

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO INALÁMBRICO DE REGISTRO
DE VIBRACIONES MECÁNICAS ORIENTADO AL ESTUDIO DE
PROPAGACIÓN DE ONDAS SÍSMICAS EN SUELOS LOCALES**

**SEBASTIÁN CASAS HERNÁNDEZ
STEVEN VARGAS SÁNCHEZ
JUAN JOSÉ MAYA PATIÑO**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA
MEDELLÍN
2014**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO INALÁMBRICO DE REGISTRO
DE VIBRACIONES MECÁNICAS ORIENTADO AL ESTUDIO DE
PROPAGACIÓN DE ONDAS SÍSMICAS EN SUELOS LOCALES**

**SEBASTIÁN CASAS HERNÁNDEZ
STEVEN VARGAS SÁNCHEZ
JUAN JOSÉ MAYA PATIÑO**

**Trabajo de grado para optar al título de Tecnólogo
en Electrónica**

**Asesor
MARLON RINCÓN FULLA
M.Sc. Físico**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA
MEDELLÍN
2014**

RESUMEN

Se diseñó y construyó un módulo o mote inalámbrico con la capacidad de captar ondas mecánicas, guiado directamente al estudio de ondas sísmicas para detectar objetos a baja profundidad, con el fin de facilitar el estudio de los suelos locales. El mote es un circuito que consta de la conexión y programación de un controlador Freedom KL25Z que junto a otros dispositivos hacen posible el estudio de los suelos. Dichos componentes cumplen un papel específico y fundamental. Para el sondeo de los suelos y la recepción de las señales está el acelerómetro, que luego envía los datos análogos al controlador para que este los convierta en datos digitales, luego el mismo controlador almacena los datos en la tarjeta SD que tiene incorporada el circuito y por último los datos son tomados de la tarjeta y enviados inalámbricamente por un módulo XBee para, posteriormente, ser interpretados y estudiados. Los otros 2 componentes que están incluidos y que son esenciales hacen pertenecen a la parte de alimentación del circuito mismo, estos componentes son una pila recargable de 9 voltios y un regulador de voltaje que entrega unos 3.3 voltios para la alimentación de todo el circuito. La comunicación inalámbrica punto a punto realizada entre el mote y un módulo XBee nos permitió verificar el funcionamiento del mote, esta configuración punto a punto es una manera sencilla de revisar que cada uno de los componentes que constituyen el mote y ver que respondan de la forma que se espera y que funcionan correctamente. De esta manera podemos analizar los resultados y determinar una buena confiabilidad en el prototipo construido. Realizamos pruebas con respecto al tiempo utilizado en los procesos de la conversión análogo-digital y la transmisión inalámbrica de 126000 datos, en promedio los resultados obtenidos del tiempo total para ambos procesos (adc y transmisión) fueron los siguientes: A una velocidad de 4800 baudios tardo 2170614340 μ S, a 9600 baudios tardo 1124132284 μ S, a una velocidad de 19200 baudios tardo 602383396 μ S.

CONTENIDO

	Pág.
1. EL PROBLEMA	6
1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	6
2. JUSTIFICACIÓN	7
3. OBJETIVOS	8
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	8
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
4. MARCO TEÓRICO.....	9
4.1. ONDAS SÍSMICAS.....	9
4.2. EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO MEDIANTE ONDAS ELÁSTICAS.	12
4.3. COMUNICACIÓN INALÁMBRICA.....	15
4.4. FREEDOM BOARD.....	15
4.5. MÓDULO XBEE PRO SERIE II.	16
4.6. ACELERÓMETRO.	18
4.7. REGULADOR DE VOLTAJE.	19
4.8. SOCKET MICRO-SD.....	19
4.9. SOFTWARE XCTU.....	20
5. METODOLOGÍA.....	21
5.1. TIPO DE PROYECTO	21
5.2. MÉTODO	21

5.3.	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	21
5.3.1.	Fuentes Primarias	21
5.3.2.	Fuentes Secundarias	21
6.	RESULTADOS	22
7.	CONCLUSIONES	26
8.	RECOMENDACIONES	27
	BIBLIOGRAFIA	28
	ANEXOS	

