UNIVERSIDAD DE CUENCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRICA

“IMPLEMENTACIÓN DE UN INSTRUMENTO PARA PROSPECCIÓN GEOELECTRICA MEDIANTE EL MÉTODO WENNER-OFFSET”

TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO

AUTORES:

FAUSTO RUBEN ARPI DELEG

JUAN FERNANDO MARCA CHUVA

DIRECTOR:

ING. JUAN ANDRADE RODAS

TUTOR:

ING. REMIGIO GEVARA

CUENCA-ECUADOR

2011

RESUMEN

Este tema de tesis en su primer capítulo presenta algunos conceptos importantes, tipos y ventajas de los métodos que se emplean para prospección, luego se presenta la formulación para encontrar la resistividad del terreno en función de la separación de los terminales de medición así como la función que cumplen y luego se encamina el diseño a la comprensión del método de Wenner offset.

En el segundo capítulo se indica los conceptos generales de una fuente conmutada necesaria para el equipo ya que se requiere de una fuente de corriente. Con estos conceptos se procede a buscar una fuente que cumpla estos requerimientos. Además se hace hincapié en los microcontroladores puesto que serán el cerebro principal del sistema, se detallaran su forma de funcionamiento, estructura y los que se usaron.

El tercer capítulo es una guía para el uso de algunos programas computacionales que ayudan en la simulación (Proteus), el diseño de placas electrónicas (Eagle) y la programación de microcontroladores (Mplab) debido a que son de gran ayuda.

Con lo aprendido en capítulos anteriores se procede al diseño y construcción del sistema, que se detalla en el capítulo cuatro todo lo relacionado a las placas electrónicas y sus componentes, además se indica los materiales y herramientas necesarias adicionales para el equipamiento final.

Como es necesario la interface con el usuario, en el capítulo cinco se presenta este diseño con un programa computacional (Visual Basic) que hace el análisis de los resultados en base a la formulación dada presentando los mismos en forma simple y sencilla para que el usuario pueda interpretar. También se hace hincapié en un software comercial (Win Sev), donde el análisis de resultados se presenta de una manera gráfica.

Y por último en los capitulo seis y siete se aborda las conclusiones, problemas y recomendaciones además de un manual de usuario.

ÍNDICE

RESUMEN 2
GLOSARIO 11
INTRODUCCION 22
CAPITULO 1 24
PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA 24
1.1 INTRODUCCIÓN 24
1.2 FUNDAMENTACION TEORICA 24
1.2.1 DEFINICIONES PREVIAS 24
1.2.1.1 PROSPECCIÓN O EXPLORACIÓN 24
1.2.1.2 RESISTIVIDAD (ρ) 24
1.2.1.3 CONDUCTIVIDAD (σ) 25
1.2.1.4 SUELO O TERRENO 25
1.2.1.5 ELECTRODO 25
1.2.1.6 CONFIGURACIÓN ELECTRÓDICA 25
1.2.1.7 MEDIO HOMOGÉNEO 26
1.2.1.8 MEDIO ISÓTROPO 26
1.2.1.9 RESISTIVIDAD APARENTE 26
1.2.1.10 ESTRATIFICACIÓN 26
1.2.1.11 SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL (SEV) 26
1.2.1.12 CORTE GEOELÉCTRICO 26
1.2.1.13 CURVA DE SONDEO 26
1.2.1.14 EFECTOS LATERALES 26
1.2.1.15 CABLE MULTILÍNEA 27
1.2.1.16 RUIDO METODOLÓGICO 27
1.2.1.17 PARADOJA DE LOS SUELOS 27
1.2.1.18 SECCIONES DE CONTRIBUCIÓN DE SEÑAL 27
1.2.1.19 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA (SPT) 27
1.2.1.20 FINALIDAD DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA 27
1.2.1.21 CORRIENTE DE FALLA A TIERRA 28
1.2.1.22 LÍNEA EQUIPOTENCIAL 28
1.2.1.23 POTENCIAL DE PASO 28
1.2.1.24 POTENCIAL DE CONTACTO 28

1.3 PROSPECCIÓN GEOFÍSICA 28
1.3.1 CLASIFICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICOS 29
1.3.2 SONDEO 30
1.3.3 CALICATA 30
1.3.4 RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS 31
1.3.5 MÉTODOS PARA LA MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO 32
1.3.5.1 MÉTODO DE WENNER 33
1.3.5.1.1 SONDEO WENNER 33
1.3.5.1.2 CALICATA WENNER 34
1.3.5.2 MÉTODO DE SHLUMBERGER 34
1.3.5.2.1 SONDEO SHLUMBERGER 35
1.3.5.2.2 CALICATA SHLUMBERGER 35
1.3.5.3 MÉTODO DE LEE 36
1.3.5.4 MÉTODO DE LA VARILLA 36
1.3.6 COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS PARA LA MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO 36
1.3.7 ECUACIONES RELEVANTES 38
1.4 MÉTODO DE SEV MEDIANTE WENNER-OFFSET 40
1.4.1 POTENCIALES ESPONTÁNEOS 40
1.4.2 VARIACIÓN DE LA RESISTIVIDAD LATERAL (EFECTOS LATERALES) 41
1.4.3 CONSTRUCCIÓN DE SECCIONES DE CONTRIBUCIÓN DE SEÑAL 42
1.4.3.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA – EQUIVALENCIA ELECTROSTÁTICA 42
1.4.3.2 FUNDAMENTACIÓN MATEMÁTICA 42
1.4.3.3 RESULTADOS GRÁFICOS APLICADOS A CONFIGURACIONES CONVENCIONALES 44
1.4.3.3.1 CONFIGURACIÓN WENNER 45
1.4.3.3.2 CONFIGURACIÓN SHLUMBERGER 45
1.4.3.4 GENERALIZACIÓN DEL MÉTODO 46
1.5 MÉTODO DE WENNER – OFFSET 47
1.6 SISTEMA DE MEDICIÓN OFFSET CON CABLE MULTILINEA 48

1.7 RESISTENCIAS CARACTERISTICAS PARA ARREGLOS DE 4 ELECTRODOS 49
1.8 MEDICIÓN DE ERRORES 52
1.8.1 ERROR OFFSET 52
1.8.2 ERROR LATERAL 53
1.8.3 ERROR DE OBSERVACIÓN 53
1.8.4 ERROR DE CUANTIFICACIÓN 53
1.8.5 ERRORES R.M.S. 54
CAPITULO 2 55
FUENTES CONMUTADAS Y MICROCONTROLADORES 55
2.1. INTRODUCCIÓN 55
2.2. FUENTES CONMUTADAS 55
2.2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA 56
2.2.1.1 FUENTES LINEALES 56
2.2.1.2 FUENTES DE ALIMENTACIÓN CONMUTADA RESONANTE DE ALTA EFICIENCIA 57
2.2.1.3 FUENTES DE ALIMENTACIÓN CONMUTADAS PWM 57
2.2.2 TOPOLOGÍAS 61
2.2.2.1 REDUCTOR BUCK 62
2.2.2.2 DE RETROCESO O FLYBACK 63
2.2.2.3 CONVERTIDOR DIRECTO FORWARD 64
2.2.2.4 CONVERTIDOR EN CONTRAFASE PUSH PULL 65
2.2.2.5 CONVERTIDOR SEMI-PUENTE (HALF BRIDGE) 66
2.2.2.6 PUENTE COMPLETO (FULL- BRIDGE) 68
2.3 TOPOLOGÍA APLICADA 69
2.3.1 NÚMERO DE SALIDAS 70
2.3.2 CORRIENTE DE SALIDA 70
2.3.3 TENSIÓN DE ENTRADA 71
2.3.4 POTENCIA DE SALIDA 71
2.3.5 AISLACIÓN 71
2.3.6 RIZADO DE LA TENSIÓN DE SALIDA 71
2.3.7 REGULACIÓN 72
2.3.8 REGULACIÓN DE LÍNEA. 72
2.3.9 REGULACIÓN DE CARGA. 72

2.3.10 REGULACIÓN DE TEMPERATURA 73
2.3.11 RESPUESTA TRANSITORIA 73
2.3.12 EFICIENCIA 74
2.3.13 PROTECCIÓN 74
2.3.13.1 SOBRETENSIÓN 74
2.3.13.2 SOBRE CORRIENTE 75
2.3.13.3 CORTO CIRCUITO 75
2.3.14 CORRIENTE DE PICO DE ENTRADA 75
2.3.15 INTERFERENCIA ELECTROMAGNÉTICA 75
2.3.16 TIEMPO DE MANTENIMIENTO 75
2.3.17 RANGO DE TEMPERATURA 76
2.3.18 DIMENSIONES 76
2.4 MICROPROCESADORES 76
2.4.1 INTRODUCCIÓN 76
2.4.2 MICROCONTROLADOR 77
2.4.3 DIFERENCIA ENTRE MICROCONTROLADOR Y MICROPROCESADOR 77
2.4.4 HISTORIA 78
2.4.5 FABRICANTES 79
2.4.6 ARQUITECTURA 79
2.4.6.1 ARQUITECTURA BÁSICA 79
2.4.6.2 ARQUITECTURA HARVARD VS. LA ARQUITECTURA TRADICIONAL 80
2.4.6.3 LA ARQUITECTURA HARVARD Y SUS VENTAJAS 81
2.4.6.4 EL CAMINO DE LOS DATOS 82
2.4.7 CONCEPTOS GENERALES 82
2.4.7.1 RISC 82
2.4.7.2 INSTRUCCIONES 82
2.4.7.3 SEGMENTACIÓN 83
2.4.8 PIC DE MICROCHIP 83
2.4.8.1 NOMENCLATURA 83
2.4.8.2 GAMAS 84
2.4.8.2.1 GAMA ALTA 84
2.4.8.2.2 GAMA MEDIA 85

2.4.8.2.3 GAMA BAJA 85
2.4.8.3 RECURSOS AUXILIARES 85
2.4.9 PIC16F628 86
2.4.9.1 ANÁLISIS DEL MODELO 86
2.4.9.2 ARQUITECTURA 87
2.4.10 PIC 16F876A 88
2.4.11 PROGRAMACIÓN 89
2.4.12 USOEN EL PROYECTO 90
CAPITULO 3 91
UTILITARIOS PARA EL DISEÑO ELECTRÓNICO 91
3.1 INTRODUCCIÓN 91
3.2 PROTEUS 91
3.2.1 INTRODUCCIÓN 91
3.2.2 ISIS 92
3.2.3 CREACIÓN DE UN DISEÑO ELECTRONICO 93
3.2.4 SISTEMAS ELECTRÓNICOS BASADOS CON MICROCONTROLADORES 98
3.2.5 SIMULACION 99
3.3 COMPILADOR CCS 101
3.3.1 INTRODUCCIÓN 101
3.3.2 CREACIÓN DE UN PROGRAMA CON CCS EN MPLAB 102
3.3.3 ESTRUCTURA DE UN PROGRAMA 105
3.3.3.1 COMENTARIOS 106
3.3.3.2 DIRECTIVAS 107
3.3.3.3 SUBPROGRAMAS O SUBRUTINAS 110
3.3.3.4 PROGRAMA PRINCIPAL 111
3.3.3.5 OPERADORES 112
3.3.4 SENTENCIAS DE CONTROL DE PROGRAMA 113
3.3.4.1 SENTENCIA IF 113
3.3.4.2 SENTENCIA IF-ELSE 113
3.3.4.3 SENTENCIA SWITCH 113
3.3.4.4 SENTENCIA DE BUCLE FOR 114
3.3.4.5 SENTENCIA DE BUCLE WHILE 114

3.3.4.6 SENTENCIA DE BUCLE DO-WHILE. 115
3.3.5 COMPILACIÓN 116
3.4 EAGLE 117
3.4.1 INTRODUCCIÓN 117
CAPITULO 4 132
DISEÑO DE TARGETAS 132
4.1 INTRODUCCIÓN 132
4.2 FUENTE DE ALIMENTACIÓN 132
4.2.1 INTRODUCCIÓN 132
4.2.2 CONCEPTO 132
4.2.2.1 FUENTE DE ENTRADA 133
4.2.2.2 TRANSFORMADOR 133
4.2.2.3 RECTIFICADOR 134
4.2.2.4 FILTRADO 135
4.2.2.5 REGULACIÓN 135
4.3 DISEÑO 136
4.3.1 FUENTE DE ALIMENTACIÓN 136
4.3.2 SISTEMA DE CONMUTACIÓN DE ELECTRODOS 138
4.3.3 SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN Y TOMA DE DATOS 143
4.3.3.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL PIC16F876A 145
4.3.3.2 CONVERSIÓN A/D EN EL COMPILADOR DE CCS 145
4.3.3.3 SISTEMA INTERFAZ CON PC 149
4.3.3.3.1 TARJETA CON PUERTO PARALELO 150
4.3.3.3.2 TARJETA CON PUERTO SERIE 150
4.3.3.3.3 TARJETA CON PUERTO USB 152
4.3.3.3.4 TARJETA DE RED 152
4.3.3.3.5 TARJETA DE SONIDO 153
4.3.3.3.6 TARJETAS DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA 154
4.3.3.4 IMPLEMENTACIÓN DE LA COMUNICACIÓN 155
4.4 EQUIPAMIENTO 158
CAPITULO 5 160
INTERFAZ GRAFICA EN PC 160
5.1. INTRODUCCIÓN 160

5.2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE VISUAL-BASIC 161
5.3. CONCEPTOS IMPORTANTES EN VISUAL BASIC 161
5.3.1. OBJETOS 161
5.3.2. EVENTOS 161
5.4. COMPONENTES BÁSICOS DE UN PROGRAMA VISUAL BASIC .. 162
5.4.1. PROYECTO 162
5.4.2. FORMULARIOS 162
5.4.3. CONTROLES 163
5.4.3.1. CONTROLES UTILIZADOS PARA EL DESARROLLO DE INTERFACE ENTRE EL EQUIPO DE PROSPECCIÓN Y LA PC 164
5.4.4. PROPIEDADES 164
5.4.5. EVENTOS Y MÉTODOS 165
5.4.6. FUNCIONES Y PROCEDIMIENTOS 165
5.5. PROGRAMACION DE ENTORNO VISUAL Y CÁLCULO DE ERRORES 166
5.5.1. CREACIÓN DE UN INTERFACE DE USUARIO 166
5.5.2. CONTROLES PARA EL DESARROLLO DE LA INTERFAZ, INSTRUMENTACIÓN-PC 166
5.5.2.1. COMUNICACIONES SERIE 168
5.5.2.2. DEFINICIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS CONTROLES - OBJETOS - QUE HAYAMOS COLOCADO EN ESE FORMULARIO 169
5.5.2.3. GENERACIÓN DEL CÓDIGO ASOCIADO A LOS EVENTOS QUE OCURRAN A ESTOS OBJETOS 169
5.5.2.4. GENERACIÓN DEL CÓDIGO DEL PROGRAMA 170
5.5.3. CÁLCULO DE LA RESISTIVIDAD DE WENNER 170
5.5.3.1. CALCULO DEL FACTOR DE CONFIGURACIÓN G 171
5.5.3.2. CÁLCULO DE ERRORES 172
5.6. PROGRAMA WINSEV 6 173
5.6.1. PRIMERA PANTALLA 174
5.6.2. ENTRADA Y EDICIÓN DE DATOS DE CAMPO 174
CAPITULO 6 177
IMPLEMENTACION 177
6.1 PRUEBAS FINALES DEL EQUIPO 177
6.2 MANUAL DE FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO DE PROSPECCION GEOELECTRICO 179

6.2.1 CONSTRUCCIÓN..... 179
6.2.2 FUNCIONAMIENTO 180
6.2.3. MONTAJE DEL EQUIPO..... 181
6.2.4. RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS. 183
CAPITULO 7 184
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 184
7.1 CONCLUSIONES 184
7.2 RECOMENDACIONES. 187
ANEXO A 189
ANÁLISIS FISICO-MATEMATICO DE LOS METODOS DE PROSPECCION. 189
A1. ANÁLISIS DEL SEMI-ESPACIO CONDUCTOR..... 189
A1.2 ANALISIS EN LAS CERCANIAS DE UNA FUENTE PUNTUAL DE CORRIENTE..... 191
A1.3 DETERMINACION DE LA RESISTIVIDAD APARENTE 193
A1.4.- ANALISIS DE LA PROFUNDIDAD ALCANZADA POR EL SEV 194
A1.5 CONFIGURACIONES ELECTRODICAS CONVENCIONALES PARA SEV..... 196
A1.5.1 CONFIGURACION ELECTRODICA DE WENNER..... 196
A1.5.2 CONFIGURACION ELECTRODICA DE SCHLUMBERGER 197
A.1.6 METODO DE INTEGRACION 198
ANEXO B 200
DISEÑO DE PLACAS Y PROGRAMACIÓN 200
B1. PLACAS ELECTRÓNICAS..... 200
B1.1 PLACA DE LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN 200
B1.2 PLACA DE CONMUTACIÓN..... 202
B1.3 PLACA DE MEDICIÓN Y CONTROL 206
B2 PROGRAMACIÓN DE MICROCONTROLADORES 208
B2.1 PROGRAMA DE CONMUTACIÓN..... 208
B2.2 PROGRAMA DE MEDICIÓN Y COMUNICACIÓN..... 210
B3 PROGRAMACIÓN DE INTERFACE GRAFICA EN PC..... 215
ANEXO C 225
MATERIALES Y HERRAMIENTAS ADICIONALES..... 225
BIBLIOGRAFÍA 226

GLOSARIO

A

A	Es un registro interno de un microprocesador llamado acumulador que sirve para cargar valores temporales para realizar operaciones aritméticas o lógicas.
A	Se refiere al valor de amperios que consume un circuito si se ha especificado si es en corriente directa o en corriente alterna
ACA	Se refiere al valor de amperios que consume un circuito en corriente alterna.
ACD	Se refiere al valor de amperios que consume un circuito en corriente continua o directa.
ADC	AnalogicTo Digital Converter. Convertidor analógico a digital. Es un circuito electrónico que convierte una señal eléctrica analógica en un conjunto de bits cuyo significado corresponde a la señal muestreada original.
ARES	Es una aplicación adicional que tiene PROTEUS para el diseño gráfico de placas electrónicas.
ATA	Serial ATA o SATA (Serial Advanced Technology Attachment) es una interfaz de transferencia de datos entre la placa base y algunos dispositivos de almacenamiento dentro de una PC, como puede ser el disco duro, lectores y grabadores de CD/DVD/BR, Unidades de Estado Sólido u otros dispositivos. Serial ATA sustituye a la tradicional Parallel ATA o P-ATA.

C

CCS C	En ingles significa custom computer service y es una empresa que crea hardware y software computacional para la programación y desarrollo de aplicaciones con microcontroladores.

CD Hace referencia al voltaje o corriente conforme a una fuente que proporciona un nivel de tensión continua todo el tiempo.

CMOS Del inglés complementary metal oxide semiconductor, estructuras semi-conductor-óxido-metal-complementarias es una de las familias lógicas empleadas en la fabricación de circuitos integrados. Su principal característica en estado de reposo es que el consumo de energía es únicamente el debido a las corrientes parásitas.

COMMx Hace referencia al nombre y número de un puerto físico de comunicaciones en una PC donde x representa el número de puerto.

Conductividad En términos eléctricos, es la facilidad que presenta un material al paso de corriente, y se formula como el inverso de resistividad.

CPU La unidad central de procesamiento o CPU (central processing unit), o simplemente el procesador o microprocesador, es el componente del computador y otros dispositivos programables, que interpreta las instrucciones contenidas en los programas y procesa los datos.

D

DB9 El conector DB9 es un conector analógico de 9 clavijas de la familia de conectores D-Subminiature (D-Sub o Sub-D). El conector DB9 se utiliza principalmente para conexiones en serie, ya que permite una transmisión asíncrona de datos según lo establecido en la norma RS-232.

E

E/S Hace referencia a que el terminal o pin indicado puede ser configurado tanto para que reciba o envíe alguna clase de señal.

Eagle Son las siglas de editor gráfico de placas de fácil aplicación y es un programa computacional que permite el diseño gráfico de

placas electrónicas de acuerdo a estándares y dimensiones dadas por los fabricantes de componentes electrónicos.

EEPROM Son las siglas de Electrically-ErasableProgrammableRead-OnlyMemory (ROM programable y borrable eléctricamente). Es un tipo de memoria ROM que puede ser programado, borrado y reprogramado eléctricamente. Son memorias no volátiles.

EMI La interferencia electromagnética es la perturbación que ocurre en cualquier circuito, componente o sistema electrónico causado por una fuente externa al mismo. También se conoce como EMI por sus siglas en inglés (Electro Magnetic Interference),

EPROM Son las siglas de ErasableProgrammableRead-OnlyMemory (ROM programable borrable). Es un tipo de chip de memoria ROM no volátil Una vez programada, una EPROM se puede borrar solamente mediante exposición a una fuerte luz ultravioleta.

F

FireWire Se denomina al tipo de puerto de comunicaciones de alta velocidad desarrollado por la compañía Apple.
La denominación real de esta interfaz es la IEEE 1394. Se trata de una tecnología para la entrada/salida de datos en serie a alta velocidad y la conexión de dispositivos digitales.

G

G Es el factor de configuración que determina la resistividad de un terreno en función de la distancia que hay entre los electrodos de medición.

GI General Instrument es el nombre inicial de la empresa que fabrica microcontroladores pic, actualmente llamada Microchip Technology Inc.

H

Hex — Es la extensión o denominación de un archivo el cual contiene palabras de código en formato hexadecimal.

Hub — También llamado Concentrador o Ethernet hub, es un dispositivo para compartir una red de datos o de puertos USB de un ordenador.

Hz — Es la unidad de medida de la frecuencia.

I

I2C — Es un bus de comunicaciones en serie. Su nombre viene de Inter-Integrated Circuit (Circuitos Inter-Integrados). Es un bus muy usado en la industria, principalmente para comunicar microcontroladores y sus periféricos en sistemas integrados y generalizando más para comunicar circuitos integrados entre sí que normalmente residen en un mismo circuito impreso. La principal característica es que utiliza dos líneas para transmitir la información: una para los datos y por otra la señal de reloj.

ISA — La Arquitectura Estándar de la Industria (Industria Standard Architecture), es una arquitectura de bus creada por IBM para ser empleado en los PCs IBM. Fue diseñado para conectar tarjetas de ampliación a la placa madre.

ISIS — Es un subprograma contenido dentro de PROTEUS que permite el diseño gráfico de un circuito electrónico para luego ser simulado. Esto nos permite ver e interconectar los símbolos electrónicos de un componente en particular que además posee funciones matemáticas que simulan un componente real.

K

KHz — Es la medida múltiplo de la frecuencia o sea que su valor en Hertz se obtendrá al multiplicar por 1000.

L

LAN Es la interconexión de varias computadoras y periféricos que forman una red de área local o LAN (local área network). Su extensión está limitada físicamente a un edificio o a un entorno pequeño.

LCD Es una pantalla delgada de cristal líquido o LCD (liquid cristal display) plana formada por un número de píxeles en color o monocromos colocados delante de una fuente de luz y utiliza cantidades muy pequeñas de energía eléctrica.

M

m Se refiere a la unidad de longitud de medida que es el metro y se representa con la letra m.

mA Es el sub-múltiplo de la medida de corriente que consume un circuito en particular.

MAN Es una red de área metropolitana (metropolitan área network) de alta velocidad que da cobertura en un área geográfica extensa, proporciona capacidad de integración de múltiples servicios mediante la transmisión de datos, voz y vídeo, sobre medios de transmisión tales como fibra óptica y par trenzado.

MAPLAB Es un editor gráfico de programación para productos Microchip. Este editor permite seleccionar los distintos microcontroladores, además de permitir la grabación de estos circuitos integrados directamente. Es un programa que corre bajo Windows y posee editor de texto, compilador y simulador.

MASTER/SLAVE Se refiere a que el dispositivo en cuestión puede funcionar como un maestro o un esclavo esto quiere decir que en el primer caso controla a otros dispositivos conectados a él y en el otro solo recibe las órdenes del dispositivo principal.

MB/s Múltiplo de la medida de bytes (8 bits) que pueden ser transmitidos en un segundo. Esto es 1000 kilobytes en un segundo o 1000000 de bytes en un segundo.

Mbps Múltiplo de la medida de bits que pueden ser transmitidos en un segundo. Esto es 1000 kilobits en un segundo o 1000000 de bits en un segundo.

MHz Es la medida múltiplo de la frecuencia o sea que su valor en Hertz se obtendrá al multiplicar por 1000000.

N

NMOS El NMOS (Negative-channel Metal-Oxide Semiconductor) es un tipo de semiconductor que se carga negativamente de modo que los transistores se enciendan o apaguen con el movimiento de los electrones.

O

Ω·m Es la unidad de medida de la resistividad eléctrica y representa Ohmios metro.

OTP Son las siglas en ingles de One Time Programmable que permite que el dispositivo en cuestión solo puede ser programado o escrito una sola vez.

P

PCB Dentro del entorno de diseño gráfico EAGLE PCB significa Project Circuit Board o proyecto de un circuito en una placa y es el entorno que contiene la información física de la placa en su forma grafica además de los componentes que la constituyen y su extensión se lo nombra con la extensión brd.

PCI Un PeripheralComponentInterconnect (Interconexión de Componentes Periféricos) consiste en un bus de ordenador estándar para conectar dispositivos periféricos directamente a su placa base. Estos dispositivos pueden ser circuitos integrados

ajustados en ésta o tarjetas de expansión que se ajustan en conectores.

Pemitividad Es una constante física que describe cómo un campo eléctrico afecta y es afectado por un medio. La permitividad está determinada por la tendencia de un material a polarizarse ante la aplicación de un campo eléctrico y de esa forma anular parcialmente el campo interno del material. Está directamente relacionada con la susceptibilidad eléctrica.

Permeabilidad Es la capacidad de un material para que un fluido lo atraviese sin alterar su estructura interna. Se afirma que un material es permeable si deja pasar a través de él una cantidad apreciable de fluido en un tiempo dado, e impermeable si la cantidad de fluido es despreciable.

PIC El PIC corresponde a una familia de microcontroladores fabricados por Microchip Technology Inc. El nombre actual no es un acrónimo ya que el nombre completo es PICmicro, aunque generalmente se utiliza como Peripheral Interface Controller (controlador de interfaz periférico).

PLL Los lazos de seguimiento de fase, bucles de enganche de fase, o PLL (Phase-LockedLoops) son dispositivos muy populares en electrónica. Se trata de un sistema realimentado, en el que las magnitudes realimentadas son la frecuencia y la fase.

Proteus Es un programa computacional que permite el diseño y simulación de circuitos electrónicos tanto en su software así como en hardware.

PWM La modulación por ancho de pulsos (pulse width modulation) de una señal o fuente de energía es una técnica en la que se modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica, ya sea para transmitir información a través de un canal de comunicaciones o para controlar la cantidad de energía que se envía a una carga.

R

R.M.S En electricidad y electrónica, en corriente alterna, a la raíz cuadrada del valor cuadrático medio (root mean square), de una corriente variable se le denomina valor eficaz y se define como el valor de una corriente rigurosamente constante (corriente contínua) que al circular por una determinada resistencia óhmica pura produce los mismos efectos caloríficos (igual potencia disipada) que dicha corriente variable (corriente alterna).

Resistividad Se le llama resistividad al grado de dificultad que encuentran los electrones en sus desplazamientos. Se designa por la letra griega rho minúscula (ρ) y se mide en ohm-metros (Ω•m). Un valor alto de resistividad indica que el material es mal conductor mientras que uno bajo indicará que es un buen conductor.

RISC Del inglés Reduced Instrucción Set Computer o computadora con conjunto de instrucciones reducidas es una filosofía de diseño de CPU para computadora que está a favor de conjuntos de instrucciones pequeñas y simples que toman menor tiempo para ejecutarse.

RJ45 Es una interfaz física comúnmente usada para conectar redes de cableado estructurado, (categorías 4, 5, 5e, 6 y 6a). RJ es un acrónimo inglés de Registered Jack que a su vez es parte del Código Federal de Regulaciones de Estados Unidos. Posee ocho "pines" o conexiones eléctricas, que normalmente se usan como extremos de cables de par trenzado.

ROM La memoria ROM, (Read Only Memory) o memoria de sólo lectura, es un medio de almacenamiento utilizado en ordenadores y dispositivos electrónicos, que permite sólo la lectura de la información y no su borrado, independientemente de la presencia o no de una fuente de energía.

Rx Hace referencia a una etiqueta que indica que este pin o terminal está dedicado a la recepción de datos.

S

SEV — El Sondeo Eléctrico Vertical en prospección se refiere a la exploración vertical del subsuelo utilizando un punto fijo como referencia para la medición de un parámetro necesario.

SMPS — una fuente de poder en modo conmutado o Switched Mode Power Supply por sus siglas en inglés, es una fuente electrónica que tiene un regulador en modo conmutado para una mayor eficiencia en la transferencia de energía eléctrica. Esta fuente es usualmente empleada para dar voltajes de salida diferentes del voltaje de entrada.

SOA — Las zonas o Áreas de Operación Segura (Safe Operating Area) consisten en la representación, en diagramas de los puntos de trabajo que, bajo determinadas condiciones, no representan riesgo de daño para algún dispositivo. Constituyen un método muy útil para resumir en forma compacta los valores máximos de tensión y corriente a que puede ser sometido un equipo. Los diagramas de SOA se incluyen normalmente en las hojas deditos de los dispositivos.

SRAM — La Static Random Access Memory (SRAM), o Memoria Estática de Acceso Aleatorio es un tipo de memoria capaz de mantener los datos mientras esté alimentada, sin necesidad de circuito de refresco. Es decir son memorias volátiles que pierden la información si se desconecta la alimentación eléctrica.

Stand-By — Se denomina al consumo en espera de diferentes aparatos electrónicos. En Stand by, el aparato se encuentra conectado, a la espera de recibir órdenes, por lo que consume energía eléctrica.

STP — Es el acrónimo de Shielded Twisted Pair (Par Trenzado Apantallado), es un cable similar al UTP con la diferencia que cada par tiene una pantalla protectora, además de tener una lámina externa de aluminio o de cobre trenzado alrededor del

conjunto de pares, diseñada para reducir la absorción del ruido eléctrico.

T

T — El período de una oscilación u onda es el tiempo transcurrido entre dos puntos equivalentes de la onda.

Tmax — Temperatura máxima de operación de algún dispositivo electrónico.

$Tmin$ — Temperatura mínima de operación de algún dispositivo electrónico.

Tx — Hace referencia a una etiqueta que indica que este pin o terminal está dedicado a la transmisión de datos.

U

uF — Es la unidad de medida de la capacitancia cuyo valor corresponde a la un millonésima parte del faradio.

USB — El Universal Serial Bus en inglés (bus universal en serie), abreviado USB, es un puerto que sirve para conectar periféricos a un computador. El diseño del USB permite a los dispositivos ser conectados o desconectados al sistema sin necesidad de reiniciar la PC.

UTP — El UTP (Unshielded Twisted Pair) o par trenzado no apantallado es un tipo de cable que no se encuentra apantallado y que se utiliza principalmente para comunicaciones. Se encuentra normalizado de acuerdo a la norma estadounidense TIA/EIA y a la internacional ISO/IEC.

V

VB — Es la abreviatura de Visual Basic un programa computacional que permite el diseño de un entono grafico mediante librerías y comandos que viene incorporado.

VCA	Es la unidad de medida del potencial eléctrico de voltaje alterno entre dos terminales a prueba.
VCD	Es la unidad de medida del potencial eléctrico de voltaje continuo entre dos terminales a prueba.
Vdev	Desviación de la tensión de salida para un 100 % de variación en la corriente.
Vnom	Tensión nominal de salida.
VoM	Tensión de salida máxima a temperatura especificada
Vom	Tensión de salida mínima a temperatura especificada
Vonom	Tensión nominal de salida
V_{FL}	Tensión a plena carga.
V_{NL}	Tensión sin carga o al 50%, según especificación.
V_{nom}	Tensión nominal
VSM	Virtual system modeling es una aplicación programada dentro de Proteus que permite la simulación de un circuito electrónico.

W

W	Working Register es un registro de datos auxiliar que permite operaciones aritméticas y lógicas dentro de un microcontrolador PIC.
WAN	Las redes de área amplia o WAN (wide area network) son redes informáticas que se extienden sobre un área geográfica extensa. Contiene una colección de máquinas dedicadas a ejecutar los programas de usuarios (hosts). Estos están conectados por la red que lleva los mensajes de un host a otro. Estas LAN de host acceden a la subred de la red de área amplia por un encaminador. Suelen ser por tanto redes punto a punto.

INTRODUCCION

Debido al crecimiento de la sociedad que cada vez necesita de mayor espacio físico para vivir lleva consigo también el crecimiento del consumo energético por lo cual es necesario la ubicación de nuevas centrales, subestaciones y de las edificaciones en sí, siendo de suma importancia el estudio del suelo donde estas serán ubicadas. Por lo tanto un estudio detallado del suelo y su composición es muy importante. Este estudio en si debe ser lo más simple, detallado y de bajo costo, además de indicar con el mayor grado de exactitud el tipo de terreno, debe dar el valor resistivo que este posee. Este valor de resistencia es de suma importancia ya que mediante él se puede llegar a sugerir el tipo de puesta a tierra necesaria para un sistema eléctrico.

Por otro lado con los valores de resistencia y el software adecuado se puede llegar a saber con exactitud qué tipo de suelo es. Esto se logra por el hecho que cada tipo de suelo sea esta arena, piedra, arcilla entre otros poseen características de resistencia eléctrica propias de cada uno.

Lo anterior da una idea que si se inyecta corriente eléctrica al suelo entre dos terminales este modifica su magnitud y además al ser el suelo un material conductor se puede también medir un nivel de voltaje entre dos terminales situadas en otra parte del terreno. Por lo tanto si tomamos un valor de medición de voltaje y corriente podemos saber con exactitud el valor de resistencia mediante la ley de ohm. Esto debería ser así pero en la práctica debido a que el suelo es un conductor de infinitas dimensiones en los tres componentes cartesianos (x, y, z) posee propiedades adicionales como son estar formado por capas y materiales químicos, contener materiales sólidos, líquidos, así como también cavidades con gases, por lo que estas características deben ser tomadas en cuenta y formular una variable en común que modifique el valor de resistencia encontrado al principio.

En resumen se debe encontrar una fórmula que englobe todo lo dicho por lo que un parámetro muy importante a ser considerado en la superficie de medición es la separación entre terminales, ya que como se verá más adelante esta incidirá en la profundidad a ser medida bajo el terreno tal manera que variando este parámetro podemos explorar a mayor profundidad. Otros

parámetros que podemos variar es la función que cumple los terminales de medición ya que en algunos casos pueden cambiar sus funciones encontrándose nuevas características que no se consideraban en casos anteriores.

Por último considerando lo acotado y resumiendo esto en un solo equipo podemos realizar la exploración del terreno sin necesidad de hacer excavaciones laboriosas o extraer muestras de terreno con taladros de gran envergadura. La herramienta que se diseña aquí es un “EQUIPO DE PROSPECCION GEOELECTRICO” que es un elemento que sondea el terreno mediante la inyección de corriente y medición de potencial además tienen la capacidad de conmutar las funciones de las terminales de medición y la separación entre las mismas. También posee la función de guardar los datos tomados para luego ser enviados a una PC y ser analizados por un programa para este fin o también tener la posibilidad de analizarse con algún software comercial que tenga estas características mencionadas. Por lo tanto podemos darnos cuenta que el alcance de este trabajo está ligado tanto a la Ingeniería eléctrica como a la Ingeniería Civil que son las que extraerán las mayores ventajas que el sistema presta.

CAPITULO 1

PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA

1.1 INTRODUCCIÓN

La geofísica estudia la tierra en su composición y dinámica sobre la base de medidas de tipo físico, que normalmente se realizan desde la superficie del planeta. El conjunto de métodos utilizados para este fin, constituyen la prospección geofísica.

Cuando el método empleado para realizar dicha medición desde la superficie involucra inyección de corriente al suelo se lo llama prospección geoeléctrica. El parámetro más importante a medir en este tipo de método es el valor de la resistividad y la distribución del valor de la resistividad permite obtener informaciones sobre composición del subsuelo. Desde el punto de vista de la Ingeniería Eléctrica estos datos sirven para realizar un estudio de puesta a tierra del suelo a considerar y desde el punto de la Ingeniería Civil permite conocer la composición del suelo.

1.2 FUNDAMENTACION TEORICA

1.2.1 DEFINICIONES PREVIAS

Las definiciones de los términos a tratarse son de suma importancia para entender el desarrollo de este trabajo, por ello se dan los conceptos de los mismos:

1.2.1.1 PROSPECCIÓN O EXPLORACIÓN

Son términos similares que significan búsqueda o investigación de algún tema a tratarse.

1.2.1.2 RESISTIVIDAD (ρ)

En términos eléctricos, es la oposición que presenta un material conductor al paso de la corriente eléctrica y se lo plantea como:

$$\rho = \frac{R \cdot S}{l} [\Omega \cdot m] \qquad \text{EC. 1.1}$$

Considérese lo anterior para un cilindro conductor homogéneo donde:

$$R = Resistencia$$

$$l = longitud$$

$$S = Areatransversal$$

1.2.1.3 CONDUCTIVIDAD (σ)

También en términos eléctricos, es la facilidad que presenta un material al paso de corriente, y se formula como el inverso de resistividad.

$$\sigma = \frac{1}{\rho}[siemens] \qquad \text{EC.1.2}$$

1.2.1.4 SUELO O TERRENO

Se denomina suelo a la parte superficial de la corteza terrestre, Esta se encuentra entre la roca inerte y la atmosfera.

La IEEE define “tierra” (sistema de tierra) como una conexión conductora, ya sea intencional o accidental, por medio de la cual un circuito eléctrico o equipo se conecta a la tierra o a algún cuerpo conductor de dimensión relativamente grande que cumple la función de tierra.

1.2.1.5 ELECTRODO

Forma física especifica de un material conductor, el cual es utilizado para hacer contacto con el terreno, este nos proporciona los siguientes beneficios.

- Inyectar corriente al interior del terreno.
- Medir el potencial resultante de la excitación de alguna fuente.

1.2.1.6 CONFIGURACIÓN ELECTRÓDICA

Disposición física de electrodos utilizados para medir la resistividad del terreno utilizando algún esquema sobre un plano.

1.2.1.7 MEDIO HOMOGÉNEO

Es la invariancia de los parámetros del terreno tales como: Pemitividad ($\in$), Permeabilidad (μ) y Resistividad (ρ) hacia cualquier dirección.

1.2.1.8 MEDIO ISÓTROPO

Se da cuando la conductividad (σ) en el terreno se mantiene en cualquier dirección.

1.2.1.9 RESISTIVIDAD APARENTE

Es la resistividad que mide el instrumento producto del cociente entre la diferencia de potencial y la corriente inyectada.

1.2.1.10 ESTRATIFICACIÓN

Los terrenos en su gran mayoría no son uniformes en sus capas. Si no que están formados por diversas capas de resistividad y profundidades diferentes.

1.2.1.11 SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL (SEV)

Es una serie de determinaciones de resistividades aparentes de la estratificación del subsuelo a lo largo de la vertical que se encuentra bajo el eje de medición.

1.2.1.12 CORTE GEOELÉCTRICO

Es la interpretación grafica de capas con valores de resistividad y espesores correspondientes.

1.2.1.13 CURVA DE SONDEO

Es la gráfica correspondiente a los datos obtenidos de resistividades y espaciamientos electródicos en el terreno.

1.2.1.14 EFECTOS LATERALES

Valores extraños durante la medición de la resistividad que se presentan al momento de graficar la curva de sondeo, estos pueden darse debido a una anomalía conductiva o por la aparición de zanjas, tubos enterrados entre otros.

1.2.1.15 CABLE MULTILÍNEA

Cable compuesto por múltiples conductores aislados entre sí y que tiene en común un mismo elemento que los rodea y junta.

1.2.1.16 RUIDO METODOLÓGICO

La resistividad del suelo a parte de depender de su composición intrínseca, depende de otros factores externos como la temperatura, humedad, presión, etc., que puede provocar que un mismo suelo presente diferentes resistividades con el tiempo.

1.2.1.17 PARADOJA DE LOS SUELOS

Se relaciona con la cantidad de humedad que el terreno pueda poseer, en principio cuanta más humedad mayor conducción. Sin embargo la conductividad en terrenos secos en ocasiones puede ser mayor que en terrenos húmedos, debido a la gran concentración de sales que pueden existir en el mismo.

1.2.1.18 SECCIONES DE CONTRIBUCIÓN DE SEÑAL

Contribución relativa hechas por elementos individuales de volumen de un terreno homogéneo a la diferencia de potencial total medida entre los dos elementos de potencial, al estar inyectando corriente en un arreglo electródico.

1.2.1.19 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA (SPT)

Son los componentes de un sistema eléctrico que mediante conductores realizan la conexión eléctrica con el suelo, el subsuelo o una masa, permitiendo la conducción hacia el terreno de cargas eléctricas producidas por descargas atmosféricas (rayos), electricidad estática o fallas en el sistema eléctrico.

1.2.1.20 FINALIDAD DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

- Servir de continuidad de pantalla en los sistemas de distribución de líneas telefónicas, antenas y cables coaxiales.
- Hacer que el equipamiento de protección sea más sensible y permita una rápida derivación de las corrientes defectuosas a tierra.

- Además deben poseer la capacidad de dispersar y dispar las fallas sin que presenten potencial de paso, contacto, y malla peligrosos sobre la superficie.

1.2.1.21 CORRIENTE DE FALLA A TIERRA

Es aquella corriente que se presenta durante una falla y fluye por el SPT.

1.2.1.22 LÍNEA EQUIPOTENCIAL

Cuando el campo del potencial se restringe a un plano, la intersección de las superficies equipotenciales con dicho plano forma líneas equipotenciales.

1.2.1.23 POTENCIAL DE PASO

Es la diferencia de potencial entre los dos puntos de apoyo (por ejemplo los pies de una persona), por encontrarse estos haciendo contacto con líneas equipotenciales diferentes que se forman en la superficie del suelo durante el drenaje de la corriente de falla. Si los apoyos o uno solo de ellos, se encuentran en contacto con la misma línea equipotencial no habrá tensión de paso.

1.2.1.24 POTENCIAL DE CONTACTO

Es la diferencia de potencial entre algún punto de una estructura (en la que circula una corriente de falla) situada al alcance de la mano de una persona y un punto en el suelo situado a un metro de la base de estructura.

1.3 PROSPECCIÓN GEOFÍSICA

La Prospección Geofísica es un conjunto de técnicas físicas y matemáticas, aplicadas a la exploración del subsuelo para la búsqueda y estudio de yacimientos de sustancias útiles, por medio de observaciones efectuadas en la superficie de la Tierra.

Estas técnicas se utilizan también en ayuda de la Ingeniería eléctrica, para la ubicación de un SPT, además del estudio de corrientes de falla y los potenciales producidos por la circulación de estas, y en la Ingeniería civil para las condiciones de estabilidad, cimentación y clasificación de materiales que constituyen el suelo.

1.3.1 CLASIFICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICOS

Dentro de este tema se destacan los métodos de campo natural en donde se estudian las perturbaciones que determinadas estructuras o cuerpos producen sobre campos preexistentes, como son el de la gravedad terrestre y el geomagnético, además otro método es el de campo artificial el cual crea el campo físico que se va a estudiar, lo que presenta la ventaja de que se puede dar las características más adecuadas para el fin propuesto. Esto no quiere decir que no puedan establecerse relaciones de superioridad entre unos y otros métodos de prospección, pues la eficacia de éstos depende de cuál sea el problema propuesto.

El método geoeléctrico es el más utilizado en la prospección de suelos, se basa en mediciones realizadas mediante la inyección de corrientes eléctricas de prueba en algún terreno.

A.MÉTODOS DE CAMPO NATURAL

- Método de potencial Espontaneo.
- Método de corrientes Telúricas.
- Método Magneto-Telúrico.

B.MÉTODOS DE CAMPO ARTIFICIAL

B.1) Métodos de Campo continuo. (Corriente Continua)

- Método de las líneas Equipotenciales y del Cuerpo Cargado
- Sondeos Eléctricos (Lineales, Simétricos, Dipolares, etc.).
- Calicatas Eléctricas.

B.2) Métodos de Campo Variable.

- Sondeos de Frecuencia
- Sondeos por Establecimiento de Campos Transitorios.
- Calicatas Electromagnéticas.
- Método Radio-Kip.
- Método de la Radiografía Hertziana

Uno de los criterios más importantes para clasificar los métodos, es el que clasifica según el campo electromagnético que en ellos se estudia sea de origen natural, o se cree artificialmente para la prospección. Otro criterio es el que considera si la información recogida se refiere a la vertical de un punto o se distribuye a lo largo de un perfil, dentro de un margen de profundidades aproximadamente constante. Los métodos se llaman de sondeo en el primer caso y de calicata en el segundo.

1.3.2 SONDEO

El centro del arreglo del sondeo permanece fijo y el intervalo del espaciamiento se cambia; por tanto, la profundidad de exploración se incrementa conforme aumenta la distancia entre los electrodos. En resumen, durante un sondeo se conoce la variación de la resistividad con la profundidad.

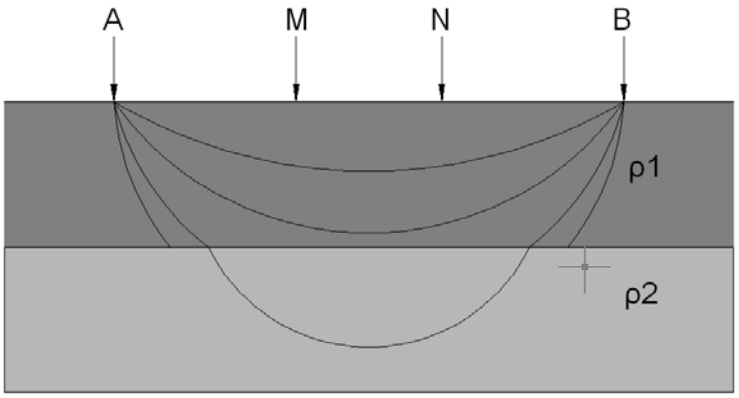


Figura 1.1 Profundidad de sondeo vertical.

A medida que Ay B se separan, la corriente va penetrando en las capas más profundas. La finalidad del S.E.V. es la determinación de las profundidades de las capas del subsuelo y las resistividades o conductividades eléctricas de las mismas mediante mediciones efectuadas en la superficie.

1.3.3 CALICATA

Es una práctica en la que se mantiene fijo el arreglo de electrodos en tanto que el centro del sondeo se cambia. La profundidad de exploración permanece constante, conociendo la variación horizontal de la resistividad. Entonces la

calicata se emplea principalmente para detectar y delimitar cambios laterales en la resistividad.

Durante un sondeo y calicata se trata de medir la resistividad aparente de las distintas capas, como una función de la profundidad.

En la mayoría de los casos lo que se obtiene es la distribución de las resistividades en el subsuelo. Cuando tal distribución se representa gráficamente en forma de corte vertical, esta representación se denomina corte geoeléctrico. También es interesante conocer si un método es constante (corriente continua) o varia en el transcurso del tiempo (corriente alterna), en el primer caso se estará midiendo solamente la resistividad del terreno y en el segundo caso se estará midiendo la impedancia del terreno.

1.3.4 RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS

Se define la resistividad del suelo como el grado de oposición que presenta un terreno a la circulación de corriente eléctrica.

Las medidas de resistividad eléctrica del subsuelo son necesarias para la elaboración del SPT y la prospección geofísica cuya finalidad es detectar y localizar cuerpos y estructuras geológicas basándose en su contraste resistivo.

Un terreno presenta resistividad que depende del tamaño del SPT, debido a que la dispersión de corrientes eléctricas alcanza capas más profundas a medida que aumenta el área ocupada por el SPT.

El método para medir la resistividad eléctrica consiste en la inyección de corriente continua o de baja frecuencia en el terreno mediante un par de electrodos, y la determinación mediante otro par de electrodos de la diferencia de potencial. La magnitud de esta medida depende, entre otras variables, de la distribución de resistividades de las estructuras del subsuelo, de las distancias entre los electrodos, y de la corriente inyectada (1).

$$\rho = \frac{R \cdot S}{l} [\Omega \cdot m] \qquad \text{Ec. 1.3}$$

Son pocos y escasos los componentes de la corteza terrestre que posean conductividad metálica pero los minerales semiconductores son muchos y de

gran importancia práctica, su resistividad depende de su contenido en impurezas, a veces en grado extremo. Por ello, no cabe esperar que la resistividad de una especie mineralógica determinada pueda representarse por un dato único, sino que puede variar dentro de límites amplios.

En los materiales dieléctricos o aisladores, los electrones están fuertemente ligados a los átomos, cabe señalar que la mayoría de los minerales pertenecen a este grupo.

La resistividad de los materiales geológicos incluyendo el agua pueden variar desde unos cuantos Ohms-metro hasta cientos de ellos por arriba o por abajo dependiendo de la alteración, fracturamiento, grado de saturación, iones en solución, temperatura, porosidad y compacidad.

Todas las técnicas de resistividad eléctrica (sondeo eléctrico vertical, calicata eléctrica), se basan en que la distribución del potencial eléctrico alrededor de un electrodo de corriente clavado en el suelo, depende de la resistividad eléctrica del terreno que se encuentre a su alrededor.

El levantamiento de los valores de resistividad se realiza a través de mediciones de campo, utilizando métodos de prospección geoeléctricos de entre los cuales el más conocido y utilizado es el método de Wenner.

1.3.5 MÉTODOS PARA LA MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO

Para el levantamiento de la curva de resistividad del suelo se pueden emplear diferentes métodos, entre los más utilizados tenemos:

- Método de Wenner.
    - Sondeo Wenner
    - Calicata Wenner
- Método de Shlumberger
    - Sondeo Shlumberger
    - Calicata Shlumberger
- Método de Lee.
- Método de la Varilla

1.3.5.1 MÉTODO DE WENNER

El método de Wenner utiliza cuatro electrodos alineados, uniformemente espaciados “a” y clavados a la misma profundidad “p” conforme se indica en la figura 1.2. El espesor de la capa del terreno del cual se está midiendo la resistividad es directamente proporcional a la separación entre picas.

$$\boldsymbol{p} = \frac{3}{4}a \qquad \text{Ec. 1.4}$$

Sin embargo algunas publicaciones toman el valor de “**p”** igual a la separación entre electrodos, es decir

$$\boldsymbol{p} = a \qquad \text{Ec. 1.5}$$

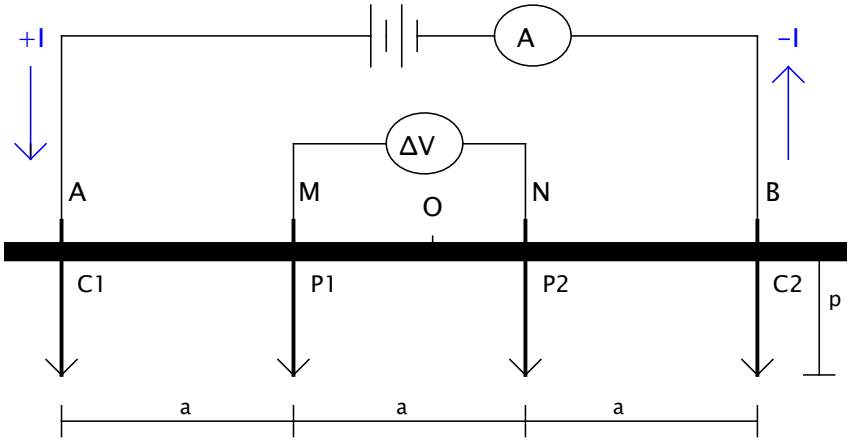


Figura 1.2 Método de Wenner.

Una corriente eléctrica es inyectada en el punto A, y retomada en el punto B. Esta corriente al pasar por el suelo entre los puntos A y B produce un potencial entre los puntos M y N.

1.3.5.1.1 SONDEO WENNER

Dada la configuración de la figura 1.3 AMNB con separación inter-electródica “a”, el sondeo consiste en el aumento progresivo del valor de “a” manteniendo un punto central fijo “O”. Para la representación de los datos se muestra en el eje de las ordenadas el valor de la resistividad aparente medida ρ*a, (Ω·m), y en las abscisas el valor de “a” en metros para cada paso.

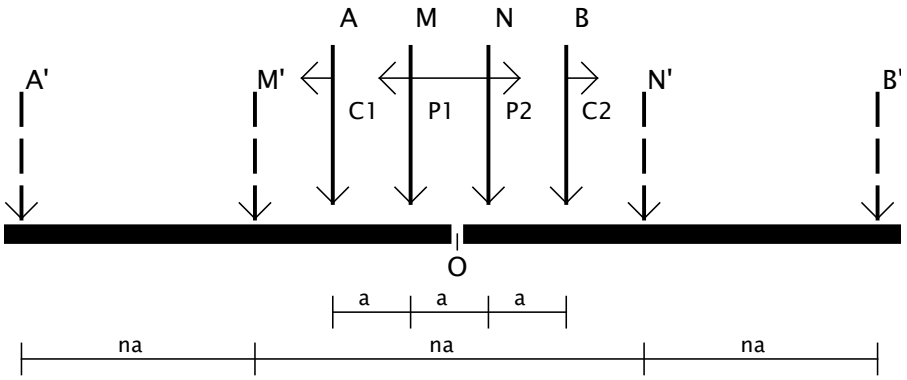


Figura 1.3 Sondeo Wenner, la distancia inter-electródica pasa de AMNB a A'M'N'B'

1.3.5.1.2 CALICATA WENNER

Partiendo de sus respectivos dispositivos base, esta calicata consiste en desplazar los cuatro electrodos AMNB a la vez manteniendo sus separaciones inter-electródicas a lo largo de un recorrido. Se representa la distancia del origen, "O", al centro de los electrodos MN en abscisas y en ordenadas el valor de ρ*a (Ω· m) para cada distancia "x".

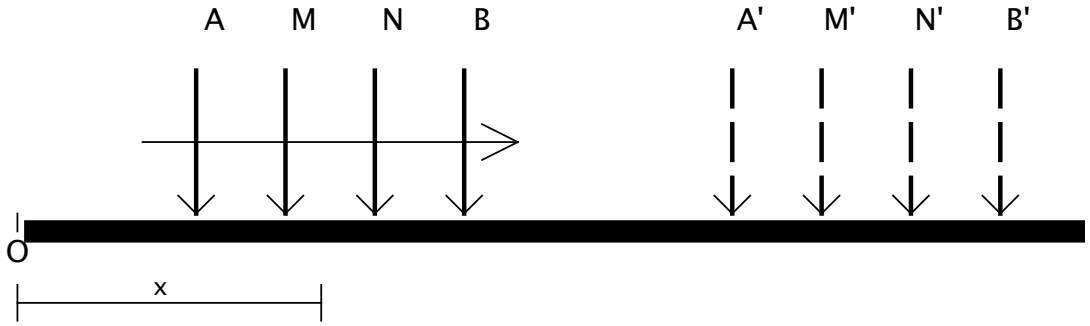


Figura 1.4 Calicata Wenner, los cuatros electrodos se separan a la vez manteniendo sus separaciones.

1.3.5.2 MÉTODO DE SHLUMBERGER

El método de Shlumberger utiliza cuatro electrodos alineados, uniformemente espaciados "a" entre AM y BN, clavados a la misma profundidad "p" conforme se indica en la figura 1.5.

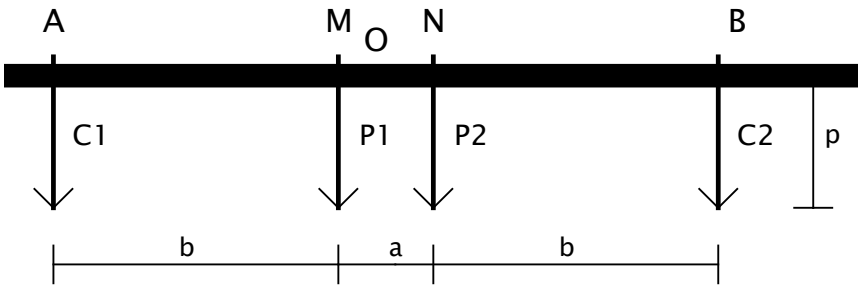


Figura 1.5 Dispositivo Shlumberger

1.3.5.2.1 SONDEO SHLUMBERGER

Dado el dispositivo Shlumberger AMNB con AB>>MN, el sondeo consiste en separar progresivamente los electrodos inyectores A y B dejando los electrodos detectores M y N fijos en torno a un punto central fijo “O” Figura. La representación de este sondeo muestra en ordenadas ρ*a (Ω·m) y en abscisas la distancia AB/2 (m).

El arreglo debe de cumplir la relación AB>5MN.

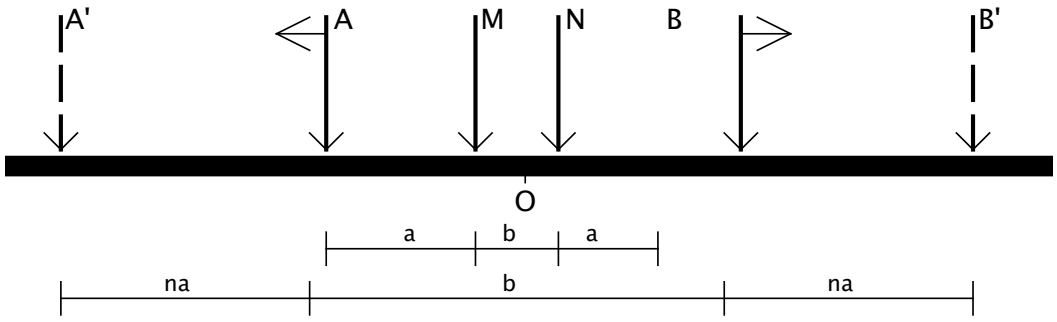


Figura 1.6 Sondeo de Shlumberger los electrodos A y B se abren progresivamente mientras M y N permanecen fijos.

1.3.5.2.2 CALICATA SHLUMBERGER

En este tipo de calicata podemos citar dos variantes: la primera, sería similar a la calicata Wenner, desplazando lateralmente los cuatros electrodos del dispositivo a la vez. La segunda consiste en desplazar los electrodos detectores M y N entre A y B, los cuales están fijos y a una gran distancia de los electrodos inyectores.

