa aquello que capta el sensor.



Sismógrafo Electrónico De Medición Y Detección De Movimiento Telúricos Con Salida Impresa, Para La Carrera De Ingeniería Geológica De La Unan – Managua 2016.

El setup es la primera función en ejecutarse dentro de un programa en Arduino, es, básicamente, donde se “setean” las funciones que llevará a cabo el microcontrolador.

Aquí es donde establecemos algunos criterios que requiere una ejecución única. Si vamos a utilizar un pin determinado como salida o entrada de voltaje, usamos el *pinMode* para indicarle a Arduino que determinado pin funcionará como salida/entrada, usando el parámetro OUTPUT/INPUT.

El concepto es ese: colocamos aquello que debemos ejecutar una sola vez. Creo que no es sensato colocar lecturas de una misma entrada y que se va a hacer lo mismo una y otra vez. Aquello es algo que, con que suceda una sola vez, es suficiente, y las declaramos:

```
sketch_jul27a Arduino 1.6.8
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
sketch_jul27a $
const int umbral = 250; //valor umbral para detectar un movimiento
void setup ( ) {
    pinMode(sensorPin, INPUT); // inicializamos el pin del sensor como entrada - INPUT
    pinMode(ledPin, OUTPUT); // inicializamos el pin del led como salida - OUTPUT
}
```

8 Arduino Leonardo en COM6

Figura 4.4.2 Declaraciones de las entradas y salidas del programa al microcontrolador.



Sismógrafo Electrónico De Medición Y Detección De Movimiento Telúricos Con Salida Impresa, Para La Carrera De Ingeniería Geológica De La Unan – Managua 2016.

Loop en inglés significa lazo o bucle. La función loop en Arduino es la que se ejecuta un número infinito de veces. Al encenderse el Arduino se ejecuta el código del setup y luego se entra al loop, el cual se repite de forma indefinida hasta que se apague o se reinicie el microcontrolador.

Debido a que son lecturas de tiempo real, lo que se ejecuta una y otra vez, son aquellas frecuencias de vibración que el sensor piezoeléctrico detecta y el mismo convierte en diferencia de potencial, así que los valores de las variables cambian continuamente.

Además, debido a que es un equipo electrónico, se cambia lo convencional de mostrar las líneas sísmicas en un papel, ahora se mostrará en pantalla de una laptop, eso no disminuirá la interpretación de la misma, pero si ayudara a disminuir costos de compra de papel.

Para poder ver dicha grafica, se necesita encontrar el comando que tome esos valores de entrada y los muestre en curvas diente de sierra acordes a sismogramas, para ello tendremos que condicionar los parámetros del umbral ya plasmada anteriormente.

También se pensó, que si se tenía problemas en la programación y la gráfica no mostraba nada, determinar una salida extra que indique que el sensor sí está captando frecuencias de vibración, acoplado un diodo led a la salida 13 del la tarjeta Arduino, condicionando ciertos parámetros con un condicional if-else, que es una estructura que nos posibilita definir las acciones que se deben llevar a cabo, si se cumple cierta condición y también determinar las acciones que se deben ejecutar en caso de que no se cumpla, como se muestra a continuación:



Sismógrafo Electrónico De Medición Y Detección De Movimiento Telúricos Con Salida Impresa, Para La Carrera De Ingeniería Geológica De La Unan – Managua 2016.

```
void loop ( ) {  
int val = analogRead(sensorPin); // leemos el valor del sensor  
  
if (val >= umbral) { // si el valor del sensor es mayor que el umbral  
  
digitalWrite(ledPin, HIGH); // el led se encendera  
  
delay(100); // hacemos un delay para no saturar el bufer de comunicacion  
  
}  
  
else  
  
digitalWrite(ledPin, LOW); // el led permanecerá apagado
```

Figura 4.4.3 Declarando las ejecuciones de bucles.

En la programación lo que sigue de las dos plecas “//”, simplemente son comentarios, que no interfieren con la acción de cada declaración, y es donde se especifica lo que va a ejecutarse.



Sismógrafo Electrónico De Medición Y Detección De Movimiento Telúricos Con Salida Impresa, Para La Carrera De Ingeniería Geológica De La Unan – Managua 2016.

Para finalizar, simplemente mandamos a imprimir la gráfica.

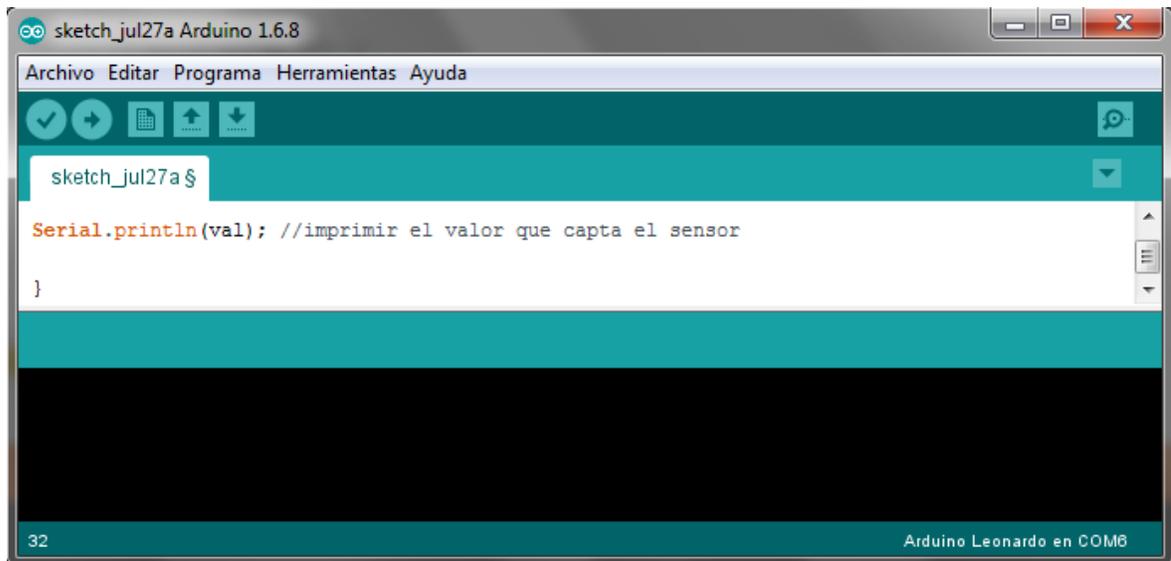


Figura 4.4.4 Declaración de impresión de la grafica.

A diferencia de otros programas, Arduino no muestra las gráficas automáticamente, esto se debe hacer con un graficador ya sea externo y acoplarlo con Arduino o el que trae internamente el mismo programa.

Pero antes de eso, debemos verificar que nuestro programa no tenga errores y para ello debemos compilarlo, dando clic en verificar.

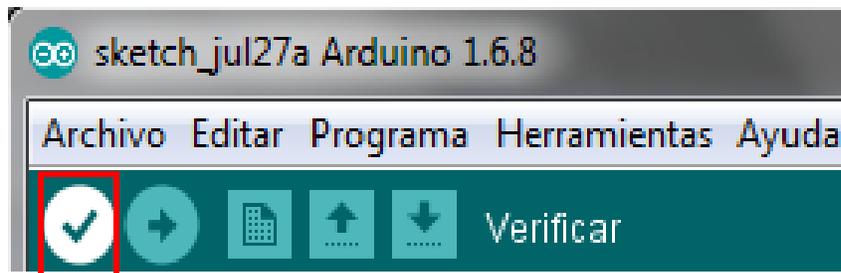


Figura 4.4.5 cuadro para verificar o compilar el programa.



Sismógrafo Electrónico De Medición Y Detección De Movimiento Telúricos Con Salida Impresa, Para La Carrera De Ingeniería Geológica De La Unan – Managua 2016.

Esperar a que compile y detecte errores.

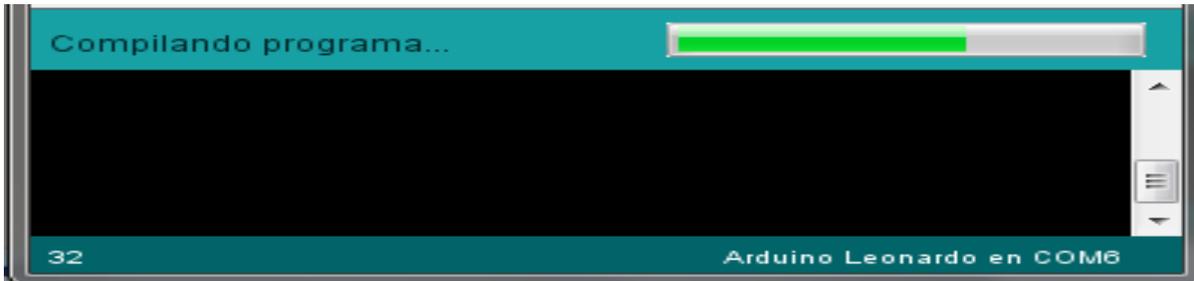


Figura 4.4.6 Cuadro de proceso de compilación.

Si hay errores, el mismo programas los nombra, ya sea por mala escritura del mismo o que no tiene lógica continua lo que se ha ejecutado.