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Propagación de ondas con suelo alternadamente comprimido y dilatado (ondas P).....	10
Figura 2. Propagación de ondas transversales (ondas S).	11
Figura 3. Ondas Rayleigh.	11
Figura 4. Ondas Love.....	12
Figura 5. Emisión y reflexión de los rayos en las distintas capas reflectoras.....	14
Figura 6. Esquema de emisión y refracción ondas refractadas.....	15
Figura 7. Freedom board KL25Z.	16
Figura 8. Módulo Xbee Pro S2B.....	17
Figura 9. Tipos de conexiones entre los módulos Xbee. A). Single peer. B). Broadcast. C). Multi-peer.....	18
Figura 10. Acelerómetro MMA73XX.....	18
Figura 11. Regulador de voltaje (LM2576-V-SM).....	19
Figura 12. Socket de la micro-SD (Tarjeta para uSD DM3AT).....	20
Figura 13. Componentes electrónicos.....	22
Figura 14. Diseño del PCB en el software Eagle 6.5.0.	23
Figura 15. Montaje en el terreno.	24
Figura 16. Mote en el campo.....	24
Figura 17. Respuesta del módulo.	25

1. EL PROBLEMA

El sistema que se quiere desarrollar, ya existe pero con técnicas diferentes, y la empresa que lo posee, presta el servicio particular y es muy costoso, además el dispositivo en sí no se vende comercialmente.

Por otro lado, existe la dificultad del terreno colombiano, ya que para poder acceder a un sitio remoto con maquinaria pesada para perforar el suelo y sacar muestras, es muy complicado y costoso; con nuestro sistema solo se necesitará poca mano de obra y un dispositivo de fácil transporte, además de la ventaja de no tener que tomar muestras y estar trasladándose constantemente al sitio propiamente dicho.

1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Por qué no tener la posibilidad de adquirir un dispositivo con el cual se pueda estudiar el subsuelo sin necesidad de perforarlo?

¿Será posible transmitir los datos adquiridos por el dispositivo a través de un medio inalámbrico?

2. JUSTIFICACIÓN

Al conocer las dificultades de poder explotar el terreno colombiano y estudiarlo, además de, el ya conocido caso del dispositivo de la empresa extranjera y todas las complicaciones que conlleva el no ver viable la posibilidad de adquirir el servicio que esta presta.

El ánimo de facilitar la labor de exploración de suelos al disminuir en gran medida la necesidad de utilizar maquinaria pesada y cubrir la tarea de trasladarse al sitio de excavación y evaluar resultados, se proyecta la idea de trabajar con dispositivos de censado de movimiento y de transmisión inalámbrica; todo esto principalmente para facilitar, claro está, el estudio de suelos y la obtención del dispositivo que hace esto posible.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar, construir y realizar pruebas de control, de un módulo electrónico que permita obtener registros de vibraciones mecánicas en el suelo (sismogramas) y los envíe de manera inalámbrica a una estación de trabajo.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Llevar a cabo el desarrollo de un sistema que realice el procesamiento local de las señales provenientes de la red de sensores y su multiplexación para establecer su envío inalámbrico implementando un módulo Zigbee.

Diseñar e implementar un montaje experimental para la detección de discontinuidades físicas bajo diferentes situaciones de control.