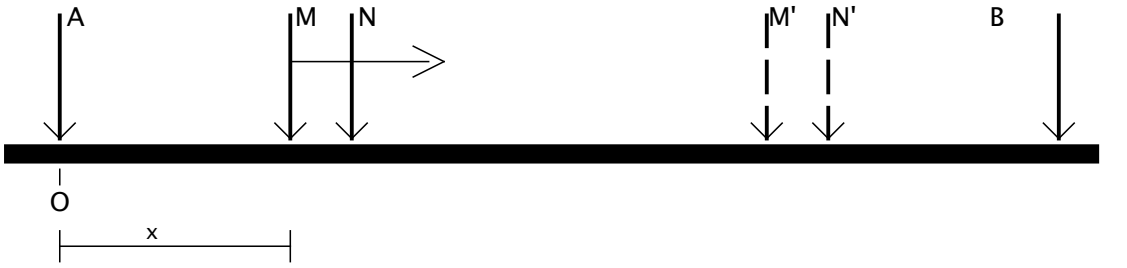


Figura 1.7 Calicata de Shlumberger los electrodos MN se mueven de A hasta B manteniendo su separación.

1.3.5.3 MÉTODO DE LEE

Este método se parece al Wenner, con la diferencia de que en el Lee se sitúa un electrodo de medida E, en el punto de estación “O”, las lecturas se hacen entre el central y uno de los laterales.

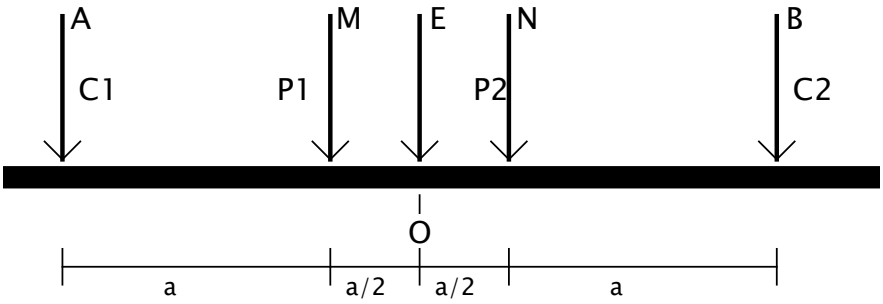


Figura 1.8 Método de Lee.

1.3.5.4 MÉTODO DE LA VARILLA

Consiste en medir la resistencia a tierra de un electrodo tipo varilla, el procedimiento aplicado es el de disponer de tal electrodo con marcaciones cada 20 o 30 cm, y cuya longitud debe ser la suficiente como para obtener la mayor información posible de cómo varia la resistencia de ida, a medida que penetra el electrodo en la tierra. Es decir que por cada marca se lee un valor de la resistencia de puesta a tierra.

1.3.6 COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS PARA LA MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO

En la tabla 1.1 se realiza la comparación entre los métodos más utilizados para la medición de la resistividad.

Método	Ventajas	Desventajas
Método de Wenner	• Sencillo y más preciso para fines de uso eléctrico. • Menor requerimiento de energía. • Permite medir resistividad promedio de volúmenes extensos de suelos naturales.	• Se mueven los electrodos de potencial y corriente simultáneamente. • Decremento rápido en la magnitud de la tensión cuando se incrementan los espaciamientos de los electrodos.
Método de Shlumberger	• Se mueven solo dos electrodos ya sea de potencial o los de corriente. • Se utiliza cuando los equipos de medición son poco inteligentes. • Igual que el método Wenner es sencillo.	• Decremento rápido en la magnitud de la tensión cuando se incrementan los espaciamientos de los electrodos.
Método de Lee	• Más precisión debido a la inclusión de otro electrodo.	• Es necesaria la utilización de un electrodo adicional.
Método de la varilla	• Utilizado en lugares con poco espacio para el posicionamiento de electrodos. • Ahorro de tiempo y equipos.	• La medición es muy limitada y únicamente se obtiene información de las capas más superficiales del terreno.

Tabla 1.1. Comparación entre métodos.

De acuerdo al análisis de la tabla 1.1 se considera el método de Wenner como el más aplicado en el campo de la prospección, por lo que el desarrollo de esta investigación se basara enteramente en este método.

1.3.7 ECUACIONES RELEVANTES

Si se introduce una corriente de intensidad I en el suelo en un punto A, y mediante la ley de Ohm se calcula la resistencia R, que opone al paso de esa corriente en un casquete (semi-esférico) de radio r y espesor dr fig. 1.9.

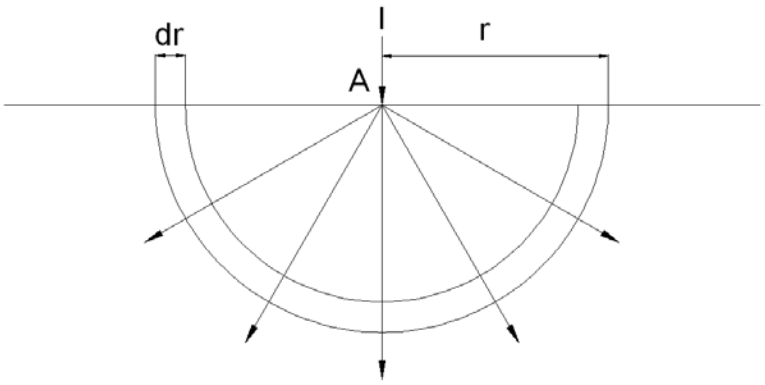


Figura 1.9 Casquete semiesférico.

$$R = \rho \frac{longitud}{seccion} = \rho \frac{dr}{2\pi r^2} \qquad \text{Ec. 1.6}$$

Como.

$$Intensidad = \Delta V / R \qquad \text{Ec. 1.7}$$

Entonces.

$$-dV = \rho \frac{dr}{2\pi r^2} \cdot I \qquad \text{Ec. 1.8}$$

Integrando, resulta.

$$V = \rho \frac{I}{2\pi r} \qquad \text{Ec. 1.9}$$

Para inyectar una corriente I, debe existir otro electrodo B, por lo cual el potencial generado en el punto M será igual al producido por A menos el producido por B.

Ahora considérese el arreglo electródico generalizado mostrado en la figura 1.10, donde se supone un subsuelo de resistividad uniforme ρ.

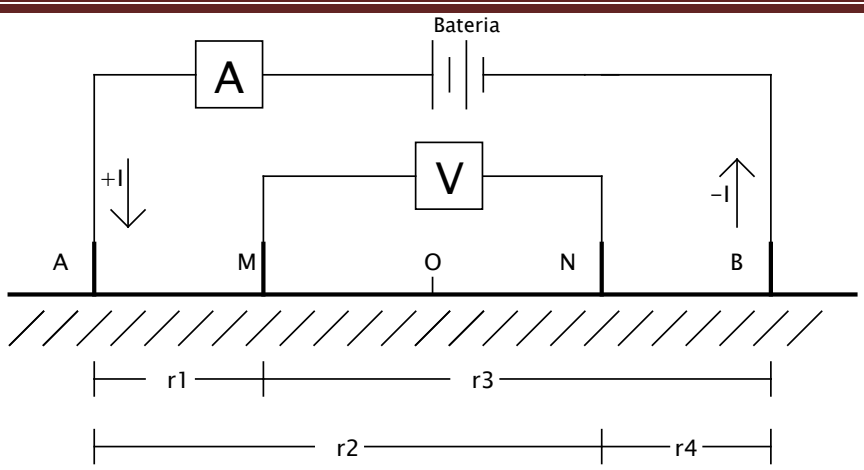


Figura 1.10: Arreglo electródico generalizado.

El potencial en el punto M será entonces.

$$V_M = \rho \frac{I}{2\pi AM} - \rho \frac{I}{2\pi BM} \qquad \text{Ec.1.10}$$

El potencial en el punto M será entonces.

$$V_N = \rho \frac{I}{2\pi AN} - \rho \frac{I}{2\pi BN} \qquad \text{Ec.1.11}$$

Dónde:

$$BM = r2 = r3 AN = r2 = r3$$

$$BN = r4 = r1$$

$$AM = r4 = r1$$

Diferencia total de potencial entre M y N, generado debido a la inyección de la corriente en A y B.

$$V = \frac{I \cdot \rho}{2\pi}\left[\frac{1}{r1} - \frac{1}{r2} + \frac{1}{r4} - \frac{1}{r3}\right] \qquad \text{Ec. 1.12}$$

Resistividad del Suelo (Homogéneo):

$$\rho = 2\pi \frac{V}{I}\left[\frac{1}{r1} - \frac{1}{r2} + \frac{1}{r4} - \frac{1}{r3}\right]^{-1} \qquad \text{Ec. 1.13}$$

O, bien

$$\rho = K\left(\frac{V}{I}\right) \qquad \text{Ec. 1.14}$$

K , Factor que depende del arreglo de los electrodos (Wenner o Shlumberger)

Resistividad aparente del suelo (No homogéneo)

$$\rho_a = K\left(\frac{V}{I}\right) \qquad \text{Ec. 1.15}$$

Resistividad aparente de Wenner:

$$\rho_{aw} = 2\pi a\left(\frac{V}{I}\right) \qquad \text{Ec.1.16}$$

Resistividad de Shlumberger:

$$\rho_{as} = \pi\left[\frac{OA^2}{MN^2} - \frac{1}{4}\right] MN\frac{V}{I} \qquad \text{Ec. 1.17}$$

Refiriéndose en la figura 1.10 esto es.

$$MN = r3 - r4 = r2 - r1 \qquad \text{Ec. 1.18}$$

$$OA = \frac{1}{2}(r3 + r1) = \frac{1}{2}(r2 + r4) \qquad \text{Ec. 1.19}$$

1.4 MÉTODO DE SEV MEDIANTE WENNER-OFFSET

Los textos indican que se han desarrollado muchas técnicas de prospección geoeléctrica, así como también se han puesto a prueba los equipos diseñados para este fin, pero los resultados de estas mediciones han tenido valorizaciones significativas, que se la han considerado como errores técnicos. Estos errores en muchos de los casos se dan por situaciones imperceptibles o imposibles de evitar durante la medición, pero se hacen perceptibles cuando se hace la interpretación de dichos datos. Entre los factores que más afectan a la medición son:

1.4.1 POTENCIALES ESPONTÁNEOS

Estos potenciales se presentan por alguna actividad química ya sea por contenidos de electrolito o sales en el terreno que genera una variación de voltaje parecida a una celda de energía con un bajo nivel de tensión, pero lo suficiente como para generar un error en la lectura del instrumento.

1.4.2 VARIACIÓN DE LA RESISTIVIDAD LATERAL (EFECTOS LATERALES)

Un efecto muy importante a tomar en cuenta en el sondeo del terreno es que se lo realiza sin saber sus características físicas internas como son la disposición de las capas, fallas, canales, asentamientos o algún objeto que modifica sustancialmente las líneas de corriente es por este motivo que las mediciones tendrán algún grado de discordancia que se deben a este efecto. Por tal motivo se han ideado métodos de sondeo que minimizan este error y obtener una resistividad promedio.

El problema antes mencionado ha sido estudiado por muchos entendidos en el tema ya sea mediante técnicas experimentales que minimicen sus efectos, pero todos ellos han terminado en el uso de tediosos cálculos y una difícil interpretación de los resultados.

Todo esto ha llevado a que la mejor interpretación del problema está en que la resistencia total medida es la contribución de muchas fuentes, y que esta depende de la comparación de perfiles calculados con un cuerpo enterrado a una profundidad conocida, además de saber las características geométricas y resistivas. Esto ha dado el hecho, que se necesita saber de antemano las características del cuerpo y su ubicación en el terreno, que es una gran desventaja en las mediciones de campo.

Por los años de 1979 se propone un método que examina las contribuciones a la resistencia total para un arreglo de cuatro electrodos, en la cual se toma al subsuelo como homogéneo por lo que las características físicas del cuerpo dejan de ser significativas. Con lo anterior y empleando el método Electroestático para prospección con corriente continua se puede ver gráficamente las contribuciones de cada elemento de volumen al potencial total medido por un par de electrodos.

A continuación se desarrollara el método electrostático que nos graficara las contribuciones para luego hacer las comparaciones entre los métodos más empleados y sacar conclusiones para perfeccionar un método en particular.

1.4.3 CONSTRUCCIÓN DE SECCIONES DE CONTRIBUCIÓN DE SEÑAL

1.4.3.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA – EQUIVALENCIA ELECTROSTÁTICA

Teniendo un arreglo electródico necesitamos encontrar la contribución de cada elemento de volumen del terreno al potencial total medido en la superficie, para esto se realizara la analogía con el modelo electrostático teniendo en cuenta que los electrodos de corriente serán reemplazadas por cargas puntuales ubicadas en un semi-espacio dieléctrico, y que la corriente eléctrica en un terreno en régimen estacionario tiene iguales propiedades, que el régimen electrostático en su equivalente dieléctrico. Entonces lo que calcularemos serán potenciales electrostáticos y no señales eléctricas.

Con lo anterior cada elemento de volumen tendrá tres componentes de polarización electrostática que da lugar a campos dipolares. Por lo que el potencial electrostático dipolar producido en los puntos de medición por el elemento de volumen polarizado, es la contribución de este a la señal total.

Para obtener el potencial total medido en la superficie del terreno se debería sumar las contribuciones de cada elemento de volumen y así obtener un equivalente que sería igual a usar el régimen de corriente continua.

1.4.3.2 FUNDAMENTACIÓN MATEMÁTICA

Considérese el arreglo electródico como el de la figura 1.11 en el cual se ha dispuesto que los ejes “x”-“y” coinciden con el terreno y el eje “z” penetra perpendicular al suelo además se especifican las distancias entre electrodos y su correspondiente función.

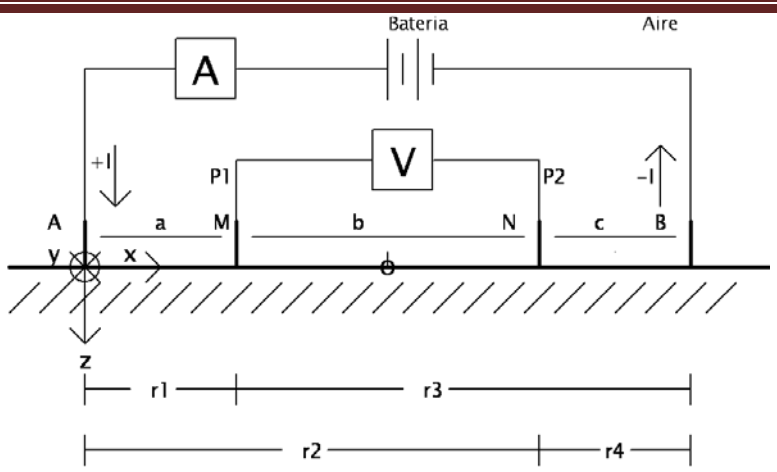


Figura 1.11 Arreglo generalizado en tres dimensiones

El potencial en un semi-espacio conductor isotrópico y homogéneo con resistividad ρ está dado por la ecuación 1.9 y que corresponde a:

$$V = \frac{I\rho}{2\pi}\left[\frac{1}{r1} - \frac{1}{r2}\right] \qquad \text{Ec.1.20}$$

Donde r1 y r2 es la distancia del punto calculado a los electrodos de corriente +I y –I. respectivamente, así tenemos que para este caso tenemos:

$$V_{x,y,z} = \frac{I\rho}{2\pi}\left[\frac{1}{\sqrt{(x^2+y^2+z^2)}} - \frac{1}{\sqrt{((x-a-b-c)^2+y^2+z^2)}}\right] \qquad \text{Ec.1.21}$$

Los momentos del dipolo en cada dirección del elemento de volumen en (x, y, z) será proporcional al campo eléctrico en ese punto y se puede asumir como:

$$\mu_x = \frac{1}{2\pi}\frac{\delta V}{\delta x}dxdydz$$

$$\mu_y = \frac{1}{2\pi}\frac{\delta V}{\delta y}dydxdz \qquad \text{Ec. 1.22}$$

$$\mu_z = \frac{1}{2\pi}\frac{\delta V}{\delta z}dzdxdy$$

Se asumió una constante de proporcionalidad igual a $\frac{1}{2\pi}$.

La diferencia de potencial entre P1 y P2 producto de los momentos de los dipolos está dado por la expresión:

$$dV_{P1P2} = \left[\mu_x\frac{\delta}{\delta x} + \mu_y\frac{\delta}{\delta y} + \mu_z\frac{\delta}{\delta z}\right]\left[\frac{1}{R1} - \frac{1}{R2}\right] \qquad \text{Ec. 1.23}$$

Donde para este caso particular:

$$R1 = \sqrt{((x-a)^2 + y^2 + z^2)} \qquad \text{Ec. 1.24}$$

$$R2 = \sqrt{((x-a-b)^2 + y^2 + z^2)} \qquad \text{Ec. 1.25}$$

Por lo que si utilizamos la ecuación 1.21 hasta la ecuación 1.25 se obtiene la diferencia de potencial debido a un elemento de volumen en (x,y,z) y medido entre dos electrodos de potencial ubicados sobre la superficie de un semi-espacio homogéneo de resistividad ρ:

$$dV_{P1P2} = \frac{\rho I}{4\pi^2} dz \left[\frac{x(x-a)+y^2+z^2}{(x^2+y^2+z^2)^{3/2}\{(x-a)^2+y^2+z^2\}^{3/2}} - \frac{(x-a)(x-a-b-c)+y^2+z^2}{\{(x-a)^2+y^2+z^2\}^{3/2}\{(x-a-b-c)^2+y^2+z^2\}^{3/2}} - \right.$$

$$xx-a-b+y2+z2x2+y2+z23/2x-a-b2+y2+z23/2-x-a-bx-a-b-c+y2+z2x-a-b2+y2+z23/2x-a-b-c2+y2+z23/2 \qquad \text{Ec. 1.26}$$

Si se integra esta ecuación entre los limites (-∞,-∞,0) y (∞,∞,∞) se obtiene la respuesta total del voltaje Vp1p2 entre los electrodos de potencial del semi-espacio. Esto es:

$$V_{P1P2} = \int_0^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} dV_{P1P2}\, dxdydz \qquad \text{Ec. 1.27}$$

El cual desarrollando según los criterios del anexo A resulta:

$$V_{P1P2} = \frac{\rho I}{2\pi}\left[\frac{1}{a} - \frac{1}{b+c} - \frac{1}{a+b} + \frac{1}{c}\right] \qquad \text{Ec. 1.28}$$

Con lo que se puede comprobar que la constante de proporcionalidad asumida anteriormente es correcta ya que la ecuación anterior esta en total concordancia con la presentada en las ecuaciones relevantes del apartado anterior para idéntica situación.

1.4.3.3 RESULTADOS GRÁFICOS APLICADOS A CONFIGURACIONES CONVENCIONALES

De lo anteriormente deducido se empleara la ecuación 1.26 para saber cuál será la contribución de un elemento de volumen en la sección vertical bajo la línea de sondeo y así poder saber las contribuciones positivas o negativas que afectan las mediciones pero sin considerar variaciones en la resistividad lateral. Para poder tener graficas que muestren lo más posiblemente detallado este

efecto es necesario la normalización de las ecuaciones y suponer valores arbitrarios que faciliten el trabajo.

1.4.3.3.1 CONFIGURACIÓN WENNER

La siguiente figura muestra donde se han tomado las características del método de Wenner para restringir la gráfica donde se puede apreciar que las contribuciones de señal positivas y negativas ocurren en lugares muy próximos a los electrodos de medición y a medida que se acercan a ellos se obtienen valores muy altos. Este efecto es muy notorio en la superficie del terreno donde existe un electrodo.

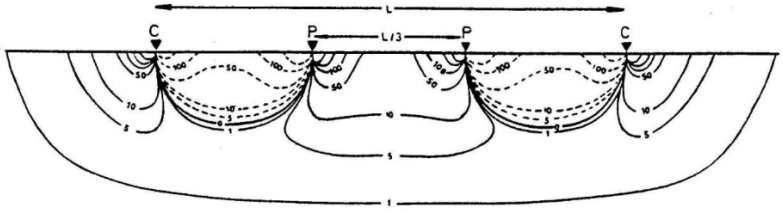


Figura 1.12 Secciones de contribución de señal estandarizadas par configuración de señal.

Se ha comprobado en pruebas que las contribuciones de mayor magnitud positiva y negativa se cancelan entre sí por lo que las únicas contribuciones son las que provienen de lugares más profundos a los electrodos y no los más cercanos.

1.4.3.3.2 CONFIGURACIÓN SHLUMBERGER

Como en el caso anterior para este análisis grafico se usaron las limitaciones del método de Shlumberger aunque tengan similitudes al método de Wenner, se puede apreciar las contribuciones de señales positivas y negativas.

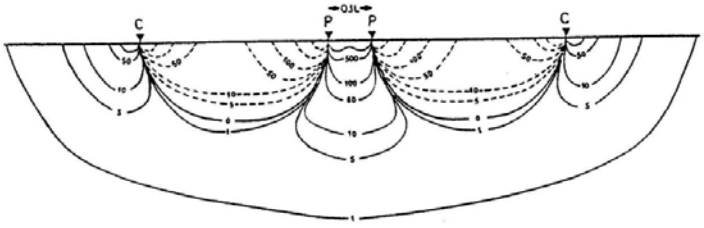


Figura 1.13 Secciones de contribución de señal Shlumberger.

Como en el caso anterior se comprobó experimentalmente que las mayores contribuciones a la señal medida provienen de secciones verticales muy profundas.

1.4.3.4 GENERALIZACIÓN DEL MÉTODO

En los resultados analizados anteriormente, se han tomado en consideración que no existe elemento alguno que varié la resistividad, y por ende que perturbe las líneas de corriente, es por este caso que si la aplicáramos en alguna medición solo nos serviría para tener una idea de cómo se distribuye las líneas de corriente idealmente sobre un terreno homogéneo de resistividad constante. En ciertos casos por investigaciones se ha encontrado que si un objeto de volumen menor a 1/5 la longitud del largo del electrodo se pueden usar las curvas para predecir la anomalía en los planos horizontales pero para dimensiones más grandes se pone en duda sus resultados.

Además se considera un terreno homogéneo pero en la realidad esto no se da, ya que la resistividad medida es la mezcla de resistividades de diversos materiales por lo que se termina denominando resistividad aparente ρ_a. Otro factor a considerar es que la presencia de un cuerpo de alta resistividad en la sección vertical de sondeo influye en la medición, ya que si este se encuentra ubicado en las zonas de contribución positiva tiende a alterar positivamente, incrementando el valor de la resistividad aparente medida, caso contrario si esta en zona de contribución negativa disminuirá el valor de la resistividad aparente, y en ambos casos la lectura se desviara del valor real que se desea medir. Por lo anteriormente dicho este efecto se lo denomina como efecto lateral.

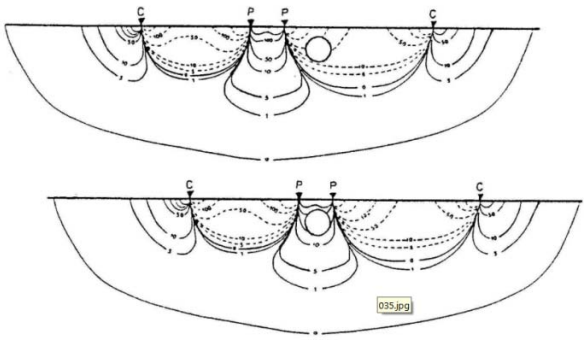


Figura 1.14 Esquema para reducir efectos laterales.

Se puede extraer una conclusión importante del análisis anterior, podemos darnos cuenta que si realizamos medidas del terreno tal que el cuerpo quede situado en zonas de contribución positiva y otra medición en zona negativa y calcular el promedio de las dos mediciones el efecto lateral que tendría sobre la medición seria minimizado e incluso en algunos casos eliminado.

1.5 MÉTODO DE WENNER – OFFSET

Un problema que se presenta en el razonamiento anterior es debido a que no se sabe con exactitud donde se encuentra enterrado el objeto que provoca un efecto lateral además de que es imposible determinar cuál debe ser el desplazamiento electródico necesario para las mediciones.

Una gran ayuda para resolver este problema es la configuración de Wenner, en la cual por sus características de linealidad, simetría y su equi-espaciamiento electródico las contribuciones de señal son simétricas respecto a un punto central, con signos alternados entre cada electrodo consecutivo como en la figura 1.14.

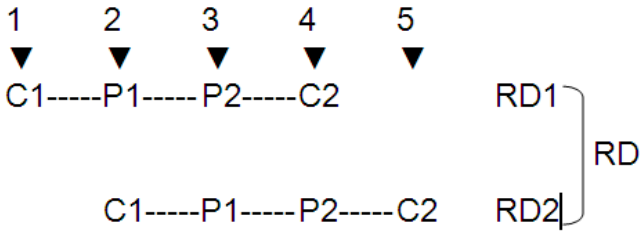


Figura 1.15 Esquema para reducir efectos laterales.

Si nos basamos en la figura 1.15 podemos ver que si tenemos 5 varillas equi-espaciadas pero las lecturas hacemos de tal manera que primero tomamos 4 varillas contiguas y encontramos el valor de una resistencia R_{D1}, y luego efectuamos otra medición con otras 4 varillas contiguas pero de tal manera que una varilla de la primera medición quede libre y encontrando otra resistencia R_{D2}, por lo que la R_D equivalente será el promedio de las dos mediciones anteriores, de esta manera se contrarrestara los efectos producidos por la contribución positiva y negativa ya que el cuerpo en la figura ocupa las dos zonas de contribución respectivamente en las mediciones o incluso si las

contribuciones son de igual magnitud se podría eliminar el error en el promedio. Este esquema práctico de medición recibe el nombre de “Método de Wenner-Offset”.

En forma práctica, el método Wenner-Offset para SEV es manejado más convenientemente utilizando un arreglo de cinco electrodos equi-espaciados y conmutando entre ambos conjuntos adyacentes de cuatro electrodos como se indica en la figura 1.15. Las resistencias R_{D1} y R_{D2} son medidas por arreglos normales de Wenner y su promedio entrega la resistencia Wenner-Offset R_D, en cuyo valor se encuentran disminuidos efectivamente los efectos laterales.

1.6 SISTEMA DE MEDICIÓN OFFSET CON CABLE MULTILINEA

De lo planteado anteriormente se deduce que se puede reducir los efectos laterales, minimizar los cálculos y tener datos procedentes de mediciones con el método de Wenner, todo esto nos da una idea de plantear un sistema físico de medición en el cual dispongamos de múltiples varillas igualmente espaciadas y solamente tengamos un método para seleccionar las que deseemos para realizar una medición de Wenner. La idea puede ser muy complicada debido a que se tendría un número muy grande de varillas que por lo general está entre 48 varillas para una distancia de a= 1, 1.5, 2, 3, 4,…, $2^n, 3 * 2^{n-1}$,…,128 m. que se usa mucho en mediciones de campo. Entonces si se hace esta configuración se tendría un total de 24 varillas por cada mitad de la extensión además nos dará una curva de sondeo Wenner de 15 puntos que es ideal. Si se incrementa la distancia entre electrodos se tendría un menor número de puntos de sondeo pero a su vez se reduce el número de electrodos involucrados. Además para un sistema de sondeo Wenner convencional se necesitaría de al menos 30 varillas esto significa mucha complejidad en el transporte del equipo y en el tiempo necesario para el sondeo y ni se diga para un Wenner-offset en el que se deben realizar 2 mediciones adicionales.

Dadas las condiciones anteriores se puede ver que el sistema sería muy complejo, difícil de realizarlo y costoso. Volviendo a redefinir el problema podemos darnos cuenta que el método de Wenner-offset planteado en el punto 1.5 resuelve esta problemática ya que se puede usar este procedimiento para

distancias entre electrodos de a= 1, 2, 4, 8,…, 2^n ,…,32 m. tal que los electrodos de potencial caen en las posiciones ocupadas por los de corriente anteriormente usados, esto nos ofrece un total de 7 puntos de sondeo con 15 electrodos (uno central más 7 laterales) pero estas mediciones se pueden mejorar intercambiando las funciones de los electrodos y no su posición. Se obtiene esto midiendo las denominadas resistencias características "R_A" "R_B" y "R_C" además de las resistencias offset "R_{D1}" y "R_{D2}" (figura 1.16).

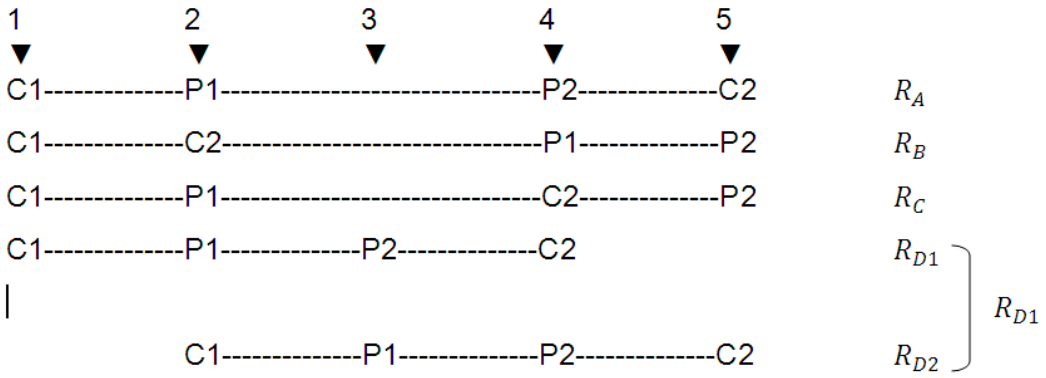


Figura 1.16. Resistencias medidas con un arreglo de 5 electrodos, necesarias para obtener una curva de sondeo Offset con puntos adicionales.

1.7 RESISTENCIAS CARACTERISTICAS PARA ARREGLOS DE 4 ELECTRODOS

Considérese un arreglo de 4 electrodos como de la figura 1.17 y la relación para la resistividad aparente mostrada en la ecuación 1.13 que corresponde a:

$$\rho_a = 2 * \pi * R * G \qquad \text{Ec. 1.29}$$

Donde G es el " Factor de Configuración" que es propio de cada arreglo en particular:

$$G = \left[\frac{1}{x_{11}} + \frac{1}{x_{22}} - \frac{1}{x_{12}} - \frac{1}{x_{21}}\right]^{-1} \qquad \text{Ec. 1.30}$$

Con x_{11}, x_{12},x_{21} y x_{22} las distancias entre los electrodos C1 y P1, C1 y P2, C2 y P1; y C2 y P2 respectivamente.

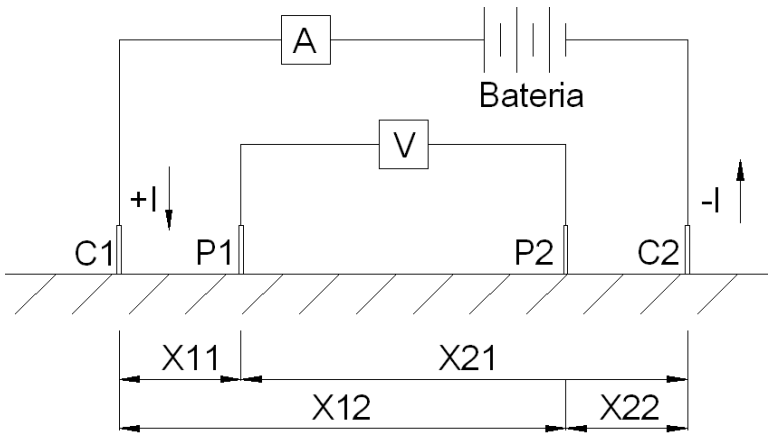


Figura 1.17. Arreglo de cuatro electrodos

Por lo tanto existen 24 formas en las cuales se pueden distribuir C1, C2, P1 y P2 como configuraciones de 4 electrodos. Pero para un arreglo en particular, un intercambio entre los electrodos de potencial, P1 y P2 ó entre los de corriente, C1 y C2, ocasionará un cambio en el signo, pero no en la magnitud tanto de la resistencia R, como del factor de configuración G. Además, para intercambios simultáneos en ambos pares de electrodos (potencial y corriente), no existirá alteración alguna ni en R ni en G. Así, ya que las resistencias aparentes están dadas simplemente como una constante del producto de R y G, sería necesario considerar sólo 6 formas en las cuales 4 electrodos podrían ser distribuidos, y son:

C P P C P C C P C C P P P P C C C P C P P C P C

Además, intercambiando los electrodos de corriente y potencial no hay efecto sobre la resistencia medida y por esto sólo puede haber 3 resistencias básicamente diferentes para cualquier configuración de 4 electrodos - las que reciben el nombre de " Resistencias Características" y sus signos dependerán de la forma en la cual C1, C2, P1 y P2 son distribuidos. También, de la ecuación 1.30, un intercambio de los electrodos de potencial y de corriente no tiene efecto sobre el valor de G, ni sobre la correspondiente resistividad aparente, y consecuentemente hay sólo 3 resistividades aparentes para cualquier configuración de 4 electrodos.

Configuración α: Con los electrodos de corriente o los de potencial adyacente, por ejemplo, CPPC o PCCP (de izquierda a derecha en la figura 1.17). Para

esta configuración la resistencia es llamada (±) R^{α} y la correspondiente resistividad aparente ρ_a^{α}. A esta configuración pertenece la resistencia R_A, que se mide según: C1 P1 P2 C2.

Configuración β: con los electrodos de corriente y los de potencial adyacente, por ejemplo, CCPP o PPCC (de izquierda a derecha en la figura 1.17). Para esta configuración la resistencia es llamada (±) R^{β} y la correspondiente resistividad aparente ρ_a^{β}. A esta configuración pertenece la resistencia R_B, que se mide según C1 C2 P1 P2.

Configuración τ: Ni los electrodos de corriente ni los de potencial adyacente, por ejemplo, CPCP o PCPC (de izquierda a derecha en la figura 1.17). Para esta configuración la resistencia es llamada (±) R^{τ} y la correspondiente resistividad aparente ρ_a^{τ}. A esta configuración pertenece la resistencia R_C, que se mide según: C1 P1 C2 P2.

En general un sondeo eléctrico vertical emplea un gran número de electrodos conectados a un cable multi-conductor, colocados según un perfil. Un ordenador portátil, en el cual está programada la secuencia de medidas, está conectado a una unidad de conmutación y selecciona automáticamente los electrodos empleados para la inyección de la corriente y la medida del potencial. La secuencia de medidas, para trabajar con resistivímetros en modo multi-electródico se llevara a cabo con software que se desarrolla en transcurso de la elaboración de este trabajo.

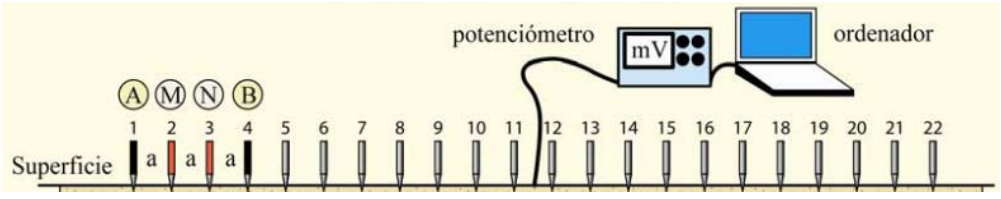


Figura 1.18 Esquema del equipo y electrodos.

Cada electrodo posee una dirección numérica única dentro del dispositivo de medida, lo que le permite ser identificado por el ordenador.

Cuando comienza la adquisición de medidas, el programa selecciona automáticamente los electrodos empleados para la inyección de la corriente

eléctrica y la medida del potencial eléctrico. La medida es almacenada inmediatamente después de tener todas las mediciones en la memoria del computador.

Por lo tanto el sistema Wenner-offset tendrá 15 electrodos, 7 por cada lado y uno central. El programa tendrá la tarea de cuando reciba la orden del computador empezara a seleccionar grupos de 5 electrodos y realizara las distintas combinaciones de inyección de corriente y medición de potencial hasta completar los 6 grupos que se tiene para luego los datos almacenados en memoria en el equipo enviarlos al computador para su respectivo calculo y muestra de resultados (figura 1.19).

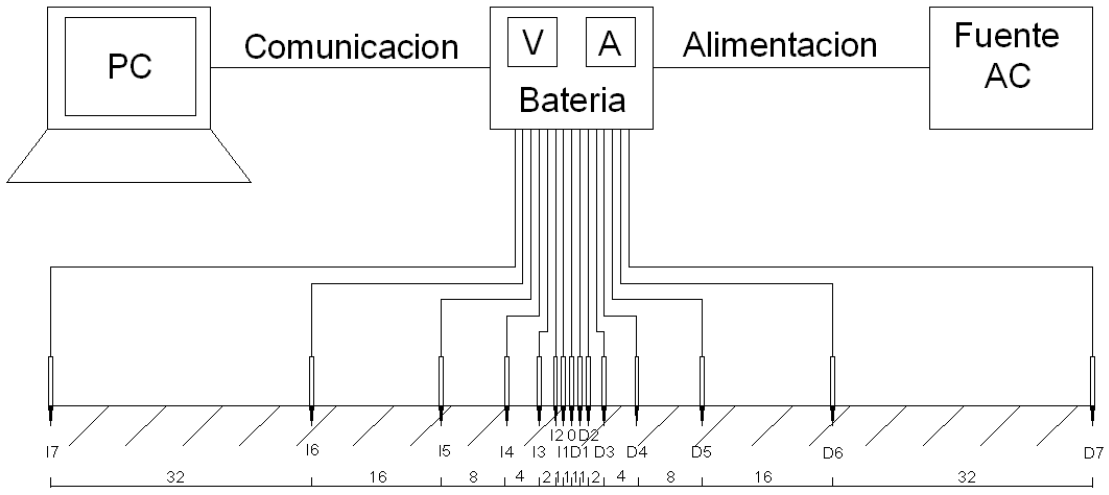


Figura 1.19. Grafico explicativo del equipo a construir.

1.8 MEDICIÓN DE ERRORES

1.8.1 ERROR OFFSET

Una importante ventaja del método de sondeo de Wenner–Offset es la posibilidad que entrega para estimar la magnitud de los efectos laterales sin necesidad de medir resistencias adicionales. Esta medición está dada por el "Error Offset" definido por la siguiente expresión.

$$ef(a) = \frac{R_{D1} - R_{D2}}{R_{Da}} * 100\% \qquad \text{Ec. 1.29}$$

Aunque la técnica Offset reduce sustancialmente los efectos laterales, aquellas variaciones de resistividad de alta magnitud que ocurran en los estratos más

profundos, tales como fallas geológicas distorsionan seriamente la curva, Esto es debido a que, naturalmente, el método pierde sensibilidad a medida que la prospección se hace más profunda.

Como criterio práctico se asume que para valores del Error Offset considerablemente mayor que un 10% (2 y 3 veces de este) la interpretación de la curva en dichos puntos carece de valides.

1.8.2 ERROR LATERAL

Se define “Error lateral” para un espaciamiento “$2a$” como:

$$el(2a) = \frac{R_D(2a) - 2[R_C(2a) - R_D(2a)]}{R_D(2a)} * 100 \qquad \text{Ec. 1.30}$$

En general, la magnitud de "el" esta en relación $3:1$ con “e”, se acepta un error practico menor que un 25 % para considerarlo como un punto valido en la curva de sondeo.

1.8.3 ERROR DE OBSERVACIÓN

Se define al “Error de observación” para un espaciamiento “a” como:

$$e_{obs} = \frac{|R_A(a)| - [|R_B|(a) + |R_C|(a)]}{|R_A(a)|} \qquad \text{Ec. 1.29}$$

Los valores prácticos para “e_{obs}” normalmente varían entre – 5% y + 5%, estos incluyen todos los pequeños efectos aleatorios presentes en una prospección, tales como errores de instrumentación. Si “e_{obs}” es mayor que estos valores (2 o 3 veces) se deberá investigar y eliminar la fuente del error, normalmente en el campo practica estas suelen ser debido al mal funcionamiento del instrumento, perdidas de corriente debido a cables dañados, contactos con electrodos deficientes o interferencias.

1.8.4 ERROR DE CUANTIFICACIÓN

Para convertir una señal continua en digital primero debe cuantificarse en un número finito de niveles de amplitud discretos. Los errores aleatorios introducidos se definen “Error de cuantificación”. Una vez cuantificada los valores instantáneos de la señal continua original nunca podrán reconstruirse

con exactitud. Este error se genera artificialmente y puede reducirse si se elige el número y la distribución de los niveles de cuantificación. Por lo tanto el error de cuantificación es la diferencia entre el nivel de la señal y el nivel de cuantificación más cercano permitido.

$$e_{cuan} = \frac{a}{2} \qquad \text{Ec. 1.29}$$

Donde “a” es igual al incremento de amplitud entre cada escalón de conversión. Esto quiere decir que si utilizamos un conversor ADC de 10 bit que equivale a 1024 escalones y un voltaje de referencia de 5V tendremos:

$$a = \frac{5}{1024} = 4.88\ mV$$

Los valores para “e_{cuan}” normalmente varían entre 0 y a/2, aquí están inmersos todos los efectos aleatorios (ruido) presentes en una prospección. Si el ruido presente es mayor que este valor se deberá eliminar la fuente de esta filtrando la señal.

1.8.5 ERRORES R.M.S.

Se puede calcular un valor R.M.S para cada uno de los errores anteriores. Los valores R.M.S de “ef” y “el” mayores que un 25% y 50 % respectivamente indican que los efectos laterales presentan una influencia demasiado alta sobre la curva de sondeo.

CAPITULO 2

FUENTES CONMUTADAS Y MICROCONTROLADORES

2.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se analiza el diseño de una fuente para el equipo de prospección ya que es indispensable para los sistemas de medición, conmutación y control. Por tanto se ha visto necesario conocer más a fondo las diversas configuraciones que tienen en su interior para escoger cual es la más idónea. Este análisis se hace de una forma breve y clara porque su construcción puede ser costosa y tardar mucho tiempo. Lo cual se optó en adquirir una en el mercado a un bajo costo, del que sería si lo hubiera construido.

Además se vio necesaria la inclusión de conocimientos fundamentales acerca de microprocesadores PIC, ya que este fabricante hoy en día está teniendo un auge cada vez mayor en el mercado, con sus productos y aplicaciones.

2.2. FUENTES CONMUTADAS

Prácticamente todas las fuentes de alimentación incluidas en equipos actuales, tanto en los de uso industrial o de instrumentación, como en computadoras o en dispositivos de consumo masivo, cuentan con fuentes del tipo conmutado, conocidas también por las iníciales SMPS, derivadas de su denominación en inglés, Switched Mode Power Supply.

En este tipo de reguladores, la transferencia de energía desde la entrada a la salida no se realiza en forma continua, sino en forma de paquetes mediante la inclusión de elementos reactivos que actúan como acumuladores de energía. Esto es posible gracias a las tecnologías desarrolladas para la fabricación de los elementos activos y pasivos requeridos en el diseño de fuentes conmutadas. El advenimiento de transistores MOSFET de potencia con altas capacidades de conmutación, junto con la disponibilidad de diodos de alta velocidad y materiales magnéticos mejorados, han impulsado definitivamente la

adopción de este tipo de circuitos convertidores, como base de diseño de todo tipo de fuentes de alimentación.

Las fuentes conmutadas son equipos de la Electrónica de Potencia que se alimentan de corriente continua a un determinado nivel de tensión y entregan a la carga también corriente continua con otro nivel de tensión (CD/CD).

La ventaja más significativa que llevan a tomar la decisión de utilizar este tipo de fuente para el equipo de prospección, es que pueden estos son construidos con un tamaño y peso reducido, debido a sus características de operación.

2.2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Las tres mayores tecnologías de Fuentes de alimentación que pueden ser consideras son:

- Fuentes lineales
- Fuentes de alimentación resonantes de alta eficiencia
- Fuentes de alimentación conmutadas moduladas con ancho de pulso

Cada una de estas tecnologías debe ser tomadas en cuenta, comparadas y mezcladas para satisfacer las necesidades del producto final. La industria de las fuentes de alimentación ha escogido cada una de las tecnologías para ciertas partes del producto como se detalla a continuación.

2.2.1.1 FUENTES LINEALES

Las fuentes lineales son usadas predominantemente en equipos referenciados a tierra donde la generación de calor y la baja eficiencia no conciernen mayormente y también donde el bajo costo con un corto periodo de tiempo de fabricación son deseados. Estos son muy populares, como reguladores en placas de circuitos en sistemas de potencia distribuidos donde el voltaje es menor a 40VCD.

Las fuentes lineales pueden solamente producir voltajes de salida más bajos que el voltaje de entrada y cada regulador puede producir solamente un voltaje

de salida. Además este tipo de fuente tienen solamente una eficiencia de entre un 35% al 50% y el resto son perdidas que se disipan como calor.

2.2.1.2 FUENTES DE ALIMENTACIÓN CONMUTADA RESONANTE DE ALTA EFICIENCIA

Su aplicación es requerida donde se desea un tamaño pequeño con un peso liviano, pero más importante es reducir la cantidad de ruido (interferencia) que se radia. Los productos más comunes en donde se emplea estas fuentes son en la aviación, la electrónica espacial y equipos o módulos portátiles de peso liviano. El planeamiento de este tipo de fuentes requiere de tiempo en el diseño y usualmente son más costosas que otras tecnologías.

2.2.1.3 FUENTES DE ALIMENTACIÓN CONMUTADAS PWM

Las fuentes PWM son mucho más flexibles y eficientes que las fuentes lineales. Comúnmente se encuentran en productos portátiles, aeronáutica, productos automotrices, pequeños instrumentos, equipos modulares, equipos de instrumentación y generalmente donde se necesite alta eficiencia y múltiples voltajes de salida. Su peso es mucho menor que los reguladores lineales ya que ellos requieren de disipadores de calor para el mismo rango de salida. Estos sin embargo son más costosos de producir y requieren más tiempo de desarrollo de ingeniería.

Existen alrededor de 14 topologías básicas para implementar una fuente conmutada. Cada topología tiene su propiedad única que la hace apta para ciertas aplicaciones. Alguna trabajan mejor a ciertas tensiones y otras no, mientras que algunas pueden desempeñarse mejor con más salidas, en cambio hay algunas que poseen menores componentes electrónicos e igual potencia que otras pero con un rizado más alto o con mayor interferencia electromagnética. El rizado, así como la interferencia electromagnética (EMI) son algunos factores a tomar en cuenta para la elección de alguna topología.

Otro criterio a tomar en cuenta son los voltajes de salidas sean altos o bajos, así como la potencia entregada, también el número de componentes electrónicos utilizados o si la topología se desempaña mejor como convertidor

DC/DC. En cambio hay topologías que requieren circuitos adicionales o complejos, que dificultan el análisis, entonces para escoger la mejor se tiene que conocer a fondo su funcionamiento, desempeño y su uso. Factores adicionales al diseño pueden ser, el ambiente de trabajo o su grado de contaminación, el espacio disponible para su alojamiento y el tipo de carga a ser alimentada entre otros.

El esquema básico de una fuente conmutada se muestra en la figura 2.1

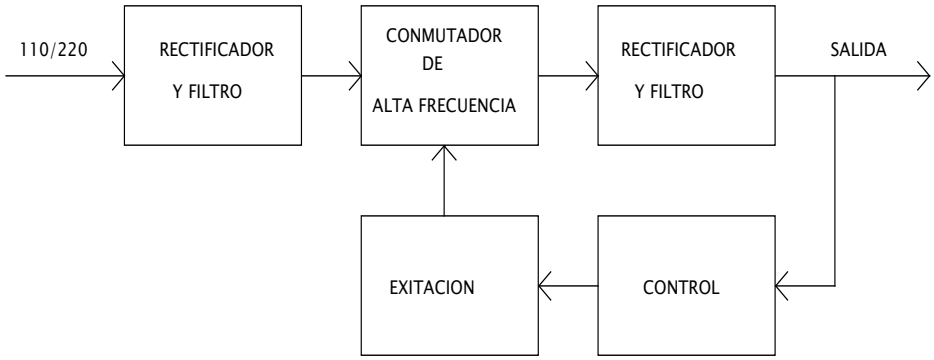


Figura 2.1. Diagrama funcional de una fuente conmutada.

Normalmente entre la etapa de conmutación de alta frecuencia y el filtro de salida se agrega un trasformador para aislar galvánicamente la entrada de la salida

El principio de funcionamiento de las fuentes conmutadas, permite que presenten las siguientes ventajas:

- Tamaño y peso reducido. La operación a frecuencias elevadas permite la reducción del tamaño de los elementos inductivos, transformadores e inductancias.
- Mayor frecuencia del rizado de salida. Facilita las tareas de filtrado y reduce el tamaño de los elementos requeridos.
- Alta eficiencia: El elemento activo de conmutación (transistor), opera entre corte y saturación, reduciendo su disipación de potencia. Rendimientos típicos del 80% al 90% pueden ser fácilmente obtenidos (en oposición al 30% a 40% ofrecido por las fuentes reguladas linealmente). Adicionalmente las fuentes conmutadas alcanzan su

máximo rendimiento a plena carga, en contraposición de las fuentes convencionales donde su mayor rendimiento se obtiene con poca carga.

- Bajo costo: Debido a su reducido volumen y disipación, los elementos activos, pasivos y de disipación son más pequeños, con el consecuente ahorro en el gabinete de montaje y ventilación.
- Amplio rango de tensión de entrada: Mediante la variación del ciclo de trabajo, estas variaciones pueden ser fácilmente compensadas.

Como desventajas pueden considerarse su mayor complejidad de diseño, emisión de señales de interferencia de radiofrecuencia y menor velocidad de respuesta ante bruscas variaciones de carga. De lo anteriormente dado las dos últimas son superadas mediante un adecuado diseño. Para un óptimo diseño de fuentes conmutadas se requiere el dominio de diversas tecnologías, tales como:

- Diseño de circuitos de conmutación de potencia.
- Diseño de elementos inductivos.
- Teoría de control y su aplicación específica al funcionamiento de las fuentes conmutadas.
- Teoría de compatibilidad electromagnética.
- Intercambio de calor aplicado a dispositivos electrónicos y su influencia sobre los componentes.

Un dispositivo es electromagnéticamente compatible con su entorno cuando cumple las siguientes reglas:

- No provoca interferencia con otros sistemas.
- No es susceptible a las emisiones de otros sistemas.
- No provoca interferencia consigo mismo.

En fuentes tipo PWM su elemento de control trabaja en estados de encendido y apagado y con esto se trocea al voltaje de entrada obteniéndose un voltaje de salida promedio en el tiempo.

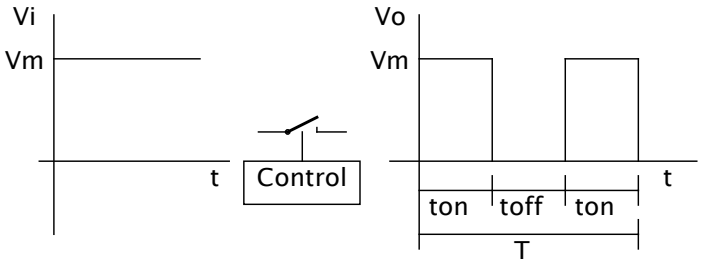


Figura 2.2. Principio de funcionamiento de una fuente conmutada

Come se ve en la figura 2.2.1 el voltaje a la salida del elemento de control no es constante, sino que está conformada por pulsos de voltajes con magnitud V_m, y una duración de t_{on}. El voltaje que se aplica a la carga es igual al promedio durante un periodo T.

$$V_o = \frac{V_{m(ton)} + V_{m(toff)}}{T} \qquad \text{Ec 2.1}$$

Se puede decir que si V_m, y T permanecen contantes el voltaje a la salida V_o, es proporcional al tiempo t_{on}. Con lo cual si se varía la duración de t_{on}, el voltaje promedio variara proporcionalmente. La expresión 2.2 se lo conoce como ciclo de trabajo.

$$ciclodetrabajo = \frac{t_{on}}{T} \qquad \text{Ec. 2.2}$$

A la variación de la duración de un pulso se le conoce como modulación por ancho de pulso (PWM por sus siglas en ingles), el PWM nos permite manipular el elemento de control en una fuente conmutada. Por lo general la frecuencia de operación varía entre los 25 y 100 KHz, dependerá de la topología que se utilice, y el elemento de control es por general un transistor muchas veces externo, como se muestra en la figura 2.2.

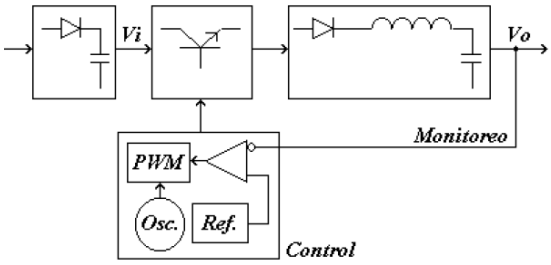


Figura. 2.3. Circuito de control externo

El circuito de control se encarga de regular el voltaje a la salida mediante su monitoreo y comparación con un voltaje de referencia. Cuando el voltaje a la salida decrece, el amplificador aumenta el t_{on} , con lo cual el transistor permanece más tiempo encendido lo cual fuerza a aumentar el voltaje a la salida.

El circuito de control puede ser implementado utilizando un chip que incluya una señal PWM, o también se pueda grabar un programa en un microprocesador, que sea capaz de comparar el voltaje de salida con un voltaje de referencia, además de controlar el tiempo muerto, entre otros.

2.2.2 TOPOLOGÍAS

El termino topología se refiere al arreglo de los componentes de potencia con la cual está diseñado una fuente. Este arreglo tiene que ver sobre el medio que operara la fuente y cuanta potencia puede aportar a la carga. Este es el punto en el proceso de diseño donde se hacen los gastos principales en relación con las compensaciones de rendimiento. Cada topología tiene su mérito relativo. Una topología puede tener costos bajos de sus componentes, pero sólo puede proporcionar una cantidad limitada de potencia. Otra en cambio puede tener la capacidad suficiente de potencia, pero su costo es más elevado. Cualquiera de las topologías puede ser utilizada para una aplicación específica, pero se deberá seleccionar una que proporcione el mejor rendimiento al costo necesario.

En la tabla 2.1 se da las topologías más utilizadas para la construcción de fuentes conmutadas con sus respectivas características.

Topología	Rango de potencia (W)	Rango de voltaje de entrada Vin (dc)	In/Out Aislamiento	Eficiencia Típica. (%)	Costo relativo
Buck	0-1000	5-40	No	78	1.0
Boost	0-150	5-40	No	80	1.0
Buck-boost	0-150	5-40	No	80	1.0
IT forward	0-150	5-500	Si	78	1.4
Flyback	0-150	5-500	Si	80	1.2
Push-pull	100-1000	50-1000	Si	75	2.0
Half-bridge	100-500	50-1000	Si	75	2.2
Full-bridge	400-2000+	50-1000	Si	73	2.5

Tabla 2.1 Comparación de topologías de fuentes conmutadas.

Los convertidores pueden tener aislamiento eléctrico entre la entrada y salida, dicho aislamiento se puede lograr utilizando transformadores que manejen la frecuencia de línea, o transformadores de alta frecuencia.

Dependiendo de la capacidad de un convertidor para producir una salida mayor o menor, comparada con el voltaje de entrada, los convertidores pueden clasificarse en: convertidor Reductor, Convertidor elevador o Convertidor elevador reductor.

2.2.2.1 REDUCTOR BUCK

Se trata de un convertidor sin asilamiento galvánico tal como se muestra en la figura 2.4. En este convertidor, si la corriente circula de VC hacia VB se transfiriere energía como en un convertidor reductor.

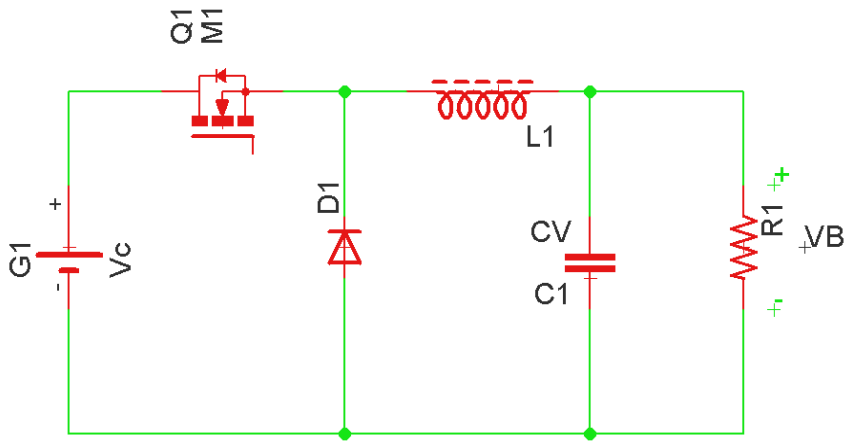


Figura. 2.4. Convertidor reductor

2.2.2.2 DE RETROCESO O FLYBACK

Dada su sencillez y bajo costo, es la topología preferida en la mayoría de convertidores de baja potencia.

En la fig. 2.5 se muestra los principios de esta topología de fuente conmutada. Cuando «Q1» conduce, la corriente crece linealmente en el primario del transformador, diseñado con alta inductancia para almacenar energía a medida que el flujo magnético aumenta.

