

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ

Reporte de Residencia Profesional

Diseño y construcción de un equipo para conocer resistividad eléctrica del subsuelo (resistivímetro) con fines de aplicación en exploración geotécnica.

Asesor:

RUBÉN HERRERA GALICIA.

Revisores:

M.C. RAÚL MORENO RINCÓN

ING. JOSÉ ÁNGEL ZEPEDA HERNÁNDEZ

Residente:

Edilberto Gutiérrez Guerrero.

07270304

ING. ELECTRÓNICA

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas a 9 de diciembre de 2011.

ÍNDICE.

Contenido	paginas
1. Introducción.....	5
1.1 Antecedentes	5
1.2 Estado del arte.....	6
1.3 Justificación	8
1.4 Objetivos.....	8
Objetivo general.....	8
Objetivos específicos.....	8
1.5 Metodología	9
2. Fundamentos Teóricos	11
2.1 Comportamiento del suelo bajo descarga eléctrica	11
2.2 Medición de la resistividad del suelo	12
2.3 Métodos	13
Wenner.	13
Schlumberger.	14
2.4 Perfil de resistividad y procesamiento de datos	15
3.- Desarrollo.....	18
3.1 Hardware	18
3.2 Software.....	26
4.-Resultados y conclusiones.....	33
Referencias Bibliográficas	39
Anexos	40
Amplificador operacional LM301.....	43
Convertidor analógico-digital ADC0804	45
Convertidor analógico-digital 24 bits.....	47
Oscilador Astable CD4047BC.....	50
Microcontrolador PIC18F4520.....	54
Hoja de dato del N6039G.....	58
Manual de usuario.....	62
Programa del Microcontrolador	63

ÍNDICE DE FIGURAS TABLAS Y GRAFICAS.

Contenido	páginas
Figura 1.4.1 Diagrama a bloques del resistivímetro.....	9
Figura 1.4.2 Diagrama bloques del Oscilador.	10
Figura 2.3.1 arreglo de los electrodos del método de Wenner.....	13
Figura 2.3.2 Arreglo de los electrodos del método Schlumberger.....	14
Gráfica 2.4.1 perfil de resistividad.	15
Tabla 2.4.2 Resistividades de suelos típicos.....	15
Gráfica 2.4.3 modelos geoelectricos e intervalos de confianza de resistividad.	16
Gráfica 2.4.4 Modelos geoelectricos en 2D.....	17
Gráfica 2.4.5 Modelos geoelectrico con interpretación en 3D.	17
Tabla 3.1.1 Lista de componentes.	18
Figura 3.1.2 Diagrama de conexión.	19
Figura 3.1.3 amplificador diferencial.	20
Figura 3.1.4 amplificador diferencial.	20
Figura 3.1.5 divisor de voltaje.	21
Figura 3.1.6 botones de captura	21
Figura 3.1.7 fuente de alimentación.	22
Tabla3.1.8 Lista de componentes.....	22
Figura 3.1.9 indicador de carga de la batería.	23
Figura 3.1.1.1 Diagrama del oscilador.	24
Figura 3.1.1.2 Rectificador de voltaje y filtrado.	25
Figura 3.2.1 Diagrama flujo del Microcontrolador.	26
Figura 3.2.2 Ecuación de la recta.	27
Figura 3.2.3 Ventana principal del software para la PC.....	28
Figura 3.2.4 Ventana de procesamiento	29
Figura 3.2.5 Diagrama de flujo del programa.....	31
Figura 3.2.6 Diagrama flujo del programa para procesar los datos	31

Tabla 4.1 Datos del primer sondeo eléctrico con el equipo propuesto	33
Gráfica 4.2 Datos procesados del primer sondeo eléctrico.....	33
Tabla 4.3 Datos del primer sondeo eléctrico con el equipo comercial	34
Gráfica 4.4 Datos procesados del primer sondeo eléctrico.....	34
Gráfica 4.5 grafica comparativa de sondeos eléctricos realizados.....	35
Tabla 4.6 Datos del segundo sondeo eléctrico con el equipo propuesto.....	35
Gráfica 4.7 Datos procesados del segundo sondeo eléctrico con el equipo diseñado.....	36
Tabla 4.8 Datos del segundo sondeo eléctrico con el equipo comercial	36
Gráfica 4.9 Datos procesados del segundo sondeo eléctrico.....	37
Gráfica 4.1.1 Gráfica comparativa de sondeos eléctricos realizados.....	37
Figura 4.1.2 seminario del funcionamiento de los métodos geofísicos.....	40
Figura 4.1.3 Resistivímetro comercial sting R1.....	41
Figura 4.1.4 electrodos de 30 cm	41
Figura 4.1.5 La distribución de los electrodos.....	41
Figura 4.1.6 conmutador conectado al resistivímetro.....	42
Figura 4.1.7 Conmutador.....	42
Figura 4.1.8 Explicación del funcionamiento del equipo comercial.....	42

1. Introducción

1.1 Antecedentes

Las investigaciones del subsuelo para la localización de recursos naturales y estructuras geológicas, se basan en medir las variaciones de las propiedades físicas de los recursos y estructuras que los hagan diferentes en comparación al medio en el cual están inmersos. Los estudios se hacen en dos direcciones, en sentido horizontal el cual se conoce como calicatas donde el coeficiente geométrico (K) se mantiene constante en algunas series de medidas, la segunda es el sondeo eléctrico vertical (SEV), el cual se define como una serie de determinaciones de resistividad aparente.

Existen diversas técnicas geofísicas eléctricas y electromagnéticas que miden la resistividad de los materiales. Algunas de éstas técnicas son modernas y precisas, no obstante los sondeos eléctricos verticales, se siguen utilizando y dan una interpretación de los suelos estructurados en capas verticales, estos son obtenidos utilizando programas de inversión de datos basados en el método de inversión lineal, el cual tiene gran aplicación en los estudios del suelo.

En el método de resistividad en prospección geofísica, se introduce una corriente directa o alterna con frecuencias menores a 60 Hz, por medio de un par de electrodos (A y B), y se mide la diferencia de potencial entre otro par de electrodos (M y N). La relación de estas dos magnitudes y la distancia entre los electrodos proporciona una resistividad aparente que depende de la resistividad de los materiales en el subsuelo.

La finalidad del sondeo eléctrico vertical es la determinación de la estructura del subsuelo a partir de dos etapas: la primera consiste en obtener la distribución de la resistividad aparente del subsuelo y la segunda busca el significado geológico de tales resistividades. La primera está basada en modelos matemáticos y la segunda depende de las correlaciones entre los datos y observaciones geológicas.

Actualmente hay empresas principalmente extranjeras que desarrollan diferentes tipos de aparatos, algunos proporcionan los valores de potencial y corriente, mientras que otros ya calculan el valor de la resistividad del subsuelo. Cabe mencionar que estos aparatos son de alto costo y solo se pueden adquirir en empresas extranjeras.

Esto obliga a diseñar y construir un equipo para mediciones geoelectricas que funcione mediante pilas recargables de 12 VCD, y proporcione un voltaje máximo de 500 Vcd, necesarios para energizar al subsuelo y obtener las medidas de la corriente inyectada y el potencial inducido a distancias horizontales de al menos 200 m y una profundidad de 50m, la cual es suficiente para estudios del subsuelo, esto permite calcular la resistividad del mismo y proporcionar el modelo de inversión (resistividades y espesores) valido a partir del análisis de confiabilidad y equivalencia así como la correlación geológica que permiten obtener un modelo geológico confiable.

1.2 Estado del arte

Se tienen referencias de empresas fuera de México que se dedican a la construcción de aparatos para medir la resistividad del subsuelo.

Supersting R1 Pi Es alimentado con 12V o 24VDC energía externa, transmisor de alto poder, tiene memoria interna para el almacenamiento de datos, realiza mediciones de resistividad aparente, resistencia, potencial espontaneo, polarización inducida, nivel de voltaje de la batería, su rango en las mediciones son de +/- 10v. Proporciona una corriente de 1mA-2000mA, un voltaje de salida de 800vpp, potencia de 200W y una impedancia de entrada mayor de 20 MΩ. La transmisión de datos es comunicación RS-232, su peso es de 10.9 kg, sus dimensiones son de anchura 184 mm, longitud 406 mm y altura 273 mm.

Ministing mide resistividad aparente, resistencia, voltaje, polarización inducida, voltaje de la batería, tiene un rango de medida entre 400 KΩ a 0.1mΩ, su voltaje de entrada es Max 500 V y de salida 800 Vp-p, la corriente de salida son 1-2-5-10-20-50-100-200-500 mA, su impedancia de entrada es mayor a 20 MΩ, memoria interna para almacenar más de 3000 medidas, su comunicación es RS-232C, alimentación externa una batería 12/24V DC y batería interna recargable NiMH de 12V y corriente 4.5 Ah, su peso es de 6.6 kg y sus dimensiones son anchura 255 mm, longitud 255 mm y altura 123 mm.

Supersting 3D resistivity imaging system. Realiza mediciones de resistividad aparente, resistencia, polarización inducida, cuenta con 8 canales de entrada, 20 teclas táctiles, su alimentación es de 12v-24v, su voltaje de salida es de 800vpp, la corriente de salida es de 1mA-2000mA con una impedancia de 20Mohms para un voltaje de entrada máximo de 10v, el peso del equipo es de 10.2 kg y sus dimensiones son ancho 184mm, longitud 406mm, altura 273mm.

Syscal Cuenta con protección contra sobre voltaje en la entrada, resolución de 1 μV, rango de voltaje de entrada de ±10 V, exactitud de 0.3 %, corriente de salida de 2500 mA, voltaje máximo de salida 600 V, su alimentación una batería de 12V y corriente de 7 Ah, su peso es de 9.5 kg incluyendo las pilas, con unas dimensiones de 105 x 325 x 300 mm.

Syscal Jr. Se alimenta con una batería de 12 v y corriente de 7 Ah, corriente de salida de 1200 mA, voltaje de salida de 400v, 800vpp, potencia de salida de 100w, ciclo de trabajo seleccionable de 0.25, 0.5, 1 ò 2 s. autocalibración, impedancia de entrada de 10 MΩ, memoria interna para 2700 lecturas, temperatura de operación -20 a 70° c, dimensiones de 31x23x40 cm. Peso de 11.5 kg.

Syscal Kids. Se alimenta con una batería de 12v, y corriente de 6.5 Ah, salida de voltaje de 200v, corriente de 500mA y una potencia de 25 w, ciclos de trabajo son de 0.5, 1 ò 2s una impedancia de entrada de 2 MΩ, dimensiones de 23x18x23 cm un peso de 4.8 kg. Su rango de resistividad es de 10^{-3} a 10^5 Ω-m.

Syscal r1 plus. Se alimenta con 2 baterías recargables de 12v y corriente de 7 Ah. impedancia de entrada de 10 MΩ, voltaje de salida 600v, 1200vpp, corriente de 2500mA y una potencia de 200 w, trabaja en un rango de temperatura de -20 a 70°C, sus dimensiones son de 31x23x40 cm y un peso de 11.5 kg cuenta con una memoria para 2700 lecturas.

Lo que aquí se propone consiste en un sistema con dos módulos; el modulo del oscilador y el de adquisición de datos. Los módulos están por separados pero pueden hacerse uno solo, esto es para comodidad de su transporte.

El oscilador se alimenta con una batería de 12V y corriente de 7 Ah. Cuenta con indicador de carga de la batería, proporciona un voltaje máximo de 500 Vcd de salida ajustable y una corriente máxima de 2.5A. El oscilador es autoajustable dependiendo de la resistencia del suelo.

Modulo de Adquisición de datos: consta de cuatro conectores tipo banana. Dos conductores son para inyectar la corriente y otros dos son para tomar las lecturas de salida. Cuenta con protección galvánica en los cables de entrada. Usa convertidores analógico-digital Ads1231 con resolución de 24 bits. Cuenta con un conmutador de 98 electrodos para realizar el tipo de arreglo adecuado al estudio, realiza mediciones de manera automática o controlada por un ordenador, tiene una interfaz de usuario con un LCD grafico, donde se muestra la resistividad aparente, la intensidad de corriente, voltaje medido y grafica de la resistividad contra la profundidad.

La resistividad la calcula con las medias de las distancias entre los electrodos que son proporcionadas por el usuario a través de software, ajuste de idioma, capacidad de almacenamiento de 5 000 medidas que son almacenadas en la memoria interna. Transmisión de datos comunicación X-Bee para ver registros en tiempo real, el procesamiento de datos cuenta con un software para graficas en 3D, empaque robusto para trabajo rudo en campo.

1.3 Justificación

Los Sondeos Eléctricos Verticales son muy usados en la industria de la Geofísica Aplicada, Geotecnia e Ingeniería civil. La utilización de métodos eléctricos suelen ser baratos comparado con las perforaciones de pozos de pruebas.

Consiste en medir la resistividad del terreno fundamentalmente para encontrar la profundidad y grueso de la roca por eso la importancia de contar con un dispositivo, que permita mediante el estudio de la propiedad física que es la resistividad del subsuelo y de modelos geoelectricos; interpretar las variaciones en el espesor de las capas, para determinar minerales naturales, estratigrafía del suelo, localización de sustrato rocosos, nivel freático y contaminaciones, localización de cavidades, tuberías de gran diámetro, así como las fallas geológicas.

Los resistivímetros comerciales son de un costo inaccesible por que solo pueden ser adquiridos en el extranjero y su reparación de la misma forma genera costos altos. En México no existen empresas que los construyan, por ello se propone desarrollar tecnología para crear este tipo de aparato.

1.4 Objetivos

Objetivo general

Diseñar y construir un equipo para mediciones geoelectricas que permita obtener valores de corriente, potencial, calcular la resistividad del subsuelo a distancia $AB=200$ m, y profundidad de 50m. Así como una comunicación X-BEE a la PC y desarrollar el software que proporcione el modelo geoelectrico para su interpretación.

Objetivos específicos

- Realizar pruebas estadísticas con instrumentos comerciales.
- Realizar un diseño conceptual del equipo.
- Análisis de instrumentos comerciales para detectar mejoras al equipo.
- Adecuar el equipo a las normas de medición de la resistencia del subsuelo
- Adecuar el equipo a las características de medición de un instrumento
- Reducir costos, mantener la eficiencia y eficacia.
- Desarrollar el Hardware correspondientes al equipo
- Desarrollar el Software de procesamiento de datos.
- Realizar sondeos tipo Schlumberger con el equipo elaborado.
- Analizar los resultados.

1.5 Metodología

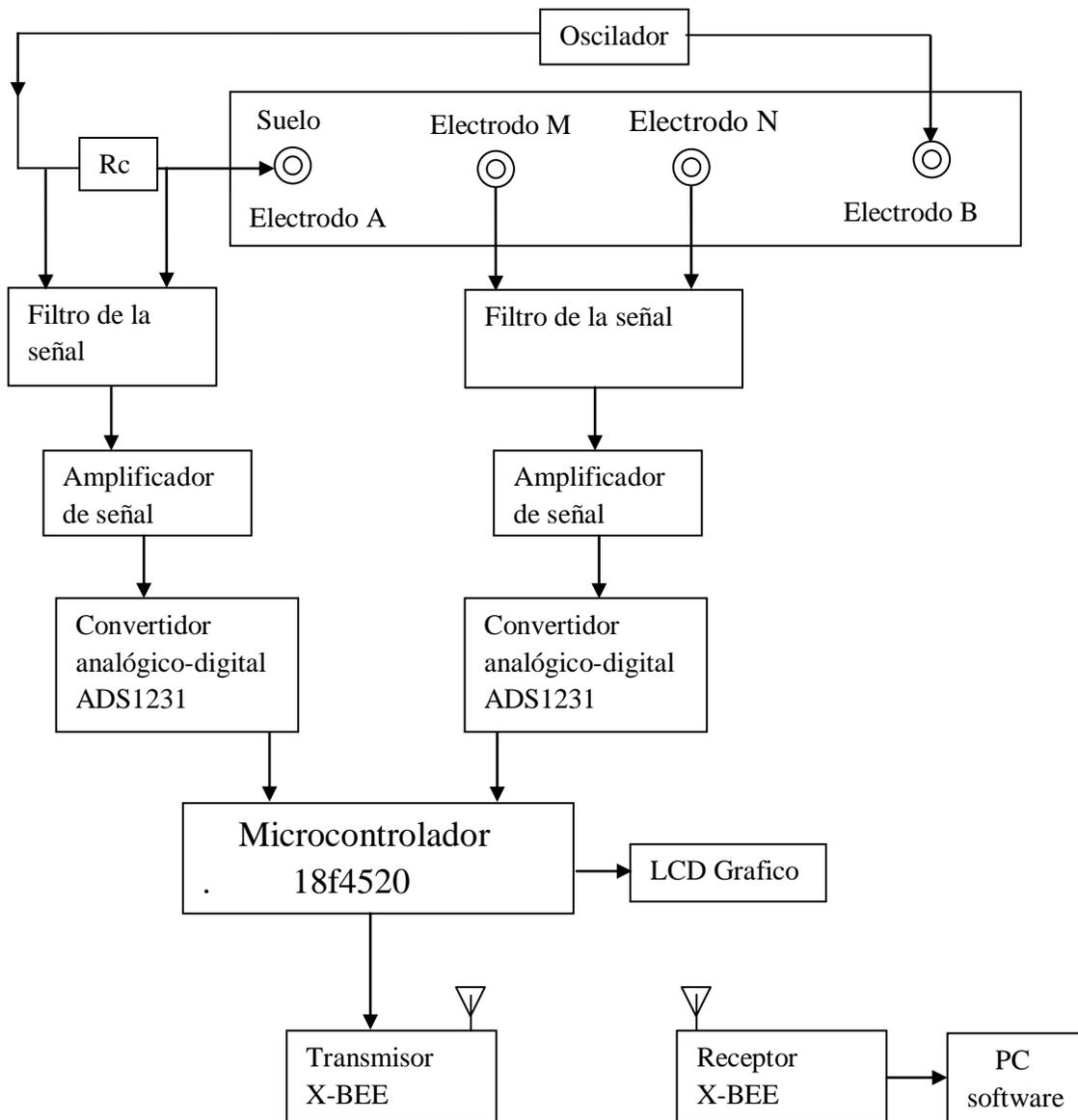


Figura 1.4.1 Diagrama a bloques del resistivímetro.

Oscilador: proporciona el voltaje y corriente para inyectar al subsuelo. Consta de una batería de 12V y corriente de 7Ah, indicador de batería, el oscilador genera pulsos con $f=1\text{KHz}$, el circuito de potencia se encarga de la conversión de corriente directa a alterna y elevar el voltaje de CA, el rectificador para la conversión de CA a CD, y el filtrado de la señal, la cual es inyectada a través de los electrodos A y B

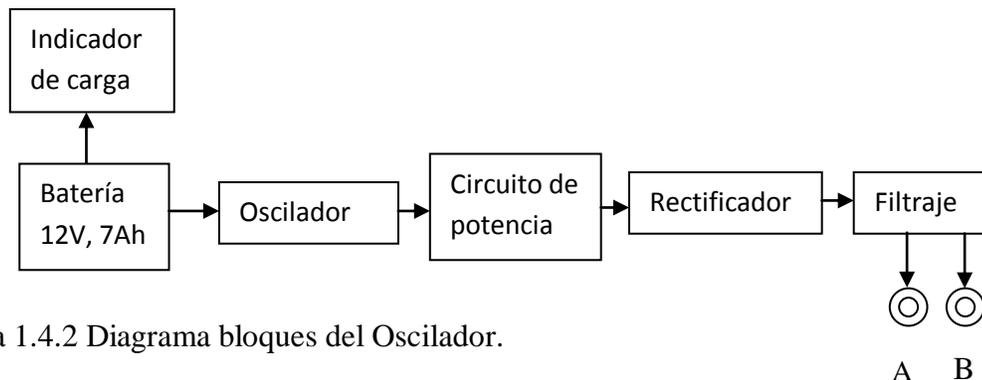


Figura 1.4.2 Diagrama bloques del Oscilador.

Rc: resistencia conocida de 1Ω , sirve para calcular la corriente que fluye en el subsuelo.

Filtro de la señal: reduce ruidos del suelo para evitar errores en la medición de los datos.

Amplificador de señal: amplifica la señal para ser registrados por el convertidor analógico-digital Ads1231.

Ads1231: Convertidor analógico-digital de 24 bits, realiza la conversión del voltaje analógico medido a digital para su manipulación.

Microcontrolador: envía en tiempo real, valores de corriente, voltaje, potencial natural, resistividad y grafica a la pantalla, realiza la comunicación inalámbrica a la PC.

LCD Grafico: permite visualizar los parámetros requeridos, corriente, voltaje, potencial natural, resistividad y grafica de la resistividad contra la profundidad.

Comunicación X-BEE: permite el interfaz inalámbrico con el ordenador para visualizar de manera precisa los datos medidos en tiempo real.

PC software: permite hacer el análisis de los datos, desarrollar el modelo geoelectrico y conocer la estratigrafía del suelo en graficas 2D y 3D.

2. Fundamentos Teóricos

2.1 Comportamiento del suelo bajo descarga eléctrica

(Auge Miguel, Buenos Aires 2008) La resistividad del suelo es la propiedad que tiene éste, para conducir electricidad, es conocida como la resistencia específica del terreno. En su medición, se promedian los efectos de las diferentes capas que componen el terreno bajo estudio, ya que éstos no suelen ser uniformes en cuanto a su composición, obteniéndose lo que se denomina resistividad aparente. En la NOM-022-STPS-1999 se define el término resistividad, como la resistencia que ofrece al paso de la corriente un cubo de terreno de un metro por lado. De acuerdo con la NOM-008-SCFI-1993, Su representación dimensional debe estar expresada en $\Omega\cdot m$, cuya acepción es utilizada internacionalmente.

Propiedades del suelo: La resistividad del terreno varía ampliamente a lo largo y ancho del globo terrestre, estando determinada por: sales solubles, composición propia del terreno, estratigrafía, granulometría, estado higrométrico, temperatura, compactación.

Sales Solubles: La resistividad del suelo es determinada principalmente por su cantidad de electrolitos, es decir por la cantidad de humedad, minerales y sales disueltas. Para valores de 1% sal (NaCl) o mayores, la resistividad es la misma, pero, para valores menores de esa cantidad, la resistividad es muy alta.

Composición del terreno: La composición del terreno depende de la naturaleza del mismo. El suelo de arcilla normal tiene una resistividad de 40-500 $\Omega\cdot m$ por lo que una varilla electrodo enterrada 3 m tendrá una resistencia a tierra de 15 a 200 Ω respectivamente. En cambio, la resistividad de un terreno rocoso es de 5000 $\Omega\cdot m$, y tratar de conseguir una resistencia a tierra de unos 100 Ω es virtualmente imposible.

Estratigrafía: El terreno no es uniforme en sus capas. En los 3 m de longitud de una varilla electrodo típica, al menos se encuentran dos capas diferentes de suelos. Así que se encuentran ejemplos de diferentes perfiles de resistividad.

Granulometría: Influye sobre la porosidad, el poder retenedor de humedad y sobre la calidad del contacto con los electrodos aumentando la resistividad con el mayor tamaño de los granos de la tierra.

Estado Higrométrico: El contenido de agua y la humedad influyen en forma apreciable. Su valor varía con el clima, época del año, profundidad y el nivel freático. La resistividad del suelo se eleva considerablemente cuando el contenido de humedad se reduce a menos del 15% del peso de éste. Pero, un mayor contenido de humedad del 15% mencionado, causa que la resistividad sea prácticamente constante. Y, puede tenerse el caso de que en tiempo de secas, un terreno puede tener tal resistividad que no pueda ser empleado en el sistema de tierras. Por ello, el sistema debe ser diseñado tomando en cuenta la resistividad en el peor de los casos.

Temperatura: A medida que desciende la temperatura aumenta la resistividad del terreno y ese aumento se nota aún más al llegar a 0° C, hasta el punto que, a medida que es mayor la cantidad de agua en estado de congelación, se va reduciendo el movimiento de los electrolitos los cuales influyen en la resistividad de la tierra

Compactación: La resistividad del terreno disminuye al aumentar la compactación del mismo. Por ello, se procurará siempre colocar los electrodos en los terrenos más compactos posibles.

2.2 Medición de la resistividad del suelo

La resistividad del terreno se mide fundamentalmente para encontrar la profundidad y grueso de la roca en estudios geofísicos, así como para encontrar la estratigrafía del suelo.

El perfil de la resistividad del suelo determinará el valor de la resistencia a tierra y la profundidad de nuestro sistema de puesta a tierra. Para medir la resistividad del suelo se requiere de un resistivímetro de cuatro terminales. De acuerdo a su principio de operación, pueden ser de 2 tipos: del tipo de compensación de equilibrio en cero y el de lectura directa. Los resistivímetros deben inyectar una corriente de frecuencia menor a 60 Hz para evitar se midan voltajes y corrientes que no se deban al aparato sino a ruidos eléctricos.

También estos aparatos en ocasiones tienen oscilaciones en sus lecturas y no es posible leerlas. Un aparato inteligente, lleva conductores blindados, coaxiales, tiene sistemas de filtraje, de análisis y mide lo que halla, pero esa información la analiza, la filtra y luego la deduce. Por ejemplo, para hacer una medición manda una señal de 100 Hz y mide; luego manda otra señal de 150 Hz y vuelve a medir y puede seguir enviando otras altas frecuencias hasta que los valores van siendo similares, forma una estadística y obtiene un promedio.

Los resistivímetros deben contener 4 carretes de cable calibre 14 AWG normalmente. Para enrollamiento rápido se recomienda construir un sistema devanador que permita reducir el tiempo de la medición. También traen 4 electrodos de material con la dureza suficiente para ser enterrados en la tierra con marro. Son de una longitud aproximada de 60 cm y un diámetro de 16 mm. Además de lo anterior se hace necesario contar con una cinta no metálica de 50 m aproximadamente.

