

# Diseño y construcción de un prototipo para la medición de la resistividad del suelo usando dispositivos programables en un chip

Design and construction of a prototype for measuring soil resistivity using Programmable System-on-Chip

COLCIENCIAS TIPO 1. ARTÍCULO ORIGINAL

RECIBIDO: MARZO 10, 2014; ACEPTADO: JUNIO 20, 2014

Raúl Melo Sevilla  
[raulmelo@usc.edu.co](mailto:raulmelo@usc.edu.co)

Javier Rojas Montes  
[javierrojas@usc.edu.co](mailto:javierrojas@usc.edu.co)

Universidad Santiago de Cali, Colombia

## Resumen

Una problemática recurrente en la investigación científica en ingenierías y ciencias básicas es la carencia de equipos o sus altos costos. La presente investigación, muestra el diseño, construcción y prueba de un prototipo para la medición de la resistividad del suelo. El conocimiento de ciertos parámetros petrofísicos del subsuelo con métodos no invasivos, es de gran ayuda para las actividades de evaluación del impacto ambiental en acuíferos. Para la construcción del prototipo se utilizaron dispositivos programables en un chip. Ellos permiten construir equipos livianos, pequeños, eficientes y económicos. En la primera parte se introducen los conceptos básicos de prospección geofísica; a continuación se presentan nuevas aplicaciones de los sistemas programables en un solo circuito integrado, como es la construcción de equipos de bajo costo para la medición de parámetros ambientales y se muestran diagramas de los circuitos y su implementación práctica; luego se presentan, analizan y discuten los resultados de las pruebas; finalmente se realizan recomendaciones para futuros trabajos.

## Palabras Clave

Dispositivos programables en un Chip; PSoC; resistividad del suelo; resistivímetro; prospección geofísica; impacto ambiental.

## Abstract

A recurring problem in scientific research in basic science and engineering is the lack of equipment or its high cost. This research shows the design, construction and testing of a prototype for measuring soil resistivity. Knowledge of certain subsurface petrophysical parameters with non-invasive methods is helpful for activities of environmental impact assessment in aquifers. To build the prototype, programmable devices were used in a chip. They allow you to build lightweight, small, efficient and economical equipment. In the first part, is introduced to the basics of geophysical prospecting. Next, new applications of programmable systems in a single integrated circuit are presented, such as the construction of low-cost equipment for measuring environmental parameters. Furthermore, circuit diagrams and their implementation are showed. The test results are displayed, analyzed and discussed. Finally, recommendations for future work are made.

## Keywords

Programmable-System -on-Chip; PSoC; soil resistivity; resistivimeter; geophysical prospecting; environmental impact assessment.

Investigación realizada en el marco de las convocatorias internas de la Dirección General de Investigaciones de la Universidad Santiago de Cali [USC] –código de aprobación COCEIN-829-628-11-002–. Los equipos y los espacios de trabajo y experimentación fueron provistos por la Dirección General de Laboratorios de la USC. Se agradece a los estudiantes (Gonzales y Aristizabal) quienes realizaron su trabajo de fin de carrera, en el marco de su formación investigativa, con los grupos de investigación GIEV y GIE.

## I. INTRODUCCIÓN

En las actividades de evaluación del impacto ambiental muchas veces es necesario conocer la situación geofísica, geoquímica y geotécnica del subsuelo, para poder tomar acciones correctivas en favor del medio ambiente y de la salud del ser humano. Existen varios métodos geotécnicos-geológicos para determinar los diferentes parámetros del subsuelo, tales como: densidad, humedad, grado de compactación y salinidad, todos ellos tienen un carácter invasivo y se valen de perforaciones *in situ* y extracción de muestras para su posterior análisis en laboratorio. Desafortunadamente, muchas veces al realizar dichas perforaciones se produce un daño en las capas impermeables del subsuelo, propiciando una rápida difusión de los fluidos contaminantes hacia zonas que no estaban contaminadas.

Los métodos geofísicos de prospección posibilitan la realización de pruebas no destructivas de dichas zonas, es decir, sin necesidad de perforar se puede ver el interior del subsuelo, lo que se realiza a través de la medición de parámetros petrofísicos como: resistividad aparente del suelo, susceptibilidad magnética, conductibilidad eléctrica, conductibilidad térmica, velocidad de propagación de las ondas sísmicas, etc. Por ejemplo, a través del conocimiento de la distribución de las velocidades de las ondas sísmicas longitudinales [ $V_L$ ] y transversales [ $V_T$ ] se pueden inferir los parámetros elásticos del medio como son el coeficiente de Poisson y el Módulo de Young.