Si no es así, mostrará lo siguiente:

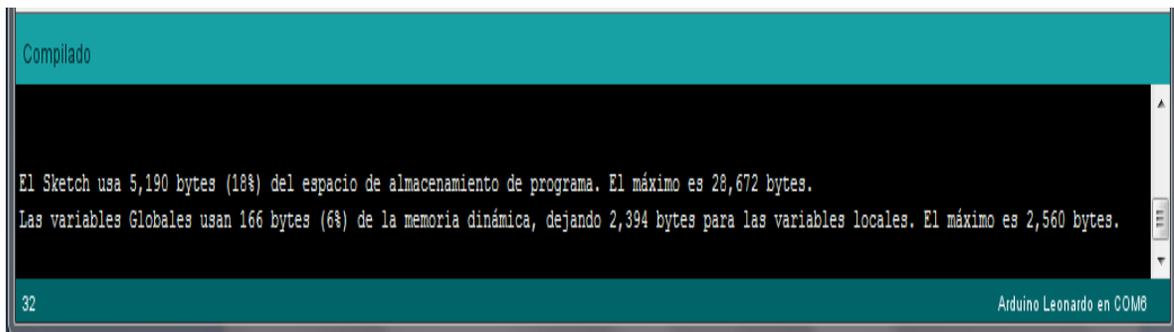


Figura 4.4.7 Cuadro de compilación sin errores de programación.



Sismógrafo Electrónico De Medición Y Detección De Movimiento Telúricos Con Salida Impresa, Para La Carrera De Ingeniería Geológica De La Unan – Managua 2016.

A continuación, se tiene que decir al programa que tipo de tarjeta Arduino se está utilizando.



Figura 4.4.8 Procedimientos para escoger placa Arduino Leonardo.



Sismógrafo Electrónico De Medición Y Detección De Movimiento Telúricos Con Salida Impresa, Para La Carrera De Ingeniería Geológica De La Unan – Managua 2016.

Y luego escoger el puerto COM con el cual se conecta el Leonardo

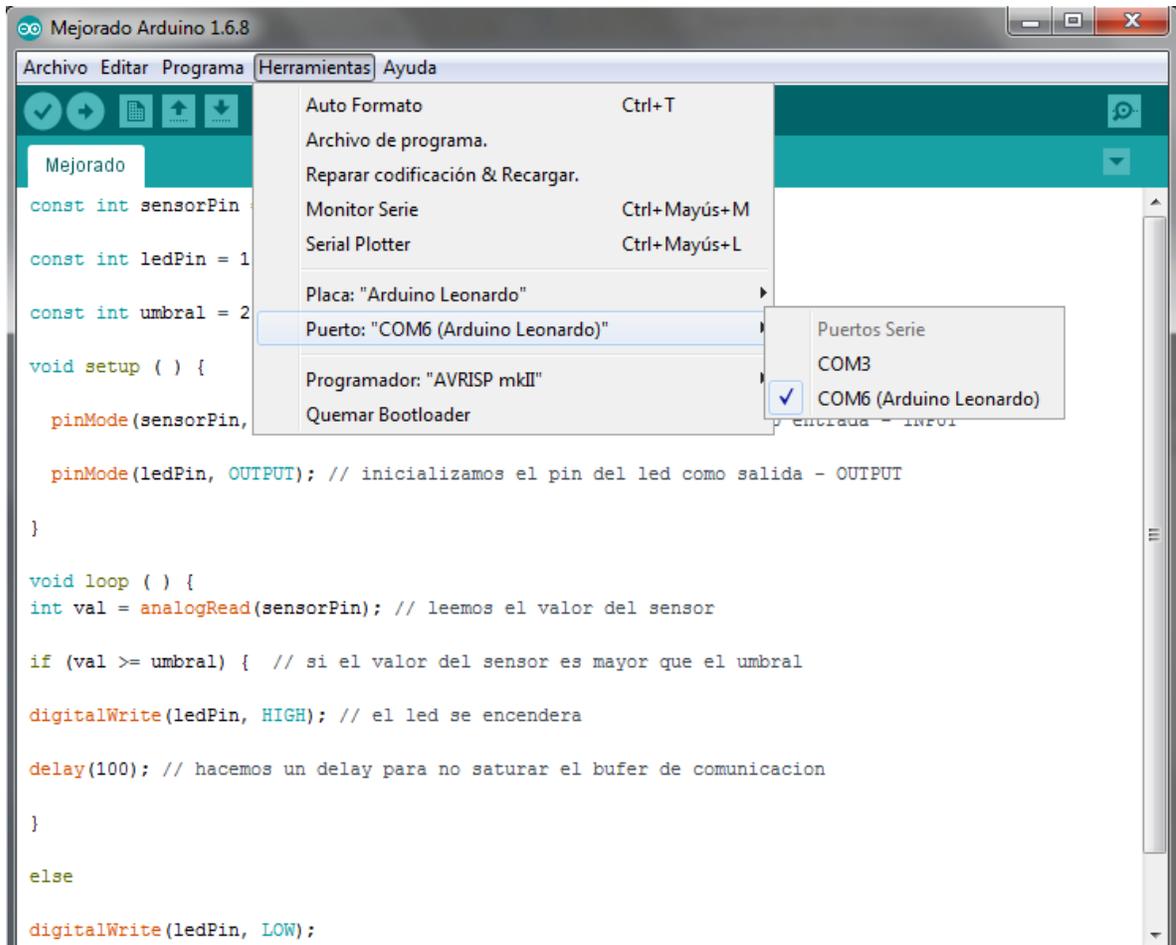


Figura 4.4.9 Procedimientos para escoger Puerto COM Arduino Leonardo.

Y subimos el programa a la placa

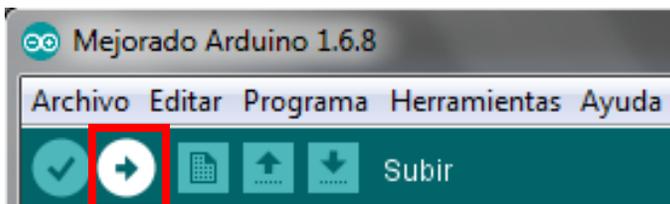


Figura 4.4.10 Indicador para subir el programa a la tarjeta de Arduino Leonardo.



4.5 Resultados

Luego buscamos la opción *Serial Plotter*.

Para utilizar el *Serial Plotter*, tendremos que acceder a este desde el menú Herramientas y después pulsar sobre *Serial Plotter*.

Una vez que el monitor serie esté activo, podremos visualizar los datos de manera automática en la gráfica, viendo de manera efectiva como se modifica la señal de un sensor en función del tiempo, para comprender mejor cómo funciona de manera interna. En la siguiente imagen, puede verse la representación gráfica de la frecuencia que capta el sensor piezoeléctrico:

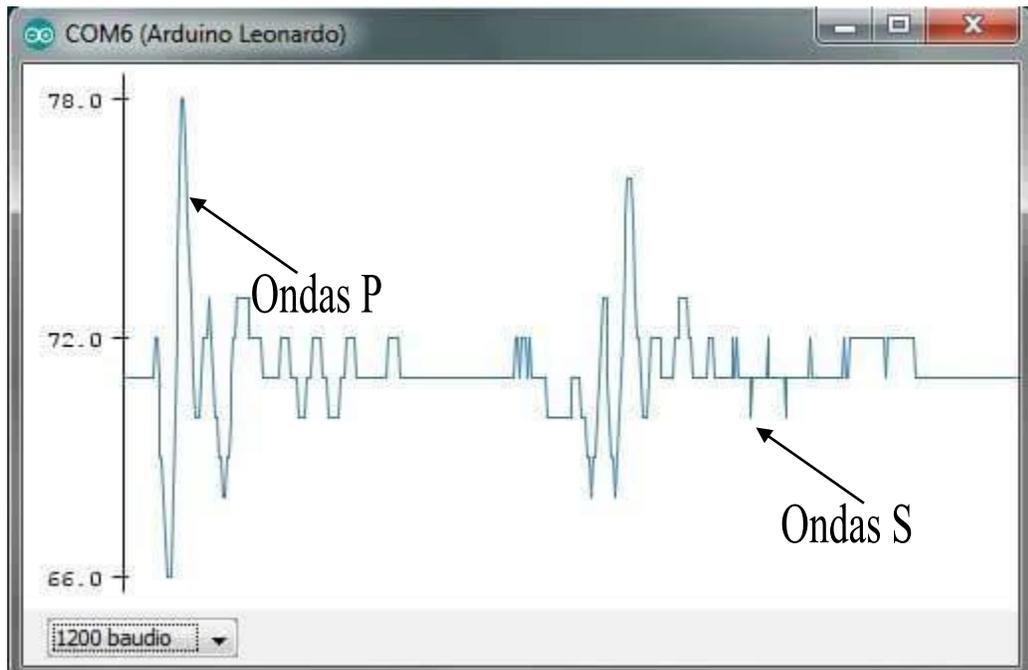


Figura 4.5.1 Gráfica que imprime la programación utilizando el prototipo de sismógrafo.

Cada pico de la grafica representa aquellas las vibraciones más fuertes que capta el sensor, cuando capta las vibraciones, nunca son mínimas, debido a que el sensor no capta frecuencias menores de 10KHz, además de cierta inestabilidad ya que este tipo de sensor no está diseñado para sismógrafos de muy alta sensibilidad.

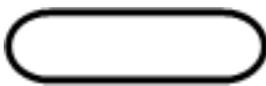


4.6 Diagrama de flujo de la programación

El diagrama de flujo goza de ventajas como el ser altamente intuitivo, fácil de leer, claro y preciso. Lo consideraremos una herramienta muy potente de cara al programa realizado, ya que su contenido gráfico lo hace menos árido que el pseudocódigo.