Los resistivímetros tienen cuatro terminales 2 de corriente (A, B) y 2 de potencial (M, N). Los resistivímetros deben estar certificados y probados en el campo con una resistencia antes de realizar las mediciones.

Como la medición obtenida por un resistivímetro es puntual, se deben hacer mediciones en un sentido, en otro a 90 grados del primero, y, en el sentido de las diagonales. En la medición de resistividad de un terreno, es común encontrar valores muy dispares, causados por la geología del terreno, por lo que es una práctica común de una tabla con lecturas, el eliminar los valores que estén 50% arriba o abajo del promedio aritmético de todos los valores capturados. (Valencia López Andrés, Mayo del 2007).

2.3 Métodos

Wenner: Con objeto de medir la resistividad del suelo se hace necesario insertar los 4 electrodos en el suelo. Los cuatro electrodos se colocan en línea recta y a una misma profundidad de penetración, las mediciones de resistividad dependerán de la distancia entre electrodos y de la resistividad del terreno, y por el contrario no dependen en forma apreciable del tamaño y del material de los electrodos, aunque sí dependen de la clase de contacto que se haga con la tierra. El principio básico de este método es la inyección de una corriente directa o de baja frecuencia a través de la tierra entre dos electrodos C1 y C2 mientras que el potencial que aparece se mide entre dos electrodos P1 y P2. Estos electrodos están enterrados en línea recta y a igual separación entre ellos. La razón V/I es conocida como la resistencia aparente. La resistividad aparente del terreno es una función de esta resistencia y de la geometría del electrodo. En la Figura 2.3.1 se observa esquemáticamente la disposición de los electrodos, en donde la corriente se inyecta a través de los electrodos exteriores y el potencial se mide a través de los electrodos interiores.

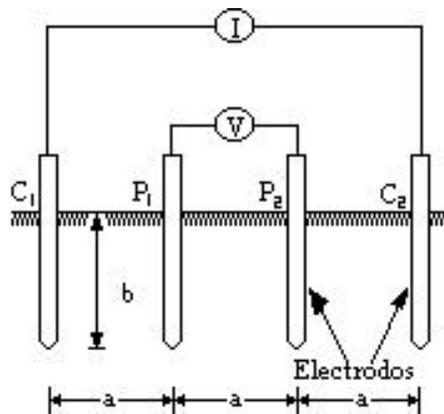


Figura 2.3.1 arreglo de los electrodos del método de Wenner.

La resistividad aparente está dada por la ecuación 2.3.

$$\rho = \frac{4\pi AR}{\left[1 + \frac{2A}{(A^2 + 4B^2)^{0.5}} - \frac{2A}{(4A^2 + 4B^2)^{0.5}}\right]} \quad \text{Ec. 2.3}$$

ρ = resistividad promedio a la profundidad (A) en $\Omega - m$.

A=distancia entre electrodos en metros.

B=profundidad de enterrado de los electrodos en metros.

R= lectura en Ω .

Si la distancia enterrada (B) es pequeña comparada con la distancia de separación entre electrodos (A). O sea $A > 20B$, la siguiente fórmula simplificada se observa en la ecuación 2.3.1.

$$\rho = 2\pi AR \quad \text{Ec. 2.3.1}$$

La resistividad obtenida como resultado de las ecuaciones representa la resistividad promedio de un hemisferio de terreno de un radio igual a la separación de los electrodos. Como ejemplo, si la distancia entre electrodos A es de 3 metros, B es 0.15 m y la lectura del instrumento es de 0.43Ω , la resistividad promedio del terreno a una profundidad de 3 metros, es de $8.141 \Omega\text{-m}$ según la fórmula completa y de $8.105 \Omega\text{-m}$ según la fórmula simplificada. Se recomienda que se tomen lecturas en diferentes lugares y a 90 grados unas de otras para que no sean afectadas por estructuras metálicas subterráneas. Y, que con ellas se obtenga el promedio.

Schlumberger: El método de Schlumberger es una modificación del método de Wenner, emplea 4 electrodos, pero en este caso la separación entre los electrodos centrales o de potencial (a) se mantiene constante, y las mediciones se realizan variando la distancia de los electrodos exteriores a partir de los electrodos interiores, a distancia múltiplos (na) de la separación base de los electrodos internos (a).

La configuración, así como la expresión de la resistividad correspondiente a este método de medición se muestra en la figura.

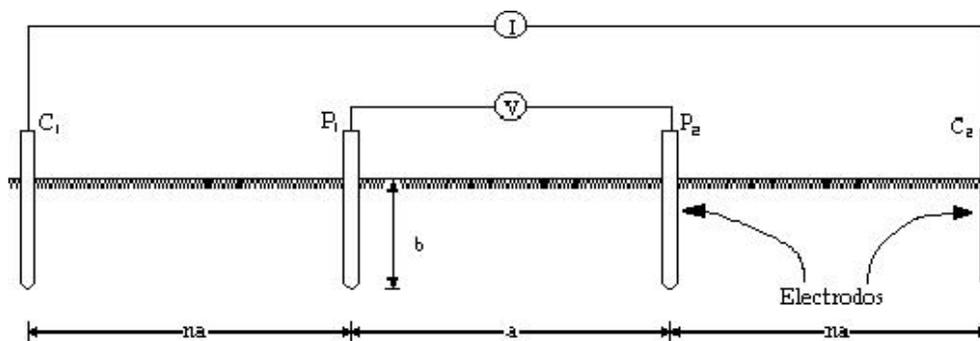


Figura 2.3.2 Arreglo de los electrodos del método Schlumberger.

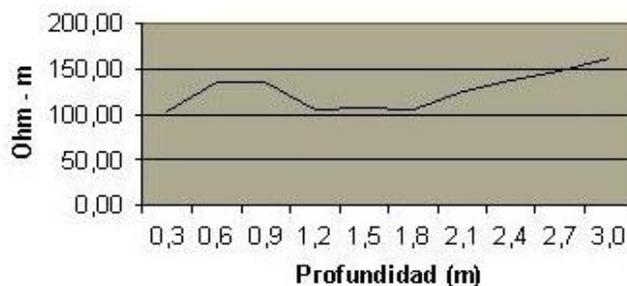
Con este método la resistividad está dada por la ecuación 2.3.2.

$$\rho = 2\pi R(n + 1)na \quad \text{Ec. 2.3.2}$$

El método de Schlumberger es de gran utilidad cuando se requieren conocer las resistividades de capas más profundas, sin necesidad de realizar muchas mediciones como con el método Wenner. Se utiliza también cuando los aparatos de medición son poco inteligentes. Solamente se recomienda hacer mediciones a 90 grados para que no resulten afectadas las lecturas por estructuras subterráneas.

2.4 Perfil de resistividad y procesamiento de datos

Para obtener el perfil de resistividad en un punto dado, se utiliza el Método de Wenner con espaciamientos entre electrodos de prueba cada vez mayores. Por lo general, para cada espaciamiento se toman dos lecturas de resistividad en direcciones perpendiculares entre sí. La gráfica resultante de trazar el promedio de las mediciones de resistividad contra distancia entre electrodos se denomina perfil de resistividad aparente del terreno.



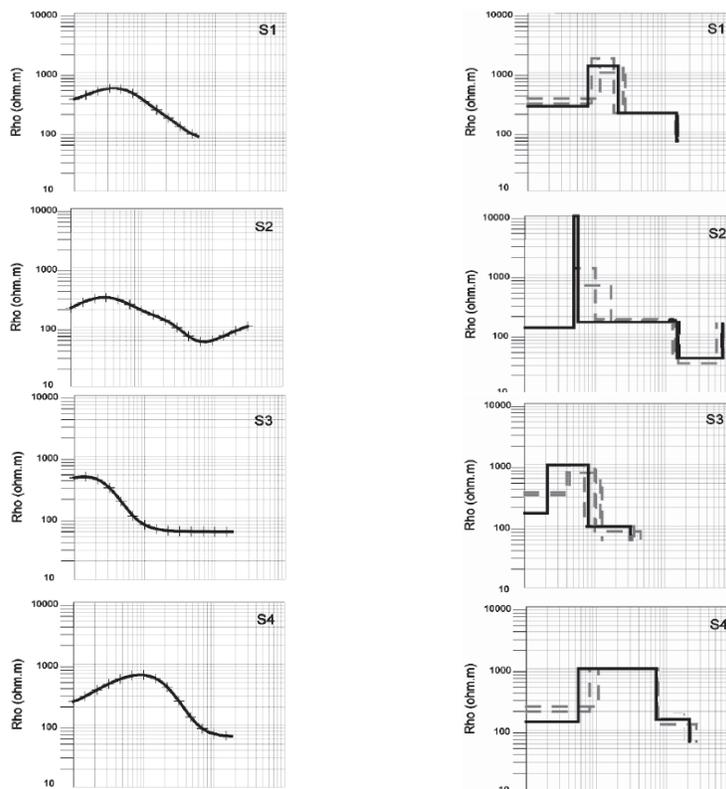
Gráfica 2.4.1 perfil de resistividad.

Datos de resistividad de suelos típicos.

Material	Resistividad (ohm-metro)
Asfalto seco	3500-4000
Asfalto mojado	$2 \cdot 10^6 - 30 \cdot 10^6$
Basalto	1000-10e6
Concreto seco	10000-6*10e6
Concreto mojado	1200-28000
Pizarra	6000-4*10e6
Mármol	100-2.5*10e8
Cuarcita	$10^2 - 2 \cdot 10^8$
Arenisca	$8 - 4 \cdot 10^3$
Arcilla	1 - 100
Plata	$1.59 \cdot 10e-8$
Cobre	$1.68 \cdot 10e-8$
Oro	$2.44 \cdot 10e-8$
Aluminio	$2.82 \cdot 10e-8$
Calcio	$3.36 \cdot 10e-8$
Zinc	$5-90 \cdot 10e-8$
Níquel	$6.99 \cdot 10e-8$
Azufre	$10 \cdot 10e15$
Plomo	$2.2 \cdot 10e-7$
Cuarzo	$7.5 \cdot 10e17$
Teflón	$10 \cdot 10e22$

Tabla 2.4.2 Resistividades de suelos típicos.

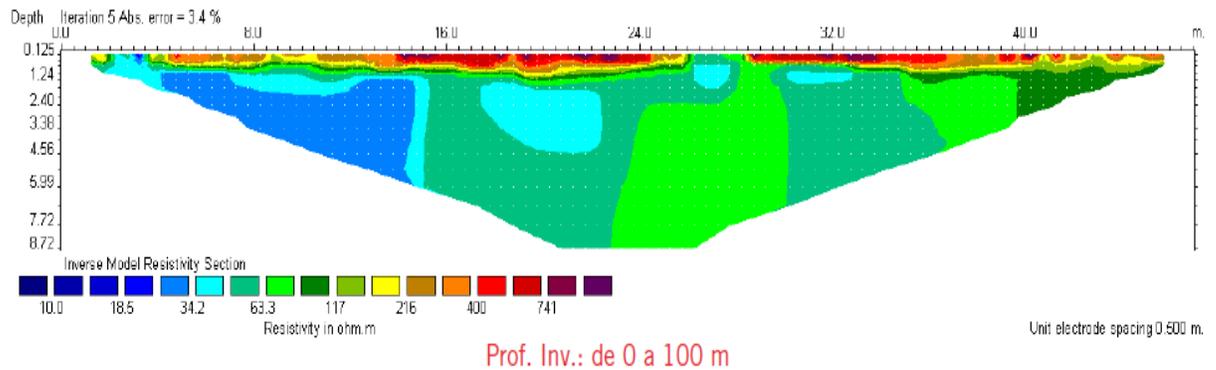
La interpretación cuantitativa de un SEV es la resolución al problema inverso. Sin embargo, dado que la solución del problema inverso no es única, no basta con hallar una distribución vertical de las resistividades que produzca el menor porcentaje de error entre la curva de campo y el modelo propuesto. Más bien, se debe buscar entre las soluciones válidas, aquella que armonice más con los SEV contiguos, que tenga un buen significado geológico en función de la información previa del sitio y que se enmarque dentro de la hipótesis planteada en la investigación. Es necesario contar en todos los casos con información geológica previa y realizar SEV paramétricos y multidireccionales. Los SEV paramétricos son aquellos efectuados en las cercanías de un pozo o corte estratigráfico, donde se puedan conocer los espesores de las diferentes litologías existentes y modelar los valores de resistividad, con el fin de utilizarlos como parámetro para la interpretación de los sondeos adyacentes (considerando que hay homogeneidad en el valor de resistividad y posibles variaciones en el espesor de las capas). Los SEV multidireccionales son varios SEV realizados con el mismo punto central, pero con diferente orientación en la abertura de los electrodos de medición (se pueden realizar dos o más SEV perpendiculares entre ellos), con el fin de poder validar la presunción requerida en la realización de todo SEV, que establece que el suelo debe ser horizontal, homogéneo e isótropo. Se muestran las interpretaciones de datos obtenidos en graficas de modelos geoelectricos e intervalos de confianza de resistividad del subsuelo contra la profundidad. (Orellana. E. Y H.M. Mooney, 1996).



Gráfica 2.4.3 Modelos geoelectricos e intervalos de confianza de resistividad.

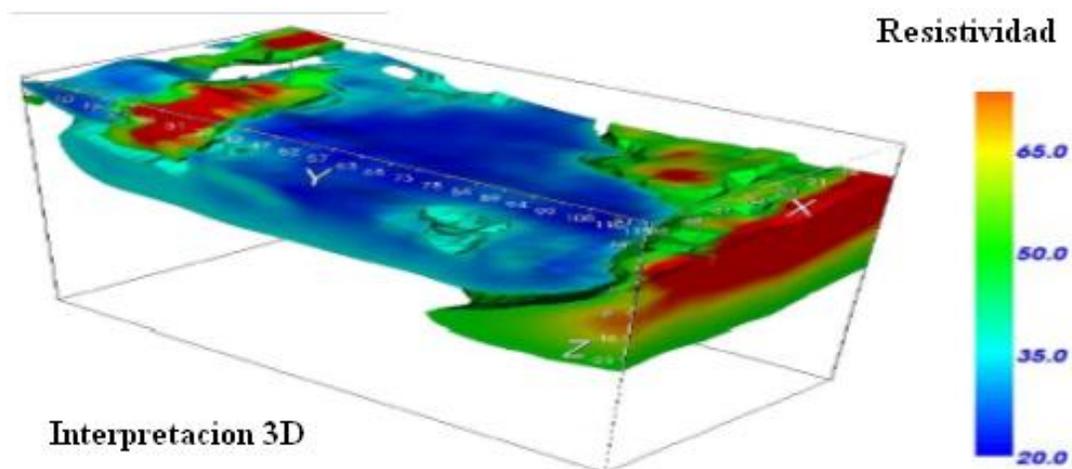
Las gráficas son procesadas por medio de software para su interpretación analítica donde se observan las anomalías en la estratigrafía del suelo estudiado.

La estratigrafía del suelo, así como las profundidades de cada capa se muestra gráfica 2.4.4



Gráfica 2.4.4 Modelos geoelectricos en 2D

Por medio de procesamiento de software se pueden realizar modelos en 3 dimensiones para una mayor interpretación.



Gráfica 2.4.5 Modelo geoelectrico con interpretación en 3D.

3.- Desarrollo

3.1 Hardware

Para realizar la construcción del equipo (resistivímetro) se utilizaron los componentes que se muestran en la Tabla 3.1.1.

Componentes	Símbolo	Cantidad
Pic18f4520	U1	1
Pantalla LCD	LCD1	1
Conector BD9 hembra	P1	1
ADC0804	U2, U4	2
LM301	U3	2
Micro switch	b1, b2	2
Resistencias de 10 K Ω	R1,R2,R3,R5,R8,R9 ,R10,R13,R14	9
Resistencia de 1 K Ω	R6,R7,R11,R12	4
Capacitor cerámico de 30 pF	C3,C4	2
Capacitor de 150 pF	C1,C2	2
Trimpot de 5 K Ω	U4(VREF/2)	2
Resistencias de 220 Ω	5	5
Switch de 2 polo – 2 tiros	SW1	1
LM7805	U6	1
LM7905	U7	1
MAX232	RS- 232	1
Capacitor de 1 μ F- 16V	Rs-232	10

Tabla 3.1.1 Lista de componentes.

Diseño completo del prototipo

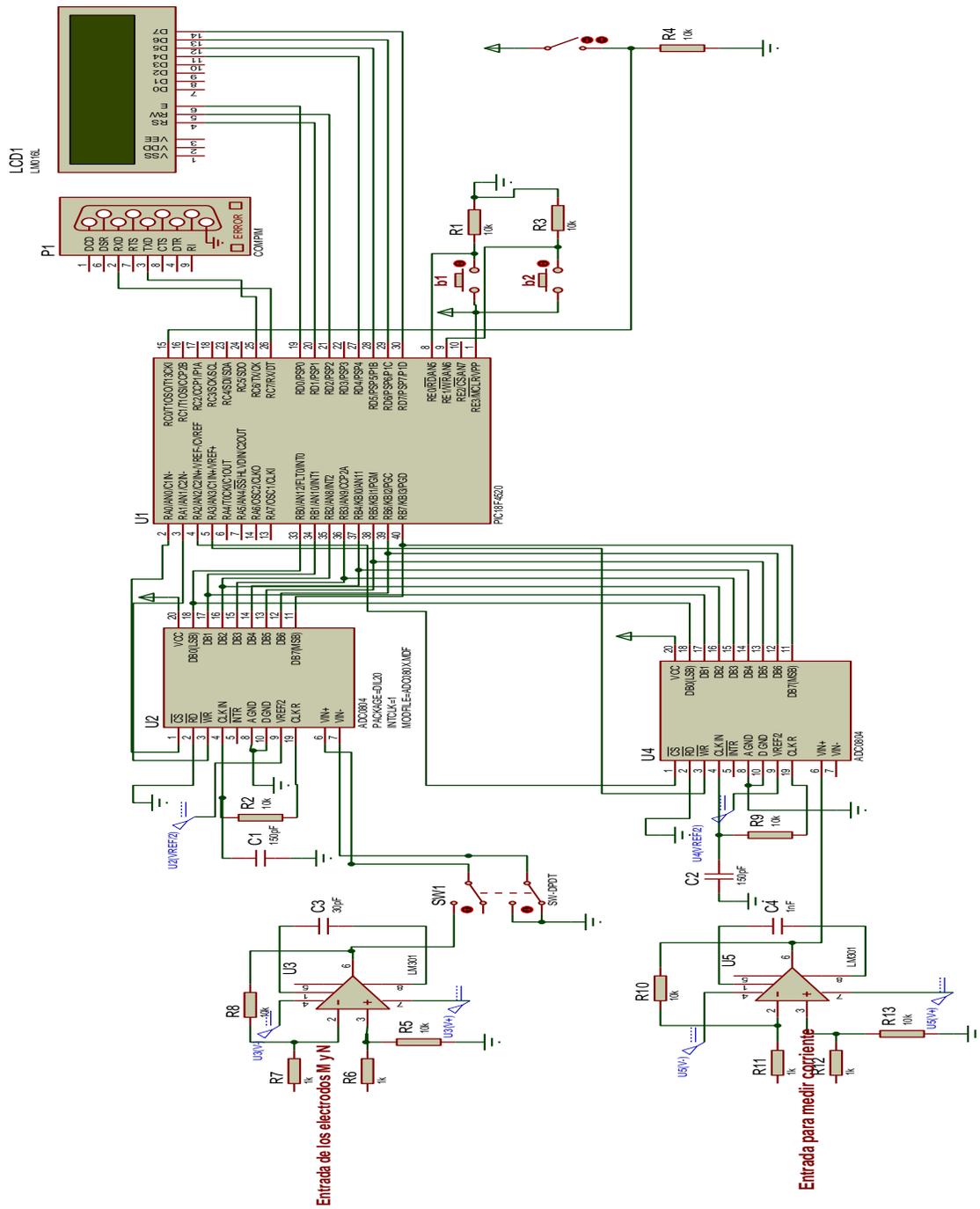


Figura 3.1.2 Diagrama de conexión.

Amplificadores: Los voltajes a medir del subsuelo son valores muy pequeños que no los puede medir directamente el convertidor analógico-digital ADC0804, por eso se utilizó el amplificador operacional diferencial LM301 con una ganancia de 10.

Cálculos para el amplificador operacional:

$$V_{out} = A_v(V_2 - V_1) \quad \text{Ec. 3.1}$$

La ganancia esta dado por la ecuación Ec. 3.1.1

$$A_v = \frac{R_2}{R_1} \quad \text{Ec. 3.1.1}$$

Tenemos:
$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1}(V_2 - V_1) \quad \text{Ec. 3.1.2}$$

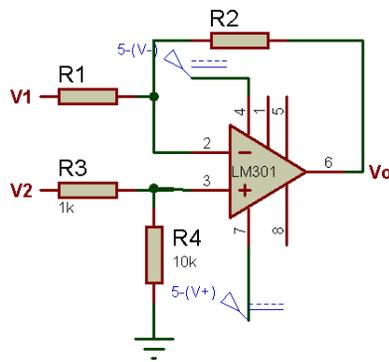


Figura 3.1.3 amplificador diferencial.

Las mediciones más pequeñas obtenidas, están en el rango de mili-volts así que con amplificarlo 10 veces se coloca dentro del rango, que el adc0804 puede medirlo,

Se propone $R_1 = 1K\Omega$; $A_v = 10$ sustituyendo en la Ec. 3.1.3

$$R_2 = A_v R_1 = (10)(1 \times 10^3) = 10K\Omega \quad \text{Ec. 3.1.4}$$

Hacemos $R_2 = R_4$ y $R_1 = R_3$ estos son los valores de las resistencias para los amplificadores diferenciales con ganancias de 10.

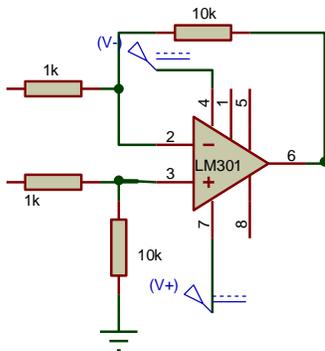


Figura 3.1.4 amplificador diferencial.

Convertidores analógico-digitales: Para encontrar los valores de las resistencias de cada circuito integrado y el voltaje de referencia adecuado para el convertidor analógico-digital (ADC) se analizó su hoja de datos de la cual sabemos la ecuación 3.1.5.

$$V_{ref} = \frac{V_{max}}{2} \quad \text{Ec. 3.1.5}$$

El voltaje de referencia debe ser la mitad del voltaje máximo a medir.

Se determina un voltaje máximo a medir de 2 volts, así se obtiene que el voltaje de referencia es de 1 volt.

$$V_{ref} = \frac{2}{2} = 1V \quad \text{Ec. 3.1.6}$$

Voltaje de referencia se construye utilizando un divisor de voltaje con un trimpot de 5 KΩ en serie con una resistencia de 220 Ω.

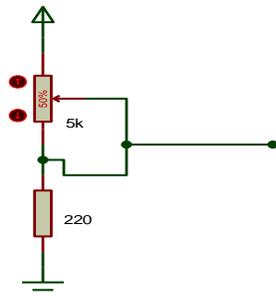


Figura 3.1.5 divisor de voltaje.

Botones de captura: Los botones de captura sirven, uno para la obtención del voltaje y el otro para obtener la corriente, hacen la llamada de la escritura del ADC y lectura del controlador, se utiliza una resistencia de 10 KΩ la cual consume una corriente de 0.5mA.

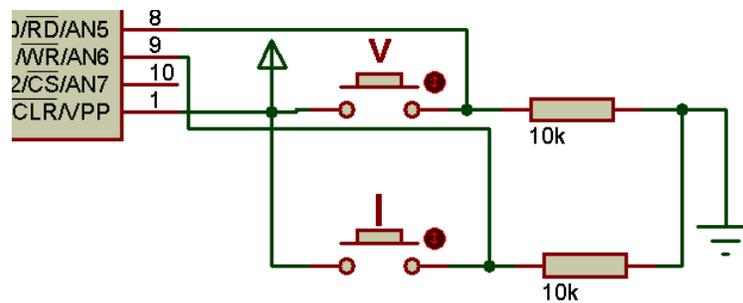


Figura 3.1.6 botones de captura

Alimentación: La alimentación del circuito principal utiliza una batería de 6 V, se utiliza reguladores 7805 y 7905 para obtener voltejes positivos y negativos respectivamente, el voltaje negativo lo utiliza el amplificador diferencial, el diagrama queda de la siguiente manera.

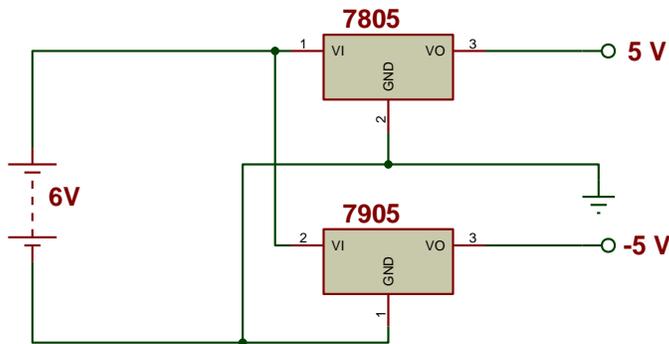


Figura 3.1.7 fuente de alimentación.

Oscilador: La fuente de voltaje para el resistivímetro, está constituida por una batería de 12 VCD, de 7 Ah. Para este prototipo se utiliza corriente directa, esa necesita suministrar un voltaje máximo de 180 VCD y una corriente máxima de 500 mA, Estos parámetros se tomaron a consideración de los valores observados en sondeos eléctricos realizados con un equipo comercial, por la tanto la cantidad de corriente y voltaje mencionados es suficiente para alcanzar la profundidad de 50m necesarios para exploración geotécnica. El voltaje aproximado a los 180 VCD se obtiene de pasar los 12 volts de la batería a 120 VCA, posteriormente este voltaje es rectificado para obtener el voltaje deseado.