Las ondas longitudinales también se conocen como de compresión y dilatación o de condensación y rarefacción. En sismología se denominan ondas primarias u ondas P, ya que son las primeras en registrarse en el punto de observación y tienen una amplitud relativamente pequeña y un periodo corto. En las ondas transversales el movimiento de vibración de la partícula se produce normalmente en la dirección de propagación; estas ondas se llaman también ondas de cizallamiento y en sismología se designa con la letra S; son registradas con posterioridad a las ondas P e indican un movimiento de amplitud algo mayor y un periodo semejante o algo superior al de aquellas ondas (Militzer, Schön, & Stötzner, 1986; Militzer & Weber, 1987). Las ecuaciones 1 y 2 muestran la relación entre la velocidad de propagación de estas ondas y las constantes elásticas de los medios en que se propagan:

$$v_p = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}} \quad (1)$$

$$v_T = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\nu)}} \quad (2)$$

Con estas relaciones es muy fácil, una vez conocidas las velocidades y las densidades ( $\rho$ ), estimar los parámetros petrofísicos /geotécnicos como E (módulo de Young, la variable más importante en el control de las velocidades sísmicas) y  $\nu$ , el coeficiente de Poisson.

Para el caso de la contaminación de acuíferos, sea causada por el excesivo uso de abonos y pesticidas en la agricultura intensiva –como ocurre en el Valle del Cauca– o debido a la contaminación por lixiviados, cuando estos cuerpos de agua se encuentran cerca de rellenos sanitarios –como es el caso del *Basuro* de Navarro–, una de los parámetros más importantes a determinar es la resistividad eléctrica del suelo, ya que suelos intensamente contaminados con lixiviados o abonos presentan un aumento en su salinidad, que se refleja en valores bajos de la resistividad aparente del subsuelo (McDowell et al., 2002). Para esto, los métodos geofísicos no destructivos necesitan de equipos de medición sensibles, que por lo general son muy caros y deben de ser importados. Por lo anterior se propuso el macroproyecto de investigación sobre el diseño y construcción de equipos de bajo costo para mediciones ambientales. En una primera etapa se construyó un equipo para la medición de la conductibilidad eléctrica del suelo (Melo & Rojas, 2013).

### A. Localización de la contaminación ambiental en acuíferos y equipos de bajo costo

Según Militzer et al., (1986), Kelly y Mares (1993) y Kirsh (2006), la localización de estructuras geológicas en el subsuelo se puede realizar de forma efectiva con métodos geofísicos basados en la medición de los parámetros petrofísicos de las unidades litológicas del subsuelo y sus variaciones con referencia a modelos homogéneos o estados ideales de sus propiedades físicas, es decir, su contraste o comportamiento anómalo del campo a medir. En este punto juega un papel importante la noción de anomalía geofísica, que es el concepto central de la geofísica prospectiva; de lo que se trata es de medir, registrar, procesar y graficar la respuesta dada por distintos campos físicos en las áreas de potencial interés exploratorio o de desarrollo de recursos, y entonces buscar los sectores de valores anómalos respecto al fondo local o regional e interpretarlos en términos geológicos-ambientales, para determinar sitios de interés económico o contaminados (Rojas, 2005).

Como se indicó, en el Valle del Cauca (Colombia), un fenómeno que altera la calidad del agua en los acuíferos es la intrusión de sales provocada por el uso excesivo de pesticidas y abonos, o la intrusión de lixiviados o vinazas en el cuerpo del acuífero.

Según Orellana (1995) y Gadallah y Fisher (2009) cuando se utiliza el método de resistividad en prospección geofísica, se introduce una corriente eléctrica que puede ser continua o alterna de baja frecuencia en el terreno. Se usa un par de electrodos que miden la diferencia de potencial entre otro par de electrodos dispuestos en una configuración ya establecida, que permiten introducir la corriente en el suelo. La posterior diagramación de los datos da como resultado un perfil del terreno –Sondeo Eléctrico Vertical [SEV]– o las variaciones laterales de la resistividad (calicatas eléctricas).

