ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACION DE TECNOLOGOS

CONSTRUCCIÓN DE UN TELUROMETRO DIGITAL DE 3 PUNTOS PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE INSTALACIONES A TIERRA

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DELTÍTULO DE TECNÓLOGO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

CRUCERIRA REINA EDISON DANIEL

edanisk8@hotmail.com

NIETO SAENZ SOFÍA ESTEFANÍA

sofianieto64@yahoo.com

DIRECTOR: ING. PABLO LOPEZ

pablo.lopez@epn.edu.ec

Quito, Agosto 2013

DECLARACIÓN

Nosotros, Edison Daniel Crucerira Reina y Sofía Estefanía Nieto Sáenz, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

_____ _____

Edison Daniel Crucerira R. Sofía Estefanía Nieto S.

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Edison Daniel Crucerira Reina y Sofía Estefanía Nieto Sáenz, bajo mi supervisión.

_____

Ing. Pablo López
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

A Dios por dejarme culminar otra etapa de mi vida ya que sin él no sería posible esto.

A mi padre José Ángel Crucerira quien siempre tuvo los mejores concejos para mí y a mi madre Hermelinda Reina quien ha sido la más incondicional de todas las personas.

Agradezco también a la Escuela Politécnica Nacional por darme la oportunidad de aprender y ayudarme a crecer profesionalmente.

A mis amigos por estar siempre conmigo en especial a José Bustos Y Silvia Quevedo porque ellos nunca me abandonaron en una situación difícil.

A mis hermanos Orlando. Adrián, Jairo, Edwin y mi hermana Yolanda por su apoyo.

A mis profesores por compartir sus conocimientos en especial a personas que marcaron mi etapa estudiantil como son el Dr. Augusto Carvajal, y al ing. Pablo López.

A todas las personas nombradas anteriormente así como las que han compartido un poco de su vida con este servidor les agradezco infinitamente.

Daniel Crucerira R.

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mi hermano Orlando Crucerira y mis dos hermanos políticos Jairo y Adrián Reina.

A Orlando por ser la persona más perseverante y segura que conozco.

A Jairo por ser la persona más buena y desinteresada.

A mi hermano Adrián por ser la persona más profesional y correcta que conozco.

Ya que ellos son las personas que me hacen tener ganas de superarme día tras día.

Daniel Crucerira R.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por estar junto a mí en todo momento y poner en mi camino a las personas adecuadas, que me han ayudado en mi crecimiento personal, y por brindarme las fuerzas necesarias para luchar día tras día por mis metas.

A mi familia y amigos por el apoyo y consejos, en especial a Stefany Acuña y Rubén Valle amigos incondicionales.

De manera especial al Ing. Pablo López por los consejos brindados no solo para la formación profesional si no también para la formación personal.

Sofía Nieto S.

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mis abuelitos, Víctor Sáenz y Piedad Paredes, que con su sabiduría y consejos han sido una guía y un apoyo.

A mi madre, Guadalupe Sáenz, que ha luchado día tras día por el bienestar mío y de mi hermano. Ha sido ejemplo de lucha y entrega.

Sofía Nieto S.

CONTENIDO

Introducción i

Resumen ii

Presentación iii

Capítulo1
Sistemas de puestas a tierra

1.1 Definiciones 1

1.2 Objetivos de las puestas a tierra 3

1.3 Funcionamiento 3

1.4 Elementos de una puesta a tierra 4

1.4.1 Electrodos 5
1.4.1.1 Resistencia del electrodo de tierra 5
1.4.1.1.1 Variación de la resistencia 8

1.4.1.2 Tipos de electrodos de tierra 8
1.4.1.2.1 Varilla Copperweld 8
1.4.1.2.2 Perfil 9
1.4.1.2.3 Placa 10
1.4.1.2.4 Rehilete 10

1.4.1.3 Configuraciones de electrodos de tierra 11
1.4.1.3.1 Malla 11
1.4.1.3.2 Anillo 12
1.4.1.3.3 Núcleo 12
1.4.1.3.4 Pozo plano 13
1.4.1.3.5 Planchas 13