Componente	Símbolo	Cantidad
CD4047BE	U1	1
RESISTENCIA DE 1KΩ a ½ W	R2,R3	2
DIODO ZENER DE 12V	D1	1
DIODO ZENER DE 9V	D2	1
DIODO ZENER DE 3V	D3	1
DIODO LED	D4,D5,D6	3
RESISTENCIA DE 330Ω	R1,R2,R3	3
TRANSFORMADOR 127V/24V 5 A	TR1	1
PUENTE DE DIODOS DE 6 A 300V	BR1	1
CAPACITOR DE 470uF 250V	C1	1
RESISTENCIA DE 15KΩ a 25W	R1	1
TRANSISTOR N6039G	Q1,Q2	2

Tabla3.1.8 Lista de componentes.

Indicador de batería: El circuito indicador de batería está formado por 3 resistencias, 3 diodos Zener, un led rojo un verde y un amarillo, conectados como se ve en la figura 3.1.

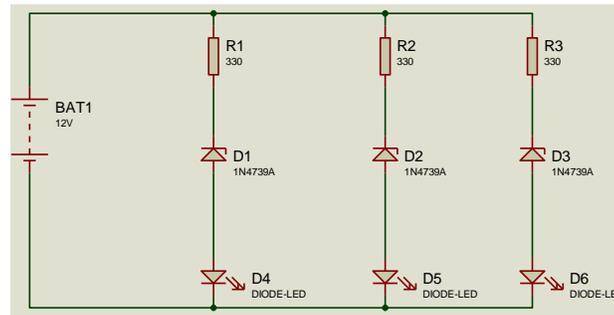


Figura 3.1.9 indicador de carga de la batería.

Cada diodo led consume 30 mA, y el voltaje es 12 VCD, las resistencias se calcularon con la siguiente ecuación.

$$R = \frac{V}{I} = \frac{12\text{ V} - 3\text{vd}}{30\text{ mA}} = 300\ \Omega \quad \text{En valor comercial es de } 330\ \Omega$$

La potencia de disipación de la resistencia está dada en la ecuación 3.1.7.

$$P = \frac{V^2}{R} = \frac{(12\text{ V})^2}{330\ \Omega} = 0.436\text{ W} \quad \text{Ec. 3.1.7}$$

El circuito funciona cuando la carga de las baterías está completa, los 3 diodos led se mantienen encendidos, cuando la batería se descarga a menos de 12v y mayor que 9.1, el diodo D6 se mantiene apagado indicando que existe menos de 12 V aproximadamente, Si la carga está por debajo de 9V, el diodo D5 y D6 se mantienen apagados, y permanece encendido sólo el diodo D4, el cual se apaga una vez que el voltaje está por debajo de 3.3 V.

El Diodo (D6) es de color verde y se apaga cuando el voltaje de la batería es menor a 12 V, cuando esta encendido indica que la batería está completamente cargada y se puede utilizar para alimentar el resistivímetro sin ningún problema; el Diodo (D5) es de color amarillo y se apaga cuando el voltaje es menor a 9 V, mientras este encendido este diodo se puede seguir trabajando con el equipo, ya que la carga de la batería es suficiente para el correcto funcionamiento del resistivímetro, también indica que pronto será necesario sustituir a la batería por otra. El Diodo (D4) es de color rojo y este indica que es necesario el cambio de batería para que el equipo funcione adecuadamente, de lo contrario el equipo puede dañarse o no funcionar correctamente, si el led D4 es el único que esta encendido no se debe de utilizar el aparato.

Después del indicador de baterías existe un interruptor el cual permite la alimentación del circuito de potencia así como al transformador.

El oscilador y la etapa de potencia: El Circuito integrado CD4047BE se encarga de generar los pulsos de ± 12 volts, suficientes para cada transistor que tienen una resistencia de $1\text{ k}\Omega$ para limitar la corriente de la base, estos generan pulsos para el transformador, de esta forma le llegan los 24 V necesarios para el transformador, el cual está conectado de manera inversa para obtener los 127 Vca.

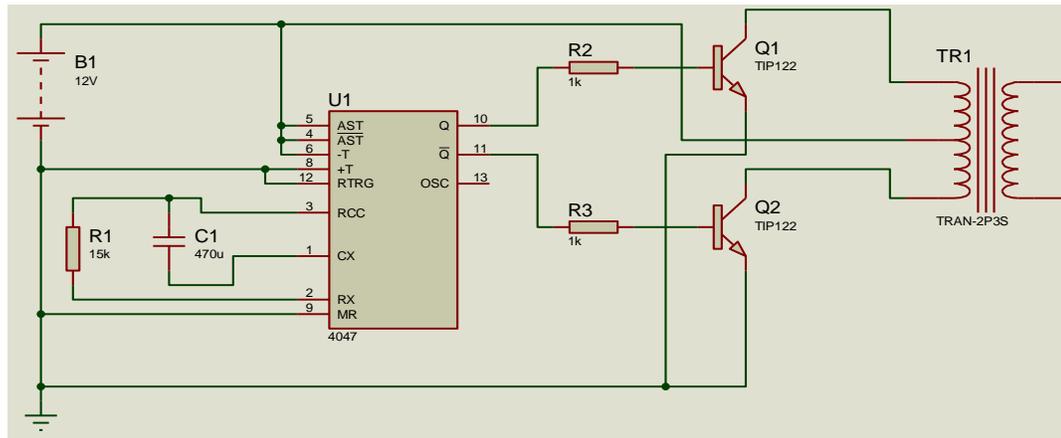


Figura 3.1.1.1 Diagrama del oscilador.

Oscilador y Etapa de potencia: El CI CD4047BE, trabaja con una configuración en modo Astable, los pulsos no permanecen en un nivel constante, trabaja con pulsos del 50 %, la mitad del periodo en nivel alto y la otra mitad del periodo en nivel bajo. Para alcanzar el voltaje y la corriente necesaria el oscilador, debe de trabajar con una frecuencia de 1 KHz, las especificaciones en la hoja de datos del CD4047BE, proporciona la ecuación Ec. 3.1.8

$$T_A = 4.40 RC \quad \text{Ec. 3.1.8}$$

En la que se describe el periodo de trabajo (T_A) del CD4047BE, para las terminales de la salida 10 y 11, la terminal 13 es la salida principal pero da el doble de la frecuencia que las terminales de salida 10 y 11, para la terminal 13 la ecuación que describe el periodo de trabajo del CD4047BE es:

$$T_A = 2.20 RC \quad \text{Ec. 3.1.9}$$

En este caso las terminales de importancia son la 10 y 11, ya que entre estas terminales hay un desfase de 180° , es decir cuando una terminal esta el nivel alto, la otra terminal en nivel bajo. El CD4047BE requiere trabajar a una frecuencia de 1 KHz, y la ecuación que relaciona la frecuencia con el periodo es Ec. 3.1.1.1

$$f = \frac{1}{T} \quad \text{Ec. 3.1.1.1}$$

Despejando el periodo T , queda la Ec. 3.1.1.2

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{1000 \text{ Hz}} = 1 \text{ ms} \quad \text{Ec. 3.1.1.2}$$

Se sustituyendo el valor de T en la ecuación Ec. 3.1.1.2 con un capacitor de 10 nF, tenemos

$$T_A = 4.40 RC \quad \text{Ec. 3.1.1.3}$$

$1 \text{ ms} = 4.40 R 10 \text{ nF}$ Despejando R , tenemos

$$R = \frac{1 \text{ ms}}{(4.40)(10 \text{ nF})} 22.72 \text{ K}\Omega, \text{ ajustado al valor comercial es de } 22 \text{ K}\Omega.$$

Los transistores son tipo Darlington NPN y soportan 4 Amperes en su circuito de colector; estos elementos se encuentran conectados para funcionar como switch, por lo que cada pulso que se recibe en la base, permite que el transformador amplifique los 12 volts en forma alternada, obteniéndose a la salida del mismo 120 VCA.

Rectificador de voltaje y filtrado: Después de obtener el voltaje en CA, se utiliza un rectificador para obtener el voltaje directo en Cd. Se utiliza un puente rectificador de diodos, un capacitor, y una resistencia que servirá para descargar el capacitor. El circuito se muestra en la figura 3.1.1.2.

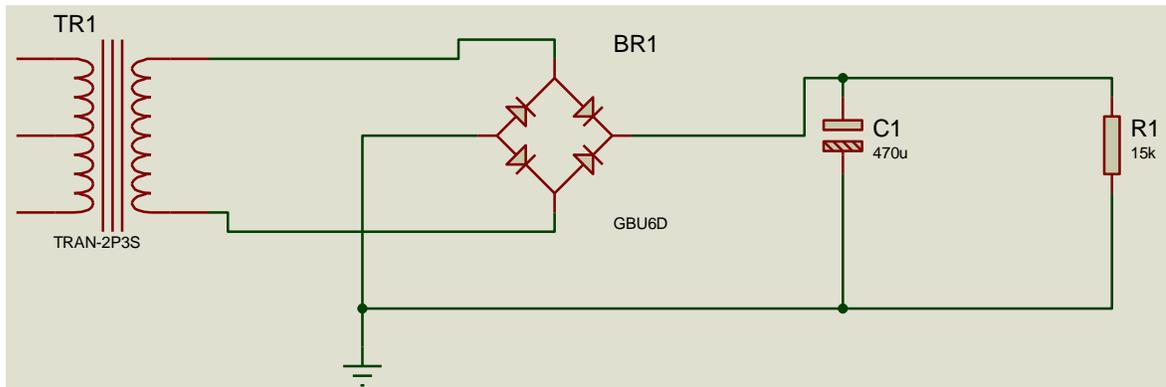


Figura 3.1.1.2 Rectificador de voltaje y filtrado.

La corriente máxima que se mide es 0.5 A entre electrodos A y B, así que un puente de diodos de 2A a 300 VCD es suficiente para el rectificador.

El capacitor es el encargado de disminuir el rizo en la salida el cual se carga al iniciar el sistema, se coloca una resistencia para descargarlo y no presentar algún riesgo de descarga eléctrica en futuras reparaciones en la tarjeta de componentes., se obtiene el voltaje en Cd, este se utiliza para la inyección al subsuelo a través de los electrodos Ay B, donde se desea realizar el estudio.

3.2 Software

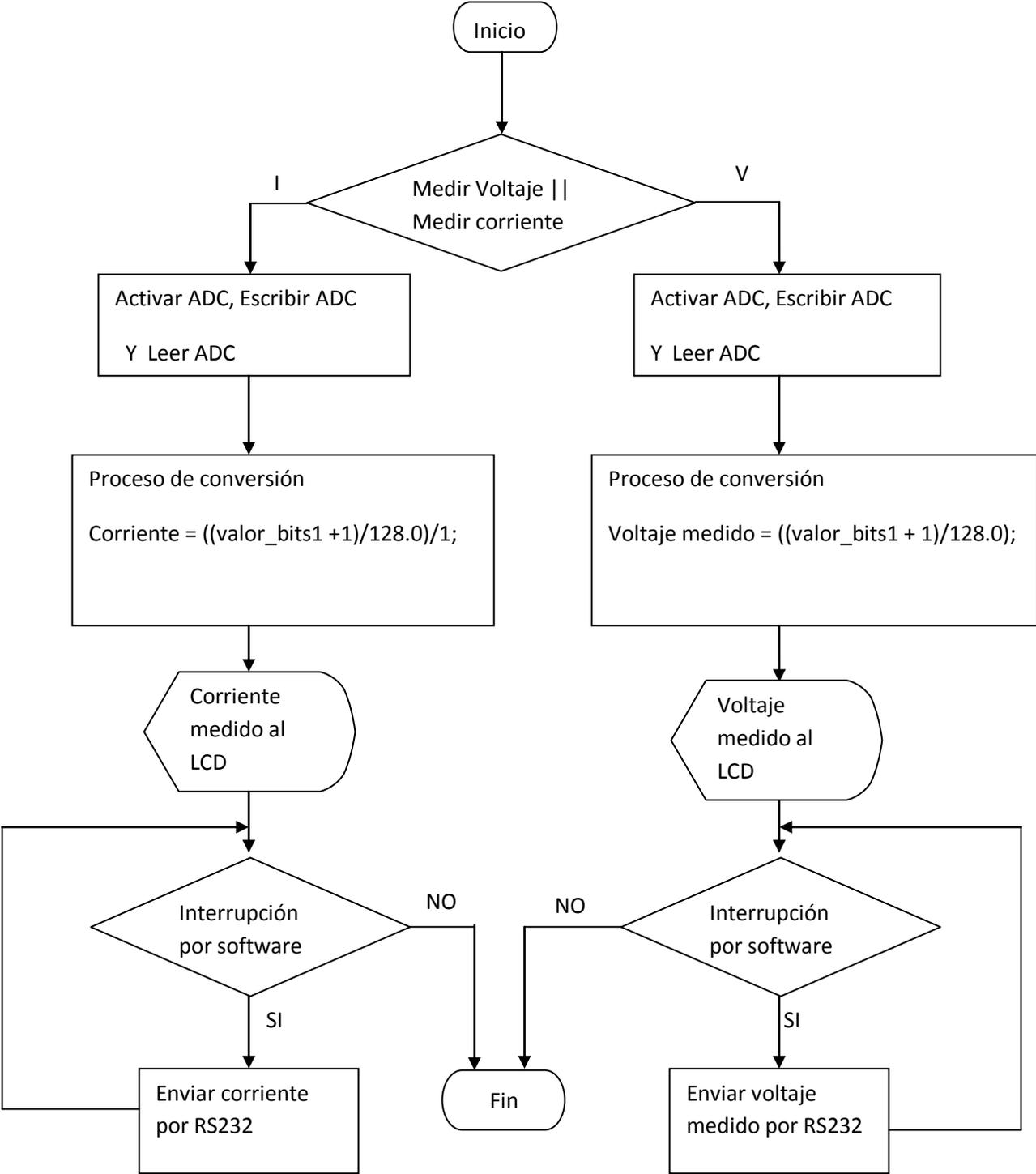


Figura 3.2.1 Diagrama flujo del Microcontrolador.

Para encontrar la fórmula que ingresamos en el programa para determinar el voltaje, se utilizó la ecuación de la recta como se describe obteniendo la ecuación 3.2.

$$\begin{aligned}
 x_1 &= 1; \\
 x_2 &= 2; \\
 y_1 &= 127; \\
 y_2 &= 255; \\
 y &= \# \text{ bits} \\
 x &= \text{volts} \\
 y &= m(x - x_1) + y_1 \\
 m &= \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{255 - 127}{2 - 1} = 128 \\
 \# \text{ bits} &= (m)(\text{volts} - x_1) + y_1 \\
 \text{volts} &= \frac{\# \text{ bits} + mx_1 - y_1}{m}
 \end{aligned}$$

sustituyendo

$$\text{volts} = \frac{\# \text{ bits} + 1}{128} \quad \text{Ec. 3.2}$$

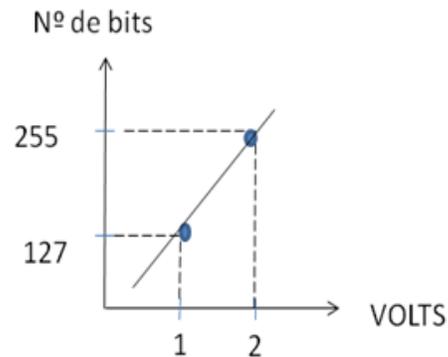


Figura 3.2.2 Ecuación de la recta.

El flujo de corriente que se mide del subsuelo la medimos de la siguiente manera:

Se propone una resistencia fija de 1Ω , se mide la caída de tensión, se aplica la ley de ohm como se muestra en la ecuación 3.2.1.

$$\begin{aligned}
 V &= RI \\
 I &= \frac{V_R}{R} \\
 R &= (1\Omega) \\
 I &= \frac{V_R}{1\Omega} \quad \text{Ec. 3.2.1}
 \end{aligned}$$

Esta operación la realiza el Microcontrolador.

Matlab: Se utilizó el software Matlab para realizar la programación y adquirir los datos así como para su procesamiento utilizando la comunicación RS-232.

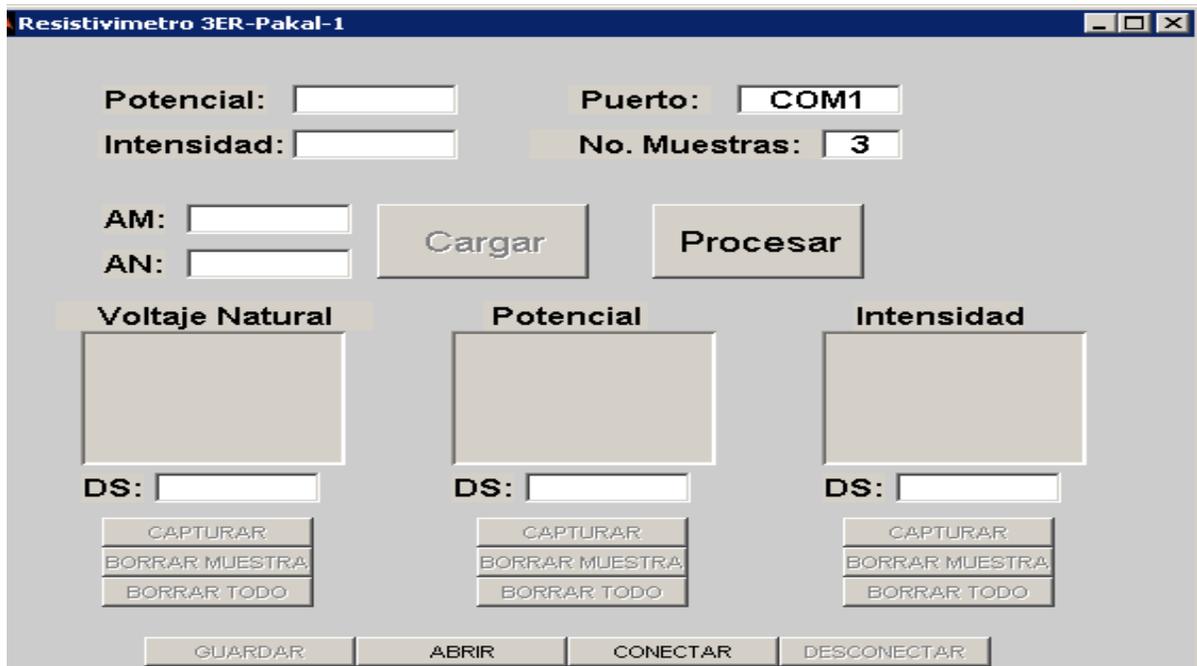


Figura 3.2.3 Ventana principal del software para la PC.

Descripción de las funciones del programa principal:

Puerto: permite ingresar el número de puerto o COM a utilizar.

No. Muestras: cantidad de muestras a realizar en cada punto de medición.

Conectar: realiza la conexión entre la PC y el Microcontrolador.

Potencial: muestra el valor del voltaje medido.

Intensidad: muestra el valor de la corriente medida.

AM: se ingresa la medida de la distancia de los electrodos AM

AN: se ingresa la medida de la distancia de los electrodos AN

Cargar: nos permite cargar los valores de las distancias AM y AN

Voltaje Natural: matriz que muestra los valores de potencial natural capturado.

Potencial: matriz que muestra valores de los voltajes capturados.

Intensidad. Matriz que muestra valores de las corrientes capturadas.

DS: muestra la desviación estándar de las muestras capturadas.

Capturar: toma el parámetro medido.

Borrar Muestra: Borra el último dato capturado.

Borrar Todo: borra todos los datos capturados.

Abrir: permite abrir un archivo guardado.

Desconectar: permite desconectar el equipo y cierra el puerto abierto.

Guardar: permite guardar los datos en un archivo txt.

Procesar: abre la ventana que se muestra en la figura 3.2.4.



Figura 3.2.4 Ventana de procesamiento

Descripción de las funciones.

Voltaje natural: matriz que muestra los datos del potencial natural.

Potencial: matriz que muestra los datos de voltaje medido.

Intensidad: matriz que muestra los datos de las corrientes medidas.

Distancia AM: matriz que muestra los valores de las distancias MN.

No Puntos: se ingresa el número de puntos a cargar.

Promedio: proporciona el promedio de los datos.

Mediana: proporciona la mediana de los datos.

Moda: proporciona la moda de los datos.

Cof. Geométrico: matriz que muestra el valor del factor geométrico de cada punto

Resistividad: muestra la resistividad de cada punto.

Profundidad: muestra los valores de las profundidades.

Distancia AN: matriz que muestra los valores de las distancias AN.

Abrir: permite abrir el archivo .txt para procesar.

Guardar Proceso: permite guardar en un archivo .txt

Procesar: permite procesar los datos.

El software desarrollado se utilizó para procesar los datos obtenidos en las pruebas de campo con el prototipo y un resistivímetro comercial, se obtuvieron gráficas de resistividad contra profundidad en escalas logarítmicas, para realizar la comparación entre las mediciones.

En la figura 3.2.5 se observa el diagrama de flujo del software realizado en Matlab para realizar la captura de los parámetros y en la figura 3.2.6 el diagrama de flujo del procesamiento de los datos capturados en los sondeos realizados con el equipo diseñado y el resistivímetro comercial.

Figura 3.2.5 Diagrama de flujo del programa adquisición de datos.

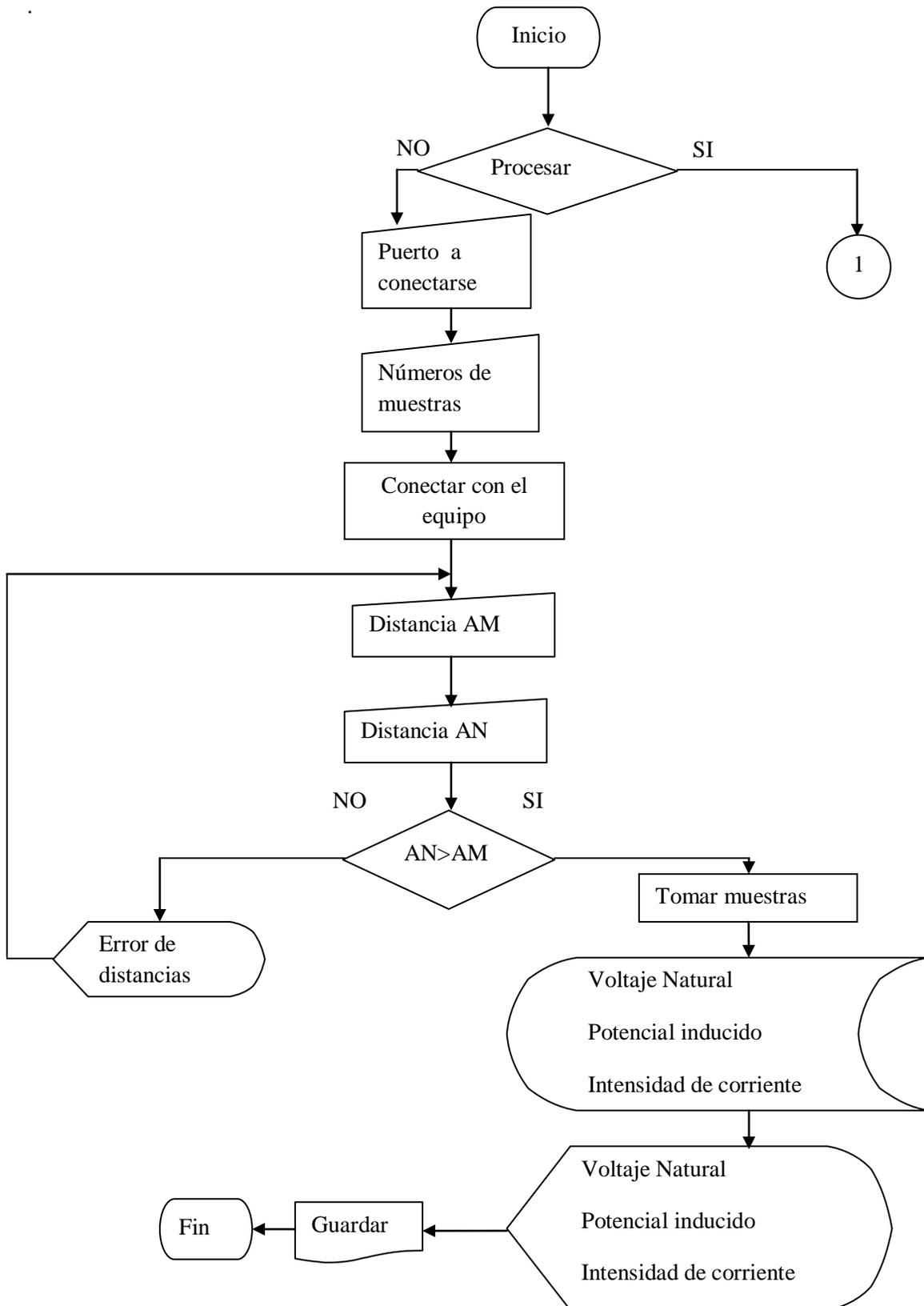
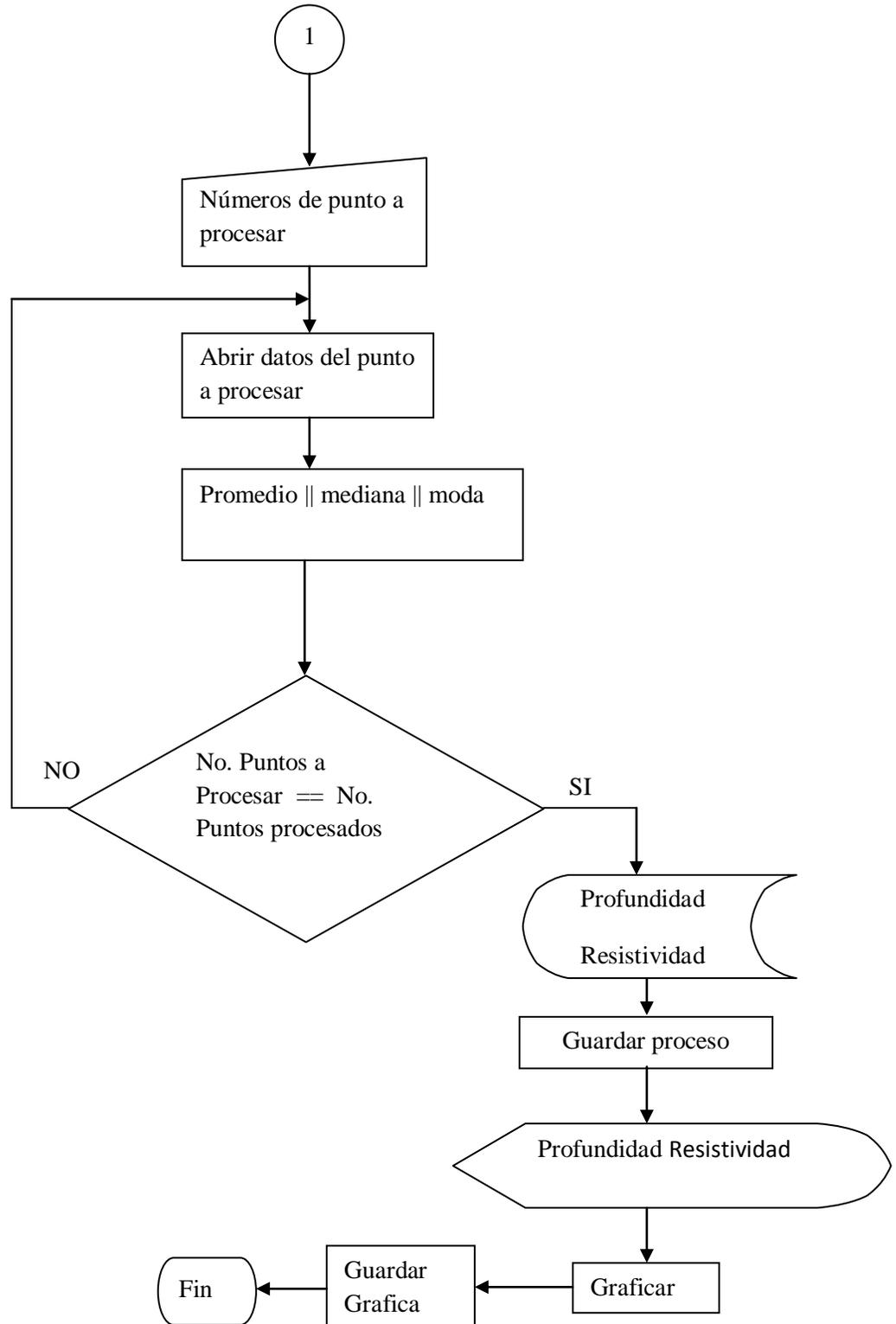