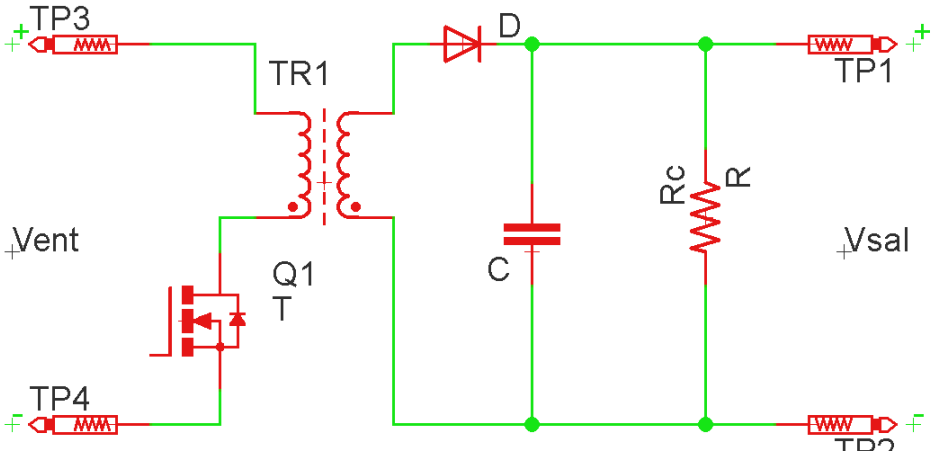


Figura. 2.5. Retroceso o Flyback

La disposición del devanado asegura que el diodo «D» está polarizado en sentido inverso durante este período, por lo que no circula corriente en el secundario. Cuando «Q1» se bloquea, el flujo en el transformador cesa

generando una corriente inversa en el secundario que carga el condensador a través del diodo que alimenta la carga. Es decir, en el campo magnético del transformador se almacena la energía durante el período «encendido» del transistor y se transfiere a la carga durante el período «apagado» (FLYBACK). El condensador mantiene la tensión en la carga durante el período «encendido». La regulación de tensión en la salida se obtiene mediante comparación con una referencia fija, actuando sobre el tiempo «encendido» del transistor, por tanto la energía transferida a la salida mantiene la tensión constante independientemente del valor de la carga o del valor de la tensión de entrada. La variación del período «encendido» se controla por modulación de ancho de pulso (PWM) a frecuencia fija, o en algunos sistemas más sencillos por auto oscilación variando la frecuencia en función de la carga.

2.2.2.3 CONVERTIDOR DIRECTO FORWARD

Es algo más complejo que el sistema Flyback aunque razonablemente sencillo y rentable. Cuando el transistor conmutador «Q1» está conduciendo «encendido», la corriente crece en el primario del transformador transfiriendo energía al secundario. Cual fuera el sentido de los devanados, el diodo «D2» está polarizado directamente, la corriente pasa a través de la inductancia «L» a la carga, acumulándose energía magnética en «L». Cuando «Q1» se apaga «apagado», la corriente en el primario cesa invirtiendo la tensión en el secundario. En este momento «D2» queda polarizado inversamente bloqueando la corriente de secundario, pero «D3» conduce permitiendo que la energía almacenada en «L» se descargue alimentando a la carga. El tercer devanado, llamado de recuperación, permite aprovechar la energía que queda en el transformador durante el ciclo «apagado» devolviéndola a la entrada, vía «D1».

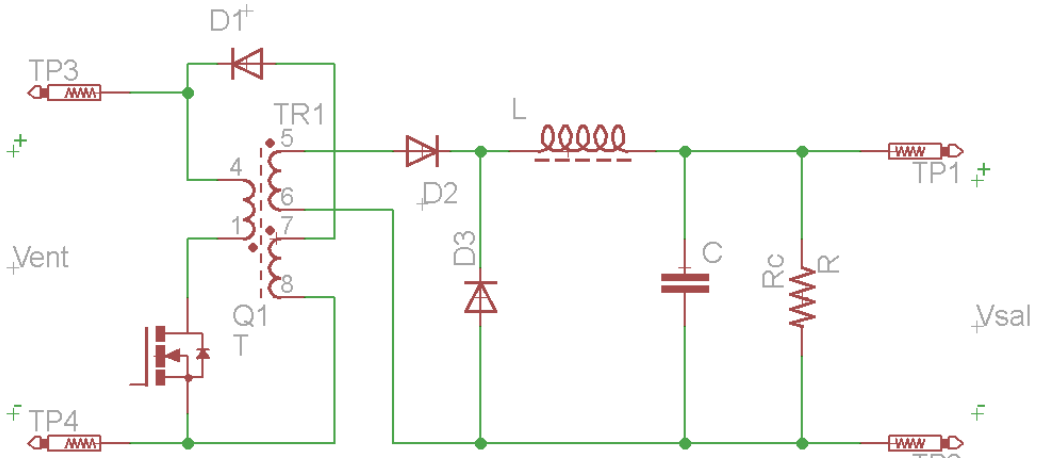


Figura. 2.6. Topología directo o Forward

Contrariamente al método Flyback, la inductancia cede energía a la carga durante los períodos «encendido» y «apagado», esto hace que los diodos soporten la mitad de la corriente y los niveles de rizado de salida sean más bajos.

2.2.2.4 CONVERTIDOR EN CONTRAFASE PUSH PULL

Esta topología se desarrolló para aprovechar mejor los núcleos magnéticos. En esencia consisten en dos convertidores Forward controlados por dos entradas en contrafase. Los diodos «D1» y «D2» en el secundario, actúan como dos diodos de recuperación. Idealmente los períodos de conducción de los transistores deben ser iguales, el transformador se excita simétricamente y al contrario de la topología Forward no es preciso prever entrehierro en el circuito magnético, ya que no existe asimetría en el flujo magnético y por tanto componente continua. Ello se traduce en una reducción del volumen del núcleo del orden del 50% para una misma potencia.

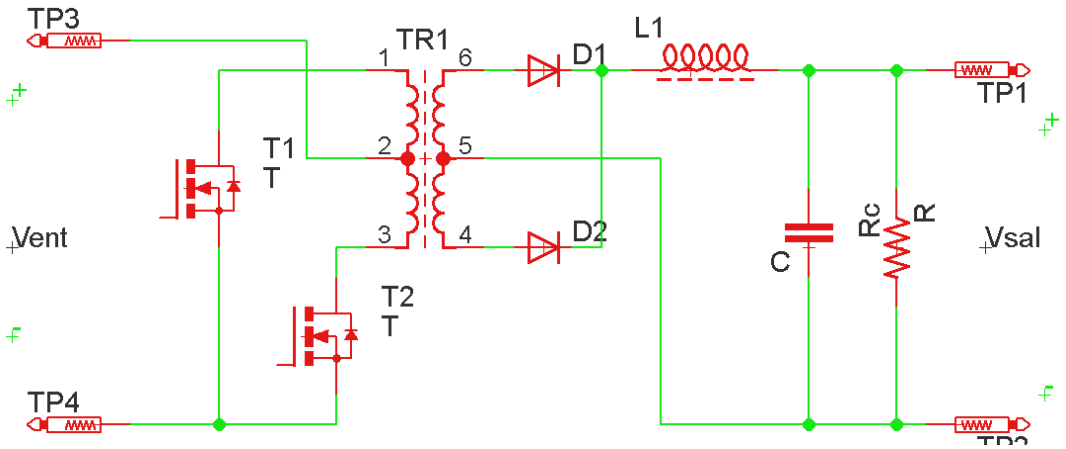


Figura. 2.7. Topología Contrafase o Push-Pull.

Una precaución que debe tenerse en cuanta en este tipo de circuitos es que las características de conmutación de los transistores deben ser muy similares, y los devanados tanto en primario como en secundario han de ser perfectamente simétricos, incluso en su disposición física en el núcleo.

También se ha de tener en cuenta, que los transistores conmutadores soportan en estado «apagado» una tensión doble de la tensión de entrada.

2.2.2.5 CONVERTIDOR SEMI-PUENTE (HALF BRIDGE)

Es la topología más utilizada para tensiones de entrada altas (de 50V a 1000V) y para potencias de 100W a 500W. En la figura 2.8 se aprecia que el primario del transformador está conectado entre la unión central de los condensadores del desacoplo de entrada y la unión de la fuente de T1 y el drenador de T2. Si se dispara alternativamente los transistores T1 y T2 conecta el extremo del primario a +Vent y a 0v según corresponda, generando una onda cuadrada de Vent/2 de valor máximo, la cual con una adecuada relación de espiras, rectificada y filtrada se obtiene la tensión de salida deseada.

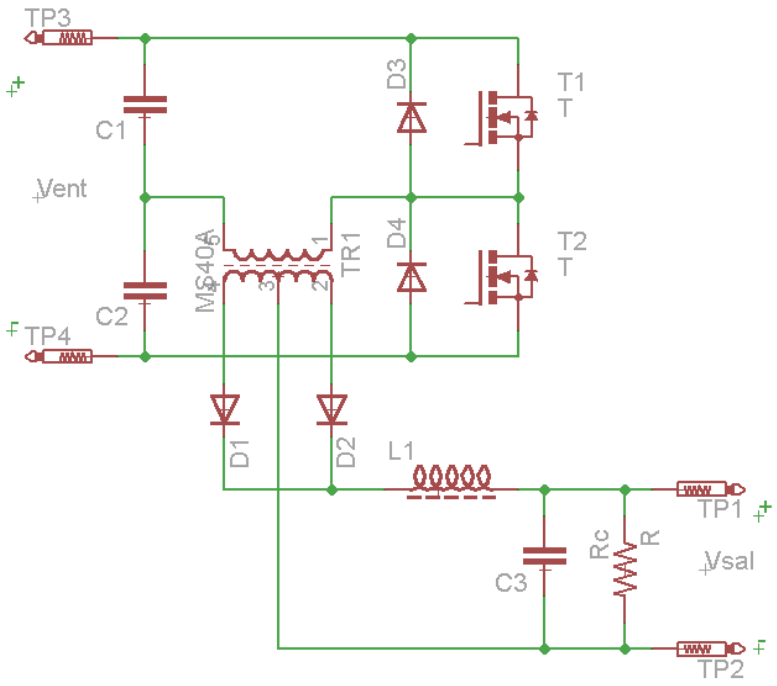


Figura. 2.8. Topología Semi-Puente o Half-Bridge

Una ventaja de este sistema es que los transistores soportan como máximo la tensión de entrada cuando están en «apagado», mientras que en los sistemas Flyback, Push-Pull y Forward, esta tensión es cuando menos el doble. Ello permite, cuando la tensión de entrada es la red rectificada, la utilización de transistores de 400VCD a 500VCD, mientras que en las otras configuraciones se requerirían transistores de 800VCD a 1000VCD.La regulación se logra comparando una muestra de la salida con una tensión de referencia para controlar el ancho del estado de conducción de los transistores.

Algunas de las ventajas del semi-puente son:

- Núcleos más pequeños.
- Baja dispersión de flujo magnético.
- La frecuencia en los filtros de salida es el doble de la frecuencia de conmutación.
- Filtro de reducidas dimensiones.
- Bajo ruido y rizado de salida.
- Fácil configuración como salidas múltiples.
- Ruido radiado relativamente bajo.

La mayor desventaja consiste en que el primario del transformador trabaja a la mitad de la tensión de entrada y por tanto circula el doble de corriente por los transistores que en el caso de topología puente completo que se verá a continuación.

2.2.2.6 PUENTE COMPLETO (FULL- BRIDGE)

Para potencias superiores a 2000W. La figura 2.9 muestra la topología básica de un convertidor puente, donde los transistores en ramas opuestas del puente «T1» y «T4» son disparados en fase y «T2» y «T4» en contrafase. La amplitud de la onda cuadrada en el primario del transformador es el doble que en la topología semi-puente y por tanto la mitad de corriente para una misma potencia.

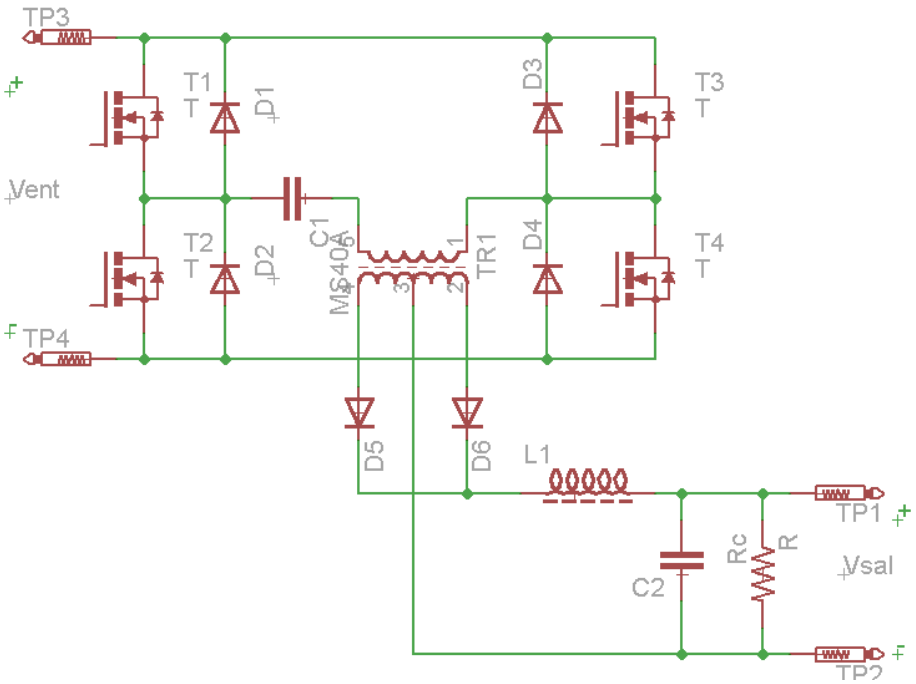


Figura. 2.9. Topología Puente o Bridge.

El empleo de cuatro transistores que deben ser excitados por separado, hace que el circuito de disparo sea más complejo. Si la conmutación en ambas ramas está algo des-balanceada hace que aparezca una componente continua en el transformador produciendo la saturación del núcleo magnético, esto se evita con la introducción del condensador C1 en serie con el primario del transformador.

2.3 TOPOLOGÍA APLICADA

Los principales factores que determinan la elección óptima de una topología son.

- Aislamiento de transformadores de entrada como de salida.

Las topologías sin aislamiento galvánico, por lo general son construidas para fuentes de hasta 40VCD de salida. Se deduce que para el equipo de prospección donde se necesita un voltaje de salida de hasta 120 VCA, necesariamente deberá ser una fuente con aislamiento galvánico.

- Máximo voltaje de operación a través de los interruptores de potencia

Los interruptores de potencia de las diferentes topologías tienen que operar dentro de un área segura (SOA). Los picos de tensión son muy comunes en las fuentes de alimentación conmutadas, y la frecuencia que estos picos serán más grandes que la tensión nominal son más probables, degradando la vida útil de los interruptores de potencia.

Para topologías aisladas con transformador, como se ha mencionado en los apartados anteriores, cada tipo de convertidor se adapta más eficazmente en un cierto rango de tensiones y potencias de salida. La grafica de la figura 2.10 contiene los rangos más favorables de utilización para los convertidores estudiados

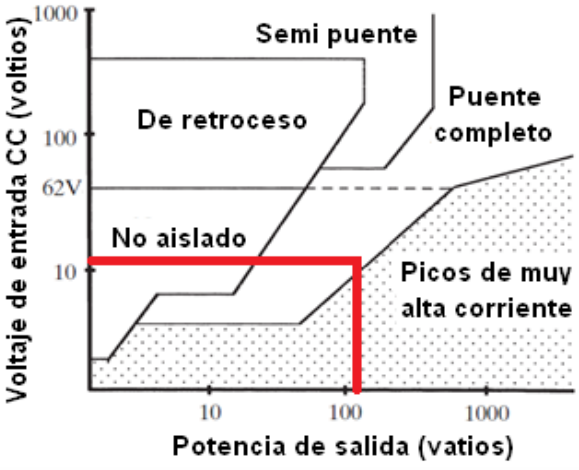


Figura 2.10 Topologías Usadas.

De acuerdo al grafico 2.10 y con los requerimientos del equipo de prospección que son; un voltaje de entrada desde las baterías de 12VCD y potencia de salida 120W se procede a seleccionar la topología Full Bridge (Puente completo). Un inversor que tenga esta topología será necesario para este equipo. En el mercado se existen varios inversores cada una con sus respectivas especificaciones y topologías, se ha seleccionado el inversor “Cobra” (figura 2.11) en base a los requerimientos.

Al plantearse los requerimientos de una fuente da alimentación, debe considerarse que si bien inicialmente solo se contemplan la tensión y corriente requeridas, éstas especificaciones son tan solo el comienzo de una larga lista de parámetros que deben ser especificados. Se mencionan a continuación todos los parámetros que deben ser incluidos en una fuente conmutada.

Figura 2.11 inversor Cobra CPI 480

2.3.1 NÚMERO DE SALIDAS

En general, se requiere solo una tensión de salida de 120VAC para la alimentación del equipo de prospección.

2.3.2 CORRIENTE DE SALIDA

La corriente de salida debe ser especificada por el máximo valor a entregar en operación normal, junto con los requerimientos impulsivos, preferiblemente en forma de diagramas temporales. Se requiere para el equipo de prospección una corriente máxima de 1 ACA.

2.3.3 TENSIÓN DE ENTRADA

El rango admisible de tensiones de entrada, sean estas de alterna o continua, debe ser indicado. Para el equipo de prospección geoeléctrica se requiere una tensión de entrada de 12VCC la cual puede ser una batería de plomo acido de un automóvil debido a que es un equipo para trabajos a campo abierto.

Para el inversor mostrado en la figura 2.11la tensión de entrada de acuerdo a las especificaciones dada por el fabricante es entre 10.4 VDC y 14.4 VDC

2.3.4 POTENCIA DE SALIDA

La potencia de salida según los requerimiento es de 200W, el inversor “Cobra” de la figura 2.11 nos ofrece la salida una potencia nominal de 400W (pico de 800W), al trabajar al total de su potencia nominal el dispositivo puede funcionar por una hora, si se sobrepasa este tiempo los elementos se recalentaran por los que habrá que refrigerarlo o apagarlo por 15 minutos.

2.3.5 AISLACIÓN

Aplicaciones que requieran aislación galvánica entre la entrada y la salida, deben utilizar fuentes conmutadas que incluyan un transformador o inductancia de dos arrollamientos en su diseño. Esto proyecto precisa de la existencia de aislación galvánica debido a que se necesita utilizar circuitos para la medición de parámetros eléctricos por tal motivo estos pueden ser alterados por la inclusión de ruidos o perturbaciones en las fuentes con alimentación común.

2.3.6 RIZADO DE LA TENSIÓN DE SALIDA

Expresado habitualmente como una tensión pico a pico a la frecuencia fundamental. Esto quiere decir que sobre la tensión promedio de salida se presenta una variación de voltaje positivo y negativo que si es significante puede provocar perturbaciones en el circuito alimentado. Este porcentaje de rizado se puede minimizar con la adecuada selección de los valores de capacitores que a su vez también está en función de la corriente que absorbe la carga.

2.3.7 REGULACIÓN

La tensión de salida de una fuente conmutada se encuentra afectada por los siguientes factores:

- Variación en la tensión de entrada.
- Variación en la corriente de carga.
- Variación de la temperatura.

Como puede observarse en el esquema en bloques de la figura 2.1 una fuente regulada incluye un circuito de realimentación que compensa estos cambios y mantiene la tensión de salida dentro de los márgenes deseados. Deben especificarse en consecuencia, en forma diferenciada las regulaciones de carga, de línea y de temperatura requeridas.

2.3.8 REGULACIÓN DE LÍNEA.

La regulación de línea es una medida de la variación en la tensión de salida producida por variaciones en la tensión de entrada. Puede ser especificada en diversas formas, siendo lo más usual presentarla como una variación en tanto por ciento por voltios de entrada. De acuerdo a esta definición, se obtiene:

$$Regulaciondelinea = \frac{\Delta Vo}{Vo} \times \frac{1}{\Delta Vi} \times 100 \qquad (\%) \qquad \text{Ec. 2.3}$$

Esta definición implica una relación lineal entre la entrada y la salida. Como esta relación no es siempre aplicable, muchos fabricantes especifican el rango de tensiones de entrada dentro del cual es válida la regulación especificada.

2.3.9 REGULACIÓN DE CARGA.

Expresada como el porcentaje en el cambio de la tensión de salida cuando la corriente de carga varía entre vacío y plena carga, según unos fabricantes, o entre el 50% y 100% de plena carga, según otros. No se considera para esta expresión, cualquier transitorio que pudiese producirse.

$$Regulaciondecarga = \frac{(V_{NL} - V_{FL})}{V_{nom}} \times 100 \qquad (\%) \qquad \text{Ec 2.4}$$

De donde;

V_{NL} =Tensión sin carga o al 50%, según especificación.

V_{FL} =Tensión a plena carga.

V_{nom} =Tensión nominal

2.3.10 REGULACIÓN DE TEMPERATURA

Existen diversas maneras de cuantificar la influencia de la temperatura en la tensión de salida. Una forma aceptada por numerosos fabricantes es especificar un coeficiente de temperatura TC en $^{\%}/_{^{\circ}C}$ de la siguiente forma;

$$Reg.detemperatura = \frac{(VoM - Vom)}{Vonom} \times \frac{1}{(Tmax - Tmin)} \times 100 \quad (\%) \text{ Ec 2.5}$$

Donde;

VoM = Tensión de salida máxima a temperatura especificada
Vom = Tensión de salida mínima a temperatura especificada
$Vonom$ = Tensión nominal de salida
$Tmax$ = Temperatura máxima de operación.
$Tmin$ = Temperatura mínima de operación.

2.3.11 RESPUESTA TRANSITORIA

Una especificación comúnmente ignorada en las fuentes conmutadas es su respuesta frente a variaciones bruscas de la corriente de carga. Si una fuente se encuentra operando en bajas condiciones de carga, y súbitamente se le demanda la máxima corriente, su tensión de salida puede caer por debajo de los valores especificados en la regulación de carga. En forma análoga, una fuente operando en condiciones de máxima carga, si bruscamente pasa a operar a poca carga, puede elevar su tensión de salida por encima de los valores especificados. Estas condiciones de operación se especifican como la variación porcentual de la tensión de salida al producirse una variación del 100

% de la corriente de carga, acompañada con el tiempo requerido para volver a los márgenes especificados en operación normal. Su expresión resulta:

$$\frac{Vdev}{Vnom} \times 100 \quad (para\ \%\ variacion\ de\ carga) \qquad \text{Ec. 2.6}$$

Donde;

Vdev = Desviación de la tensión de salida para un 100 % de variación en la corriente.

$Vnom$ = Tensión nominal de salida.

Este valor es muy dependiente del tipo de circuito convertidor utilizado, del circuito de realimentación y del filtro de salida.

2.3.12 EFICIENCIA

Parámetro requerido para el cálculo final de consumo y del diseño de la ventilación del dispositivo. Una baja eficiencia significa innecesario consumo de la red, más la necesidad de prever costos adicionales de ventilación para asegurar una determinada temperatura de operación.

Las especificaciones dadas por el fabricante del inversor “Cobra” de la figura 2.11 a 12VDC a mitad de la carga es 88% y al total de carga es mayor al 83%.

2.3.13 PROTECCIÓN

Existen múltiples implementaciones, siendo las más comunes:

2.3.13.1 SOBRETENSIÓN

Normalmente esta protección actúa protegiendo a la carga de sobretensiones mediante su desconexión de la fuente. Otra alternativa es la presencia de un tiristor en configuración “crowbar”, el que es disparado si la tensión de salida sobrepasa un determinado umbral. Al dispararse, el tiristor cortocircuita la salida, enclavándola a un bajo valor y manteniéndose la corriente de salida controlada por el circuito de protección ante corto circuitos.

2.3.13.2 SOBRE CORRIENTE

Límite al cual se mantiene la corriente de salida ante condiciones de sobrecarga.

2.3.13.3 CORTO CIRCUITO

Puede incluirse en la protección anterior o ser un circuito autónomo que solo opere bajo esta circunstancia.

2.3.14 CORRIENTE DE PICO DE ENTRADA

Las fuentes del tipo conmutado usualmente tienen grandes condensadores de filtro en su entrada. Estos condensadores pueden demandar al momento de encenderlas una excesiva corriente de pico de la red. A este efecto las fuentes conmutadas incluyen circuitos que no permiten la circulación de corrientes excesivas.

El inversor “Cobra” tiene protección para, sobrecarga, corto circuito, sobre temperatura, inversión de polaridad, bajo y sobre voltaje.

2.3.15 INTERFERENCIA ELECTROMAGNÉTICA

Conocida por sus iníciales del inglés EMI (Electromagnetic Interference), se asocian problemas de interferencia con fuentes operando por encima de los 20 KHz, aumentando su importancia al elevarse la frecuencia de operación. Es en estos casos es indispensable la colocación de filtros tanto a la entrada como a la salida de la fuente.

2.3.16 TIEMPO DE MANTENIMIENTO

Es deseable que las fuentes mantengan su régimen de operación, aún ante interrupciones de uno o dos ciclos de la tensión de entrada. El tiempo de mantenimiento o “hold-up time”, fija los límites de operación ante este tipo de interrupciones.

2.3.17 RANGO DE TEMPERATURA

Rango de operación permitida de la fuente. Debe tenerse en cuenta que este rango de temperatura es la interna del gabinete donde debe alojarse la fuente. El inversor seleccionado según las especificaciones del fabricante deberá estar entre 0 y $40°C$.

2.3.18 DIMENSIONES

Junto con la especificación anterior, esta condición de diseño es necesaria para la definición del gabinete que alojará la fuente y a los dispositivos a ser alimentados.

2.4 MICROPROCESADORES

2.4.1 INTRODUCCIÓN

Desde que se construyó el primer transistor la electrónica digital se ha desarrollado vertiginosamente dando lugar a dispositivos cada vez más complejos y eficientes. Entre estos los microprocesadores y los microcontroladores.

Los microcontroladores están presentes en el trabajo, en la casa y en la vida en general. Se los encuentran controlando el funcionamiento de motores, generadores, teléfonos, hornos y ella industria.

Para aplicaciones sencillas resulta preferible diseños no programables sin desarrollo de software. Ya que escribir software consume tiempo por lo que resulta más costoso y a menudo es razonable efectuar tareas en hardware. Sin embargo, al aumentar la complejidad de un sistema, aumenta las ventajas del uso de sistemas programables.

Una principal ventaja de los sistemas programables es su flexibilidad, lo que permite actualizar el funcionamiento tan sólo cambiando el programa, sin tener que volver a rediseñar el hardware. Esta flexibilidad es muy importante, al permitir que los productos se actualicen con facilidad y economía.

2.4.2 MICROCONTROLADOR

Un microcontrolador es un circuito integrado que contiene todos los componentes de un computador y debido a su reducido tamaño, suele ir incorporado en el propio dispositivo al que gobierna, por lo que se denomina «controlador incrustado» (embedded controller) por su tamaño reducido.

El microcontrolador es un computador dedicado. En su memoria sólo reside un programa destinado a gobernar una aplicación determinada; sus puertos de entrada/salida soportan conexiones de sensores y actuadores del dispositivo a controlar. Una vez programado y configurado el microcontrolador solamente sirve para gobernar la tarea asignada.

2.4.3 DIFERENCIA ENTRE MICROCONTROLADOR Y MICROPROCESADOR

Un microprocesador es un chip que contiene la unidad central de proceso y necesita de chips memorias y controladores de entrada salida para poder funcionar y cumplir un proceso, esto lo confiere como un sistema abierto, eso quiere decir que podemos agregarle más chips para expandir su funcionamiento, En tanto que un microcontrolador es un sistema que contiene todos los elementos antes descritos dentro de un chip por lo tanto no se puede expandir.

Para su uso en control de cualquiera de los sistemas descritos solo depende del tema económico ya que un microprocesador para su expansión necesita más dispositivos en tanto que el microcontrolador nos será útil cuando deseemos un ahorro de espacio o hardware.

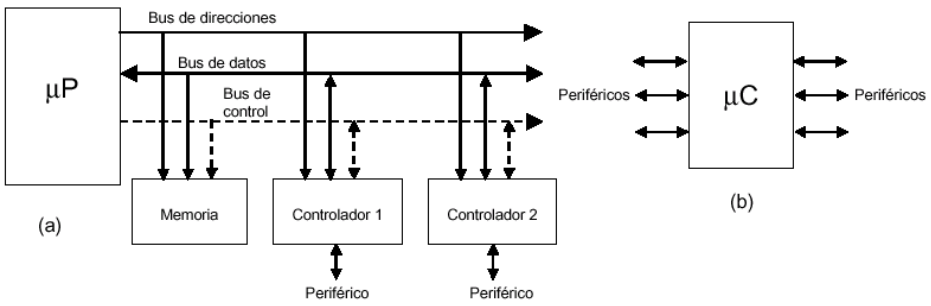


Figura 2.12 (a) Microprocesador, (b) Microcontrolador.

2.4.4 HISTORIA

En 1965, la empresa GI creó una división de microelectrónica, GI Microelectronics División, que comenzó fabricando memorias. A principios de los años 70 diseñó el microprocesador de 16 bits CP1600, pero no manejaba bien las Entradas y Salidas.

Por el año 1971 la compañía Intel lanzó al mercado el primer Microprocesador estable. Este circuito integrado contenía todos los componentes de la unidad central de procesos (CPU) de una computadora dentro de un solo dispositivo.

Para 1975 la GI Microelectronics División, diseñó un chip destinado a controlar E/S: el PIC (Peripheral Interface Controller). Se trataba de un controlador rápido pero limitado y con pocas instrucciones pues iba a trabajar en combinación con el CP1600. En aquel momento se fabricaba con tecnología NMOS y el producto sólo se ofrecía con memoria ROM y con un pequeño micro código.

En el año 1976, gracias al aumento de la densidad de integración de componentes en un circuito integrado, salió a la luz el primer ordenador en un chip, es decir se integraron junto con el microprocesador otros subsistemas que anteriormente formaban unidades independientes. A este nuevo integrado se le denominó microcomputadora mono pastilla.

Cuando los sistemas basados en microprocesadores se especializan en aplicaciones industriales, aparece la versión industrial de la microcomputadora mono pastilla, el microcontrolador. Estos dispositivos producen un obvio beneficio en aplicaciones pequeñas. Su característica más sobresaliente es que son sistemas integrados.

La década de los 80 no fue buena para GI. La GI Microelectronics División se convirtió en una empresa subsidiaria, llamada GI Microelectronics Inc. Finalmente, en 1985, la empresa fue vendida a un grupo de inversores, los cuales, tras analizar la situación, rebautizaron a la empresa con el nombre de Arizona Microchip Technology y orientaron su negocio a los PIC, las memorias

EPROM paralelo y las EEPROM serie. Se comenzó rediseñando los PIC, que pasaron a fabricarse con tecnología CMOS.

Microchip cuenta con su factoría principal en Chandler, Arizona. En 1993 construyó otra factoría de similares características en Tempe, Arizona. También cuenta con centros de ensamblaje y ensayos en Taiwán y Tailandia.

La gran acogida que tienen los PIC es debido a que se tiene mucha información de estos además que cuando se ha aprendido a usar uno de estos es muy fácil aplicar otro modelo porque comparten muchas características de software.

2.4.5 FABRICANTES

Varias empresas se dedican a la fabricación, investigación y soporte de microcontroladores.

- Intel
  8048, 8051 (Intel y otros), 80186, 80188 y 80386 EX, 8049, 80C196...
- Motorola
  68HC11 (Motorola y Toshiba), 683xx, 6805, 68HC12, 68HC16...
- Microchip
  12F, 12C, 16F, 18F, dsPic, etc.PIC (Microchip).
- Otros Fabricantes
  Zilog, Texas Instruments, Infineon, Dallas, NEC, National Semiconductor, Hitachi, Phillips, SGS-Thomson...

Los microcontroladores PIC se emplean cada vez más debido a su reducido consumo, bajo coste, pequeño tamaño, facilidad de uso y la abundancia de información y herramientas de apoyo.

2.4.6 ARQUITECTURA

2.4.6.1 ARQUITECTURA BÁSICA

La arquitectura en un principio usada fue la de Von Neumann la cual solo dispone de una sola memoria donde se encuentran datos e instrucciones y a la

cual solo se accede por un único bus de comunicación (datos, instrucciones y control).

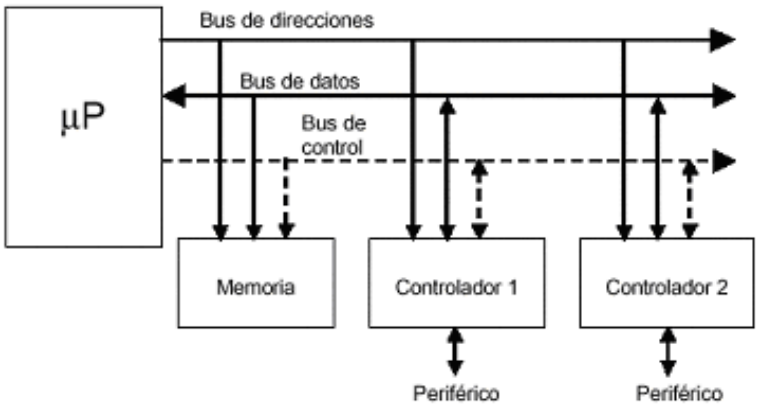


Figura 2.13. Arquitectura de Von Neumann.

Al contrario existe la arquitectura Hardvard la cual dispone de dos memorias independientes una de datos y otra de programas a las cuales se acceden por buses independientes haciendo posible el acceso simultaneo.

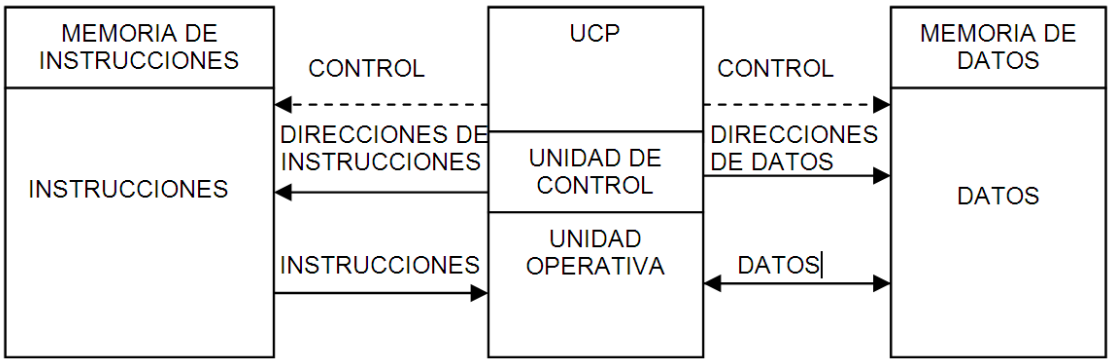


Figura 2.14. Arquitectura Harvard.

2.4.6.2 ARQUITECTURA HARVARD VS. LA ARQUITECTURA TRADICIONAL

La arquitectura tradicional de computadoras y microprocesadores se basa en el esquema propuesto por John Von Neumann, la cual tiene una memoria única que contiene las instrucciones del programa y los datos además de un bus único para el acceso.

Cuando se deba acceder a una instrucción o dato que tenga más de un espacio en la memoria, se deberá realizar más de un acceso a esta. Por otro lado un bus único limita la velocidad de operación del microprocesador, ya que no se puede buscar en memoria una nueva instrucción, antes de que finalicen las transferencias de datos de la instrucción anterior. Es decir que las dos principales limitaciones de esta arquitectura tradicional son:

- Que la longitud de las instrucciones está limitada por la unidad de longitud de los datos, por lo tanto el microprocesador debe hacer varios accesos a memoria para buscar instrucciones complejas,
- Que la velocidad de operación está limitada por un bus único para datos e instrucciones que impide superponer ambos tiempos de acceso.

2.4.6.3 LA ARQUITECTURA HARVARD Y SUS VENTAJAS

La arquitectura Harvard, consiste simplemente en un esquema en el que el CPU está conectado a dos memorias por intermedio de dos buses separados. Una de las memorias contiene las instrucciones del programa (llamada Memoria de Programa). La otra memoria solo almacena los datos (llamada Memoria de Datos) (figura 2.14). Ambos buses son independientes y pueden ser de distintos anchos.

Para un procesador de Set de Instrucciones Reducido, o RISC (Reduced Instrucción Set Computer), el set de instrucciones y el bus de la memoria de programa pueden diseñarse de manera tal que todas las instrucciones ocupen una sola posición de memoria. Además, como los buses son independientes, el CPU puede estar accediendo a los datos para completar la ejecución de una instrucción, y al mismo tiempo estar leyendo la próxima instrucción a ejecutar. Las principales ventajas de esta arquitectura son:

- Que el tamaño de las instrucciones no está relacionado con el de los datos, logrando así mayor velocidad y menor longitud de programa.
- Que el tiempo de acceso a las instrucciones puede superponerse con el de los datos, logrando una mayor velocidad de operación.

2.4.6.4 EL CAMINO DE LOS DATOS

La figura 2.15(a) representa un diagrama simplificado de la arquitectura interna del camino de los datos en el CPU de los microcontroladores PIC. La figura 2.15 (b) representa el mismo diagrama para un microprocesador ficticio de arquitectura tradicional. Se puede observar que la principal diferencia entre ambos radica en la ubicación del registro de trabajo, que para los PIC's se denomina W (Working Register), y para los tradicionales es el A (Acumulador).

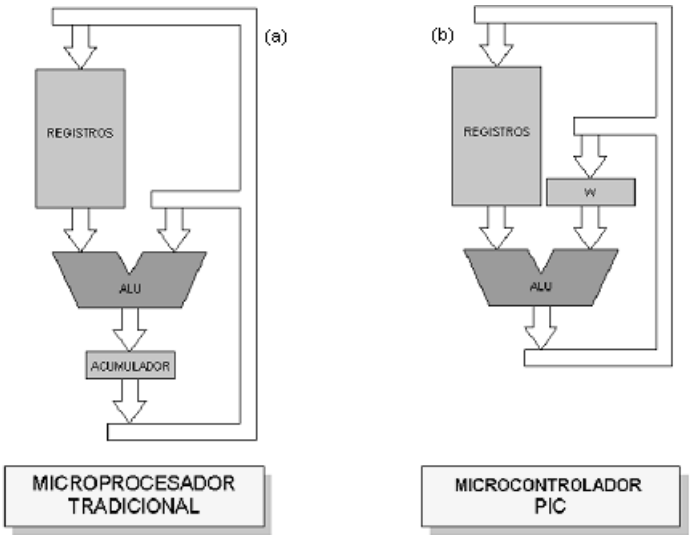


Figura 2.15. El camino de los datos para las distintas arquitecturas.

2.4.7 CONCEPTOS GENERALES

2.4.7.1 RISC

RISC (Reduced Instructions Set Computer - Computadores de Juego de Instrucciones Reducido). En estos procesadores el repertorio de instrucciones máquina es muy reducido y simple. La sencillez y rapidez de las instrucciones permiten optimizar el hardware y el software del procesador.

2.4.7.2 INSTRUCCIONES

El formato de todas las instrucciones es de la misma longitud. Las instrucciones de salto ocupan dos ciclos.

2.4.7.3 SEGMENTACIÓN

Se aplica la técnica de segmentación (“pipe-line”) en la ejecución de las instrucciones. La segmentación permite al procesador realizar al mismo tiempo la ejecución de una instrucción y la búsqueda del código de la siguiente.

2.4.8 PIC DE MICROCHIP

Para conocer un chip particular es necesario revisar su Hoja de Datos. Es un compendio de todas las características de un chip, su juego de instrucciones, sus registros, las memorias, las funciones incorporadas, etc.

2.4.8.1 NOMENCLATURA

Un microcontrolador se identifica por su nombre, y este tiene varias partes.

Marca Gama Memoria-Programable Modelo Frecuencia

- Marca: Fabricante o tipo de microcontrolador.
- Gama: escala de microcontroladores (14 baja, 16 media, 18 alta).
- Memoria Programable: Tipo de memoria para el área de programa (F Flash, el micro se puede reprogramar, C el micro se puede programar una sola vez).
- Modelo: modelo del microcontrolador.
- Frecuencia: máxima frecuencia que soporta el microcontrolador usando reloj externo (en MHz).

Ejemplo, modelo de microcontrolador: PIC16F628/04

Marca	Gama	Memoria-Programable	Modelo	Frecuencia
PIC	16	F	628	/04

- Marca: PIC es el tipo de microcontrolador, fabricado por Microchip.
- Gama: 16 indica la gama, este chip es de gama media.
- Memoria Programable: F memoria Flash.
- Modelo: 628.
- Frecuencia: 04 MHz.

2.4.8.2 GAMAS

Con las gamas de PIC se dispone de gran diversidad de modelos y encapsulados, pudiendo seleccionar el que mejor se acople a las necesidades de acuerdo con el tipo y capacidad de las memorias, el número de líneas de E/S y las funciones auxiliares incorporadas. Sin embargo, todas las versiones están construidas alrededor de una arquitectura común, un repertorio mínimo de instrucciones y un conjunto de opciones muy apreciadas, como el bajo consumo y el amplio margen del voltaje de alimentación. En la figura 2.16 se muestra la distribución de los modelos de PIC en las tres gamas.

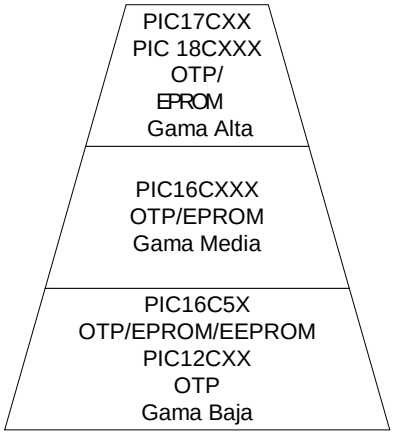


Figura 2.16. Las tres gamas en que se dividen los PIC.

2.4.8.2.1 GAMA ALTA

Los dispositivos PIC17C4X responden a microcontroladores de arquitectura abierta pudiéndose expansionar en el exterior al poder sacar los buses de datos, direcciones y control. Así se pueden configurar sistemas similares a los que utilizan los microprocesadores convencionales. Esta facultad obliga a estos componentes a tener un elevado número de patas comprendido entre 40 y 44. Admiten interrupciones, poseen puerto serie, varios temporizadores y mayores capacidades de memoria, que alcanza el 8 k palabras en la memoria de instrucciones y 454 bytes en la memoria de datos.

2.4.8.2.2 GAMA MEDIA

Admiten interrupciones, poseen comparadores de magnitudes analógicas, convertidores A/D, puertos serie y diversos temporizadores. Algunos modelos disponen de una memoria de instrucciones del tipo OTP, y que resulta mucho más económica en la implementación de prototipos y series. Hay modelos que disponen de una memoria de instrucciones tipo EEPROM, que pueden ser borrables eléctricamente.

2.4.8.2.3 GAMA BAJA

La memoria de programa puede contener 512, 1 k. y 2 k palabras de 12 bits, y ser de tipo ROM, EPROM. También hay modelos con memoria OTP (One Time Programmable), que sólo puede ser grabada una vez por el usuario. La memoria de datos puede tener una capacidad comprendida entre 25 y 73 bytes. Sólo disponen de un temporizador (TMR0), un repertorio de 33 instrucciones y un número de patitas para soportar las E/S comprendido entre 12 y 20. El voltaje de alimentación admite un valor muy flexible comprendido entre 2 y 6,25 VCD, lo cual posibilita el funcionamiento mediante pilas corrientes teniendo en cuenta su bajo consumo (menos de 2 mA a 5 VCD y 4 MHz).

Los modelos de la gama baja disponen de un repertorio de 33 instrucciones, 35 los de la gama media y casi 60 los de la alta. Todas las instrucciones de los microcontroladores de la gama baja tienen una longitud de 12 bits. Las de la gama media tienen 14 bits y más las de la gama alta.

2.4.8.3 RECURSOS AUXILIARES

Funcionalidades propias de cada microcontrolador que se ejecutan en paralelo con el programa.

- **Circuito de reloj**

  El microcontrolador incluye un reloj para ser usado como reloj del micro, si se requiere es posible alimentar al micro con una señal de reloj externa y no utilizar el reloj interno.

- **Temporizadores**

  El micro incluye varios timers que están disponibles en versiones de 8 o 16 bits, usarán la señal de reloj vigente para generar sus incrementos.

- **Convertidores A/D y D/A**

  Los convertidores Analógico Digitales y Digitales Analógicos están integrados a los chips de la gama alta y son capaces de realizar las conversiones adecuadas.

- **Comparadores analógicos**

  Estos comparadores incluidos desde algunos micros de la gama media, comparan dos señales analógicas y determinan si son iguales.

- **Protección ante fallos de alimentación**

  El micro está preparado para reaccionar a una caída de tensión resteándose y no volviendo a operar hasta que el nivel de tensión sea el adecuado.

- **Perro guardián (Watchdog)**

  Es una forma de control que permite al PIC reaccionar frente a iteraciones infinitas, es un contador que está decrementándose todo el tiempo, y cuando llega a 0, resetea el micro.

- **Estado de reposo en bajo consumo**

  El micro puede entrar en modo Stand-By por su propia programación, esto es particularmente útil cuando se están usando baterías en lugar de estar conectado a una fuente de alimentación.

2.4.9 PIC16F628

2.4.9.1 ANÁLISIS DEL MODELO

Los PIC16F62X son chips de 18 pines, basados en memoria FLASH, miembros de la versátil familia de chips de alta performance, bajo con tecnología CMOS, son microcontroladores de 8 bits, soportan interrupciones externas e internas y son reprogramables. Es comercializado en 3 versiones que soportan velocidades de reloj diferentes, 4 MHz, 10 MHz y 20 MHz.

Estos microcontroladores permiten la reducción de componentes externos, y por lo tanto la reducción de costos, reforzando la confiabilidad y reduciendo el consumo.

Todos los microcontroladores PIC utilizan arquitectura RISC, el 16F628 tiene mejoras en los principales rasgos. Inclusive separar las instrucciones de los datos permite instrucciones más anchas, de 14 bits, y datos de 8 bits. El pipeline permite que todas las instrucciones se ejecuten en un solo ciclo de procesador, excepto las instrucciones de salto.

2.4.9.2 ARQUITECTURA

La distribución de las patas de un chip de este modelo es la que sigue:

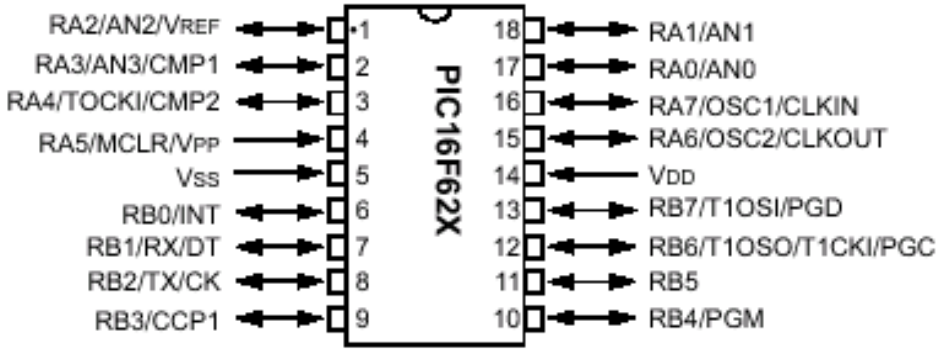


Figura 2.17. Nombres y distribución de patas de un micro 16F62X.

Un esquema de la arquitectura del chip se muestra en la figura siguiente.

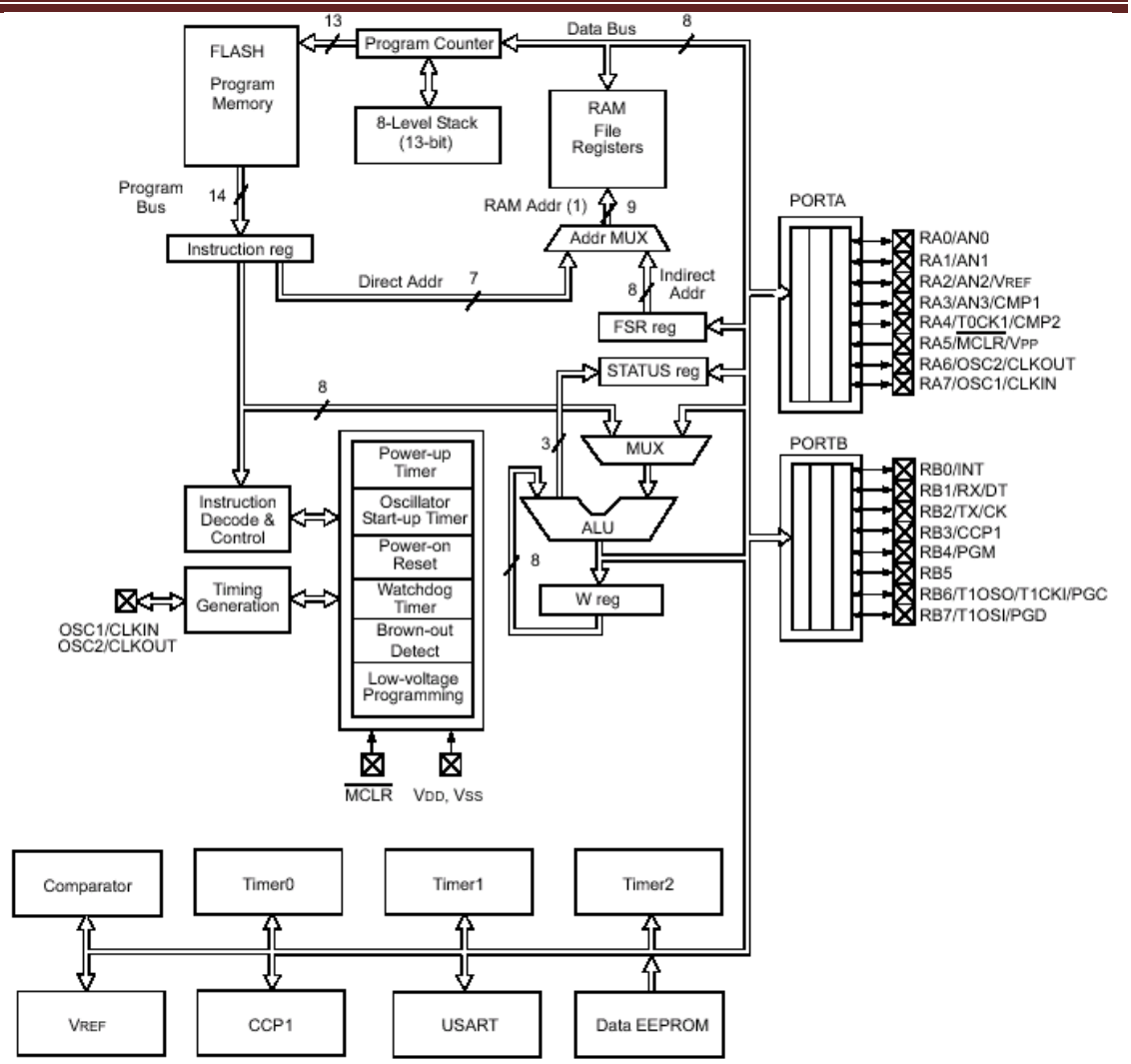


Figura 2.18. Arquitectura del 16F62X.

2.4.10 PIC 16F876A

El 16F876A es un microprocesador más potente que el anterior, lo cuadriplica en memoria, tiene 8Kb, 368 bytes de SRAM, 256 bytes de EEPROM, 28 patas de las que 22 son I/O, todo el conjunto de funcionalidades, varias repetidas más veces que el 628 y tiene la característica fundamental que soporta modos MASTER/SLAVE del bus I2C.Se utiliza con reloj externo de hasta 20MHz. Comparte la arquitectura general, los registros y el set de instrucciones Assembler con el modelo anterior. La distribución de las patas de un chip de este modelo es la que sigue:

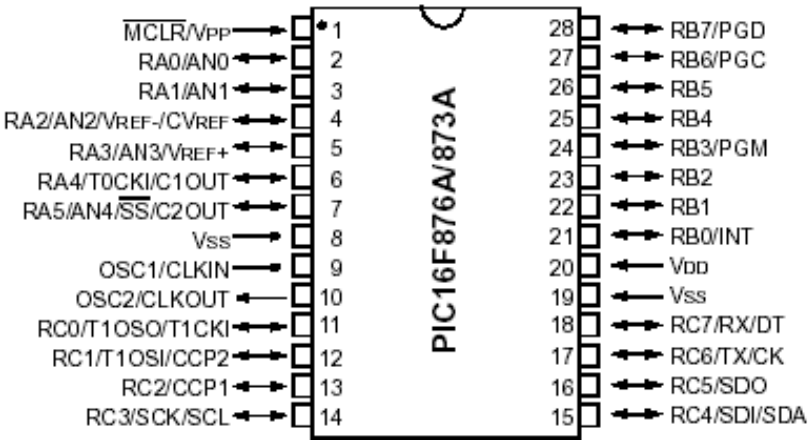


Figura 2.19. Diagrama de un PIC16F876A

2.4.11 PROGRAMACIÓN

Los componentes necesarios para programar un PIC son:

- Un editor de texto,
- Un compilador para el lenguaje que se decida usar,
- Un programador (Hardware y Software).

Es común utilizar el entorno de desarrollo de MAPLAB, este es un software desarrollado por la empresa Microchip de distribución gratuita, que permite editar código fuente y luego compilarlo en una variada cantidad de micros.

Si se cuenta con un programador de Microchip, se lo puede utilizar para además cargar el micro con el programa. Si no será necesario otro software como el WinPic800 que es un utilitario capaz de pasarle al micro un código binario a través de un programador genérico.

Un programador es un circuito que se conecta al PC por un puerto (hay programadores para puerto serial, puerto paralelo e inclusive para USB), y permite grabar el PIC con el programa insertándolo en la memoria FLASH, carga la EPROM con datos, y por último se carga el seteo de la palabra de configuración.

Los lenguajes de programación que provee Microchip se reducen al Assembler para PIC en la gama baja y media, pero en la gama alta se encuentran compiladores para C y otros lenguajes menos conocidos de alto nivel.

Existen fabricantes de software que han desarrollado compiladores como PIC-Basic, CCS C o PICC que se venden por separado, estos si compilan para varios micros de la gama media y alta.

El MAPLAB incluye un simulador que es capaz de ejecutar como el PIC todo el programa. Además se pueden ejecutar las distintas sentencias paso a paso e ir viendo cómo evolucionan los estados de cada pata o los valores de cada registro.

Por lo tanto el procedimiento es sencillo:

- Se diseña y construye el circuito adecuado para resolver el problema.
- Se diseña y programa el código fuente con el MAPLAB para comandar la tarea.
- Se compila el código fuente.
- Se usa el simulador para corroborar que esté todo funcionando como es esperado (si se desea).
- Se carga el microchip con el WinPic800.
- Se inserta el micro en el circuito.
- Se alimenta y comienza a funcionar

2.4.12 USO EN EL PROYECTO

Se ha visto la necesidad de optar por tener un sistema controlado por un micro debido a que este facilita las tareas de control, medición y comunicación en un solo chip. Además que al optar por un sistema basado en electrónica digital este sería muy difícil de operar, construir y costoso. Por lo tanto de acuerdo a lo aprendido y revisado el sistema necesitara el uso de dos microcontroladores, el primero tendrá la tarea de controlar los relés para las diferentes conmutaciones y el segundo para la medición y comunicación de los valores a ser medidos y transportarlos hacia una computadora donde serán analizados.

CAPITULO 3

UTILITARIOS PARA EL DISEÑO ELECTRÓNICO

3.1 INTRODUCCIÓN

Para construir y diseñar las tarjetas electrónicas que conforman el equipo de prospección geoeléctrico se empleara programas computacionales, estás tarjetas electrónicas corresponden a los módulos de instrumentación, conmutación de electrodos y transferencia de información adquirida a la PC. Hoy en día la tecnología de microprocesadores nos facilita programar una lógica de un fin específico desde una PC, para luego ejecutarlo en la aplicación misma que en este caso es la toma de datos del equipo. Los programas computacionales que se describen en este capítulo son los utilizados para diseñar, calcular y programar las tarjetas electrónicas que forman parte del equipo.

3.2 PROTEUS

3.2.1 INTRODUCCIÓN

Proteus es un programa computacional que permite el diseño y simulación de circuitos electrónicos tanto en su software así como en hardware. Permite la simulación de un programa contenido en un microcontrolador. Esto es posible debido a que Proteus posee sub-entornos como son el ISIS para diseño gráfico, VSM o virtual system modelling para simulación y ARES para el diseño de placas (figura 3.1).

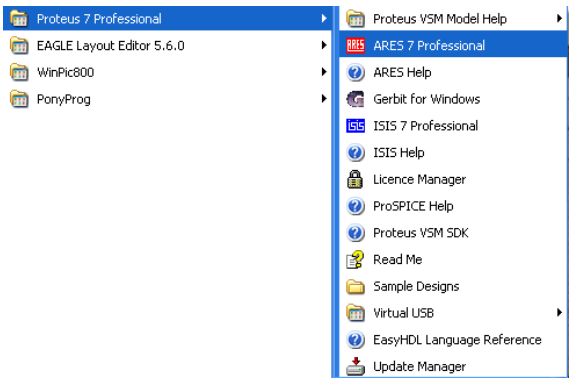


Figura 3.1.Sub-entornos de Proteus.

3.2.2 ISIS

El sub-entorno de Proteus es un programa de diseño electrónico el cual permite diseñar esquemas electrónicos que pueden ser simulados en VSM o pasados a un circuito impreso en ARES. Este entorno posee una ventana la cual permite escoger los componentes de una extensa librería que posee. Además de su símbolo grafico cada componente posee características eléctricas acordes a su funcionamiento en la vida real (aunque son dispositivos ideales en el programa), tiene también características mecánicas para su disposición en la placa.

El programa ISIS posee un entorno de trabajo formado por distintas barras de herramientas y el área de trabajo (figura 3.2).