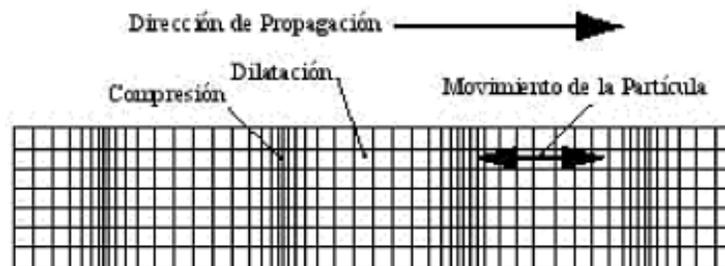
4. MARCO TEÓRICO

4.1. ONDAS SÍSMICAS.

Una fuente sísmica es un agente que libera energía mecánica en el suelo produciendo una deformación temporal del terreno la cual se propaga a una determinada velocidad que es fuertemente dependiente de las propiedades físicas del medio en las que se propague. En otras palabras, las ondas sísmicas no son más que vibraciones mecánicas en el subsuelo y dada su naturaleza ondulatoria, puede evidenciarse fenómenos como la reflexión, la refracción, la difracción y la interferencia entre dos o más ondas. Las ondas sísmicas son un tipo de onda elástica fuerte en la propagación de perturbaciones temporales del campo de tensiones que generan pequeños movimientos en un medio. Las ondas sísmicas pueden ser generadas por movimientos telúricos naturales, los más grandes de los cuales pueden causar daños en zonas donde hay asentamientos urbanos. Existe toda una rama de la sismología que se encarga del estudio de este tipo de fenómenos físicos. Las ondas sísmicas pueden ser generadas también artificialmente como por ejemplo el uso de explosivos o camiones. La sísmica es la rama de la sismología que estudia estas ondas artificiales por ejemplo la exploración del petróleo y otros recursos naturales que nos provee la naturaleza. En la geofísica las ondas sísmicas se clasifican en dos grupos, las ondas de cuerpo o volumétricas que se propagan al interior del suelo, y las superficiales que se propagan a lo largo de un volumen muy reducido cerca de la superficie terrestre puesto que ellas se atenúan exponencialmente con la profundidad. Las ondas volumétricas se clasifican a su vez en ondas primarias (ondas P) (ver Fig. 1) y ondas secundarias (ondas S) (ver Fig. 2).

Las ondas P 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.

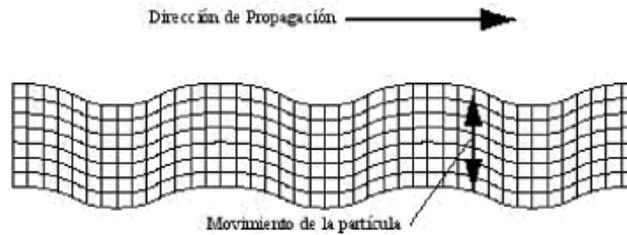
Figura 1. Propagación de ondas con suelo alternadamente comprimido y dilatado (ondas P).



[Imagen tomada de "Sismicidad y Riesgo Sísmico en la C.A.V", escrito por José Giner, Sergio Molina]

Las ondas S 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.

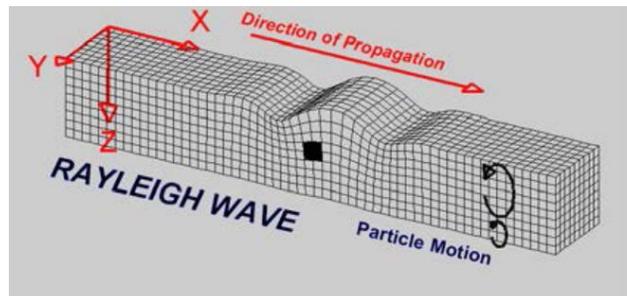
Figura 2. Propagación de ondas transversales (ondas S).



[Imagen tomada de "Sismicidad y Riesgo Sísmico en la C.A.V", escrito por José Giner, Sergio Molina]

Las ondas superficiales denominadas ondas de Rayleigh y Love (en honor a los científicos que demostraron teóricamente su existencia) cuentan con las características que se describen a continuación. En las ondas Rayleigh las partículas se mueven siguiendo una trayectoria elíptica en el plano XZ, tal como se muestra en la Figura 3, en contraposición a la dirección de propagación de la onda.

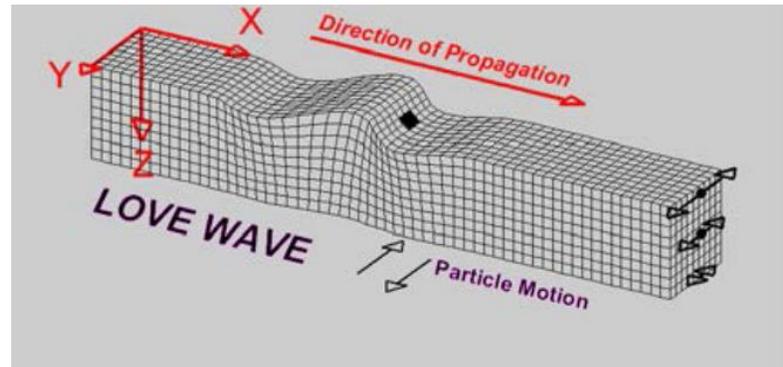
Figura 3. Ondas Rayleigh.