Figura 3.2.6 Diagrama flujo del programa para procesar los datos



4.-Resultados y conclusiones

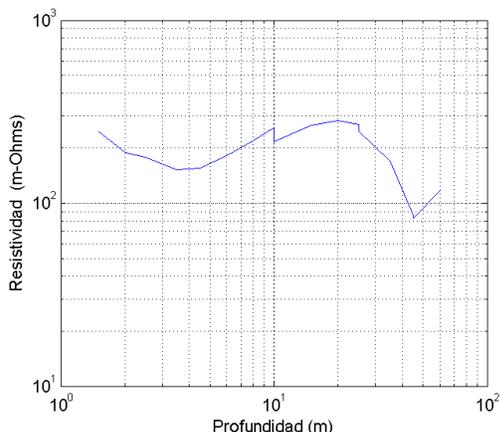
En los trabajos de campo, se aplicó el método de exploración indirecta, mediante los denominados Sondeos Eléctricos Verticales (SEV), utilizando el método de los cuatro electrodos de Schlumberger, que consiste en la disposición simétrica de los electrodos de corriente y de potencial, sobre una línea de orientación definida. El primer sondeo eléctrico realizado con el equipo propuesto, se presentan 17 muestras con distancias AB y MN. Se hicieron mediciones del potencial natural, potencial inducido, corriente, diferencia de potencial (M y N), se calcularon el factor geométrico y la resistividad.

Las mediciones realizadas del primer sondeo eléctrico se hicieron en el boulevard de Jesús María, municipio de Aguascalientes con el equipo propuesto se presentan en la Tabla 4.1.

No	Distancia AB (m)	Distancia MN (m)	P. Natural (mV)	P. Inducido (mV)	Corriente (mA)	Diferencia de potencial (mV)	Factor geométrico (m)	Resistividad (Ω -m)
1	3	0.4	16.30	953.0	67.00	936.7	17.67	247.1
2	4	0.4	17.10	410.0	65.00	392.9	31.41	189.9
3	5	0.4	17.20	278.0	72.00	260.8	49.08	177.8
4	7	0.4	17.40	125.1	68.00	107.7	96.21	152.4
5	9	0.4	17.80	101.0	85.00	83.20	159.0	155.7
6	12	0.4	17.90	54.70	57.00	36.80	282.7	182.5
7	16	0.4	18.20	43.00	57.00	24.80	502.6	218.7
8	20	0.4	17.90	37.10	58.00	19.20	758.4	260.0
9	20	1	15.60	54.90	57.00	39.30	314.1	216.6
10	30	1	15.10	40.40	67.00	25.30	706.8	266.9
11	40	1	14.80	33.1	81.00	18.30	1256	283.9
12	50	2	14.60	19.8	38.00	5.20	1963	268.7
13	50	2	94.10	103.4	37.00	9.300	981.74	246.8
14	70	2	93.90	97.00	35.00	3.100	1924	170.4
15	90	2	94.70	96.10	52.00	1.400	3180	85.60
16	90	4	138.0	140.7	52.00	2.700	1590	82.60
17	120	4	132.5	135.9	82.00	3.400	2827	117.2

Tabla 4.1 Datos del primer sondeo eléctrico con el equipo propuesto

Los datos obtenidos se procesaron en el programa propuesto en Matlab y se obtuvo la siguiente gráfica logarítmica de la resistividad contra la profundidad.



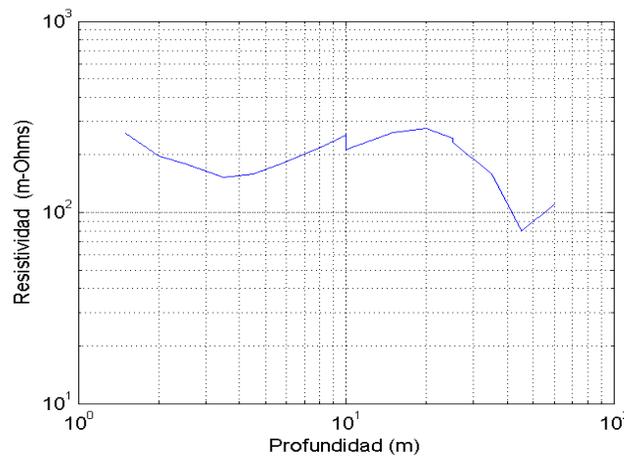
Gráfica 4.2 Datos procesados del primer sondeo eléctrico.

Las mediciones realizadas con el equipo comercial Sting R1, el cual tiene selector de corriente de 1 mA, 2 mA, 5 mA, 10 mA, 20 mA, 50 mA, 100 mA , 200 mA y 500 mA, un selector de frecuencia de 16 Hz, 20 Hz, 50 Hz y 60 Hz. Las aberturas entre electrodos de corriente en el arreglo fueron AB = 3m, 4 m, 5 m, 7 m, 9 m, 12 m, 16 m, 20 m, 30 m, 40 m, 50 m, 70 m, 90 m, y 120 m. los datos del primer sondeo eléctrico se presenta en la Tabla 3.2.9.

No	AB (m)	MN(m)	P. inducido (mV)	Corriente (mA)	Factor geométrico (m)	Resistividad (Ω-m)
1	3	0.4	146	10	17.67	258.0
2	4	0.4	62.5	10	31.41	196.4
3	5	0.4	36.7	10	49.08	180.2
4	7	0.4	15.9	10	96.21	153.0
5	9	0.4	49.9	50	159.0	158.7
6	12	0.4	32.4	50	282.7	183.2
7	16	0.4	21.6	50	502.6	217.1
8	20	0.4	16.20	50	785.4	254.5
9	20	1	33.80	50	314.1	212.4
10	30	1	18.6	50	706.8	263.0
11	40	1	4.36	20	1256	273.9
12	50	1	2.50	20	1963	245.4
13	50	2	11.9	50	981.7	233.7
14	70	2	4.13	50	1924	158.9
15	90	2	1.27	50	3180	80.8
16	90	4	2.51	50	1590	79.8
17	120	4	1.96	50	2827	110.8

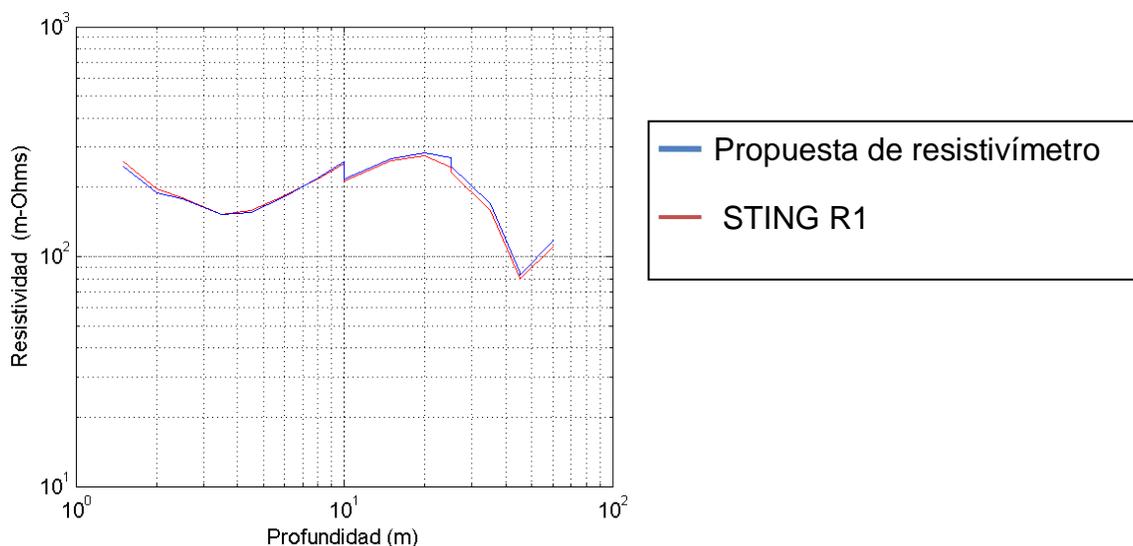
Tabla 4.3 Datos del primer sondeo eléctrico con el equipo comercial

Se realizaron las graficas en el software que se desarrollo en Matlab con los datos obtenidos. Obteniendo una grafica parecida a la del equipo propuesto.



Gráfica 4.4 Datos procesados del primer sondeo eléctrico.

Se realizó una comparación entre las dos graficas la del equipo propuesto y la del resistivímetro comercial Sting R1 en la cual se observa la similitud.



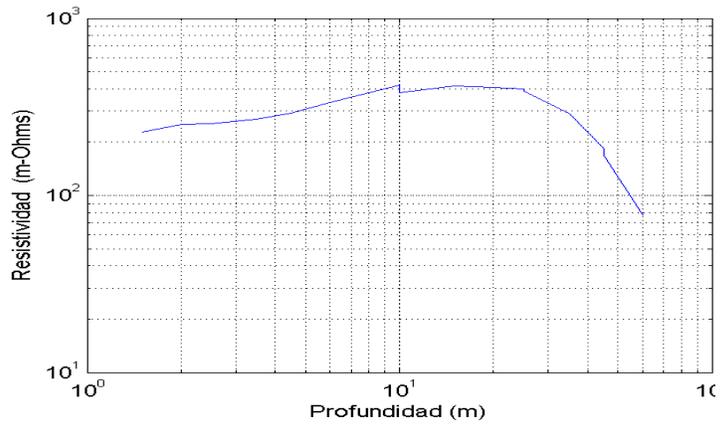
Gráfica 4.5 grafica comparativa de sondeos eléctricos realizados

En la realización del segundo sondeo eléctrico se obtuvieron los datos que se muestran en la Tabla 4.6.

No	Distancia AB (m)	Distancia MN (m)	P. Natural (mV)	P. Inducido (mV)	Corriente (mA)	Diferencia de potencial (mV)	Factor geométrico (m)	Resistividad (Ω -m)
1	3	0.4	-4.4	1782	139	1786	17.67	227.1
2	4	0.4	-3.1	1015	127	1018	31.41	251.8
3	5	0.4	-0.1	683	132	683.1	49.08	254.0
4	7	0.4	1.4	420	149	418.6	96.21	270.3
5	9	0.4	4.1	223.8	120	219.7	159.0	291.2
6	12	0.4	5.3	118.9	96	113.6	282.7	334.6
7	16	0.4	8.3	86	103	77.70	502.6	379.2
8	20	0.4	9.7	65.7	105	56.00	785.4	418.9
9	20	1	-13.3	112.7	104	126.0	314.1	380.6
10	30	1	-13.1	36.8	85	49.90	706.8	415.0
11	40	1	-12.7	14.4	84	27.10	1256	405.4
12	50	2	-12.7	8.8	106	21.50	1963	398.3
13	50	2	-2.1	39.3	105	41.40	981.7	387.1
14	70	2	-2	20.2	147	22.20	1924	290
15	90	2	-2	3.800	100	5.800	3180	184.5
16	90	4	83.20	93.70	99	10.50	1590	168.7
17	120	4	78.9	81.00	77	2.100	2827	77.1

Tabla 4.6 Datos del segundo sondeo eléctrico con el equipo propuesto.

El resultado obtenido en el software diseñado se muestra en la Gráfica 3.3.4.



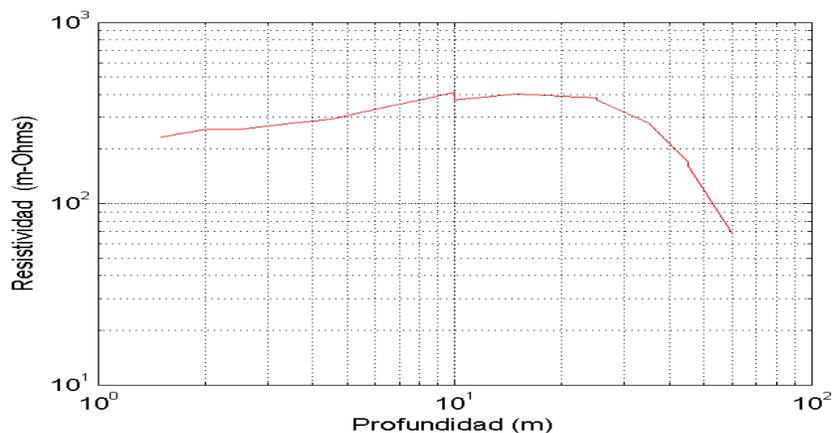
Gráfica 4.7 Datos procesados del segundo sondeo eléctrico con el equipo diseñado.

Mediciones realizadas con un equipo comercial Sting R1 del segundo sondeo eléctrico se presenta en la Tabla 4.8.

No	AB (m)	MN(m)	P. inducido (mV)	Corriente (mA)	Factor geométrico (m)	Resistividad (Ω -m)
1	3	0.4	132	10	17.67	233.3
2	4	0.4	81.4	10	31.41	255.7
3	5	0.4	52.3	10	49.08	256.2
4	7	0.4	28.4	10	96.21	278.2
5	9	0.4	18.4	10	159.0	292.6
6	12	0.4	11.70	10	282.2	330.8
7	16	0.4	7.4	10	502.6	372.9
8	20	0.4	5.22	10	785.4	410.0
9	20	1	11.9	10	314.1	373.9
10	30	1	5.71	10	706.8	403.6
11	40	1	3.11	10	1256	390.8
12	50	1	1.96	10	1963	384.8
13	50	2	3.79	10	981.7	372.1
14	70	2	1.450	10	1924	279.0
15	90	2	0.536	10	3180	170.5
16	90	4	1.020	10	1590	162.2
17	120	4	0.240	10	2827	67.90

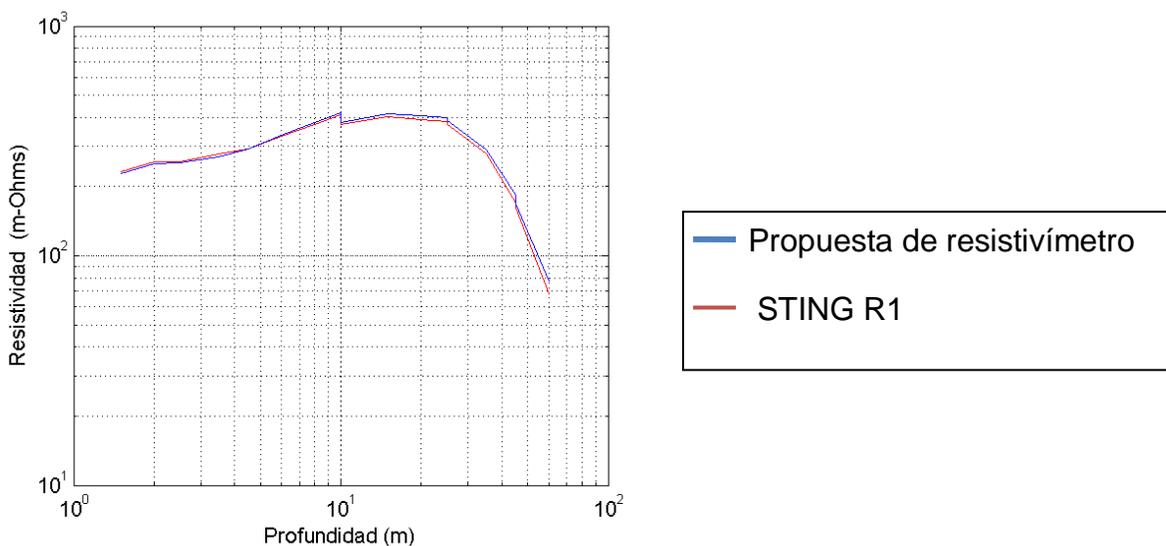
Tabla 4.8 Datos del segundo sondeo eléctrico con el equipo comercial

El resultado obtenido en el software diseñado de resistividad contra profundidad del segundo sondeo eléctrico con el equipo comercial Sting R1 se muestra en la Gráfica 4.9



Gráfica 4.9 Datos procesados del segundo sondeo eléctrico.

Se realiza una comparación entre las dos graficas la del equipo propuesto y la del resistivímetro comercial Sting R1 en la cual se observa la similitud.



Gráfica 4.1.1 Gráfica comparativa de sondeos eléctricos realizados.

Los métodos más usados comúnmente para determinaciones de resistividad son: Dipolo-Dipolo, b) Wenner-Schlumberger, c) Wenner, d) Polo-Polo y d) Polo-Dipolo. La elección de la "mejor" configuración para un sondeo de campo depende del tipo de estructura a ser estudiada, la sensibilidad del resistivímetro y el nivel de ruido de fondo de la zona de estudio. Entre las características de un determinado arreglo debe considerarse: la profundidad de investigación, la sensibilidad del arreglo a los cambios verticales y horizontales de la resistividad subterránea, la cobertura horizontal de datos y la relación señal /ruido. Los Sondeos Eléctricos Verticales aún son muy usados en la industria de la Geofísica Aplicada. Permite conocer mejor la física de los arreglos Schlumberger, Wenner y variaciones cercanas a ellos. Para el desarrollo del prototipo definitivamente el Schlumberger nos ofrece mayor profundidad de penetración y resolución.

En la realización del prototipo de resistivímetro se utilizó una fuente externa que proporciona un voltaje de 145 VCD que fue inyectado al subsuelo por medio de los electrodos A y B y las mediciones del voltaje se hicieron en los electrodos M y N. se procedió a medir el voltaje en los electrodos M y N armado en protoboard en el cual el botón de captura estaba directamente conectado al Adc0804, este tomaba la lectura y escritura de los datos y los enviaba directamente al controlador para visualizarlos en el LCD. En el primer intento se registraron valores de voltaje del subsuelo pero datos obtenidos eran erróneos debido al ruido del entorno y los botones de captura, se colocaron filtros para intentar evitar esos ruidos pero no funciono, ya que las mediciones que tomaba el ADC variaban demasiado. Debido a esto se decidió cambiar el botón de captura se conectó directamente al Microcontrolador. Al hacer esto se notó que las mediciones ya no variaban como lo hacían anteriormente. De esta manera se soluciono el ruido en las mediciones.

Principales problemas en la elaboración del resistivímetro fueron: eliminar el ruido del suelo y potencial natural del mismo. Debido que los voltajes a medir son valores pequeños Nuestros Adc0804 no median, así que se utilizaron amplificadores operacionales.

No medimos la corriente directamente, se utilizo una resistencia conocida de 1Ω para medir su caída de voltaje y calcular la corriente que fluye en el subsuelo.

La polarización al medir el voltaje en el subsuelo ocasionaba que el Adc0804 no registrara las mediciones debido a valores negativos, por lo que se procedió a intercambiar las puntas en dirección al flujo de corriente para obtener valores positivos.

La elaboración de este proyecto ayuda a ramas de geotecnia, geofísica e ingeniería civil en la exploración de características del suelo. Es de gran utilidad, por la aplicación de conocimientos, vale la pena porque en México no se desarrolla esta tecnología.

Debido al poco tiempo para realizar el prototipo de resistivímetro se pueden hacer mejoras que ayuden a hacerlo más eficiente, usando dispositivos de mayor resolución, comunicación inalámbrica, controlador con mejor capacidad.

Referencias Bibliográficas

Ana Beatriz Cosenza murales & Mario e. Arias salguero. La equivalencia y supresión en la resolución del problema inverso en geoelectrica: aplicación en santa Lucía Cotzumalguapa, Guatemala. Revista geológica de América central, 34-35: 99-108, 2006. ISSN: 0256-7024.

Bewley, L. V. 1963. Two-Dimensional Fields in Electrical Engineering. New York: Dover.
Bhallacharya, P. K., and Patra, H. P. 1968. Direct Current Electrical Sounding. Ámsterdam: Elsevier.

Orellana .E. (1972).-Prospección Eléctrica en corriente Continua. Paraninfo.523 pp.
Orellana. E. y H.M. Mooney (1996).- Tablas y curvas patrón para sondeos Eléctricos Verticales sobre terrenos estratificados. Interciencia. Madrid.

Dr. Geól. Miguel Auge Profesor Titular de Hidrogeología Universidad de Buenos Aires. Métodos Geoelectricos para la Prospección de Agua Subterránea. Buenos Aires 2008.

Andrés Antonio López Hidalgo Meng Heng Loke, Gerardo Oscar Fanton, Enrique Cara Rubí. Técnicas Prácticas Para Investigación De Resistividad En Dos Y Tres Dimensiones (Tomografía Eléctrica 2d Y 3d). Instituto Geofísico Sismológico Ing. F. S. Volponi, Facultad de Cs. Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de San Juan, Av. Ignacio de La Roza y Meglioli S/N- Rivadavia- CP (5400) - San Juan - Argentina.

School of Physics. University of Science of Malaysia. Penang, Malaysia. University Sains Malaysia. 11800 USM, Penang, Malaysia.

Marco Antonio Pérez flores, José serrano Ortiz, armando calderón Moctezuma y yunuchen Muñiz. Experimentos didácticos en resistividad de corriente directa: arreglos tetrapolares en un medio estratificado. Gallegos cicese, departamento de geofísica aplicada. Ensenada, b.c.

Br. Andrés Valencia López Interpretación de sondeos eléctrico verticales. Tesis presentada ante la ilustre universidad simón Bolívar. Sartenejas, Mayo del 2007.

<http://www.geoelectrical.com/Articulo.pdf>

<http://www.youtube.com/watch?v=gGhxRE9puNA>

<http://www.ingelec.uns.edu.ar/lmei2773/docs/LME1-NC12-Medidas-Medicion%20de%20Resistencia%20de%20PAT.PDF>

<http://www.richardsradios.co.uk/meggers.html>

http://www.youtube.com/watch?v=A0Gmo_uYvrE

<http://www.gisgeo.com/pages/giscores.html>].

ANEXO A: Revisión de fundamentos teóricos del método geofísico de exploración eléctrica.

Las primeras semanas se dedicó a la lectura y comprensión de los fundamentos teóricos del método geofísico para la exploración eléctrica, entender los métodos eléctricos que son los más usados y así decidir el indicado para el desarrollo del proyecto. se incluye teoría elemental y temas como: potenciales en medios homogéneos, un electrodo de corriente en profundidad y en la superficie, dos electrodos de corriente en la superficie, distribución de la corriente, distorsión del flujo de corriente en un interfaz plano, potencial superficial debido a capas horizontales, equipo para trabajar en el campo de la resistividad, disposiciones del electrodo y procedimiento del campo, arreglos de los electrodos, procedimientos básicos para trabajar con la resistividad. Método tradicional del Sondeo Eléctrico Vertical (SEV). Métodos de Wenner, Schlumberger.

Prácticas con un resistivímetro comercial, para familiarización y conocimientos de aplicaciones.

En esta semana se tomaron seminarios acerca de los métodos geofísicos de exploración eléctrica por el Ing. Francisco Javier Aguilar Valdez.



Figura 4.1.2 seminario del funcionamiento de los métodos geofísicos.

La Práctica de campo se llevo a cabo en el boulevard Jesús maría de la ciudad de Aguas calientes con un resistivímetro comercial marca AGI, modelo sting R1, con la supervisión del Ing. en geofísica Francisco Javier Aguilar Valdez director General de la empresa CITIA (ciencias de la tierra asesores) y el doctor Jesús pacheco Martínez.

Desarrollo de la práctica.

Materiales.

Resistivímetro sting R1

Conmutador.

Electrodos y varillas.

Cables y carretes.