Las limitaciones principales de los diagramas de flujo derivan precisamente de su carácter de dibujo. No resultan tan fáciles de crear debido a que se tiene que analizar detalladamente qué función hace cada cosa y aun mas si el código es extenso.

Para ello creemos necesario, brindar solo una pequeña reseña detallada de cómo utilizar cada gráfico-esquemático.



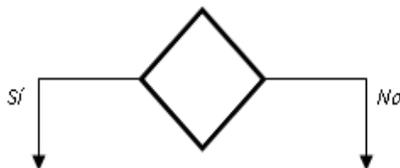
Terminal. Indica comienzo o final de un programa, subprograma o módulo.



Captura y emisión de datos. Entrada o salida de información desde o hacia el ordenador.



Proceso. Cualquier proceso interno realizado por el ordenador como asignación de valor a variables, operaciones matemáticas. etc.



Proceso. Cualquier proceso interno realizado por el ordenador como asignación de valor a variables, operaciones matemáticas, etc.

Como cada procedimiento está planteado anteriormente no es necesario volver desarrollar esa parte, basta solo con saber la función de cada cosa.



Sismógrafo Electrónico De Medición Y Detección De Movimiento Telúricos Con Salida Impresa, Para La Carrera De Ingeniería Geológica De La Unan – Managua 2016.

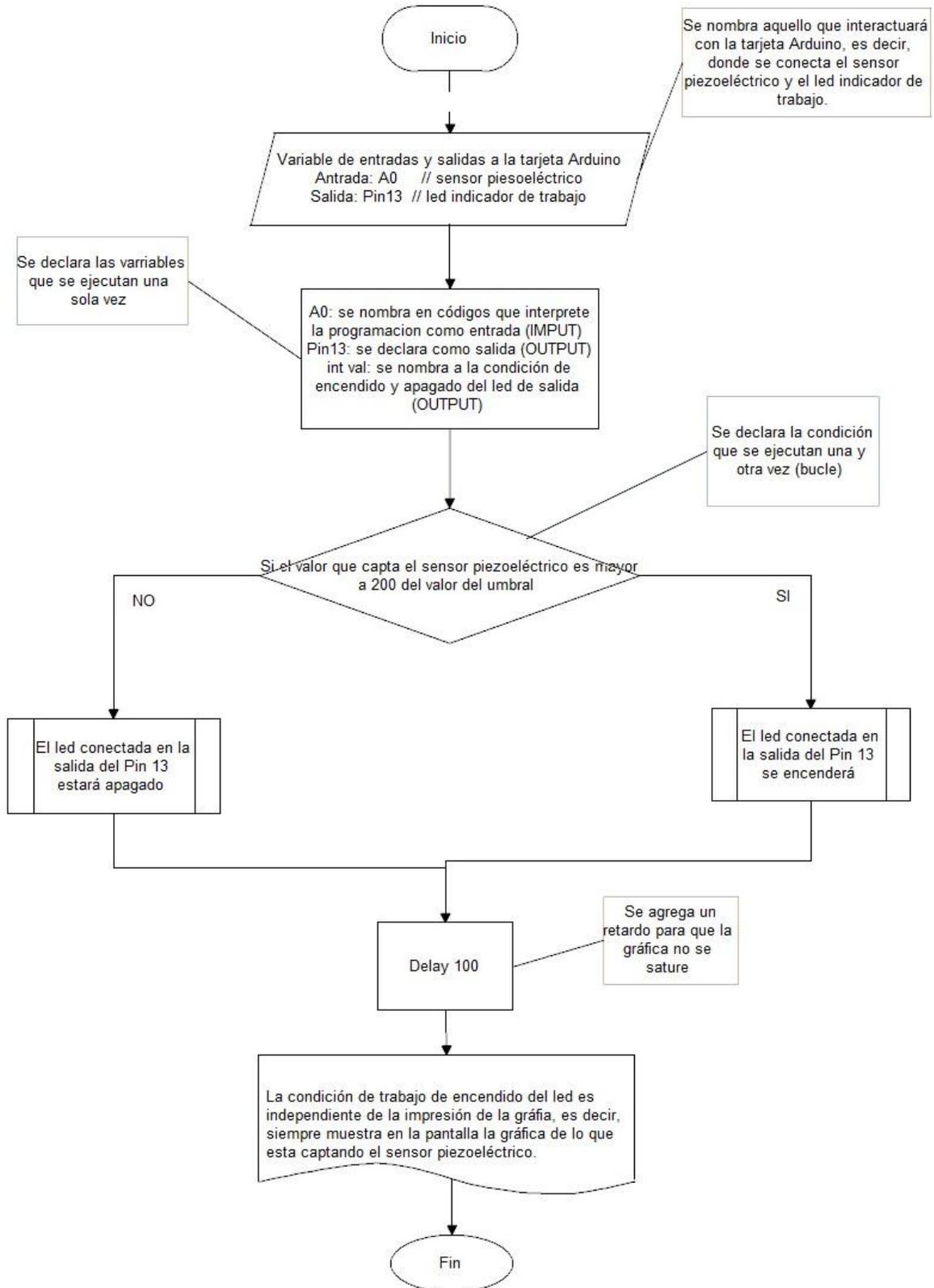


Figura 4.6.1 Diagrama de bloques de la programación del prototipo de sismógrafo.



4.7 Factibilidad del prototipo

La necesidad primordial de la carrera de Ingeniería Geológica es poder tener un sismógrafo que detecte con exactitud las frecuencias de vibración. Lo que se obtuvo en este equipo, no cuenta con todas esas características de lectura, debido a que el sensor piezoeléctrico capta frecuencias de vibraciones altas.

Para cumplir con las expectativas es necesario implementar otro sensor de la misma gama, es decir, detector de frecuencia de vibración, pero con características de sensibilidad mejores. Tiene que captar ondas sísmicas primarias y secundarias, para que la grafica sea más precisa.

La viabilidad es de grades proporciones, debido a que su utilidad es muy importante para el estudio de las fallas tectónicas y su costo, es menor a muchos de los sismógrafos que se venden en la actualidad. Así que no es un proyecto que solo que quedaría en estantería, sino que es de utilidad importante.

Agregando estas necesidades, el equipo estaría en óptimas condiciones para su uso.



Sismógrafo Electrónico De Medición Y Detección De Movimiento Telúricos Con Salida Impresa, Para La Carrera De Ingeniería Geológica De La Unan – Managua 2016.

4.8 Presupuesto del proyecto

Tabla 4.8.1 Presupuesto de prototipo de sismógrafo utilizando sensor piezoeléctrico.

COMPONENTES	CANTIDAD	PRECIO
ARDUINO LEONARDO	1	\$47
SENSOR PIEZOELECTRICO	1	\$1
RESISTENCIAS	2	\$1
CABLE USB/MINI USB	1	\$5
DIODO LED	1	\$0.1
HORAS TRABAJADAS	8	\$ 400
SEMANAS TRABAJADAS	2	
LINEAS DE CODIGO	34	
TOTAL		\$454.1

Tabla 4.8.2 Presupuesto de prototipo de sismógrafo utilizando sensor acelerómetro.

COMPONENTES	CANTIDAD	PRECIO
ARDUINO LEONARDO	1	\$47
SENSOR ACELEROMETRO	1	\$170
RESISTENCIAS	2	\$1
CABLE USB/MINI USB	1	\$5
DIODO LED	1	\$0.1
HORAS TRABAJADAS	8	\$ 400
SEMANAS TRABAJADAS	2	
LINEAS DE CODIGO	34	
TOTAL		\$623.1