[Imagen tomada de la Universidad de Alicante, 2012]

En las ondas de Love la vibración de las partículas se presenta perpendicularmente a la dirección de propagación, es decir, una onda de Love es transversal pero dicha vibración ocurre paralelamente al plano de la superficie.

Figura 4. Ondas Love.



[Imagen tomada de la Universidad de Alicante, 2012]

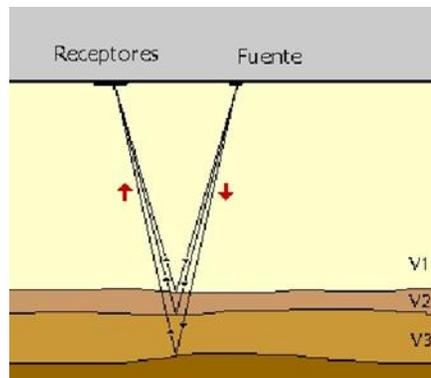
4.2. EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO MEDIANTE ONDAS ELÁSTICAS.

La prospección con métodos sísmicos consiste en explorar el subsuelo mediante ondas sísmicas. El método involucra un elemento generador de ondas sísmicas denominado fuente, un medio de propagación (rocas, aire, agua) y un elemento detector-registrador de las ondas denominado receptor (sensor). Analizando las ondas registradas se espera obtener información de las propiedades elásticas y morfológicas del medio de propagación; el método de obtener información mediante ondas elásticas es utilizado por todos los animales que disponen de un sistema para producir sonidos y un sistema para detectarlas (sistema auditivo), los más parecidos a los utilizados en prospección sísmica son los sistemas de ecolocalización o reflexión de ondas de los murciélagos, guácharos en el aire y el de los delfines en el agua. Las ondas elásticas que se propagan por el aire y el agua son más conocidas como “ondas acústicas u ondas sónicas” (sean o no audibles por el ser humano) y las que se propagan por el subsuelo se conocen como “ondas sísmicas”; sin embargo, desde el punto de vista físico no se diferencian; los métodos de prospección sísmica se pueden clasificar según el tipo de ondas

utilizadas para obtener información del subsuelo. Según este criterio se tienen métodos basados en: ondas reflejadas, Ondas cónicas o refractadas críticamente, ondas directas y ondas superficiales; cuando se efectúa un registro sísmico, casi siempre es inevitable que se reciban y graben todos estos tipos de ondas; sin embargo, sólo uno de ellos se considera útil. Las ondas consideradas útiles se las denomina “señal”, mientras que las ondas de otro tipo se las denomina “ruido” y se consideran inconvenientes; por ejemplo, en el método de reflexión, sólo se consideran útiles las ondas sísmicas reflejadas, mientras que las cónicas, directas y superficiales se consideran ruido; por el contrario, cuando se utilizan métodos basados en ondas superficiales, estas son la “señal”, mientras que las reflejadas forman parte del ruido; el método sísmico de reflexión se basa en las reflexiones del frente de ondas sísmicas sobre las distintas interfaces del subsuelo, la fuente y los receptores se encuentran en o cerca de la superficie y puede ser en tierra o en agua. Estas interfaces (reflectores) responden, al igual que en la refracción, a contrastes de impedancia que posteriormente se relacionaran con las distintas capas geológicas. La información del subsuelo es aportada por las ondas sísmicas que se reflejan a manera de un eco, en las superficies de contacto (interfaces) de estratos con propiedades elásticas diferentes, la información se suele presentar en forma de secciones sísmicas que constituyen una especie de radiografía o ecosonograma que revela las principales estructuras geológicas en el subsuelo tales como pliegues, fallas, intrusiones, patrones de sedimentación. Se utiliza principalmente para localización y detalle de estructuras geológicas favorables a contener yacimientos de hidrocarburos a profundidades entre 1000 y 4000 m, también se utiliza con fines geotécnicos principalmente en agua, por ejemplo para determinar las condiciones del fondo marino para el anclaje de plataformas petroleras o el tendido de tuberías. En este caso la resolución suele ser excepcionalmente buena; por contraste, el método presenta muchos inconvenientes para su utilización con fines geotécnicos en tierra, a profundidades menores de 300 m. La adquisición, el procesamiento y la interpretación por el

método de reflexión son las más complejas y costosas; sin embargo, se considera en general el mejor método de exploración geofísica del subsuelo.