Procedimiento:

- Preparación del terreno.
- Extender una cinta para medir el largo de la distancia.
- Colocar las estacas para los electrodos a distancias de 5m.
- Colocar el cable swift en el orden correcto ya que están enumerados.

Se colocaron 26 electrodos a una distancia de 5 m de separación interconectados.



Figura 4.1.3 Resistivímetro comercial sting R1



Figura 4.1.4 electrodos y varillas de 30 cm.

La primera parte se explicó, el procedimiento de lo que se debe hacer, esto fue enterrar las varillas y colocarles los electrodos con una liga e interconectarlas.

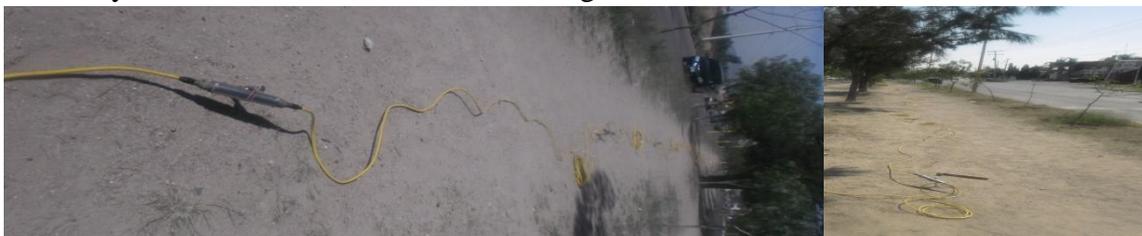


Figura 4.1.5 La distribución de los electrodos

Posteriormente: los electrodos van conectados a un conmutador que es el encargado de distribuir la corriente a los electrodos indicados.



Figura 4.1.6 conmutador conectado al resistivímetro.



Figura 4.1.7 Conmutador

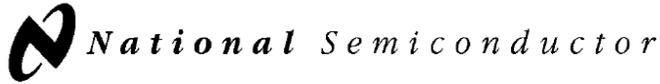
De esta forma el resistivímetro es el encargado de enviar el voltaje así como la señal al conmutador para inyectar la corriente a través de los electrodos correspondientes al arreglo utilizado.



Figura 4.1.8 Explicación del funcionamiento del equipo comercial.

El resistivímetro sting R1, mide el potencial natural para tenerlo en cuenta cuando realice los cálculos, luego inyecta la corriente aproximadamente de 200mA y un voltaje de 400v que se acondiciona dependiendo del terreno, luego mide la diferencia de potencial y realiza los cálculos necesarios para obtener el valor de la resistencia aparente del terreno y las almacena internamente. Estos valores son descargados a la PC para realizar su análisis.

ANEXO B: Amplificador operacional LM301.



December 1994

LM101A/LM201A/LM301A Operational Amplifiers

General Description

The LM101A series are general purpose operational amplifiers which feature improved performance over industry standards like the LM709. Advanced processing techniques make possible an order of magnitude reduction in input currents, and a redesign of the biasing circuitry reduces the temperature drift of input current. Improved specifications include:

- Offset voltage 3 mV maximum over temperature (LM101A/LM201A)
- Input current 100 nA maximum over temperature (LM101A/LM201A)
- Offset current 20 nA maximum over temperature (LM101A/LM201A)
- Guaranteed drift characteristics
- Offsets guaranteed over entire common mode and supply voltage ranges
- Slew rate of 10V/ μ s as a summing amplifier

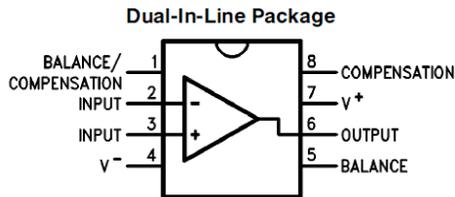
This amplifier offers many features which make its application nearly foolproof: overload protection on the input and output, no latch-up when the common mode range is ex-

ceeded, and freedom from oscillations and compensation with a single 30 pF capacitor. It has advantages over internally compensated amplifiers in that the frequency compensation can be tailored to the particular application. For example, in low frequency circuits it can be overcompensated for increased stability margin. Or the compensation can be optimized to give more than a factor of ten improvement in high frequency performance for most applications.

In addition, the device provides better accuracy and lower noise in high impedance circuitry. The low input currents also make it particularly well suited for long interval integrators or timers, sample and hold circuits and low frequency waveform generators. Further, replacing circuits where matched transistor pairs buffer the inputs of conventional IC op amps, it can give lower offset voltage and a drift at a lower cost.

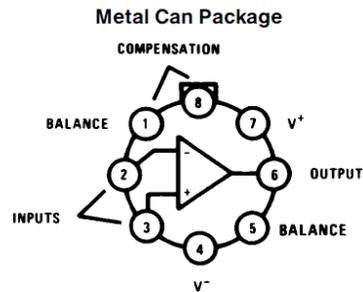
The LM101A is guaranteed over a temperature range of -55°C to $+125^{\circ}\text{C}$, the LM201A from -25°C to $+85^{\circ}\text{C}$, and the LM301A from 0°C to $+70^{\circ}\text{C}$.

Connection Diagrams (Top View)



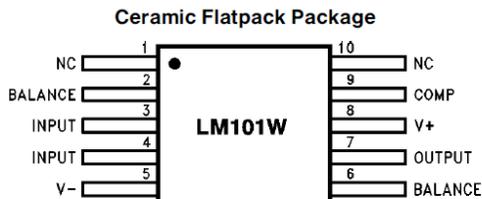
TL/H/7752-4

Order Number LM101AJ, LM101J/883*, LM201AN or LM301AN
 See NS Package Number J08A or N08A



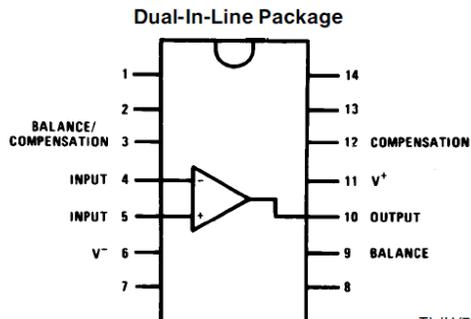
TL/H/7752-2

Note: Pin 4 connected to case.
 Order Number LM101AH, LM101AH/883*, LM201AH or LM301AH
 See NS Package Number H08C



TL/H/7752-4

Order Number LM101AW/883 or LM101W/883
 See NS Package Number W10A



TL/H/7752-3

Order Number LM101AJ-14/883*
 See NS Package Number J14A

*Available per JM38510/10103.

Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/ Distributors for availability and specifications.

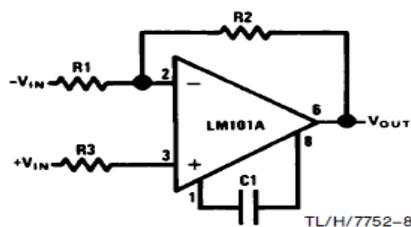
	LM101A/LM201A	LM301A
Supply Voltage	±22V	±18V
Differential Input Voltage	±30V	±30V
Input Voltage (Note 1)	±15V	±15V
Output Short Circuit Duration (Note 2)	Continuous	Continuous
Operating Ambient Temp. Range	-55°C to +125°C (LM101A) -25°C to +85°C (LM201A)	0°C to +70°C
T_J Max		
H-Package	150°C	100°C
N-Package	150°C	100°C
J-Package	150°C	100°C
Power Dissipation at T_A = 25°C		
H-Package (Still Air) (400 LF/Min Air Flow)	500 mW 1200 mW	300 mW 700 mW
N-Package	900 mW	500 mW
J-Package	1000 mW	650 mW
Thermal Resistance (Typical) θ_{JA}		
H-Package (Still Air) (400 LF/Min Air Flow)	165°C/W 67°C/W	165°C/W 67°C/W
N Package	135°C/W	135°C/W
J-Package	110°C/W	110°C/W
(Typical) θ_{JC}		
H-Package	25°C/W	25°C/W
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 sec.)		
Metal Can or Ceramic	300°C	300°C
Plastic	260°C	260°C
ESD Tolerance (Note 5)	2000V	2000V

Electrical Characteristics (Note 3) T_A = T_J

Parameter	Conditions	LM101A/LM201A			LM301A			Units	
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max		
Input Offset Voltage	T _A = 25°C, R _S ≤ 50 kΩ		0.7	2.0		2.0	7.5	mV	
Input Offset Current	T _A = 25°C		1.5	10		3.0	50	nA	
Input Bias Current	T _A = 25°C		30	75		70	250	nA	
Input Resistance	T _A = 25°C	1.5	4.0		0.5	2.0		MΩ	
Supply Current	T _A = 25°C	V _S = ±20V		1.8	3.0				mA
		V _S = ±15V					1.8	3.0	mA
Large Signal Voltage Gain	T _A = 25°C, V _S = ±15V V _{OUT} = ±10V, R _L ≥ 2 kΩ	50	160		25	160		V/mV	
Input Offset Voltage	R _S ≤ 50 kΩ			3.0			10	mV	
Average Temperature Coefficient of Input Offset Voltage	R _S ≤ 50 kΩ		3.0	15		6.0	30	μV/°C	
Input Offset Current				20			70	nA	
Average Temperature Coefficient of Input Offset Current	25°C ≤ T _A ≤ T _{MAX} T _{MIN} ≤ T _A ≤ 25°C		0.01	0.1		0.01	0.3	nA/°C	
			0.02	0.2		0.02	0.6	nA/°C	

Typical Performance Characteristics for Various Compensation Circuits**

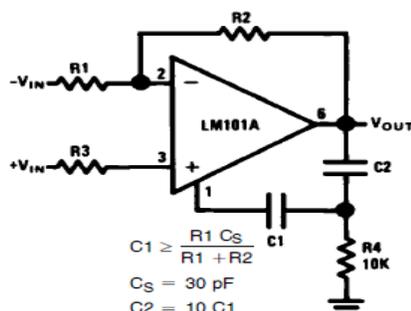
Single Pole Compensation



$$C1 \geq \frac{R1 C_S}{R1 + R2}$$

$$C_S = 30 \text{ pF}$$

Two Pole Compensation

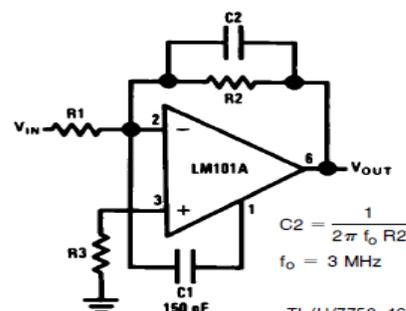


$$C1 \geq \frac{R1 C_S}{R1 + R2}$$

$$C_S = 30 \text{ pF}$$

$$C2 = 10 C1$$

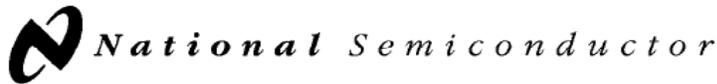
Feedforward Compensation



$$C2 = \frac{1}{2\pi f_o R2}$$

$$f_o = 3 \text{ MHz}$$

ANEXO C: Convertidor analógico-digital ADC0804



December 1994

ADC0801/ADC0802/ADC0803/ADC0804/ADC0805 8-Bit μ P Compatible A/D Converters

General Description

The ADC0801, ADC0802, ADC0803, ADC0804 and ADC0805 are CMOS 8-bit successive approximation A/D converters that use a differential potentiometric ladder—similar to the 256R products. These converters are designed to allow operation with the NSC800 and INS8080A derivative control bus with TRI-STATE® output latches directly driving the data bus. These A/Ds appear like memory locations or I/O ports to the microprocessor and no interfacing logic is needed.

Differential analog voltage inputs allow increasing the common-mode rejection and offsetting the analog zero input voltage value. In addition, the voltage reference input can be adjusted to allow encoding any smaller analog voltage span to the full 8 bits of resolution.

Features

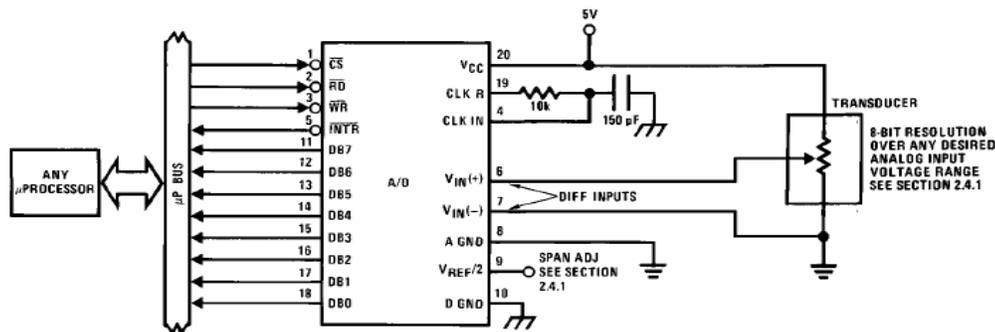
- Compatible with 8080 μ P derivatives—no interfacing logic needed - access time - 135 ns
- Easy interface to all microprocessors, or operates “stand alone”

- Differential analog voltage inputs
- Logic inputs and outputs meet both MOS and TTL voltage level specifications
- Works with 2.5V (LM336) voltage reference
- On-chip clock generator
- 0V to 5V analog input voltage range with single 5V supply
- No zero adjust required
- 0.3” standard width 20-pin DIP package
- 20-pin molded chip carrier or small outline package
- Operates ratiometrically or with 5 V_{DC} , 2.5 V_{DC} , or analog span adjusted voltage reference

Key Specifications

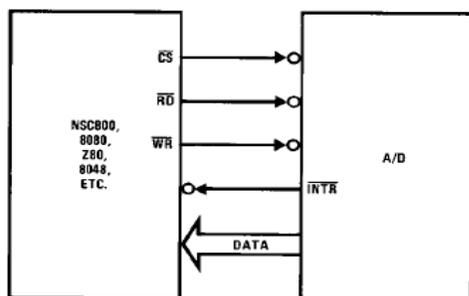
- Resolution 8 bits
- Total error $\pm 1/4$ LSB, $\pm 1/2$ LSB and ± 1 LSB
- Conversion time 100 μ s

Typical Applications



TL/H/5671-1

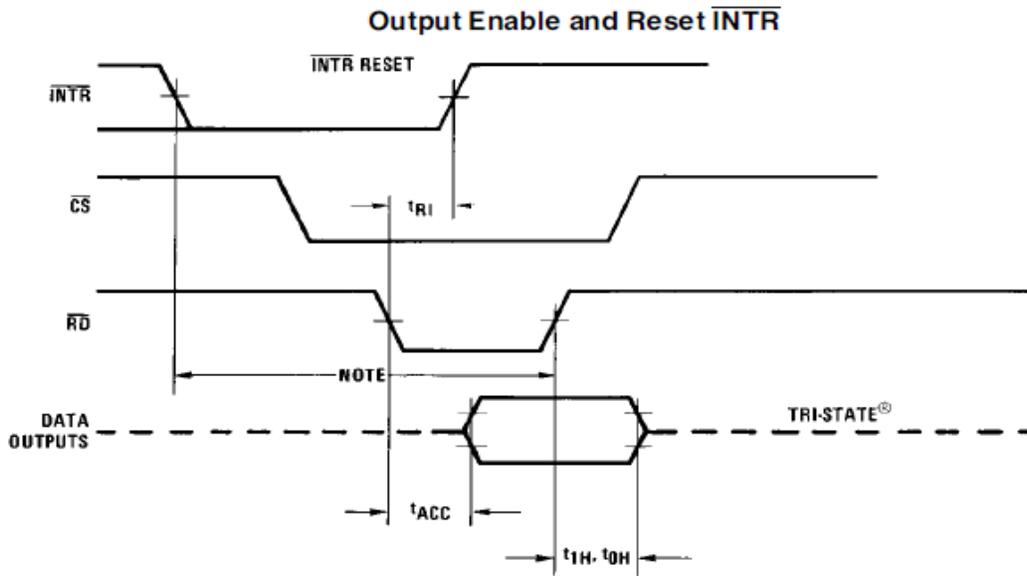
8080 Interface



TL/H/5671-31

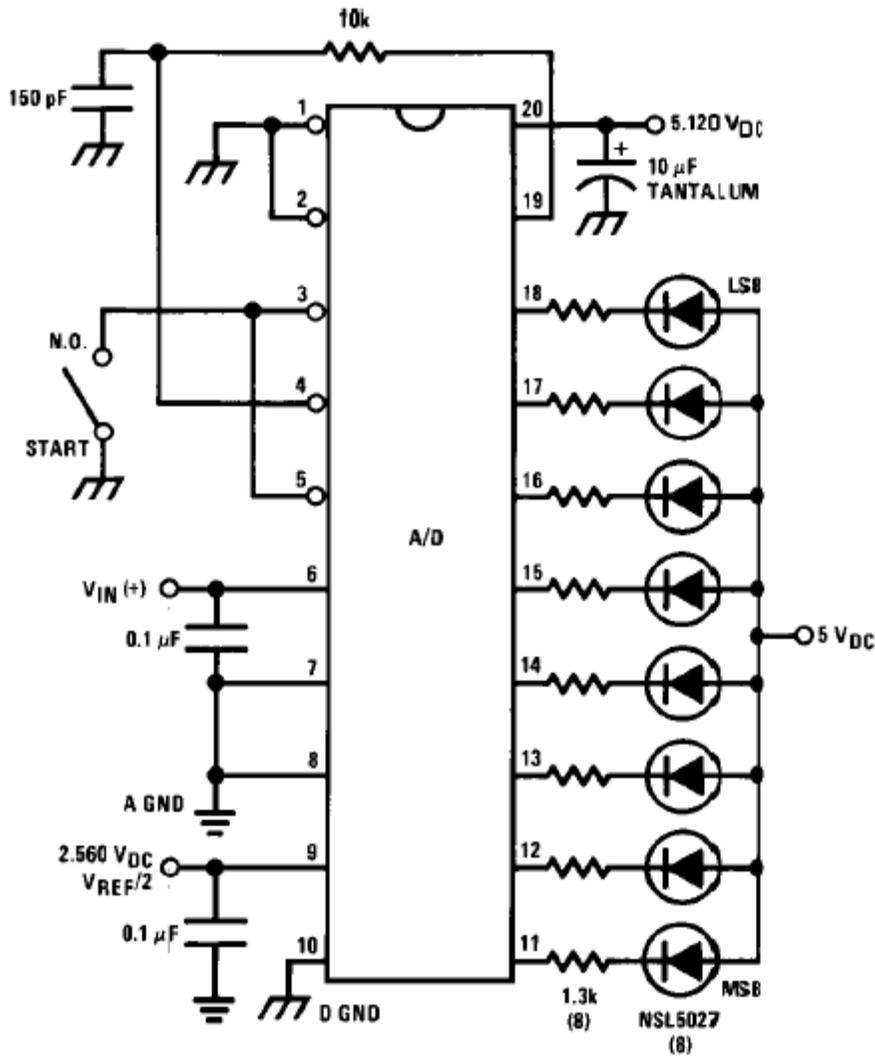
Error Specification (Includes Full-Scale, Zero Error, and Non-Linearity)

Part Number	Full-Scale Adjusted	$V_{REF}/2 = 2.500 V_{DC}$ (No Adjustments)	$V_{REF}/2 = \text{No Connection}$ (No Adjustments)
ADC0801	$\pm 1/4$ LSB		
ADC0802		$\pm 1/2$ LSB	
ADC0803	$\pm 1/2$ LSB		
ADC0804		± 1 LSB	
ADC0805			± 1 LSB



Note: Read strobe must occur 8 clock periods ($8/f_{CLK}$) after assertion of interrupt to guarantee reset of $\overline{\text{INTR}}$.

TL/H/5671-4



TL/H/5671-18

FIGURE 7. Basic A/D Tester

ANEXO D: Convertidor analógico-digital 24 bits.



ADS1231

www.ti.com

SBAS414C – JULY 2009 – REVISED DECEMBER 2010

24-Bit Analog-to-Digital Converter for Bridge Sensors

FEATURES

- Complete Front-End for Bridge Sensors
- Internal Amplifier, Gain of 128
- Internal Oscillator
- Low-Side Power Switch for Bridge Sensor
- Low Noise: 35nVrms
- Selectable Data Rates: 10SPS or 80SPS
- Simultaneous 50Hz and 60Hz Rejection at 10SPS
- Input EMI Filter
- External Voltage Reference up to 5V for Ratiometric Measurements
- Simple, Pin-Driven Control
- Two-Wire Serial Digital Interface
- Supply Range: 3V to 5.3V
- Package: SOIC-16
- Temperature Range: -40°C to $+85^{\circ}\text{C}$

APPLICATIONS

- Weigh Scales
- Strain Gauges
- Load Cells
- Industrial Process Control

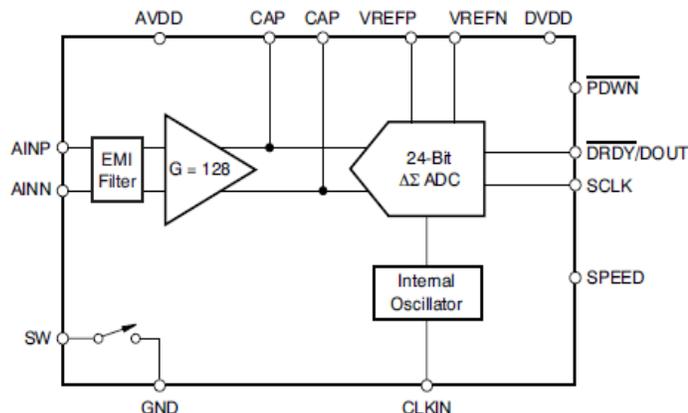
DESCRIPTION

The ADS1231 is a precision, 24-bit analog-to-digital converter (ADC). With an onboard low-noise amplifier, onboard oscillator, precision third-order 24-bit delta-sigma ($\Delta\Sigma$) modulator, and bridge power switch, the ADS1231 provides a complete front-end solution for bridge sensor applications including weigh scales, strain gauges, and load cells.

The low-noise amplifier has a gain of 128, supporting a full-scale differential input of $\pm 19.5\text{mV}$. The $\Delta\Sigma$ ADC has 24-bit resolution and is comprised of a third-order modulator and fourth-order digital filter. Two data rates are supported: 10SPS (with both 50Hz and 60Hz rejection) and 80SPS. The ADS1231 can be put in a low-power standby mode or shut off completely in power-down mode.

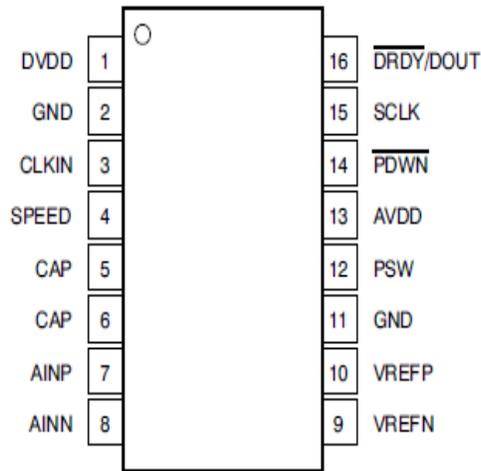
The ADS1231 is controlled by dedicated pins; there are no digital registers to program. Data are output over an easily-isolated serial interface that connects directly to the MSP430 and other microcontrollers.

The ADS1231 is available in an SO-16 package and is specified from -40°C to $+85^{\circ}\text{C}$.



PIN CONFIGURATION

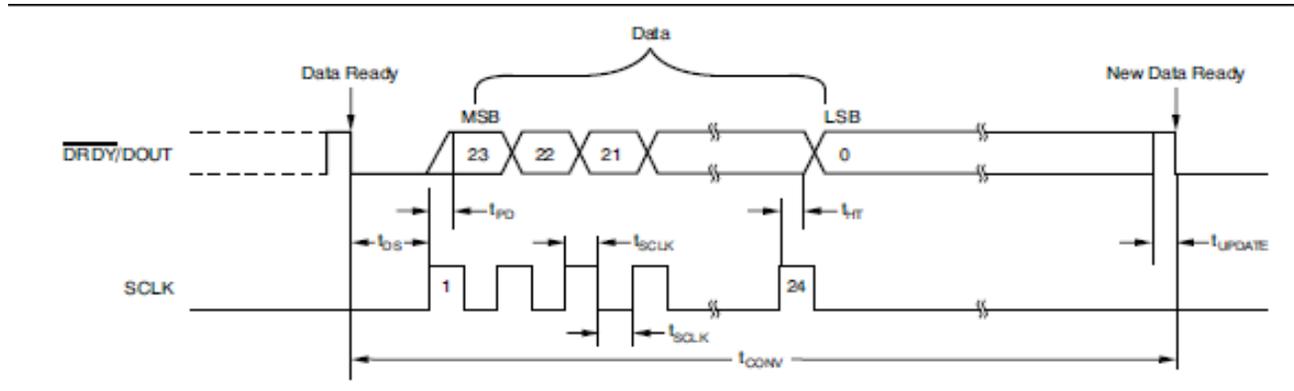
D PACKAGE
SO-16
(TOP VIEW)



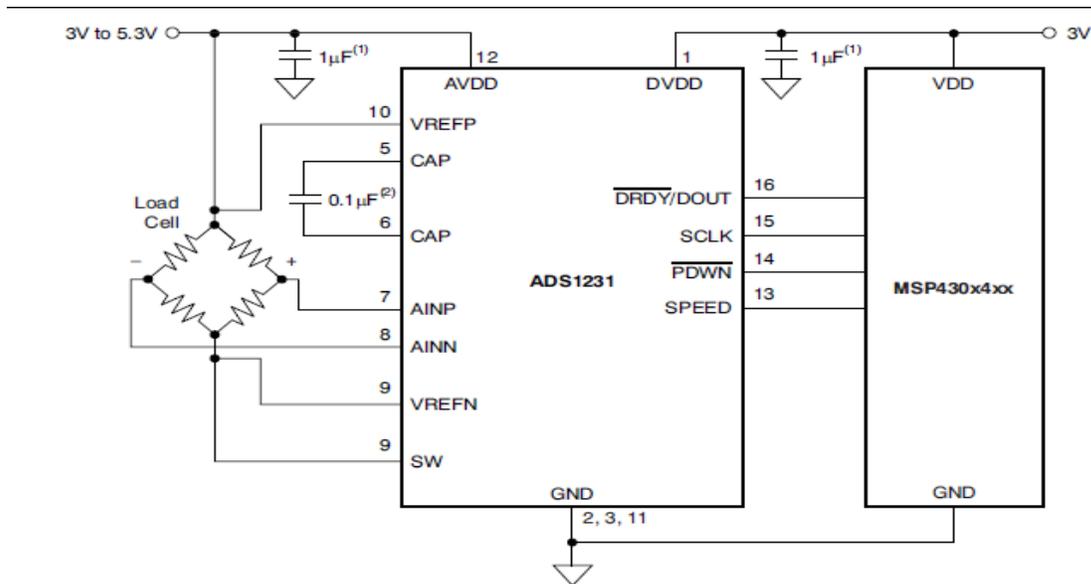
PIN DESCRIPTIONS

NAME	TERMINAL	ANALOG/DIGITAL INPUT/OUTPUT	DESCRIPTION	
DVDD	1	Digital	Digital power supply	
GND	2	Supply	Ground for digital and analog supplies	
CLKIN	3	Digital input	External clock input: typically 4.9152MHz. Tie low to activate internal oscillator.	
SPEED	4	Digital input	Data rate select:	
			SPEED	DATA RATE
			0	10SPS
			1	80SPS
CAP	5	Analog	Gain amplifier bypass capacitor connection	
CAP	6	Analog	Gain amplifier bypass capacitor connection	
AINP	7	Analog input	Positive analog input	
AINN	8	Analog input	Negative analog input	
VREFN	9	Analog input	Negative reference input	
VREFP	10	Analog input	Positive reference input	
GND	11	Supply	Ground for digital and analog supplies	
PSW	12	Analog	Low-side power switch	
AVDD	13	Supply	Analog power supply	
PDWN	14	Digital input	Power-down: holding this pin low powers down the entire converter and resets the ADC.	
SCLK	15	Digital input	Serial clock: clock out data on the rising edge. Also used to initiate Standby mode. See the Standby Mode section for more details.	
DRDY/DOUT	16	Digital output	Dual-purpose output: Data ready: indicates valid data by going low. Data output: outputs data, MSB first, on the first rising edge of SCLK.	