1.4.2 Conductor o Cable 14

1.4.3 Conectores. 14

1.4.4 Compuestos Químicos 15
1.4.4.1 Bentonita 15
1.4.4.2 Cloruro de sodio y carbón vegetal 16
1.4.4.3 Thor-gel 16
1.4.4.2 Formas de utilizar los químicos 16

1.5 Factores que afectan la resistividad del terreno 18

1.5.1 Naturaleza del terreno 18
1.5.2 Humedad 19
1.5.3 Temperatura 19
1.5.4 Salinidad 19
1.5.5 Estratigrafía 19
1.5.6 Compactación 19
1.5.7 Variaciones estacionales 19
1.6 Tipos de puestas a tierra 20
1.6.1 Tierra de protección 20
1.6.2 Tierra de servicio 20
1.6.3 Tierra de referencia 20
1.6.4 Tierra para sistemas eléctricos 21
1.6.5 Tierra para equipos eléctricos 21
1.6.6 Tierra en señales electrónicas 21
1.6.7 Tierra para protección atmosférica 22
1.7 Estándares y normas 23

Capítulo2
Medidores de puestas a tierra

2.1 Definición 25
2.2 Funcionamiento 25
2.2.1 Procedimiento de medida 27
2.2.2 Posición de los electrodos auxiliares 27
2.2.2.1 Método 62% 29
2.2.2.2 Sistemas de electrodos múltiples 31
2.2.2.3 Método simplificado 32
2.2.3 Problemas que presenta la medición 32
2.2.3.1 Dificultad para clavar las varillas auxiliares 33
2.2.3.2 Ruido excesivo 35
2.2.3.3 Resistencia excesiva de la barra auxiliar 36
2.3 Tipos de medidores 37

2.3.1 Medidor de 4 puntos 37

2.3.2 Medidor de pinza 38

2.3.3 Medidor de 3 puntos 39

Capítulo3
Descripción de los componentes electrónicos

3.1 Amplificadores Operacionales 41

3.1.1 Zonas de funcionamiento 42

3.1.2 Realimentación 43
- 3.1.2.1 Lazo Abierto 43
- 3.1.2.2 Realimentación positiva 43
- 3.1.2.2 Realimentación negativa 43

3.1.3 Aplicaciones básicas con amplificadores operacionales 44
- 3.1.3.1 Aplicaciones lineales 44
  - 3.1.3.1.1 Amplificador inversor 44
  - 3.1.3.1.2 Amplificador no inversor 45
  - 3.1.3.1.3 Amplificador unitario 45
  - 3.1.3.1.4 Amplificador sumador 45
  - 3.1.3.1.5 Integrador 46
  - 3.1.3.1.6 Derivador 46
- 3.1.3.2 Aplicaciones no lineales 47
  - 3.1.3.2.1 Amplificador comparador 48
  - 3.1.3.2.2 Amplificador comparador Smith 48

3.2 Transistor Bipolar de Juntura 49

3.2.1 Polarización del transistor 50

3.2.2 Curvas características 52

3.2.3 Regiones de funcionamiento 53
- 3.2.3.1 Región Activa Normal 53
- 3.2.3.2 Región de corte 53
- 3.2.3.3 Región de saturación 54

3.3 El LED 54

3.4 El LCD 56

3.4.1 Memoria del LCD 57

3.4.1.1 DD RAM 57
3.4.1.2 CG RAM 58

3.4.2 Pines de control del LCD 59

3.5 Microcontrolador PIC16F870 59

3.5.1Procesador (CPU) 62

3.5.2 Memorias 62
3.5.2.1 Memoria del programa 63
3.5.2.2 Memoria de datos 63

3.5.3 Líneas de entrad / salida 65

3.5.4 Módulos para controlar periféricos 65

3.5.5 Características del PIC16F870 66

3.5.6 Programación del PIC 67

Capítulo4
Construcción del telurometro

4.1 Esquema eléctrico 69

4.1.1Fuente de Alimentación 71
4.1.1.1 Fuente de poder simétrica 71
4.1.1.2 Circuito indicador de carga de batería 72
4.1.1.3 Cargador de batería 73