4.9 Utilidad del sismógrafo con la asignatura de sismología y riesgo sísmico.

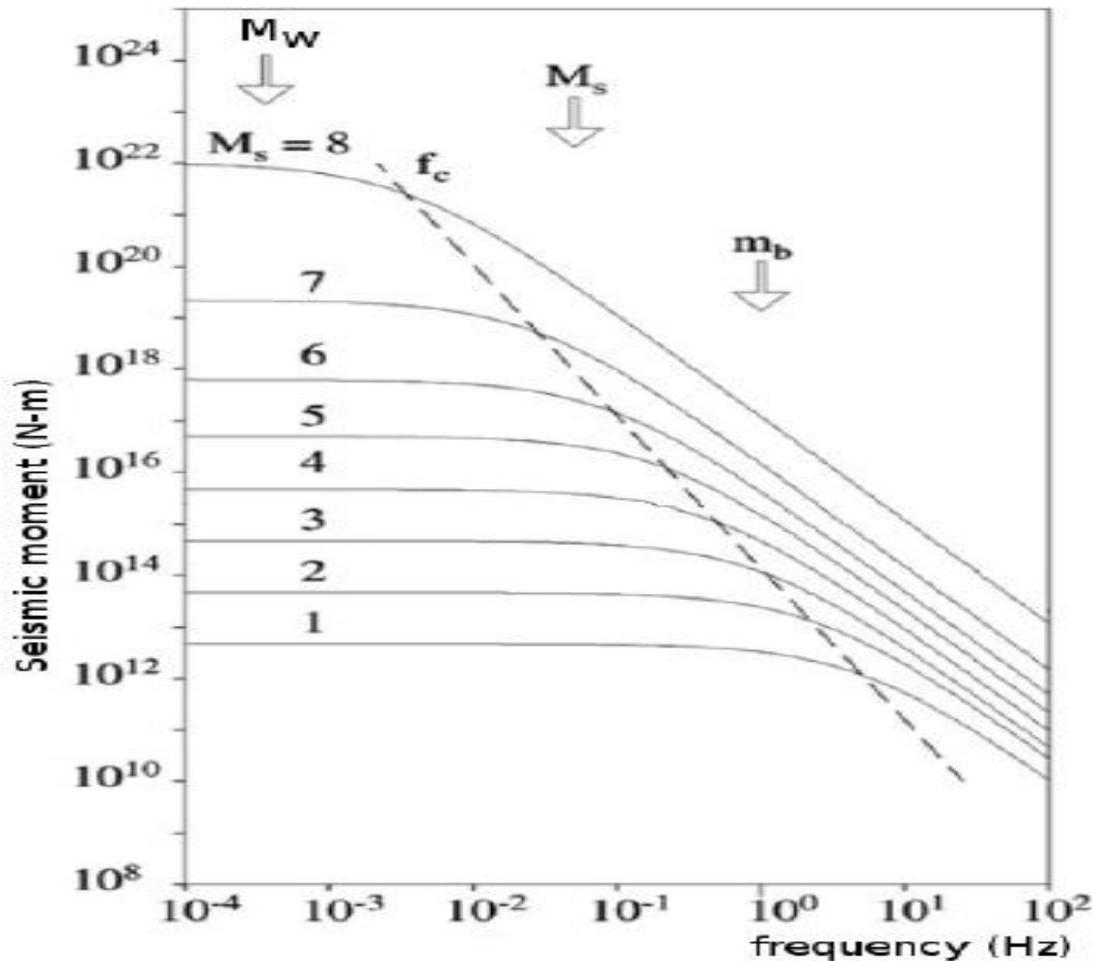
4.9.1 Movimientos telúricos.

Para encontrar los valores de los movimientos telúricos se realizan estos tres procesos.

1. Evaluar las intensidades
 2. Ubicar el hipocentro
 3. Estimar la magnitud
-
- Las intensidades se evalúan sobre la base de reportes de la época en que ocurrió. Esta evaluación tiene una fuerte carga subjetiva
 - Las coordenadas del hipocentro se ubican: donde ocurrió la máxima intensidad, en fallas conocidas cercanas a ese punto o en la zona central de las isosistas
 - La magnitud se determina por relaciones entre magnitud e intensidad. Estas relaciones tienen por lo general una gran incertidumbre

4.9.2 El problema de la magnitud

- Se determina a partir de mediciones de amplitud, amplitud y periodo, duración o nivel de espectro.
- La posibilidad de determinar un tipo u otro de magnitud depende del equipamiento usado para registrar los terremotos.
- Excepto la magnitud determinada por el nivel del espectro de ondas P (M_w) todas tienen un rango de validez sobre una escala lineal. Se presenta un “peligroso” fenómeno de saturación de las escalas.



Un catálogo con fines de estudios de amenaza sísmica debe tener todos las magnitudes expresadas en una escala única, la cual debe coincidir con la que se usa en las fórmulas de atenuación de los efectos de los terremotos Para pasar de una a otra escala se usan relaciones empíricas (de carácter local preferiblemente) del tipo:

$$M_1 = a + b * M_2$$

Aunque a veces se usan dependencias no lineales; de forma general

$$M_1 = f(M_2)$$



Trabajos precursores

Ishimoto e Iida (1939) determinaron la existencia de una ley de distribución para la frecuencia de los terremotos con respecto a la amplitud del r

$$n(a) * da = K a^{-m} * da$$

La contribución original

1954 – Gutenberg y Richter publicaron su libro " Sismicidad de la Tierra " (una edición actualizada) que incluye su ley de magnitud-frecuencia.

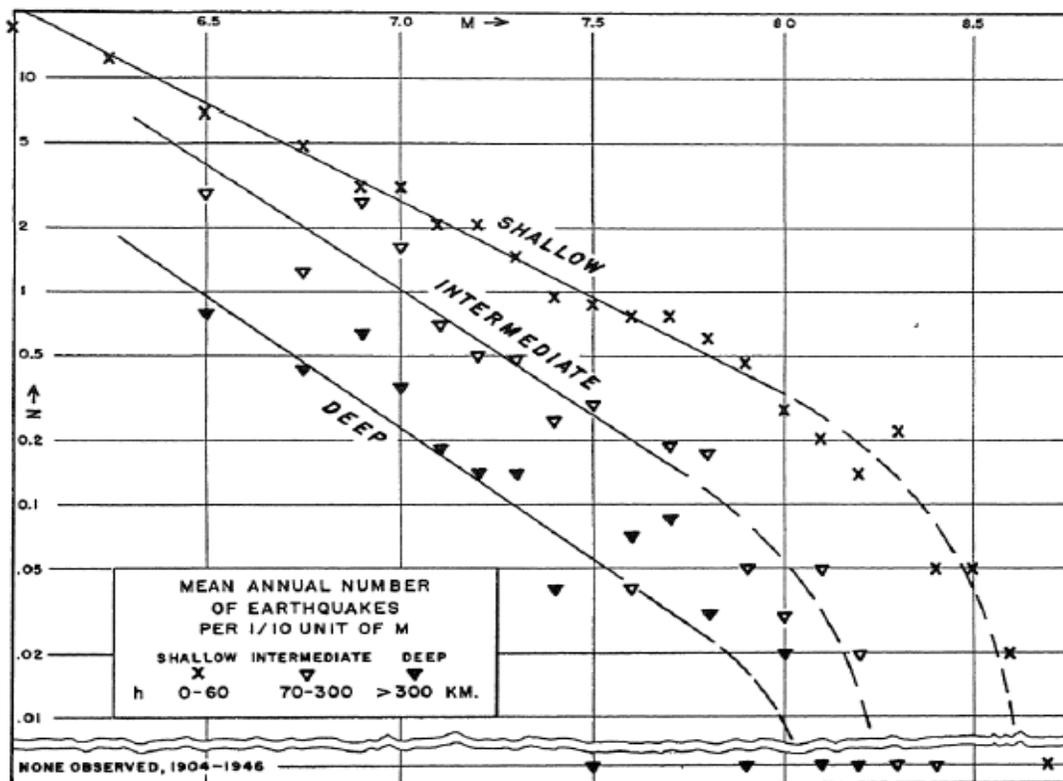


Figura 4.9.1 El número medio anual de los terremotos 1/10 magnitudes unitarias.

$$LgN = a + b * (8 - M)$$



**Sismógrafo Electrónico De Medición Y Detección De Movimiento Telúricos Con Salida
Impresa, Para La Carrera De Ingeniería Geológica De La Unan – Managua 2016.**

Desde entonces se han desarrollado diferentes modelos de la ocurrencia de terremotos para diferentes variantes de cálculo de la peligrosidad sísmica. Cada uno de ellos le impone ciertas condiciones a la ocurrencia de terremotos.

A partir de la relación de Gutenberg y Richter y de la existencia de una M_{max} , se puede desarrollar uno muy simple. El mismo es basado en algunas ideas de Utsu (1968) y Riznichenko (1960-1970) Pasemos de la formula discreta de G-R a una aproximación continua:

$$n[M] = 10^{a-b*(M-M_0)}, M < M_{max}$$

$$\lg[n(M)] > a - b * (M - M_0)$$

donde “ $n(m).dm$ ” es el numero de terremotos en el intervalo entre “ m ” y “ $m+dm$ ”, normalizado por el área “ S_0 ” (o el volumen “ V_0 ”) y el tiempo “ t ”. “ $n(m)$ ” es continua y representa una "densidad " de la ocurrencia del terremoto .

Los terremotos en un intervalo de magnitud se obtienen por integración de “ $n(m)$ ”

$$\begin{aligned} N(M_1, M_2) &= \int_{M_1}^{M_2} 10^{a-b(M-M_0)} \cdot dM \\ &= \frac{10^{a+b.M_0}}{b \cdot \ln 10} [10^{-b.M_1} - 10^{-b.M_2}] \end{aligned}$$

Los intervalos de los gráficos experimentales son del tipo

$$(M - \Delta M/2, M + \Delta M/2)$$

$$N(M_i) = 10^{a-b.(M_i-M_0)} \cdot \left[10^{-b \cdot \frac{\Delta M}{2}} - 10^{-b \cdot \frac{\Delta M}{2}} \right] / (b \cdot \ln 10)$$

$$\text{sea } F(b, \Delta M) = \left[10^{b \cdot \frac{\Delta M}{2}} - 10^{-b \cdot \frac{\Delta M}{2}} \right] / (b \cdot \ln 10)$$



$$N(M_i) = 10^{a-b \cdot (M_i - M_0)} \cdot F(b, \Delta M)$$

$$\lg[N(M_i)] = a - b \cdot (M_i - M_0) + \lg[F(b, \Delta M)]$$

La magnitud “ M_0 ” es de referencia y puede tomar cualquier valor menor que M_{\max} . El numero de terremotos en un intervalo de ancho “ ΔM ” con centro en M_0 se denomina “actividad sísmica”

$$N(M_0) = 10^a * F(b, \Delta M) = A$$

$$N(M) = A * 10^{b * (M - M_0)}$$

$$\lg[N(M)] = \lg A - b * (M - M_0)$$

Cuando el intervalo de integracion es (M, M_{\max}) , el usado comúnmente en PS, se obtiene:

$$N_{\Sigma}^*(M) = \frac{10^{a-b \cdot (M - M_0)}}{b \cdot \ln 10} \cdot 10^{b \cdot \delta} \cdot \{1 - 10^{-b \cdot (M_{\max} - M)}\}$$

y en el caso cuando el intervalo de integración es $(M - \delta, M_{\max})$, con $\delta = \Delta M/2$, que es el caso de los gráficos experimentales se tiene:

$$N_{\Sigma}(M) = \frac{10^{a-b \cdot (M - M_0)}}{b \cdot \ln 10} \cdot \{1 - 10^{-b \cdot (M_{\max} - M + \delta)}\}$$