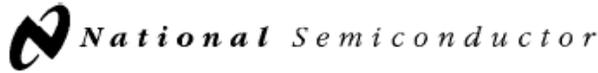
Diagrama de tiempo.



Ejemplo de aplicación.



ANEXO E: Oscilador Astable CD4047BC.



October 1993

CD4047BM/CD4047BC Low Power Monostable/Astable Multivibrator

General Description

CD4047B is capable of operating in either the monostable or astable mode. It requires an external capacitor (between pins 1 and 3) and an external resistor (between pins 2 and 3) to determine the output pulse width in the monostable mode, and the output frequency in the astable mode.

Astable operation is enabled by a high level on the $\overline{\text{astable}}$ input. The output frequency (at 50% duty cycle) at Q and \overline{Q} outputs is determined by the timing components. A frequency twice that of Q is available at the Oscillator Output; a 50% duty cycle is not guaranteed.

Monostable operation is obtained when the device is triggered by low-to-high transition at + trigger input or high-to-low transition at - trigger input. The device can be retriggered by applying a simultaneous low-to-high transition to both the + trigger and retrigger inputs.

A high level on Reset input resets the outputs Q to low, \overline{Q} to high.

Features

- Wide supply voltage range 3.0V to 15V
- High noise immunity 0.45 V_{DD} (typ.)
- Low power TTL compatibility Fan out of 2 driving 74L or 1 driving 74LS

SPECIAL FEATURES

- Low power consumption: special CMOS oscillator configuration
- Monostable (one-shot) or astable (free-running) operation
- True and complemented buffered outputs
- Only one external R and C required

MONOSTABLE MULTIVIBRATOR FEATURES

- Positive- or negative-edge trigger
- Output pulse width independent of trigger pulse duration
- Retriggerable option for pulse width expansion
- Long pulse widths possible using small RC components by means of external counter provision
- Fast recovery time essentially independent of pulse width
- Pulse-width accuracy maintained at duty cycles approaching 100%

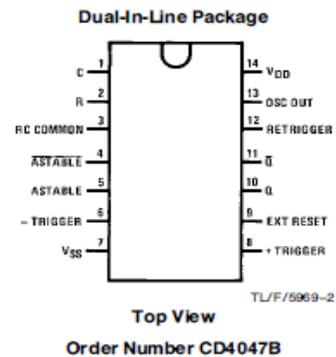
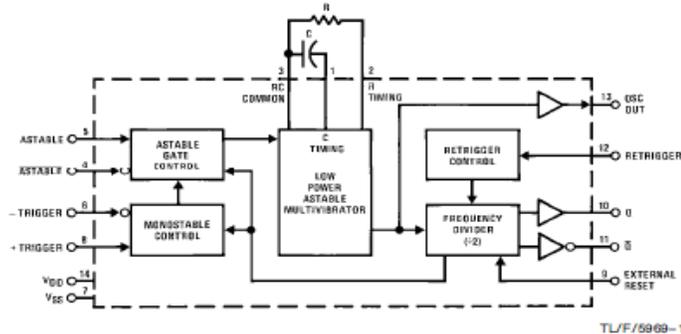
ASTABLE MULTIVIBRATOR FEATURES

- Free-running or gatable operating modes
- 50% duty cycle
- Oscillator output available
- Good astable frequency stability
 - typical = $\pm 2\% + 0.03\%/^{\circ}\text{C}$ @ 100 kHz
 - frequency = $\pm 0.5\% + 0.015\%/^{\circ}\text{C}$ @ 10 kHz
 - deviation (circuits trimmed to frequency $V_{DD} = 10V \pm 10\%$)

Applications

- Frequency discriminators
- Timing circuits
- Time-delay applications
- Envelope detection
- Frequency multiplication
- Frequency division

Block and Connection Diagrams



CD4047BM/CD4047BC Low Power Monostable/Astable Multivibrator

Absolute Maximum Ratings (Notes 1 and 2)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

DC Supply Voltage (V_{DD})	-0.5V to +18V _{DC}
Input Voltage (V_{IN})	-0.5V to V_{DD} + 0.5V _{DC}
Storage Temperature Range (T_S)	-65°C to +150°C
Power Dissipation (P_D)	
Dual-In-Line	700 mW
Small Outline	500 mW
Lead Temperature (T_L)	
(Soldering, 10 seconds)	260°C

Recommended Operating Conditions (Note 2)

DC Supply Voltage (V_{DD})	3V to 15V _{DC}
Input Voltage (V_{IN})	0 to V_{DD} V _{DC}
Operating Temperature Range (T_A)	
CD4047BM	-55°C to +125°C
CD4047BC	-40°C to +85°C

DC Electrical Characteristics CD4047BM (Note 2)

Symbol	Parameter	Conditions	-55°C		25°C			125°C		Units
			Min	Max	Min	Typ	Max	Min	Max	
I_{DD}	Quiescent Device Current	$V_{DD} = 5V$		5			5		150	μA
		$V_{DD} = 10V$		10			10		300	μA
		$V_{DD} = 15V$		20			20		600	μA
V_{OL}	Low Level Output Voltage	$ I_O < 1 \mu A$								
		$V_{DD} = 5V$		0.05		0	0.05		0.05	V
		$V_{DD} = 10V$		0.05		0	0.05		0.05	V
V_{OH}	High Level Output Voltage	$ I_O < 1 \mu A$								
		$V_{DD} = 5V$	4.95		4.95	5		4.95		V
		$V_{DD} = 10V$	9.95		9.95	10		9.95		V
V_{IL}	Low Level Input Voltage	$V_{DD} = 5V, V_O = 0.5V$ or 4.5V		1.5		2.25	1.5		1.5	V
		$V_{DD} = 10V, V_O = 1V$ or 9V		3.0		4.5	3.0		3.0	V
		$V_{DD} = 15V, V_O = 1.5V$ or 13.5V		4.0		6.75	4.0		4.0	V
V_{IH}	High Level Input Voltage	$V_{DD} = 5V, V_O = 0.5V$ or 4.5V	3.5		3.5	2.75		3.5		V
		$V_{DD} = 10V, V_O = 1V$ or 9V	7.0		7.0	5.5		7.0		V
		$V_{DD} = 15V, V_O = 1.5V$ or 13.5V	11.0		11.0	8.25		11.0		V
I_{OL}	Low Level Output Current (Note 3)	$V_{DD} = 5V, V_O = 0.4V$	0.64		0.51	0.88		0.36		mA
		$V_{DD} = 10V, V_O = 0.5V$	1.6		1.3	2.25		0.9		mA
		$V_{DD} = 15V, V_O = 1.5V$	4.2		3.4	8.8		2.4		mA
I_{OH}	High Level Output Current (Note 3)	$V_{DD} = 5V, V_O = 4.6V$	-0.64		-0.51	-0.88		-0.36		mA
		$V_{DD} = 10V, V_O = 9.5V$	-1.6		-1.3	-2.25		-0.9		mA
		$V_{DD} = 15V, V_O = 13.5V$	-4.2		-3.4	-8.8		-2.4		mA
I_{IN}	Input Current	$V_{DD} = 15V, V_{IN} = 0V$		-0.1		-10^{-5}	-0.1		-1.0	μA
		$V_{DD} = 15V, V_{IN} = 15V$		0.1		10^{-5}	0.1		1.0	μA

DC Electrical Characteristics CD4047BC (Note 2)

Symbol	Parameter	Conditions	-40°C		25°C			85°C		Units
			Min	Max	Min	Typ	Max	Min	Max	
I_{DD}	Quiescent Device Current	$V_{DD} = 5V$		20			20		150	μA
		$V_{DD} = 10V$		40			40		300	μA
		$V_{DD} = 15V$		80			80		600	μA
V_{OL}	Low Level Output Voltage	$ I_O < 1 \mu A$								
		$V_{DD} = 5V$		0.05		0	0.05		0.05	V
		$V_{DD} = 10V$		0.05		0	0.05		0.05	V
V_{OH}	High Level Output Voltage	$ I_O < 1 \mu A$								
		$V_{DD} = 5V$	4.95		4.95	5		4.95		V
		$V_{DD} = 10V$	9.95		9.95	10		9.95		V
V_{OH}	High Level Output Voltage	$V_{DD} = 15V$	14.95		14.95	15		14.95		V

DC Electrical Characteristics CD4047BC (Note 2) (Continued)

Symbol	Parameter	Conditions	-40°C		25°C			85°C		Units
			Min	Max	Min	Typ	Max	Min	Max	
V _{IL}	Low Level Input Voltage	V _{DD} = 5V, V _O = 0.5V or 4.5V		1.5		2.25	1.5		1.5	V
		V _{DD} = 10V, V _O = 1V or 9V		3.0		4.5	3.0		3.0	V
		V _{DD} = 15V, V _O = 1.5V or 13.5V		4.0		6.75	4.0		4.0	V
V _{IH}	High Level Input Voltage	V _{DD} = 5V, V _O = 0.5V or 4.5V	3.5		3.5	2.75		3.5		V
		V _{DD} = 10V, V _O = 1V or 9V	7.0		7.0	5.5		7.0		V
		V _{DD} = 15V, V _O = 1.5V or 13.5V	11.0		11.0	8.25		11.0		V
I _{OL}	Low Level Output Current (Note 3)	V _{DD} = 5V, V _O = 0.4V	0.52		0.44	0.88		0.36		mA
		V _{DD} = 10V, V _O = 0.5V	1.3		1.1	2.25		0.9		mA
		V _{DD} = 15V, V _O = 1.5V	3.6		3.0	8.8		2.4		mA
I _{OH}	High Level Output Current (Note 3)	V _{DD} = 5V, V _O = 4.6V	-0.52		-0.44	-0.88		-0.36		mA
		V _{DD} = 10V, V _O = 9.5V	-1.3		-1.1	-2.25		-0.9		mA
		V _{DD} = 15V, V _O = 13.5V	-3.6		-3.0	-8.8		-2.4		mA
I _{IN}	Input Current	V _{DD} = 15V, V _{IN} = 0V		-0.3		-10 ⁻⁵	-0.3		-1.0	μA
		V _{DD} = 15V, V _{IN} = 15V		0.3		10 ⁻⁵	0.3		1.0	μA

Note 1: "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. They are not meant to imply that the devices should be operated at these limits. The table of "Recommended Operating Conditions" and "Electrical Characteristics" provides conditions for actual device operation.

Note 2: V_{SS} = 0V unless otherwise specified.

Note 3: I_{OH} and I_{OL} are tested one output at a time.

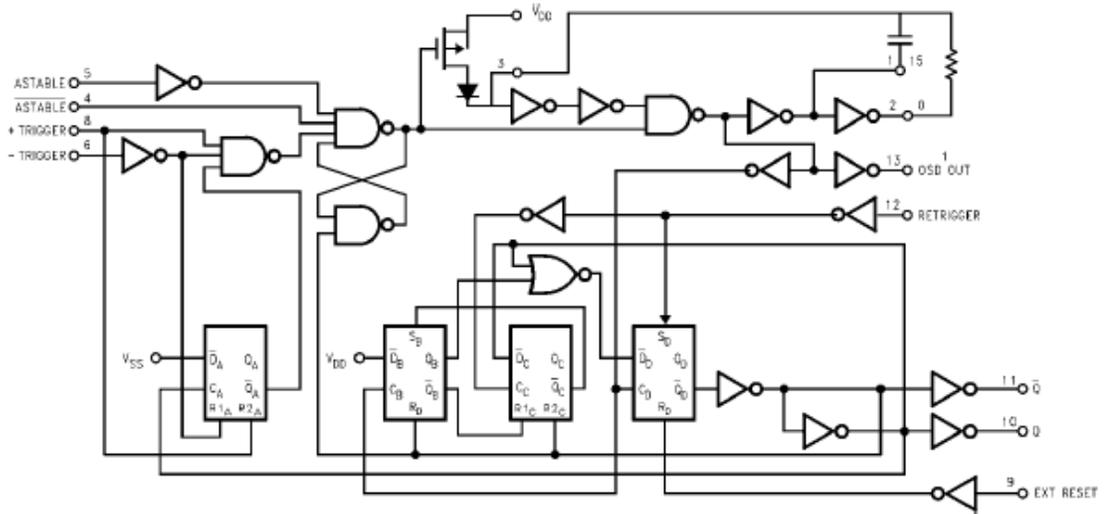
AC Electrical Characteristics* CD4047B

T_A = 25°C, C_L = 50 pF, R_L = 200k, input t_r = t_f = 20 ns, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
t _{PHL} , t _{PLH}	Propagation Delay Time Astable, Astable to Osc Out	V _{DD} = 5V		200	400	ns
		V _{DD} = 10V		100	200	ns
		V _{DD} = 15V		80	160	ns
t _{PHL} , t _{PLH}	Astable, $\overline{\text{Astable}}$ to Q, \overline{Q}	V _{DD} = 5V		550	900	ns
		V _{DD} = 10V		250	500	ns
		V _{DD} = 15V		200	400	ns
t _{PHL} , t _{PLH}	+ Trigger, - Trigger to \overline{Q}	V _{DD} = 5V		700	1200	ns
		V _{DD} = 10V		300	600	ns
		V _{DD} = 15V		240	480	ns
t _{PHL} , t _{PLH}	+ Trigger, Retrigger to \overline{Q}	V _{DD} = 5V		300	600	ns
		V _{DD} = 10V		175	300	ns
		V _{DD} = 15V		150	250	ns
t _{PHL} , t _{PLH}	Reset to Q, \overline{Q}	V _{DD} = 5V		300	600	ns
		V _{DD} = 10V		125	250	ns
		V _{DD} = 15V		100	200	ns
t _{THL} , t _{TLH}	Transition Time Q, \overline{Q} , Osc Out	V _{DD} = 5V		100	200	ns
		V _{DD} = 10V		50	100	ns
		V _{DD} = 15V		40	80	ns
t _{WL} , t _{WH}	Minimum Input Pulse Duration	Any Input V _{DD} = 5V		500	1000	ns
		V _{DD} = 10V		200	400	ns
		V _{DD} = 15V		160	320	ns
t _{RCL} , t _{FCL}	+ Trigger, Retrigger, Rise and Fall Time	V _{DD} = 5V			15	μs
		V _{DD} = 10V			5	μs
		V _{DD} = 15V			5	μs
C _{IN}	Average Input Capacitance	Any Input		5	7.5	pF

*AC Parameters are guaranteed by DC correlated testing.

Logic Diagram



TL/F/5969-3

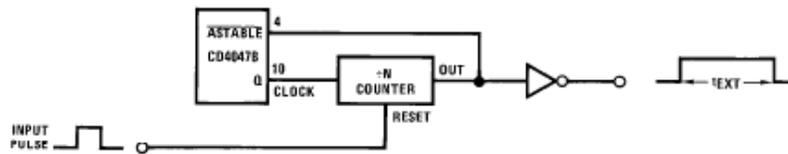
*Special input protection circuit to permit larger input-voltage swings.

Truth Table

Function	Terminal Connections			Output Pulse From	Typical Output Period or Pulse Width
	To V _{DD}	To V _{SS}	Input Pulse To		
Astable Multivibrator					
Free-Running	4, 5, 6, 14	7, 8, 9, 12		10, 11, 13	$t_A(10, 11) = 4.40 RC$
True Gating	4, 6, 14	7, 8, 9, 12	5	10, 11, 13	
Complement Gating	6, 14	5, 7, 8, 9, 12	4	10, 11, 13	$t_A(13) = 2.20 RC$
Monostable Multivibrator					
Positive-Edge Trigger	4, 14	5, 6, 7, 9, 12	8	10, 11	
Negative-Edge Trigger	4, 8, 14	5, 7, 9, 12	6	10, 11	
Retriggerable	4, 14	5, 6, 7, 9	8, 12	10, 11	$t_M(10, 11) = 2.48 RC$
External Countdown*	14	5, 6, 7, 8, 9, 12	(See Figure)	(See Figure)	(See Figure)

Note: External resistor between terminals 2 and 3. External capacitor between terminals 1 and 3.

*Typical Implementation of External Countdown Option



$$t_{EXT} = (N - 1) t_A + (t_M + t_A/2)$$

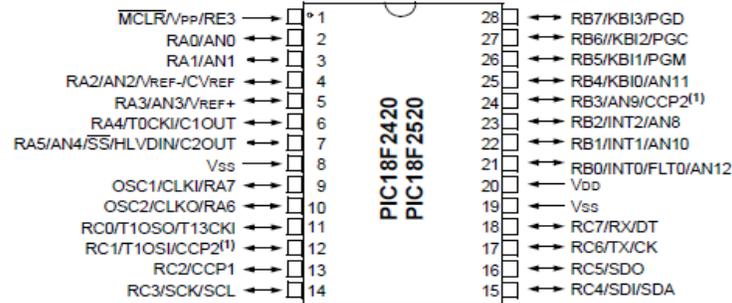
TL/F/5969-4

ANEXO F: Microcontrolador PIC18F4520.

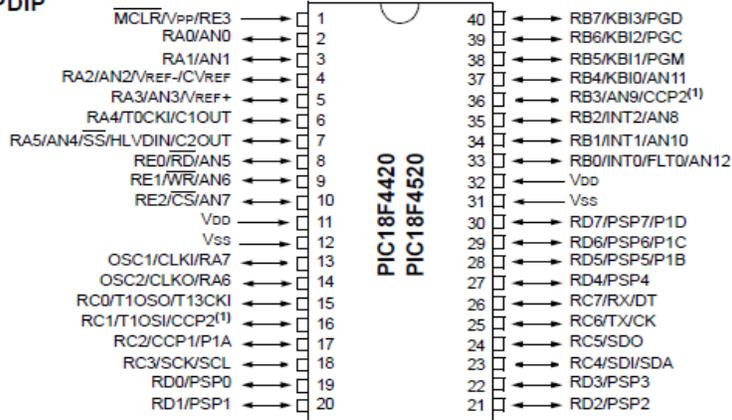
PIC18F2420/2520/4420/4520

Pin Diagrams

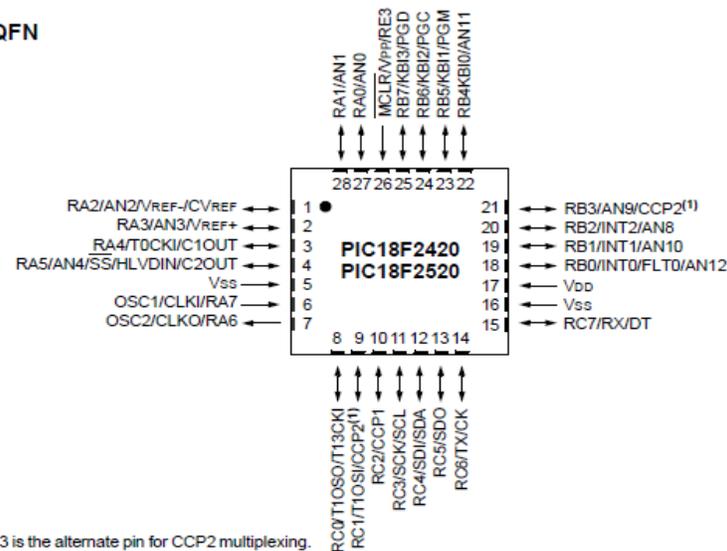
28-pin PDIP, SOIC



40-pin PDIP



28-pin QFN



Note 1: RB3 is the alternate pin for CCP2 multiplexing.

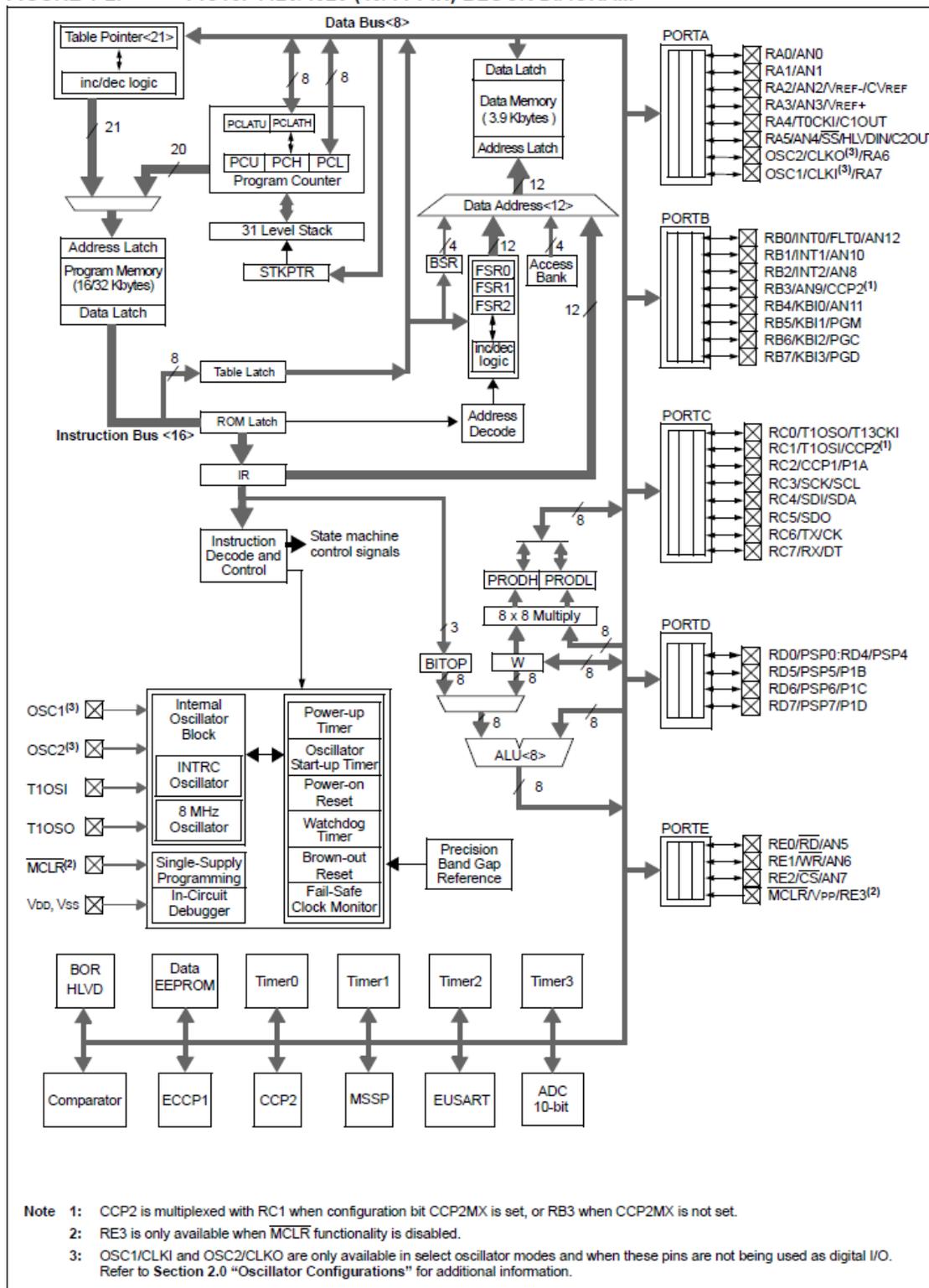
PIC18F2420/2520/4420/4520

TABLE 1-1: DEVICE FEATURES

Features	PIC18F2420	PIC18F2520	PIC18F4420	PIC18F4520
Operating Frequency	DC – 40 MHz			
Program Memory (Bytes)	16384	32768	16384	32768
Program Memory (Instructions)	8192	16384	8192	16384
Data Memory (Bytes)	768	1536	768	1536
Data EEPROM Memory (Bytes)	256	256	256	256
Interrupt Sources	19	19	20	20
I/O Ports	Ports A, B, C, (E)	Ports A, B, C, (E)	Ports A, B, C, D, E	Ports A, B, C, D, E
Timers	4	4	4	4
Capture/Compare/PWM Modules	2	2	1	1
Enhanced Capture/Compare/PWM Modules	0	0	1	1
Serial Communications	MSSP, Enhanced USART	MSSP, Enhanced USART	MSSP, Enhanced USART	MSSP, Enhanced USART
Parallel Communications (PSP)	No	No	Yes	Yes
10-bit Analog-to-Digital Module	10 Input Channels	10 Input Channels	13 Input Channels	13 Input Channels
Resets (and Delays)	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST), MCLR (optional), WDT	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST), MCLR (optional), WDT	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST), MCLR (optional), WDT	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST), MCLR (optional), WDT
Programmable High/Low-Voltage Detect	Yes	Yes	Yes	Yes
Programmable Brown-out Reset	Yes	Yes	Yes	Yes
Instruction Set	75 Instructions; 83 with Extended Instruction Set enabled	75 Instructions; 83 with Extended Instruction Set enabled	75 Instructions; 83 with Extended Instruction Set enabled	75 Instructions; 83 with Extended Instruction Set enabled
Packages	28-pin PDIP 28-pin SOIC 28-pin QFN	28-pin PDIP 28-pin SOIC 28-pin QFN	40-pin PDIP 44-pin QFN 44-pin TQFP	40-pin PDIP 44-pin QFN 44-pin TQFP

PIC18F2420/2520/4420/4520

FIGURE 1-2: PIC18F4420/4520 (40/44-PIN) BLOCK DIAGRAM



PIC18F2420/2520/4420/4520

TABLE 1-2: PIC18F2420/2520 PINOUT I/O DESCRIPTIONS (CONTINUED)

Pin Name	Pin Number		Pin Type	Buffer Type	Description
	PDIP, SOIC	QFN			
RA0/AN0	2	27	I/O	TTL	PORTA is a bidirectional I/O port. Digital I/O. Analog input 0.
RA0			I	Analog	
AN0					
RA1/AN1	3	28	I/O	TTL	Digital I/O. Analog input 1.
RA1			I	Analog	
AN1					
RA2/AN2/VREF-/CVREF	4	1	I/O	TTL	Digital I/O. Analog input 2. A/D reference voltage (low) input. Comparator reference voltage output.
RA2			I	Analog	
AN2			I	Analog	
VREF- CVREF			O	Analog	
RA3/AN3/VREF+	5	2	I/O	TTL	Digital I/O. Analog input 3. A/D reference voltage (high) input.
RA3			I	Analog	
AN3			I	Analog	
VREF+					
RA4/T0CKI/C1OUT	6	3	I/O	ST	Digital I/O. Timer0 external clock input. Comparator 1 output.
RA4			I	ST	
T0CKI					
C1OUT			O	—	
RA5/AN4/ \overline{SS} /HLVDIN/ C2OUT	7	4	I/O	TTL	Digital I/O. Analog input 4. SPI™ slave select input. High/Low-Voltage Detect input. Comparator 2 output.
RA5			I	Analog	
AN4			I	TTL	
\overline{SS}			I	TTL	
HLVDIN			I	Analog	
C2OUT			O	—	
RA6					See the OSC2/CLKO/RA6 pin.
RA7					See the OSC1/CLKI/RA7 pin.