En la práctica, para realizar esta determinación *in situ*, los equipos son de procedencia extranjera y en Colombia son muy pocas las investigaciones que se han enfocado a la construcción de equipos de bajo costo para estos fines. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue diseñar y construir un prototipo de un equipo de bajo costo para el monitoreo indirecto de contaminantes químicos en el subsuelo.

Esta primera etapa, que implica el diseño del prototipo, se realizó debido a que los aparatos utilizados en las exploraciones geoquímicas / geofísicas del subsuelo provienen del extranjero, son costosos, delicados y si se descomponen, los repuestos son de difícil consecución en el mercado nacional. Adicionalmente, estos equipos son muy grandes (voluminosos), ya que son *pensados* para la prospección en gran escala. Para las prospecciones en pequeña escala, estos equipos están sobre dimensionados, por lo que es necesario el desarrollo de tecnología propia que satisfaga las necesidades de este tipo de investigaciones, utilizando en lo posible software y hardware libre o dispositivos programables en un chip [PSoC].

Los procesos y metodologías para el estudio de las propiedades de los materiales en el subsuelo son similares, a los usados en la localización del petróleo, las aguas subterráneas y los minerales.

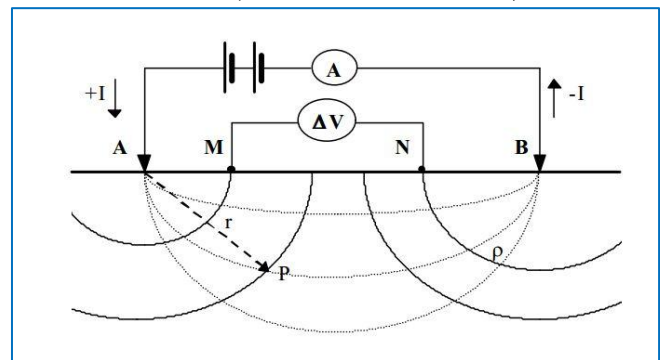
La construcción de equipos eficientes debe ir de la mano con sus dimensiones; evitar que sean voluminosos, pero al mismo tiempo lograr que ofrezcan mejores funciones que equipos similares.

En el presente trabajo se diseñó, modernizó y automatizó un equipo de mejor funcionamiento para realizar las mediciones de la resistividad aparente del subsuelo, para lo que se utilizaron sistemas programables en un chip [*Programmable-System-on-Chip*, PSoC], los cuales por su versatilidad y miniaturización, constituyen un arreglo configurable de *señal mezclada* –parte analógica y parte digital– con controlador en una tarjeta. Estos dispositivos fusionan las ventajas de los SoC, con la flexibilidad de los sistemas programables.

### B. Principios de la medición de la resistividad del suelo

La medición de la resistividad eléctrica del subsuelo es una de las utilizadas en las prospecciones geofísicas poco profundas. Su objetivo es detectar y localizar cuerpos y estructuras geológicas basándose en su contraste resistivo. Es decir, en el mapa de resistividades, hay que encontrar la *anomalía geofísica*. El método consiste en la inyección de corriente continua o de baja frecuencia en el terreno mediante un par de electrodos (M, N) y la determinación, mediante otro par de electrodos (A, B), de la diferencia de potencial. La magnitud de esta medida depende de la distribución de resistividades de las estructuras del subsuelo, de las distancias entre los electrodos y de la corriente inyectada (Orellana, 1995; Gadallah & Fisher, 2009).

Figura 1. Configuración electrónica para mediciones de la resistividad del suelo (Orellana, 1995; Estrada, 2012)



Teniendo en cuenta la configuración electrónica de la Figura 1, para un medio (subsuelo) ideal, con resistividad homogénea, la diferencia de tensión es la siguiente (Orellana, 1995):

$$\Delta V = V_M - V_N = \frac{I\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN} \right) \quad (3)$$

Donde AM, AN, BM y BN son las distancias entre los electrodos. Entonces la resistividad estaría dada por:

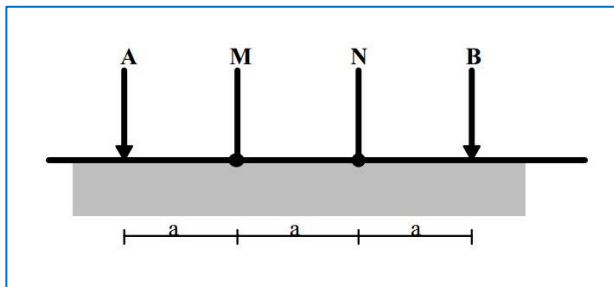
$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad (4)$$

Donde K es el factor de configuración electródica:

$$K = 2\pi \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN} \right) \quad (5)$$

En los experimentos de laboratorio y de campo se utilizó una configuración especial, denominada *Wenner*, en la cual la distancia entre los electrodos es igual (Figura 2).