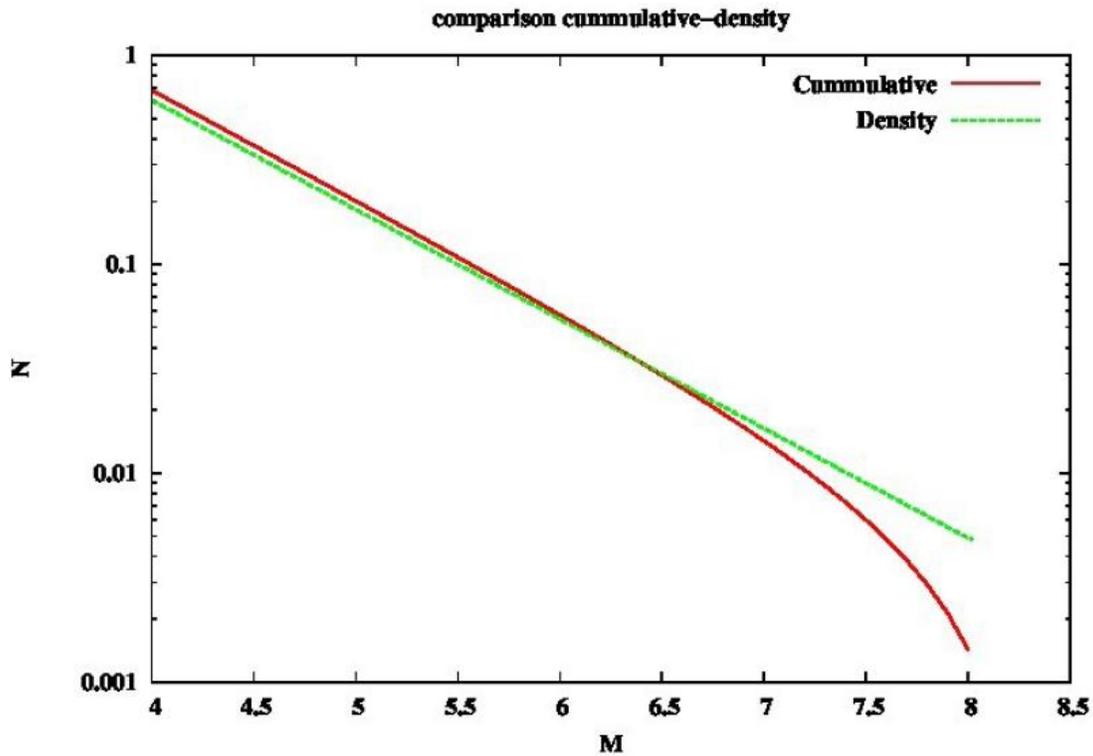


Figura 4.9.2 Intervalos de Magnitud.

En PS es común usar funciones de distribución en lugar de gráficos M-F. Las primeras se obtienen de los últimos con mucha facilidad. Introduzcamos el parámetro M_{min} , la magnitud mínima considerada en el análisis. La probabilidad de que un terremoto tenga una magnitud mayor que M será:

$$P(m \geq M) = \frac{N_{\Sigma}^*(M)}{N_{\Sigma}^*(M_{min})}$$

A partir de la cual se obtienen la “FP” y la “fdp” del problema
FP:

$$\begin{aligned} F_M(M) &= P(M > m) = 1 - P(m \geq M) \\ &= \frac{10^{-b \cdot M_{min}} - 10^{-b \cdot M}}{10^{-b \cdot M_{min}} - 10^{-b \cdot M_{max}}} \end{aligned}$$

fdp:



$$f_M(m) = \frac{dF_M(m)}{dm} = \frac{b \cdot \ln 10 \cdot 10^{-b \cdot m}}{10^{-b \cdot M_{min}} - 10^{-b \cdot M_{max}}}$$

In PS esta mas extendido el uso de los parámetros “ β ” en lugar de “ b ”, y “ λ ” en lugar de “ a ” o “ A ”

$$\beta = b \cdot \ln 10 \rightarrow 10^b = e^\beta$$

$$\lambda = N_\Sigma^*(M_{min})$$

En términos de esas variables, el FP y la fdp se escriben como

$$F_M(M) = \frac{e^{-\beta \cdot M_{min}} - e^{-\beta \cdot M}}{e^{-\beta \cdot M_{min}} - e^{-\beta \cdot M_{max}}}$$

$$f_M(m) = \frac{dF_M(m)}{dm} = \frac{\beta \cdot e^{-\beta \cdot m}}{e^{-\beta \cdot M_{min}} - e^{-\beta \cdot M_{max}}}$$

El modelo del terremoto característico

La ley de G-R es válida hasta el valor de M_{max} . Es posible la ocurrencia de terremotos dentro de un rango corto de magnitudes específico (M_{c1}, M_{c2}) con una tasa de ocurrencia $n(M_c)$ que no obedece a la ley de G-R

$$N_\Sigma^c(M_i) = \begin{cases} N_\Sigma(M_i) + n(M_c) \cdot \Delta M_c & M_i - \delta \leq M_{max} \\ n(M_c) \cdot \Delta M_c & M_{max} < M_i - \delta < M_{c1} \\ n(M_c) \cdot [M_{c1} - M_i + \delta] & M_{c2} = M_c + \frac{\Delta M_c}{2} \\ M_{c1} = M_c - \frac{\Delta M_c}{2} & M_{c2} = M_c + \frac{\Delta M_c}{2} \end{cases}$$

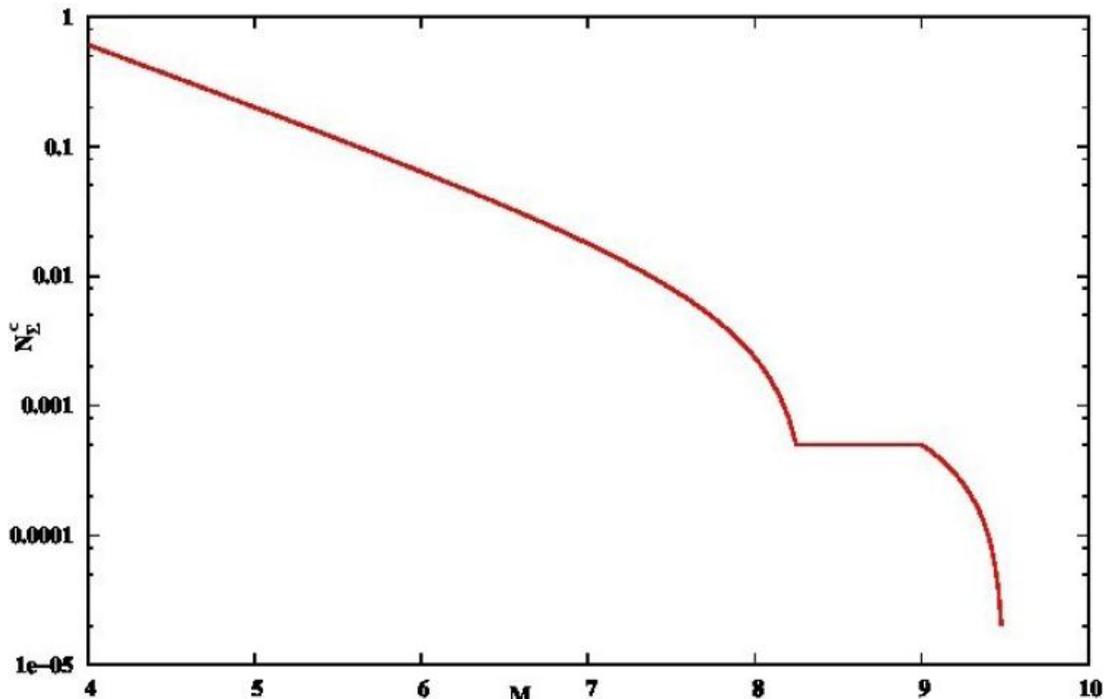


Figura 4.9.3 Modelo del terremoto característico.

4.10 ¿Cómo se estiman los parámetros de los gráficos magnitud-frecuencia?

