

# XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

## DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN OSCILADOR CONTROLADO POR VOLTAJE EN BASE A UN MICROCONTROLADOR CON SELECCIÓN DE FRECUENCIAS PARA EL DEPARTAMENTO DE GEOFÍSICA.

Roberto Toapanta, Ing.  
Sandro E. Jua Vivar, Ing

Departamento de Geofísica  
Escuela Politécnica Nacional

### 1. RESUMEN

A pesar de la disponibilidad de equipos de monitoreo volcánico y de la tecnología con que se cuenta en la actualidad; el Instituto Geofísico aún cuenta con estaciones analógicas de período corto. Las empresas que desarrollan estos equipos, han migrado de la tecnología analógica a la digital, descontinuada así la fabricación de estos equipos de forma permanente. En el presente proyecto se desarrolla un sistema para transmitir uno de los parámetros más importantes de la vigilancia volcánica: la sismicidad del suelo. Se diseña un oscilador controlado por voltaje (VCO<sup>1</sup>), en base a un generador de tonos controlado por un microcontrolador PIC18F2550. El generador de tonos produce una frecuencia central, que es modulada por la señal adquirida del geófono<sup>2</sup>.

La información es modulada en frecuencia y transmitida por medio de un radio transmisor analógico al Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. Los datos sísmicos adquiridos, ayudan a realizar estudios sobre las placas tectónicas; sismos relacionados con volcanes; ubicación del hipocentro y el epicentro de un sismo, etc. Proporcionando así información rápida y precisa, que ayudan a los organismos de coordinación de emergencias a dar las alertas tempranas de evacuación.

### 2. INTRODUCCIÓN

El Ecuador se encuentra localizado en una de las regiones tectónicamente más activas del planeta, debido a la subducción de dos placas; la placa nazca con la placa sudamericana. Esta situación ha causado la presencia de importantes actividades tanto sísmicas como volcánicas, las cuales han generado terremotos y erupciones que han afectado frecuentemente al territorio ecuatoriano. Actualmente la actividad sísmica y volcánica son estudiadas y monitoreadas utilizando instrumentos que permiten registrar diferentes parámetros físicos; y a través de otros

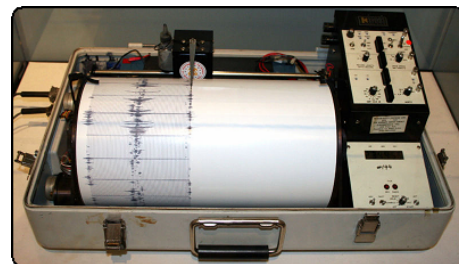
medios, almacenarlos en un centro de adquisición de datos para su análisis. Las señales sísmicas registradas son analizadas en tiempo casi real y permiten conocer la localización de la fuente sísmica, como: el tamaño del evento, el tipo de fracturamiento que lo generó y la historia de la ruptura. El estudio de las señales sísmicas, es la principal herramienta tecnológica para la vigilancia de los volcanes activos.

Uno de los métodos más importantes en el monitoreo volcánico; son el empleo de las estaciones sísmicas analógicas de período corto. Estas se encargan de tomar la señal eléctrica de un geófono; realizar el acondicionamiento; modular en frecuencia, y transmitir vía enlace de radios analógicos al Instituto Geofísico (IG). Se componen principalmente de las siguientes partes: un sensor sísmico, VCO, batería, panel solar, radio transmisor, y antena.

### 3. SISTEMA DE MONITOREO

El sistema está constituido principalmente de una estación sísmica, localizada en un lugar específico del volcán o del país; y una estación base como es el Instituto Geofísico o el Observatorio Volcán Tungurahua (OVT). La estación sísmica y la computadora o los registradores de la señal sísmica, también forman parte del sistema.

Los registradores son instrumentos portátiles que graban las trazas sísmicas. Están ubicadas en los observatorios, utilizan papel ahumado para imprimir las trazas de forma continua en las 24 horas del día.



<sup>1</sup> Oscilador Controlado por Voltaje.

<sup>2</sup> Los geófonos son transductores de desplazamiento, velocidad o aceleración que convierten el movimiento del suelo en una señal eléctrica.



## XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

Figura N. 1. Imagen Sismógrafo PS – 2. Tambor de registro analógico.

Además, los observatorios cuentan con computadoras adecuadas, que aceptan los datos de las estaciones sísmicas analógicas. Con los datos adquiridos por la computadora, se hacen uso de programas que realizan los cálculos para los indicadores de actividad volcánica, y las localizaciones de eventos sísmicos.