**Figura 2. Dispositivo electródico Wenner (a=a) (Orellana, 1995; Estrada, 2012)**



Esta configuración es sencilla y simétrica, lo que simplifica los cálculos que se han de programar en el equipo prototipo.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS DE DISEÑO

Para el diseño y la construcción del prototipo, se utilizaron los dispositivos programables en un chip (PSoC), los cuales, por sus funcionalidades, tamaño y costo son una excelente opción.

### A. Los dispositivos programables en un chip,

PSoC consiste en un sistema programable en un solo circuito integrado; es una tecnología innovadora, que permite elegir bloques analógicos o digitales en el mismo circuito integrado –también le llaman circuitos integrados de señal mixta–. Los PSoC fueron introducidos por la corporación norteamericana Cypress, fundada en 1982. Esta innovadora solución materializaba el sueño de todo diseñador electrónico, tener componentes digitales y analógicos en un solo circuito integrado (ver Figura 6).

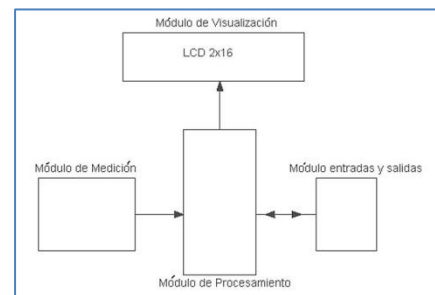
El PSoC usa como núcleo de procesamiento un microcontrolador muy versátil, pero además, el chip cuenta

con una serie de periféricos analógicos y digitales, los cuales se pueden modificar para crear de forma interna, filtros analógicos y digitales, amplificadores, comparadores, convertidores analógicos de varios tipos y resolución, moduladores de ancho de pulso (PWM) de 8, 16, 32 Bits, contadores de 8, 16, 32 Bits entre muchos otros componentes; el microcontrolador se pueden programar usando lenguaje C o Ensamblador y el software para configurar los módulos es muy amigable, como se verá. La idea inicial de todo esto era bajar los costos con el uso de los PSoC (Cypress, 2014).

### B. Diseño del prototipo de resistivímetro

Para el diseño de un dispositivo electrónico que mida la resistividad del suelo se usó: un bloque de medición, un bloque de procesamiento, un bloque de visualización, un bloque de almacenamiento y un bloque de entradas para la configuración del dispositivo. En la Figura 3 se muestra un diagrama de bloques con los módulos correspondientes.

**Figura 3. Diagrama de bloques del medidor de resistividad**

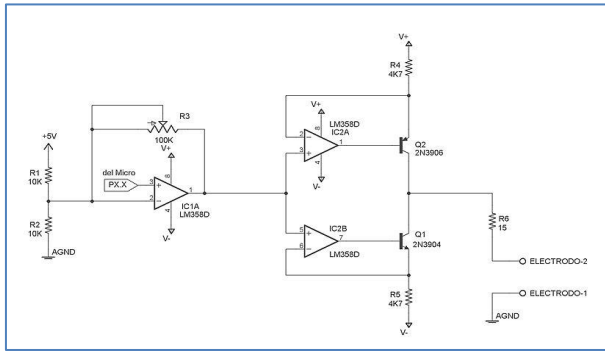


### C. Circuito emisor

En el módulo de medición se usa un circuito emisor con una frecuencia que debe ser, según Orellana (1995), de 137Hz, la cual es apropiada para hacer mediciones de resistividad en los suelos. Esta frecuencia es seleccionada en el dispositivo por medio de un menú de configuración.