4.1.2 Generador de señal de prueba 73
4.1.2.1 Generador de onda cuadrada 73
4.1.2.2 Generador de corriente contante 77
4.1.2.3 Selector automático de escalas 78

4.1.3 Medidor de voltaje digital 79
4.1.3.1 Receptor amplificador 80
4.1.3.2 Filtro de 60Hz 81
4.1.3.3 Rectificador 82
4.1.3.4 Circuito Digital 84

4.2 Programación del PIC 16F870 85

4.2.1 Lenguaje C 85
4.2.1.1 Ventajas 85
4.2.1.2 Características 86
4.2.1.3 Principales instrucciones 87

4.2.1.3.1 Asignación 87
4.2.1.3.2 Entrada de datos 87
4.2.1.3.3 Salida de datos 88
4.2.1.3.4 Decisión 88
4.2.1.3.5 Ciclo controlado por una variable 88
4.2.1.3.6 Condicional 89
4.2.1.3.7 Do…while 89
4.2.1.3.8 Funciones 89

4.2.2 MikroC PRO 90
4.2.2.1 Estructura básica de un programa en MikroC 91

4.2.3 Diagrama de flujo del programa 93

4.3 Pruebas y calibración 95

4.3.1Simulación 95
4.3.1.1 ISIS Proteus 95
4.3.1.2 ARES Proteus 99
4.3.1.3 Protoboard 101
4.3.2 Placa Impresa 103
4.3.3 Pruebas y resultados 104
4.4 Costos 105

Capítulo5
Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones 108
5.2 Recomendaciones 109

Referencias Bibliográficas 110

Anexos

1-A Estructura interna del PIC 111
1-B Hoja de datos del PIC16F870 112
1-C Mapa de registros de PIC16F870 113
2-A LCD 8x1 22mm 114
3-A Operacional NE-5532 115
3-B Operacional NE-5532 116

3-C Operacional NE-5532 117
4-A Programa 118
5-A Manual de usuario 127

LISTA DE TABLAS

1.1 Valores de resistividad de algunos materiales 6
1.2 Valores medios de resistividad de algunos suelos 7
1.3 Como obtener la resistencia de un electrodo 7
1.4 Porcentaje de reducción del valor resistivo 11
1.5 Valores de resistividad de algunos tipos de terreno 18
1.6 Dimensiones mínimas de los electrodos 24
2.1 Distancia a los electrodos auxiliares 31
2.2 Sistema de electrodos múltiples 32
3.1 Longitudes de onda de algunos compuestos de Galio 56
3.2 Características de los LED 56
3.3 Registros Internos 60
4.1 Tipos de datos más comunes en MikroC PRO 87
4.2 Tabla de mediciones 105
4.3 Análisis de costos 105

LISTA DE GRAFICOS

1.1 Funcionamiento puesta a tierra 4
1.2 Detalle de instalación de electrodo de tierra tipo varilla Copperweld 9
1.3 Electrodo tipo perfil 9
1.4 Electrodo tipo placa 10
1.5 Electrodo tipo rehilete 10
1.6 Topología Malla 11
1.7 Topología Anillo 12
1.8 Topología núcleo 12
1.9 Electrodo horizontal 13
1.10 Puesta a tierra mediante placas 14
1.11 Conectores 15
1.12 Método 1 de utilizar compuestos químicos 17
1.13 Método 2 de utilizar compuestos químicos 17
2.1 Principio de funcionamiento del telurómetro 26
2.2 Posición de los electrodos auxiliares 27
2.3 Áreas de resistencia efectiva sobrepuesta 28
2.4 Áreas de resistencia efectiva sin sobreposición 29
2.5 Método 62% 30
2.6 Método 62% 30
2.7 Método simplificado 32
2.8 Rejillas Metálicas 33
2.9 Chapa de cobre 34
2.10 Ruido excesivo 35
2.11 Cables auxiliares en paralelo 35
2.12 Cables blindados 36
2.13 Resistencia excesiva de la barra 37
2.14 Medidor de 4 puntos 38
2.15 Medidor de pinza 39
3.1 Amplificador operacional 41
3.2 Características amplificador operacional 42