### 4. ESTACIÓN SÍSMICA.

Una estación de monitoreo sísmico analógica, básicamente está conformada por los siguientes elementos: el geófono de periodo corto, el VCO, el radio transmisor, la antena transmisora, y el sistema de alimentación; que son las baterías y paneles solares.

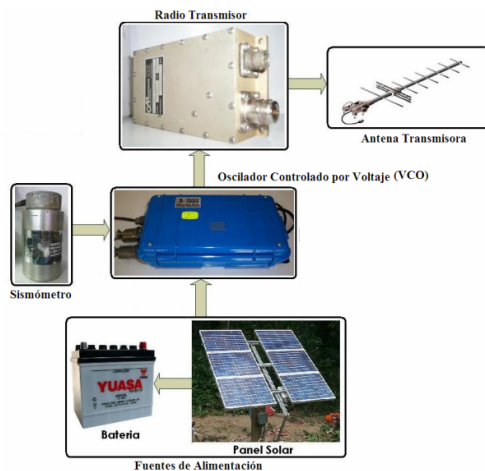


Figura N. 2. Diagrama de una estación sísmica analógica – Estación de campo.

### 5. SENSOR SÍSMICO

El geófono empleado es electromagnético, consiste simplemente de una bobina que se mueve en un campo magnético suspendida de un sistema de resortes. El sistema más sencillo es una masa suspendida de un resorte. El movimiento relativo de la masa dentro del campo magnético constante, (generado por un electroimán), convierte la energía mecánica proveniente de las ondas sísmicas en señal eléctrica.



Figura N. 3. Sensor sísmico de período corto modelo L4 – C.

Se utiliza un geófono modelo L4 – C; es un sensor electromagnético de periodo corto, versátil, y portátil. Está diseñado para ser aplicado en una gran variedad del ámbito sísmico, y bajo condiciones ambientales adversas. Se caracteriza por su alta sensibilidad, material duro y su resistencia al agua. Mide 7.6 cm de diámetro por 13 cm de longitud. Pesa: 2.15 kg. Tiene una frecuencia nominal de  $1.0 \pm 0.05$  Hz.

### 6. DISEÑO DEL VCO.

Se diseña un oscilador controlado por voltaje en base a un generador de tonos, controlado por un microcontrolador PIC18F2550. El generador de tonos produce una frecuencia central, que es perturbada por la señal adquirida del geófono. Realizándose así la modulación en frecuencia.

Para diseño del VCO se toman en cuenta las partes importantes constitutivas como son: el acondicionamiento de la señal, la digitalización, el control, y la generación de la onda sinusoidal.

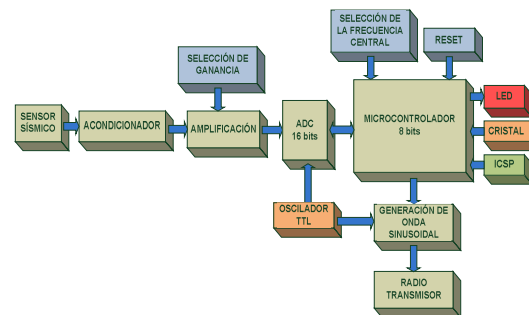


Figura N. 4. Diagrama de bloques del VCO programable en base a generador de tonos.

#### 6.1. ACONDICIONAMIENTO

La señal proveniente del geófono se encuentra en el orden de las milésimas de voltio, ésta señal se acondiciona con la ayuda de un amplificador de instrumentación (AI); el AD620. Permite fijar las ganancias de 1 a 1000, solo se requiere



## XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRONICA

de una resistencia externa  $R_G$ , que puede ser calculada con la siguiente fórmula:

$$R_G = \frac{49.4 K}{G - 1}$$

La Figura N. 5, es el acondicionamiento para el sensor sísmico en base a un amplificador de instrumentación y filtro a la entrada de la señal.

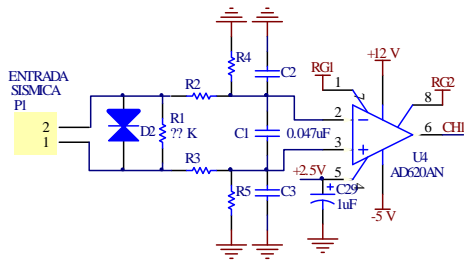


Figura N. 5. Acondicionamiento de la señal del geófono electromagnético.