Figura 5. Emisión y reflexión de los rayos en las distintas capas reflectoras.

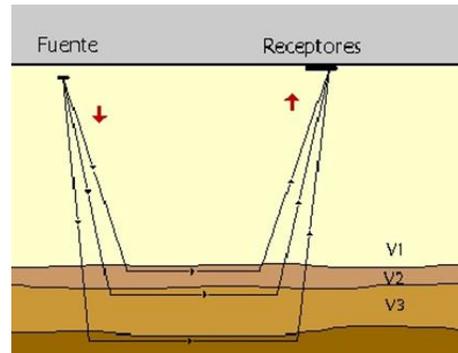


[Imagen tomada de procesamiento de datos sísmicos de reflexión superficial.

Capítulo ii.3 sísmica de reflexión]

La fuente y los detectores se encuentran en la superficie, la cual en la mayoría de los casos es tierra. La información del subsuelo es aportada por las ondas sísmicas refractadas críticamente en las interfaces entre estratos de diferente velocidad de ondas sísmicas compresionales (ondas P). Estas ondas refractadas críticamente también se conocen como ondas cónicas, ondas de primera llegada, ondas de cabecera, ondas laterales. Ellas son, con excepción de las ondas directas hasta cierta distancia, las que primero llegan a los receptores desde el instante en que se produce la liberación de energía en la fuente, por lo que identificarlas y medirles el tiempo de llegada suele ser relativamente sencillo. La mayor aplicación del método es explorar el subsuelo con fines geotécnicos o mineros a profundidades entre 0 y 100 m.

Figura 6. Esquema de emisión y refracción ondas refractadas.



[Imagen tomada de procesamiento de datos sísmicos de reflexión superficial. Capítulo ii.3 sísmica de reflexión]

4.3. COMUNICACIÓN INALÁMBRICA.

Uno de los aspectos más llamativos de esta propuesta y sobre el cual no existen muchos trabajos al respecto, es la posibilidad de ubicar remotamente el sistema de detección e inalámbricamente controlar y transferir los datos a una estación de trabajo para realizar allí el análisis de los datos suministrados por el dispositivo. El módulo de comunicación inalámbrica le da mucha más portabilidad al sistema permitiéndole llevar a cabo estudios remotos de los datos en diferentes lugares, evitando así, el contacto directo y los riesgos asociados que se podría tener al permanecer en contacto con el montaje en una exploración de campo específica, como podría ser en el área militar, y en otras muchas áreas.

4.4. FREEDOM BOARD.

La tarjeta de desarrollo Freedom board KL25Z hace uso del micro-controlador kinetis MKL25Z128, apropiado para aplicaciones de muy bajo consumo

energético, manteniendo un rendimiento sobresaliente. El FRDM-KL25Z es la primera plataforma de hardware para ofrecer el estándar abierto Freescale incrustado adaptador de serie y depuración conocido como OpenSDA. Este circuito ofrece varias opciones para la serie comunicaciones, flash de programación y control de ejecución de depuración. El FRDM-KL25Z se puede utilizar para evaluar los dispositivos de la serie L Kinetis KL1 y KL2. Cuenta con un KL25Z128VLK, un dispositivo de familia KL2 que posee una frecuencia de funcionamiento máxima de 48 MHz, 128 KB de flash, un controlador USB fullspeed, y las cargas de periféricos analógicos y digitales.

Figura 7. Freedom board KL25Z.



[Imagen tomada por autores]

4.5. MÓDULO XBEE PRO SERIE II.

Los módulos Xbee proveen 2 formas amigables de comunicación: Transmisión serial transparente (modo AT) y el modo API que provee muchas ventajas. Los módulos Xbee pueden ser configurados desde el PC utilizando el programa XCTU o bien desde un micro-controlador. Los Xbee pueden comunicarse en arquitecturas punto a punto, punto a multipunto o en una red mesh. Los módulos

de la Serie 1 y la Serie 2 tienen el mismo pin-out, sin embargo, NO son compatibles entre sí ya que utilizan distintos chipset y trabajan con protocolos diferentes.