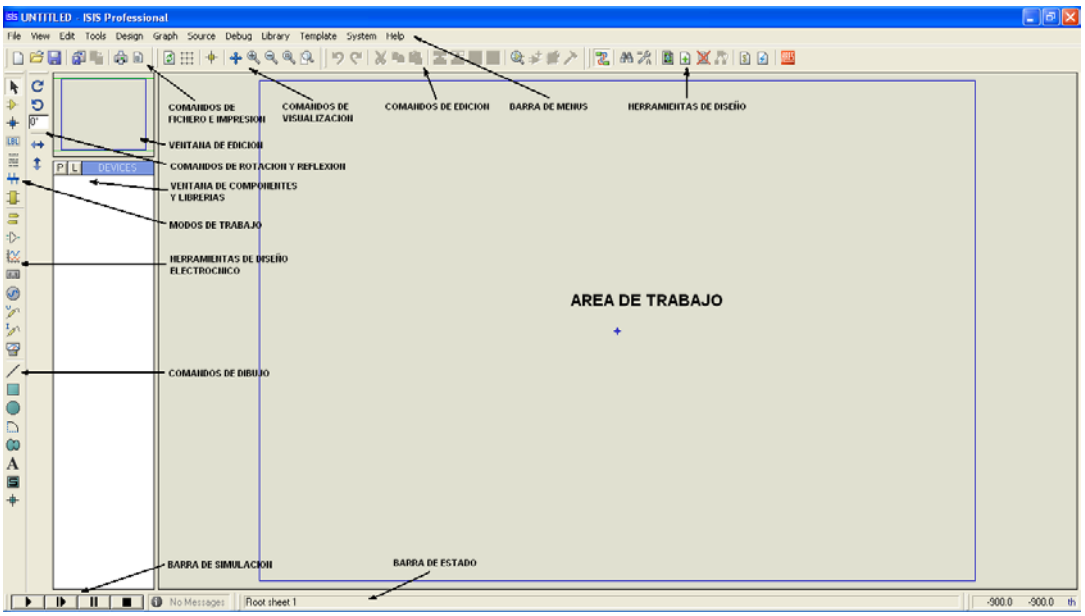


Figura 3.2. Entrono de trabajo de ISIS

Varios de los menús se pueden utilizar con la ayuda del botón derecho del mouse. Al pulsarlo en cualquier parte del área de trabajo aparece un menú contextual donde se pueden ir obteniendo los distintos submenús de trabajo (figura 3.3).

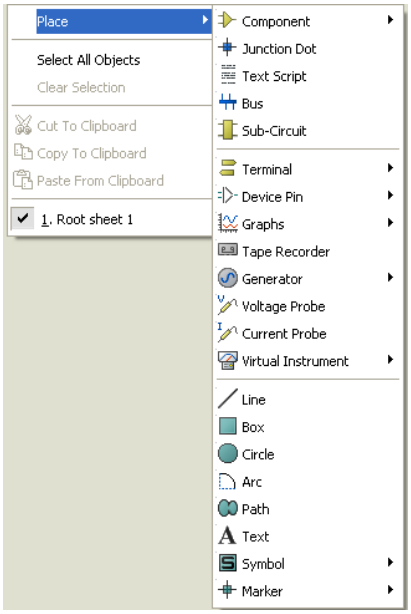


Figura 3.3. Menús de trabajo de ISIS.

3.2.3 CREACIÓN DE UN DISEÑO ELECTRONICO

Para hacer un diseño se necesita colocar los componentes electrónicos en el área de trabajo, se debe seleccionar el componente requerido (figura 3.4), tal cual como exista en el mercado, es decir con sus características físicas y eléctricas además el fabricante del mismo.

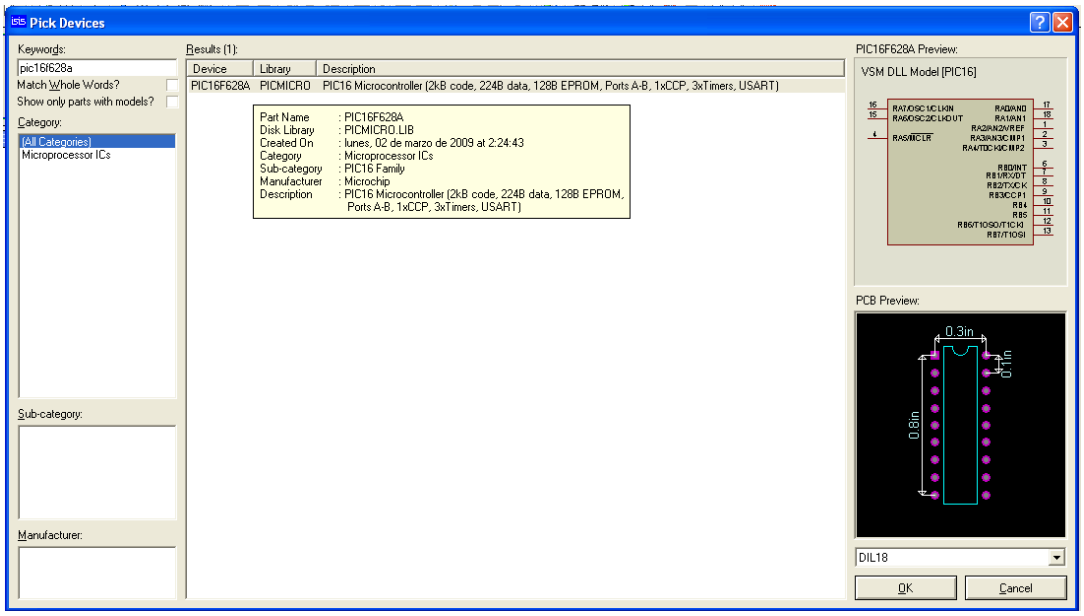


Figura 3.4. Selección de un componente electrónico

Una vez localizado se lo selecciona, de tal manera que aparece en la ventana de componentes y librerías (figura 3.5).

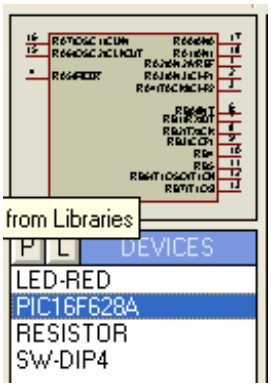


Figura 3.5. Componentes seleccionados en la lista de componentes y librerías

Con el componente ya en el área de trabajo, se puede cambiar sus propiedades utilizando los métodos comunes en todo programa de diseño, estos es borrar, mover, rotar, entre otros.

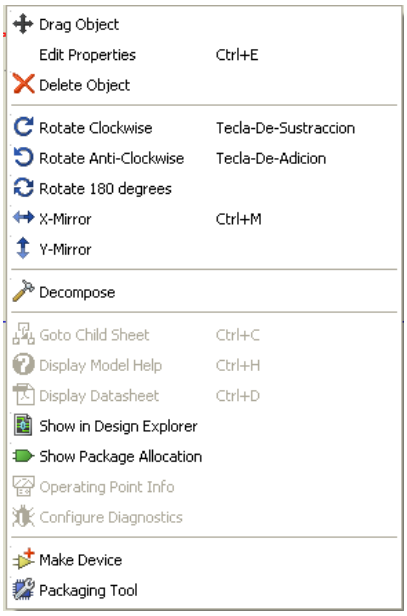


Figura 3.6. Propiedades de un componente

Todas estas acciones de copiar, borrar o mover se pueden realizar individualmente o de forma colectiva, es decir, se pueden agrupar varios componentes a través de pulsaciones consecutivas sobre ellos o dibujando una ventana con el botón izquierdo y arrastrándola sobre los mismos, cuando sucede esto los componentes se ponen de color (figura 3.7), y están listas para

realizar cualquier cambio, para ello existen herramientas de grupo tal como se muestra en la figura 3.8.

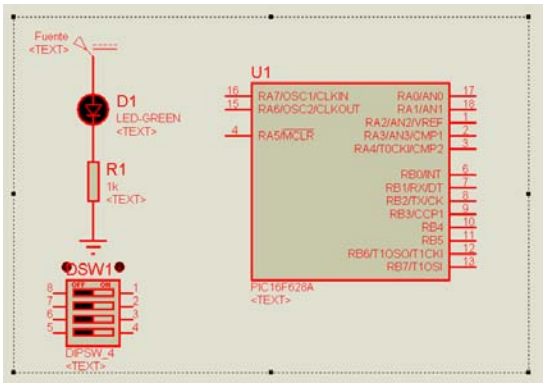


Figura 3.7. Seleccionado de un grupo de componentes

Figura 3.8. Herramientas de grupo

Para unir los componentes con cables virtuales se debe situarse en los extremos de los terminales, el cursor se convierte en un lápiz verde. De aquí se puede realizar dos acciones o ir marcando el camino hacia el destino con distintas pulsaciones o realizar una pulsación en el destino y dejar que el programa realice el camino. Para lo último debe estar activada la herramienta auto ruteo que está en TOOLS>Wire Autoruoter. Los empalmes a cables se realizan de forma automática o mediante el botón de unión (figura 3.9).

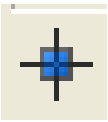


Figura 3.9. Herramienta para realizar el cableado de componentes

Se puede modificar el trazado de los cables. Para ello, se realiza una pulsación sobre el cable, en ese instante el cursor se convierte en una doble flecha y se puede mover el cable en cualquier tramo.

También se pueden utilizar buses para las uniones multi-cable. Los buses permiten conectar varios terminales entre sí utilizando un único elemento; en este caso, el cursor se convierte en un lápiz azul. Pero para distinguir los distintos cables que forman parte del bus y distribuirlos en la entrada y en la salida se deben etiquetar mediante labels (nombres). En el caso de los cables se indicará una etiqueta única, y al bus una etiqueta conjunta que indique el nombre y la cantidad de cables que lo forman.

El etiquetado también permite unir cables virtualmente. Para ello, tan sólo es necesario que los dos cables se llamen igual aunque no estén conectados entre sí. Para etiquetar cables o buses se utiliza el modo label (figura 3.10). Al activar este modo y realizar una pulsación sobre un cable o bus se abre una ventana donde podemos introducir la etiqueta, además de seleccionar posición, orientación y estilo (figura 3.11).

Figura 3.10. Etiquetado de un cable

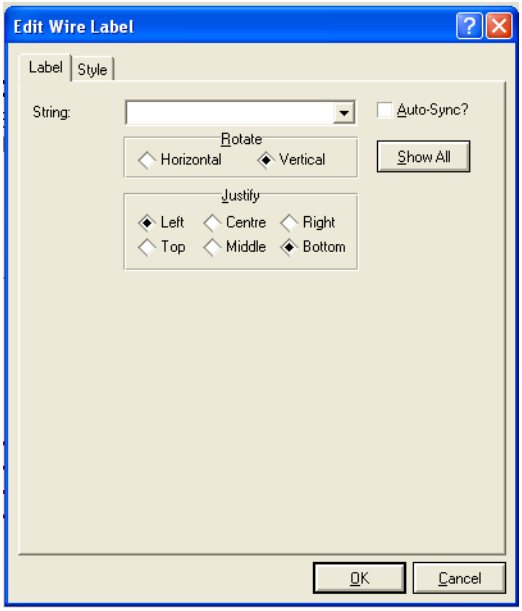


Figura 3.11. Ventana de editado de un cable.

Otro modo de unión virtual es a través de terminales. Al activar el modo terminal (figura 3.12) se pueden seleccionar distintos tipos de terminales, entre ellos el utilizado por defecto (default). Al utilizar este terminal en varios componentes y darle el mismo nombre en todos ellos se consigue una unión eléctrica.

Figura 3.12. Activado Modo Terminal

Mediante este modo también se pueden colocar las masas y alimentaciones del circuito utilizando las opciones Ground y Power.

Utilizando estos principios básicos y con la propia ayuda que todo programa de diseño ofrece se puede diseñar un circuito electrónico cualquiera (figura 3.13).

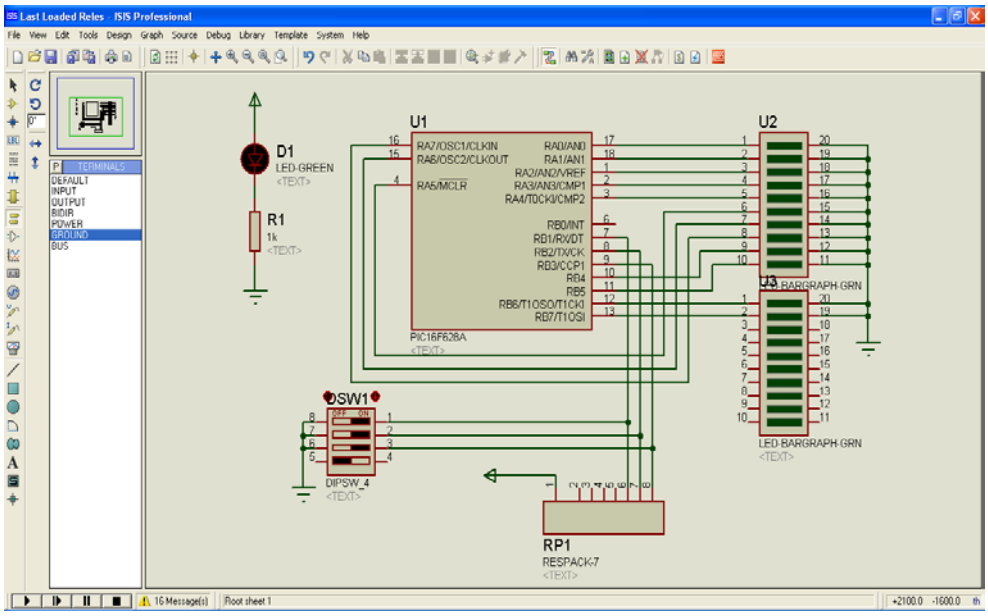


Figura 3.13. Diseño final de un circuito.

El programa permite modificar las características de los componentes ya en uso en el área de trabajo, por ejemplo cambiar el valor de una resistencia, u otro componentes que se crea que es necesario editar su valor por otro, esto no permitirá realizar el análisis del funcionamiento del circuito total.

3.2.4 SISTEMAS ELECTRÓNICOS BASADOS CON MICROCONTROLADORES

En el caso de los sistemas electrónicos basados con microcontrolador este programa tiene una librería extensa con estos elementos, la misma que permite que se cargue en un micro controlador especifico seleccionado un archivo de programa (.hex) generado en el momento de compilar el código de programa desde CCS (Apartado 3.3.4), este procedimiento se realiza desde la ventana de edición (figura 3.14).

Se puede modificar el valor de la frecuencia de reloj de acuerdo a la codificación del programa escrito para el PIC en la opción PROCESSOR CLOCK FREQUENCY por lo tanto no es necesario el uso de cristales externos en la simulación, no así para el circuito real que aquí en donde se debe colocar absolutamente todos los componentes.

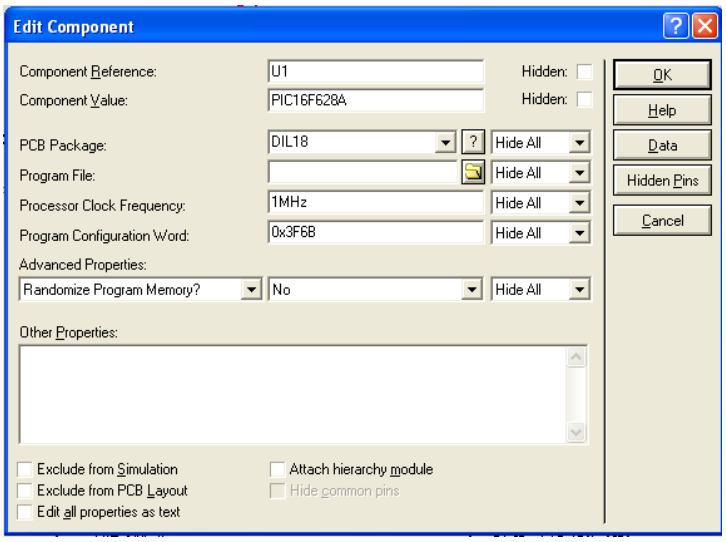


Figura 3.14. Ventana de editado de las características para la simulación con un microcontrolador.

En el caso del compilador CCS, después de compilar se generan, entre otros, los archivos “.HEX” y “.COF”, los cuales se pueden utilizar para trabajar con el entorno PROTEUS VSM. Para ejecutar el programa desde ISIS se debe abrir la ventana de edición del microcontrolador (figura 3.14) y en la opción PROGRAM FILE se puede indicar el fichero de código fuente utilizada.

En la opción ADVANCED PROPERTIES se puede habilitar o configurar muchos elementos: configurar el wacthdog, habilitar avisos de desbordamiento de pila, accesos no correctos a memoria, etc.

3.2.5 SIMULACION

Cuando este cargado el microcontrolador con el programa fuente o terminado el diseño, se puede proceder a la simulación del circuito empleando la barra de simulación (figura 3.15). Esta barra se compone de la opción MARCHA, PASOA PASO, PAUSA Y PARADA.

Figura 3.15. Comandos para la simulación del circuito

Con la opción MARCHA la simulación se inicia (el botón se vuelve verde) y funciona en modo continuo. Cabe indicar que la simulación no es en tiempo real y dependerá de la carga de trabajo del computador. En la barra de estado se indica la carga de la CPU del computador (a mayor carga menos real será la simulación) y el tiempo de ejecución; este tiempo indica el tiempo que tardaría, en la realidad, el circuito en realizar un proceso (figura 3.16).

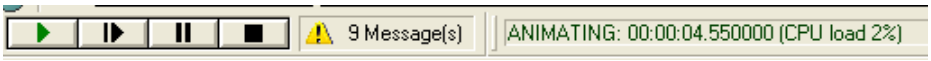


Figura 3.16. Ejecución de simulación

La opción STOP para totalmente la simulación mientras que PAUSE la detiene de forma momentánea permitiendo hacer uso de las herramientas de depuración.

La opción PASO a PASO permite trabajar en tramos de tiempo predefinidos y, además, permite utilizar las herramientas de depuración. Esta opción está ligada a la configuración de la animación (figura 3.17): SYSTEM>SET AN1MATION OPTIONS>SINGLE STEP TIME, donde se puede definir el incremento de tiempo que se desea que pase cada vez que se pulsa esta tecla.

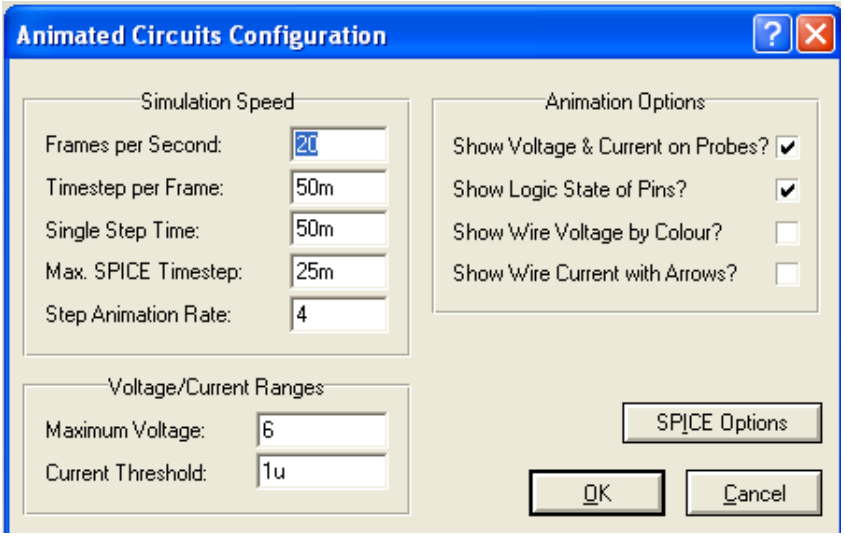


Figura 3.17. Simulación Paso a Paso

En el cuadro de diálogo mostrado en la figura 3.17 se pueden cambiar los siguientes parámetros:

- FRAMES PER SECOND: número de veces que la pantalla de ISIS se refresca en un segundo (por defecto 20).
- TIME STEP PER FRAME: indica el tiempo de simulación por cada uno de los pasos; lo ideal es que sea el valor inverso del escogido en la opción FRAMES PER SECOND.
- ANIMATIONS OPTIONS: permite habilitar la visualización de las sondas de tensión y corriente, mostrar los niveles lógicos en los pines, mostrar el nivel de tensión en los cables mediante colores o mostrar la dirección de la corriente en los cables mediante flechas.
- VOLTAGE/CURRENT RANGES: permite determinar el umbral de tensión (±V) y corriente para utilizar en la visualización de las correspondientes ANIMATIONS OPTIONS.

En este punto se puede simular (y animar) un sistema con el PICmicro. Lo más interesante de la simulación con microcontroladores es la utilización de las herramientas de depuración. Es decir, visualizar mediante ventanas las distintas partes internas del microcontrolador: memoria de programa, memoria de datos, pila… etc. La mayor parte de estas ventanas sólo se pueden visualizar mediante una PAUSA (figura 3.18).

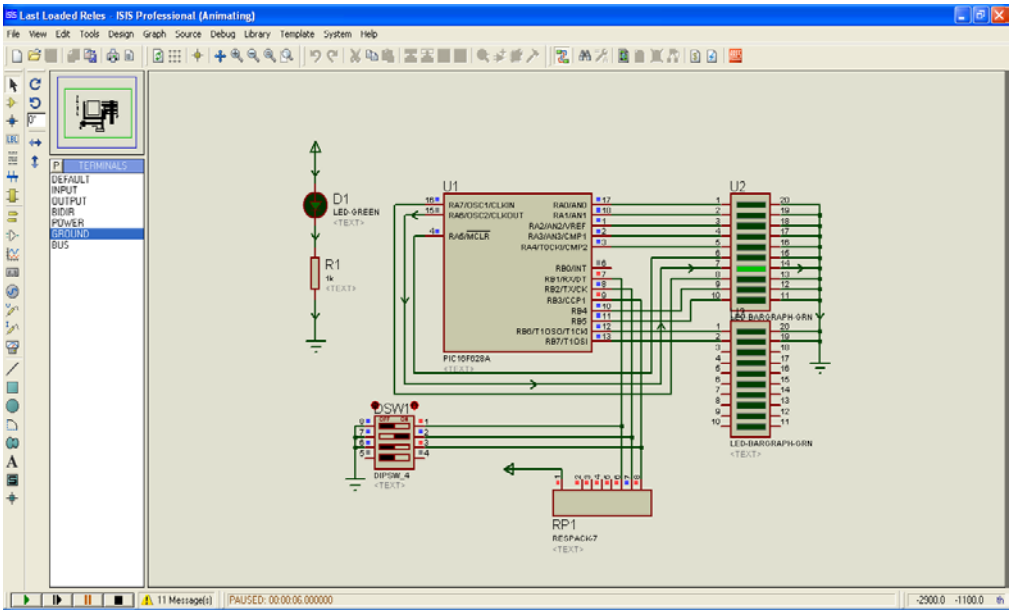


Figura 3.18. Simulación del circuito total, con microcontrolador.

3.3 COMPILADOR CCS

3.3.1 INTRODUCCIÓN

Para diseñar el hardware de instrumentación y adquisición de datos del equipo de prospección geo-eléctrica se necesita de un software que permita la programación de los microcontroladores, para ello se hará uso de un programa computacional llamado CCS unido al entorno de MPLAB. MPLAB es la plataforma principal de programación en código ensamblador de microcontroladores PIC .La programación en código ensamblador es complejo, debido a que el programador deberá necesariamente conocer al detalle todas y cada una la instrucciones de un determinado microcontrolador. Escribir un programa en lenguaje C es más familiar para un programador debido a que la sentencias del código de programación son tan reconocidas tales como If, Go to, While, For entre otras, con el programa CCS se puede desarrollar un código de programación para un terminado microcontrolador y este ser compilado en MPLAB para conocer si el programa ha sido correctamente escrito.

El compilador C de CCS ha sido desarrollado específicamente para PIC, obteniendo la máxima optimización del compilador con estos dispositivos. Dispone de una amplia librería de funciones predefinidas, comandos de pre-

procesado y ejemplos. Además, suministra los controladores (drivers) para diversos dispositivos como LCD, convertidores AD, relojes en tiempo real. EEPROM serie, etc.

Un compilador convierte el lenguaje de alto nivel a instrucciones en código máquina; un cross-compiler es un compilador que funciona en un computador (normalmente en un PC) diferente al procesador objeto. El compilador CCS C es un cross-compiler.

Los programas son editados y compilados a instrucciones máquina en el entorno de trabajo del PC, el código máquina puede ser cargado del PC al sistema PIC mediante cualquier programador de PICs.

3.3.2 CREACIÓN DE UN PROGRAMA CON CCS EN MPLAB

Cuando se inicia por primera vez MPLAB primero se tiene que crear un proyecto nuevo antes de comenzar a escribir el programa, para ello se debe seleccionar PROJECT>NEW, se abrirá una ventana en la cual se debe dar el nombre del proyecto y su localización (figura 3.19).

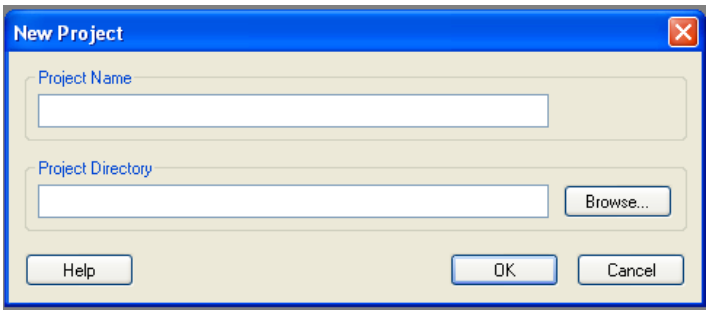


Figura 3.19. Ventana para la asignación de un nombre y directorio destino

Ingresado el nombre del proyecto y su ubicación (con el botón browse) se debe buscar la carpeta del proyecto a crear esto es con VIEW>PROJECT, en la cual nos muestra una serie de carpetas en donde ira el programa, subprogramas (llamados desde el programa principal), los archivos cabecera (.h) que hacen referencia al microcontrolador usado (facilitan la identificación de lugares de memoria y registros, entre otros) entre otros archivos necesarios (figura 3.20).

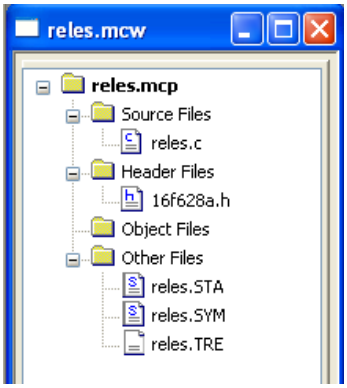


Figura 3.20. Archivos del proyecto a crear

Realizado el procedimiento anterior se creara un nuevo programa es en donde se escribirá el programa, hecho esto se lo guarda en la misma carpeta donde se creó el proyecto con extensión ".c" (ej. reles.c).

Figura 3.21. Selección de una hoja para la escritura del código de programa

Ahora se tendrá que adicionar el programa al proyecto, para esto se selecciona la carpeta SOURCE FILES en la opción ADD FILES (entre otras), y escogiendo esta (figura 3.22), aparece una ventana donde seleccionamos el programa que se desee agregar (figura 3.23).

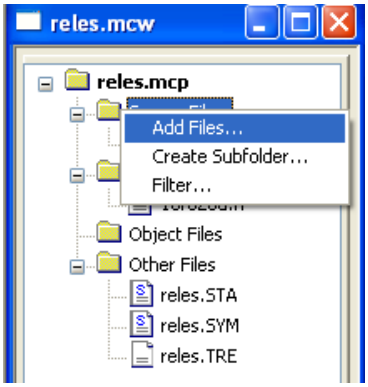


Figura 3.22. Selección de fuentes de archivos.

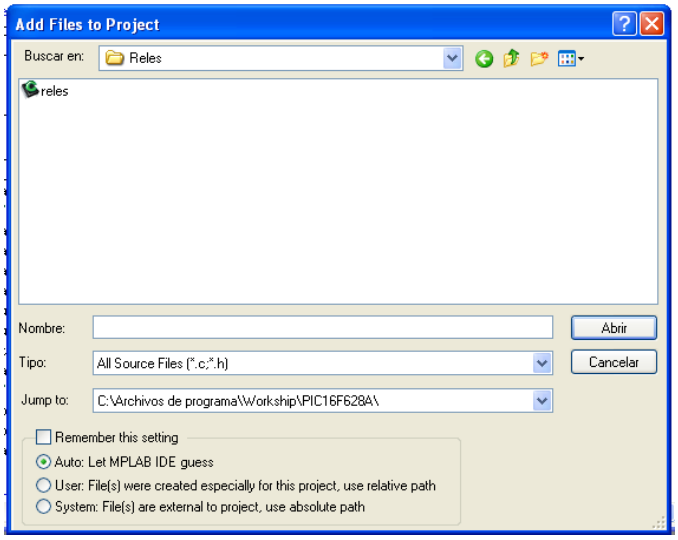


Figura 3.23.Programa que se creara para codificación en CCS.

Adicionada ya la hoja para realizar el programa es necesario especificar el número de PIC. Esto se hace desde CONFIGURE>SELECT DEVICE es entonces que se visualizara una ventana con todos los PICs disponibles en el mercado de microprocesadores (figura 3.24).

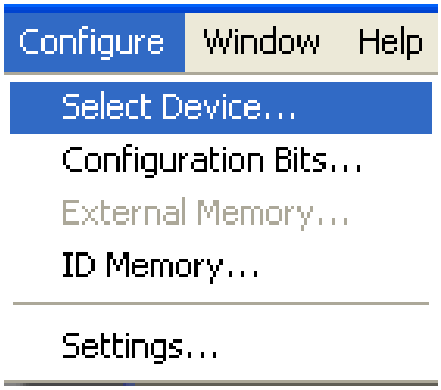


Figura 3.24. Selección de un PIC especifico.

En la ventana Device Family deberá estar colocado ALL, se selecciona el PIC que a programar en la ventana Device. Además existen botones de señalización que nos indican si el PIC escogido es compatible con algún programador comercial, con algún lenguaje de programación o también con algún Debbuger que es algo así como un programador que va siguiendo la secuencia del programa cuando está en funcionamiento el PIC en algún circuito en particular además de poder cambiar el programa mientras está conectada la aplicación (figura 3.25).

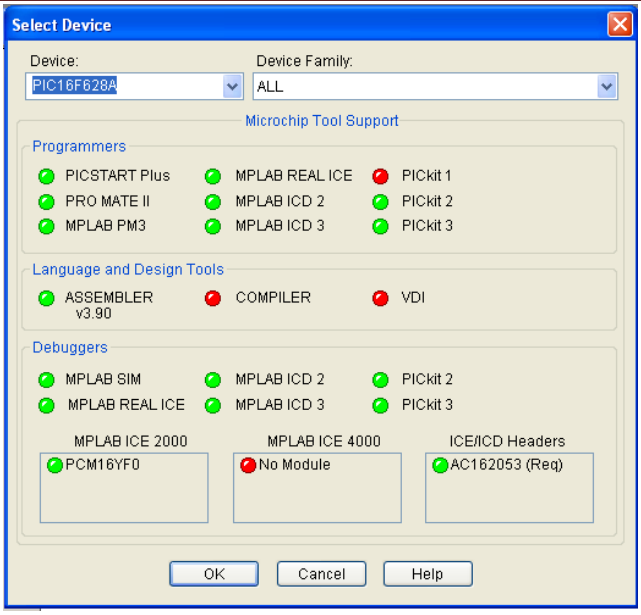


Figura 3.25. Selección de un PIC específico y su grabador

Con los procedimientos básicos indicados se puede empezar a escribir el código programa para un determinado PIC, un código de programa contendrá una estructura de programa bien definida con sus partes que se mencionan a continuación.

3.3.3 ESTRUCTURA DE UN PROGRAMA

Para empezar a escribir un programa en lenguaje C con el CCS se deben tener en cuenta una serie de elementos básicos de su estructura (figura 3.26) tales como;

- Directivas de pre procesado: controlan la conversión del programa a código máquina por parte del compilador.
- Programas o funciones: conjunto de instrucciones. puede haber uno o varios; en cualquier caso siempre debe haber uno definido como principal.
- Instrucciones: indican cómo se debe comportar el PIC en todo momento.
- Comentarios: permiten describir lo que significa cada línea del programa.

El CCS C es C estándar y, además de las directivas estándar (#include, etc.), suministra unas directivas específicas para PIC (#device, etc.); además incluye funciones específicas (bit_set (), etc.).

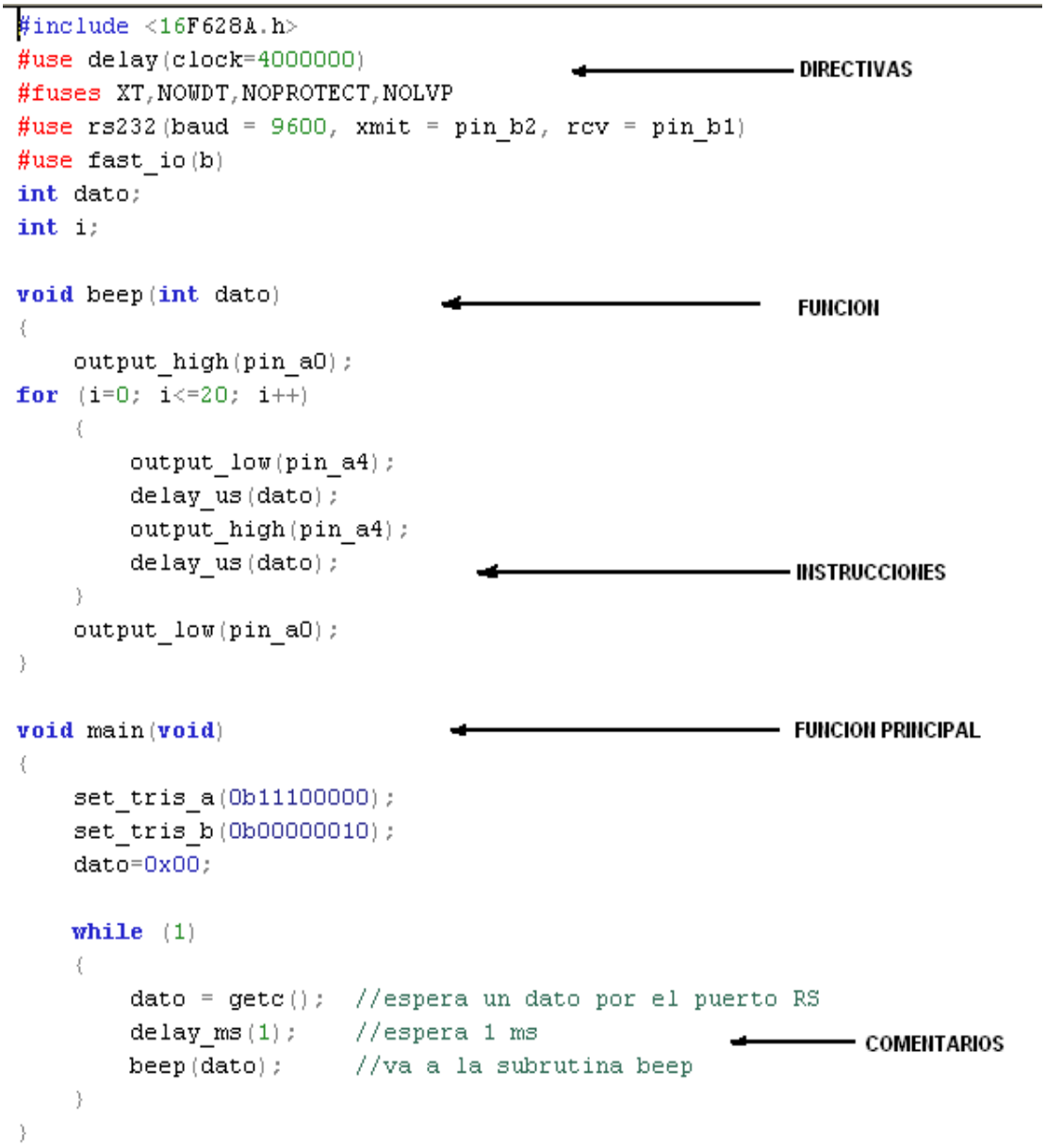


Figura 3.26. Estructura de un programa

3.3.3.1 COMENTARIOS

La primera parte es el comentario donde va especificado cual es la operación del programa o su utilización, la versión, conexión, fecha y nombre del programador entre otros, pero que es solo para información del usuario y no entra en la compilación del programa ni mucho menos en memoria del PIC a utilizar.

Para que el compilador lo tome como un comentario se debe utilizar los símbolos "//" para una línea o "/*…*/" para varias líneas de comentario por ejemplo:

```
// Esto es un comentario corto

/* Esto es un párrafo de comentarios
Y solo se necesita especificar el final
 del mismo */
```

Lo anterior puede ir en cualquier parte del programa ya que el compilador solo lo tomara como comentarios y no como parte del programa. Esto también se lo puede utilizar para invalidar ciertas órdenes del programa que no desee ser ejecutado. Esta parte del programa se puede poner o no ya que si no está el compilador trabaja igual.

3.3.3.2 DIRECTIVAS

Esta parte es muy importante e indica cual PIC se va a utilizar, sus características principales de funcionamiento, otros subprogramas que se hacen uso y también las variables usadas en el programa.

```
#include <16f628a.h>
#fuses INTRC_IO,NOWDT,NOPROTECT,NOLVP,NOMCLR
#use delay(clock=4000000)
#include <lcd.c>
#device ADC=10
#use rs232(baud = 9600, xmit = pin_a4, rcv = pin_a5)
int a;
```

La primera línea hace notar al compilador el PIC a utilizar ya que busca en la librería el número del microcontrolador con extensión ".h" que se refiere a header o cabecera siendo este un subprograma que contiene todos los datos de posiciones de memoria del PIC así como sus equivalencias en nombres que son de mejor manejo para el programador. Por ejemplo si queremos configurar los puertos necesitamos saber cuál es el registro y su ubicación en el microprocesador para direccionar un valor y configurar los mismos, mientras que con las librerías solo colocamos el valor en el registro tris. Seguidamente

vemos que existe la línea que dice Fuse y sirve para configurar ciertos registros dentro del PIC que habilitaran la forma de funcionamiento pero que para cada número de PIC puede haber más o menos registros, además que ayudan al grabador del micros a configurar ciertos parámetros necesarios para la grabación. Algunos pueden ser:

- INTRC_IO: utiliza el oscilador interno del micro para generar los pulsos de reloj.
- HSPLL: utilizamos un cristal HS de alta velocidad, en conjunto con el PLL para generar los 48Mhz.
- NOMCLR: Utilizamos reset por software, y dejamos el pin Reset del micro como entrada/salida digital.
- NOWDT: No utilizamos el perro guardián.
- NOPROTECT: Desactivamos la protección de código.
- NOLVP: Desactivamos la programación a bajo voltaje.
- NODEBUG: No entramos al modo debug.
- USBDIV: significa que el clock del usb se tomará del PLL/2 = 96Mhz/2 = 48Mhz.
- PLL5: significa que el PLL prescaler dividirá en 5 la frecuencia del cristal. Para HS = 20Mhz/5 = 4Mhz.
- CPUDIV1: El PLL postscaler divide la división en 2 de la frecuencia de salida del PLL de 96MHZ.
- VREGEN: habilita el regulador de 3.3 volts que usa el módulo USB

Lo anterior se aplica a ciertos micros y se debe de tener en cuenta que esto solo se lo encuentra en la hoja de datos que suministra e fabricante y debe ser leída al menos sus características principales antes de iniciar la programación.

En la tercera línea se ve Use Delay y se especifica la frecuencia del cristal u oscilador internos o externos que se está utilizando con el micro. Su valor se especifica en hertzios (Hz) y está en un rango desde 4MHz hasta 20MHz. Después de esta línea se puede especificar otros subprogramas o librerías que se incluirán en el programa principal mediante el comando Include como la primera línea y su respectivo nombre en “.c” o “.h”. Estas librerías nos ayudan

mucha en ciertas operaciones del micro ya que nos facilitan la programación y comunicación en caso de usar convertidores ADC, pantallas LCD, memorias entre otros.

Por último se agrega las variables o datos que vamos a utilizar en el programa especificando si son enteros, flotante o su tamaño en bits o bytes y si lo hacemos en esta parte del programa estaremos definiendo que es una variable global con estas características para todo el programa, ya que existen otras formas dentro del programa y que se utiliza mucho en las subrutinas para especificar datos que se necesitan solo en tales casos, provenientes de otras operaciones. Por ejemplo:

```
void led(int a,int b)
{
    //aqui va el programa para esta subrutina
}
```

Lo anterior quiere decir que la subrutina led necesita de datos enteros de ocho bits a y b que serán necesarios para su operación. CCS acepta los siguientes tipos de datos:

Especificación	Significado	Tamaño	Rango
char	Carácter	8 bits	0 a 255 (Sin signo)
int	Entero	8 bits	0 a 255 (Sin signo)
float	Coma flotante	32 bits	6 bits de precisión
double	Float de doble precisión	No soportado	No soportado
void	Sin valor	Nulo	Ninguno
int1	Entero de 1 bit	1 bit	0 a 1
int8	Entero de 8 bits	8 bits	0 a 255 (Sin signo)
int16	Entero de 16 bits	16 bits	0 a 65535 (Sin signo)
int32	Entero de 32 bits	32 bits	0 a (2^{32} - 1)
short	Entero de 1 bit	1 bit	0 a 1
long	Entero de 16 bits	16 bits	0 a 255 (Sin signo)

Tabla 3.1.

Esto debemos tener en cuenta al momento de manejar datos dentro del programa y así ahorrar espacio de memoria o tener mejor precisión.

3.3.3.3 SUBPROGRAMAS O SUBRUTINAS

Estas son necesarias cuando se tiene partes de programa comunes o que realicen una misma tarea por lo que pueden ser extraídas y colocadas en una subrutina con un nombre específico para poder ser llamadas desde cualquier parte del programa. Todas las sentencias deben encontrarse dentro de las subrutinas. Las subrutinas deben ser definidas antes de ser utilizadas. El formato general de la definición de una subrutina es el siguiente:

```
Tipo_dato nombre_funcion(tipo_param1,…)
{
    Output_toogle(pin_a1);
}
```

Las subrutinas pueden devolver un valor a la sentencia que las llama. El tipo de dato devuelto se indica mediante tipo_dato. Si no se indica nada se entiende que devuelve un entero, si no devuelve nada debe incluirse una especificación tipo void. La manera que tiene una función para devolver un valor es mediante la sentencia return.

```
return (expresión);
return expresión;
```

La expresión debe proporcionar el mismo tipo de dato que el especificado en la función, si no debe devolver nada, se finaliza con return;. Cuando una sentencia se encuentra con una sentencia return se vuelve a la rutina de llamada inmediatamente y las sentencias posteriores a return no se ejecutan.

Además de la sentencia return, las funciones terminan su ejecución y vuelven al lugar desde donde se las llamó cuando alcanzan la llave de cierre de función } tras ejecutar la última sentencia de la misma. Además de devolver valores, una función también puede recibir parámetros (denominados argumentos) según se indicó en su definición.

Los argumentos se pueden pasar a las funciones por valor o por referencia. La llamada por valor, copia el argumento de llamada en el parámetro formal de la función. No modifica su valor en la función de partida. La llamada por

referencia, usa la dirección de la variable que se pasa a la función. Se consigue usando punteros y arreglos.

3.3.3.4 PROGRAMA PRINCIPAL

Es aquí donde se colocara las configuraciones del micro para la operación de los puertos, contadores, comparadores, conversores, temporizadores entre otros y es donde se llamaran y retornaran las subrutinas. Está conformado como en una subrutina solo que esta no devuelve ningún dato ni tampoco necesita del ingreso de datos además que su nombre siempre será el de "main".

```
void main()
{
     set_tris_a(0b00000000);
     set_tris_b(0b00001110);
     delay_ms(10);

     output_a(0X00);
     output_b(0X00);
     delay_ms(10);

     while (true)
     {
          sec = input_b();
          sec = sec & 0b00001110;
//////////////////////////////////////secuencia 0
          if (sec == 0x00)
          {
               a = 0;
               output_a(0x00);
               output_b(0x00);
               while (a == 0)
               {
                    sec = input_b();
                    sec = sec & 0b00001110;
                    if (sec != 0x00)
                    {
                         a = 1;
                    }
               }
          }
     }
}
```

Aquí se tiene que tener en cuenta primero las características del micro a usar para poder configurar todas sus funciones como también sus puertos. Al igual que en las subrutinas este consta de comandos y sentencias que siguen una secuencia lógica de eventos dados por el programador para algún fin específico. Lo primero que se tiene que incluir es la configuración de pines como entradas o salidas luego se configura los diferentes registros necesarios para una aplicación en común y luego están las sentencias necesarias para el programa. Esta parte no se la analiza demasiado debido a que cada micro tiene sus registros necesarios y también porque cada programador realiza un programa de acuerdo a su conocimiento de lógica computacional. A continuación veremos esas sentencias necesarias para diagramar un programa y que este siga una secuencia especifica.

3.3.3.5 OPERADORES

El lenguaje C define numerosos operadores mediante los cuales se construyen las expresiones (combinación de operadores y operandos).

Operadores aritméticos

+ - * / % (residuo de la división de enteros)

Operadores de incremento o decremento

x++ ó ++x x--ó --x

Operadores relacionales

< <= > >= == !=

== se usa en condicionales

Operadores lógicos -Usados en condicionales-

&& || !

Operadores a nivel de bits

&		^	~	>>	<<
AND	OR	XOR	Comp1	Derecha	Izquierda
a&b	a|b	a^b	~a	a>>n	a<<n

En lenguaje C es muy frecuente usar abreviaturas. Así por ejemplo, es más habitual ver a+=b; que a=a+b;

3.3.4 SENTENCIAS DE CONTROL DE PROGRAMA

3.3.4.1 SENTENCIA IF

Se ejecuta una sentencia o bloque de código si la expresión que acompaña al if tiene un valor distinto a cero (verdadero). Si es cero (falso) continúa sin ejecutar la sentencia o bloque de sentencias.

```
if (expresión)
{
    //se realiza esta parte de programa
    //si la expresion es verdadera o 1
}
```

3.3.4.2 SENTENCIA IF-ELSE

Se evalúa una expresión y si es cierta, se ejecuta el primer bloque de código (o sentencia1). Si es falsa se ejecuta el segundo. Se pueden combinar varios if-else para establecer múltiples caminos de decisión.

```
if (expresion)
{
    //se realiza esta parte de programa
    //si la expresion es verdadera o 1
else
    //se realiza esta parte de programa
    //si la expresion es false o 0
}
```

3.3.4.3 SENTENCIA SWITCH

Sustituye al if-else cuando se realiza una selección múltiple que compara una expresión con una lista de constantes enteras o caracteres. Cuando se da una coincidencia, el cuerpo de sentencias asociadas a esa constante se ejecuta hasta que aparezca break. Break es opcional. Si no aparece se sigue con el case siguiente. Default es opcional y el bloque asociado se ejecuta sólo si no hay ninguna coincidencia con las constantes especificadas.

```
switch (expresión)
{
     case constante1:
          grupo1 de sentencias;
     break;

     case constante2:
          grupo2 de sentencias;
     break;
          …
     default:
          grupo n de sentencias;
}
```

No pueden haber dos constantes iguales en dos “case” de la misma sentencia switch.

3.3.4.4 SENTENCIA DE BUCLE FOR

Se emplea para repetir una sentencia o bloque de sentencias.

```
for (inicialización; condición; incremento)
{
    //realiza esta parte del programa hasta que se cumpla la condicion
}
```

En la inicialización se le asigna un valor inicial a la variable que se emplea para el control de la repetición del bucle. La condición se evalúa antes de ejecutar la sentencia. Si es cierta, se ejecuta el bucle. Si no, se sale del mismo. El incremento establece cómo cambia la variable de control cada vez que se repite el bucle para un incremento de uno en uno se coloca i++ además se debe declara a i como una variable global o local. Es posible anidar bucles for para modificar dos o más variables de control.

3.3.4.5 SENTENCIA DE BUCLE WHILE.

La repetición se lleva a cabo mientras sea cierta una expresión.

```
while (expresión)
{
     // se mantiene dentro de esta parte del programa
     // hasta que la expresion sea falsa o 0
}
```

La expresión se evalúa antes de cualquier iteración. Si es falsa, ya no se ejecuta la sentencia o bloque de sentencias.

3.3.4.6 SENTENCIA DE BUCLE DO-WHILE.

Las sentencias se ejecutan antes de que se evalúe la expresión, por lo que el bucle se ejecuta siempre al menos una vez.

```
do{
    // se mantiene dentro de esta parte del programa
    // hasta que la expresion sea falsa o 0
} while (expresion)
```

Con lo expresado anteriormente se puede realizar un diseño de un programa básico pero para un programa más complejo se necesita tener toda la información de la hoja de datos que da el fabricante del micro además de las ayudas que ofrece el CCS C en el software (figura 3.27) o en su página web oficial,

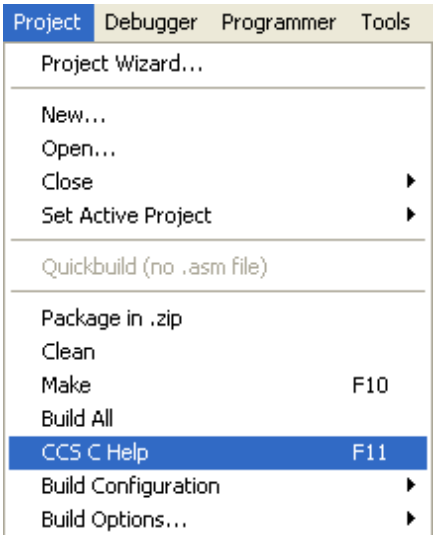


Figura 3.27. Ayuda de CCS C

Mediante la ventana que aparece podemos buscar o seleccionar de la lista los diferentes comandos necesarios para ver su sintaxis y ejemplos de aplicación (figura 3.28).

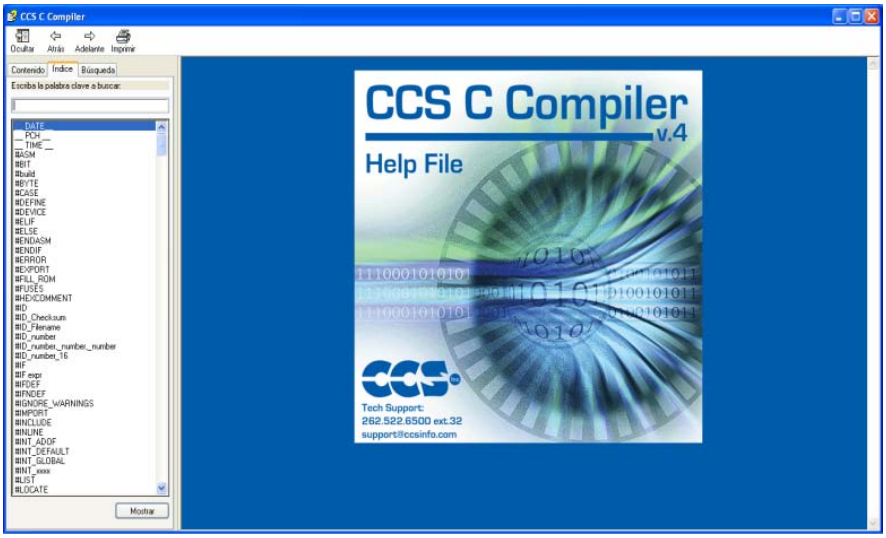


Figura 3.28. Ayudas e información para cada sentencia de CCS.

3.3.5 COMPILACIÓN

Cuando el programa haya sido desarrollado completamente se procede a compilarlo, esto es pasar a lenguaje de máquina que es ".hex" listo para grabar el micro. Esto se lo hace desde la herramienta de compilación, CCS automáticamente empieza a compilar.

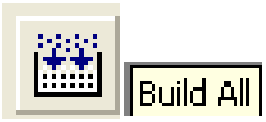


Figura 3.29.Herramienta de compilación.

La ventana llamada "Output" es donde nos da los resultados de la compilación que pueden ser, la ubicación del archivo, los errores, el porcentaje de espacio de memoria usada (RAM, ROM), que archivos se generaron y en donde, que por lo general es la carpeta del proyecto, siendo los necesarios para grabar el micro (figura 3.30). Si salen errores tales archivos no se generaran. Además los errores se pueden revisar dando doble click en los mismos los cuales nos indicaran inmediatamente en el programa mediante una flecha azul.

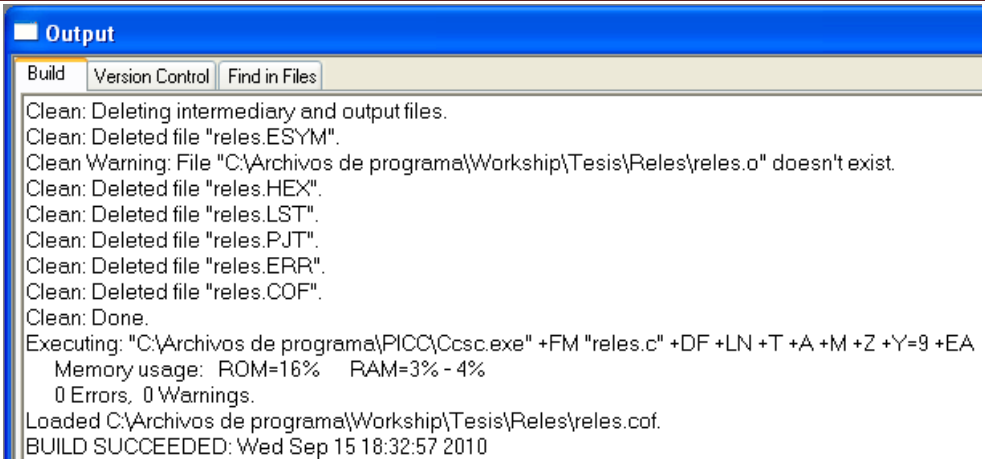


Figura 3.30. Ventana de información del resultado de compilación programa

Después de corregir los errores y volver a compilar el programa, si no salen errores, el archivo ".hex" está listo y se puede usar para cargar en la simulación en ISIS de Proteus o para cargar el micro con algún grabador comercial para la operación en algún circuito.

3.4 EAGLE

3.4.1 INTRODUCCIÓN

Eagle son las siglas de editor gráfico de placas de fácil aplicación, es un programa computación que permite el diseño gráfico de circuitos impresos utilizando archivos llamados librerías donde se encuentran los componentes eléctricos y electrónicos de diversos fabricantes con sus medidas reales (figura 3.31). Esto permite realizar el esquema de placas o tarjetas electrónicas que pueden ser creadas a partir de un esquema. Una vez hecho el diseño de la placa, esta se la puede confeccionar físicamente de muchas formas finalizando el trabajo.

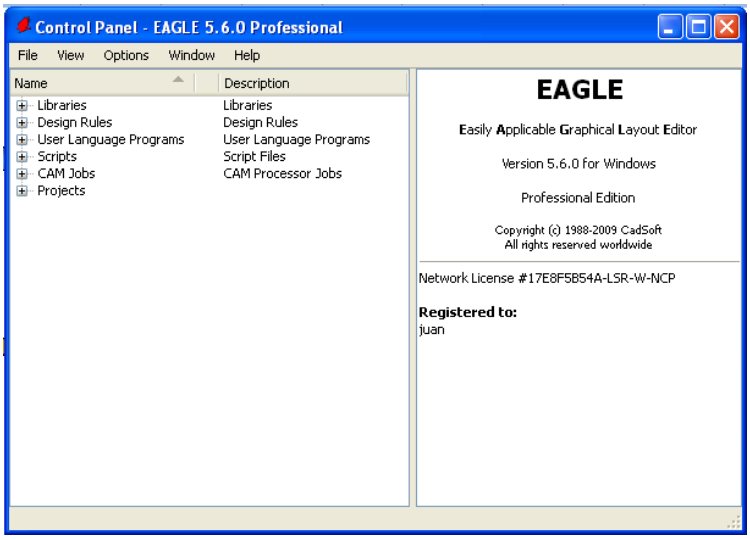


Figura 3.31. Editor gráfico EAGLE

Para empezar a realizar un diseño, este se puede comenzar desde la placa donde se encuentran los elementos físicos o desde el esquema. Aquí se realizara el diseño desde el esquema que es lo más simple posible. En la ventana principal del programa (figura 3.31) procedemos a crear un nuevo proyecto el cual nos servirá como base para allí guardar el esquema y la placa. Nos dirigimos a FILE>NEW>Project (figura 3.32).

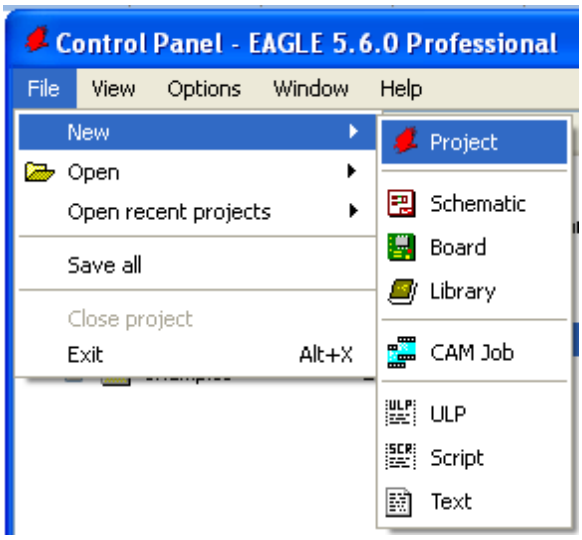


Figura 3.32. Creación de un nuevo proyecto

Luego de esto se crea un nuevo proyecto dentro de la carpeta Project>Eagle en la cual podemos cambiar el nombre que deseemos (figura 3.33). Este

proyecto se guardara en la carpeta Eagle dentro de Mis documentos del usuario de la PC.

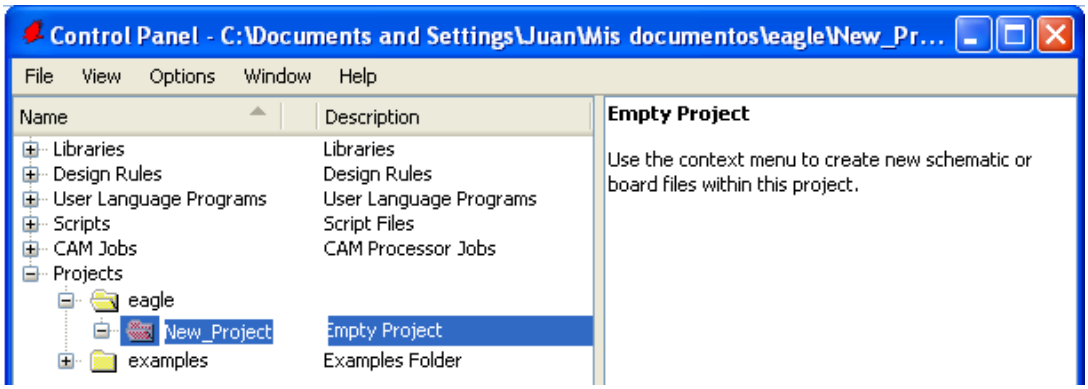


Figura 3.33. Editado del nombre del proyecto

Para la creación de un esquema en este proyecto se debe tener en cuenta que el mismo se encuentre activo y esto se puede ver en un botón que está al lado de la carpeta, si esta gris está inactiva y por el contrario si esta verde está activa y se puede crear el esquema. Hecho esto, se necesita crear el esquema para lo cual nos dirigimos a FILE>New>Schematic y se abre una ventana donde se creara los esquemas. Podemos fijarnos que el esquema se guardara en la carpeta del proyecto (figura 3.34).