La entrada está protegida con un diodo supresor de transitorios de voltaje, y también se ha implementado un filtro para atenuar la interferencia por radio frecuencia.

### 6.2. DIGITALIZACIÓN

En esta etapa se emplea el AD7706, que es un convertor de señal analógica a digital de 16 bits. Posee tres canales de entrada pseudo diferenciales, con valor de voltaje de entrada máximo de  $\pm 2.5V$ . Para la comunicación con microcontroladores posee la interfaz SPI<sup>3</sup>.

Otras de las características más relevantes del AD7706 es que posee selección de frecuencia de muestreo hasta 500 mps<sup>4</sup>, filtro digital, auto-calibración y amplificador de ganancia programable hasta 42dB.

### 6.3. GENERACIÓN DE LA ONDA SINUSOIDAL.

El ML2035 es un generador de onda sinusoidal compacto, cuya salida es programable desde DC hasta 25 kHz. La frecuencia de la onda generada por el chip, es programable mediante un valor de 16 bits. El ML2035 es compatible con la interface SPI del microcontrolador.

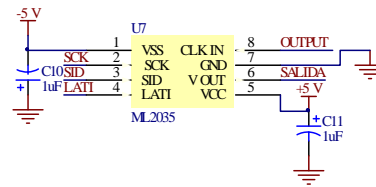


Figura N. 6. Diagrama de conexiones del generador de tonos.

### 6.4. CONTROL.

El PIC18F2550 es el encargado de monitorear todas las variables de entrada y salida del sistema, ejecutando comandos necesarios para el funcionamiento del VCO. Realiza tareas de lectura de datos del convertor AD7706. Interpretar los valores por medio de un algoritmo, y envía una serie binaria al ML3025 para la generación de la onda sinusoidal y frecuencia deseada. También, realiza la corrección del offset en la frecuencia portadora.

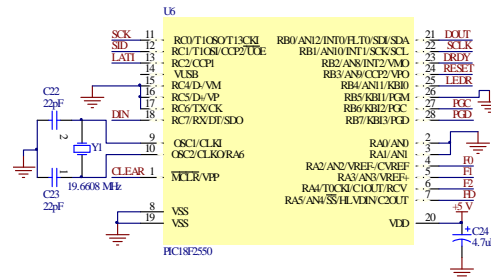


Figura N. 7. Microcontrolador PIC18F2550.

## 7. CONFIGURACIÓN DEL VCO

### 7.1. SELECTOR DE GANANCIA

Cuenta con un dip-switch de 12 posiciones para la selección de los diferentes valores de ganancia para la señal del sensor sísmico. Estas ganancias son elegidas de acuerdo al tipo de terreno donde se instala el sensor sísmico.

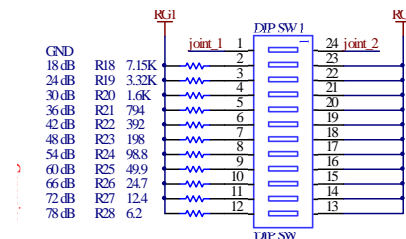


Figura N. 8. Selector de Ganancias.

### 7.2. FRECUENCIA PORTADORA Y FILTRO DIGITAL

<sup>3</sup> Interfaz periférico serial.

<sup>4</sup> Muestras por segundo.



## XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

Los VCO pueden generar una o varias frecuencias portadoras que pueden ser seleccionadas de acuerdo a la necesidad. El equipo tiene esa opción mediante un dip-switch de 4 posiciones; tres de ellas son para la selección de la frecuencia de la portadora y una para la selección del filtro digital. En la Tabla 1 y Tabla 2, se detallan la frecuencia y el filtro digital.

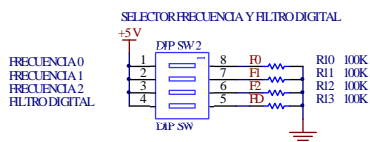


Figura N. 9. Selector de Frecuencia y Filtro Digital.

### 8. PROGRAMA PARA EL PIC18F2550

El programa para el microcontrolador, se puede realizar en cualquier lenguaje de programación en texto como son: ANSI C, BASIC, FORTRAN, etc. Esto es posible debido a que existen empresas que proveen del software conocido como: compilador. Por la facilidad en el desarrollo de programas para los microcontroladores se eligió el lenguaje de programación ANSI C, y el compilador es el PICC-18™ PRO para la familia de PIC18 de la empresa australiana HI-TECH Software.