Como se ha visto hay 4 parámetros independientes en los gráficos magnitud-frecuencia: M_{\min} – el umbral inferior de magnitud a considerar de los terremotos del catalogo

M_{\max} – la magnitud máxima

b o β – la pendiente del grafico

a o λ – el “nivel” del grafico

La experiencia demuestra que las replicas de los terremotos están fuera de la ley de Gutenberg-Richter. Esto significa que tienen que ser eliminados para continuar el procesamiento del t del catalogo de terremotos. El procedimiento más común es usar una ventana 2D (distancia al epicentro del evento, tiempo), dentro de la cual se eliminan todos los terremotos, Este método viene de Kagan y Knoppoff (1974) teniendo la ventana la forma general:



$$[\Delta(t, M), t(M)]$$

M_{\min} y el problema de la “completitud” del catálogo Un catalogo es considerado completo desde cierto umbral de magnitud “MA”, si todos los terremotos (o al menos, casi todos) con magnitud “ $M \geq MA$ ” están incluidos. Entonces se define el intervalo de representatividad o completitud “TA” como el tiempo en que el registro es completo Un catalogo real se caracteriza por un conjunto de valores del tiempo de representatividad

($TA_j, j=1,m$), que dependen de la historia del registro de terremotos, tanto instrumentales como históricos M_{\min} será el menor de los “ MA_j ” La determinación de TA_j La forma de determinar TA_j es en general contando el numero de terremotos en intervalos de magnitud en función del tiempo y analizar cómo se comportan esas cantidades. Dicho análisis se puede hacer por gráficos o tablas

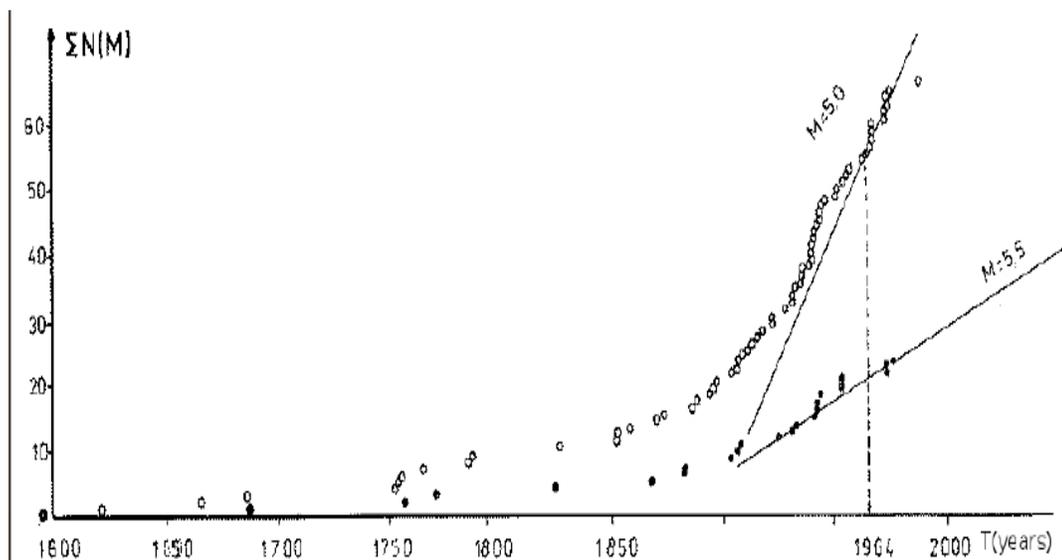


Figura 4.10.1 Intervalo de representatividad o completitud



Sismógrafo Electrónico De Medición Y Detección De Movimiento Telúricos Con Salida Impresa, Para La Carrera De Ingeniería Geológica De La Unan – Managua 2016.

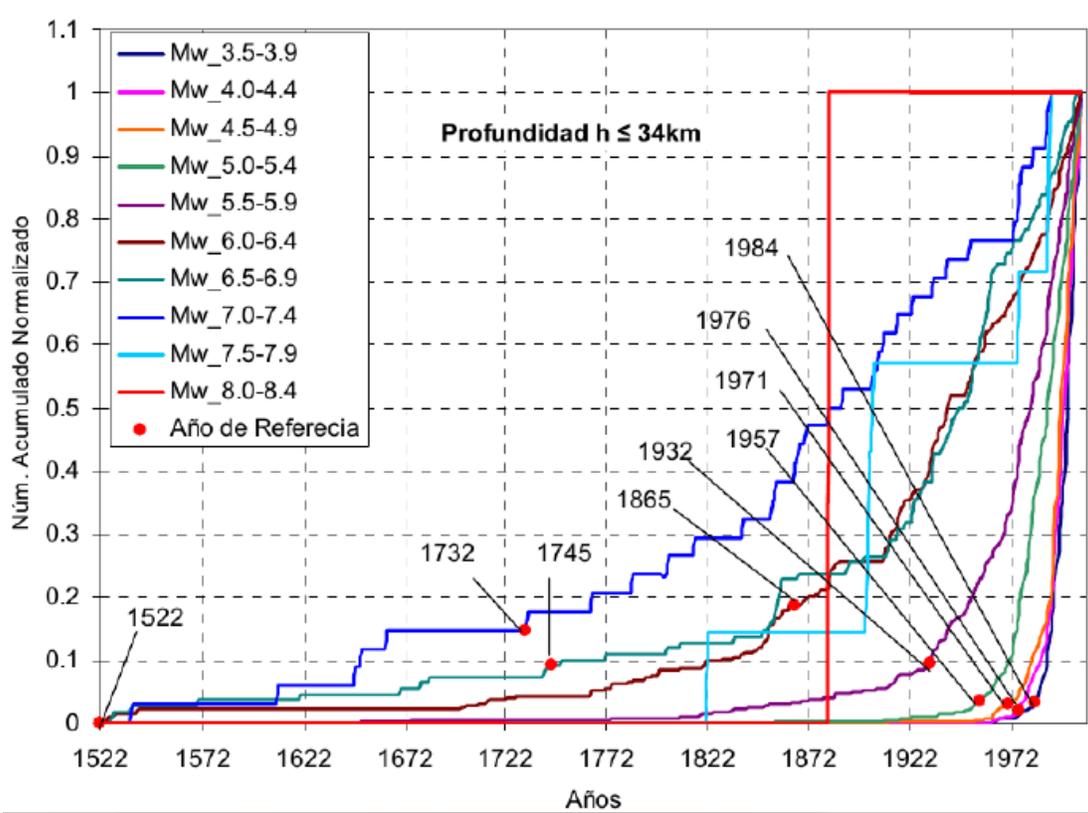


Figura 4.10.2 Ocurrencia de sismos en los respectivos años

intervalo	M 2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00	6.50	7.00	7.50
1801 - 1810	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1811 - 1820	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
1821 - 1830	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1831 - 1840	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1841 - 1850	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1851 - 1860	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1861 - 1870	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1871 - 1880	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
1881 - 1890	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1891 - 1900	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1901 - 1910	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1911 - 1920	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
1921 - 1930	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
1931 - 1940	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1941 - 1950	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1951 - 1960	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
1961 - 1970	0	0	0	0	0	3	3	3	0	0	0	0
1971 - 1980	0	0	3	9	2	4	4	2	0	0	0	0
1981 - 1990	59	83	72	42	10	3	3	1	1	0	0	0
1991 - 2000	36	98	86	45	13	4	1	0	0	0	0	0
2001 - 2010	206	423	363	131	30	5	2	3	0	1	0	0

Figura 4.10.3 Estadística de la ocurrencia de sismos en los respectivos años



**Sismógrafo Electrónico De Medición Y Detección De Movimiento Telúricos Con Salida
Impresa, Para La Carrera De Ingeniería Geológica De La Unan – Managua 2016.**

Para estimar a y b es necesario realizar una regresión sobre datos reales. Para hacerlo se aplica un procedimiento que construye el grafico usando, para cada intervalo de magnitud, la parte del catalogo que es completa para el mismo t. Los datos por intervalos de magnitud se normalizan por tiempo y (no siempre, dependiendo del algoritmo de cálculo de PS que se use) por el ancho del intervalo de magnitud.

<u>magnitudo</u>	<u>3.00</u>	<u>3.50</u>	<u>4.00</u>	<u>4.50</u>	<u>5.00</u>	<u>5.50</u>	<u>6.00</u>	<u>6.50</u>
earthquakes	326	199	48	18	14	12	3	2
beginning complete	2001	1981	1981	1966	1951	1911	1861	1761
time complete	10	30	30	45	60	100	150	250
anual rate	32.6000	6.6333	1.6000	0.4000	0.2333	0.1200	0.0200	0.0080
normalised rate	65.2000	13.2667	3.2000	0.8000	0.4667	0.2400	0.0400	0.0160
$N\Sigma - \lambda$	41.6187	9.0187	2.3853	0.7853	0.3853	0.1520	0.0320	0.0120

Figura 4.10.4 Magnitudes

En el modelo de discutido aquí el procedimiento de construcción de gráficos y estimación de parámetros es el siguiente:

1) Los parámetros “a” and “b” se determinan del conjunto $[N/(\Delta M.T)]_i$ bajo 2 condiciones El límite superior del último intervalo es $\leq M_{max}$ El numeror N de terremotos en cualquier intervalo “i”, debe ser mayor que un valor

Prefijado N0

2) El grafico acumulativo se construye con esos parametros y Mmax. Se le pueden anadir datos experimentales