En la Figura 4 se muestra el circuito de salida del emisor, se adecua la señal proveniente del microcontrolador PSoC por medio de un amplificador operacional. La señal del microcontrolador de 137 Hz, viene de forma unipolar y sale del circuito bipolar. La corriente de salida del amplificador IC1A de la Figura 4, es del orden de los microamperios, se debe amplificar por medio de un circuito *sink/source* (Cypress, 2014), el que se implementa por medio del circuito IC2, y los transistores Q1 y Q2.

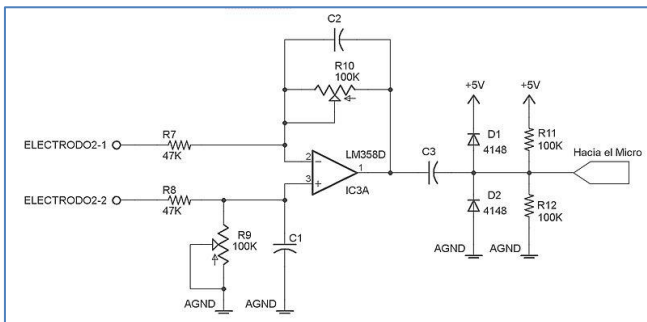
**Figura 4. Circuito emisor del medidor de resistividad (Electrodos MN)**



**D. Circuito de medición**

Este circuito se hace por medio de dos electrodos alineados con los emisores. En la Figura 5 se muestra el circuito que adecua la señal para luego ser leída por una de las entradas análogas del microcontrolador PSoC.

**Figura 5. Circuito receptor del medidor de resistividad**



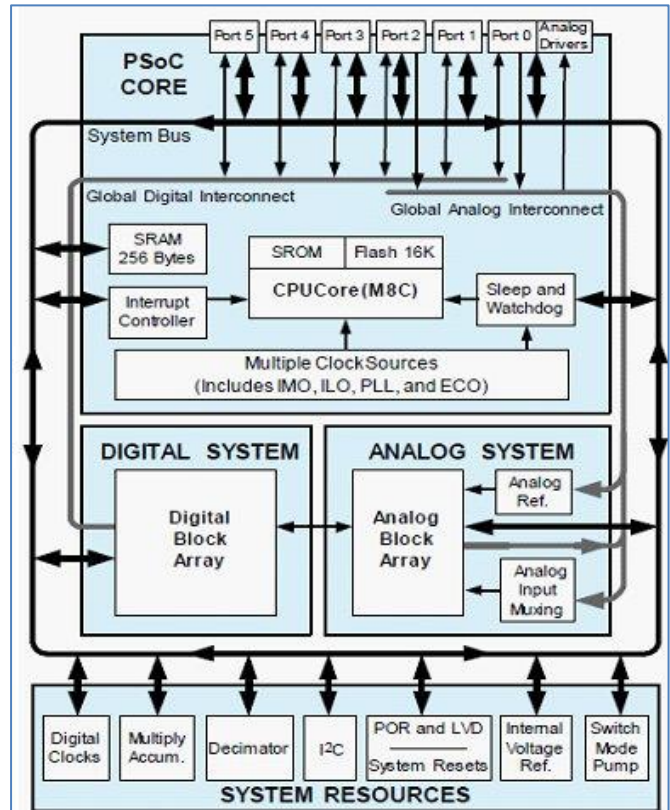
**E. Microcontrolador PSoC**

El microcontrolador usado en este proyecto es el CY8C29466 de la familia PSoC de Cypress, el cual tiene como características especiales: la presencia de cuatro bloques análogos, doce bloques digitales y velocidad de reloj de 24 MHz (Cypress, 2014). Con los bloques análogos se pueden tener hasta ocho entradas análogas al microcontrolador. La Figura 6 muestra la estructura interna del microcontrolador utilizado.