El programa principal del microcontrolador comienza con la configuración de los puertos como entradas o salidas; inicializa la función del SPI y el Timer 1. A continuación lee los dip-switch's para asignar al VCO la frecuencia de la portadora, y al ADC<sup>5</sup> la frecuencia de muestreo.

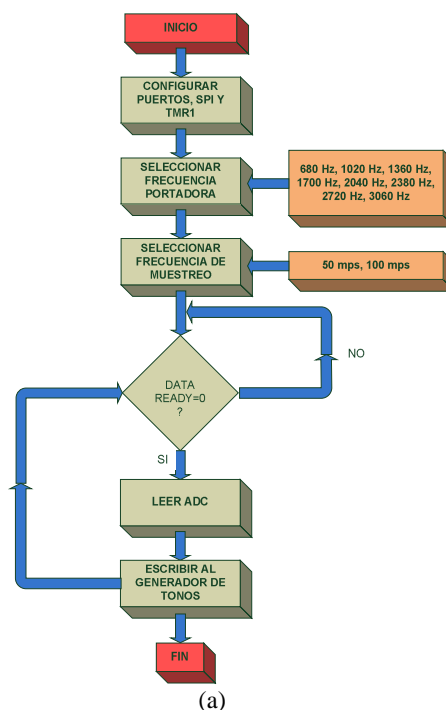
Tabla N. 1. Selección de la frecuencia portadora. Tres posiciones del dip-switch.

Selector			Frecuencia portadora seleccionada [Hz]
F2	F1	F0	
0	0	0	680
0	0	1	1020
0	1	0	1360
0	1	1	1700
1	0	0	2040
1	0	1	2380
1	1	0	2720
1	1	1	3060

Tabla N. 2. Selección del filtro. Una posición del dip-switch.

Selector	Filtro Digital seleccionado
FD	
0	$f_c = 11.79 \text{ Hz}$ (-3dB); 45 mps
1	$f_c = 24.104 \text{ Hz}$ (-3dB); 92 mps

Continuamente el programa esta monitoreando uno de los pines del ADC, el DATA READY, para verificar si dispone de datos listos para ser leídos. Los datos adquiridos del ADC son procesados mediante un algoritmo, que genera un valor en base a la configuración del sistema para luego ser transmitidos al generador de tonos. A continuación se presenta el diagrama de flujos del programa principal del microcontrolador.



<sup>5</sup> Conversor de señal analógica a digital.



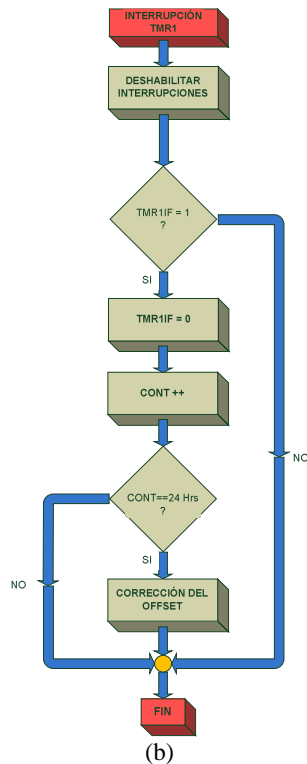


Figura N. 10. Diagramas de Flujos: (a) Programa principal del PIC18F2550, (b) Atención a la interrupción del timer 1.

## 9. RESULTADOS

### 9.1. ESPECTRO DE LA FRECUENCIA PORTADORA

En la siguiente figura se puede observar la señal y el espectro de una de las 8 frecuencias portadoras generada por el VCO diseñado. Para este caso se ha seleccionado una frecuencia portadora de 680 Hz.

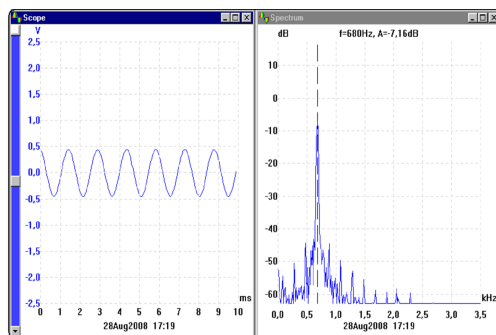


Figura N. 11. Gráfica de la frecuencia portadora a 680 Hz. El gráfico se obtiene utilizando el programa PicoScope Oscilloscope.