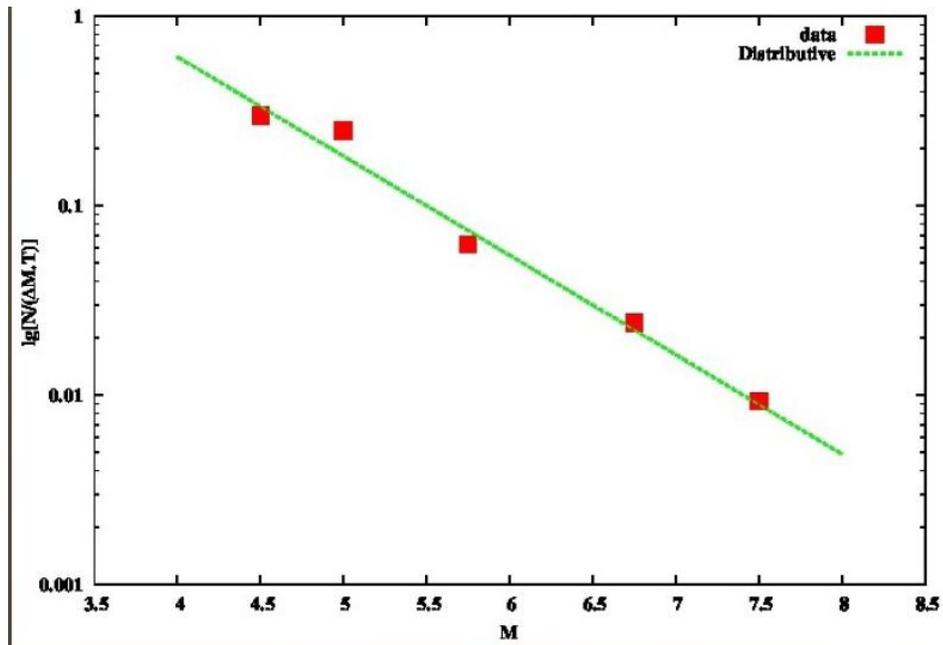


Figura 4.10.5 Intervalo de magnitud MMV

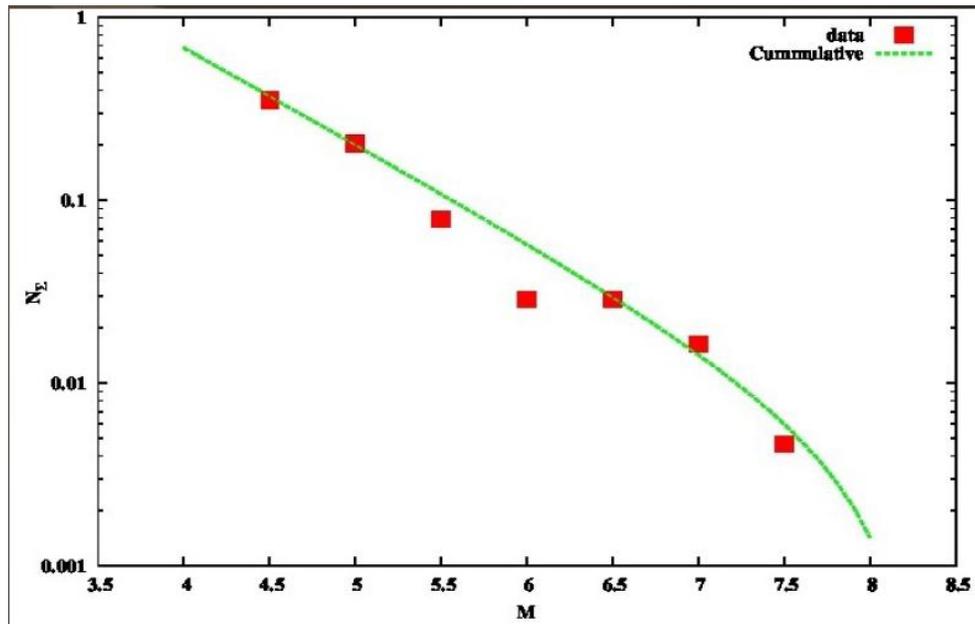


Figura 4.10.6 Intervalo de magnitud MMC



Sismógrafo Electrónico De Medición Y Detección De Movimiento Telúricos Con Salida Impresa, Para La Carrera De Ingeniería Geológica De La Unan – Managua 2016.

Hay varios métodos para hacer la regresión N vs M . El más usado, por su simplicidad es el de los mínimos cuadrados (MMC), y tiene también una amplia difusión el de máxima verosimilitud (MMV). También han sido usados otros métodos como los de mínimos cuadrados pesados, la máxima entropía, los momentos, etc..

Para todos ellos la principal dificultad es proveer datos confiables en cada intervalo de magnitud. El MMC da igual peso a todos los puntos, mientras que el MMV da un peso en correspondencia con el número de terremotos para cada intervalo de magnitud.

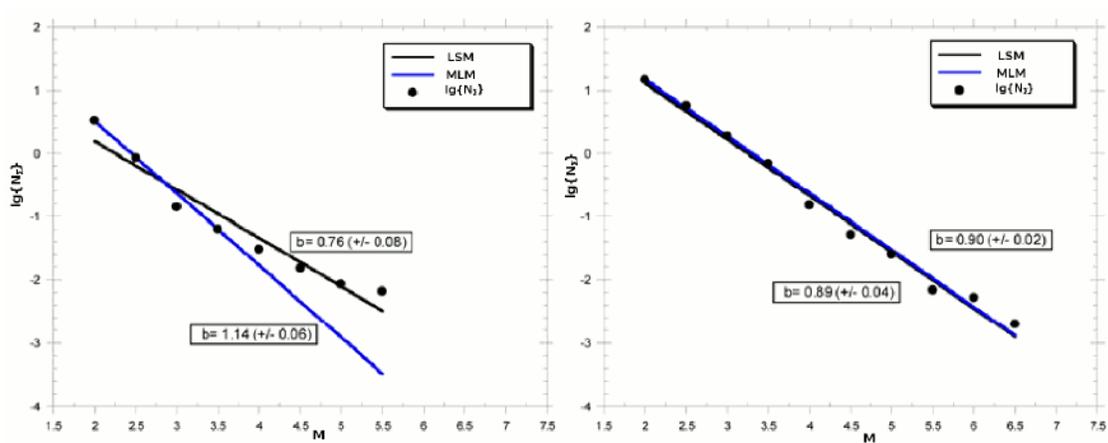


Figura 4.10.7 Izquierda: Magnitud de corto tiempo y Derecha: Magnitud largo tiempo

La ley de Gutenberg-Richter y la hipótesis ergódica

En física estadística existe la llamada “hipótesis ergódica” que aproximadamente se puede enunciar como: Si se tiene un sistema con un gran número de partículas, para conocer sus propiedades existen 2 procedimientos equivalentes:

- 1) Estudiar todo el sistema por un corto tiempo
- 2) Estudiar una parte del sistema por un tiempo muy largo

¿Es esto válido para la ocurrencia de terremotos?



**Sismógrafo Electrónico De Medición Y Detección De Movimiento Telúricos Con Salida
Impresa, Para La Carrera De Ingeniería Geológica De La Unan – Managua 2016.**

A primera vista la respuesta es NO, pero... los sismólogos han asumido que la respuesta es SI, y entonces la ley de G-R law ha sido considerada válida no solo para La Tierra como un todo, sino para regiones, fallas, segmentos de fallas, etc.

¿En qué medida nos hemos desviado de la realidad?

¿En realidad los parámetros λ y β (a y b) que se han estimado en un trabajo de PS explican la ocurrencia de terremotos?



CAPÍTULO 5

FINALIDAD Y

RECOMENDACIONES

DEL PROYECTO



5.1 Conclusión

Mediante la revisión del documento se puede observar que el análisis de la familia Arduino es muy detallada y de gran utilidad, puesto que se tomando en cuenta las características de cada tarjeta y las utilidades de las mismas, que sean adecuadas para cumplir nuestras necesidades, es decir, un microcontrolador de rápida ejecución y mas entradas y salidas en la tarjeta , y así llegar a cumplir con el objetivo de crear el prototipo de sismógrafo, utilizan Arduino Leonardo, que consta con las características requeridas para dicho funcionamiento.

Con ese análisis y tomando en cuenta el esquema eléctrico de la elaboración del equipo se observa a simple vista que Arduino Leonardo no necesita el complemento de otro circuito adicional, ya que posee entradas y salidas A/D. La problemática existente es, que el sensor piezoeléctrico utilizado tiene un mayor margen de error por las altas frecuencias de detecta, lanzando gráficas poco precisas, así que se propone utilizar el sensor acelerómetro que trabaja con frecuencias menores, pero con el inconveniente de alto costo monetario.

Si bien el presente trabajo muestra que el software de Arduino es una multiplataforma de código abierto, la cual permite que su programación sea modificada o ampliada según las necesidades tan solo con los conocimientos de lenguaje C, permite realizar el código fuente para el correcto funcionamiento del prototipo sismógrafo planteando, además que la impresión de la grafica sea en la pantalla de la computadora que son registradas por medio del receptor de frecuencia que en este caso es el sensor piezoeléctrico.

Los conocimientos adquiridos mediante la investigación permiten observar el funcionamiento del prototipo propuesto, el equipo es capaz de detectar las frecuencias de vibraciones y tiene la capacidad de imprimir la grafica para sus posibles estudios esto gracias a la gran capacidad que tiene Arduino como componente electrónico programable.



5.2 Recomendaciones

5.2.1 Acelerómetro: otra propuesta de desarrollo.

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.

Con este proyecto realizado se cumplió, en primera instancia, que el equipo detecte las frecuencias de vibración y en segundo, que grafique dichos valores en la pantalla de la computadora, no obstante, el equipo aun no está en condiciones de ser usado por docentes o alumnos de la carrera de geología. El mayor inconveniente, es que los valores de la grafica son inestables, debido a que el sensor utilizado no es el óptimo para este tipo de detector de sismo.

Bajo estas problemáticas, se recomienda cambiar el sensor, y sustituirlo por uno de mayor sensibilidad y para ello proponemos el Acelerómetro, que no es más que sensor analógico transductor que detecta el movimiento o el giro, es decir, es capaz de responder con una señal eléctrica ante una perturbación inducida por la aplicación de una fuerza o la gravedad. Este dispositivo es capaz de detectar si está en horizontal o vertical.