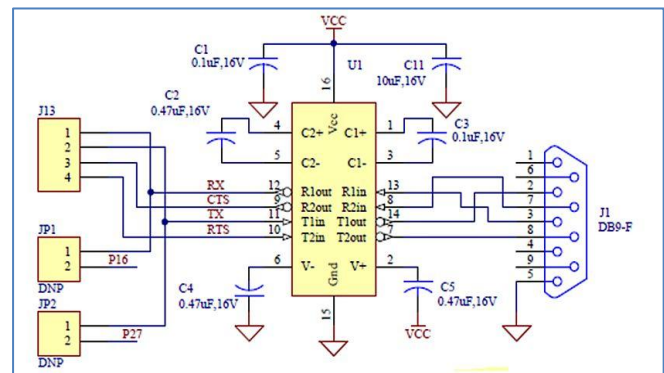
**F. Circuito de comunicación**

El circuito de comunicación del dispositivo se apoya en el kit 3210 (Cypress, 2014). Se basa en el circuito integrado max232, que cambia los niveles de tensión usados por el microcontrolador (0 – 5V) en niveles de tensión usados por el protocolo de comunicación (-12V, +12V). La Figura 7 se muestra el esquema típico de conexión dado por el fabricante y la empresa Cypress.

**Figura 6. Diagrama de bloques del PSoC (s.f)**



**Figura 7. Conexión circuito max232**



**III. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO**

Lo primero que se hizo fue realizar la conexión de los electrodos según lo indicado por el método de Wenner. En las Figuras 2 y 8, se muestra la disposición de los electrodos en el terreno para realizar las medidas.

La Figura 9 muestra experimentos iniciales en el laboratorio, que luego se replicaron in situ, tal como lo muestra la Figura 8. La salida del circuito excitador se muestra en la Figura 10, se puede observar una señal cuadrada con una frecuencia de 137 Hz, y voltajes de salida de alrededor de +9 y -9VDC.



Figura 8. Disposición de los electrodos para las pruebas en el campus universitario

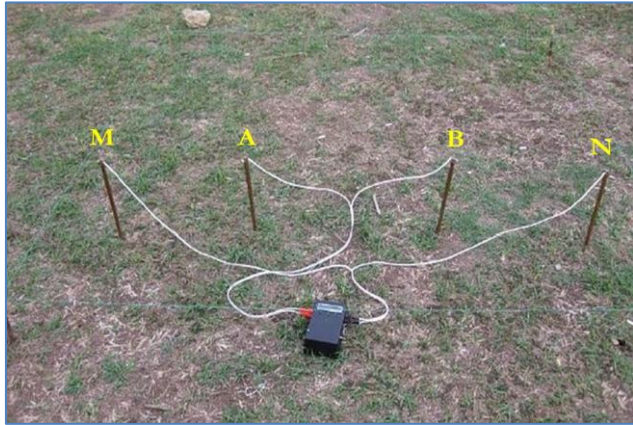
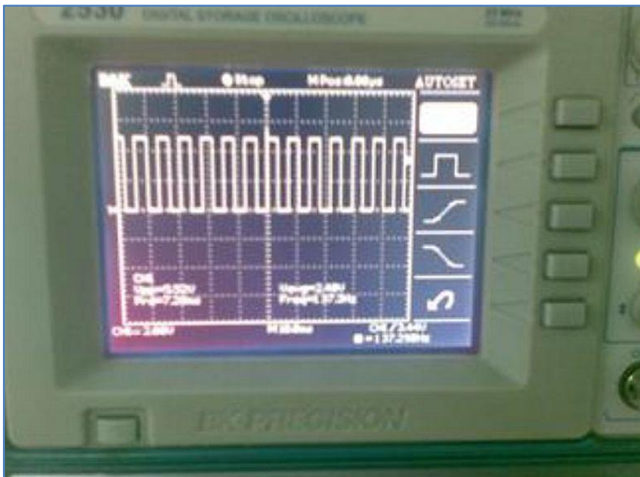


Figura 9. Experimentos iniciales en laboratorio, para la calibración del equipo



Figura 10. Señal de salida del circuito emisor



Luego se procedió a tomar las medidas, almacenarlas y posteriormente enviarlas al computador por comunicación serial. La Tabla 1 muestra los valores obtenidos para una prueba con los electrodos con distancia interelectrónica homogénea.

Tabla 1. Medidas obtenidas a una distancia de 40 cm entre electrodos y diferentes profundidades (20, 40, 60, y 80 cm)

Distancia interelectrónica (cm)			Profundidad (cm)	Resistividad aparente ( $\Omega m$ )
AM	NM	MB		
20	20	20	0	9.79
20	20	20	20	9.94
20	20	20	40	10.57
20	20	20	60	11.20
20	20	20	80	12.83

Como se puede observar en la Tabla 1, las resistividades del suelo se mantienen en el rango y se observa una aceptable tendencia de aumento, típica del terreno superficial húmedo y de las capas inferiores relativamente secas.