### 9.2. PRUEBA DE GANANCIA: 42 dB-7,2 mV; 48 dB-3,6 mV

En estas pruebas, se debe obtener la misma amplitud para diferentes valores de señal y ganancia. Para una señal sinusoidal de 7.2 mV y ganancia 42 dB se obtiene el mismo resultado que para una entrada de 3.6 mV con ganancia de 48 dB.

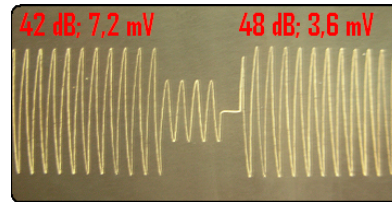
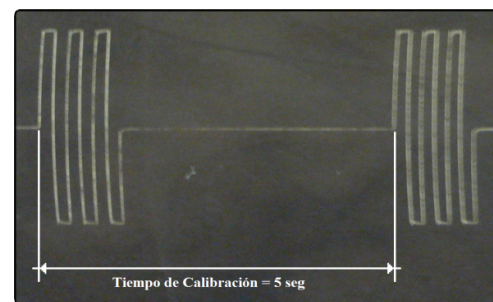


Figura N. 12. Pruebas de Ganancia-Amplitud.

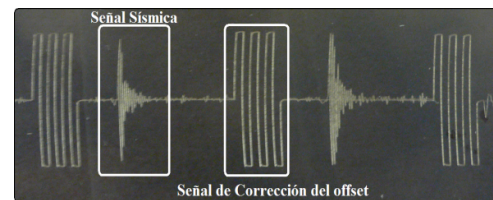
### 9.3. PRUEBA DE LA CORRECCIÓN DEL OFFSET

El VCO diseñado realiza la corrección del offset o desviación de la portadora, por medio de una subrutina que se ejecuta cada 24 Hrs. La secuencia de corrección del offset es notoria debido a que el VCO envía una señal cuadrada para identificar el momento de la corrección.

Como prueba se configuró el programa del microcontrolador para que la calibración se realice cada 5 segundos. En las siguientes figuras se puede observar las pruebas de calibración.



(a)



(b)

Figura N. 13. Corrección del Offset, (a) señal con baja ganancia, (b) señal sísmica con 42 dB de ganancia.

### 9.4. TRAZAS SÍSMICAS EN EL TAMBOR DE REGISTRO ANALÓGICO



## XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

Estas trazas sísmicas se obtuvieron en un periodo de prueba de un día. En el cual se puede observar los movimientos captados por el sensor de periodo corto L4 – C.

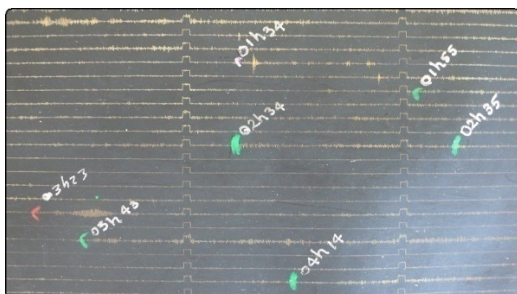


Figura N. 14. Gráfica de las trazas grabadas por los registradores de señal sísmica PS – 2.

## 10. CONCLUSIONES

El sistema es de bajo costo, y proporciona ventajas sobre VCO's analógicas. En un solo VCO se pueden seleccionar 8 frecuencias diferentes; se auto-calibra; realiza la corrección del offset; posee dos opciones de filtro digital y es de bajo consumo de corriente (28 mA).

Se ha demostrado mediante múltiples pruebas y ensayos reales, que el equipo implementado funciona correctamente, y presenta características equivalentes a las de un equipo utilizados actualmente; significando un ahorro considerable en costos de adquisición de nuevos equipos.

Con el nuevo VCO diseñado, se puede simplificar las labores de mantenimiento en las estaciones sísmicas. Puede ser colocado a cualquier frecuencia, dependiendo de la tarjeta discriminadora que se tenga en la estación base, donde se recibe las señales de las estaciones sísmicas.

En el IG se construyeron VCO's; siguiendo los diseños de la USGS<sup>6</sup>. Estos equipos son construidos con componentes electrónicos analógicos. Se obtuvieron buenos resultados, pero, la frecuencia central de la portadora sufría cambios y desviaciones con respecto a la referencia. La degradación de la señal dificulta el análisis de los datos de las estaciones sísmicas. Con el nuevo equipo diseñado se corrigen estos inconvenientes.

Respecto al programa desarrollado en lenguaje C para el microcontrolador, se puede asegurar

que lleva a cabo todas las funciones para las que fue diseñada, estableciendo así un interface práctico para usuario.