Legend: TTL = TTL compatible input
 ST = Schmitt Trigger input with CMOS levels
 O = Output
 CMOS = CMOS compatible input or output
 I = Input
 P = Power

Note 1: Default assignment for CCP2 when configuration bit CCP2MX is set.
Note 2: Alternate assignment for CCP2 when configuration bit CCP2MX is cleared.

ANEXO G: Hoja de dato del N6039G.

(PNP) 2N6034, 2N6035, 2N6036; (NPN) 2N6038, 2N6039

Plastic Darlington Complementary Silicon Power Transistors

Plastic Darlington complementary silicon power transistors are designed for general purpose amplifier and low-speed switching applications.

Features

- ESD Ratings: Machine Model, C; > 400 V
Human Body Model, 3B; > 8000 V
- Epoxy Meets UL 94 V-0 @ 0.125 in
- Pb-Free Packages are Available*

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector-Emitter Voltage 2N6034 2N6035, 2N6038 2N6036, 2N6039	V_{CE0}	40 60 80	Vdc
Collector-Base Voltage 2N6034 2N6035, 2N6038 2N6036, 2N6039	V_{CBO}	40 60 80	Vdc
Emitter-Base Voltage	V_{EBO}	5.0	Vdc
Collector Current Continuous Peak	I_C	4.0 8.0	Adc Apk
Base Current	I_B	100	mAdc
Total Device Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	40 320	W mW/°C
Total Device Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	1.5 12	W mW/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-65 to +150	°C

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction-to-Case	$R_{\theta JC}$	3.12	°C/W
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	$R_{\theta JA}$	83.3	°C/W

Stresses exceeding Maximum Ratings may damage the device. Maximum Ratings are stress ratings only. Functional operation above the Recommended Operating Conditions is not implied. Extended exposure to stresses above the Recommended Operating Conditions may affect device reliability.

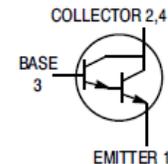
*For additional information on our Pb-Free strategy and soldering details, please download the ON Semiconductor Soldering and Mounting Techniques Reference Manual, SOLDERRM/D.



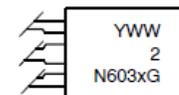
ON Semiconductor®

<http://onsemi.com>

4.0 AMPERES DARLINGTON COMPLEMENTARY SILICON POWER TRANSISTORS 40, 60, 80 VOLTS, 40 WATTS



MARKING DIAGRAM



Y = Year
WW = Work Week
2N603x = Device Code
x = 4, 5, 6, 8, 9
G = Pb-Free Package

ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 5 of this data sheet.

(PNP) 2N6034, 2N6035, 2N6036; (NPN) 2N6038, 2N6039

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_C = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit
OFF CHARACTERISTICS				
Collector–Emitter Sustaining Voltage ($I_C = 100\text{ mAdc}$, $I_B = 0$)	$V_{CE(sus)}$			Vdc
		40	–	
		60	–	
		80	–	
Collector–Cutoff Current ($V_{CE} = 40\text{ Vdc}$, $I_B = 0$)	I_{CEO}	–	100	μA
		–	100	
		–	100	
Collector–Cutoff Current ($V_{CE} = 40\text{ Vdc}$, $V_{BE(off)} = 1.5\text{ Vdc}$)	I_{CEX}	–	100	μA
		–	100	
		–	100	
		–	100	
		–	500	
		–	500	
		–	500	
Collector–Cutoff Current ($V_{CB} = 40\text{ Vdc}$, $I_E = 0$)	I_{CBO}	–	0.5	mAdc
		–	0.5	
		–	0.5	
Emitter–Cutoff Current ($V_{BE} = 5.0\text{ Vdc}$, $I_C = 0$)	I_{EBO}	–	2.0	mAdc
ON CHARACTERISTICS				
DC Current Gain ($I_C = 0.5\text{ Adc}$, $V_{CE} = 3.0\text{ Vdc}$)	h_{FE}	500	–	–
		750	15,000	
		100	–	
Collector–Emitter Saturation Voltage ($I_C = 2.0\text{ Adc}$, $I_B = 8.0\text{ mAdc}$)	$V_{CE(sat)}$	–	2.0	Vdc
		–	3.0	
Base–Emitter Saturation Voltage ($I_C = 4.0\text{ Adc}$, $I_B = 40\text{ mAdc}$)	$V_{BE(sat)}$	–	4.0	Vdc
Base–Emitter On Voltage ($I_C = 2.0\text{ Adc}$, $V_{CE} = 3.0\text{ Vdc}$)	$V_{BE(on)}$	–	2.8	Vdc
DYNAMIC CHARACTERISTICS				
Small–Signal Current–Gain ($I_C = 0.75\text{ Adc}$, $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$, $f = 1.0\text{ MHz}$)	$ h_{fe} $	25	–	–
Output Capacitance ($V_{CB} = 10\text{ Vdc}$, $I_E = 0$, $f = 0.1\text{ MHz}$)	C_{ob}	–	200	pF
		–	100	

*Indicates JEDEC Registered Data.

(PNP) 2N6034, 2N6035, 2N6036; (NPN) 2N6038, 2N6039

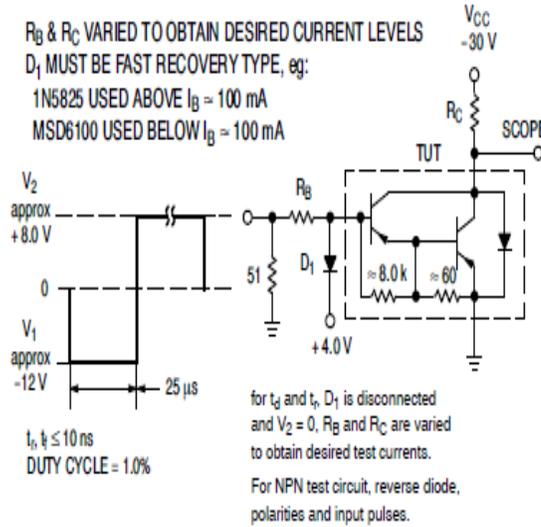


Figure 1. Switching Times Test Circuit

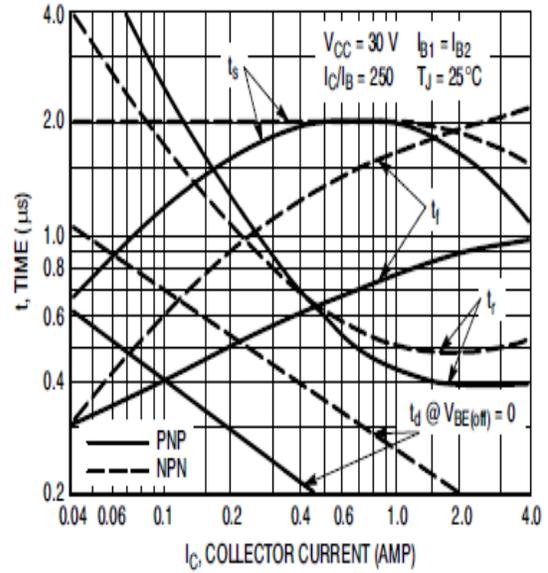


Figure 2. Switching Times

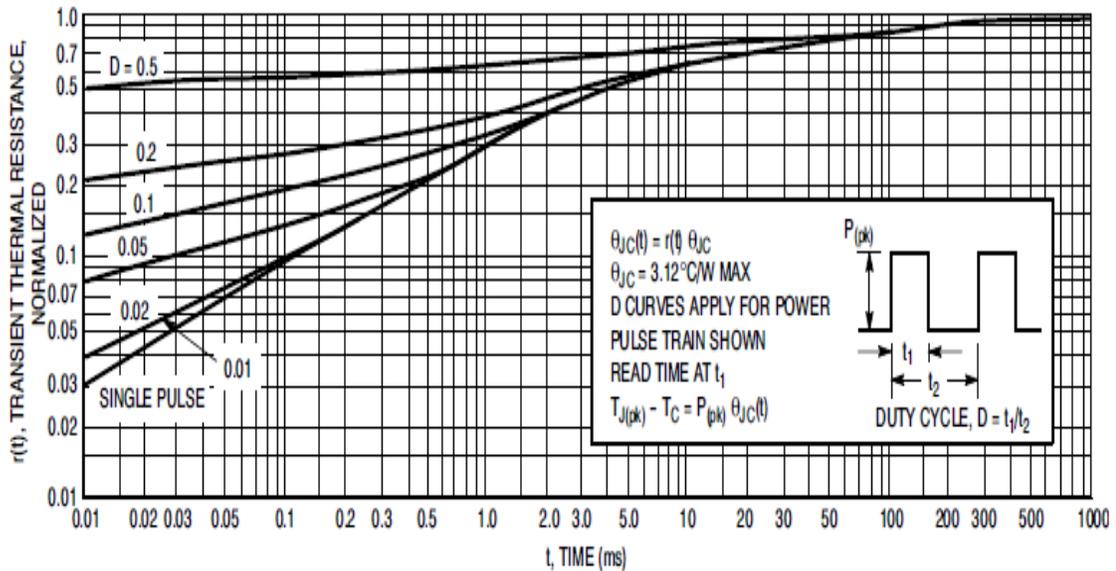
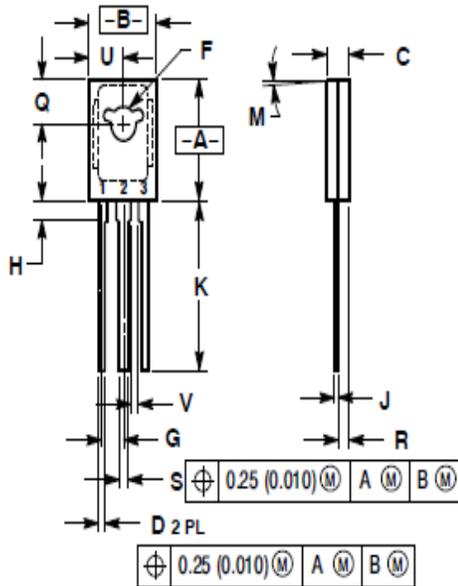


Figure 3. Thermal Response

(PNP) 2N6034, 2N6035, 2N6036; (NPN) 2N6038, 2N6039

PACKAGE DIMENSIONS

TO-225AA
CASE 77-09
ISSUE Z



NOTES:

1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. 077-01 THRU -08 OBSOLETE, NEW STANDARD 077-09.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.425	0.435	10.80	11.04
B	0.295	0.305	7.50	7.74
C	0.095	0.105	2.42	2.66
D	0.020	0.026	0.51	0.66
F	0.115	0.130	2.93	3.30
G	0.094 BSC		2.39 BSC	
H	0.050	0.095	1.27	2.41
J	0.015	0.025	0.39	0.63
K	0.575	0.655	14.61	16.63
M	5° TYP		5° TYP	
Q	0.148	0.158	3.76	4.01
R	0.045	0.065	1.15	1.65
S	0.025	0.035	0.64	0.88
U	0.145	0.155	3.69	3.93
V	0.040	---	1.02	---

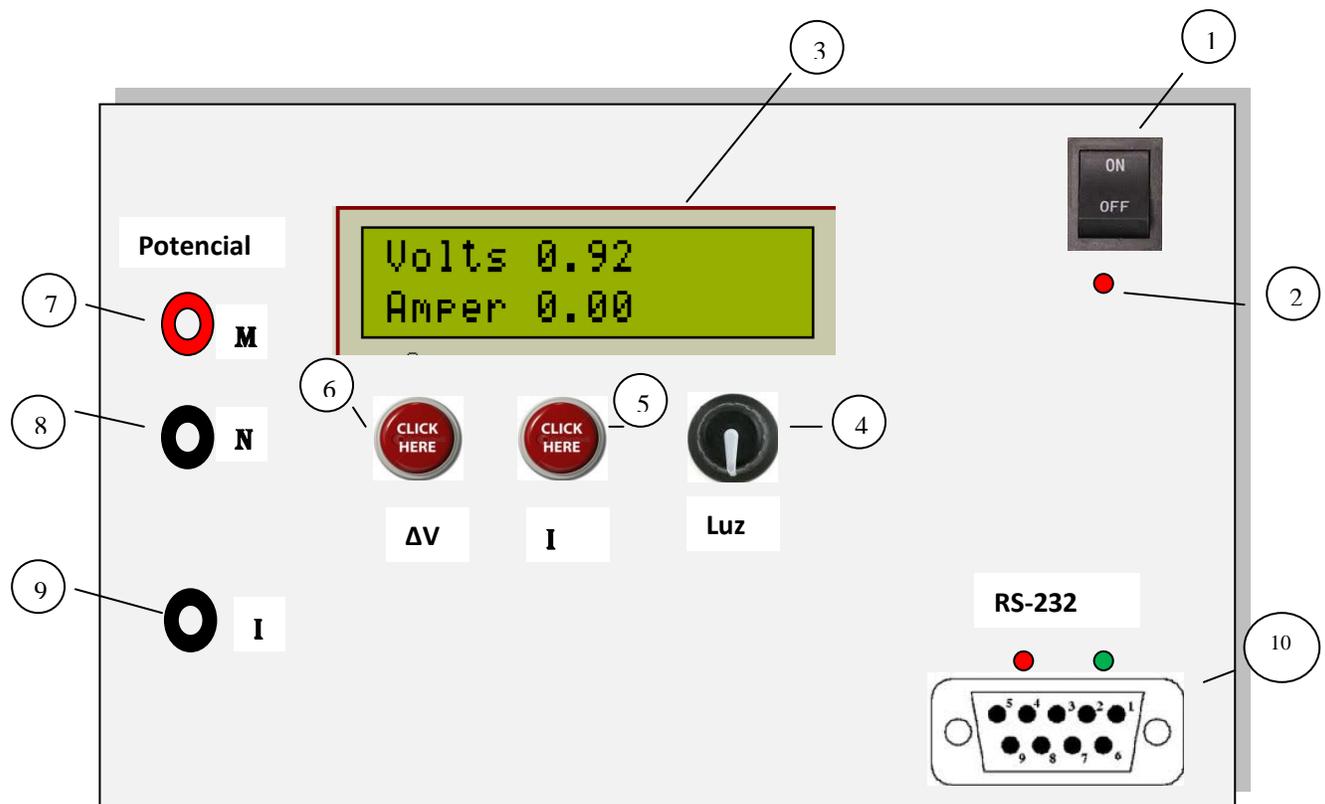
STYLE 1:

- PIN 1. EMITTER
2. COLLECTOR
3. BASE

ANEXO H: Manual de usuario

El operador debe mantener siempre bajo control los cables de los electrodos para evitar accidentes, mientras el sistema está operando. Se recomienda usar equipo de seguridad como zapatos aislantes y guantes para minimizar el riesgo de una descarga eléctrica accidental, y quitarse objetos metálicos de las manos como pulseras o anillo que pudieran presentar un camino de baja impedancia para la corriente eléctrica. Nunca deben hacerse mediciones durante una tormenta con este aparato eléctrico

Controles y terminales. La Figura G.1 muestra los controles del equipo diseñado.



Controles del equipo.

Descripción:

- 1.- Botón de encendido.
- 2.- Indicador de encendido.
- 3.-LCD muestra el voltaje y corriente medido.

- 4.-boton de luz para el LCD.
- 5.-push que captura la corriente a medir.
- 6.-push que captura el voltaje a medir.
- 7.- conector del cable al electrodo de potencial M.
- 8.- conector del cable al electrodo de potencial N.
- 9.- conector del cable para medir corriente.
- 10.- conector RS-232 para la comunicación a la PC,

Una vez logrado conectar el equipo oprima el botón de pulso, para iniciar una lectura. Se ha observado que el potencial natural cambia rápidamente de valor e incluso de polaridad, cuando es negativo no mide el equipo por lo que se debe invertir las terminales, es recomendable tomarse su tiempo para poder anular este parámetro y tomar varias lecturas, en el mismo punto antes de cambiar de posición.

ANEXO I: Programa del Microcontrolador

La programación del PIC se ha desarrollado en el compilador CCS.

En el siguiente código se hace una pequeña explicación del programa.

```
#include <18f4520.h>//declaramos el pic a utilizar
#fuses HS, NOWDT, NOMCLR // se deshabilitan algunas funciones
#use delay(clock=8MHz) //frecuencia del pic
#use rs232(baud = 9600, UART1,xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7)//comunicación rs-232
#include <stdlib.h>//cargamos librerias
#include <lcd.c>// librería del display
// PIN_A0 = CS //nombre de los pines
// PIN_A1 = RW//
//----- Primer escritura -----
//declaración de variables
int8 valor_bits1;
int8 valor_bits2;
float voltaje_medido = 0.0;
float voltaje_medido2 = 0.0;
float corriente = 0.0;
void escritura1 (void)
{ delay_us(5);
output_low(PIN_A1);
delay_us(30);
output_high(PIN_A1);}
//----- segunda escritura para corriente -----
void escritura2 (void){
delay_us(5);
```

```

output_low(PIN_A3);
delay_us(30);
output_high(PIN_A3);}
// ----- programa principal -----
void main (void)
{ lcd_init();
enable_interrupts(INT_RDA);
enable_interrupts(GLOBAL);
output_A(7);
output_high(PIN_A3);
output_high(PIN_A4);
while(true) {
//----- Primer adc -----
if(input(PIN_E0)==1) {
output_low(PIN_A0);
escritura1();
valor_bits1 = input_B(); }
else {
output_high(PIN_A0); }
if (input(PIN_C0)==0) // escalador {
if(valor_bits1 >0) {
voltaje_medido = ((valor_bits1 + 1)/128.0); }
else {
voltaje_medido = 0.0; } }
else {
if(valor_bits1 >0) {
voltaje_medido = (((valor_bits1 + 1)/128.0)*1000); }
else {
voltaje_medido = 0.0;} }
// ----- segundo adc -----
if(input(PIN_E1)==1) {
output_low(PIN_A2);
escritura2();
valor_bits2 = input_B(); }
else {
output_high(PIN_A2); }
if(valor_bits2 >0) {
voltaje_medido2 = ((valor_bits2 + 1)/128.0);
corriente = (voltaje_medido2/1.0); }
else {
corriente = 0.0; }
// ----- muestra a pantalla -----
lcd_gotoxy(1,1);
if (input(PIN_C0)==0)
{printf(lcd_putc,"P= %2.3f V  ", voltaje_medido); }
else
printf(lcd_putc,"P= %3.3f mV", voltaje_medido);

```

```

lcd_gotoxy(1,2);
printf(lcd_putc,"Amper %1.2f ",corriente ); }}
//interrupción por software para la pc
#INT_RDA
void recibe() {
int8 dato = getc();
switch(dato) {
case 'v':
printf("%1.3f\n\r",voltaje_medido);break;
case 'i':
printf("%1.3f\n\r",corriente);break;
default: break;}}

```

Código cargado al Microcontrolador para realizar las siguientes funciones:

- 1.- a través de los pulsadores el pic manda la señal al ADC para la captura de datos, los almacena en una variable y los muestra en el LCD.
- 2.- por medio de la interrupción por software Matlab manda la señal para que el pic envíe los datos de voltaje y corriente.

ANEXO J: Programa de MATLAB

```

function resisitivimetro
s = [];
Voltaje_medido = [];
Corriente_medida = [];
j = 0; k = 0; i = 0;
VI = []; AM = []; AN = [];
V = []; VN = []; DT = [];
I = []; m = []; n = [];
PVN = []; PV = []; PI = [];
d = 0; r = 0; f = 0;
mm = []; nn = [];
K = []; RA = []; PROF = []; DV = [];
DSV = []; DSI = []; DSVN = [];
DSTV = []; DSTI = []; DSTVN = [];
format short;
f = figure('MenuBar','none','name','Resistivimetro 3ER-Pakal-1', 'resize','on',...
'numbertitle','off','position',[240,100,575,450],'Color',[0.82 0.82 0.82]);
% ----- Cajas de textos y Etiquetas -----
PT = uicontrol('Style','text', 'fontsize',12, 'position',[280,400,68,20],...
'ForegroundColor','black','FontWeight','bold',...
'string','Puerto:');
PE = uicontrol('Style','edit', 'fontsize',12, 'position',[360,400,78,20],...
'BackgroundColor','white','ForegroundColor','black','FontWeight','bold',...