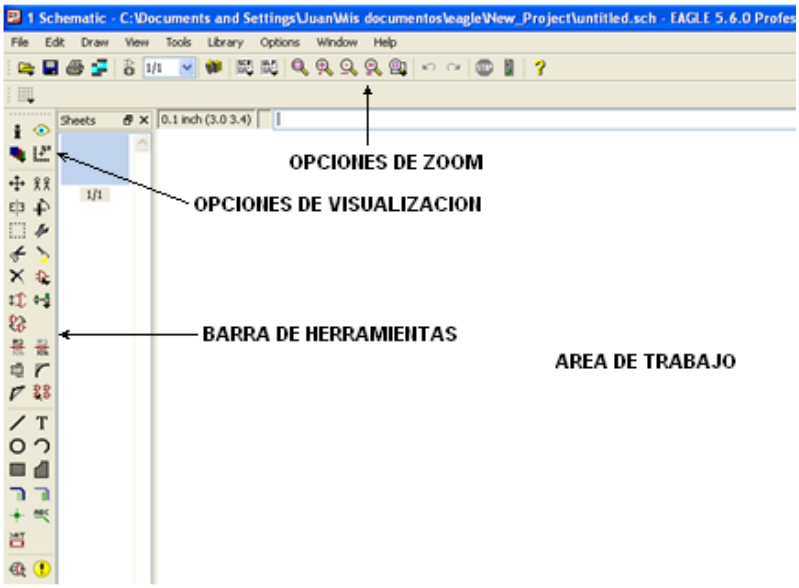


Figura 3.34. Entorno del Área de trabajo

En esta ventana se creara el esquema por lo sé describirá a continuación las herramientas principales del diseño (figura 3.39).

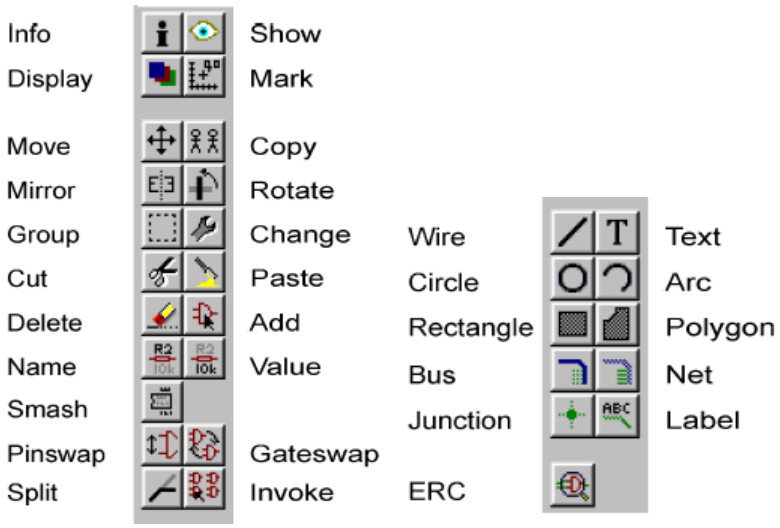


Figura 3.35. Herramientas para el diseño de un circuito impreso.

Para incluir un componente en el dibujo se deberá previamente abrir una librería. Para esto se puede utilizar el ícono presente en la barra superior (función “USE”) (figura 3.36).

Figura 3.36. Librerías con componentes electrónicos

Si un componente necesario no se encuentra en ninguna librería habrá que editarlo y generar una nueva librería. Existe una forma de cargar todas las librerías sin necesidad de conocer cuál es el fabricante del componente o en que librería esta para cargar la misma. Esta forma es crear un nuevo esquema que no estará incluido en el proyecto o sea que no creamos un proyecto si no solo hacemos FILE>NEW>Schematic y listo. Esto al momento de adicionar un componente cargara todas las librerías y tendremos que buscar el componente instintivamente o por su nombre.

El programa trabaja con una grilla que le permite obtener fácilmente líneas rectas simetrías en los dibujos. Para editar esta grilla el ícono correspondiente es (figura 3.37).

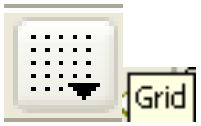


Figura 3.37. Grillas para el trazo de líneas

Y permitirá hacer que la misma sea visible o no, modificar el tamaño de su trama, que sea representada por líneas o por puntos y finalmente elegir la unidad de medida. Para realizar el conexionado de los componentes se utiliza la barra de tareas y las opciones de visualización:

- DISPLAY: Permite seleccionar las capas de diseño (layers) que se desean aparezcan visibles en el diseño en curso. Cabe aclarar que en el momento e la impresión solo se imprimirán los elementos visibles en pantalla.
- MARK: Permite elegir el origen de coordenadas para la presentación de posición relativa indicada en la parte superior de la pantalla.
- WIRE: genera un cable. Para terminarlo hacer doble clic sobre el terminal correspondiente. Al activar la función aparece un menú en la parte superior de la pantalla que permite modificar algunos parámetros.
- Para que el programa reconozca la línea como una conexión eléctrica dibujar la línea en el layer llamado “Nets”.
- BUS: permite dibujar paquetes de cables paralelos.
- NET: realiza conexiones eléctricas al bus.
- LABEL: muestra el nombre asignado a un cable o conexión.
- SPLIT: permite modificar un cable ya realizado.
- JUNCTION: sirve para insertar un nodo. Se coloca en el cruce entre 2 o más cables. Si no hay conexión eléctrica entre los mismos permite realizarla.
- ADD: con esta función se puede agregan al dibujo los componentes que incluye la librería previamente abierta.

- NAME: Permite modificar el nombre que el programa le asignó a los componentes y cables utilizados.
- VALUE: permite modificar el valor de un componente. Cabe aclarar que el valor asignado a un componente solo tiene sentido para la presentación del circuito teórico ya que el circuito impreso no sufre modificación alguna y el programa no simula el funcionamiento del circuito.
- GROUP: activando esta función se podrá encerrar con un cuadro un conjunto de componentes formando con ellos un grupo que podrá ser editado en conjunto con las funciones CUT, PASTE, MOVE, DELETE, etc. mediante el botón derecho del mouse, mientras que con el izquierdo se editan los componentes por separado.
- CUT y PASTE: con CUT se puede cargar en el clipboard un componente o grupo y PASTE permite recuperarlo y pegar dicho objeto en el área de trabajo. A diferencia de otros programas que funcionan en entorno Windows, al aplicar la función CUT los objetos no se eliminan del área de trabajo.
- MOVE: permite desplazar un componente, cable o grupo seleccionado con el botón izquierdo del mouse en el área de trabajo. Con ésta función activa, con el botón derecho del mouse se puede rotar el objeto 90°, 180°, 270° y 360° (lo cual también puede hacerse con la función “ROTATE”).
- MIRROR: genera la imagen especular de objetos y grupos respecto del eje Y.
- DELETE: permite eliminar un componente, cable o grupo del área de trabajo.
- ERC: ésta es una herramienta que realiza una verificación eléctrica del circuito. El programa corrobora que no haya terminales de componentes discretos o pines de entrada de integrados sin conexión o pines de salida utilizados como de entrada (con una tensión forzada por ejemplo).
- TEXT: permite agregar etiquetas de texto a un elemento o diseño.

Descrito las características de las herramientas principales se puede proceder a diseñar un circuito específico, a continuación se detalla el procedimiento a seguir para este fin.

Se seleccionar un componente de la lista o librería. En la opción <ADD> (figura 3.38) y luego de un momento (hasta que se cargue por primera vez) nos sale una ventana donde podemos encontrar los componentes con su respectivo símbolo electrónico para el esquema y su diseño físico para la placa (figura 3.38). Además indica algunas medidas como diameter (diámetro) y grid (malla) que nos serán de utilidad al momento de escoger tal componente. Además tiene la posibilidad de buscar un componente por su nombre o parte de él mediante la venta inferior izquierda y utilizando el símbolo "*" (por ejemplo 1N4148*).

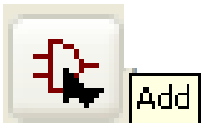


Figura 3.38. Adición de un componente especifico en el circuito

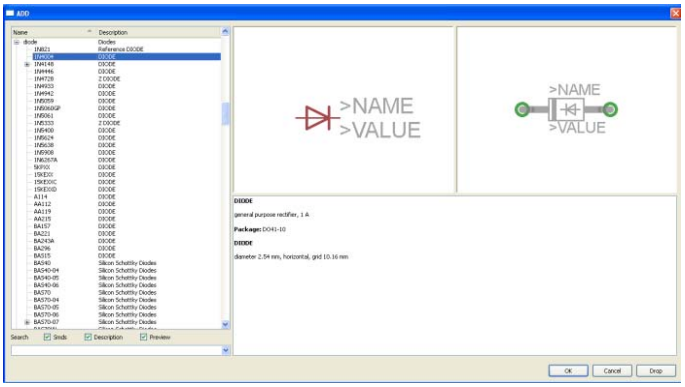


Figura 3.39. Componentes electrónicos disponibles en la librería

Con los componentes en el área de trabajo se puede modificar sus características. Cuando un componente es seleccionado este se pone de color rojo. Para unir los elementos con cables podemos hacerlo con la herramienta de <WIRE> (figura 3.40) pero será necesario poner las uniones o empalmen donde se desee unir cruces o derivaciones, para esto necesitamos la herramienta de junction (figura 3.41).

Figura 3.40. Herramientas para la unión de los componentes con cables

Figura 3.41. Herramientas para los empalmes o uniones.

Para mayor facilidad y rapidez al momento de conectar los componentes se puede usar la herramienta net que ya une directamente las derivaciones de cables creando los empalmes (figura 3.42).

Figura 3.42. Herramienta Net, para la unión de derivaciones.

Cuando los componentes ya estén unidos completamente y el diseño este acabado procedemos a crear el pcb o placa (figura 3.43).

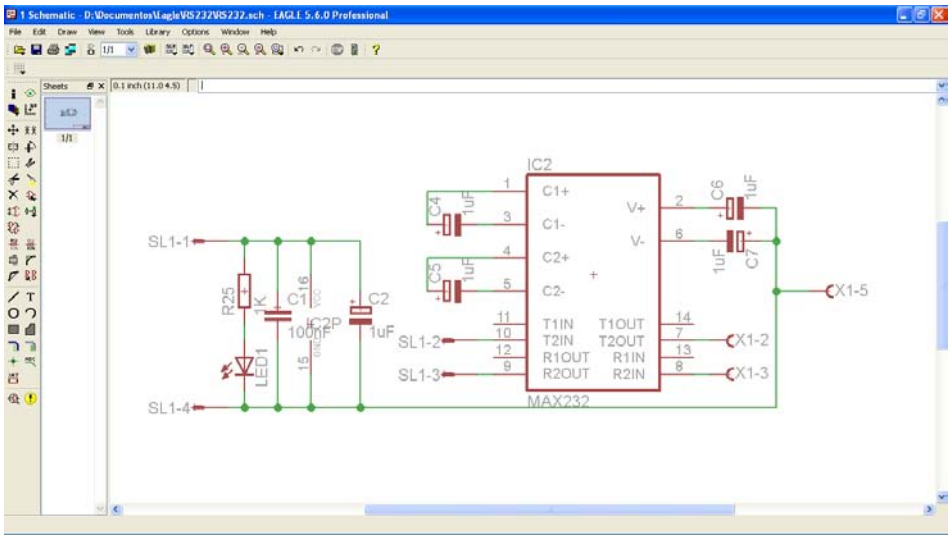


Figura 3.43. Ejemplo de un circuito terminado.

Para crear el circuito impreso se selecciona la herramienta de <BOARD> (figura 3.44) para que consecuentemente salga el mensaje de si deseamos

crear el pcb, Inmediatamente se creara el archivo ".brd" en la carpeta donde está el diseño del esquema.

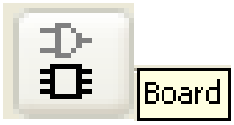


Figura 3.44. Herramienta Board para la creación del PCB

Seguidamente sale una pantalla negra con herramientas parecidas al de diseño pero que en este caso son para el diseño gráfico de la tarjeta, en la figura 3.45 se puede ver que los componentes están en desorden por lo que es necesario colocarles en orden y alinearlos. La forma de ordenar no se va a explicar debido a que cada persona tiene su forma de organizar pero una regla general puede ser que se siga el diseño y los componentes estén lo más cerca posible de alguno en común.

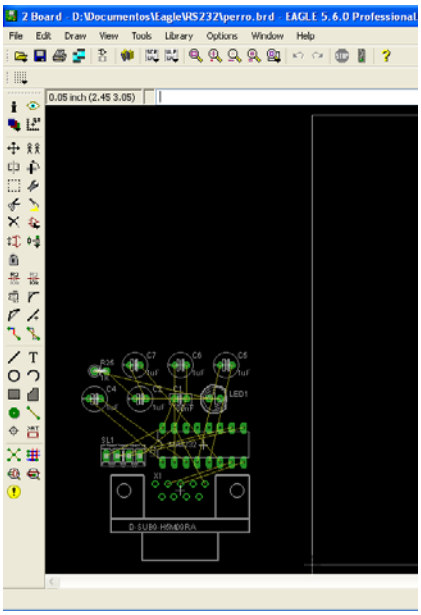


Figura 3.45. Pantalla para el diseño de la tarjeta

Cabe indicar que las herramientas son las mismas que para el dibujo esquema mencionado anteriormente solo que en esta vez están aplicados al diseño del PSB. Como se muestra en la figura 3.45 existe un cuadro blanco sobre el fondo negro. Este cuadro se llama <DIMENSION> y dentro del se debe diseñar el pcb. Con la herramienta <MOVE> (figura 3.46) se sitúa los elementos dentro

del cuadro y se los debe organizar del tal manera que sus conexiones (con línea amarilla) no se superpongan demasiado ya que estas después serán reemplazadas por las pistas de conexión como las que vemos en placas ya diseñadas.

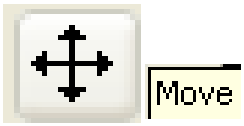


Figura 3.46. Herramienta Move para organizar los elementos.

Una vez organizado todo se procede a rutear el diseño automáticamente o mediante la herramienta <ROUTE> (figura 3.47) la cual dando click en el terminal del componente nos indica cuales terminales están unidos al escogido, estos son de color más brillante que el resto (figura 3.47). Además con las herramientas de <WIRE> podemos escoger el diseño de pista que deseamos ya sea recta, inclina, etc. (figura 3.47).

Figura 3.47. Herramientas para el procedimiento de ruteado

Para rutear automáticamente se tiene que configurar primero las características de las pistas así como también algunas dimensiones que queremos cumplir como distancias o anchos.

La herramienta <DRC> (figura 3.48) permite realizar la configuración de la placa (figura 3.49), lo más relevante de esta ventana son las reglas de <CLEARANCE> y <SIZES> siendo las primeras las distancias de aislamiento entre pistas, entre pista y terminal o pad y entre pistas y vía, que es un terminal que conecta dos o más caras de una placa por ejemplo en placas de dos caras.

Figura 3.48. Herramienta DRC para la configuración de la Placa a imprimir.

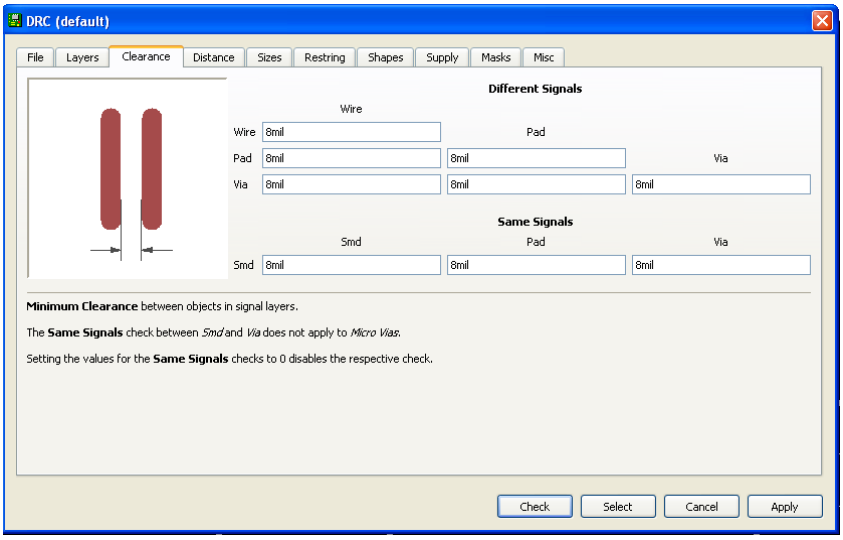


Figura 3.49. Configuración de las distancias entre las Pistas.

En la pestaña <SIZE> se tiene los anchos de las pistas y el diámetro de los agujeros “drill” que sirven para perforar en los terminales, pads o vías (figura 3.50).

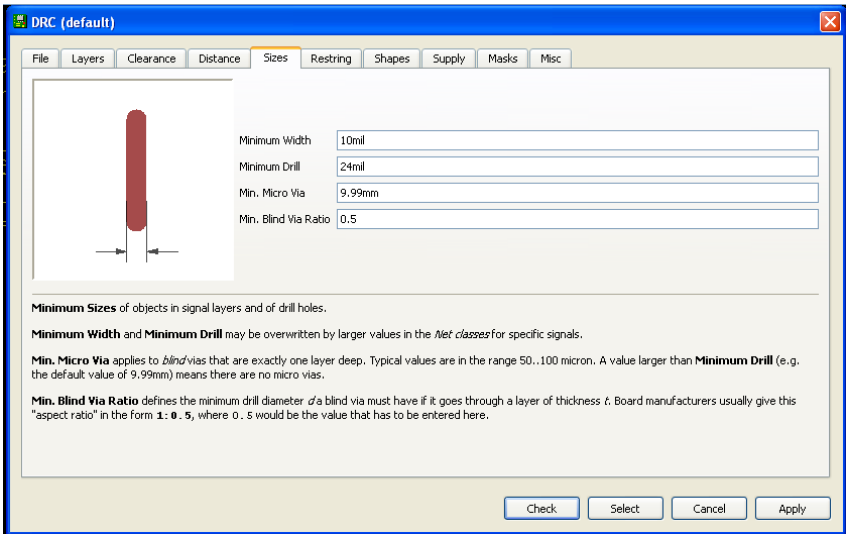


Figura 3.50. Configuración del ancho de las Pistas

Las dimensiones están dadas en micras esto quiere decir que 1000 micras equivale a una pulgada para tener en consideración cuando no se sabe cuál es el ancho que se tendrá y su correspondiente corriente que circulara. Otra forma de escoger el ancho de una pista es mediante la herramienta <CHANGE> la que tiene una pestaña de opciones escogiendo la que dice <WIDTH> sale los anchos que deseemos y con solo seleccionar una pista esta tomara la anchura

escogida. Esto es útil cuando se tiene un diseño con diferentes fuentes de comunicación y de alimentación (figura 3.51). A continuación se da una tabla con los anchos y su correspondiente corriente para una placa en común con una densidad de cobre dada por el fabricante.

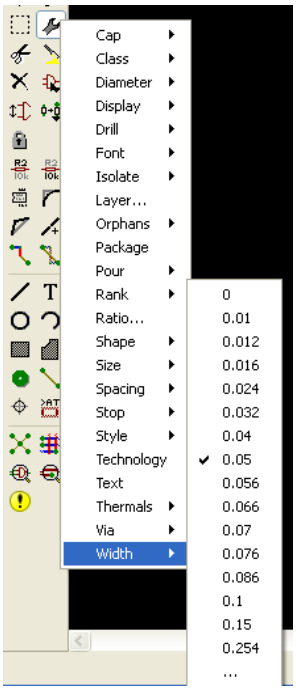


Figura 3.51. Herramienta CHANGE

MAXIMA CORRIENTE PERMITIDA (Cobre de 1 oz)		
Cobre (oz/ft^2)	**Ancho pista (mm)**	**Corriente (A)**
0,5	0,127	0,13
0,5	0,254	0,50
0,5	0,508	0,70
0,5	0,762	1,00
1	0,127	0,50
1	0,254	0,80
1	0,508	1,40
1	0,762	1,90
2	0,127	0,70
2	0,254	1,40
2	0,508	2,20
2	0,762	4,00

Tabla 3.3

Cuando se haya configurado las distancias podemos rutear automáticamente con la herramienta <AUTO> (figura 3.52).

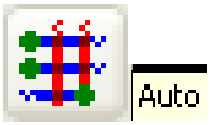


Figura 3.52. Herramienta Auto para ruteado automático

Esta herramienta indica que caras de la placa queremos rutear (figura 3.53). Para escoger las caras de abajo esta se llama Bottom y la de arriba es Top y su ruteo solo se hará si colocamos en su respectiva pestaña el símbolo “*” ya que si escogemos “N/A” no hará el ruteo para la respectiva cara. Luego se selecciona <OK> para que empiece el trabajo.

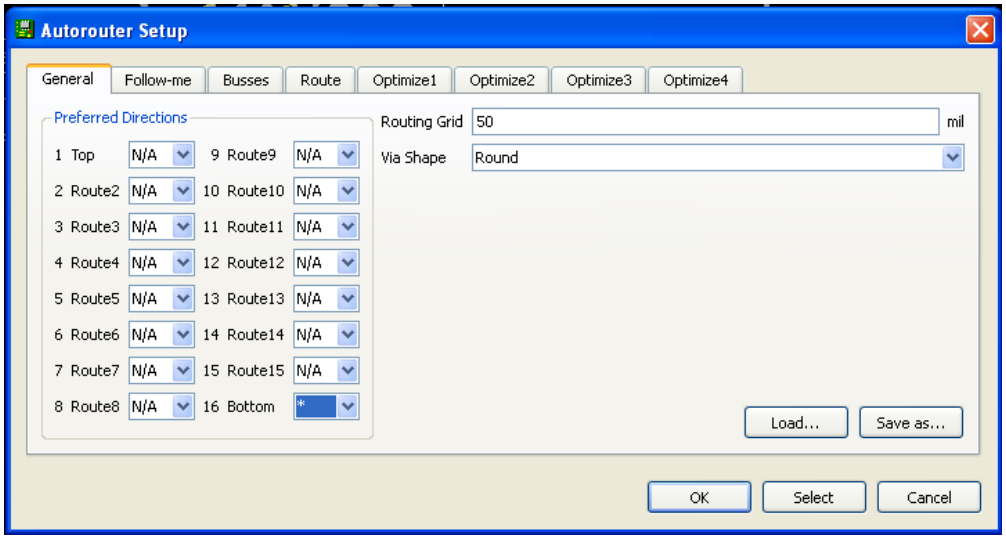


Figura 3.53. Configuración para ele ruteado

El programa encontrara el mejor camino para rutear y sus estado nos indicara en la esquina inferior derecha si ya termino o aun continua (figura 3.54). Si ya termino en su totalidad indicara que se ruteo en un 100% caso contrario indicara el porcentaje al cual llego como máximo y en tal caso se tiene que ingeniarse ya sea colocando más componentes como jumpers o reordenando los elementos y así poder terminar en su totalidad el diseño.

Figura 3.54. Porcentaje de proceso de ruteado

Si hay algún error en las dimensiones o alguna pista que se cruzó se puede ver tanto en el esquema o en la placa mediante la herramienta <ERC> (figura 3.55).

Figura 3.55. Herramienta ERC.

Si se selecciona un error, este nos indica la ubicación del mismo (figura 3.56).

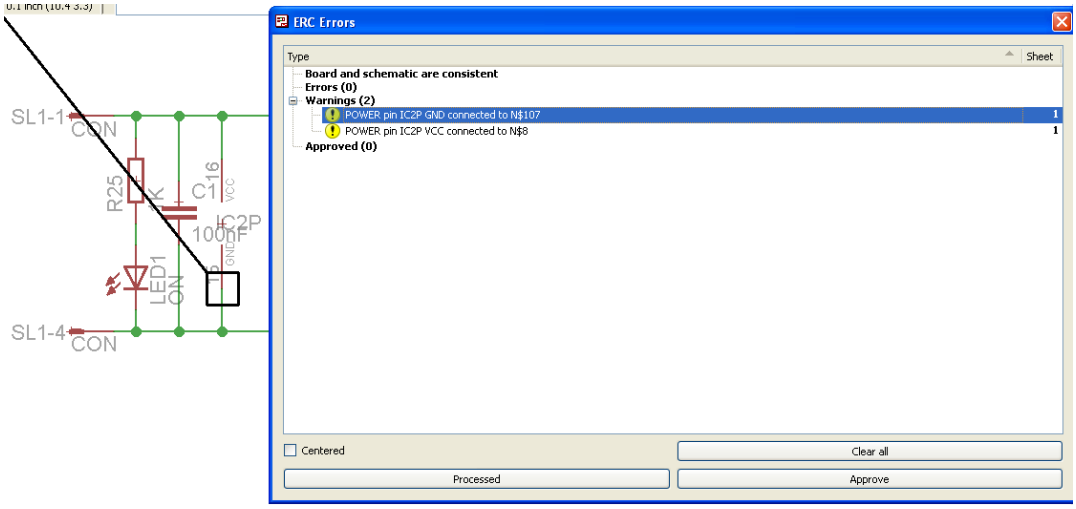


Figura 3.56. Información de la ubicación de error.

La herramienta <DISPLAY> (figura 3.57) permite ver el ruteado del circuito electrónico diseñado. La cual seleccionando los diferentes ítems agrega o quita las capas que componen diseño (figura 3.58). Con el diseño terminado se puede llevarlo a un local donde realizan el quemado o fabricado de las placas.

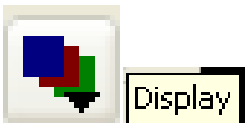


Figura 3.57 Herramienta para observar el ruteado terminado.

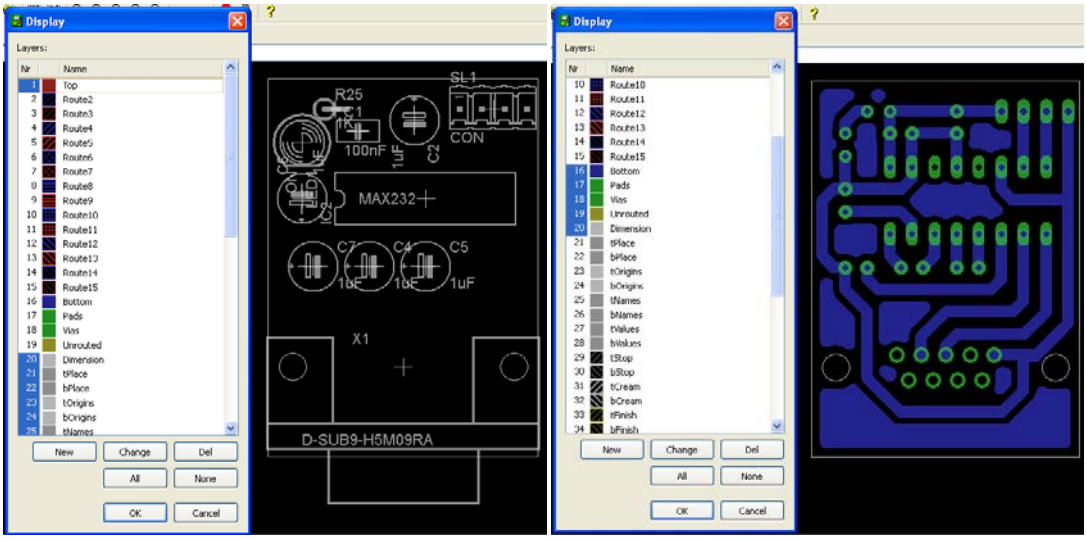


Figura 3.58. Ruteado Final

Lo que aquí se ha dado es una base para el proceso de programación y diseño de alguno proyecto electrónico por lo tanto con estos conocimientos básicos se está apto para desarrollar algún esquema y expandir los conocimientos aprendidos. Por último podemos acotar que no es necesario realizar la placa impresa con algún fabricante de las mismas, si no que se puede realizar con algo de paciencia y dedicación además de algo de dinero sin gastos demasiados, tan solo guiarnos por trucos y consejos que presentan muchas personas que realizan esta labor de forma artesanal.

CAPITULO 4

DISEÑO DE TARGETAS

4.1 INTRODUCCIÓN

Una vez que un diseño electrónico ha sido probado, está apto para ser colocado en una placa final donde cumpla con los lineamientos dados en el diseño inicial por lo que se utiliza las herramientas antes mencionadas en el diseño de placas electrónicas. En la placa final debemos considerar ciertas cosas como son posibles ampliaciones u aplicaciones del circuito inicial como también dimensiones del lugar donde se alojara. También será necesario separa o agrupar ciertas partes del circuito que tengan algo en común como pueden ser comunicación, alimentación, control, etc. O en caso contrario colocar en placas separadas. Aquí se ha separado el diseño en tres pacas, dos de control y una de alimentación para que se puedan ubicar de forma segura y poder verificar su funcionamiento en caso de fallas.

4.2 FUENTE DE ALIMENTACIÓN

4.2.1 INTRODUCCIÓN

Todo equipo eléctrico y electrónico precisa de una fuente de alimentación que le entrega potencia eléctrica cumpliendo con parámetros necesarios tanto de voltaje y corriente. Esta potencia debe ser entregada en todas las condiciones de carga sin que los parámetros varíen grandemente y estén dentro de un límite previsto. Por lo tanto la fuente deberá ser capaz de mantener fluyendo potencia a la carga adecuando la forma de energía de donde esta se alimente.

Las fuentes más utilizadas son las que suministran corriente directa debido a que alimentan en gran parte sistemas electrónicos que necesitan de este tipo de alimentación para un correcto funcionamiento.

4.2.2 CONCEPTO

Para el diseño del equipo de prospección fue necesario el uso de fuentes de corriente directa para todo el sistema por lo que se hará hincapié en este tema.

Una fuente de alimentación de corriente directa o continua como su nombre lo indica es la que su forma de onda de salida no varía en el tiempo, es decir que su magnitud de tensión se mantiene fija todo el tiempo, así su fuente de energía de entrada este cambiando como puede ser la corriente alterna. Como todo tipo de fuente esta se divide en sub-partes que la componen (figura 4.1). Estas sub-partes están colocadas en cadena tal que cada una aporta a la señal final de salida adecuando y mejorando esta.

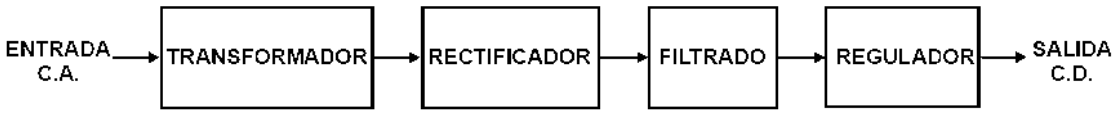


Figura 4.1. Diagrama de bloques de una fuente.

4.2.2.1 FUENTE DE ENTRADA

Es la fuente de energía de entrada, ya sea un generador o la toma de red eléctrica de la cual disponemos. Además su magnitud puede variar con el tiempo (corriente alterna) o inclusive mantenerse fija (corriente directa). En este caso se hace mención a la fuente de corriente alterna porque el equipo se puede alimentar tanto de una toma de red o desde un sistema inversor que transforma la corriente directa en corriente alterna o su semejante.

4.2.2.2 TRANSFORMADOR

Es el encargado de reducir, aumentar o mantener la magnitud de la tensión de entrada a niveles necesarios para el uso (figura 4.2). Este dispositivo está formado por bobinas arrolladas en un núcleo magnético. Una bobina actúa de primario la cual es alimentada generalmente con corriente alterna para que se pueda crear un flujo magnético variable que induzca una tensión en las otras bobinas manteniendo el mismo tipo de onda pero agregando un ángulo de desfase con respecto a la alimentada. También es un dispositivo que permite aislar eléctricamente la entra de las salida ya que no existe una conexión eléctrica entre sus bobinas.

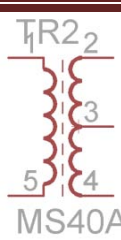


Figura 4.2. Símbolo de un transformador.

4.2.2.3 RECTIFICADOR

Se los usa para rectificar la corriente alterna. Se encarga de dejar pasar solamente los valores positivos o negativos de la onda de entrada de acuerdo a como esté conectado dando así una sola polaridad a la tensión de salida. Generalmente está formado por uno o varios diodos de potencia. Existen dos tipos los de media onda y los de onda completa.

EL rectificador de media onda es el que deja pasar solo la parte positiva o negativa de la onda de entrada en cada ciclo de oscilación y su polaridad de salida depende de su conexión (figura 4.3).

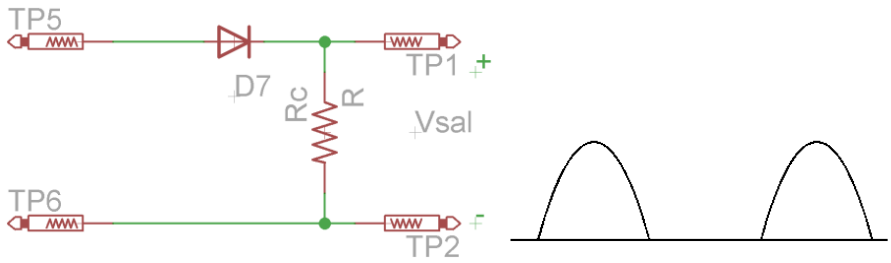


Figura 4.3. Rectificador de media onda (positivo) y su onda de salida.

El rectificador de onda completa es aquel que deja pasar solo la parte positiva o negativa de la onda de entrada en cada semi-ciclo de oscilación, su polaridad de salida depende de la conexión a la carga (figura 4.4).

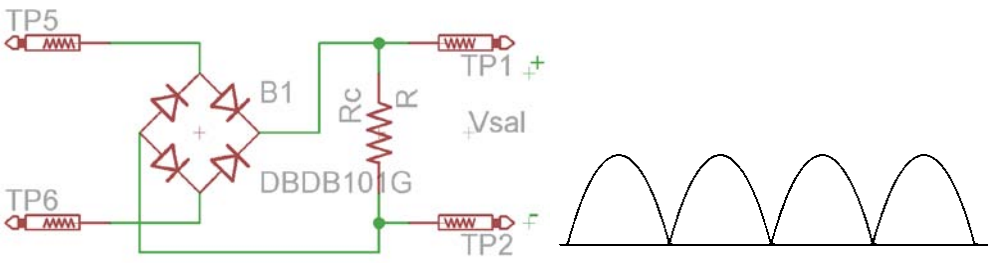


Figura 4.4. Rectificador de onda completa y su onda de salida.

4.2.2.4 FILTRADO

Después de la rectificación se tiene la etapa de filtrado que no es otra cosa que usar capacitores para intentar mantener un nivel de tensión estable en terminales de la carga, debido a que la tensión rectificada es todavía variable en el tiempo. Esto se logra porque los capacitores son almacenadores de energía e intentan mantener una tensión fija en sus bornes cuando el potencial de la fuente decrece (figura 4.5).

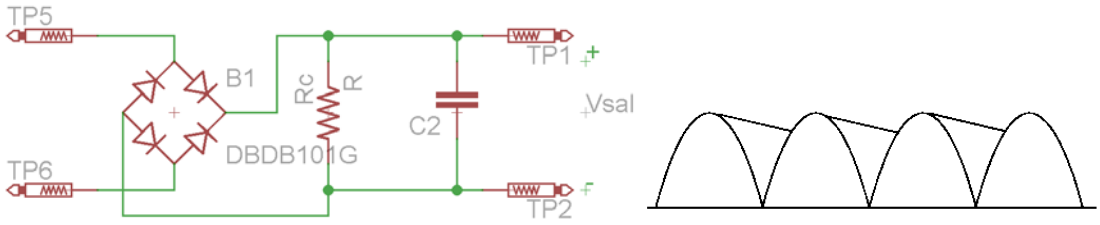


Figura 4.5. Rectificador de onda completa y su onda de salida.

Como se ve en la forma de onda de salida, el voltaje no es continuo si no que tiene una variación que se le llama rizado y es una función de la corriente que absorbe la carga y el valor del capacitor usado. Así pues sin carga no existiría rizado.

4.2.2.5 REGULACIÓN

Debido a que no se pueden obtener niveles de tensión exactos, fijos o en algunos casos varios niveles de tensión de una misma fuente es necesario el uso de reguladores de tensión. Estos no son más que circuitos que mantiene el nivel de tensión de salida fijo para un rango de tensión de entrada (figura 4.6).

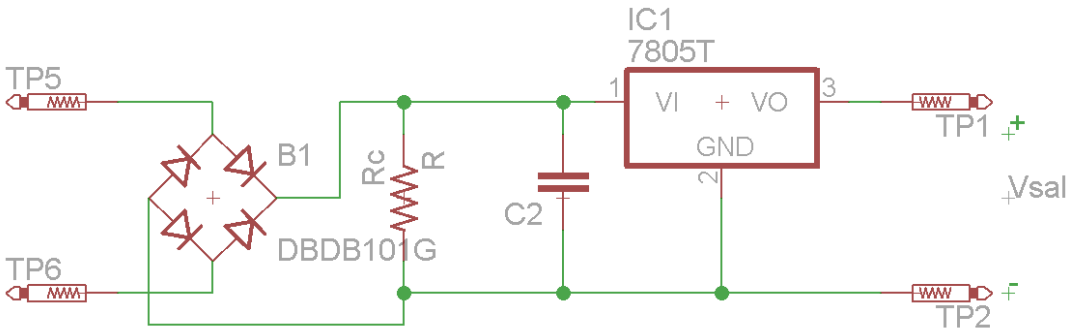


Figura 4.6. Regulador lineal para el voltaje de salida.

Los reguladores pueden ser fijos o variables, y estos a su vez positivos o negativos (figura 4.6).

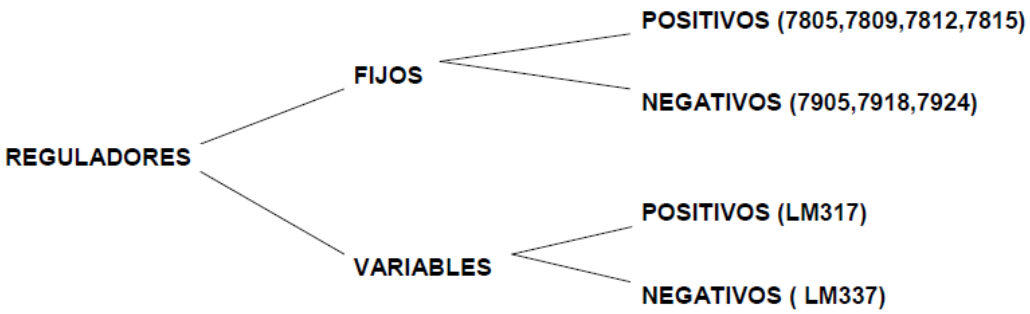


Figura 4.7. Algunos reguladores lineales.

4.3 DISEÑO

4.3.1 FUENTE DE ALIMENTACIÓN

Para el equipo de prospección la fuente de alimentación debe ser capaz de soportar las corrientes necesarias además de mantener los voltajes dentro de un margen permitido. En el campo de diseño de fuentes se ha visto que la más apta y simple de realizar es la fuente con rectificador de onda completa porque tiene un menor rizado que está dentro de lo necesario y no perjudica al funcionamiento de la aplicación.

La entrada de corriente alterna se la tomo de un inversor de uso comercial (el cual puede ser alimentado de una batería de automóvil) o también se puede usar la toma de la red eléctrica.

Se usa un transformador con primario de 120VCA y salidas de 12VCA mas 12VCA sin toma intermedia. Por lo que se puede tener tierras separadas en todo el sistema. Este transformador se colocó debido a que el sistema se lo puede usar con inversor o con toma de red eléctrica y es común para ambas alimentaciones. Este elemento alimenta las placas de conmutación y la placa de medición.

La rectificación se hizo con puentes de diodos de 2 amperios puesto que la corriente que absorbe el circuito no sobrepasa este límite. En lo concerniente al filtrado de baja tensión se usaron condensadores de 2200uF/25V y para alta tensión se utilizaron los de 1000uF/200V reduciendo el rizado.

En este proyecto se precisan de tres niveles de voltajes de corriente directa que son:

- +5 VDC.
- +12 VDC.
- +120 VDC.

Para mantener los voltajes necesarios de +5VDC y +12VDC se optó por el uso de reguladores lineales positivos como son de la serie 78 con diseño TO-220 que soportan una corriente máxima de 1ACD.

Los tres voltajes son independientes entre ellos, esto quiere decir que sus tierras no son comunes además que no comparten un voltaje común que luego será regulado (regulación en cascada). Estos voltajes independientes son necesarios debido a que los instrumentos de medición precisan de voltajes lo más fijos posible y libres de ruido que puede ocasionar errores en la medición. Además debido a que si se unen las tierras se crearían mallas eléctricas por las cuales pueden circular corrientes no deseadas o perjudiciales.

Resumiendo tenemos que los 5VDC y los 12VDC se toman de un transformador. Los 120VDC se obtienen del inversor o alimentación de la red eléctrica disponible. Todos los circuitos necesarios para la fuente de cada parte del sistema se resumen en una sola placa haciendo que sea más fácil su elaboración y verificación del funcionamiento (figura 4.8).

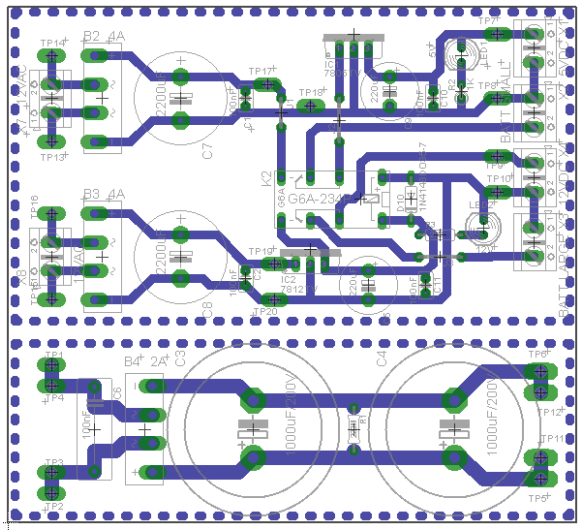


Figura 4.8. Placa de alimentación.

En el anexo B se puede encontrar el circuito de la fuente de alimentación de todo el sistema que fue realizada con Eagle.

4.3.2 SISTEMA DE CONMUTACIÓN DE ELECTRODOS

Este dispositivo debe cumplir dos funciones:

1. Conmutar la resistencia “Rx” a medir: Es decir, asignar a las entradas, provenientes de la placa de medición, C1, C2, P1 y P2 la ubicación lógica en la configuración de 5 electrodos, correspondientes a las resistencias, “Características” y “Offset” requeridas para cada estación de medición, y que se muestran en la figura 4.9.

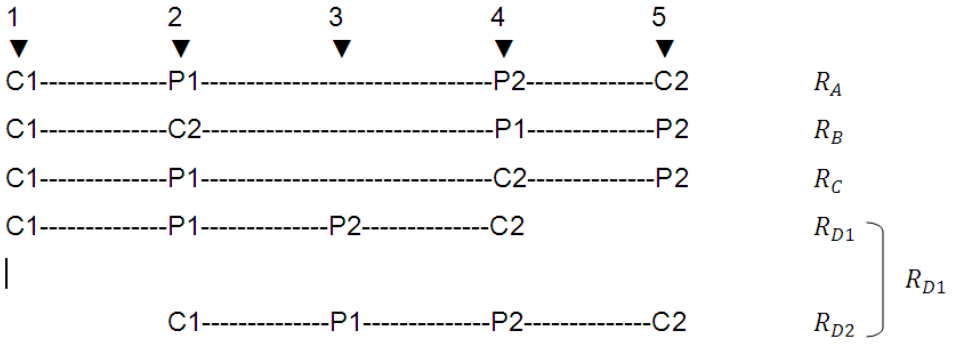


Figura 4.9. Esquema de medición de resistencias “Rx” para cada medición.

2. Conmutar el espaciamiento electródico: Es decir, asignar en cada medición el espaciamiento adecuado entre los 5 electrodos que constituyen la configuración.

La figura 4.10 muestra el diagrama del bloque conmutador de espaciamiento que posee 15 salidas, necesarias para un SEV Wenner-Offset de hasta 64 m. de profundidad, porque se ha estimado que es suficiente con los datos que se obtienen para un buen desarrollo de este estudio.

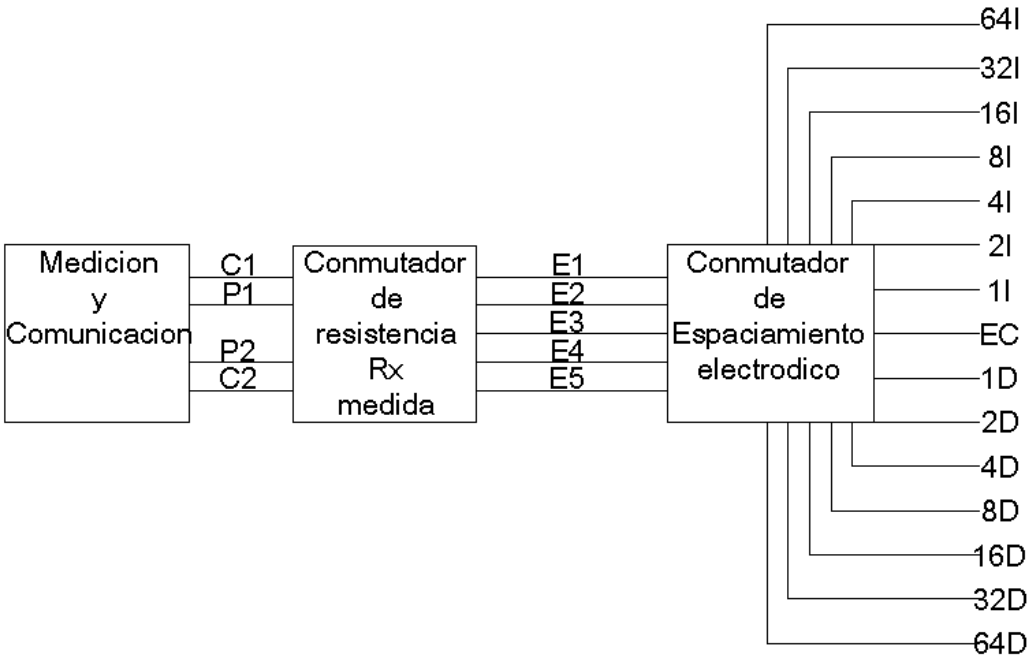


Figura 4.10. Diagrama interno del sistema SEV Wenner-offset.

Se tiene una tarea en común en ambos bloques. En el bloque de conmutador de resistencia y medición se tiene que seleccionar 4 entradas a igual número de salidas de entre 5 posibles teniendo en cuenta que resistencia es la que se medirá y en el segundo bloque se debe conectar 5 entradas a igual número de salidas de entre 15 posibles seleccionando de antemano el espaciamiento electródico necesario para cada una de las 6 mediciones.

La conmutación se logra mediante elementos mecánicos, electromecánicos o electrónicos. En el primer caso se pueden usar conmutadores rotativos como son interruptores colocados en discos giratorios que se activan por medio de trinquetes mecánicos que giran mediante un actuador cilíndrico o eje, estos precisan de una fuerza rotatoria para ser movidos, esta puede ser de una persona que active los mismos (figura 4.11).

Figura 4.11. Conmutadores mecánicos (interruptor rotatorio).

En el segundo caso son interruptores que se activan por medio de fuerzas magnéticas como pueden ser de motores o bobinas que atraen núcleos magnéticos donde están los contactos permitiendo el cierre o apertura, mientras que para los motores estos pueden mover los ejes que se explicó para la conmutación mecánica (figura 4.12).

Figura 4.12. Conmutadores electromecánicos (relés).

En estos dos casos se tiene una principal ventaja que es el aislamiento eléctrico existente entre el actuador y la energía controlada. La principal desventaja es el deterioro de los contactos que están sujetos a golpes y vibraciones al momento de su actuación. Para el tercer caso una conmutación electrónica precisa el uso de elementos de estado sólido como son los transistores (BJT o FETs) o el uso de compuertas lógicas para la conmutación pero que no permiten un aislamiento eléctrico aunque su ventaja es el no desgaste de partes mecánicas.

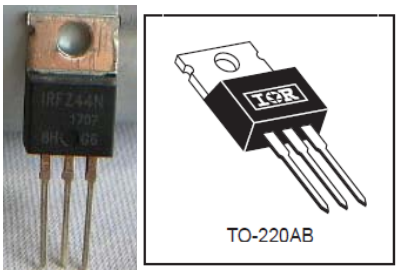


Figura 4.13. Conmutadores electrónicos de estado sólido (FETs).

Una vez ya seleccionado la resistencia a medir y el espaciamiento se procede a tomar lectura de los parámetros eléctricos (voltajes y corrientes) que luego mediante cálculos en una PC se tendrá el valor de esta resistencia.

Se ha optado por el uso de elementos electromecánicos como son los relés (figura 4.12) puesto que no necesitan de la acción humana para su activación además que son de bajo costo.

Por lo tanto para el bloque de conmutación se sigue un diagrama lógico específico dentro del microcontrolador (figura 4.14). Su control se lo realizo con un microprocesador dedicado para esta tarea cuyos puertos de salida activan a opto acopladores que permiten un aislamiento entre la alimentación de control con la de medición activando relés de conmutación de electrodos. Para cada conjunto de electrodos estos se seleccionan de acuerdo a una tabla de conmutación que tiene en su programa interno y que cambia a otro conjunto solo cuando el microprocesador principal lo indique. Esta indicación se lo hace mediante tres líneas de comunicación que están conectadas a tres pines de sus puertos, esto es que se pueden tener 8 conjuntos diferentes pero que solo se necesitaran 6 y los restantes pueden ser usados para otros casos. El programa que sigue el microcontrolador se detalla en el anexo B.

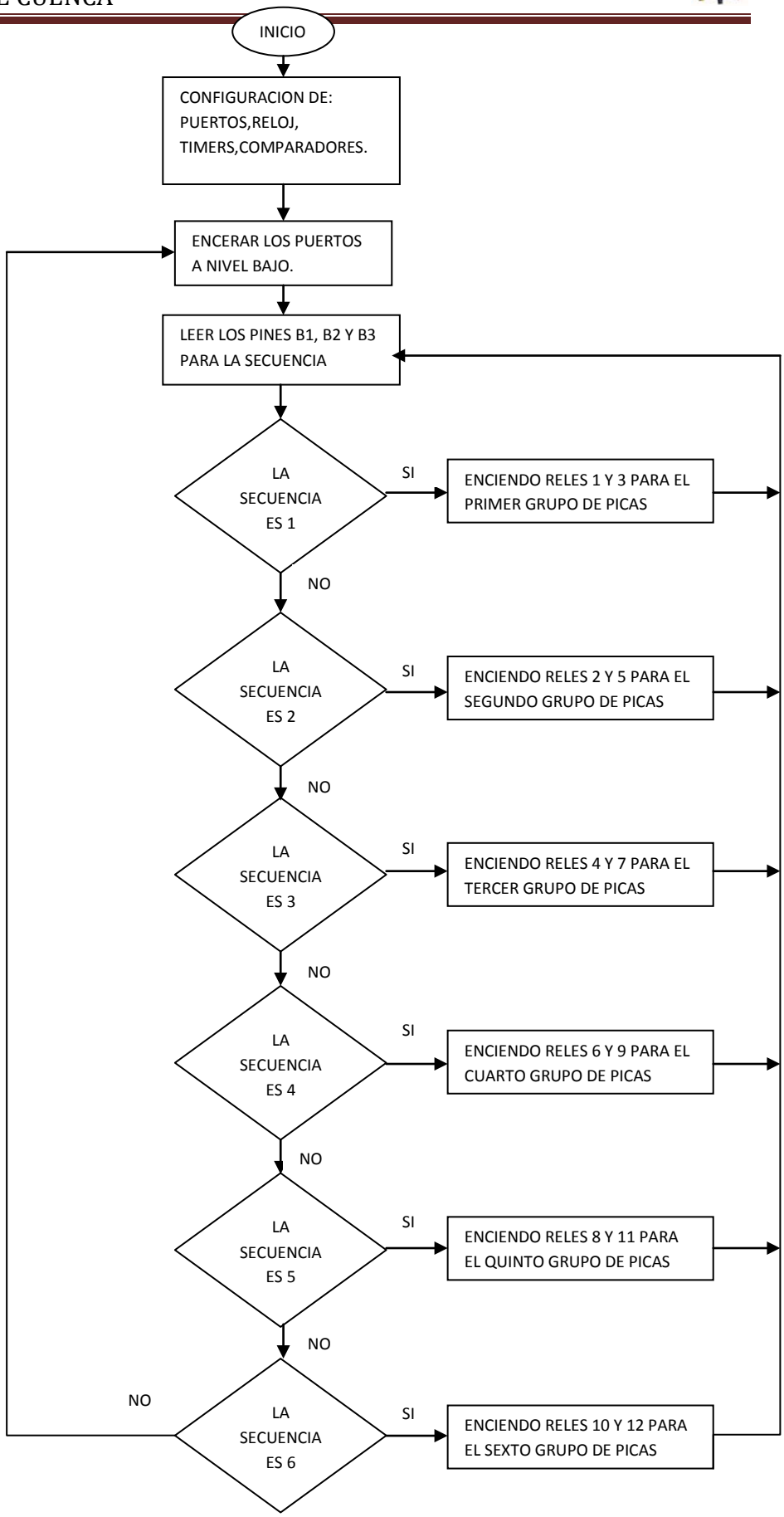


Figura 4.14. Diagrama lógico del bloque de conmutación.

Por lo tanto esta placa es dependiente de la placa principal de medición y solo actuara si esta última lo indique (figura 4.15).

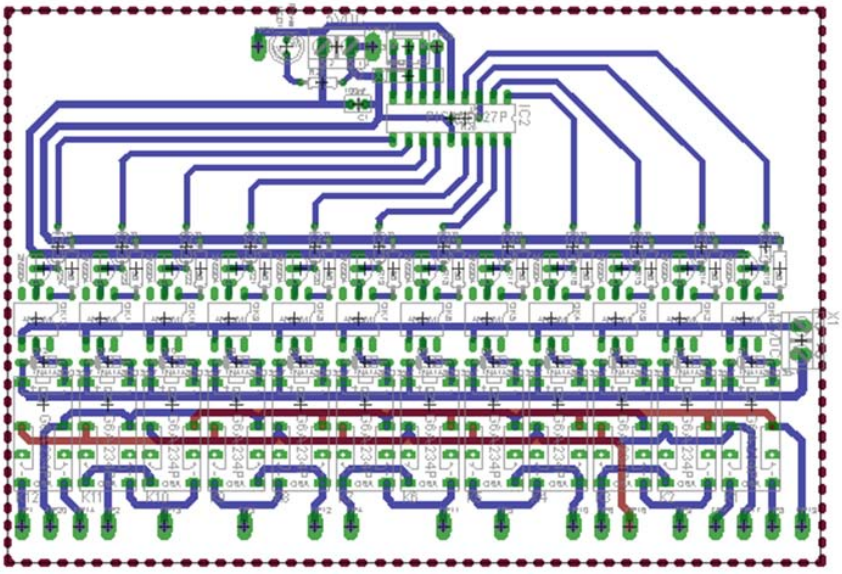


Figura 4.15. Placa de conmutación.

Al igual que la placa de la fuente, esta también se lo realizo con el software de Eagle y su diseño total está en el anexo B.

4.3.3 SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN Y TOMA DE DATOS

Considérese la configuración electródica generalizada mostrada en la figura 4.16. La línea cortada encierra las partes que conforman el Instrumento de Medición propiamente dicho, correspondiendo a los elementos externos a ella la denominación de Equipamiento.

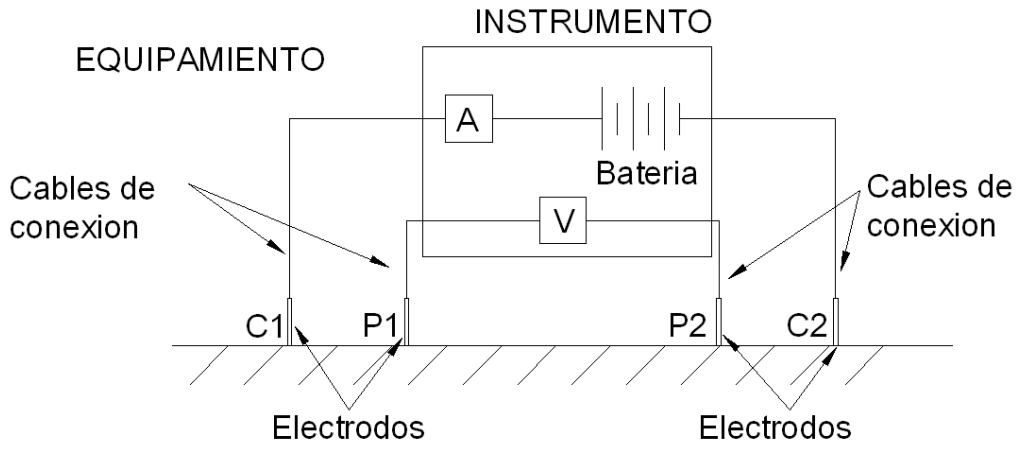


Figura 4.16. Instrumentación y equipamiento.

Se puede ver que dentro del equipo hay 3 partes:

- Fuente de Alimentación.
- Amperímetro.
- Voltímetro.
- Comunicación.

La fuente de alimentación ya la abordamos anteriormente, ahora trataremos el voltímetro y el amperímetro.