Se obtuvo experiencias en la utilización del microcontrolador de la familia PIC18, para en un futuro posterior hacer uso de esos conocimientos adquiridos.

## 11. BIBLIOGRAFÍA

**Libros:**

- [1]. ORTIZ Ramón, GARCÍA Alicia, ASTIZ Mar, Instrumentación en Vulcanología. Madrid. 2001. 347 pág.
- [2]. McCHESNEY P.J., Manual del McVCO. USA. 1999. 57 págs.
- [3]. A. Trnkoczy, J. Havskov, L. Ottemöller, Seismic data acquisition. Hannover. 2002.
- [4]. OGATA Katsuhiko, Modern Control Engineering. USA. 1980. 1013 págs.

**Tesis:**

- [1]. MACÍAS Carlos, Desarrollo de un arreglo sísmico en base a microcontroladores RfPIC. Tesis (Tecnólogo en Electrónica y Telecomunicaciones). Quito, Ecuador. Escuela Politécnica Nacional, Escuela de Formación Tecnológica. 2006. 93 págs.
- [2]. PAZOS Antonio, Estación Sísmica Digital – Tratamiento Digital de Señales. Tesis (Doctoral). Cádiz, España. Universidad de Cádiz, Departamento de Física Aplicada. 2004. 226 págs.
- [3]. JUA Sandro, Tarjeta de adquisición de datos aplicado a la medición de temperatura. Tesis (Tecnólogo en Electrónica y Telecomunicaciones). Quito, Ecuador. Escuela Politécnica Nacional, Escuela de Formación Tecnológica. 2004. 81 págs.

**Páginas Web:**

- [1]. <http://www.analog.com>.
- [2]. <http://www.htsoft.com>.
- [3]. <http://www.microchip.com>.

### Datasheets:

<sup>6</sup> United States Geological Survey.



## XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

- [1]. Analog Devices, Inc. AD620. Datasheet. Low Drift, Low Power Instrumentation Amp with set gains of 1 to 10000. 1999.
- [2]. Analog Devices, Inc. AD7706. Datasheet. 3 Channel Pseudo Differential, 16 bits Sigma-Delta ADC. 1998.
- [3]. Analog Devices, Inc. OP77. Datasheet. Ultralow offset voltage operational amplifier. 2002.
- [4]. Micro Linear. ML2035. Datasheet. Serial Input Programmable Sine Wave Generator. 1997.
- [5]. Microchip. PIC18F2550. Datasheet. 28/40/44 - Pin High-Performance, Enhanced Flash USB Microcontrollers with nanoWatt Technology. 2004.

Telecomunicaciones - EPN, 2004. Es egresado de Ing. en Electrónica y Control – EPN, 2009. Realizó trabajos de automatización de experimentos físico para el Proyecto de Metrología Física, Facultad de Ciencias - EPN (2 años). Trabajó durante 5 años para el Instituto Geofísico – EPN, en el diseño de sistemas de monitoreo volcánico y mantenimiento de estaciones sísmicas e inclinométricas. Actualmente trabaja en el CIDAE (Centro de Investigación y Desarrollo Aeroespacial), como consecuencia de un convenio firmado entre la FAE y la EPN.

### BIOGRAFÍAS

#### Roberto Carlos Toapanta Guamán



Nació en Quito el 15 de Julio de 1984, curso sus estudios secundarios en el Instituto Tecnológico Superior Sucre obteniendo el título de Bachiller Técnico Industrial en Electrónica. Sus estudios

superiores los realizó en la Escuela Politécnica Nacional en la Escuela de Formación de Tecnólogos obteniendo el título de Tecnólogo en Electrónica y Telecomunicaciones.

Desde 2008 trabaja el Departamento de Geofísica de la Escuela Politécnica Nacional realizando tareas como: desarrollo de hardware y software orientado al monitoreo sísmico-volcánico; mantenimiento de la red de sismógrafos del Ecuador (RENSIG), Inclinometría, AFMs (Acoustic Flow Monitoring) y apoyo en mantenimiento de la red de sensores de Banda Ancha de la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (Jica).

#### Sandro E. Jua Vivar



Bachiller en Humanidades Modernas, especialidad Físico - Matemáticas del colegio Don Bosco, Macas Morona-Santiago.

Estudió Física en La Facultad de Ciencias De Escuela Politécnica Nacional (EPN), 2002. Se graduó de tecnólogo en Electrónica y