```

```

'string','COM1');
NMT = uicontrol('Style','text', 'fontsize',12, 'position',[262,370,150,20],...
'ForegroundColor','black','FontWeight','bold',...
'string','No. Muestras:');
NME = uicontrol('Style','edit', 'fontsize',12, 'position',[400,370,38,20],...
'BackgroundColor','white','ForegroundColor','black','FontWeight','bold',...
'string','3');
NMTR = uicontrol('Style','text', 'fontsize',12, 'position',[235,350,160,20],...
'ForegroundColor','black','FontWeight','bold',...
'string','Muestras Realizada:');
MER = uicontrol('Style','edit', 'fontsize',12, 'position',[400,350,38,20],...
'BackgroundColor','white','ForegroundColor','black','FontWeight','bold');
RTV = uicontrol('Style','text', 'fontsize',12, 'position',[60,400,78,20],...
'ForegroundColor','black','FontWeight','bold',...
'string','Potencial:');
REV = uicontrol('Style','edit', 'fontsize',12, 'position',[150,400,78,20],...
'BackgroundColor','white','ForegroundColor','black','FontWeight','bold');
RTVMSG = uicontrol('Style','text', 'fontsize',12, 'position',[230,400,30,20],...
'ForegroundColor','black','FontWeight','bold',...
'string','mV','Visible','off');
RTI = uicontrol('Style','text', 'fontsize',12, 'position',[58,370,90,20],...
'ForegroundColor','black','FontWeight','bold',...
'string','Intensidad:');
REI = uicontrol('Style','edit', 'fontsize',12, 'position',[150,370,78,20],...
'BackgroundColor','white','ForegroundColor','black','FontWeight','bold');
AMT = uicontrol('Style','text', 'fontsize',12, 'position',[60,320,30,20],...
'ForegroundColor','black','FontWeight','bold',...
'string','AM:');
AME = uicontrol('Style','edit', 'fontsize',12, 'position',[100,320,78,20],...
'BackgroundColor','white','ForegroundColor','black','FontWeight','bold');
ANT = uicontrol('Style','text', 'fontsize',12, 'position',[60,290,30,20],...
'ForegroundColor','black','FontWeight','bold',...
'string','AN:');
ANE = uicontrol('Style','edit', 'fontsize',12, 'position',[100,290,78,20],...
'BackgroundColor','white','ForegroundColor','black','FontWeight','bold');
BP = uicontrol('Style','PushButton','fontsize',14,'string','Procesar',...
'position',[320,290,100,50],...
'callback',@procesar);
% ----- Boton para cargar Distancias -----
BD = uicontrol('Style','PushButton','fontsize',14,'string','Cargar',...
'position',[190,290,100,50],'enable','off',...
'callback',@cargar);
% ----- Botones de la ventana -----
BMG = uicontrol('Style','PushButton','string','GUARDAR','position',[80,30,100,20],...
'enable','off','callback',@guardar);
BMA = uicontrol('Style','PushButton','string','ABRIR','position',[180,30,100,20],...
'KeyPressFcn','A','callback',@abrir);

```

```

% ----- Botones de la tabla V N -----
BCAVN = uicontrol('Style','PushButton','string','CAPTURAR','position',[60,110,100,20],...
'enable','off','callback',@capturaVN);
BBVN = uicontrol('Style','PushButton','string','BORRAR
MUESTRA','position',[60,90,100,20],...
'enable','off','callback',@borrarVN);
BBTVN = uicontrol('Style','PushButton','string','BORRAR
TODO','position',[60,70,100,20],...
'enable','off','callback',@borrarTVN);
% ----- Botones de la tabla V -----
BCAV = uicontrol('Style','PushButton','string','CAPTURAR','position',[237,110,100,20],...
'enable','off','callback',@capturaV);
BBV = uicontrol('Style','PushButton','string','BORRAR
MUESTRA','position',[237,90,100,20],...
'enable','off','callback',@borrarV);
BBTV = uicontrol('Style','PushButton','string','BORRAR
TODO','position',[237,70,100,20],...
'enable','off','callback',@borrarTV);
% ----- Botones de la tabla I -----
BCAI = uicontrol('Style','PushButton','string','CAPTURAR','position',[410,110,100,20],...
'enable','off','callback',@capturaI);

BBI = uicontrol('Style','PushButton','string','BORRAR
MUESTRA','position',[410,90,100,20],...
'enable','off','callback',@borrarI);
BBTI = uicontrol('Style','PushButton','string','BORRAR
TODO','position',[410,70,100,20],...
'enable','off','callback',@borrarTI);
% ----- Botones de conexion -----
BCO = uicontrol('Style','PushButton','string','CONECTAR','position',[280,30,100,20],...
'callback',@conectar);
BDC =
uicontrol('Style','PushButton','string','DESCONECTAR','position',[380,30,100,20],...
'enable','off','callback',@desconectar);

% ----- formacion de tabla -----
TXVN = uicontrol('Style','text','fontsize',12,'position',[38,255,150,20],...
'ForegroundColor','black','FontWeight','bold',...
'string','Voltaje Natural');
TBVN = uitable('Position',[50 165 125 90],'ColumnWidth',{75});

DTVN = uicontrol('Style','text','fontsize',12,'position',[50,140,30,20],...
'ForegroundColor','black','FontWeight','bold',...
'string','DS:');
DEVN = uicontrol('Style','edit','fontsize',12,'position',[85,140,78,20],...
'BackgroundColor','white','ForegroundColor','black','FontWeight','bold');
TXV = uicontrol('Style','text','fontsize',12,'position',[240,255,78,20],...

```

```

'ForegroundColor','black','FontWeight','bold',...
'string','Potencial');
TBV = uitable('Position',[225 165 125 90],'ColumnWidth',{75});
DTV = uicontrol('Style','text','fontsize',12,'position',[225,140,30,20],...
'ForegroundColor','black','FontWeight','bold',...
'string','DS:');
DEV = uicontrol('Style','edit','fontsize',12,'position',[260,140,78,20],...
'BackgroundColor','white','ForegroundColor','black','FontWeight','bold');
TXI = uicontrol('Style','text','fontsize',12,'position',[415,255,80,20],...
'ForegroundColor','black','FontWeight','bold',...
'string','Intensidad');
TBI = uitable('Position',[400 165 125 90],'ColumnWidth',{75});
DTI = uicontrol('Style','text','fontsize',12,'position',[400,140,30,20],...
'ForegroundColor','black','FontWeight','bold',...
'string','DS:');
DEI = uicontrol('Style','edit','fontsize',12,'position',[435,140,78,20],...
'BackgroundColor','white','ForegroundColor','black','FontWeight','bold');
% ----- FUNCIONES -----
function conectar(Objeto,Evento)
delete(instrfind);
p = get(PE,'string');
s = serial(p);
n = str2num(get(NME,'string'));
m = n + 1;
V = zeros(n,1);
I = zeros(n,1);
VN = zeros(n,1);
DSVN = ones(n,1);
DSV = ones(n,1);
DSI = ones(n,1);
fopen(s);
set(BDC,'enable','on');
set(BCO,'enable','off');
set(BMG,'enable','off');
set(BD,'enable','on');
set(TBV,'data', V);
set(TBI,'data', I);
set(TBVN,'data', VN);
end
function desconectar(Objeto,Evento)
fclose(s);
delete(instrfind);
set(BCO,'enable','on');
set(BDC,'enable','off');
set(BCAV,'enable','off');
set(BCAI,'enable','off');
set(BMG,'enable','off');

```

```

set(BCAVN,'enable','off');
end
% ----- Funcion Para Pedir Voltaje Natural -----
function capturaVN(Objeto,Evento)
fwrite(s,'v');
A = fgetl(s);
D = str2num(fgetl(s));
if D == 0
set(REV,'string', A );
set(RTVMSG,'Visible','off');
Voltaje_medido =str2num(A);
else
set(REV,'string', A );
set(RTVMSG,'Visible','on');
Voltaje_medido =(str2num(A))/1000;
end
k = k+1;
if k < m
set(NMER,'string',num2str(k));
VN(k,1)= Voltaje_medido;
set(TBVN,'data', VN);
end
set(BBVN,'enable','on')
set(BBTVN,'enable','on')
if k == n
msgbox('Las muestras V N han sido capturado','Captura Finalizada');
set(BCAVN,'enable','off');
DSTVN = std(VN);
if DSTVN <= 0.001
DSTVN = 0;
end
set(DEVN,'string',num2str(DSTVN));
DSVN = ones(n,1)* DSTVN;
if j == n
set(BCAV,'enable','off');
else
set(BCAV,'enable','on');
end
end
end
end
% ----- Borrar muestra V N -----
function borrarVN(Objeto,Evento)
VN(k,1)= 0.0;
set(TBVN,'data', VN);
set(BCAVN,'enable','on');
set(BCAV,'enable','off');
set(REV,'string',' ');

```

```

if k == 1
set(BBVN,'enable','off');
set(BBTVN,'enable','off');
end
if k == n
DSTVN = 0;
set(DEVN,'string',' ');
DSVN = zeros(n,1);
end
k = k - 1;
set(NMER,'string',num2str(k));
end
% ----- Borrar todas la muestras VN -----
function borrarTVN(Objeto,Evento)
VN = zeros(n,1);
set(TBVN,'data', VN);
set(BCAVN,'enable','on');
set(BCAV,'enable','off');
if k == n
if k == n
DSTVN = 0;
set(DEVN,'string',' ');
DSVN = zeros(n,1);
end
set(BCAVN,'enable','on');
set(BCAV,'enable','off');
set(BBVN,'enable','off');
set(BBTVN,'enable','off');
set(REV,'string',' ');
end
k = 0;
set(NMER,'string',num2str(k));
end
% ----- Funcion Para Pedir Voltaje -----
function capturaV(Objeto,Evento)
fwrite(s,'v');
A = fgetl(s);
D = str2num(fgetl(s));
if D == 0
set(REV,'string', A );
set(RTVMSG,'Visible','off');
Voltaje_medido =str2num(A);
else
set(REV,'string', A );
set(RTVMSG,'Visible','on');
Voltaje_medido =(str2num(A))/1000;
end

```

```

j = j+1;
if j < m
set(NMER,'string',num2str(j));
V(j,1)= Voltaje_medido;
set(TBV,'data', V);
end
set(BBV,'enable','on');
set(BBTV,'enable','on');
if j == n
msgbox('Las muestras han sido capturado','Captura Finalizada');
set(BCAV,'enable','off');
DSTV = std(V);
if DSTV <= 0.001
DSTV = 0;
end
set(DEV,'string',num2str(DSTV));
DSV = ones(n,1)* DSTV;
if i == n
set(BCAI,'enable','off');
else
set(BCAI,'enable','on');
end
end
end
end
% ----- Borrar muestra de Voltaje -----
function borrarV(Objeto,Evento)
V(j,1)= 0.0;
set(TBV,'data', V);
set(BCAV,'enable','on');
set(BCAI,'enable','off');
set(REI,'string',' ');
if j == 1
set(BBV,'enable','off');
set(BBTV,'enable','off');
end
if j == n
DSTV = 0;
set(DEV,'string',' ');
DSV = zeros(n,1);
end
j = j - 1;
set(NMER,'string',num2str(j));
end
% ----- Borrar todas las muestras V -----
function borrarTV(Objeto,Evento)
V = zeros(n,1);
set(TBV,'data', V);

```

```

if j == n
DSTV = 0;
set(DEV,'string',' ');
DSV = zeros(n,1);
set(BCAV,'enable','on');
set(BCAI,'enable','off');
set(BBV,'enable','off');
set(BBTV,'enable','off');
set(REI,'string',' ');
end
j = 0;
set(NMER,'string',num2str(j));
end
% ----- Funcion Para Pedir Intensidad -----

function captural(Objeto,Evento)
fwrite(s,'i');
Corriente_medida = str2num(fgetl(s));
set(REI,'string',num2str(Corriente_medida));
B = get(REI,'string');
Corriente_medida =str2num(B);
i = i+1;
if i < m
set(NMER,'string',num2str(i));
I(i,1)= Corriente_medida;
set(TBI,'data', I);
end
set(BBI,'enable','on')
set(BBTI,'enable','on')
if i == n
DSTI = std(I);
if DSTI <= 0.001
DSTI = 0;
end
set(DEI,'string',num2str(DSTI));
DSI = ones(n,1)* DSTI;

msgbox('Las muestras han sido capturado','Captura Finalizada');
set(BCAI,'enable','off');
set(BMG,'enable','on');
end
end
% ----- Borrar muestra de Intensidad -----
function borrarI(Objeto,Evento)
I(i,1)= 0.0;
set(TBI,'data', I);
set(BCAI,'enable','on');

```

```

set(REI,'string',' ');
if i == 1
set(BBI,'enable','off');
set(BBTI,'enable','off');
end
if i == n
DSTI = 0;
set(DEI,'string',' ');
DSI = zeros(n,1);
end
i = i - 1;
set(NMER,'string',num2str(i));
end
% ----- Borrar todas las muestras I -----
function borrarTI(Objeto,Evento)
I = zeros(n,1);
set(TBI,'data', I);
if i == n
DSTI = 0;
set(DEI,'string',' ');
DSI = zeros(n,1);
set(BCAI,'enable','on');
set(BBI,'enable','off');
set(BBTI,'enable','off');
set(REI,'string',' ');
end
i = 0;
set(NMER,'string',num2str(i));
end
% ----- Funcion Guardar -----
function guardar(Objeto,Evento)
DT = [VN V I AM AN DSVN DSV DSI];
[nombre, ruta] = uiputfile({'*.txt','*.mat'}, 'Selecciona un destino');
if isequal(nombre,0)
return
else
save([ruta,nombre],'DT','-ASCII');
set(REV,'string',' ');
set(REI,'string',' ');
V = zeros(n,1);
VN = zeros(n,1);
I = zeros(n,1);
k = 0;
j = 0;
i = 0;
set(TBV,'data', V);
set(TBVN,'data', VN);

```

```

set(TBI,'data', I);
set(BMG,'enable','off');
set(BCAVN,'enable','on');
set(BCAI,'enable','off');
set(BCAVN,'enable','off');
set(AME,'string',' ');
set(ANE,'string',' ');
set(DEVN,'string',' ');
set(DEV,'string',' ');
set(DEI,'string',' ');
end
end
% ----- Abrir archivo -----
function abrir(objeto,evento)

[nombre ruta] = uigetfile({'*.txt'}, 'Selecciona un origen');
if isequal(nombre,0)
return
else
[VN V I AM AN DSVN DSV DSI] = textread([ruta,nombre], '%f %f %f %f %f %f %f');
set(TBV,'data', V);
set(TBI,'data', I);
set(TBVN,'data', VN);
DSTVN = DSVN(1,1);
DSTV = DSV(1,1);
DSTI = DSI(1,1);
set(DEVN,'string',num2str(DSTVN));
set(DEV,'string',num2str(DSTV));
set(DEI,'string',num2str(DSTI));
end
end
% ----- Cargar Distancias -----
function cargar(objeto,evento)
AMA = str2num(get(AME,'string'));
ANA = str2num(get(ANE,'string'));
if ANA > AMA
AM = ones(n,1)*AMA;
AN = ones(n,1)*ANA;
set(BCAVN,'enable','on');
else
msgbox('Distancias INCORRECTA','Distancias');
set(BCAVN,'enable','off');
end
end
% ----- crea la ventana de para el procesos de los datos -----
function procesar(objeto,evento)

```

```

fp =figure('MenuBar','none','name','Resistivimetro 3ER-Pakal-1', 'resize','on',...
'numbertitle','off','position',[230,70,675,450]);
% ----- Creacion de tablas con sus etiquetas -----
PTVN = uicontrol('Style','text','fontsize',12,'position',[50,420,120,20],...
'ForegroundColor','black','FontWeight','bold',...
'string','Voltaje Natural');
PTBVN = uitable('Position',[50 320 125 90],'ColumnWidth',{75});
PTV = uicontrol('Style','text','fontsize',12,'position',[200,420,120,20],...
'ForegroundColor','black','FontWeight','bold',...
'string','Potencial');
PTBV = uitable('Position',[200 320 125 90],'ColumnWidth',{75});
PTI = uicontrol('Style','text','fontsize',12,'position',[350,420,120,20],...
'ForegroundColor','black','FontWeight','bold',...
'string','Intensidad');
PTBI = uitable('Position',[350 320 125 90],'ColumnWidth',{75});
PTAM = uicontrol('Style','text','fontsize',12,'position',[500,420,120,20],...
'ForegroundColor','black','FontWeight','bold',...
'string','Distancia AM');
PTBAM = uitable('Position',[500 320 125 90],'ColumnWidth',{75});
PTK = uicontrol('Style','text','fontsize',12,'position',[50,175,130,20],...
'ForegroundColor','black','FontWeight','bold',...
'string','Cof. Geométrico');
PTBK = uitable('Position',[50 80 125 90],'ColumnWidth',{75});
PTRA = uicontrol('Style','text','fontsize',12,'position',[200,175,130,20],...
'ForegroundColor','black','FontWeight','bold',...
'string','Resistividad');
PTBRA = uitable('Position',[200 80 125 90],'ColumnWidth',{75});
PTPROF = uicontrol('Style','text','fontsize',12,'position',[350,175,130,20],...
'ForegroundColor','black','FontWeight','bold',...
'string','Profundidad');
PTPROF = uitable('Position',[350 80 125 90],'ColumnWidth',{75});
PTAN = uicontrol('Style','text','fontsize',12,'position',[500,175,130,20],...
'ForegroundColor','black','FontWeight','bold',...
'string','Distancia AN');
PTBAN = uitable('Position',[500 80 125 90],'ColumnWidth',{75});
% ----- Creacion de Botones -----
PBMA = uicontrol('Style','PushButton','string','ABRIR','position',[80,20,100,20],...
'enable','off','callback',@aabrir);

PBMGP = uicontrol('Style','PushButton','string','GUARDAR
PROCESO','position',[180,20,120,20],...
'enable','off','callback',@guardarP);
PBBP = uicontrol('Style','PushButton','string','BORRAR
PROCESO','position',[300,20,120,20],...
'enable','off','callback',@BorrarP);
PBGF = uicontrol('Style','PushButton','string','GRAFICAR','position',[420,20,80,20],...
'enable','On','callback',@grafica);

```

```

PBPD = uicontrol('Style','PushButton','string','PROCESAR','position',[500,20,80,20],...
'enable','off','callback',@procesaar);
PBNP = uicontrol('Style','PushButton','string','CARGAR','position',[505,235,80,20],...
'enable','on','callback',@Ndatos);
% ----- Creacion de Los Radio Button -----
% ----- Radio boton para Voltaje Natural -----
PRGVN = uibuttongroup('visible','on','Position',[.08 .45 .15 .16]);
PROMVN = uicontrol('Style','Radio','String','Promedio',...
'pos',[5 45 80 20],'parent',PRGVN,'HandleVisibility','off');
PMEDVN = uicontrol('Style','Radio','String','Mediana',...
'pos',[5 25 80 20],'parent',PRGVN,'HandleVisibility','off');
PMODVN = uicontrol('Style','Radio','String','Moda',...
'pos',[5 5 80 20],'parent',PRGVN,'HandleVisibility','off');
% ----- Radio boton para potencial -----
PRGV = uibuttongroup('visible','on','Position',[.3 .45 .15 .16]);
PROMV = uicontrol('Style','Radio','String','Promedio',...
'pos',[5 45 80 20],'parent',PRGV,'HandleVisibility','off');
PMEDV = uicontrol('Style','Radio','String','Mediana',...
'pos',[5 25 80 20],'parent',PRGV,'HandleVisibility','off');
PMODV = uicontrol('Style','Radio','String','Moda',...
'pos',[5 5 80 20],'parent',PRGV,'HandleVisibility','off');
% ----- Radio boton para Intensidad -----
PRGI = uibuttongroup('visible','on','Position',[.53 .45 .15 .16]);
PROMI = uicontrol('Style','Radio','String','Promedio',...
'pos',[5 45 80 20],'parent',PRGI,'HandleVisibility','off');
PMEDI = uicontrol('Style','Radio','String','Mediana',...
'pos',[5 25 80 20],'parent',PRGI,'HandleVisibility','off');
PMODI = uicontrol('Style','Radio','String','Moda',...
'pos',[5 5 80 20],'parent',PRGI,'HandleVisibility','off');
% ----- Creacion de edit para proceso -----
PEPVN = uicontrol('Style','edit','fontsize',12,'position',[65,290,78,20],...
'BackgroundColor','white','ForegroundColor','black','FontWeight','bold');
PEPV = uicontrol('Style','edit','fontsize',12,'position',[215,290,78,20],...
'BackgroundColor','white','ForegroundColor','black','FontWeight','bold');
PEPI = uicontrol('Style','edit','fontsize',12,'position',[365,290,78,20],...
'BackgroundColor','white','ForegroundColor','black','FontWeight','bold');
PTNP = uicontrol('Style','text','fontsize',12,'position',[500,290,90,20],...
'ForegroundColor','black','FontWeight','bold',...
'string','No. Puntos');
PENP = uicontrol('Style','edit','fontsize',12,'position',[505,260,78,20],...
'BackgroundColor','white','ForegroundColor','black','FontWeight','bold');

function aabrir(objeto,evento)
[nombre ruta] = uigetfile({'*.txt'}, 'Selecciona un origen');
if isequal(nombre,0)
return
else

```

```

[VN V I AM AN DSVN DSV DSI] = textread([ruta,nombre], '%f %f %f %f %f %f %f %f');
set(PTBV,'data', V);
set(PTBI,'data', I);
set(PTBVN,'data', VN);
set(PTBAM,'data', AM);
set(PTBAN,'data', AN);
set(PBPD,'enable','on');
end
end

```

```

function procesaar(objeto,evento)
% ----- Procesamiento de los datos VN -----
d = d + 1;
if d < mm
BTNPVN = (get(PROMVN,'value')); % Radio promedio
BTNMVN = (get(PMEDVN,'value')); % Radio mediana
BTNMOVN = (get(PMODVN,'value')); % Radio moda
if BTNPVN == 1
PRMVN = mean(VN);
PVN(d,1) = PRMVN;
set(PEPVN,'string',num2str(PRMVN));
elseif BTNMVN == 1
PRMEVN = median(VN);
PVN(d,1) = PRMEVN;
set(PEPVN,'string',num2str(PRMEVN));
elseif BTNMOVN == 1
PRMOVN = mode(VN);
PVN(d,1) = PRMOVN;
set(PEPVN,'string',num2str(PRMOVN));
end

```

```

% ----- Procesamiento de los datos V -----
BTNPV = (get(PROMV,'value')); % Radio promedio
BTNMOV = (get(PMEDV,'value')); % Radio mediana
BTNMOV = (get(PMODV,'value')); % Radio moda
if BTNPV == 1
PRMV = mean(V);
PV(d,1) = PRMV;
set(PEPV,'string',num2str(PRMV));
elseif BTNMOV == 1
PRMEV = median(V);
PV(d,1) = PRMEV;
set(PEPV,'string',num2str(PRMEV));
elseif BTNMOV == 1
PRMOV = mode(V);
PV(d,1) = PRMOV;
set(PEPV,'string',num2str(PRMOV));

```

```

end
% ----- Procesamiento de los datos I -----
BTNPI = (get(PROMI,'value')); % Radio promedio
BTNMI = (get(PMEDI,'value')); % Radio mediana
BTNMOI = (get(PMODI,'value')); % Radio moda
if BTNPI == 1
PRMI = mean(I);
PI(d,1) = PRMI;
set(PEPI,'string',num2str(PRMI));
elseif BTNMI == 1
PRMEI = median(I);
PI(d,1) = PRMEI;
set(PEPI,'string',num2str(PRMEI));
elseif BTNMOI == 1
PRMOI = mode(I);
PI(d,1) = PRMOI;
set(PEPI,'string',num2str(PRMOI));
end
% ----- Calculo de los parametros -----
PAM = AM(1,1); % proceso de distancia AM
PAN = AN(1,1); % proceso de distancia AN
PPN = PVN(d,1); % Proceso de VN
PP = PV(d,1); % Proceso de V
PC = PI(d,1); % Proceso de I

K(d,1) = (pi * PAM * PAN)/(PAN-PAM); % MATRIZ K
set(PTBK,'data', K);
PK = K(d,1);
DV(d,1) = PP - PPN; % Matriz DV resta de PN y PI
DP = DV(d,1);
RA(d,1) = (DP /PC)*PK; % Matriz RA
set(PTBRA,'data',RA);
MN =PAN - PAM;
AB = (2*PAM)+MN;
PROF(d,1)=-AB/2; % Matriz Prof
set(PTPROF,'data',PROF);
set(PBMGP,'enable','on');
set(PBBP,'enable','on')
end
if d == nn
set(PBGF,'enable','on');
end
end
% ----- Funcion que ingrsas los numeros puntos a procesar -----
function Ndatos(Objeto,Evento)
nn = str2num(get(PENP,'string'));
mm = nn + 1;

```

```

PVN =zeros(nn,1);
PV =zeros(nn,1);
PI =zeros(nn,1);
K = zeros(nn,1);
RA = zeros(nn,1);
PROF = zeros(nn,1);
DV = zeros(nn,1);
set(PTBK,'data', K);
set(PTPROF,'data', PROF);
set(PTBRA,'data', RA);
set(PBMA,'enable','on');
end
function guardarP(Objeto,Evento)
DTP = [PVN PV PI DV K RA PROF ];
[nombre, ruta] = uiputfile({'*.txt';*.mat'}, 'Selecciona un destino');
if isequal(nombre,0)
return
else
save([ruta,nombre],'DTP','-ASCII');

end
end
function BorrarP(Objeto,Evento)
PVN =zeros(nn,1);
PV =zeros(nn,1);
PI =zeros(nn,1);
K = zeros(nn,1);
RA = zeros(nn,1);
PROF = zeros(nn,1);
DV = zeros(nn,1);
set(PTBK,'data', K);
set(PTPROF,'data', PROF);
set(PTBRA,'data', RA);
d = 0;
set(PBMGP,'enable','off');
set(PBBP,'enable','off')
end
function grafica(Objeto,Evento)
fg = figure('units','pixels','MenuBar','none','name','Resistivimetro 3ER-Pakal-1 (Grafica)',
'resize','on',...
'numbertitle','off','position',[250,140,480,400]);
SLDPROF = uicontrol(gcf, 'style', 'slider', 'enable','on', 'Min', 0, 'Max',1000, 'Position',
[30,80,20,300],...
'SliderStep',[0.0001 0.0006],'callback',@valorprof);
SLDRA = uicontrol(gcf, 'style', 'slider', 'enable','on', 'Min',0 , 'Max',10000, 'Position',
[100,15,350,20],...
'SliderStep',[0.0001 0.0006 ],'callback',@valorra);

```

```

mcg = uicontextmenu;
mcgm = uimenu(mcg,'Label','Malla','CallBack',@malla);
mcge = uimenu(mcg,'Label','Exportar gráfico...','CallBack',@exportar);
AX = axes('units','pixels','position',[100,80,350, 300 ],'uicontextmenu',mcg);
loglog(PROF,RA);
xlabel('Profundidad (m)');
ylabel('Resistividad (m-Ohms)');
SDRA = get(AX,'xlim');
SDR =round(SDRA(1,2));
set(SLDRA,'value',SDR);
SDPROF = get(AX,'ylim');
SDP =round(SDPROF(1,2));
set(SLDPROF,'value',SDP);
function valorprof(Objeto,Evento)
SLPROF = get(SLDPROF,'value');
vertical = SLPROF;
if vertical == 0
SLPROF = 3;
end
set(AX,'yLim',[SLPROF,0]);
end
function valorra(Objeto,Evento)
SLRA = get(SLDRA,'value');
horizontal = SLRA;
if horizontal == 0
SLRA = 3;
end
set(AX,'xLim',[0, SLRA]);
end
function malla(objeto,evento)
grid
end
function exportar(objeto,evento)
set(SLDRA,'visible','off');
set(SLDPROF,'visible','off');
formatos = {'*.jpg','JPEG (*.jpg)';*.tif','TIFF (*.tif)'};
[nombre,ruta] = uiputfile(formatos, 'Destino para el gráfico');
if isequal(nombre,0)
set(SLDRA,'visible','on');
set(SLDPROF,'visible','on');
return
else
axes(AX)
print('-dpng',[ruta,nombre])
set(SLDRA,'visible','on');
set(SLDPROF,'visible','on');end end end end end

```