Estos dos instrumentos están basados en un mismo parámetro en común que es la medición de voltaje y pueden ser medidos por un mismo chip. El voltímetro en si mide un nivel de potencial presente en sus dos terminales de prueba y el amperímetro también hace lo mismo debido a que podemos hacer circular corriente por una resistencia y medir en terminales su tensión que será proporcional a la corriente que la atraviesa por su resistencia. Por lo tanto solo necesitamos conocer el valor de resistencia y con el voltaje medido encontramos la corriente circulante.

Para la medición de voltaje primero se tendrá que saber la polaridad del mismo puesto que un voltaje negativo a la entrada del micro puede dañar el mismo, y se necesitó de un circuito adicional de detección de polaridad que hace uso de un circuito amplificador operacional en modo entrada diferencial, o sea que el voltaje a probar se aplica en las entradas inversora y no inversora del mismo y la salida activa un relé que invierte las terminales de entrada respetando así la polaridad del microprocesador.

Ahora será necesario digitalizar este valor de tensión analógica por lo cual necesitamos de un convertidor analógico a digital. Un convertidor analógico a digital no es nada más que un circuito que representa un valor analógico en un conjunto de bits y el número de bits del conjunto es la resolución que tiene un convertidor. Por lo tanto se ha visto la necesidad de encontrar un microprocesador que contenga dicho elemento además que tenga una buena resolución para evitar errores de medición. Un microprocesador con tales características es el PIC 16F876A que posee un convertidor de 10 bits y 5 entradas analógicas. Como las mediciones no sobrepasan un nivel de tensión

de 5 voltios de corriente continua que alimenta al micro, podemos leer los valores analógicos directamente (figura 4.17).

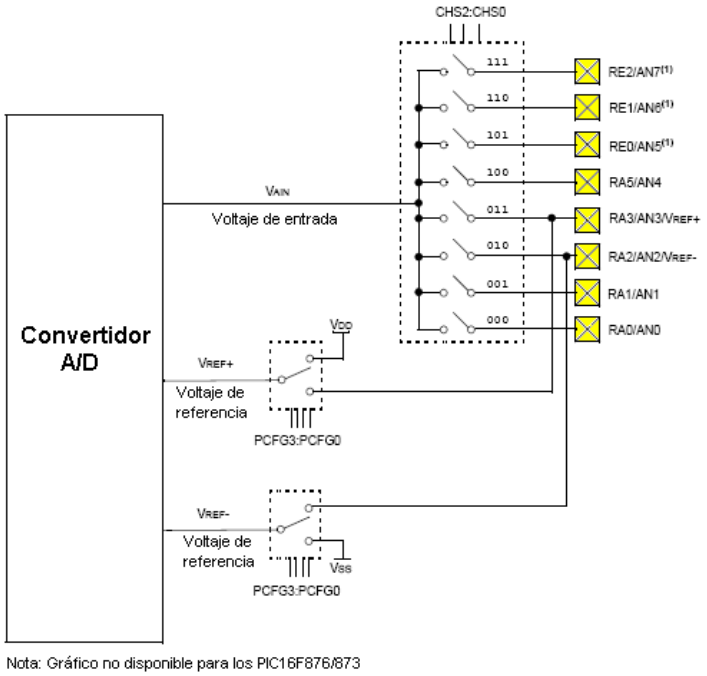


Figura 4.17. Esquema interno del convertidor analógico digita de un microcontrolador PIC.

Primero se selecciona el canal a medir y luego se activa el mismo para que se produzca la conversión y posteriormente guardar los valores en un vector, y se realiza lo mismo para el otro canal, hasta obtener todos los valores y envíalos al PC.

4.3.3.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL PIC16F876A

- Cinco canales de conversión. Cinco pines de E/S de PORTA.
- Convierte la señal analógica en un número digital de 10 bits.
- Tensión de referencia seleccionable por software. Puede ser VDD o la tensión aplicada en los pines RA2 y/o RA3.
- Posibilidad de seguir funcionando cuando el PIC está en modo SLEEP.

4.3.3.2 CONVERSIÓN A/D EN EL COMPILADOR DE CCS

Configuración del módulo A/D

setup_adc(modo);

Modo: ADC_OFF
ADC_CLOCK_DIV_2
ADC_CLOCK_DIV_8
ADC_CLOCK_DIV_32
ADC_CLOCK_INTERNAL

Definición de entradas analógicas

setup_adc_ports(valor);

Valor: ANALOG_RA3_RA2_REF
RA0_ANALOG
RA0_RA1_ANALOG_RA3_RA2_REF
RA0_ ANALOG_RA3_RA2_REF

Selección del canal analógico

setup_adc_channel(canal);

canal: 0 (AN0)
1 (AN1)
2 (AN2)
3 (AN3)
4 (AN4)

Lectura del resultado

valor = read_adc ();

Valor: Entero de 16 bits según la directiva #device adc = empleada.

La influencia de dicha directiva se recoge en la siguiente tabla:

#device	8 bits	10 bits	11 bits	16 bits
adc = 8	00 – FF	00 – FF	00 – FF	00 – FF
adc = 10	X	0 – 3FF	X	X
adc = 11	X	X	0 – 7FF	X
adc = 16	0 – FF00	0 – FFC0	0 – FFE0	0 – FFFF

Tabla 4.1. Bytes convertidos de acuerdo a directivas.

El fichero 16F876.h incluye como primera directiva #device PIC16F876A.

Una vez convertido el dato de tensión y corriente se procede a guardar en un vector su byte alto y su byte bajo, esto quiere decir que el dato de 16 bits (2 bytes) se lo divide para poder guardarlo y posteriormente enviarlo.

A continuación se presenta un diagrama lógico de operación del bloque de conmutación y medición (figura 4.18). Este programa también se encuentra en detalle en el anexo B.

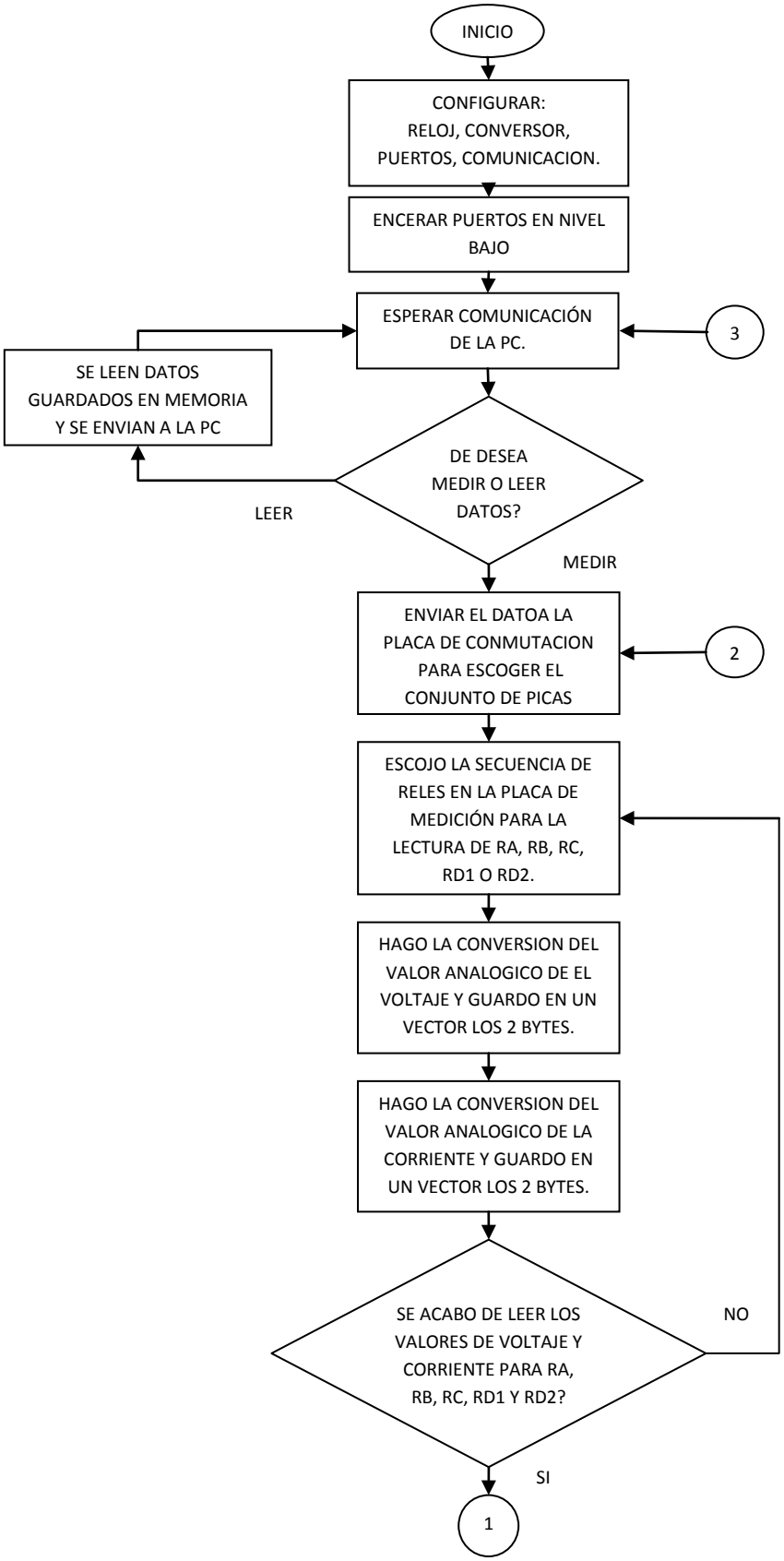


Figura 4.18. Diagrama lógico del bloque de conmutación y medición.

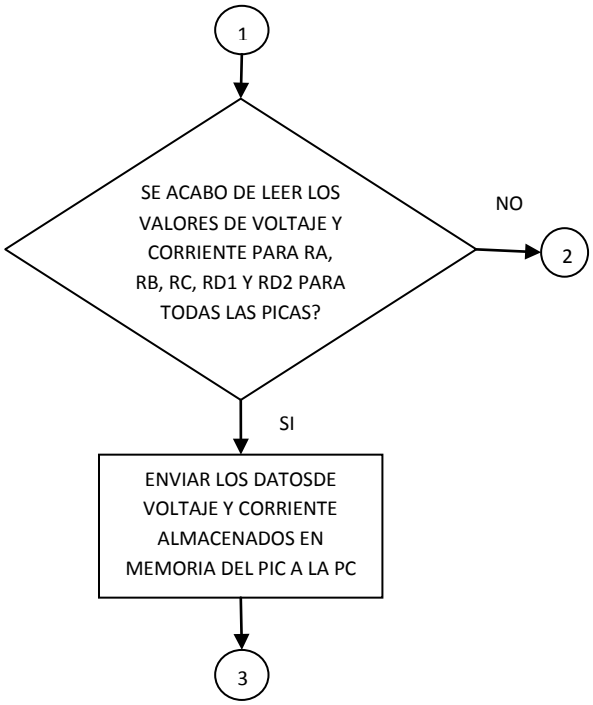


Figura 4.18. Diagrama lógico del bloque de conmutación y medición.

4.3.3.3 SISTEMA INTERFAZ CON PC

Un sistema interfaz no es más que un medio físico mediante el cual se permite la comunicación entre el equipo y la PC por varios equipos y protocolos estandarizados que hay en el mercado como son:

- Tarjeta con puerto paralelo.
- Tarjeta con puerto serial.
- Tarjeta con puerto USB.
- Tarjeta de red.
- Tarjeta de sonido.
- Tarjeta inalámbrica (infrarrojos o radiofrecuencia).

Estos son los medios físicos o hardware más conocidos que pueden manejar una PC o un equipo electrónico para poder establecer una comunicación ya sea en uno o ambos sentidos, a intervalos de tiempo o todo el tiempo. Cada uno de ellos se diferencian de otros por su particularidades eléctricas, protocolos, espacio requerido, medio de interconexión, etc.

4.3.3.3.1 TARJETA CON PUERTO PARALELO

La comunicación que se ha empleado desde tiempo atrás es la mediante el uso de una tarjeta con puerto paralelo (figura 4.19) que no es más que enviar todos los datos que conforman un paquete de información al mismo tiempo. Por ejemplo si se quiere enviar un paquete de 8 bits, se coloca estos en los pines de salida del conector paralelo asignando a cada pin un bit específico por lo que se tendrá todos 8 bits presentes en el puerto al mismo tiempo. Es decir, se implementa un cable o una vía física para cada bit de datos formando un bus. Mediante el puerto paralelo se puede controlar también periféricos como focos, motores entre otros dispositivos, adecuados para automatización. En un puerto paralelo habrá también un conjunto de bits de control en pines separados.

Figura 4.19. Tarjeta con Puerto Paralelo.

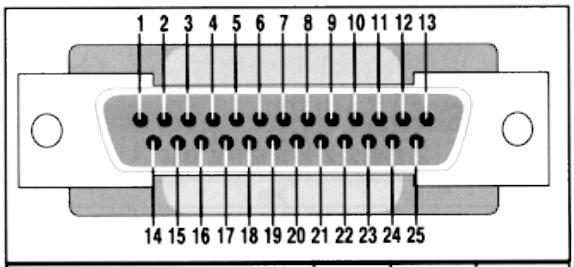
El cable paralelo es el conector físico que une dos dispositivos que contienen puertos paralelos además que este tiene que cumplir con ciertas normas que garantizan su correcto funcionamiento.

4.3.3.3.2 TARJETA CON PUERTO SERIE

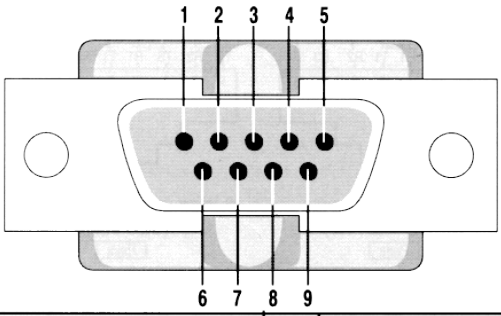
A diferencia de lo anterior una tarjeta con puerto serie transmite los datos bit a bit uno a la vez (figura 4.20). El término "puerto serie" normalmente identifica el hardware más o menos conforme al estándar RS-232, diseñado para interactuar con un módem o con un dispositivo de comunicación similar.

Figura 4.20. Tarjeta con Puerto Serie.

Pero la diferencia sustancial es que este último utiliza menos espacio para su tipo de conector, además de menos líneas de comunicación, 9 a diferencia de 25 utilizado por el puerto paralelo (figura 4.21) y de esta se pueden obviar algunas.



Pin	Description	EIA CKT	From DCE	To DCE
1	Frame Ground	AA		
2	Transmitted Data	BA		D (Data)
3	Received Data	BB	D	
4	Request to Send	CA		C (Control)
5	Clear to Send	CB	C	
6	Data Set Ready	CC	C	
7	Signal Gnd/Common Return	AB		
8	Rcvd. Line Signal Detector	CF	C	
11	Undefined			
12	Secondary Rcvd. Line Sig. Detector	SCF	C	
13	Secondary Clear to Send	SCB	C	
14	Secondary Transmitted Data	SBA		D
15	Transmitter Sig. Element Timing	DB	T (Timing)	
16	Secondary Received Data	SBB	D	
17	Receiver Sig. Element Timing	DD	T	
18	Undefined			
19	Secondary Request to Send	SCA		C
20	Data Terminal Ready	CD		C
21	Sig. Quality Detector	CG		C
22	Ring Indicator	CE	C	
23	Data Sig. Rate Selector (DCE)	CI	C	
23	Data Sig. Rate Selector (DTE)	CH		C
24	Transmitter Sig. Element Timing	DA		T
25	Undefined			



Pin	Signal	Pin	Signal
1	Data Carrier Detect	6	Data Set Ready
2	Received Data	7	Request to Send
3	Transmitted Data	8	Clear to Send
4	Data Terminal Ready	9	Ring Indicator
5	Signal Ground		

Figura 4.21. Puerto serie y paralelo.

Uno de los defectos de los puertos serie era su lentitud en comparación con los puertos paralelos (19.2 kbits por segundo) sin embargo, con el paso del tiempo, están apareciendo multitud de puertos serie de alta velocidad que los hacen muy interesantes ya que utilizan las ventajas del menor cableado y solucionan el problema de la velocidad con un mayor apantallamiento y más barato usando la técnica del par trenzado. Por ello, el puerto RS-232 e incluso multitud de puertos paralelos están siendo reemplazados por nuevos puertos serie como el USB, el FireWire o el Serial ATA.

4.3.3.3.3 TARJETA CON PUERTO USB

Una tarjeta con puertos USB o Universal Serial Bus es la que cumple un estándar diseñado para conectar dispositivos a través de un bus serie. El diseño del USB tenía en mente eliminar la necesidad de adquirir tarjetas separadas para poner en los puertos bus ISA o PCI, y mejorar las capacidades plug-and-play permitiendo a esos dispositivos ser conectados o desconectados al sistema sin necesidad de reiniciar (figura 4.22).

Figura 4.22. Tarjeta con Puerto USB.

USB conecta varios dispositivos a un host controlador a través de unas cadenas de hubs. Los hubs son dispositivos que permiten, a partir de un único punto de conexión, poder conectar varios dispositivos, es decir, disponer de varios puntos de conexión. De esta forma se crea una especie de estructura de árbol. Siempre existe un hub principal que está conectado directo al host controlador.

Un mismo dispositivo USB puede cumplir varias funciones. Por ejemplo, un mouse puede ser también lector de tarjetas, y de esa forma sería como dos dispositivos conectados al bus USB.

Se puede lograr una tasa de transferencia de hasta 480 Mbps (60 MB/s) pero por lo general de hasta 125Mbps (16MB/s). Está presente casi en el 99% de las PC actuales. El cable USB 2.0 dispone de cuatro líneas, un par para datos, una de corriente y una de toma de tierra.

4.3.3.3.4 TARJETA DE RED

Las tarjetas de red también permiten una comunicación bidireccional con la PC mediante el puerto RJ-45 (figura 4.23). Esta tarjeta es usada para él envió de datos por medio de una red cableada LAN, WAN o MAN que a su vez puede

unirse a una red de mayor cobertura como la INTERNET para el intercambio de información. Permite grandes cantidades de tráfico de información utilizando cables UTP o STP de 8 hilos. No solamente esta red necesita ser cableada sino también utilizar dispositivos inalámbricos. Este tipo de comunicación es empleada más para el tráfico de información entre dispositivos que almacenan grandes cantidades de información como servidores o PCs en un área de trabajo.

Figura 4.23. Tarjeta de Red.

Hay diversos tipos de adaptadores en función del tipo de cableado o arquitectura que se utilice en la red (coaxial fino, coaxial grueso, Token Ring, etc.), pero actualmente el más común es del tipo Ethernet utilizando una interfaz o conector RJ-45. Las velocidades especificadas por los fabricantes son teóricas, por ejemplo las de 100 Mbps (13,1 MB/s) realmente pueden llegar como máximo a unos 78,4Mbps (10,3 MB/s).

4.3.3.3.5 TARJETA DE SONIDO

Una tarjeta de sonido o placa de sonido es una tarjeta de expansión para computadoras que permite la entrada y salida de audio bajo el control de un programa informático llamado controlador. El típico uso de las tarjetas de sonido consiste en proveer mediante un programa que actúa de mezclador, que las aplicaciones multimedia del componente de audio suenen y puedan ser gestionadas.

Las tarjetas de sonido son también dispositivos de comunicación bidireccionales que aunque no son diseñados para transmitir datos pueden ser programados para este fin. La desventaja radica en la programación de este dispositivo para un uso específico como la comunicación y otra en el ancho de

banda que tolera haciendo que la cantidad de datos enviada tenga valores muy bajos.

Figura 4.24. Tarjeta de audio.

4.3.3.3.6 TARJETAS DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA

Otro tipo de tarjeta que permite una comunicación fluida son las tarjetas inalámbricas ya sea mediante el uso de elementos que producen luz infrarroja (fotodiodos o fototransistores) o campos eléctricos radiados (radiofrecuencia). Este tipo de comunicación es la que más se está desarrollando por el hecho que permite la movilidad de equipos comunicados y la estandarización de comunicación. Lo anterior implica que los equipos no necesitan tener una conexión física mediante cable o estar lo más cercanos posible además que permite la unión de estándares de diferentes fabricantes bajo un mismo protocolo general adoptado universalmente. Por ejemplo se tiene la comunicación mediante el estándar Bluetooth (figura 4.25) que no es más que transmitir datos mediante radiofrecuencia bajo un estándar y otro equipo comúnmente usado el control remoto de una TV que transmite datos usando un espectro de luz infrarroja. Estos tipos de comunicación pueden soportar transmisión en ambos sentidos y a gran velocidad. Una comunicación Bluetooth puede soportar una transferencia de datos máxima de hasta 24 Mbit/s.

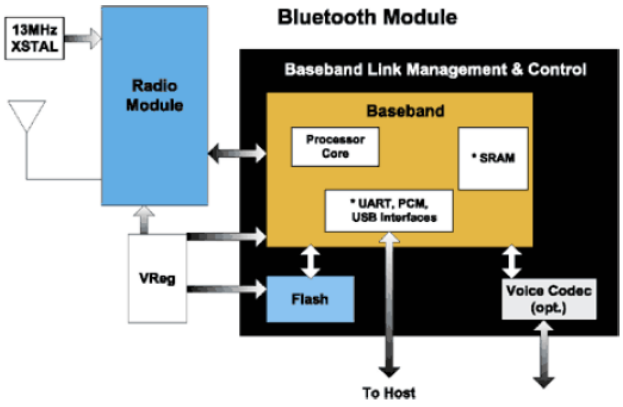


Figura 4.25. Comunicación Bluetooth.

De lo aprendido anteriormente lo más importante esta en identificar el lenguaje empleado para la comunicación, como son los niveles de tensión, el tipo de datos a enviar, la modulación empleada, el tamaño de trama entre otros. Una vez establecido estos parámetros la comunicación debe fluir sin problemas.

Un parámetro muy importante que determina el tipo de comunicación escogida es si estos son transmitidos en tiempo real. Pero para el proyecto planteado no se necesita transmitir datos a cada momento ni en grandes cantidades. Por lo tanto se selecciona una comunicación mediante puerto serial porque su programación, manejo y control no amerita de conocimientos profundos en programación de PCs. Otra ventaja es el uso de un simple chip que permite la estandarización de los niveles eléctricos de la comunicación con una alimentación simple.

4.3.3.4 IMPLEMENTACIÓN DE LA COMUNICACIÓN

El chip usado para el fin propuesto es el conocido MAX 232 que contiene dos pares de líneas de comunicación bidireccional y se alimenta con 5 V (figura 4.26). Este chip permite la conexión directa del microprocesador con la PC mediante el uso de conectores DB9. Además el microprocesador contiene un bloque de comunicación serial que puede ser programado.

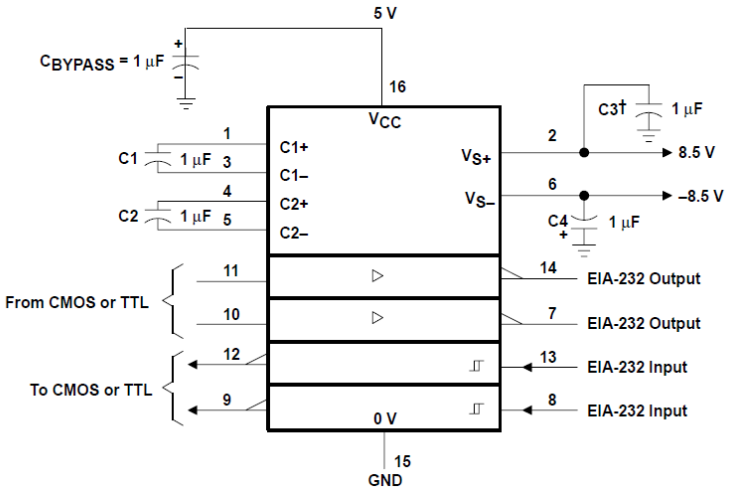


Figura 4.26. Conexionado de un MAX232.

La conexión de la línea de entrada de datos entre el MAX232 y el microcontrolador es mediante el pin C7 y a salida por el pin C6 que a su vez a la salidas del MAX232 se intercambian con las líneas de la PC, esto es, el pin 2 del DB9 que es Rx (recepción) se conecta con el pin de salida Tx (transmisión) del MAX232 y el pin Tx del DB9 se une al pin Rx del MAX 232 esto es para que se pueda enviar y recibir datos, también se necesita unir el pin 5 del DB9 con la tierra de 5V del sistema para establecer una referencia a los niveles de voltaje de los datos. La conexión es importante ya que el equipo necesita recibir un código de inicio de medición por parte de la PC y a su vez transmitir los valores medidos a la misma. El siguiente grafico 4.27 muestra la conexión antes mencionada.

Las características de la comunicación se establecieron en 9600 Baudios sin bit de paridad. Además en el microcontrolador no se necesita la opción de leer el dato recibido por interrupción puesto que el micro solo necesita esperar a que un dato llegue y si es el correcto inicie el proceso de medición.

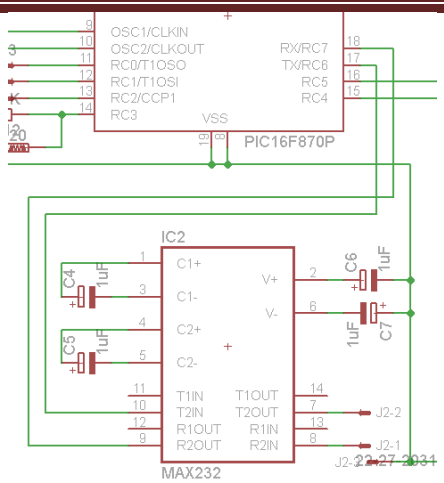


Figura 4.27. Conexionado del MAX232 con el microcontrolador.

Debido al reducido espacio que ocupa la comunicación esta se incluyó en la tarjeta de medición reduciendo costos del equipo.

Una vez conocido los requerimientos de hardware da la parte de medición y comunicación así como también los requerimientos energéticos de cada uno de ellos se procedió a realizar el diseño de la placa utilizando el software Eagle teniendo en consideración que esta placa de medición y la de conmutación deben de tener el mismo tamaño para que podemos ubicarla en la caja del dispositivo una sobre la otra en forma de capas y así ahorrar espacio,

A continuación presentamos el diseño final de la placa de medición (figura 4.28) que se especifica también en el anexo B.

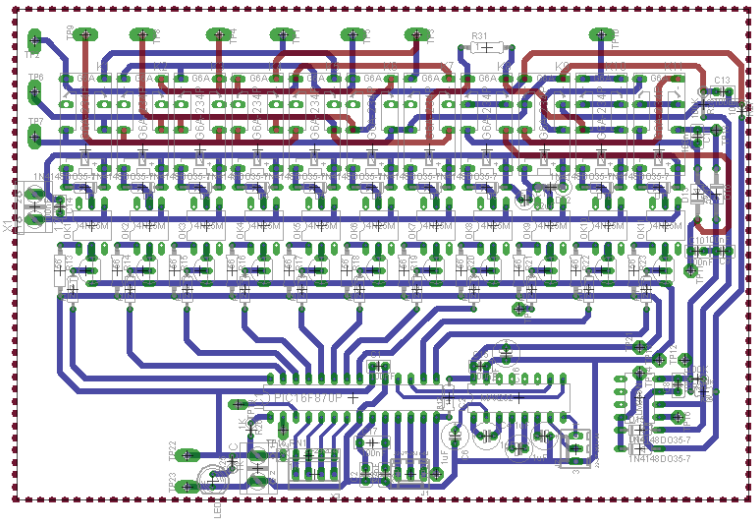


Figura 4.28. Tarjeta de medición y comunicación.

4.4 EQUIPAMIENTO

La figura 4.29 muestra los dos tipos de elementos más importantes del Equipamiento. Ellos son:

- Cables de conexión
- Electrodos

Estos elementos son muy importantes porque permiten inyectar la corriente al terreno y tomar medidas, es el eslabón que une el equipo con el terreno a prueba y debe cumplir con algunos requerimientos tales como:

Para cables:

- Permitir una buena conexión mecánica y eléctrica.
- Soportar las condiciones climáticas.
- Ser maleables y de fácil transporte.
- Tener un buen aislante que evite pérdidas eléctricas.
- Permitir una conexión con el equipo y picas que sea fácil y accesible.
- Tener una resistencia eléctrica lo más baja posible.
- Tener un medio de transporte común como un carrete y no en rollos sueltos.

Para electrodos o picas.

- Soportar las condiciones mecánicas del terreno.
- Soportar las propiedades químicas del terreno.
- Tener baja resistencia eléctrica de contacto mecánico.
- Poseer una buena conexión con el cable.
- Ser da fácil transporte.

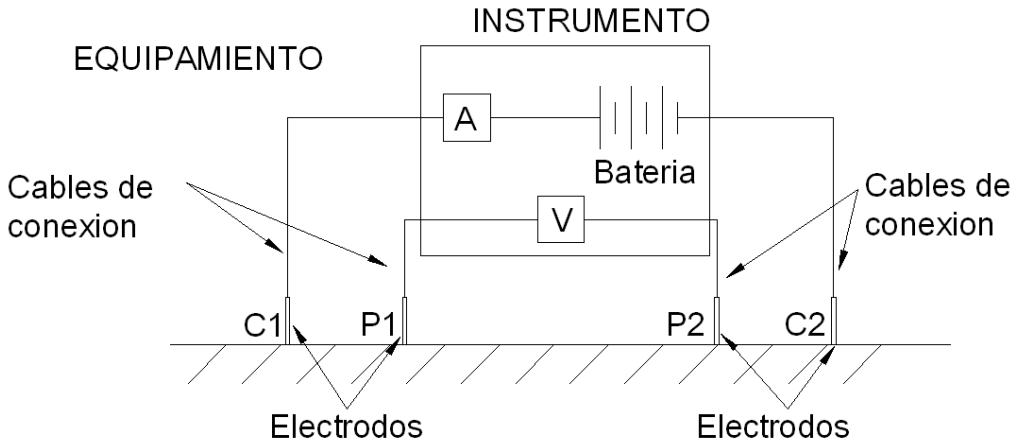


Figura 4.29. Instrumentación y equipamiento.

Otros elementos indispensables en la ejecución de medidas en terreno y que no aparecen en la figura son:

- Martillos.
- Computador.

Los martillos son para permitir enterrar las picas en el terreno y el computador son para el almacenamiento de las medidas.

Algo que no consta en la lista es algún elemento de medida (flexo metro) para el espaciamiento electródico esto no se incluye debido a que el conductor más largo (64m) puede contener puntos de señalización que indica las medidas interiores para el resto de electrodos (1, 1, 2, 4, 8,..). Además se realizó un carrete para contener todos los rollos de conductores y permitir transportar los mismos.

Para la conexión de los cables con las picas se usaron pinzas eléctricas (lagartos) que permiten una buena conexión con las varillas. En el otro extremo del cable, la conexión con el equipo se realizó con bananas que se insertan en borneras, esto permite una conexión simple y limpia.

Algo a tener en cuenta al momento de realizar los cálculos es la resistencia de cables y contactos que se introducen involuntariamente debido a los elementos usados es por ello que se debe de tomar muy en cuenta este aspecto. En el apéndice C se indicara las características antes mencionadas.

CAPITULO 5

INTERFAZ GRAFICA EN PC

5.1. INTRODUCCIÓN

El dispositivo de prospección geoeléctrica necesita una interface gráfica sencilla y comprensible para el usuario, de manera que exista una buena comunión entre la parte de instrumentación del equipo que comprende el medidor de voltaje y corrientes (hardware) y la interface (software).

Unos de los objetivos de este trabajo, es el poder realizar los cálculos en el momento y lugar donde se esté realizando el trabajo de campo de forma automática, para ello será necesario contar con una interface gráfica desarrollada con un código de programa en una computadora. Existen algunos programas para realizar este objetivo tales como Matlab, Fortran, Visual Basic, entre otros que permiten realizar un programa específico para el cálculo que se necesita. Para tomar una decisión sobre cuál de estos utilizar, se tendrá en cuenta que este debe ser amigable tanto para el programador como para el usuario del producto final. Los programas que cumplen con este propósitos son Matlab, y Visual Basic, los dos ofrecen la posibilidad de desarrollar un código de programa en base a un entorno gráfico. Para la programación una característica importante de Matlab es que este programa fue diseñado con propósitos matemáticos, esto facilita el manejo de vectores, que será útil cuando los datos adquiridos desde la parte de instrumentación sean almacenados en un vector. En cuanto a costos de licencias de uso, Matlab tiene un costo muy superior con respecto a la licencia de Visual Basic, a la hora de tomar una decisión sobre cuál de estos dos programas computacionales usar, se debe tener en cuenta, el proceso que se necesita para realizar los cálculos correspondientes, el número de datos a tratar, de acuerdo a lo estudiado en los capítulos anteriores necesitamos valores de voltajes y corrientes, calcular las resistencias respectivas, calcular errores, para lo cual se es necesita realizar multiplicaciones, sumas, y divisiones, tomando en cuenta esto, Visual Basic sin ser un programa totalmente sofisticado para cálculos

matemáticos, si puede realizar esas operaciones, de aquí que se selecciona este programa para escribir el código y lograr los propósitos trazados.

Una vez que se ha adquiridos y procesado la información se podrá obtener los resultados del sondeo eléctrico en un entorno gráfico, de esto se encargara el software WinSev6, este programa realizara el análisis del perfil geoeléctrico entre otros correspondientes a la geología.

5.2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE VISUAL-BASIC

Visual-Basic es una herramienta de diseño de aplicaciones para Windows, en la que estas se desarrollan en una gran parte a partir del diseño de una interface gráfica. En una aplicación Visual Basic (VB), el programa está formado por una parte de código puro, y otras partes asociadas a los objetos que forman la interface gráfica.

Es por tanto un término medio entre la programación tradicional, formada por una sucesión lineal de código estructurado, y la programación orientada a objetos. Combina ambas tendencias. Ya que no podemos decir que VB pertenezca por completo a uno de esos dos tipos de programación, debemos inventar una palabra que la defina: PROGRAMACION VISUAL

5.3. CONCEPTOS IMPORTANTES EN VISUAL BASIC

5.3.1. OBJETOS

Un objeto es una entidad que tiene asociado un conjunto de métodos eventos y propiedades. Hay muchas clases de objetos y por lo tanto puede llegar a haber tantos métodos eventos y propiedades distintas como objetos diferentes. Ejemplo, una caja de texto (TexBox) en la cual se puede escribir cualquier línea es un objeto.

5.3.2. EVENTOS

Se dice que Windows es un sistema conducido por eventos, ya que es la forma que tiene de saber lo que está pasando en todo momento. Cualquier cosa que ocurre en Windows es un evento: mover el ratón, abrir un menú, pulsar un control, redimensionar una ventana, etc.

5.4. COMPONENTES BÁSICOS DE UN PROGRAMA VISUAL BASIC

Cuando se empieza por primera vez a ejecutar el programa Visual Basic se elegirá la opción EXE standart, ejecutable habitual de Visual Basic, conforme se ve en la figura 5.1

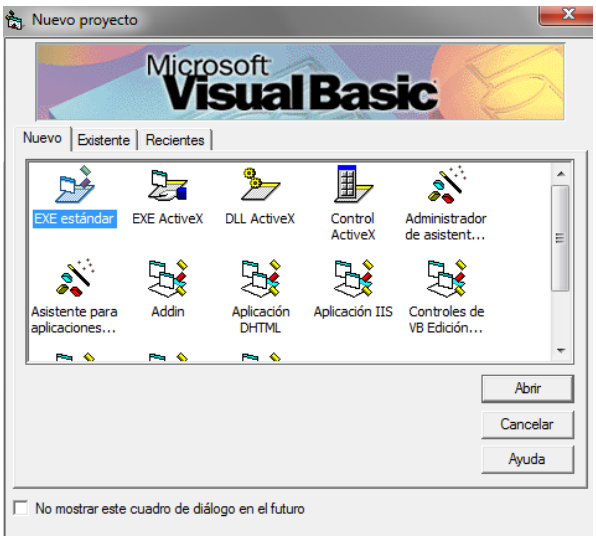


Figura 5.1. Ventana de diálogo inicial de Visual Basic.

En toda aplicación Visual Basic tendremos que manejar los siguientes elementos:

5.4.1. PROYECTO

Es donde se agrupan los diferentes módulos que contiene la aplicación: formularios, módulos de código, módulos de clase, etc., organizados en diferentes carpetas.

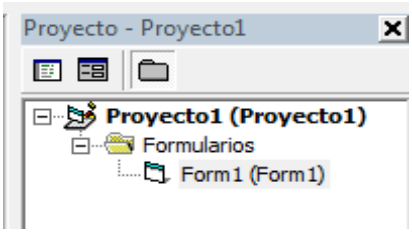


Figura 5.2 Ventana de proyecto nuevo.

5.4.2. FORMULARIOS

El primer objeto Visual Basic con que nos encontramos es el FORMULARIO.

De hecho, cada vez que iniciamos Visual Basic nos presenta en pantalla un nuevo formulario, que tiene por defecto el nombre de Form1. La figura 5.3 muestra la forma inicial del formulario.

El Formulario es un objeto, que sirve de soporte de otros objetos. El nombre de FORMULARIO lo toma precisamente porque, al igual que un formulario de papel contiene textos escritos, lugares donde podemos escribir, figuras, cajas donde podemos elegir una u otra opción, etc.

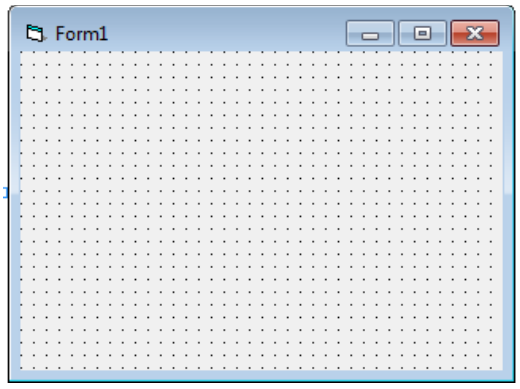


Figura 5.3 forma inicial del formulario.

5.4.3. CONTROLES

Son todos los elementos incluidos dentro de un formulario: botones de comando, listas desplegables, rejillas, cuadros de texto, botones de opción, de chequeo, menús, etc., en los cuales el usuario inserta información, selecciona valores o pulsa con el ratón para desencadenar ciertas acciones. Son objetos al igual que los formularios, por lo que también disponen de propiedades para cambiar su aspecto o posición, y métodos para responder a los eventos que reciban. En la figura 5.4 se muestra los controles que se incluirán en el formulario.

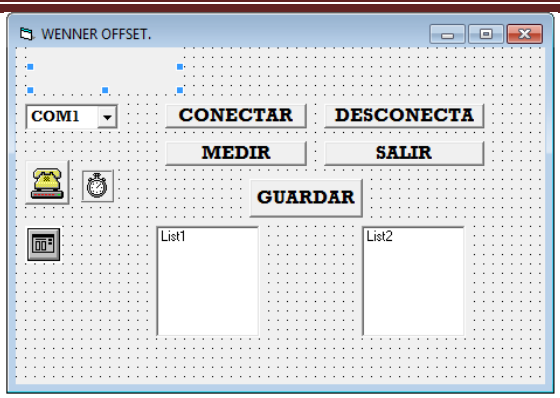


Figura 5.4. Controles insertados en un formulario

5.4.3.1. CONTROLES UTILIZADOS PARA EL DESARROLLO DE INTERFACE ENTRE EL EQUIPO DE PROSPECCIÓN Y LA PC

- Label; Sirve para poner letreros en un programa, los mismos que se nombraran de acuerdo a un requerimiento especifico.
- List Box; Permite presentar información de un determinado evento en un lista.
- Command Button; Ejecutan instrucciones que se dan o se proveen, por lo general el evento al que se asocia el “Click”
- Combo Box; Permiten seleccionar distintas opciones para ejecutar un determinado evento.
- Timer; permite ejecutar el código cada cierto intervalo de tiempo.
- Common Dialog; Es un cuadro de diálogo que permite poder seleccionar un directorio y especificar el nombre del archivo para guardar o abrir.
- MSComm; El control MSComm proporciona comunicaciones por puerto serie para que una aplicación pueda transmitir y recibir datos a través de este puerto.

5.4.4. PROPIEDADES

Formularios como controles disponen de propiedades que el programador puede alterar. La manera de hacerlo es mediante la ventana de propiedades de VB, que mostrará las propiedades del objeto a modificar. En la figura 5.5 se ve la ventana propiedades de un formulario, es aquí donde se puede cambiar las propiedades de un control que vienen por defecto.

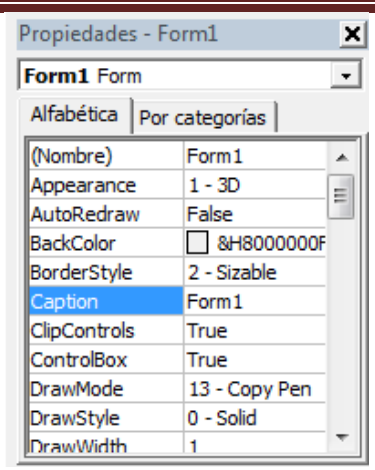


Figura 5.5 Ventana propiedades de un control

5.4.5. EVENTOS Y MÉTODOS

Podemos incluir código asociado a los objetos para que se comporten de la forma que queramos al recibir una acción del usuario. Para ello disponemos de la ventana de código (figura 5.6) del formulario, en la que situaremos las instrucciones que debe seguir un control al recibir un determinado evento.

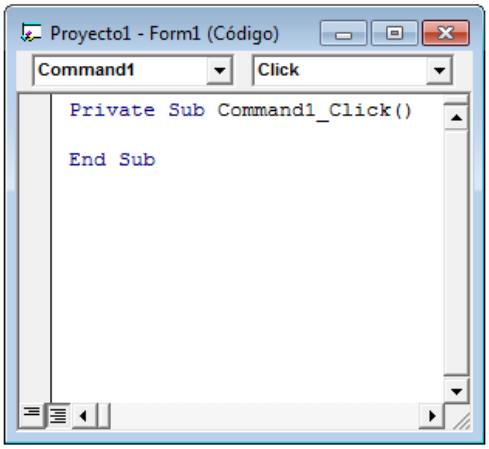


Figura 5.6 Ventana de código de programa

5.4.6. FUNCIONES Y PROCEDIMIENTOS

Son rutinas que a diferencia de los métodos, no están ligadas a ningún objeto. Pueden recibir parámetros, y en el caso de las funciones, devolver un valor. Se crean en la ventana de código. Las veremos con detalle cuando estudiemos los componentes del lenguaje.

5.5. PROGRAMACION DE ENTORNO VISUAL Y CÁLCULO DE ERRORES

La creación de un programa bajo Visual Basic lleva los siguientes pasos:

5.5.1. CREACIÓN DE UN INTERFACE DE USUARIO

Este interface será la principal vía de comunicación hombre máquina, tanto para salida de datos como para entrada. Será necesario partir de una ventana - Formulario - a la que le iremos añadiendo los controles necesarios. En la figura 5.7 se muestra un formulario con sus respectivos controles para el diseño de la interface de comunicación entre la PC y equipo de prospección geoeléctrica.

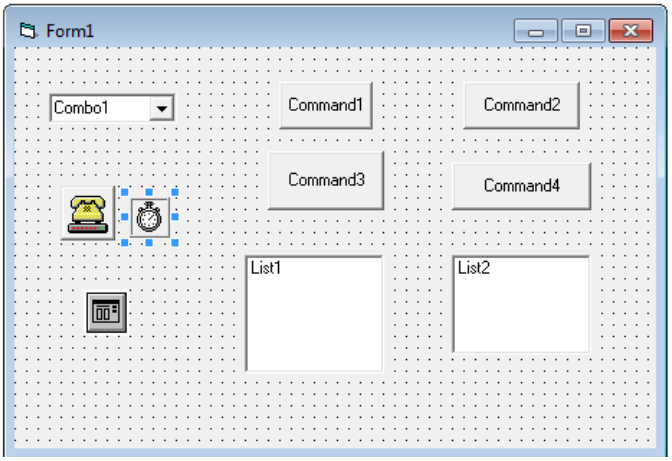


Figura 5.7 Controles utilizados para la adquisición y cálculo de datos.

5.5.2. CONTROLES PARA EL DESARROLLO DE LA INTERFAZ, INSTRUMENTACIÓN-PC

- Label; Sirve para poner títulos en el programa. Se nombra de acuerdo a un evento específico.
- List Box; Se utiliza este control para presentar información de los valores de voltaje y corriente obtenidos externamente del equipo de prospección geoeléctrica, además para presentar los valores calculados de resistividad, errores, y factor de configuración de electrodos. Existirá un List Box para cada información correspondiente existente.
- Command Button; Ejecutan instrucciones que se dan por cada uno de estos, por ejemplo están Command Button para conectar, medir, desconectar salir, guardar y calcular, cada una de esta posen

instrucciones propias, como se mencionó anteriormente en la ventana de propiedades correspondiente es en donde se cambia los nombres que vienen por defecto.

- Combo Box; Permite seleccionar una opción en particular desde una lista de opciones, las opciones que nombraremos aquí son los puertos de comunicación posiblemente disponibles en un computador, COM1, COM2,..., COM11.
- Timer; con este control se desplegara en el programa el tiempo actual
- Common Dialog; Este control nos permitirá generar un cuadro de diálogo para poder seleccionar un directorio y especificar el nombre del archivo para guardar los datos de la prospección geoeléctrica en formato .xls es decir en un fichero Excel. Este control estará disponible cuando demos un clic en el Command Button que tiene de nombre.
- MSComm; Para poder acceder al puerto serial y así poder enviar datos utilizado una aplicación creada en Visual Basic, se hace uso del control MS COMM, el cual trae incorporadas todas las funciones para configurar el puerto.

Utilizando los controles mencionados el entorno grafico se verá como en la figura 5.8. El diseño cambiara conforme se agregue más funciones al programa, tales como cálculo de errores, resistividades, entre otros.

Figura 5.8. Entorno gráfico con controles básicos.

5.5.2.1. COMUNICACIONES SERIE

La interfaz serie RS 232 está desapareciendo prácticamente de los ordenadores personales actuales y esto supone un problema cuando se tenga que realizar comunicaciones por esta interfaz, como solución se puede utilizar cables de conversión SERIE-USB (figura 5.9.).

Figura 5.9 Cable de conversión USB a Serial.

Para tener un puerto Virtual Serial en la PC se debe instalar su respectivo controlador dado por el fabricante, de esta manera tendremos un puerto serial disponible en el administrador de dispositivos, que en este caso se ha creado un COM4 en la PC (figura 5.10)

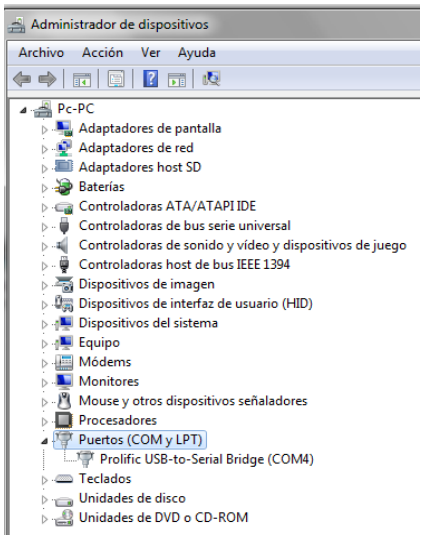


Figura 5.10 Instalación del controlador del convertidor de USB a serial.

Cuando se disponga del puerto serial en la computadora, en el código de programa se debe especificar las características de comunicación, tales como la velocidad de transmisión, bit de parada, bit de paridad, número de bits y se debe especificar el número de puerto, la habilitación del puerto, el número de palabras, cuantos caracteres se va a recibir entre otros.

Para el caso particular de este trabajo la parte de hardware de instrumentación adquirirá y almacenara en la memoria un microprocesador los datos de 30 valores de voltaje y 30 valores de corriente, con una resolución de 10 bits y luego enviado en dos bytes a la PC una velocidad de 9600 bps, sin bit de parada.

En Visual Basic el código de programa deberá contener esa información como se detalla a continuación.

5.5.2.2. DEFINICIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS CONTROLES - OBJETOS - QUE HAYAMOS COLOCADO EN ESE FORMULARIO

Estas propiedades determinarán la forma estática de los controles, es decir, como son los controles y para qué sirven.

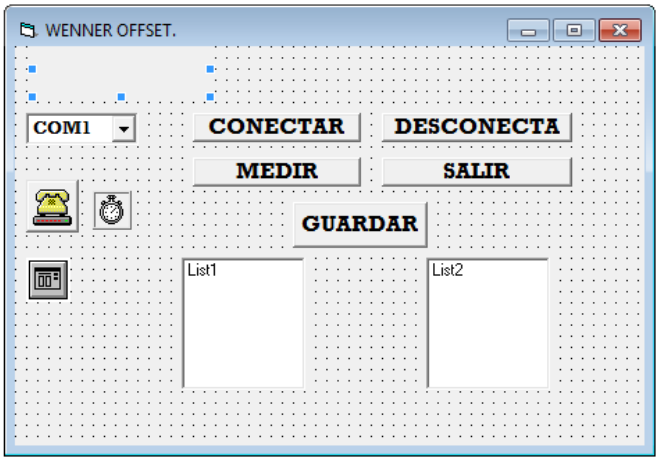


Figura 5.11 Objetos con sus nombres y funciones específicos colocados en el formulario.

5.5.2.3. GENERACIÓN DEL CÓDIGO ASOCIADO A LOS EVENTOS QUE OCURRAN A ESTOS OBJETOS

A la respuesta a estos eventos (click, doble click, una tecla pulsada, etc.) le llamamos procedimiento, y deberá generarse de acuerdo a las necesidades del

programa.

Por ejemplo al hacer click en medir el código del programa hará que se envié un carácter al microcontrolador que este lo reconozca y tome las medidas del voltaje y corriente del equipo de prospección geoeléctrica

```
Private Sub medir_Click()
Dim g
If MSComm1.PortOpen = True Then
MSComm1.Output = Chr$(1)
ElseIf MSComm1.PortOpen = False Then
g = MsgBox("SEÑALE UN PUERTO DE COMUNICACIONES Y DE UN CLICK EN CONECTAR", _
           16, "EL PUERTO DE COMUNICACIONES ESTA CERRADO")
End If
End Sub
```

Los procedimientos de todos los eventos se detallan en el Anexo B.

5.5.2.4. GENERACIÓN DEL CÓDIGO DEL PROGRAMA

Un programa puede hacerse solamente con la programación de los distintos procedimientos que acompañan a cada objeto. Sin embargo, VB ofrece la posibilidad de establecer un código de programa separado de estos eventos. Este código puede introducirse en unos bloques llamados Módulos, en otros bloques llamados Funciones, y otros llamados Procedimientos. Estos Procedimientos no responden a un evento acaecido a un objeto, sino que responden a un evento producido durante la ejecución del programa.

El código de programa completo se detalla en el Anexo B.

5.5.3. CÁLCULO DE LA RESISTIVIDAD DE WENNER

Con las nociones de programación en Visual Basic se escribirá el código de programación para los parámetros de prospección geoeléctrica indicado en capítulo 1

$$\rho_{aw} = 2\pi a \left(\frac{V}{I}\right)$$

De acuerdo a la fórmula 5.1 en el código de programa deberá existir un lugar en donde se indique por el usuario la distancia de separación entre electrodos, es decir el valor en metros que tomara "a". El valor de voltaje "V" y el valor de corriente (I) son enviados por el microcontrolador de instrumentación

previa orden enviada por el programa cuando se da un click en el control enviar.

Como se indicó en el capítulo 1 la expresión se lo puede indicar también de la siguiente forma

$$\rho_{aw} = K\left(\frac{V}{I}\right)$$

5.5.3.1. CALCULO DEL FACTOR DE CONFIGURACIÓN G

El factor de configuración se lo designa con la letra G que corresponde a una parte de la expresión indicada en la ecuación, de acurdo a lo indicado en capítulo 1 para el arreglo de Wenner será;

$$G = 2\pi a.$$

Esta expresión es exclusivamente para el arreglo electródico de Wenner, si es un arreglo electródico de Shlumberger esta expresión no será válida, por ello se programara este valor de su expresión general dada en el capítulo 1 para así generalizar el programa para los dos métodos.

$$G = 2\pi\left[\frac{1}{r1} - \frac{1}{r2} + \frac{1}{r4} - \frac{1}{r3}\right]^{-1}$$

Para el arreglo electródico de Wenner el valor de r serán de igual longitud.

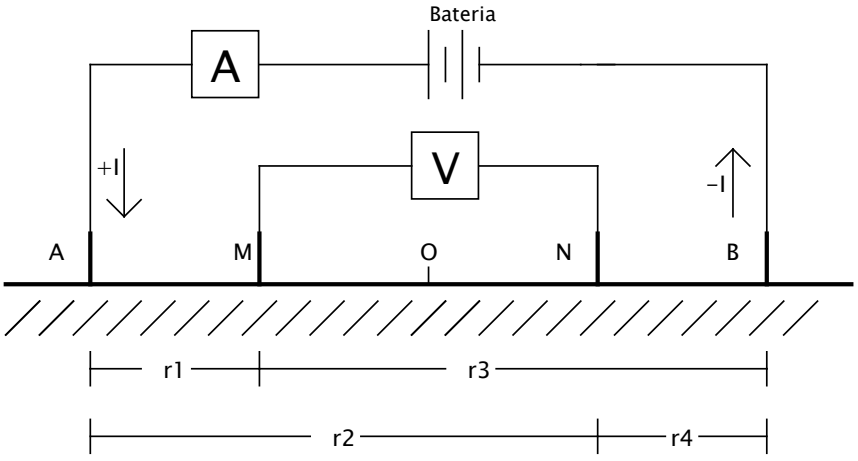


Figura 5.12. Arreglo electródico de Wenner

Para el arreglo electródico de Wenner las distancias entre electrodos son de igual magnitud, no así para el arreglo electródico de Shlumberger, De aquí que el código de programa deberá pedir los valores en metros de $r1, r2, r3, r4$, o en su defecto indicar al programa cual es arreglo electródico que se utilizara para realizar la prospección geoeléctrica.

5.5.3.2. CÁLCULO DE ERRORES

El cálculo de errores es procedimiento matemático que lo programara en Visual Basic, el código de programa será así;

Error offset

Al realizar un clic en el evento calcular el código de programa para este error partirá de la siguiente formula.

$$\mathrm{ef(a)} = \frac{\mathrm{R_{D1}} - \mathrm{R_{D2}}}{\mathrm{R_{Da}}} * 100\%$$

Al realizar un clic en el control calcular, los valores de resistencias de Wenner Offset estarán almacenados en una matriz, de aquí el error offset también será calculados con los valores correspondientes.

Error lateral

$$\mathrm{el\ (2a)} = \frac{\mathrm{R_D(2a)} - 2[\mathrm{R_C(2a)} - \mathrm{R_D(2a)}]}{\mathrm{R_D(2a)}} * 100$$

Error de observación

$$e_{obs} = \frac{|R_A(a)| - [|R_B|(a) + |R_C|(a)]}{|R_A(a)|}$$

El formulario con los controles para cada uno de los cálculos citados anteriormente será como el de la figura 5.13, y el código de programa se encuentra detallado en el anexo B.

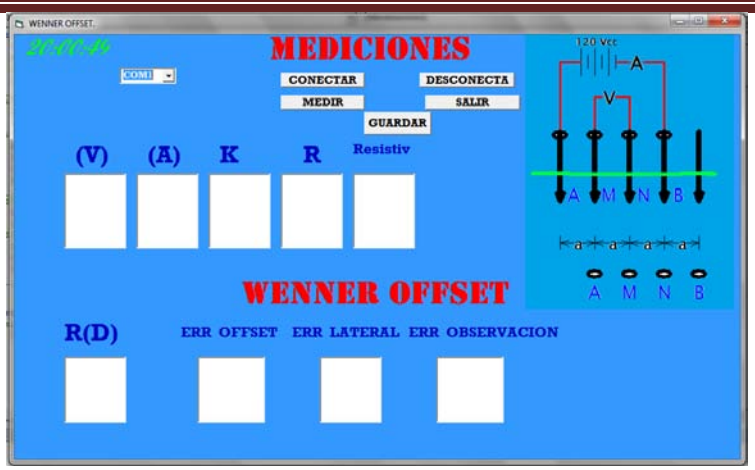


Figura 5.13. Formulario con los controles.

Cada uno de estos valores al realizar un clic en el control “GUARDAR” guardara en un archivo Excel con el nombre que el usuario crea conveniente.

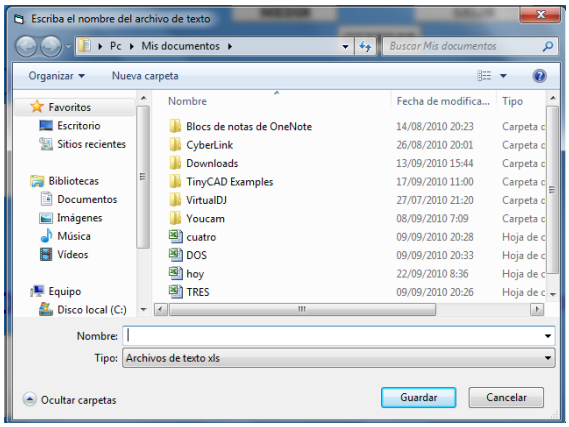


Figura 5.14. Opción de guardado.

5.6. PROGRAMA WINSEV 6

Los sondeos eléctricos verticales pueden ser procesados con el software WINSEV6.1. El programa WinSev 6 ha sido concebido para el procesamiento de sondeos eléctricos empleando dispositivos Schlumberger, Wenner o dipolo-dipolo (polo-polo). El usuario puede introducir un modelo con hasta 20 estratos o bien solicitar al programa que cree un modelo en forma automática (modelación inversa). El modelo puede ser modificado por el usuario y/o ajustado por el programa en sentido del cuadrado mínimo. Cualquier espesor o resistividad podrán ser fijados de modo que no serán modificados por el ajuste.