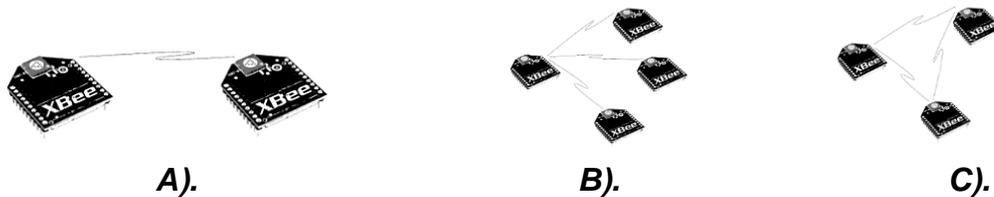
Figura 8. Módulo Xbee Pro S2B.



[Imagen tomada por autores]

Para la transmisión inalámbrica escogimos el Modulo Xbee PRO Serie II. Este dispositivo cuenta con una Tasa de transmisión de datos 250 Kbps, tiene 15 canales de comunicación, 8 entradas/salidas digitales, 6 entradas analógicas, opera en una Banda de frecuencia 2.4GHz, su voltaje de alimentación puede ser regulado de 2.7 a 3.6 VDC, una potencia de salida de 500 mW (+17dBm) y tiene un alcance de comunicación en interior de 90m y en el exterior de 3200m.

Figura 9. Tipos de conexiones entre los módulos Xbee. A). Single peer. B). Broadcast. C). Multi-peer.



[Imagen tomada de “EQUISBÍ Desarrollo de Aplicaciones con Comunicación Remota Basadas en Módulos ZibBee y 802.15.4”, escrito por Sergio R Caprile].

4.6. ACELERÓMETRO.

Un acelerómetro es un dispositivo que permite medir el movimiento y las vibraciones a las que está sometido un objeto o una superficie, tomando en cuenta que mide las vibraciones en todas las coordenadas del plano cartesiano (en los ejes X, Y y Z), estos serían los acelerómetro triaxiales.

Figura 10. Acelerómetro MMA73XX.



[Imagen tomada por autores]

4.7. REGULADOR DE VOLTAJE.

Utilizamos una fuente suicheada variable basada en el regulador LM2576, este regulador posee un trimmer el cual se puede ajustar para obtener voltajes desde 1,25Vdc hasta 15Vdc.

Figura 11. Regulador de voltaje (LM2576-V-SM).



[Imagen tomada por autores]

4.8. SOCKET MICRO-SD.

Este es un adaptador al cual se le puede insertar una memoria externa en este caso una micro-SD, esta memoria externa en este proyecto es muy importante, ya que en esta se almacenaran y guardaran gran cantidad de datos entregados por el acelerómetro, después de almacenar los datos en la micro-SD, estos serán enviados a un equipo remoto (PC), por medio de un Xbee esto con el fin del estudio de las señales entregadas por el anteriormente dicho. El uso de esta memoria externa es inevitable porque al recibir gran cantidad de datos, la memoria de la FRDM es muy limitada, y ya con una memoria externa no nos preocupamos por dicho inconveniente.

5. METODOLOGÍA

5.1. TIPO DE PROYECTO

La propuesta planteada es que este será un proyecto altamente investigativo enfocado más que todo en la innovación, aplicación de los conocimientos teóricos y en el buen funcionamiento del dispositivo propuesto en este trabajo.

5.2. MÉTODO

Para este proyecto se utilizan los métodos de observación siguientes, observación, deducción, análisis y síntesis para comenzar con la ejecución del proyecto, se observara el problema y el comportamiento del dispositivo, para buscar posibles efectos secundarios y sus respectivas soluciones.

5.3. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

5.3.1. Fuentes Primarias: Resultados obtenidos a través de las diferentes pruebas de control que se realicen con el dispositivo de detección.

5.3.2. Fuentes Secundarias: Para completar la investigación se utilizaran libros, páginas WEB, revistas y asesorías con profesores especializados en el tema.

6. RESULTADOS

Figura 13. Componentes electrónicos.