#### IV. CONCLUSIONES

En esta primera etapa del proyecto, se cumplieron los objetivos planteados, como son la construcción del prototipo funcional y la formación del capital humano. La Figura 11 muestra algunas etapas de la construcción del dispositivo.

Figura 11. Señal de salida del circuito emisor



Se demostró que el uso de PSoC es una variante económica, fiable y versátil para la construcción de equipos livianos de bajo costo, en la medición de variables y/o parámetros ambientales.

La utilización del prototipo de resistímetro diseñado y construido, es muy simple para el usuario ya que tiene un LCD de 2x16 y tres pulsadores que permiten navegar por el menú, para encontrar funciones como medir la resistividad, grabar datos, transferir información y activar el GPS. Debido a limitaciones análogas del PSoC, en cuanto a valores negativos, siempre fue necesario en el prototipo dar referencias de voltaje y realizar *Offset* para

adecuar señales y no introducir señales negativas al PSoC, para su debida lectura con el ADC interno.

Para el proyecto todas las señales osciladas que capturaba el PSoC necesitaban un cambio de referencia de 0 a 2.5v, para lograr un dato aceptable.

Dentro del prototipo fue fácil la integración del hardware externo con los bloques internos del PSoC, debido a la facilidad de manipular el comportamiento de los pines en cuando a impedancias.

El tratamiento en PSoC de señales DC [*Direct Current*] y dentro de las referencias 0 y 5v es óptimo y muy sencillo de manejar. Para el proyecto fue necesario un amplificador instrumental que amplificara un voltaje mínimo, en lo posible, de unos 10mv AC; lamentablemente, debido a que la señal era oscilada, bipolar y fuera del rango de 0 a 5v, no fue posible utilizar uno de los bloques análogos Insamp –amplificador instrumental– del PSoC, el cual, con pruebas con voltajes DC mínimos del orden de milivoltios, cumple con los ganancias altas que indicaban dentro de los parámetros del módulo Insamp; debido a lo anterior se resuelve colocar gran parte de las funciones análogas del proyecto externamente.

El ruido es un factor crucial y determinante al momento de tomar las muestras de la señal. Desafortunadamente en el prototipo no fue posible incluir internamente filtros en los bloques análogos del PSoC; tampoco se colocaron filtros dentro del proyecto, externos al PSoC, ya que la señal capturada es de aproximadamente 137Hz, lo cual reducía considerablemente el efecto de ruido de señales parásitas telúricas.

Se hace necesario filtrar ruidos que tengan frecuencia por debajo de los 137Hz. Pero en el presente caso, el filtro pasa altos y filtro *notch* no están disponibles con la referencia de PSoC utilizada. No obstante si es posible *crear* un filtro pasa altos y *notch* de primer orden, gracias a un bloque o módulo SCRBlq, el cual permite, con los parámetros, crear otro tipo de dispositivo análogo, además de filtros. Sin embargo, para este prototipo inicial no se incluyeron pues habría que profundizar más en la investigación, lo que no se hizo en razón de su alcance y el tiempo disponible.

Afortunadamente el amplificador de instrumentación AD620, debido a su gran impedancia de entrada y características, atenúa en gran parte los ruidos ajenos al proyecto, lo cual no ocurre al utilizar un amplificador diferencial sencillo realizado con un LM353 (durante las

pruebas de laboratorio fue notorio, en su pin de salida, un ruido de 60Hz de hasta 400mv.

## V. RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

A futuro, se prevé la construcción de un equipo más potente y robusto, que permita la realización de mediciones a gran escala y con diferentes sistemas de reducción del ruido de la señal utilizable. Para ello, se recomienda:

- Perfeccionar la transferencia de datos al PC. En este momento se presentan errores de envío y/o recepción del PC que no son monitoreados por el PSoC o el PC, ya que no hay recepción de datos hacia el PSoC, y se utiliza un programa básico (*Hyperterminal*).
- Perfeccionar los voltajes de referencia y *offset* dentro del prototipo ya que algunos son realizados con elementos discretos; por ejemplo, en el AD620 que va conectado al Pin P\_0\_7 del PSoC y el P\_0\_4 conectado a un *offset* por divisor de voltaje.
- Utilizar Filtros por fuera y/o por dentro del PSoC para eliminar ruidos externos, ya que en ambiente real y con exigencias en la calidad y resolución de la medición, esto será un factor crítico.
- Es posible realizar el prototipo aún más pequeño, sin utilizar el Kit de desarrollo, utilizando elementos de superficie.
- Optimizar el código para realizar una medición de voltaje AC RMS más precisa o, en su defecto, optimizar el hardware para convertir la señal a ser monitoreada por el PSoC a DC, lo cual facilitaría mucho el procesamiento y el software.