Con este programa se podrá trazar perfiles de varios sondeos eléctricos, incluyendo datos extraídos de la tomografía de resistividad. Para esto lo único que se deberá ingresar son los valores de Voltaje y Corriente tomados por la parte de hardware de instrumentación.

El cálculo de la curva teórica se basa en el método descrito por O. KOEFOED, 1979, "Geosounding principles for the Schlumberger spread" (dispositivo Schlumberger) y por U.C. DAS y S.K. VERMA, 1980, "Geophysical prospecting for the Wenner and the two-electrode spreads" (dispositivo Wenner y dipolo-dipolo). El programa calcula 8 puntos por década. Los principios del sondeo eléctrico se describieron en el capítulo 1 de presente trabajo.

5.6.1. PRIMERA PANTALLA

En la primera ventana puede comenzar un nuevo sondeo, abrir un fichero existente, abrir el último fichero o abrir el fichero de ayuda.

Figura 5.15. Ventana de inicio de WinSev.

5.6.2. ENTRADA Y EDICIÓN DE DATOS DE CAMPO

Los datos de campo pueden ser ingresados bien en forma calculada o bien como valores brutos de distancias, corrientes y tensiones. Los valores de los factores geométricos k y las resistividades aparentes luego son calculadas por el programa al hacer clic en el botón Compute (Computar).

Los valores de MN/2 y AB/2 (o BN y AM si emplea el dispositivo dipolo-dipolo) deben indicarse en metros. Los valores de corriente y tensión pueden

especificarse en unidades completas, mili-unidades o micro-unidades o cualquier unidad, siempre que sean en ambos casos de la misma magnitud.

Para ello en el programa desarrollado en Visual Basic, se ha realizado el código de programa que nos permite guardar los valores de voltaje y corriente en un archivo de texto llamado WENNER.txt, que estará en la dirección C:\Users\Pc\Desktop\MEDIR para luego desde WinSev abrir este archivo de texto y correr el programa.

```
''' ENVIA LOS VALORES DE CORRIENTE Y VOLTAJE A UN ARCHIVO PREVIAMENTE CREADO "WENNER.TXT" '''
Dim s As Single
Open "WENNER.txt" For Output As #mitexto
For s = 1 To 60
Print #mitexto, Voltaje(s)
Print #mitexto, Corriente(s)
Next
Close #mitexto
'+++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++
End If
End Sub
```

Cuando se haya adquirido los valores de Voltaje y Corriente del hardware correspondiente a instrumentación y enviados un archivo de texto indicado, el programa WinSev ya podrá realizar todos los cálculos que este programa nos ofrece.

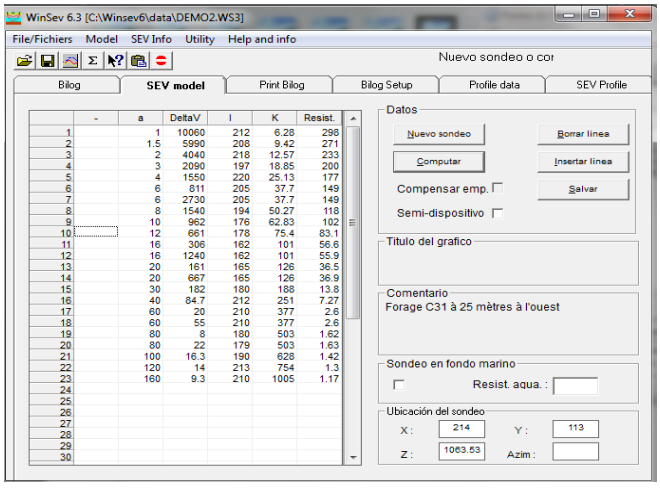
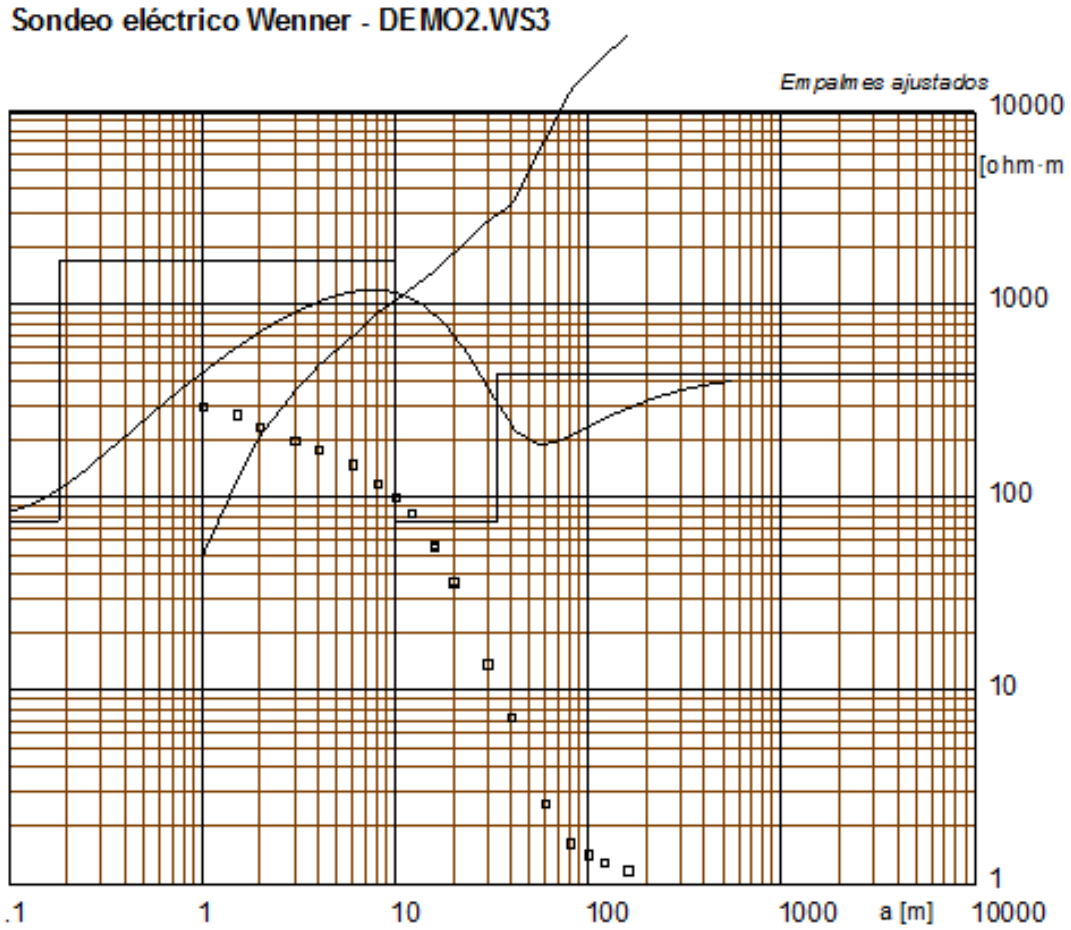


Fig. 5.16 Panel de ingreso de datos al programa.

Con estos datos el programa puede realizar los perfiles de varios sondeos eléctricos, incluido el de los datos extraídos de la tomografía de resistividad.

Mediante la interpretación se definirán las distintas capas geo-eléctricas, identificando profundidad, espesor y resistividad de las capas para cada punto.



Ubicación del SEV X = 214 Y = 113 Z = 1063.53

Modelo Resistividad [ohm·m]	Espesor [m]	Profundidad [m]	Altitud [m]
76	.18		1063.5
1707	9.9	.18	1063.4
74	24	10	1053.5
440		34	1029.5

Figura 5.17. Resultados gráficos de una prospección ejemplo.

CAPITULO 6

IMPLEMENTACION

6.1 PRUEBAS FINALES DEL EQUIPO

Para realizar las pruebas finales del equipo se eligió el patio de arquitectura de la Universidad de Cuenca. De antemano se conoce que este suelo es lecho de rio, por lo que existe gran cantidad de piedras.

Se procedió a instalar el equipo de acuerdo a las distancias que se tiene entre cada electrodo. Para la alimentación del equipo se utilizó un inversor de tensión de 12V a 120V y el mismo se alimentó con una batería de automóvil. Luego se conectó a la PC para comenzar a medir y recolectar datos. Además se utilizó un multímetro para corroborar los datos medidos.

Una vez encendido se midieron las tensiones de alimentación del micro que se mantenía en 4.92V y de los relés que estaba en 11.96V comprobándose que estaban dentro del umbral admitido por los fabricantes, hecho esto se envió un dato de la PC para que empiece la medición.

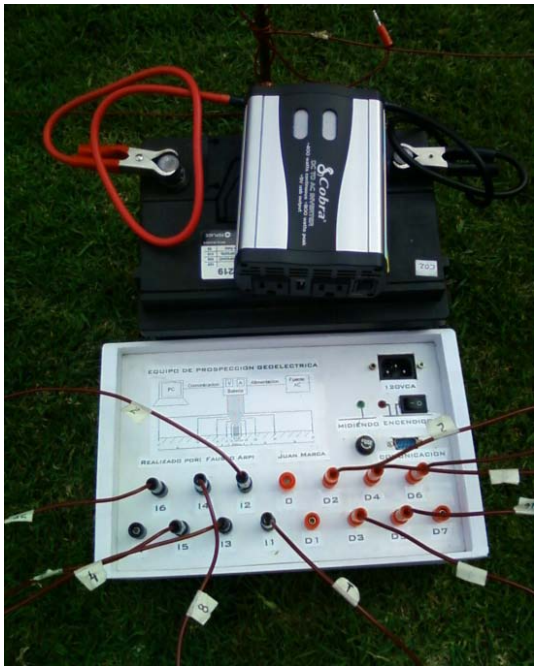


Figura 6.1. Instalación del equipo de prospección geoeléctrica.

Cuando el equipo termino la medición y los datos fueron transferidos a la PC se pudo comprobar los valores de tensión y corriente medidos por el equipo y por el multímetro. Estos datos tenían una leve variación de entre 1 a 2 bits o más claramente entre 4.88 y 9.76 milésimas ya sea de tensión o de corriente. Esto es debido a que existen fluctuaciones de tensión que alimentan al micro y son el voltaje de referencia positivo del conversor ADC y otras que pertenecen a interferencias que no se pudieron eliminar en su totalidad.

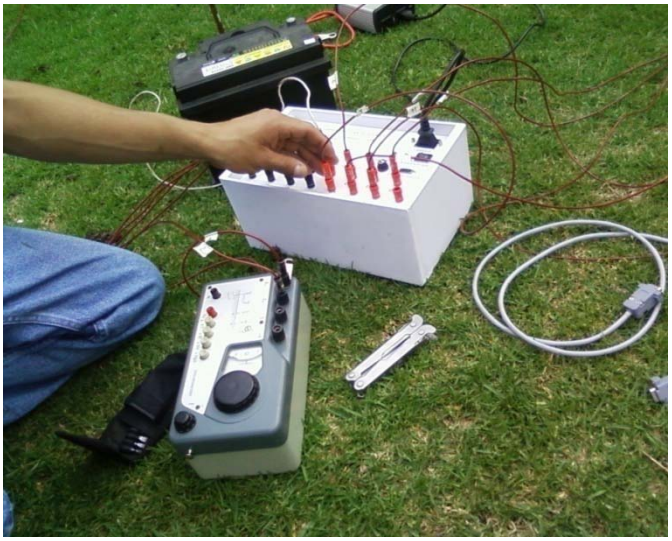
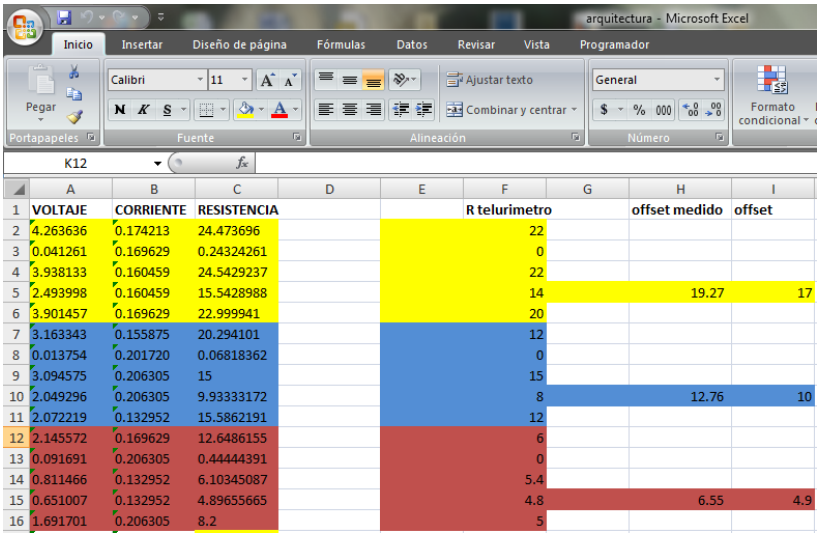


Figura 6.2. Comprobación de medidas, equipo de prospección vs telurímetro



	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	VOLTAJE	CORRIENTE	RESISTENCIA			R telurimetro		offset medido	offset
2	4.263636	0.174213	24.473696			22			
3	0.041261	0.169629	0.24324261			0			
4	3.938133	0.160459	24.5429237			22			
5	2.493998	0.160459	15.5428988			14		19.27	17
6	3.901457	0.169629	22.999941			20			
7	3.163343	0.155875	20.294101			12			
8	0.013754	0.201720	0.06818362			0			
9	3.094575	0.206305	15			15			
10	2.049296	0.206305	9.93333172			8		12.76	10
11	2.072219	0.132952	15.5862191			12			
12	2.145572	0.169629	12.6486155			6			
13	0.091691	0.206305	0.44444391			0			
14	0.811466	0.132952	6.10345087			5.4			
15	0.651007	0.132952	4.89655665			4.8		6.55	4.9
16	1.691701	0.206305	8.2			5			

Figura 6.3. Datos de voltaje, corriente, resistencia, adquiridos por el equipo de prospección geoeléctrica. Datos obtenidos por el telurímetro.

Con los valores obtenidos se procede a realizar la curva de resistividad versus espaciamiento (figura 6.4), al analizar esta curva se deduce que a 1m se tiene mayor resistividad y conforme aumenta la profundidad se reduce la misma.

Esto puede ser debido a que en la primera capa del suelo en estudio (1m aproximadamente) este mayormente conformada de piedras, y a mayor profundidad se tenga humedad.

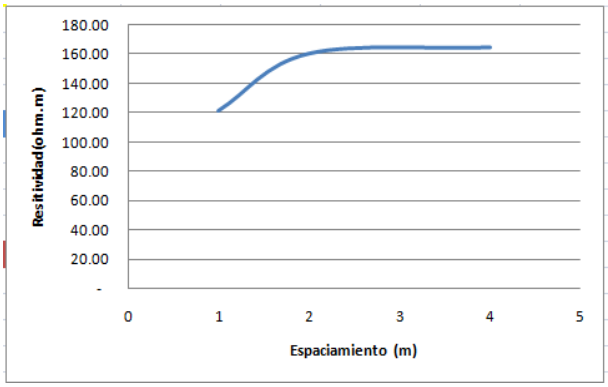


Figura 6.4. Curva de resistividad vs Espaciamiento

El equipo de prospección construido, tiene como ventajas principales frente al telurímetro lo siguiente;

- La rapidez en realizar las mediciones y su exportación a Excel en donde se puede realizar otros análisis.
- La exportación de datos medidos a un archivo de texto, para un posterior análisis en un programa de prospección geoeléctrica por ejemplo Winsev.
- Los datos son digitales los que involucra mayor precisión en la lectura y poder interpretar de diferentes maneras.
- Mayor alcance en la profundidad de prospección en menor tiempo posible y con una sola configuración de varillas.

6.2 MANUAL DE FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO DE PROSPECCION GEOELECTRICO

6.2.1 CONSTRUCCIÓN

El equipo de prospección consta de dos microcontroladores, un interruptor de encendido, dos leds de indicación, un conector de comunicación DB9, quince bornes de entrada y salida de señales , un porta fusible y un conector para la

alimentación de tensión. Las conexiones eléctricas para la tensión de funcionamiento es una toma polarizada de tres contactos y los de entrada de señales y salida de señales son borneras de seguridad de 4 mm (figura 6.1).

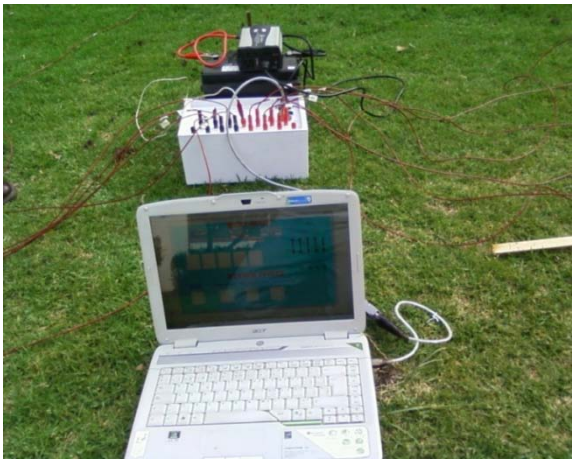


Figura. 6.5. Instalación del equipo de prospección geoeléctrica in situ. Computadora personal, convertidor seria a USB, equipo de medición y conmutación, inversor 12VCD a 120VCA, batería 12VCD.

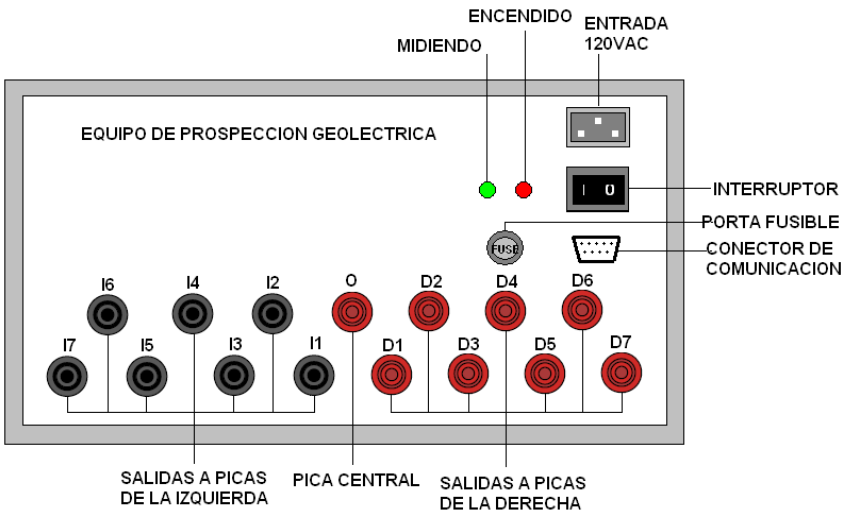


Figura 6.6. Posición de los controles en el equipo de medición y conmutación.

6.2.2 FUNCIONAMIENTO

El equipo de prospección geoeléctrica necesita de 120VCA para poder funcionar, este puede provenir de una toma de la red eléctrica o de un inversor que tenga como máximo este nivel de salida.

Consta además de un puerto de comunicaciones DB9 con estándar RS232. Puede comunicare a velocidades de 9600 baudios con conexión directa a una PC o mediante un cable de conversión RS323 a USB.

Cuando se enciende el interruptor de potencia el led rojo se ilumina indicando la alimentación y el led verde titila cinco veces y luego se apaga indicando que se está estabilizando el funcionamiento dentro del aparato y al final todo está correcto. Cuando se ordena al equipo que proceda a las mediciones el led verde permanecerá encendido indicando que se encuentra realizando las mediciones y almacenando resultados y que una vez terminado este proceso antes de apagarse por completo titilará muy rápidamente en señal de fin de las operaciones.

6.2.3. MONTAJE DEL EQUIPO

Para el montaje del equipo y poder realizar las mediciones se tendrá que tener todas las herramientas y materiales indicados a continuación:

- Materiales:
    - Computador.
    - Cable de conversión USB a DB9 (si la PC no tiene puerto serial).
    - Inversor (con cables) o toma eléctrica de 120VCA.
    - Batería de 12VDC o 24VDC (véase datos del inversor) si se utiliza inversor.
    - Equipo de prospección.
    - Cable de comunicación con conectores DB9 hembra en cada extremo.
    - Cable de alimentación.
    - Varillas copperweld de 50 cm.
    - Carrete de cable estandarizado.
- Herramientas:
    - Martillo.

La computadora puede ser portátil pero deberá contar con una salida de comunicación serial o es su defecto se tendrá que buscar otra alternativa que cumpla el protocolo RS232.

El inversor debe ser de por lo menos 200W de potencia ya que en algunos terrenos puede haber una mejor conducción de corriente y por ende se necesitara de mayor corriente a ser inyectada al suelo.

Cuando se tenga en situ todo todas las partes que componen el equipo de prospección geoeléctrica. Primero se procede a desenrollar el cable de conexión de 64m ya que este contiene las medidas intermedias de las picas (este cable es el último en ser enrollado). Seguidamente se selecciona un lugar intermedio donde ira la pica central y el equipo de medición. Luego se sitúa y se clava las picas en el lugar indicado para las dos direcciones izquierda y derecha de la pica central. Finalmente se desenrolla el resto de cables para conectar a las picas y al equipo sin equivocarse en las posiciones de cada uno, de ser así el equipo tomara medidas erróneas

Se alimenta al circuito desde la red eléctrica o un inversor y se enciende la unidad. Se verá que el led rojo se enciende, y el verde titila para luego apagarse por completo e indicar que el equipo está listo para operar. Se conectara el equipo a la PC con el cable de comunicación y se procederá a abrir el programa de prospección. Se seleccionara el puerto de comunicación COMM serial y luego se pondrá conectar. Seguidamente se selecciona el botón medir y la medición comenzara. Es necesario esperar unos minutos hasta que se hayan tomado todas las mediciones y transferido a la PC. El programa mostrara las mediciones de voltajes y corrientes y calculara los valores del arreglo y resistividad en función de las distancias (figura 6.7).

Cuando esté instalado todo el hardware del equipo de prospección geoeléctrica se ejecuta el programa computacional de aplicación “Voltajes y Corrientes”

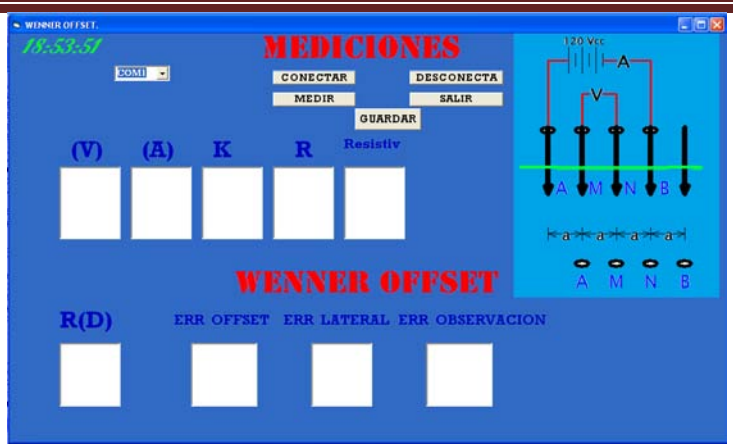


Figura 6.7. Programa computacional Wenner offset.

Las instrucciones a seguir son;

1. En la lista de comunicaciones se deberá seleccionar el número de puerto. Por donde se realizara las comunicaciones entre la PC y el hardware.
2. Con la opción “CONECTAR” el puerto queda listo para realizar la comunicación.
3. La opción “MEDIR” da la orden para que equipo de medición empiece a realizar las mediciones correspondientes.
4. Se debe esperar un tiempo, debido a que el equipo de medición debe realizar las conmutaciones.
5. Cuando aparezca los valores medidos, en las ventanas correspondientes, se tiene la opción de guardar estos datos en un archivo Excel.

6.2.4. RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS.

Electricidad	
Tensión de funcionamiento	120 VCA
Tensión de las señales de salida	+130 – +160 VCD
Tensión de medición máximo	5VCD
Tensión de medición mínima	0VCD
Tensión de alimentación de relés	12VCD
Tensión de alimentación del micro	5VCD
Comunicación	Conector DB9 y protocolo RS232
Indicadores.	Led rojo y verde
Conexión	Bornes de seguridad de 4 mm

CAPITULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

Para el diseño del equipo de prospección geoeléctrica o cualquier otro dispositivo, es esencial realizar un estudio previo, para determinar las necesidades que tendrá el dispositivo, las variables a considerar, rangos, metodología, etc. para precisar los objetivos que debe cumplir el artefacto a diseñarse de la manera más adecuada y considerando las exigencias que tendrá durante su funcionamiento.

La optimización que deberá efectuarse en el diseño e implementación del instrumento, es un proceso que es realizado durante el trabajo del mismo, debido a que es necesario un ensayo del funcionamiento “in situ”. La optimización de un dispositivo de este tipo, requiere del análisis de variables del medio externo, que solo pueden ser determinadas cuando todo el equipo de prospección geoeléctrica esté operando en una ubicación determinada pero que con las pruebas y ensayos realizados este podrá adecuarse a diferentes tipos de terrenos donde se lo requiera. Esto quiere decir que cuando el equipo esté terminado se pondrá a prueba y mediante los resultados obtenidos se tendrá que calibrar el mismo para que tenga un rango aceptable de errores y además que debido a diferentes tipos de suelos estos presentaran mediciones diferentes, pero el equipo deberá estar en condición de obtener estos valores sin necesidad de calibraciones o ajustes externos.

En un análisis previo de costos se dio cuenta que la realización de una fuente conmutada sería más costosa su fabricación por lo que se optó por los ya existentes en el mercado, y con el análisis teórico realizado se puede tener un conocimiento más profundo a la hora de adquirir una que tenga mejores prestaciones.

Aquí se ha analizado en forma breve un tema que está tomando fuerza en nuestro medio y es lo referente a los microcontroladores que no son nada más que computadoras contenidas en circuitos integrados capaces de realizar una

tarea específica para la cual han sido programados. Estos micros pueden reemplazar el funcionamiento y adecuar el espacio que se tendría si un sistema fuera realizado con elementos de electrónica analógica, digital o ambas. Por lo que es muy importante saber su funcionamiento y programación para poder aplicarlos a un sistema en la vida real o adecuar uno ya existente lo cual nos podría dar una satisfacción personal y económica en el futuro.

Otro tema a considerarse es el ingreso de nuevos programas computacionales de simulación y diseño electrónico que facilita enormemente la labor de prueba y construcción de un sistema electrónico. Aquí se han considerado dos en particular y son PROTEUS y EAGLE. El primero tiene la característica de simular circuitos electrónicos analógicos y digitales además de la simulación de un programa contenido en un microcontrolador. Esto ayuda a saber el comportamiento de un circuito en particular antes de que se lo realice físicamente, pero así también se debe considerar que los elementos allí descritos tiene un funcionamiento ideal que difiere al de un sistema ya construido, por lo que hay que tener mucha precaución cuando construyamos finalmente nuestro diseño. EAGLE tiene la capacidad de diseñar placas electrónicas (PCB por sus siglas en inglés) donde se colocaran los elementos para el funcionamiento deseado. Este programa es de muy fácil uso a diferencia del que ya contiene PROTEUS el cual no ha avanzado mucho en su presentación grafica al usuario. Los dos programas analizados son una pequeña parte de la gran cantidad de programas existentes en el mercado y que cada uno ofrece ventajas que otros no lo tienen.

En cuanto a los microcontroladores y más concretamente en el tema de programación de estos se ha hecho hincapié en un programa que tiene la característica de poder crear uno que pueda ser almacenado y ejecutado por un micro. Puesto que hay una gran cantidad de empresas que diseñan y fabrican micros pero una en particular fabrica microcontroladores PIC de la casa Microchip además de proveer el programa computacional para tales dispositivos nos ayudan con una serie de textos donde explican las características y funcionamientos de sus diferentes series. El programa que se tiene se llama MPlab y se interacciona con otro llamado CCS el cual permite

programar un micro utilizando lenguaje C que por ser de alto nivel es más fácil y comprensible el ensamblador. Este lenguaje sirve de mucha ayuda ya que se puede realizar una tarea dentro de un programa con solo una simple instrucción sin necesidad de conocer los registros involucrados y sus respectivas configuraciones ahorrando tiempo y haciendo que la programación sea más sencilla al usuario.

La utilización del equipo de prospección geoeléctrica, permite un análisis continuo en las variables del terreno considerado para el estudio, lo cual da la posibilidad de tener un panorama profundo del cómo se está llevando a cabo el proceso, calculando curvas de comportamiento mediante el uso del programa WINSEV.

En geología el principal objetivo con este equipo fabricado es el encontrar el tipo de roca, agua, capas del subsuelo etc., en base a estas resistividades medidas, por ello netamente al desarrollar este trabajo de tesis nos hemos enfocado a calcular este parámetro en sus diferentes capas, su interpretación requiere un amplio conocimiento de geología por lo que no se realizado un análisis profundo sobre este tema.

El principal objetivo de este trabajo fue desarrollar el método de prospección geoeléctrica Wenner Offset, la misma que es de fácil aplicación y de alta calidad de resultados, este método está comprobado como efectivo debido a la reducción de efectos laterales.

La teoría de este método considera una serie de supuestos no reales tales como la homogeneidad del terreno y la no presencia de perturbaciones en la medida.

La evaluación de errores asociados a la medición Offset presenta gran utilidad y efectividad como elemento de apoyo a la información obtenida desde la curva del terreno, siendo base para formar un criterio práctico de aceptación o eliminación de puntos en la curva.

7.2 RECOMENDACIONES.

En el campo de las mediciones de una señal se debe tener mucho en cuenta la magnitud e interferencias que exista, ya que en el primer caso se puede amplificar la señal, esta debe estar dentro del rango de referencia del convertidor AD caso contrario se saturaría y en el segundo caso las interferencias hacen que la señal original se deforme siendo erróneas y en caso de amplificación tratado anteriormente también se amplifica el ruido teniendo el problema en mayor magnitud. Para minimizar estos problemas se optara por un filtrado minimizando pero no eliminando el error. En el caso de tener interferencias electromagnéticas debido a fuentes conmutadas se recomienda el blindaje de las mismas con elementos conductores encapsulando así y drenando a tierra los voltajes y corrientes inducidos.

Se debe tener en cuenta que aquí se tratan con voltajes continuos de gran magnitud por lo que las normas de seguridad deben ser respetadas tanto al diseño de las placas como al momento de la prueba del sistema. Esto es así por el hecho que las placas están formadas por elementos conductores que pueden o no estar aisladas entre sí por lo que forman capacitancias parasitas o también pueden crear resistencias por las que fluyen corrientes no deseadas modificando el correcto funcionamiento de otros elementos. Por lo tanto una buena limpieza y un óptimo diseño pueden dar buenos resultados finales.

Es recomendable que cuando ya se disponga con los datos de las resistividades contar con un geólogo donde se esté haciendo la mediciones, para que de una interpretación correcta del tipo del suelo. El programa WINSEV está desarrollado de acuerdo a los suelos existentes de su lugar de fabricación (EEUU), esto hará que se tenga una diferencia de suelos entre una localidad y otra.

El equipo es completamente fácil de transportar por lo que solo dos profesionales pueden realizar todas las mediciones y cálculos.

ANEXOS

ANEXO A

ANÁLISIS FISICO-MATEMATICO DE LOS METODOS DE PROSPECCION.

A1. ANÁLISIS DEL SEMI-ESPACIO CONDUCTOR

Considérese un sistema suelo-aire ideal como la figura A1.1 donde el subsuelo tiene resistividad uniforme ρ y su complemento tiene resistividad infinita (∞), tal como se supone a la atmósfera. Además, se tendrá un circuito de emisión de corriente donde los electrodos pueden considerarse puntuales.

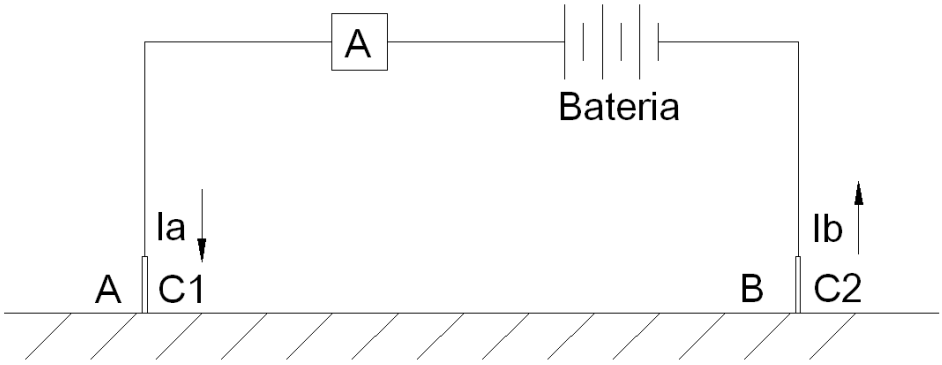


Figura A1.1. Circuito de emisión sobre suelo homogéneo.

Se cumple que para régimen estacionario:

$$I_a + I_b = 0$$

Las leyes que rigen la situación planteada, pueden establecerse partiendo de las ecuaciones de Maxwell:

$$\nabla \times E = -\frac{\delta B}{\delta t} \qquad \text{(Ley de Maxwell Faraday)}$$

$$\nabla \times H = J + \frac{\delta D}{\delta t} \qquad \text{(Ley de Ampere)} \qquad \text{Ec. A1.1}$$

Dónde:

E: Intensidad de campo eléctrico (V/m).
B: Intensidad de flujo magnético (N/A*m).
H: Intensidad de campo magnético (A/m).
J: Densidad de corriente (A/m).

D: Densidad del flujo eléctrico (C/m).

Considerando que se tiene campos estacionarios, las ecuaciones A1.1 quedarán:

$$\nabla \times E = 0 \qquad \text{Ec. A1.2}$$

$$\nabla \times H = J \qquad \text{Ec. A1.3}$$

Por otro lado, no puede haber aparición ni desaparición de carga en ningún punto del espacio conductor, excepto en los electrodos A y B. Luego, se tiene que:

$$\nabla \cdot J = 0 \qquad \text{Ec. A1.4}$$

Además, para medios homogéneos e isótropos, se debe cumplir la ley de Ohm en su forma diferencial:

$$J = \sigma E \qquad \text{Ec. A1.5}$$

Dóndeσ es la conductividad eléctrica.

Combinando las ecuaciones A1.4 y A1.5 se tiene:

$$\nabla \cdot J = \nabla \cdot (\sigma E) = 0 \qquad \text{Ec. A1.6}$$

A su vez, la ecuación A1.2 define un campo eléctrico como conservativo (irrotacional), por lo que deriva de un potencial escalar U. Es decir:

$$E = -\nabla \cdot \mathrm{U} \qquad \text{Ec. A1.7}$$

Donde el signo negativo se adopta por convención.

Así, combinando A1.6 y A1.7:

$$\nabla \cdot (\sigma E) = \sigma(\nabla \cdot E) + E \cdot (\nabla \sigma) = 0$$

$$\nabla \cdot (\sigma E) = -\sigma(\nabla \cdot [\nabla \cdot U]) + E \cdot (\nabla \sigma) = 0 \qquad \text{Ec. A1.8}$$

Se debe considerar que $\nabla\sigma$ es un gradiente nulo, puesto que se asumió un suelo isótropo, con lo cual A1.8 se reduce a:

$$\nabla^2 \cdot U = 0 \qquad \text{Ec. A1.9}$$

La última ecuación es conocida como la ecuación de Laplace y rige para todo el semi-espacio conductor, pero no para los electrodos ni la superficie de discontinuidad de la resistividad.

A1.2 ANALISIS EN LAS CERCANIAS DE UNA FUENTE PUNTUAL DE CORRIENTE

Considérese una fuente puntual de corriente (electrodo) ubicada sobre un medio homogéneo e isótropo como lo indica la figura A1.2.

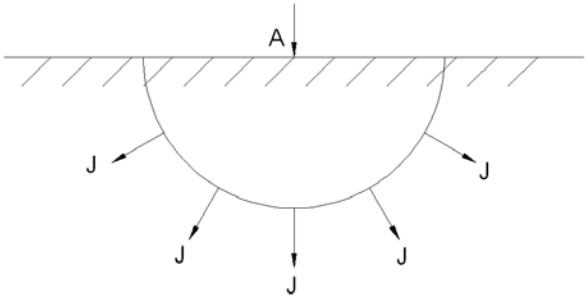


Figura A1.2 Fuente puntual de corriente y vectores densidad de corriente.

Para una semiesfera cualquiera alrededor de dicho electrodo, la densidad de corriente J será normal a dicha superficie y su magnitud se mantendrá constante. Además, la integral de J sobre la superficie semiesférica será igual a la corriente que fluye por el electrodo, por lo que si el radio es r se tendrá:

$$2\pi r^2 J = I$$

Y por lo tanto, de la ecuación A1.5:

$$J = \sigma E = \frac{I}{2\pi r^2}$$

Luego se tiene:

$$|E| = \frac{I}{2\pi r^2 \sigma} = \frac{I\rho}{2\pi r^2} \qquad \text{Ec. A1.10}$$

El potencial eléctrico producido entre los puntos M y N del arreglo electródico generalizado mostrado por la figura A1.3 vendrá dado por la integración de la ecuación A1.7 entre dichos límites. Esto es:

$$U_n^m = -\int_n^m E \cdot dl \qquad \text{Ec. A1.11}$$

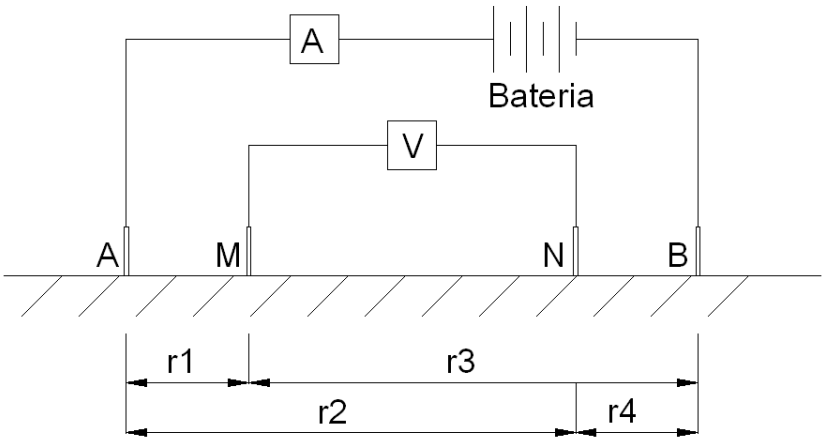


Figura A1.3. Arreglo electródico generalizado.

Sean r1 y r2 las distancias respectivas de los puntos M y N al electrodo A. Entonces, la diferencia de potencial debido a la inyección de corriente mediante el electrodo A está dado por:

$$U_{n_A}^{m} = -\int_{n}^{m} \frac{I\rho}{2\pi r^2}\,dr$$

$$U_{n_A}^{m} = -\frac{I\rho}{2\pi}\int_{r2}^{r1} \frac{1}{r^2}\,dr$$

$$U_{n_A}^{m} = \frac{I\rho}{2\pi}\left[\frac{1}{r1} - \frac{1}{r2}\right] \qquad \text{Ec. A1.12}$$

Ahora, si de igual forma consideramos el otro electrodo puntual B, con distancias respectivas r3 Y r4 desde los puntos M y N al electrodo mencionado y cuya función es recibir la corriente que se inyecta al suelo a través del electrodo A; se tiene, mediante un desarrollo análogo al anterior, que el potencial debido a la presencia del electrodo B es:

$$U_{m_B}^{n} = \frac{I\rho}{2\pi}\left[\frac{1}{r4} - \frac{1}{r3}\right] \qquad \text{Ec. A1.13}$$

Para evaluar el aporte total sobre el potencial entre M y N generado por la presencia de A y B se debe sumar A1.12 y A1.13 con lo que se obtiene:

$$V = \frac{I\rho}{2\pi}\left[\frac{1}{r1} - \frac{1}{r2} + \frac{1}{r4} - \frac{1}{r3}\right] \qquad \text{Ec. A1.14}$$

Dónde:

R1: Distancia MA.

R2: Distancia NA.

R3: Distancia MB.

R4: Distancia NB.

A1.3 DETERMINACION DE LA RESISTIVIDAD APARENTE

Al tener definida la ecuación de la diferencia de potencial V medida por el circuito de recepción ante la excitación puntual de corriente dada por A1.14 resulta fácil deducir el valor de la resistividad para la situación planteada. Esta es:

$$\rho = 2\pi \frac{V}{I}\left[\frac{1}{r1} - \frac{1}{r2} + \frac{1}{r4} - \frac{1}{r3}\right]^{-1} \qquad \text{Ec. A1.15}$$

O en forma más sencilla:

$$\rho = K\left(\frac{V}{I}\right) \qquad \text{Ec. A1.16}$$

Donde K es un factor que solo depende del arreglo de electrodos a utilizar. Pero, para poder definir correctamente el entorno conceptual del problema, se deben considerar las anomalías comunes que difieren el caso ideal y del real.

En la práctica, el semi-espacio considerado como homogéneo e isotrópico bajo la superficie, se encuentra dividido en zonas o capas superpuestas e incluso entrecruzadas entre sí. Entonces este subsuelo puede modelarse de forma de simplificar el problema, para lo cual se asume el suelo como un medio homogéneo e isotrópico por tramos, con diferentes resistividades entre sí. Con esto, las fórmulas anteriores deben ser adaptadas a las nuevas condiciones. En vista de las definiciones expresadas anteriormente, bastará con cambiaren A1.16 la resistividad idealizada por la resistividad aparenteρ_a.

Así:

$$\rho_a = K\left(\frac{V}{I}\right) \qquad \text{Ec. A1.17}$$

A1.4.- ANALISIS DE LA PROFUNDIDAD ALCANZADA POR EL SEV

Se han realizado distintas investigaciones tendientes a establecer la profundidad efectiva alcanzada por el SEV. Sin embargo, todos los autores llegan a concluir que no existe una magnitud absoluta que indique dicha penetración.

Este trabajo presenta una teoría de fácil comprensión y que resulta ser una aproximación bastante representativa respecto a la parte del terreno que influirá efectivamente en la información obtenida de un SEV.

Considérese la figura (A1.4) y como condiciones, un suelo homogéneo e isotrópico de resistividad ρ.

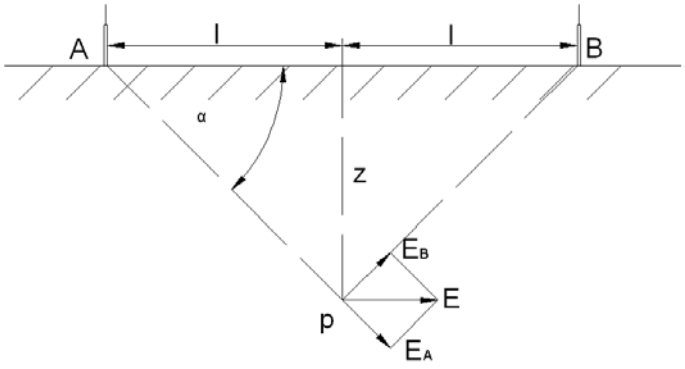


Figura A1.4. Estudio de penetración del SEV

El campo eléctrico establecido por A en el punto P a una profundidad z está dado por la ecuación A1.10 y corresponde a:

$$\mathrm{E_A} = \frac{\mathrm{I\rho}}{2\pi}\frac{1}{\mathrm{r^2}} = \frac{\mathrm{I\rho}}{2\pi}\frac{1}{(\mathrm{l^2+z^2})} \qquad \text{Ec. A1.18}$$

Análogamente, E_B tendrá el mismo módulo que E_A con lo que el campo total será:

$$\mathrm{E} = 2\mathrm{E_A}\cos\alpha = \frac{\mathrm{I\rho}}{2\pi}\frac{\cos\alpha}{(\mathrm{l^2+z^2})} \qquad \text{Ec. A1.19}$$

Con:

$$\cos\alpha = \frac{1}{\sqrt{(l^2+z^2)}}$$

Lo que queda más claro al analizar la figura A1.4. Reemplazando esto último en A1.19:

$$\mathrm{E} = \frac{\mathrm{I}\rho}{\pi}\frac{1}{(\mathrm{l}^2+\mathrm{z}^2)^{3/2}} \qquad \text{Ec. A1.20}$$

Así, la densidad de corriente, J, puede expresarse a partir de la ecuación A1.5:

$$J_z = \sigma E = \frac{E}{\rho} = \frac{I}{\pi}\frac{1}{(l^2+z^2)^{3/2}}$$

$$J_z = \frac{I}{\pi}\frac{1}{l^2\left(1+\frac{z^2}{l^2}\right)^{3/2}} \qquad \text{Ec. A1.21}$$

Donde se aprecia la disminución de la densidad de corriente a medida que aumenta la profundidad bajo el punto central del sondeo.

Trasladándose ahora a un punto P que se sitúa a una distancia "y" perpendicularmente y saliendo del plano del dibujo, las expresiones anteriores valdrán de la misma forma, sólo que cambiando z^2 por (z^2+y^2). Es decir:

$$J_{z,y} = \frac{I}{\pi}\frac{1}{l^2(1+[z^2+y^2]/l^2)^{3/2}} \qquad \text{Ec. A1.22}$$

Para determinar qué fracción de corriente que circula por sobre una profundidad z0, bastará integrar la densidad de corriente entre límites dobles tal como:

$$I_{z0} = \frac{1}{\pi}\int_0^{z0}\int_{-\infty}^{+\infty} J_{z,y}\,dydz$$

$$I_{z0} = \frac{1}{\pi l^2}\int_0^{z0}\int_{-\infty}^{+\infty}\frac{dydz}{(1+[z^2+y^2]/l^2)^{3/2}}$$

$$I_{z0} = \frac{2}{\pi}\tan^{-1}\frac{z0}{l} \qquad \text{Ec. A1.23}$$

Del análisis de esta fórmula se deduce que la mitad de la corriente I circula por encima de la profundidad z = ly el 70.48% de I pasa por encima de la profundidad z = 2l = AB (distancia entre los electrodos de corriente).

Finalmente, aunque es difícil establecer analíticamente la penetración alcanzada por el sondeo, en forma práctica se ha logrado comprobar que una

buena aproximación es considerar esta profundidad cercana a la distancia l = AB / 2.

A1.5 CONFIGURACIONES ELECTRODICAS CONVENCIONALES PARA SEV

Se presenta a continuación dos configuraciones “electródicas convencionales”, llamadas así por ser las más comúnmente utilizadas en la prospección geoeléctrica. No se considera otras ya que, en general, poseen procedimientos decampo o interpretación de resultados más complicados o presentan orientación hacia sondeos eléctricos horizontales, tales como la configuración Dipolar o la Cuadrática.

A1.5.1 CONFIGURACION ELECTRODICA DE WENNER

Esta es una configuración lineal, simétrica y equi-espaciada, ya que el conjunto de 4 electrodos se ordena sobre una recta trazada en la superficie del terreno a estudiar de tal forma que los electrodos de corriente A y B (exteriores) queden distribuidos simétricamente con respecto a un punto central O, al igual que los electrodos de potencial M y N (interiores).

En cada una de las estaciones de medición, la distancia entre cada par de electrodos vecinos es igual. A subes, estas distancias se van incrementando en una misma magnitud entre estación y estación, como se indica en la figura A1.5.

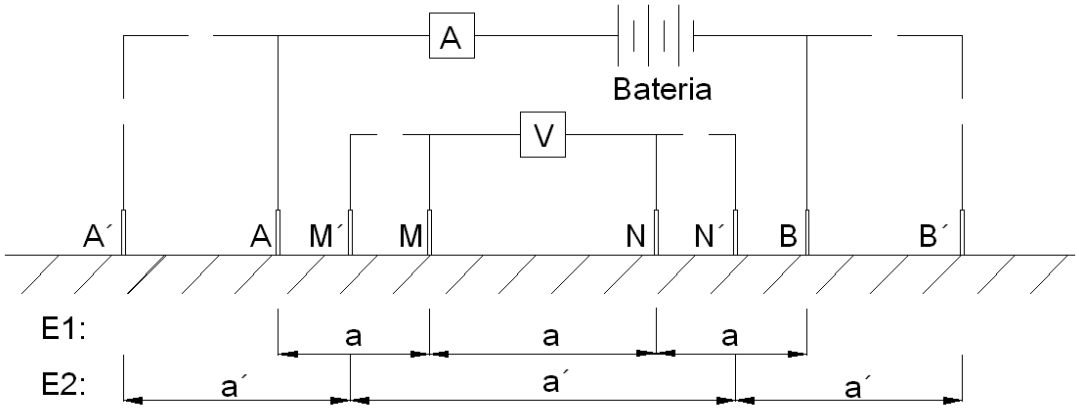


Figura A1.5. Configuración electródica de Wenner para SEV. Diagrama con dos estaciones de medición.

Así, con el esquema planteado en la figura A1.5, la resistividad aparente definida en la ecuación A1.15 queda:

$$\rho_{aw} = 2\pi\left[\frac{1}{a} - \frac{1}{2a} - \frac{1}{2a} + \frac{1}{a}\right]^{-1}\frac{V}{I}$$

Y ordenando:

$$\rho_{aw} = 2\pi a\frac{V}{I} \qquad \text{Ec. A1.24}$$

Donde V es la diferencia de potencial medida entre los puntos M yN, generada por la inyección de corriente en el punto A.

A1.5.2 CONFIGURACION ELECTRODICA DE SCHLUMBERGER

Esta es una configuración lineal de 4 electrodos ubicados simétricamente respecto a un punto central. Es decir, los electrodos se posicionan sobre una recta trazada en la superficie del terreno a estudiar de tal forma que los de corriente A y B (exteriores) queden distribuidos simétricamente con respecto al centro de la configuración al igual que los de potencial M Y N (interiores).

En este caso, los electrodos de potencial mantienen fija su posición para cada una de las estaciones de medición, variándose sólo la distancia desde los electrodos de corriente al centro de la configuración, como se indica en la figura A1.6.

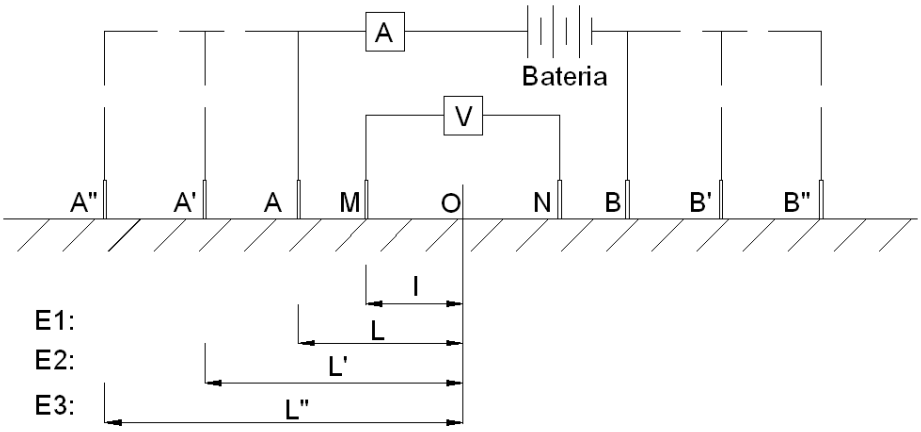


Figura A1.6 Configuración electródico de Schlumberger para SEV. Diagrama con tres estaciones de medición.

Retomando la ecuación A1.15 se deduce que, para este caso particular, la resistividad aparente de Schlumberger está dada por:

$$\rho_{as} = 2\pi\left[\frac{1}{L-1} - \frac{1}{L+1} - \frac{1}{L+1} - \frac{1}{L-1}\right]^{-1}\frac{V}{I}$$

Y desarrollando:

$$\rho_{as} = 2\pi\frac{L^2-l^2}{2l}\frac{V}{I} \qquad \text{Ec. A1.25}$$

La ecuación A1.25 se puede expresar en función de las distancias MN Y DA, resultando una fórmula más conocida en la práctica. Si se cambia l por MN/2 y L por OA, se obtiene:

$$\rho_{as} = \pi\left[\frac{OA^2}{MN^2} - \frac{1}{4}\right]MN\frac{V}{I} \qquad \text{Ec. A1.26}$$

A.1.6 METODO DE INTEGRACION

La integral a desarrollar corresponde a un caso particular de:

$$I = \int_{-\infty}^{+\infty}\int_{-\infty}^{+\infty}\frac{x(x-a)+y(y-b)+z(z-c)}{(x^2+y^2+z^2)^{3/2}([x-a]^2+[y-b]^2+[z-c]^2)^{3/2}}dxdy \qquad \text{Ec. A1.27}$$

La cual se puede resolver analíticamente usando las siguiente tres transformadas de Fourier:

$$\frac{1}{(x^2+y^2+z^2)^{1/2}} \leftrightarrow 2\pi\frac{e^{-|z|\sqrt{u^2+v^2}}}{\sqrt{u^2+v^2}} \qquad \text{Ec. A1.28}$$

$$\frac{-y}{(x^2+y^2+z^2)^{3/2}} \leftrightarrow 2\pi(iv)\frac{e^{-|z|\sqrt{u^2+v^2}}}{\sqrt{u^2+v^2}} \qquad \text{Ec. A1.29}$$

$$\frac{|z|}{(x^2+y^2+z^2)^{3/2}} \leftrightarrow 2\pi e^{-|z|\sqrt{u^2+v^2}} \qquad \text{Ec. A1.30}$$

La integral definida en A1.27 puede ser distribuida en una sumatoria de tres integrales, las que se denominarán I1, I2 eI3 y corresponderán a cada una de las partes que se obtienen de la separación de la fracción que se integra.

Tomando la transformada de Fourier para I1, respecto a "a" y "b", sustituyendo (a-x) por α y (b-y) por β, y ordenando términos para $i = \sqrt{-1}$ y u y v como las frecuenciasangulares espaciales en las direcciones a = x y b=y se tiene:

$$I_1(u,v,c,z) = -\left(\int_{-\infty}^{\alpha=+\infty}\int_{-\infty}^{\beta=+\infty} \frac{\alpha \cdot e^{-iu\alpha} \cdot e^{iv\beta}}{[\alpha^2+\beta^2+(z-c)^2]^{3/2}} d\alpha d\beta\right) \cdot$$

$$\cdot\left(\int_{-\infty}^{x=+\infty}\int_{-\infty}^{y=+\infty} \frac{x \cdot e^{-iux} \cdot e^{ivy}}{[x^2+y^2+z^2]^{3/2}} dxdy\right)$$

$$= \begin{cases} (2\pi)^2 u^2 \frac{e^{-(2z-c)\cdot\sqrt{u^2+v^2}}}{u^2+v^2}, para(z-c)>0 \\ (2\pi)^2 u^2 \frac{e^{-c\cdot\sqrt{u^2+v^2}}}{u^2+v^2}, para(c-z)>0 \end{cases} \quad \text{Ec. A1.31}$$

Para la transformada de Fourier A1.29. Similarmente, I2(u,v,c,z):

$$= \begin{cases} (2\pi)^2 v^2 \frac{e^{-(2z-c)\cdot\sqrt{u^2+v^2}}}{u^2+v^2}, para(z-c)>0 \\ (2\pi)^2 v^2 \frac{e^{-c\cdot\sqrt{u^2+v^2}}}{u^2+v^2}, para(c-z)>0 \end{cases} \quad \text{Ec. A1.32}$$

Y, para I3(u,v,c,z):

$$= \begin{cases} (2\pi)^2 \cdot e^{-(2z-c)\cdot\sqrt{u^2+v^2}}, para(z-c)>0 \\ -(2\pi)^2 e^{-c\cdot\sqrt{u^2+v^2}}, para(c-z)>0 \end{cases} \quad \text{Ec. A1.33}$$

Para la transformada de Fourier de A1.30.

Entonces de las ecuaciones A1.31 a A1.33 tenemos:

$$\mathrm{I(u,v,c,z)} = \mathrm{I_1(u,v,c,z)} + \mathrm{I_2(u,v,c,z)} + \mathrm{I_3(u,v,c,z)} =$$

$$= \begin{cases} (2\pi)^2 \cdot 2 \cdot e^{-(2z-c)\cdot\sqrt{u^2+v^2}}, para(z-c)>0 \\ 0, para(c-z)<0 \end{cases} \quad \text{Ec. A1.34}$$

Extrayendo la transformada inversa del(u,v,c,z) a partir de A1.30, queda:

$$\begin{cases} \frac{4\pi\cdot(2z-c)}{[a^2+b^2+(2z-c)^2]^{3/2}} para(z-c)>0 \\ 0 \ para(c-z)<0 \end{cases} \quad \text{Ec. A1.35}$$

ANEXO B

DISEÑO DE PLACAS Y PROGRAMACIÓN

B1. PLACAS ELECTRÓNICAS

Las pacas electrónicas son elementos que contienen los componentes electrónicos y permiten una conexión y aislamiento eléctrico entre ellos además de un soporte fijo. Las placas más comunes están hechas de Baquelita, de fibra de vidrio o plástico. Los componentes se insertan por un extremo en agujeros y se sueldan por el otro a las pistas de cobre con estaño. Pueden estar formadas de algunas caras de pistas de conexión para una mejor disposición de elementos pero como máximo dos caras para la disposición física de elementos.

En el proyecto que se trata aquí como máximo utilizaremos una cara para la disposición física y dos caras para a conexión de elementos.

B1.1 PLACA DE LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN

La fuente de alimentación se lo realiza en una sola placa, tanto la de alta tensión como la de baja tensión. Esto permite poder cambiarla, ubicarla y encontrar errores en caso de falla.

Esta placa se hizo con el programa de diseño EAGLE que facilita de gran manera el diseño, luego se mandó a realizarla en fibra de vidrio para por ultimo armarla y colocara en el respectivo lugar de equipo.

A continuación se presenta el diseño electrónico del esquema en EAGLE (figura B1.1) y luego el diseño de la placa (figura B1.2).