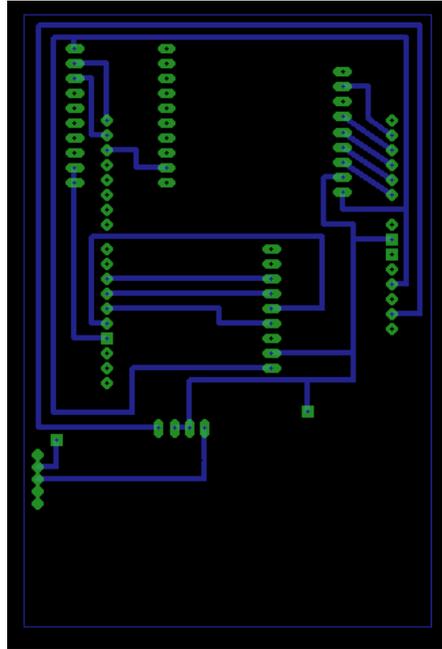
[Imagen tomada por los autores]

Inicialmente se realizaron pruebas de funcionamiento con cada uno de los elementos los cuales en conjunto conforman el dispositivo final.

Después de obtener todos los elementos en armonía, procedimos a realizar una tarjeta tipo shield, con el propósito de tener algo mucho más portable y de fácil manejo.

En el diseño de este proyecto hemos optado por un software de fácil manejo, este software se llama Eagle, más específicamente la versión 6.5.0, este es un software gratuito el cual se puede obtener directamente desde la página del fabricante, aunque el software al ser libre tiene ciertas limitaciones, pero este software con estas limitaciones se ajusta perfectamente a las necesidades de este proyecto.

Figura 14. Diseño del PCB en el software Eagle 6.5.0.



[Imagen tomada por autores]

Nuestro interés es muy simple, demostrar que el dispositivo de captación de ondas mecánicas (mote), si perciba las ondas mecánicas en el momento de estar en un entorno remoto; para poner a prueba el dispositivo procedimos a hacer un estudio el cual consiste en generar las ondas mecánicas con un objeto contundente, este objeto será lanzado desde una determinada altura, y el mote estará ubicado a una distancia prudente a la cual, si se garantiza la captación de las ondas mecánicas a la hora de que el objeto golpee el suelo.

Figura 15. Montaje en el terreno.



[Imagen tomada por los autores]

Después de realizar varias pruebas de lanzamiento del objeto concluimos que la distancia apropiada a la cual debe de estar ubicada el mote es de aproximadamente unos 90 cm, esto depende de la altura a la cual se vaya a lanzar el objeto y el peso del ya mencionado; con esto se concluye que más allá de los 90 cm las ondas mecánicas no son bien percibidas por el dispositivo.

Condiciones: altura a la cual es lanzado el objeto 1,2 m; peso del objeto 15 Kg.

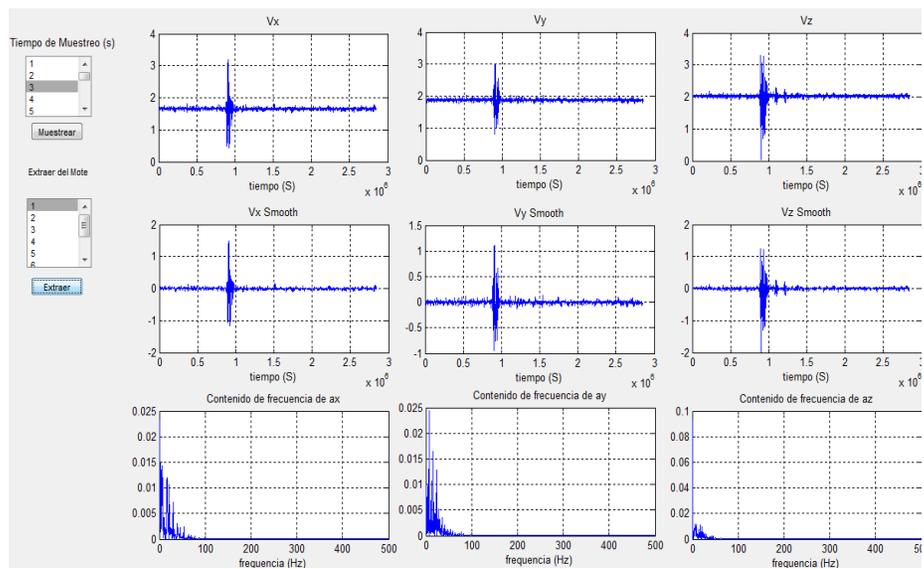
Figura 16. Mote en el campo.