Los cambios notables serán presentados en la grafica, donde la estabilidad sería, que cuando el sensor no esté captando las vibraciones del medio, la grafica sería una línea horizontal, o sea, siempre en valores de cero, y cuando capte las frecuencias de vibración, por muy mínimas que sea, sean reflejadas, además que ya siendo una grafica más estable, fácilmente se harían parámetros de medición es escalas de Richter.

La viabilidad es de grades proporciones, debido a que su utilidad es muy importante para el estudio de las fallas tectónicas y su costo, es menor a muchos de los sismógrafos que se venden en la actualidad. Así que no es un proyecto que solo que quedaría en estantería, sino que es de utilidad importante.



Sismógrafo Electrónico De Medición Y Detección De Movimiento Telúricos Con Salida Impresa, Para La Carrera De Ingeniería Geológica De La Unan – Managua 2016.

5.3 Bibliografía

- 86 sismos desde el sacudión. (04 de 03 de 2014). Recuperado el 2016, de <http://www.trincheraonline.com/?p=53832>
- Aprendiendo Arduino*. (06 de 2013). Obtenido de Aprendiendo a manejar Arduino en profundidad: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2015/03/26/lenguaje-de-programacion-c/>
- Casillas Filippini, E. R. (01 de 2016). *DESARROLLANDO ALGORITMOS DE CONTROL PID [Gráfica]*. Obtenido de <http://blog.hunabsys.com/desarrollando-algoritmos-de-control-pid-parte-3/>
- Comparativa Arduino: Arduino vs. el resto [Gráfica]*. (04 de 04 de 2009). Obtenido de <http://www.neoteo.com/comparativa-arduino-arduino-vs-el-resto-15399>
- Definición de sismo*. (s.f.). Obtenido de Qué es, Significado y Concepto: <http://definicion.de/sismo/#ixzz4ByX7NOXK>
- Hernández, J. (20 de 8 de 2011). *Piezoeléctricos*. Obtenido de <http://smdelectronicayalgomas.blogspot.com/2011/08/como-funcionan-los-piezoelectricos.html#ixzz4C8wtZleR>
- M. A. (10 de 02 de 2014). *Arduino*. Obtenido de Piezo Eléctrico: <https://alonsodub.wordpress.com/2014/02/10/piezo-electrico/>
- Martin, L. (24 de 04 de 2013). Obtenido de Diagramas de Arduino Leonardo y MEGA [Gráfica]: <http://www.automatismos-mdq.com.ar/blog/2013/04/diagramas-de-arduino-leonardo-y-mega.html>
- Martin, L. (24 de 04 de 2013). *Diagramas de Arduino Leonardo y MEGA*. Obtenido de <http://www.automatismos-mdq.com.ar/blog/2013/04/diagramas-de-arduino-leonardo-y-mega.html>
- Martínez, F. (03 de 02 de 2015). *Tutorial Arduino: IDE Arduino*. Obtenido de <https://openwebinars.net/tutorial-arduino-ide-arduino/>
- Material educativo*. (2016). Obtenido de Conceptos básicos [Gráficos]: <http://seisan.sgc.gov.co/RSNC/index.php/material-educativo/conceptos-basicos>
- Otero, J. (12 de 2013). *ALTERNATIVAS PARA LA DETECCIÓN Y MONITOREO DE AMENAZAS SÍSMICAS*. Recuperado el 03 de 2016, de https://www.researchgate.net/figure/259953615_fig7_Fig-8-Sebastian-Alegria-y-el-proyecto-alerta
- Ramos Sánchez, P. (s.f.). Recuperado el 03 de 2016, de Tipos de sismos: <https://es.scribd.com/doc/94730341/Tipos-de-sismos>



Sismógrafo Electrónico De Medición Y Detección De Movimiento Telúricos Con Salida Impresa, Para La Carrera De Ingeniería Geológica De La Unan – Managua 2016.

- Saarikoski, P., & Saavedra, M. (15 de 12 de 2010). *Placas tectónicas y sus consecuencias [Gráfica]*. Obtenido de <http://es.slideshare.net/cmciessierradeguadarrama/placas-tectnicas-y-sus-consecuencias>
- Sánchez, E. (05 de 2005). *¿Centro histórico será recuperable?* Obtenido de <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=508130&langid=5>
- Satorra, J. (03 de 2010). *Magnitud sísmica (escala de Richter)*. Obtenido de ¿Cómo se miden los terremotos?: http://jaumesatorra.blogspot.com/2010/03/blog-post_26.html
- Sol. (03 de 2005). *Escalas para medir un terremoto*. Recuperado el 05 de 2016, de <http://comunidad.universitarios.cl/t/escalas-para-medir-un-terremoto/86811>
- Terremotos en Ecuador (Historia)*. (20 de 04 de 2016). Obtenido de <http://astrocienciasecu.blogspot.com/2016/04/terremotos-en-ecuador-historia.html>
- Tipos de ondas*. (s.f.). Obtenido de https://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing_ond_1/trabajos_06_07/io3/public_html/Ondas/Ondas.html
- Tipos de sismógrafos*. (24 de 07 de 2013). Obtenido de <http://www.taringa.net/posts/apuntes-y-monografias/16978688/Tipos-de-Sismografos.html>
- Turmero, P. (s.f.). *Introducción a sistemas industriales*. Obtenido de Microprocesadores y sistemas MP: <http://www.monografias.com/trabajos102/introduccion-sistemas-industriales-microprocesadores-y-sistemas-mp/introduccion-sistemas-industriales-microprocesadores-y-sistemas-mp.shtml>



**Sismógrafo Electrónico De Medición Y Detección De Movimiento Telúricos Con Salida
Impresa, Para La Carrera De Ingeniería Geológica De La Unan – Managua 2016.**

ANEXOS



5.4 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.

5.4.1 Vibrómetros (sismómetros) en equipos celulares.



Figura 5.4.1 Aplicación del Vibrómetros en equipos celulares

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

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.



5.5 Descripción del acelerómetro

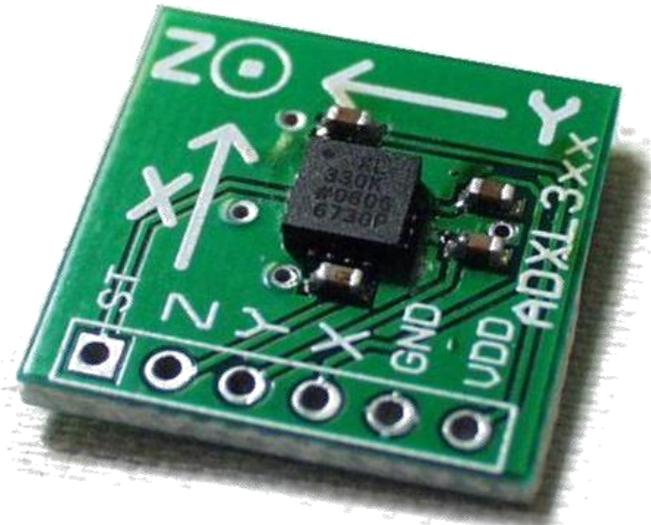


Figura 5.5.1 Acelerómetro ejes “X”, “Y” y “Z”.

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 5.5.2 Características del Acelerómetro



5.6 Programación utilizando el sensor Acelerómetro.

```
const int xPin = 0; //Pines analógicos de lectura
const int yPin = 1;
const int zPin = 2;

int minVal = 265; // Valores mínimos y máximos del acelerómetro en reposo
int maxVal = 402;

double x; // para guardar los valores calculados
double y;
double z;

void setup ( ) {
  Serial.begin(9600);
}

void loop ( ) {

  int xRead = analogRead(xPin); //Lee los valores analógicos del acelerómetro
  int yRead = analogRead(yPin);
  int zRead = analogRead(zPin);

  // mapea los valores leídos a un rango -90 a 90 grados (-π a π )
  int xAng = map(xRead, minVal, maxVal, -90, 90);
  int yAng = map(yRead, minVal, maxVal, -90, 90);
  int zAng = map(zRead, minVal, maxVal, -90, 90);

  //Convertimos los radianes a grados
  x = RAD_TO_DEG * (atan2(-yAng, -zAng) + PI);
  y = RAD_TO_DEG * (atan2(-xAng, -zAng) + PI);
  z = RAD_TO_DEG * (atan2(-yAng, -xAng) + PI);

  //Imprimimos en el monitor serial los calculos
  Serial.print("x: ");
  Serial.print(x);
  Serial.print(" | y: ");
  Serial.print(y);
  Serial.print(" | z: ");
  Serial.println(z);

  delay(100); //Espera 1 décima de segundo
}
```



5.7 Glosario

Variable de las formulas.

M_1 : Magnitud 1

M_2 : Magnitud 2

A: constantes

B: constantes

n: número de eventos de una muestra

d: ¿?? Puede ser la derivada de alguna formula

K: Constante

LgN Logaritmo del Numero de eventos con una magnitud $\geq M$

$(8-M)$

M_0 Magnitud inicial (en grados pero no es gradual)

M_{MAX} Magnitud máxima (en grados pero no es una escala gradual)

N_{Σ} Sumatoria de Numero de eventos con una magnitud $\geq M$

ζ rigidez del terreno (basado en un modelo de velocidades)

P: Espectro de onda

f: Frecuencia