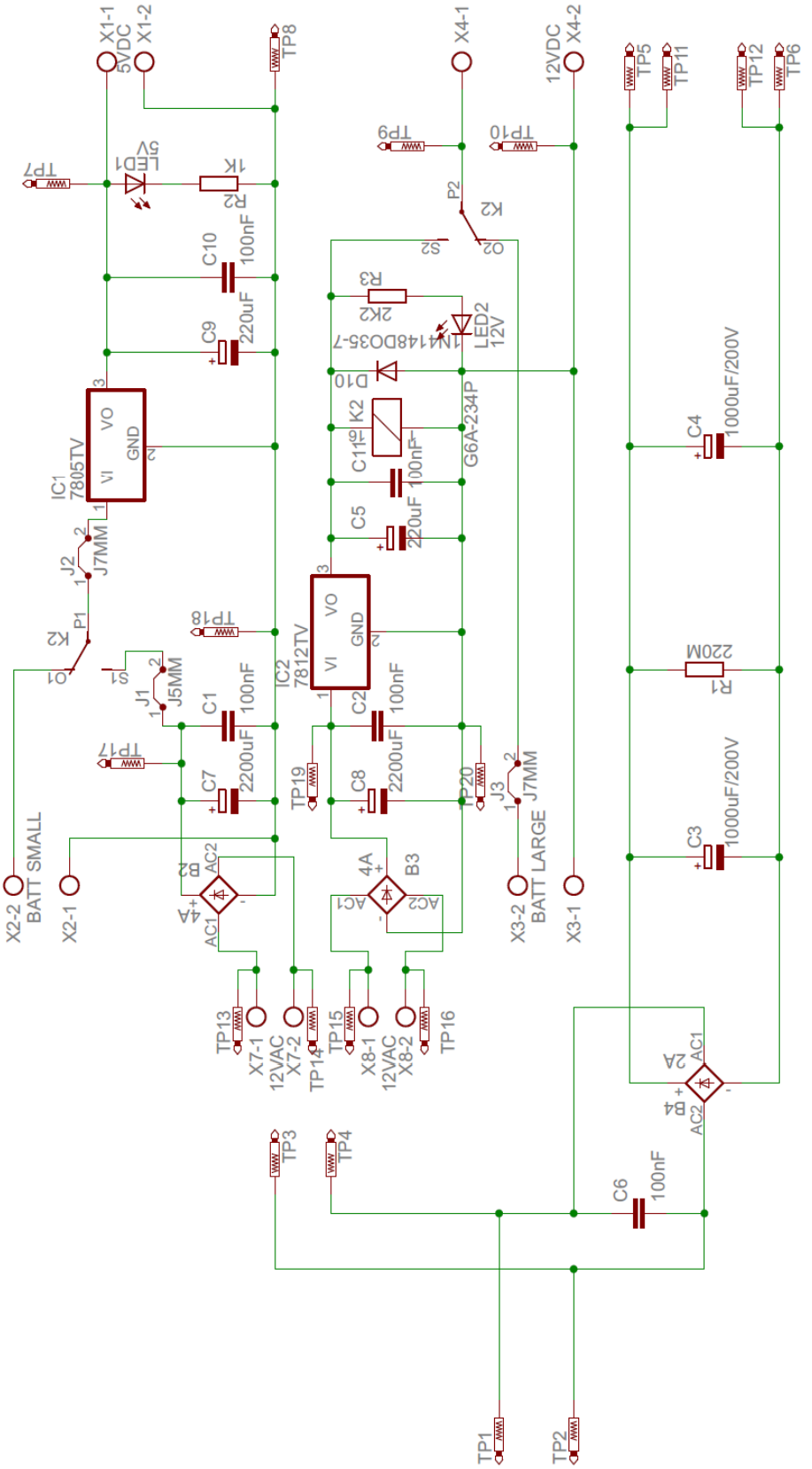


Figura B1.1. Esquema electrónico de la fuente de alimentación.

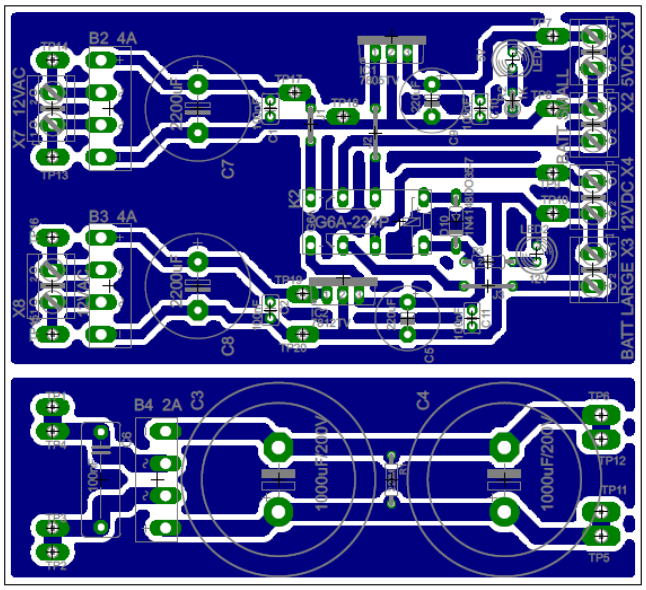


Figura B1.2. Placa de la fuente de alimentación.

Una vez armado a fuente con los componentes tenemos finalizada la fuente de alimentación (Figura B1.3).

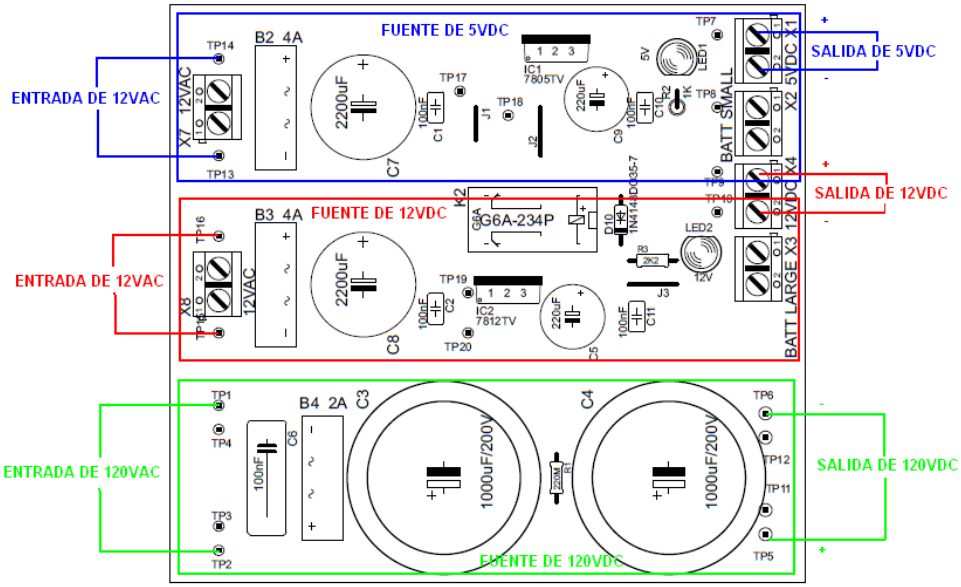


Figura B1.3. Descripción de la placa terminada.

B1.2 PLACA DE CONMUTACIÓN

Luego que terminamos de probar y armar la fuente procedemos a realizar la placa de conmutación de relés el cual tiene el objetivo de tener que seleccionar entre 15 varillas y escoger un grupo de solamente 5.

Al igual que el diseño anterior este se realizó con EAGLE (figura B1.4 y figura B1.5).

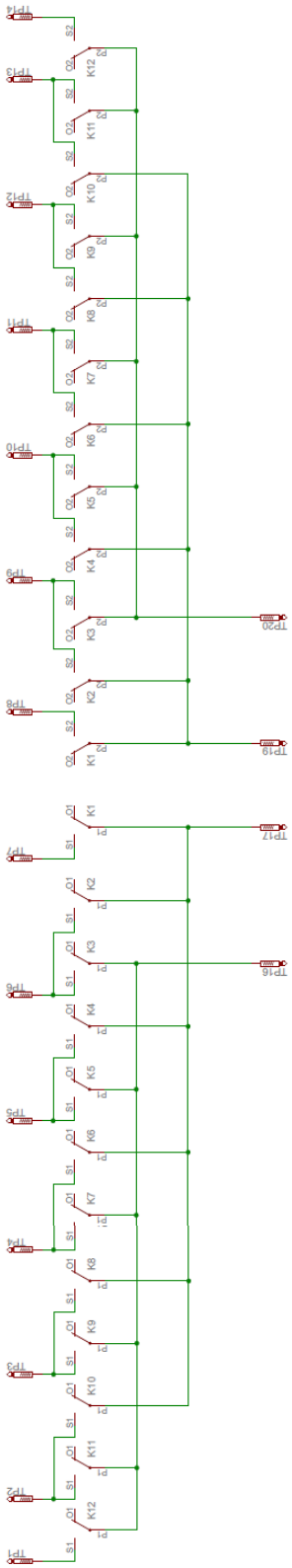


Figura B1.4. Esquema electrónico del bloque de conmutación (fuerza).

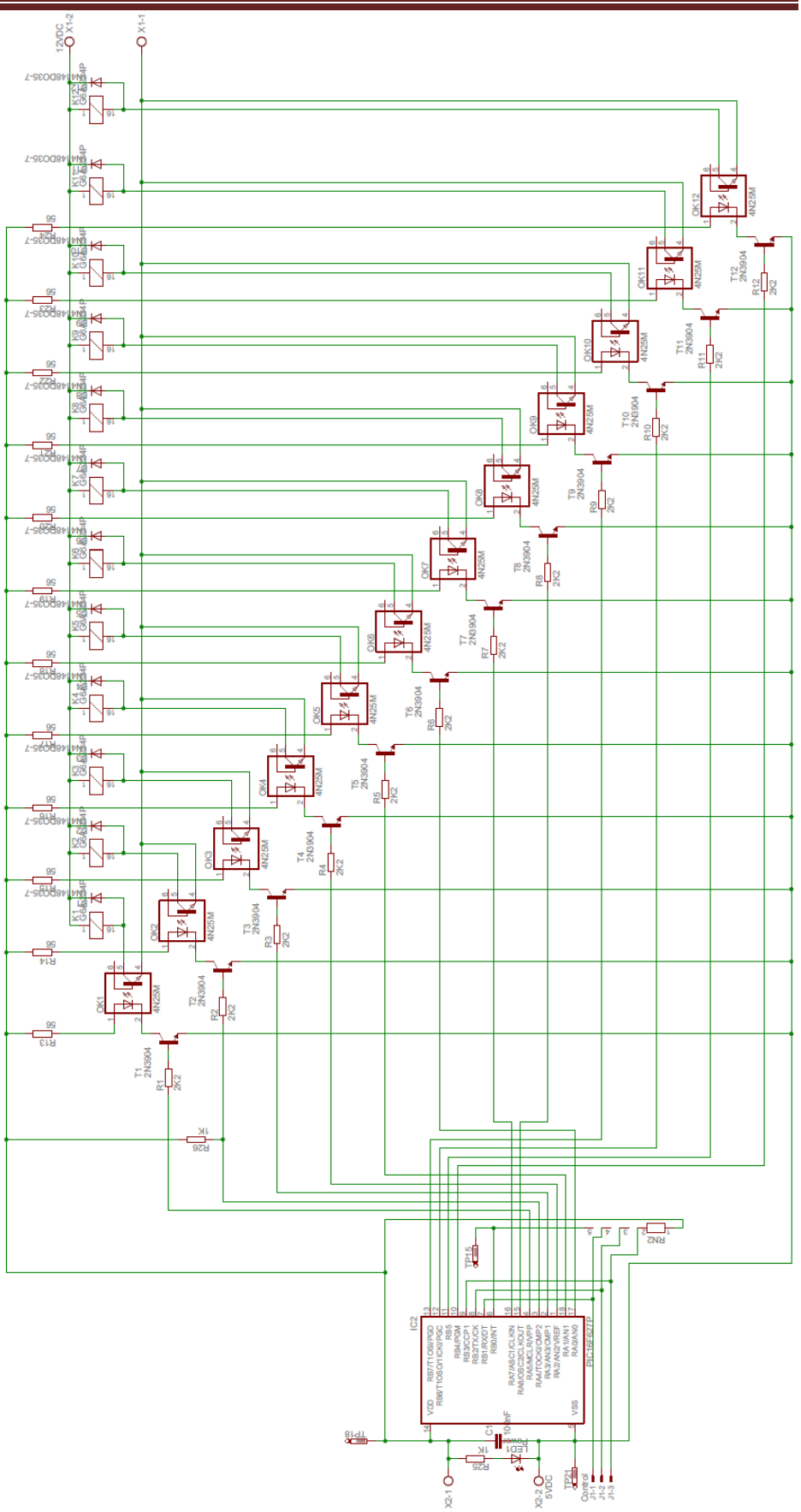


Figura B1.4. Esquema electrónico del bloque de conmutación (mando).

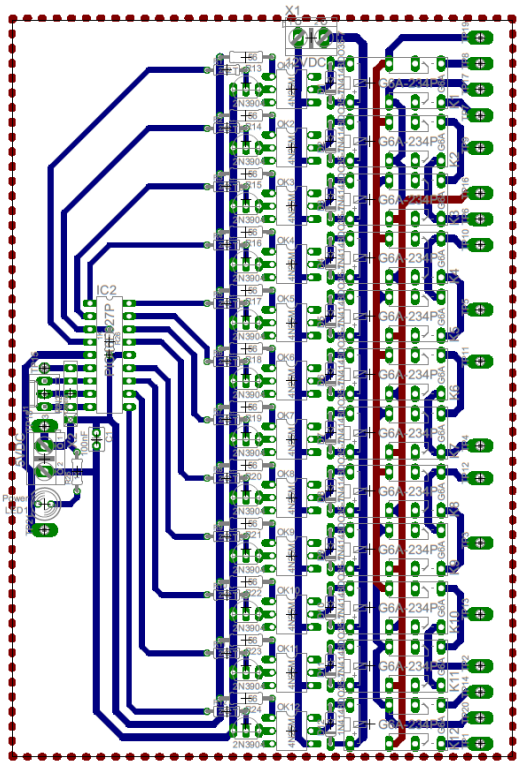


Figura B1.5. Placa física terminada lista para operar.

Una vez armado la placa de conmutación con los componentes tenemos finalizada (Figura B1.3).

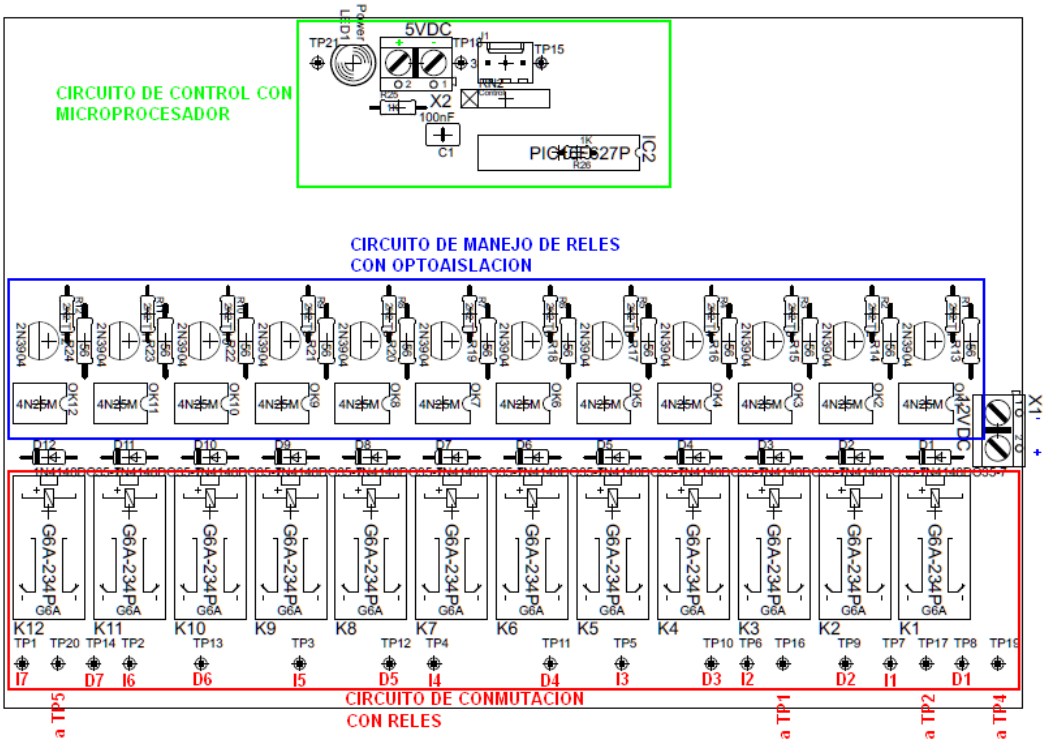


Figura B1.6. Descripción de la placa terminada.

En la placa anterior se detallan con números y letras (I y D) las correspondientes conexione para los bornes izquierdos y derechos que salen del equipo para conectarse a las varillas y los a TPX indican la conexión con la placa de medición.

B1.3 PLACA DE MEDICIÓN Y CONTROL

Y por último nos falta la placa de medición y control que se muestran en la siguientes graficas (figura B1.7 a figura B1.9).

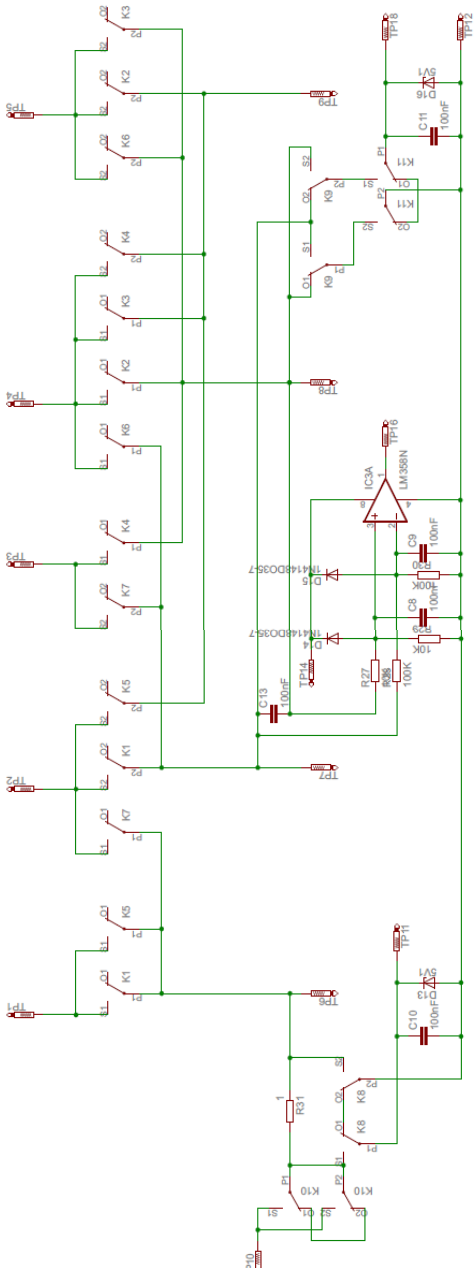


Figura B1.7. Diagrama de medición y control (fuerza).

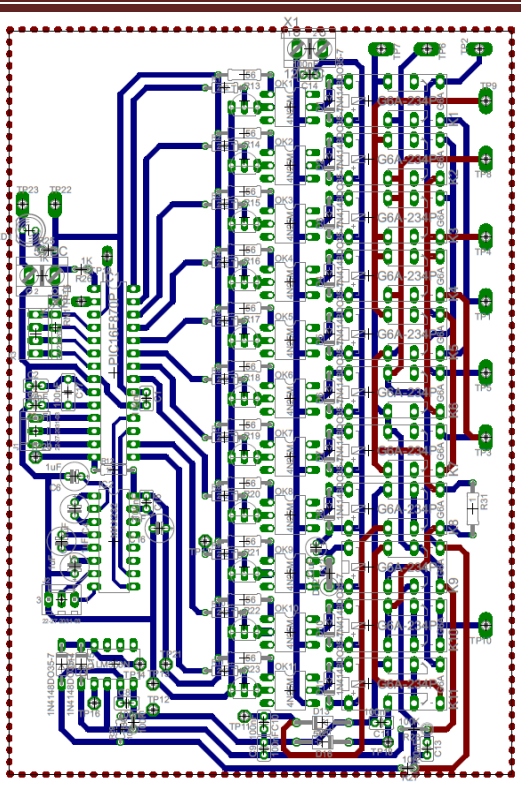


Figura B1.8. Placa de medición y control (mando).

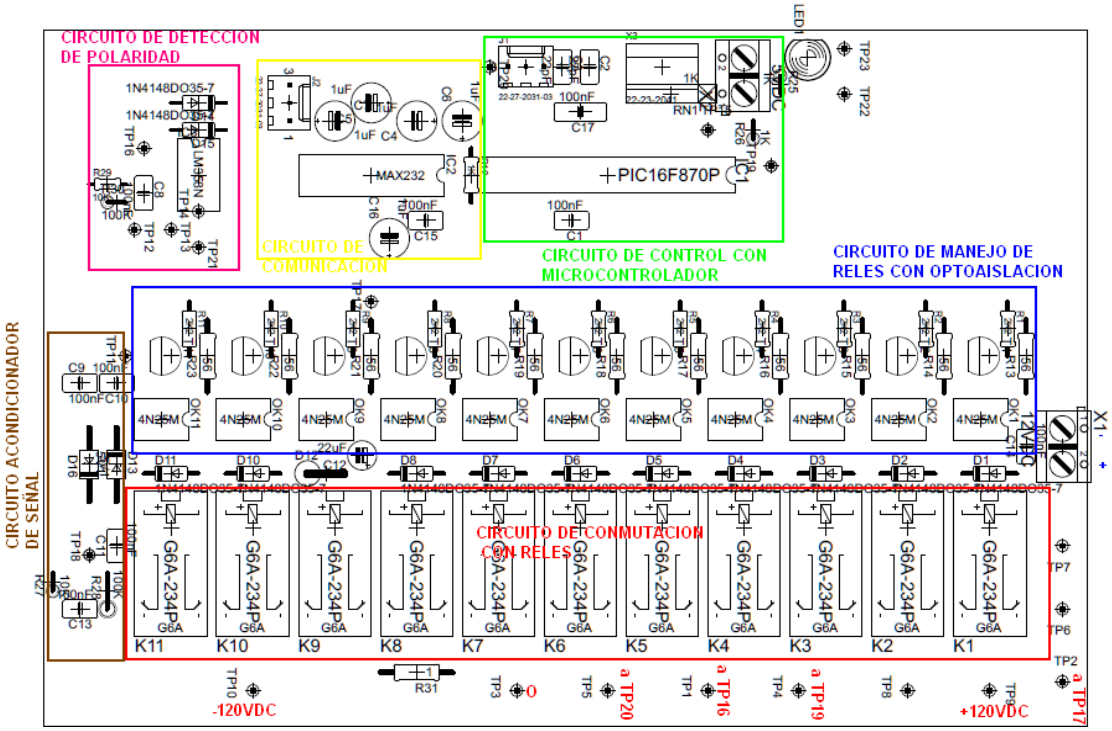


Figura B1.9. Descripción de la placa terminada.

En la gráfica anterior se indica las conexiones a TPX de la placa de medición con la placa de conmutación además de donde se inyecta los 120VDC y la conexión al borne de la varilla central 0.

Todas las placas fueron probadas, al principio se tenía interferencia por la fuente y cables en la medición pero cuando se colocó las mallas a tierra estas se minimizaron en su gran totalidad.

B2 PROGRAMACIÓN DE MICROCONTROLADORES

Los programas para los microcontroladores fueron realizados en Mplab de Microchip que puede ser enlazado con CCS para poder utilizar el lenguaje C en vez de ensamblador.

B2.1 PROGRAMA DE CONMUTACIÓN

Para la placa de conmutación se usó un microcontrolador PIC16F628A y su programa se describe a continuación.

Comentarios del programa:

```
// Este programa realiza la secuencia de relés en el puerto A y puerto B
// que se selecciona mediante los pines b1, b2 y b3 cualquiera de las 6
// conexiones que se necesita para las picas.
```

Configuración, directivas y librerías:

```
#include <16f628a.h>                          //microcontrolador a utilizar
#fuses INTRC_IO,NOWDT,NOPROTECT,NOLVP,NOMCLR  //configuración del micro a usar
#use delay(clock=4000000)                     //frecuencia de reloj del micro
int sec;                                      //variable global
```

Programa principal:

```
void main()                                   //programa principal
{
      set_tris_a(0b00000000);                 //configuración del Puerto A
      set_tris_b(0b00001110);                 //configuración del Puerto B
      delay_ms(10);                           //tiempo
//////////////////////////////
      disable_interrupts(global);             //deshabilito las interrupciones
      disable_interrupts(int_timer1);         //deshabilito int de timers
      disable_interrupts(int_rda);            //deshabilito int decomunic
      disable_interrupts(int_ext);            //deshabilito inter externa
      setup_comparator(NC_NC_NC_NC);          //deshabilito comparadores
      setup_vref(FALSE);                      //apago volt de ref. comparador
      port_b_pullups(FALSE);                  //sin resistencias pull up
      delay_ms(10);                           //tiempo
//////////////////////////////
      output_a(0X00);                         //pines del Puerto A en bajo
      output_b(0X00);                         //pines del Puerto B en bajo
      delay_ms(10);                           //tiempo

      while (true)                            //bucle infinito
      {
```

```
            sec = input_b();                //leo Puerto B y guardo en sec
            sec = sec & 0b00001110;         //separo los pines B1, B2 y B3
            switch (sec)                    //compare sec con lo deseado
            {
//////////////////////////////////////secuencia 0
                  case 0x00:
                        output_a(0x00);     //secuencia de apagar todos
                        output_b(0x00);     //los relés
                        delay_ms(200);
                  break;
//////////////////////////////////////secuencia 1
                  case 0x02:
                        output_a(0x08);     //secuencia de grupo 1
                        output_b(0x01);     //enciendo relés 1 y 3
                        delay_ms(200);
                  break;
//////////////////////////////////////secuencia 2
                  case 0x04:
                        output_a(0x12);     //secuencia de grupo 2
                        output_b(0x00);     //enciendo relés 2 y 5
                        delay_ms(200);
                  break;
//////////////////////////////////////secuencia 3
                  case 0x06:
                        output_a(0x84);     //secuencia de grupo 3
                        output_b(0x00);     //enciendo relés 4 y 7
                        delay_ms(200);
                  break;
//////////////////////////////////////secuencia 4
                  case 0x08:
                        output_a(0x01);     //secuencia de grupo 4
                        output_b(0x80);     //enciendo relés 6 y 9
                        delay_ms(200);
                  break;
//////////////////////////////////////secuencia 5
                  case 0x0A:
                        output_a(0x40);     //secuencia de grupo 5
                        output_b(0x20);     //enciendo relés 8 y 11
                        delay_ms(200);
                  break;
//////////////////////////////////////secuencia 6
                  case 0x0C:
                        output_a(0x00);     //secuencia de grupo 6
                        output_b(0x50);     //enciendo relés 10 y 12
                        delay_ms(200);
                  break;
//////////////////////////////////////secuencia off
                  case 0x0E:
                        output_a(0x00);     //secuencia de apagar todos
                        output_b(0x00);     //los relés
                        delay_ms(200);
                  break;
            }
      }
}
```

El programa en si es muy sencillo ya que solo responde a las órdenes del micro principal que le envía un código por tres pines con el grupo de picas que desea.

B2.2 PROGRAMA DE MEDICIÓN Y COMUNICACIÓN

La placa de medición y comunicación utiliza un microcontrolador PIC16F876A que tiene la capacidad de realizar mediciones analógicas y convertirlas en digitales además de poseer un módulo interno de para el estándar de comunicación RS232.

El programa de este micro se detalla a continuación.

Comentarios del programa:

```
// Este programa es para probar la operación de la conversión así como
// la secuencia de comunicación con la placa de relés  lo restante aquí
// dicho es las conexiones de otros relés que manejan la medición del
// valor analógico de la corriente en el pin a0 y voltaje en el pin a1
// esto ocurre solo cuando una instruccion enviada mediante rs232 de
// la pc sea la correcta. La conexión de RS 232 es Rx=c7 y Tx=c6 y la
// conexión de relés de medición de:
// voltaje = c4
// corriente = b0
// y para la secuencia de picas es con:
// c0 va a b1
// c1 va a b2
// c2 va a b3
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
```

Configuración, directivas y librerías:

```
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
#include <16F876A.h>
#device ADC=10
#use delay(clock=4000000)        //Frecuencia máxima de trabajo.
#fuses XT,NOWDT,PROTECT,NOLVP,NODEBUG  //Configuración del micro
#use rs232(baud = 9600, xmit = pin_c6, rcv = pin_c7)//config de comunicación

int i;                           //variable índice de voltaje
int j;                           //variable índice de corriente
int clave;                       //variable
int volt[60];                    //vector de voltaje
int corr[60];                    //vector de corriente
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
```

Subrutinas:

```
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
void voltaje(void)               //subrutina de medición de voltaje
{
      output_high(pin_c4);       //enciendo relé de medición de voltaje
      delay_ms(400);             //tiempo

      set_adc_channel( 1 );      //selecciono canal de conversión
```

```
      delay_ms(100);            //tiempo
      Read_ADC();               //hago la conversión
      volt[i] = ADRESH;         //guardo la conversión en el vector
      i=i+1;                    //incremento el índice del vector
      volt[i] = ADRESL;         //guardo la conversión en el vector
      i=i+1;                    //incremento el índice del vector

      output_low(pin_c4);       //apago relé de medición de voltaje
      delay_ms(400);            //tiempo
}
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////

////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
void corriente(void)            //subrutina de medición de corriente
{
      output_high(pin_b0);      //enciendo relé de med de corriente
      delay_ms(400);            //tiempo

      set_adc_channel( 0 );     //selecciono canal de conversión
      delay_ms(100);            //tiempo
      Read_ADC();               //hago la conversión
      corr[j] = ADRESH;         //guardo la conversión en el vector
      j=j+1;                    //incremento el índice del vector
      corr[j] = ADRESL;         //guardo la conversión en el vector
      j=j+1;                    //incremento el índice del vector

      output_low(pin_b0);       //apago relé de medición de corriente
      delay_ms(400);            //tiempo
}
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
void medición(void)
{
      output_high(pin_c5);      //enciendo fuente de corriente
      delay_ms(400);            //tiempo

      ////////////////secuencia de medición de Wenner//////////////////////
      //secuencia de encendido de relés para la medición de RA

      output_b(0xC0);     //enciendo relé K1 y K2 de secuencia C1 P1 0 P2 C2
      delay_ms(400);      //tiempo

      //muestra del voltaje//
      voltaje();          //se va a subrutina voltaje

      //muestra de corriente//
      corriente();        //se va a subrutina corriente

      //secuencia de encendido de relés para la medición de RB
      output_b(0x0C);     //enciendo relé K5 y K6 de secuencia C1 C2 0 P1 P2
      delay_ms(400);      //tiempo

      //muestra del voltaje//
      voltaje();          //se va a subrutina voltaje

      //muestra de corriente//
      corriente();        //se va a subrutina corriente

      //secuencia de encendido de relés para la medición de RC
```

```
	output_b(0xA0);     //enciendo relé K1 y K3 de secuencia C1 P1 0 C2 P2
	delay_ms(300);      //tiempo

	//muestra del voltaje//
	voltaje();          //se va a subrutina voltaje

	//muestra de corriente//
	corriente();        //se va a subrutina corriente

	//secuencia de encendido de relés para la medición de RD1
	output_b(0x90);     //enciendo relé K1 y K4 de secuencia C1 P1 P2 C2 0
	delay_ms(300);      //tiempo

	//muestra del voltaje//
	voltaje();          //se va a subrutina voltaje

	//muestra de corriente//
	corriente();        //se va a subrutina corriente

	//secuencia de encendido de relés para la medición de RD2
	output_b(0x42);     //enciendo relé K7 y K2 de secuencia 0 C1 P1 P2 C2
	delay_ms(300);      //tiempo

	//muestra del voltaje//
	voltaje();          //se va a subrutina voltaje

	//muestra de corriente//
	corriente();        //se va a subrutina corriente

	output_low(pin_c5);             //apago fuente de corriente
	delay_ms(400);                  //tiempo
}
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
```

Programa principal:

```
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
void main(void)
{
	set_tris_a(0b11111111);         //configuración del Puerto A
	set_tris_b(0b00000000);         //configuración del Puerto B
	set_tris_c(0b10000000);         //configuración del Puerto C

	//////////////////////////////
	disable_interrupts(global);     //deshabilito interrupciones
	disable_interrupts(int_timer1); //deshabilito int de timer
	disable_interrupts(int_rda);    //deshabilito int de comunicación
	disable_interrupts(int_ext);    //deshabilito int externa
	setup_spi(FALSE);               //deshabilito comunicación SPI
	port_b_pullups(FALSE);          //deshabilito resistencias pull up
	//////////////////////////////
	output_b(0X00);                 //Puerto B en nivel bajo
	output_c(0X00);                 //Puerto C en nivel bajo
	i = 0;                          //encero índice
	j = 0;                          //encero índice
	clave = 0x00;                   //encero variable
	delay_ms(10);             //tiempo

	setup_adc_ports( ALL_ANALOG );  //configuro puertos analógicos
	setup_adc( ADC_CLOCK_INTERNAL ); //configuro reloj de conversor
```

```
set_adc_channel( 0 );           //selecciono canal de conversión
delay_ms(10);                   //tiempo

while (true)                    //bucle infinito
{
      i = 0;                    //encero punteros
      j = 0;
      output_b(0x00);           //Puerto B en nivel bajo
      output_c(0x00);           //Puerto C en nivel bajo

      clave = getc();           //espera se envía de clave desde pc

      if (clave == 0x01)
      {
            //////////////secuencias de picas de Wenner/////////////////
            ///////////primera secuencia//////////////////
            output_high(pin_c0);      //se envía la sec
            delay_ms(400);            //tiempo

            medición();               //se va a subrutina de medición

            output_low(pin_c0);       //apago c0
            delay_ms(400);            //tiempo
            ////////////////////////////////////////////

            ///////////segunda secuencia//////////////////
            output_high(pin_c1);      //se envía la sec
            delay_ms(400);            //tiempo

            medición();               //se va a subrutina de medición


            output_low(pin_c1);       //se apaga c1
            delay_ms(400);            //tiempo
            ////////////////////////////////////////////

            ///////////tercera secuencia//////////////////
            output_high(pin_c0);      //se envía la sec
            output_high(pin_c1);      //se envía la sec

            delay_ms(400);            //tiempo

            medición();               //se va a subrutina de medición

            output_low(pin_c0);       //se apaga c0
            output_low(pin_c1);       //se apaga c1
            delay_ms(400);            //tiempo
            ////////////////////////////////////////////

            ///////////cuarta secuencia//////////////////
            output_high(pin_c2);      //se envía la sec
            delay_ms(400);            //tiempo

            medición();               //se va a subrutina de medición

            output_low(pin_c2);       //se apaga c2
            delay_ms(400);            //tiempo
            ////////////////////////////////////////////
```

```
                    ///////////quinta secuencia//////////////////
                    output_high(pin_c0);      //se envía la sec
                    output_high(pin_c2);      //se envía la sec
                    delay_ms(400);            //tiempo

                    medición();               //se va a subrutina de medición

                    output_low(pin_c0);       //se apaga c0
                    output_low(pin_c2);       //se apaga c2
                    delay_ms(400);            //tiempo
                    ////////////////////////////////////////////

                    ///////////sexta secuencia//////////////////
                    output_high(pin_c1);      //se envía la sec
                    output_high(pin_c2);      //se envía la sec
                    delay_ms(400);            //tiempo

                    medición();               //se va a subrutina de medición

                    output_low(pin_c1);       //se apaga c1
                    output_low(pin_c2);       //se apaga c2
                    delay_ms(400);            //tiempo
                    ////////////////////////////////////////////
                    clave = 0x02;             //se asigna el valor de clave
                                              // para quea continuación se
                                              //envíen los datos
                    ////////////////////////////////////////////////////////
             }

             ////////////////////////////////////////////////////////////
             output_b(0X00);           //se apaga todo en caso de olvido en el
             output_c(0X00);           //programa
             ////////////////////////////////////////////////////////////

             if (clave == 0x02)
             {
                    /////////////////envio de datos///////////////////////
                    for (i=0; i<2; i++)       //bucle de vector voltaje
                    {
                           putc(volt[i]);     //se envía voltaje
                           delay_ms(5);       //tiempo
                    }

                    for (i=0; i<2; i++)       //bucle de vector corriente
                    {
                           putc(corr[i]);     //se envía corriente
                           delay_ms(5);       //tiempo
                    }
                    ////////////////////////////////////////////////////////
             }
      }
}
```

El programa anterior se ha estructurado de tal manera que se cumpla con las expectativas del diseño. Esto quiere decir que se depuro hasta llegar a ser lo

más simple posible para facilitar la lectura de datos como también el almacenamiento.

B3 PROGRAMACIÓN DE INTERFACE GRAFICA EN PC.

La programación de la interface gráfica en la PC se realizó con Visual Basic puesto que esta es más fácil de programar y se tiene lo necesario que se necesita.

```
Option Explicit
Dim E As Single
Dim m As Single
Dim i As Single
Dim j As Single

'_____________________________________________________________________________
'VVVVVVVVVVVVVVVVVVVVVVVVVVV  MATRIZ DE VOLTAJE VVVVVVVVVVVVVVVVVVVVVVVVVVV
Dim Pin(30) As String
Dim Voltaje(30) As String
'VVVVVVVVVVVVVVVVVVVVVVVVVVV  VARIABLES DE VOLTAJE VVVVVVVVVVVVVVVVVVVVVVVVVVV
Dim sData As String
Dim lHighByte(30) As Long
Dim lLowByte(30) As Long
Dim lByte(30) As Long
'_____________________________________________________________________________
'IIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIII MATRIZ DE CORRIENTE IIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIII
Dim Pinco(30) As String
Dim Corriente(30) As String
'IIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIII VARIABLES DE CORRIENTE  IIIIIIIIIIIIIIIIIIIIII
Dim lHighByteco(30) As Long
Dim lLowByteco(30) As Long
Dim lByteco(30) As Long
'RRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRR MATRIZ DE RESISTENCIA RRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRR
Dim Resistencia(30) As String
Dim Rd(12) As String
Dim Roff(6) As String
'EEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEE  MATRIZ ERRORES  EEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEE
Dim Erobs(6) As String
Dim Erofs(6) As String
Dim Erlat(5) As String

'mmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmm  DISTANCIAS   mmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmm
Dim metros(6) As String
Dim geom(6) As String
Dim Resistiv(6) As String

Private Sub conectar_Click()
'comprueva que el puerto este cerrado para poder abrirlo
    If MSComm1.PortOpen = False Then
        'determina el puerto que hemos seleccionado.
If COM_sel.ListIndex = 0 Then
            MSComm1.CommPort = 1
            End If
        If COM_sel.ListIndex = 1 Then
            MSComm1.CommPort = 2
            End If
```

```
        If COM_sel.ListIndex = 2 Then
            MSComm1.CommPort = 3
            End If
        If COM_sel.ListIndex = 3 Then
            MSComm1.CommPort = 4
            End If
        If COM_sel.ListIndex = 4 Then
            MSComm1.CommPort = 5
            End If
        If COM_sel.ListIndex = 5 Then
            MSComm1.CommPort = 6
            End If
        If COM_sel.ListIndex = 6 Then
            MSComm1.CommPort = 7
            End If
        If COM_sel.ListIndex = 7 Then
            MSComm1.CommPort = 8
            End If
        If COM_sel.ListIndex = 8 Then
            MSComm1.CommPort = 9
            End If
        If COM_sel.ListIndex = 9 Then
            MSComm1.CommPort = 10
            End If
        If COM_sel.ListIndex = 10 Then
            MSComm1.CommPort = 11
            End If
            End If

MSComm1.Settings = "9600,N,8,1"            'Indica las características de
comunicación

MSComm1.InputMode = comInputModeText       'lo enviado en modo texto

MSComm1.InputLen = 120                     'Determina el número de caracteres
o bytes
                                           'que serán leídos al utilizar el
comando de lectura “input”.
MSComm1.PortOpen = True

MSComm1.RThreshold = 120                   'Determina cada cuántos caracteres
se realizará un evento
'On_comm
End Sub

Private Sub desconecta_Click()
If E = 1 Then
List1.Clear
List2.Clear
List3.Clear
List4.Clear
List5.Clear
List6.Clear
List7.Clear
List8.Clear
List9.Clear
List10.Clear
List11.Clear
List12.Clear
```

```
End If
If MSComm1.PortOpen = True Then
   MSComm1.PortOpen = False
End If
End Sub

Private Sub Form_Load()
COM_sel.AddItem "COM1"
COM_sel.AddItem "COM2"
COM_sel.AddItem "COM3"
COM_sel.AddItem "COM4"
COM_sel.AddItem "COM5"
COM_sel.AddItem "COM6"
COM_sel.AddItem "COM7"
COM_sel.AddItem "COM8"
COM_sel.AddItem "COM9"
COM_sel.AddItem "COM10"
COM_sel.AddItem "COM11"
End Sub

Private Sub medir_Click()
Dim gg As Single
If Val(Text1.Text) > 0 Then
medir_c
Else
gg = MsgBox("INGRESE LA PRIMERA SEPARACION ENTRE VARILLAS EN (m) [A-M]", _
16, "DISTANCIAS EN METROS")
End If

End Sub

Sub medir_c()
Dim g
If MSComm1.PortOpen = True Then
MSComm1.Output = Chr$(1)
ElseIf MSComm1.PortOpen = False Then
g = MsgBox("SEÑALE UN PUERTO DE COMUNICACIONES Y DE UN CLICK EN ACTIVAR", _
           16, "EL PUERTO DE COMUNICACIONES ESTA CERRADO")
End If
End Sub

Private Sub MSComm1_OnComm()
'xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx
Dim mitexto As Integer 'Devuelve un entero que representa el siguiente número
mitexto = FreeFile()   'disponible (sin ser utilizado) para abrir un fichero.
'¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿

E = 1

' si ocurre Rx Event entonces se obtiene un dato y se procesa
If MSComm1.CommEvent = comEvReceive Then

sData = MSComm1.Input ' Entra el dato completo desde el PIC

'XXXXXXXXXXXXXXXXXXX VALORES DE VOLTAJEXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

   m = 0
j = 0
```

```
   While m < 30             'CUANTOS VOLTAJES VIENE EN ESTE CASO 4 VALLORES DE
VOLTAJE,
m = m + 1               'CON 8 BYTES
   i = j + 1
j = i + 1

   'LLEGADOS LOS 2 BYTES DE VOLTAJE// PRIMER0 ENVIO DATOS DE VOLTAJE DESDE EL
PIC
lHighByte(m) = Asc(Mid$(sData, i, 1)) ' get 1st byte
lLowByte(m) = Asc(Mid$(sData, j, 1)) ' Get 2nd byte

   'JUNTO LOS DOS BYTES

lByte(m) = JoinHighLow(lHighByte(m), lLowByte(m))

Pin(m) = CStr(lByte(m))

Voltaje(m) = Format(Val(Pin(m)) * 4.96 / 1023, "#0.000000")    'convierte de
hexadecimal a decimal.

    j = j

    Wend

'XXXXXXXXXXXXX VISUALIZA EN LA VENTANA LOS  VALORES OBTENIDOS DE VOLTAJE XXXXX
List1.Clear
For m = 1 To 30
List1.AddItem (Voltaje(m))
Next m

'XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX VALORES OBTENIDOS DE CORRIENTEXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

   m = 0
   While m < 30            'CUANTAS CORRIENTES VIENE EN ESTE CASO 4 VALORES DE
CORRIENTE,
m = m + 1               'CON 8 BYTES
   i = j + 1
j = i + 1

   'LLEGADOS LOS 2 BYTES DE COORIENTE// SEGUNDO  ENVIO DATOS DE CORRIENTE
DESDE EL PIC
lHighByteco(m) = Asc(Mid$(sData, i, 1)) ' get 1st byte
lLowByteco(m) = Asc(Mid$(sData, j, 1)) ' Get 2nd byte

   'JUNTO LOS DOS BYTES

lByteco(m) = JoinHighLow(lHighByteco(m), lLowByteco(m))

Pinco(m) = CStr(lByteco(m))

Corriente(m) = Format(Val(Pinco(m)) * 4.96 / 1023, "#0.000000")

    j = j

    Wend
'XXXXXXXXXX  VISUALIZA EN LA VENTANA LOS  VALORES OBTENIDOS DE CORRIENTE XXXXX
List2.Clear
For m = 1 To 30
```

```
List2.AddItem (Corriente(m))
Next m

'xxxxxxxxx CALCULA LA RESISTENCIA   XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

Dim z As Single
z = 0
While z < 30
z = z + 1
Resistencia(z) = Format(Val(Voltaje(z) / Corriente(z)), "#0.000000")

Wend

'''''''''' VIASULIZA EN LA VENTANA LOS VALORES OBTENIDOS DE RESISTENCIA ''''''''
List3.Clear
For m = 1 To 30
List3.AddItem (Resistencia(m))
Next m

'VVVVVVVVVVVV RESISTENCIA RDS  XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
Dim o As Single
Dim t As Single
Dim l As Single
o = 0
t = 0
l = 0
While l < 30
o = o + 1
t = t + 4
l = t + 1
Rd(o) = Resistencia(t)
Rd(o + 1) = Resistencia(l)
t = l
o = o + 1
Wend

'''''' VIASUALIZA EN LA VENTANA LOS VALORES OBTENIDOS DE RESISTENCIA OFFSET ''
List4.Clear
For m = 1 To 12
List4.AddItem (Rd(m))
Next m

' ERRRRRRRRRRRRRRRRRRRRR ERROR DE OBSERVACION RRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRR

o = 0
l = 0

While l < 28
l = l + 1
o = o + 1
Erobs(o) = Format(Val(100 * (Resistencia(l) - (Resistencia(l + 1) -
Resistencia(l + 2))) / Resistencia(l)), "#0.000000")
l = l + 4
Wend
''''''' VIASUALIZA EN LA VENTANA LOS VALORES OBTENIDOS DE ERRORES DE OBS '''''
For m = 1 To 6
List10.AddItem (Erobs(m))
Next m
```

```
'ERRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRR

'VVVVVVVVVVVVVVVV RESISTENCIAS OFFSETS VVVVVVVVVVVVVVVVVVVVVVVVVVVVVVVVVVVVVVVVVVVVVV

o = 0
t = 0
While t < 12
o = o + 1
t = t + 1
Roff(o) = Format(Val(Rd(t) * 0.5 + Rd(t + 1) * 0.5), "#0.000000")
t = t + 1
Wend

''''' VIASUALIZA EN LA VENTANA LOS VALORES OBTENIDOS DE RESISTENCIA OFFSET '''
List5.Clear
For m = 1 To 6
List5.AddItem (Roff(m))
Next m

' ERRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRR ERROR DE OFFSET RRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRR
t = 0
l = 0

While l < 12
t = t + 1
l = l + 1
Erofs(t) = Format(Val(100 * Abs((Rd(l) - Rd(l + 1))) / Roff(t)), "#0.000000")
l = l + 1
Wend
'''' VIASUALIZA EN LA VENTANA LOS VALORES OBTENIDOS DE ERRORES DE OFFSET '''''
For m = 1 To 6
List11.AddItem (Erofs(m))
Next m

'RRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRR
' ERRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRR ERROR DE LATERAL RRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRR
t = 0
l = 0
o = 0
While l < 23
t = t + 1
l = l + 3
o = o + 1

Erlat(t) = Format(Val(100 * (Abs((Roff(o + 1) - 2 * (Resistencia(l) -
Roff(o)))) / Roff(o + 1))), "#0.000000")

l = l + 2
Wend
'''' VIASUALIZA EN LA VENTANA LOS VALORES OBTENIDOS DE ERRORES DE LATERAL ''''
For m = 1 To 5
List12.AddItem (Erlat(m))
Next m

'RRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRR

'mmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmm DISTANCIAS mmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmm
```

```
o = 1
metros(o) = Val(Text1.Text)
While o < 6
o = o + 1
metros(o) = metros(o - 1) * 2

Wend
'mmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmm
List6.Clear
For m = 1 To 6
List6.AddItem (metros(m))
Next m
List7.Clear
For m = 1 To 6
List7.AddItem (metros(m))
Next m
'nnnnnnnnnnnnnnnnnnnnnnnnnnnnn FACTOR GEOMETRICO nnnnnnnnnnnnnnnnnnnnnnnnnnnnn
o = 0

While o < 6
o = o + 1
geom(o) = Format(Val(metros(o) * 2 * 3.14159265), "#0.000000")
Resistiv(o) = Format(Val(geom(o) * Roff(o)), "#0.000000")
'RESISTIVIDAD OHM(m)
Wend

'mmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmm
List8.Clear
For m = 1 To 6
List8.AddItem (geom(m))
Next

'============================= VISUALIZA RESITIVIDAD =========================

List9.Clear
For m = 1 To 6
List9.AddItem (Resistiv(m))
Next

'@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@

''' ENVIA LOS VALORES DE CORRIENTE Y VOLTAJE A UN ARCHIVO PREVIAMENTE CREADO
"WENNER.TXT" '''
Dim s As Single
Open "WENNER.txt" For Output As #mitexto
For s = 1 To 30
Print #mitexto, Voltaje(s)
Print #mitexto, Corriente(s)
Next
Close #mitexto
'+++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++
End If
End Sub

''' JUNTA LA PARTE ALTA Y BAJA QUE LLEGAN++++++++++++++++++++++++++++++++''''
Private Function JoinHighLow(lHigh As Long, lLow As Long) As Long
JoinHighLow = (lHigh * &H100) Or lLow
End Function
Private Sub salir_Click()
```

```
End
End Sub

Private Sub Timer1_Timer()
Label3.Caption = Time
End Sub
Private Sub Guardar_Click()

Dim b As Single
If E = 1 Then
Create_File
    Else
b = MsgBox("NO SE HA ADQUIRIDO NINGUN DATO EXTERNO", _
16, "NO EXISTE DATOS")

End If
End Sub
Sub Create_File()

Dim Linea As String
'Titulo del CommonDialog
CommonDialog1.DialogTitle = "Escriba el nombre del archivo de texto"

'Extension del CommonDialog. Archivo de tipo txt
CommonDialog1.Filter = "Archivos de texto xls|*.xls"

'Abrimos el CommonDialog
CommonDialog1.ShowSave

If CommonDialog1.FileName = "" Then
'salimos ya que no se ha seleccionado ningún archivo
   Exit Sub
Else

    'Creamos un archivo con la sentencia OutPut, pasandole la ruta _
     con la pro piedad FileName del Commondialog

Dim oExcel As Object
 Dim oBook As Object
 Dim oSheet As Object
 Dim k As Single

   'Empezar nuevo Excel

   Set oExcel = CreateObject("Excel.Application")
Set oBook = oExcel.Workbooks.Add

'añadir nombres de  datos a las celda en Excel

Set oSheet = oBook.Worksheets(1)
oSheet.Range("A1").Value = "VOLTAJE"
oSheet.Range("B1").Value = "CORRIENTE"
oSheet.Range("C1").Value = "RESISTENCI"
oSheet.Range("D1").Value = "RD"
oSheet.Range("E1").Value = "ROFFset"
oSheet.Range("F1").Value = "FAC GEOM"
oSheet.Range("G1").Value = "DISTANCIAS"
oSheet.Range("H1").Value = "OHM(m)"
oSheet.Range("I1").Value = "ERR obs"
```

```
oSheet.Range("J1").Value = "ERR ofs"
oSheet.Range("K1").Value = "ERR lat"
oSheet.Range("A1:B1:C1:D1:E1:G1:H1:I1:J1:K1").Font.Bold = True

oExcel.Columns(1).Select
   oExcel.Selection.NumberFormat = "@"

'////////////////////////////////////////////////////////////////////////////

oExcel.Columns(2).Select
   oExcel.Selection.NumberFormat = "@"

'////////////////////////////////////////////////////////////////////////////

oExcel.Columns(3).Select
   oExcel.Selection.NumberFormat = "@"

oExcel.Columns(4).Select
   oExcel.Selection.NumberFormat = "@"

oExcel.Columns(5).Select
   oExcel.Selection.NumberFormat = "@"

oExcel.Columns(6).Select
   oExcel.Selection.NumberFormat = "@"

oExcel.Columns(7).Select
   oExcel.Selection.NumberFormat = "@"

oExcel.Columns(8).Select
   oExcel.Selection.NumberFormat = "@"

oExcel.Columns(9).Select
   oExcel.Selection.NumberFormat = "@"

oExcel.Columns(10).Select
   oExcel.Selection.NumberFormat = "@"

oExcel.Columns(11).Select
   oExcel.Selection.NumberFormat = "@"

   For k = 1 To 30
oSheet.Range("A" & k + 1).Value = Voltaje(k)
oSheet.Range("B" & k + 1).Value = Corriente(k)
oSheet.Range("C" & k + 1).Value = Resistencia(k)
   Next k

   For k = 1 To 12
oSheet.Range("D" & k + 1).Value = Rd(k)
   Next k

   For k = 1 To 6
oSheet.Range("E" & k + 1).Value = Roff(k)
oSheet.Range("F" & k + 1).Value = geom(k)
oSheet.Range("G" & k + 1).Value = metros(k)
oSheet.Range("H" & k + 1).Value = Resistiv(k)
oSheet.Range("I" & k + 1).Value = Erobs(k)
oSheet.Range("J" & k + 1).Value = Erofs(k)
   Next k
```

```
   For k = 1 To 5
oSheet.Range("K" & k + 1).Value = Erlat(k)
   Next k

  '////////////////////////////  COLORES////////////////////////////////////

 For k = 1 To 5
oSheet.Range("A" & k + 1).Font.ColorIndex = 5
oSheet.Range("B" & k + 1).Font.ColorIndex = 5
oSheet.Range("C" & k + 1).Font.ColorIndex = 5

 Next k

 For k = 11 To 15
oSheet.Range("A" & k + 1).Font.ColorIndex = 5
oSheet.Range("B" & k + 1).Font.ColorIndex = 5
oSheet.Range("C" & k + 1).Font.ColorIndex = 5

 Next k

 For k = 21 To 25
oSheet.Range("A" & k + 1).Font.ColorIndex = 5
oSheet.Range("B" & k + 1).Font.ColorIndex = 5
oSheet.Range("C" & k + 1).Font.ColorIndex = 5

Next k

  oBook.SaveAs CommonDialog1.FileName
oExcel.Quit
   MsgBox "Los datos han sido guardados  en el archivo: " _
+ CommonDialog1.FileName, vbInformation, "ARCHIVO GUARDADO"

End If

End Sub
```

ANEXO C

MATERIALES Y HERRAMIENTAS ADICIONALES

Como materiales adicionales se construyó un carrete contenedor de cables para permitir el transporte de los mismos (figura C.1).

Figura C.1. Carrete contenedor de cables.

Como se sabe los cables tienen una resistencia eléctrica que depende de sus características mecánicas y por ende esta debe ser tomada en cuenta al momento de realizar los cálculos finales. Además otro factor a toma en cuenta es la resistencia que se introduce al utilizar bananas y borneras para conectar los cables al equipo. Por este motivo se han tenido que medir esta resistencia y considerar su efecto en el cálculo final. A continuación se presenta una tabla con las resistencias de cada cable y bornera con su respectiva longitud.

LONGITUD (M)	RESISTENCIA (Ω)
1	0.1
2	0.1
4	0.2
8	0.3
16	0.4
32	0.4
64	0.5

Con estos datos se puede despreciar el valor de resistencia que se introduce al utilizar los cables mencionados.

BIBLIOGRAFÍA

Libros, revistas y papers:

Di Jasio, Lucio. Programming 32-bit microcontroller in C. Oxford: Elsevier, 2008.

Tutorial EAGLE de Cadsoft.

Manuales MikroC para PICs y para Dspic.

Manual del módulo Isis de Proteus.

Himpe, Vincent. Visual Basic for Electronics Engineering Applications, 2005.

García, Eduardo. Compilador C CCS y Simulador Proteus para Microcontroladores PIC, 2008.

Chelotti, L., Acosta, N., Foster, M. Métodos Geoeléctricos de Corriente Contínua. 2010.

Salgado, Modesto. Apuntes de Clase de Puestas a Tierra. 2008.

García de Jalón, Javier, Ignacio Rodríguez, José, Brazález, Alfonso. Aprenda Visual Basic 6.0 como si estuviera en primero.1999.

López Pérez, Eric. Tutorial del Protocolo RS-232.

Microchip. Papers AN950 and AN956. 2004.

Wilmshurst, Tim. Designing Embedded Systems with PIC Microcontrollers. Oxford: Elsevier, 2007.

Opazo Grandón, Juan Carlos. Algoritmo para Interpretación de Prospección por Método de Schlumberger.

Carcamo, Daniel. Analisis de Impedancia en conductores de sistemas de puesta a tierra sobre suelo.

Mena, R. Estudio y aplicacion del metodo Wenner-offset en la prospección geoeléctrica.

Montalvan Francisco. Caracterización Geoeléctrica del Acuífero de la cuenca del Río Olón para propuesta de plan de explotación, 2008.

Javier S. Salgado Pareja, Enrique Contreras González, Miguel de la O Vizcarra. Aplicaciones de la tomografía geoeléctrica 2-d al estudio del subsuelo .

Brown, Marty. Practical Switching Power Supply Design.

Angulo Usategui, José, Angulo Martínez, Ignacio. Microcontroladores «PIC».2003.

Cánovas López, Andrés. Manual de Usuario del Compilador PCW de CCS.

Introduction to Serial Communication. 2002.

Manual Visual Basic RS232.

Vallejo, Horacio D. Microcontroladores PIC. 2002.

Van Sickle, Ted Programming Microcontrollers in C. 2001.

Microchip. Datasheet PIC 16F876A and 16F628A.

Custom Computer Services, Inc. C Compiler Reference Manual. 2007.

Microchip. MPLAB C30 C Compiler Users Guide. 2005.

Páginas web:

www.wikipedia.com

www.microchip.com

www.ccsinfo.com

www.webelectronica.com.ar

www.cadsoft.de

www.labcenter.com

www.wgeosoft.ch/software/default2.html

www.electronicafacil.net

www.electronica2000.com

www.comunidadelectronicos.com

www.unicrom.com

www.electronicaestudio.com

www.picmania.garcia-cuervo.net/redpic.php

www.davisco.com.pe/copperweld.php

www.actiweb.es/pronergy/pagina4.html

www.crovisa.com/espanol/acdcint.htm

www.cobra.com/index.cfm

www.donrowe.com

www.electrocable.com