## VI. REFERENCIAS

- Cypress (2014, mayo 21). CY8C29466-24PXL. Recuperado de <http://www.cypress.com/?mpn=CY8C29466-24PXL>
- Diagrama de bloques del PSoC. (s.f) Recuperado de [http://3.bp.blogspot.com/\\_livappsuQKI/TKAv6ITBjVI/AAAAAAAAAhc/sv6uNSjS4Zc/s1600/img0.jpg](http://3.bp.blogspot.com/_livappsuQKI/TKAv6ITBjVI/AAAAAAAAAhc/sv6uNSjS4Zc/s1600/img0.jpg)
- Estrada, L. (2012). Prospección Geoeléctrica: para alumnos de Geología de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Tucumán. Tucumán, Argentina: Universitaria
- Gadallah, M.L. & Fisher, R. (2009). Exploration Geophysics. Berlin, Alemania: Springer-Verlag
- González-Cedeño, J.D. & Aristizábal-López, C.F. (2012). Diseño e implementación de un prototipo para la medición de la resistividad del suelo, implementado con PSoC [trabajo de grado]. Universidad Santiago de Cali, Colombia

- Kelly, W.E. & Mares, S. (1993). *Applied geophysics in hydrogeological and engineering practice*. Philadelphia, PA: Elsevier
- Kirsch, R. (2006). *Groundwater geophysics: A tool for hydrogeology*. Berlín, Alemania: Springer-Verlag
- McDowell, P.W., Barker, R.D., Butcher, A.P., Culshaw, M.G., Jackson, P.D., McCann, D.M., Skipp, B.O., Matthews, S.L., & Arthur, J.C.R. (2002). *Geophysics in engineering investigations*. Londres, UK: CIRIA
- Melo-Sevilla, R. & Rojas-Montes, J. (2013). *Diseño y Construcción de un prototipo de medidor de la resistencia del suelo en corriente directa para realizar estudio ambientales en suelos tropicales* [Proyecto de Investigación presentado a la Dirección General de Investigaciones]. Universidad Santiago de Cali, Colombia
- Militzer, H. & Weber, F. (1987). *Angewandte geophysik. Band 3: Seismik*. Berlín, Alemania: Akademie-Verlag
- Militzer, H., Schön, J., & Stötzner, U. (1986). *Angewandte geophysik im ingenieur- und bergbau. 2. überarbeitete und erweiterte aufgabe*. Leipzig, Alemania: Akademie-Verlag
- Orellana E. (1995). *Prospección geoeléctrica en corriente continua* [vol.1, 2a ed.]. Madrid, España: Paraninfo
- Rojas-Montes, J. (2005). Aplicación de algunos métodos del PDI (operadores derivativos) para el mejoramiento de la relación S/R en la visualización gráfica de los resultados (mapas, fotografías aéreas) de levantamientos geológicos y ambientales. *Ingenium*, (5), 5-12.

## CURRÍCULOS

*Raúl Melo Sevilla*. Ingeniero electricista y Especialista en Redes de Comunicación de la Universidad del Valle (Colombia). Docente de tiempo completo y Director (e) del Programa de Ingeniería Electrónica de la Universidad Santiago de Cali. Sus áreas de interés son los micro-controladores, los sistemas de desarrollo y los *Field Programmable Gate Array* [FPGA].

*Javier Rojas Montes*. Geofísico, con Maestría en Geofísica Aplicada al Ambiente de la Universidad Técnica de Freiberg (Alemania). Especialista en Zonificación Sísmica y Desastres Naturales de la Universidad de Postdam (Alemania), con Perfeccionamiento en herramientas de *e-learning* del Instituto Tecnológico de Monterrey (México). Director del Centro de Investigaciones en Ingeniería (CEII) de la Universidad Santiago de Cali (USC).