[Imagen tomada por los autores]

La siguiente figura es la respuesta del módulo de comunicación, esta es el resultado esperado, en la figura observamos varias gráficas, eje X, Y y Z, estos son los valores entregados por el acelerómetro.

Figura 17. Respuesta del módulo.



[Imagen tomada por los autores]

Antes de soltar el objeto para que este caiga en el suelo y genere las ondas mecánicas, el mote tiene que estar ya censando las vibraciones de la tierra, cuando estamos seguros de esto, el objeto se deja caer y de esta manera podemos observar en las gráficas unas variaciones notorias en la amplitud de las ondas.

7. CONCLUSIONES

El software de programación (MBED) utilizado para escribir el código fuente del módulo facilitó la programación, ya que el tipo de lenguaje en el que se escribe el código es bastante simple, técnico y muy amigable con el usuario.

En la programación, la parte dirigida específicamente a la lectura de la memoria SD fue necesario implementar un ciclo (for) ya que el comando utilizado al comienzo de la programación solo leía un dato a la vez, así que hubo que modificarlo para garantizar su óptimo funcionamiento.

Se hizo un seguimiento paso a paso de cada componente que constituye el módulo, en cuanto a funcionamiento contribuyó a un mejor desarrollo y es el procedimiento ideal a seguir para que el módulo final funcione correctamente, además, se hicieron pruebas al prototipo, más específicamente a la velocidad de transmisión de los datos y se dedujo que mientras el baud rate sea mayor, mayor será la velocidad de transmisión de los datos.

De estas mismas pruebas al módulo, también se dedujo que mientras mayor sea la cantidad de datos, más tiempo tardará en hacer la conversión AD y la transmisión de esos datos obtenidos.

Se comprobó la viabilidad de este proyecto a futuro con mejoras visibles, pero con una muy buena base ya desarrollada.

8. RECOMENDACIONES

Implementar un mejor sistema energético, el sistema actual es poco confiable, ya que el consumo del dispositivo es muy alto, la batería dura poco tiempo.

Realizar un dispositivo mecánico en el cual se pueda transportar la fuente acústica fácilmente a través del campo. Dando así la posibilidad de poder mover la fuente en el plano horizontal y vertical.

Es apropiado la construcción de algún componente de protección para los sensores vibro-métricos, un componente que los proteja pero a la vez que permita el paso de la señal inalámbrica de los motes al coordinador Xbee.

BIBLIOGRAFIA

- [1] ACHENBACH, Scott. "Eringen And Suhubi".
- [2] ASTIER, J. (1975) "Geofísica Aplicada A La Hidrogeología". Paraninfo.
- [3] MUÑOZ MARTÍN, Alfonso. "Elementos De Prospección Sísmica".
- [4] SRDANOVIC, Vesna. ARISTIZABAL, Víctor. RINCÓN FULLA, Marlon. "Ondas Sísmicas Y Sensores Inalámbricos: Herramientas Potenciales Para La Prospección Remota De Subsuelos A Baja Profundidad", Revista de Cintex, Vol 17, p.p 50.
- [5] OCSA Estudios Geofísicos. "Prospección Geofísica - Sísmica De Reflexión".
- [6] SRDANOVIC, Vesna. ARISTIZABAL, Víctor. RINCÓN FULLA, Marlon. "Medición Inalámbrica del Movimiento Superficial de un Suelo Vibrante Perturbado con una Onda Acústica: Un modelo unidimensional", Memorias XXV Congreso Nacional de Física, p.p 224.
- [7] SRDANOVIC, Vesna. ARISTIZABAL, Víctor. RINCÓN FULLA, Marlon. PALACIO BEDOYA, Juan Luis. FLÓREZ VELÁSQUEZ, Camilo. "Wireless Module For Sensing Superficial Vibrations Of Soils", Memorias: 3 Congreso internacional de telecomunicaciones (CIT 2013) y telecomunicaciones y ciencias de la computación (ETC 2013) / Congreso internacional de telecomunicaciones. Medellín (Antioquia): Ediciones USTA, 2013., p.p 33.