3.3 Amplificador inversor 44
3.4 Amplificador no inversor 45
3.5 Amplificador unitario 45
3.6 Amplificador sumador 46
3.7 Amplificador integrador 46
3.8 Amplificador derivador 46
3.9 Tensión de salida 47
3.10 Amplificador comparador 48
3.11 Amplificador comparador Smith 49
3.12 Transistor Bipolar de Juntura 50
3.13 Transistor NPN 50
3.14 Transistor PNP 51
3.15 Corrientes en los terminales del TBJ 52
3.16 Curva característica del TBJ 52
3.17 Transistor en corte 54
3.18 Transistor en saturación 54
3.19 Estructura del diodo LEDs 55
3.20 Matriz de representación de caracteres 57
3.21 Caracteres visibles en el display 58
3.22 Mapa de la memoria GC RAM 58
3.23 Carácter definido por el usuario y los valores a almacenar 59
3.24 Interfaz del LCD con un sistema de control 59
3.25 Microcontrolador 61
3.26 Arquitectura Harvard 63
3.27 Registro TRISB 64
3.28 PIC16F870 67
3.29 Pasos para programar un PIC 68
4.1 Regulador de voltaje 71
4.2 Indicador de estado de batería 72
4.3 Generador de onda 74
4.4 Sincronismo de la onda cuadrada con el capacitor C1 75
4.5 Forma de onda en la salida del amplificador operacional U1-A 75
4.6 Onda final de la etapa 1 76

4.7 Fuente de corriente 78
4.8 Selector automático de escalas 79
4.9 Receptor Amplificador 80
4.10 Filtro de 60Hz 81
4.11 Amplificador U2-B 82
4.12 Rectificador 83
4.13 Amplificador no inversor 83
4.14 Circuito digital formado por el PIC16F870 y un LCD 84
4.15 Entorno de desarrollo de MicroC PRO 91
4.16 Ventana de edición del PIC en Proteus 96
4.17 Señal a la salida del borne “C” 97
4.18 Medición de la corriente a la salida en el borne“C” 97
4.19 Señal con ruido en el borne “P” 98
4.20 Señal después del filtro 98
4.21 Visualización de la resistencia de puesta a tierra en el display 99
4.22 Esquema del circuito impreso en ARES 100
4.23 Visualización de la placa en tres dimensiones 101
4.24 Circuito montado en el Protoboard 102
4.25 Pruebas realizadas en el Protoboard 102
3.26 Placa impresa con los elementos 103
3.27 Placa impresa, pistas 104

INTRODUCCION

En los diseños de instalaciones en edificaciones y viviendas actualmente se considera una elemento fundamental los sistemas de puestas a tierra, ya que estos son un medio de seguridad.

Ante la presencia de fallas eléctricas e inducciones generadas por descargas atmosféricas, fallas en el aislamiento de conductores o corrientes transitorias peligrosas; los sistemas de puestas a tierra se encargan de disipar estas corrientes y así proteger tanto a las vidas humanas como a los equipos.

Es por ello que para asegurar un buen sistema de puesta a tierra se utilizan equipos que ayudan a verificar que la instalación cumpla con su objetivo, uno de estos equipos es el medidor de puestas a tierra o telurómetro.

En este trabajo se hace referencia al telurómetro de 3 puntos, utilizado para medir el valor de la resistencia de los sistemas de puesta a tierra y verificar que se cumplan con las normas de construcción.

Este equipo actualmente se lo importa no hay uno de fabricación nacional, por lo que en este documento se explica sus características, principio de funcionamiento y demás información necesaria para la fabricación del mismo.

Con este trabajo se piensa contribuir para el desarrollo de nuevos equipos y a la fabricación de equipos a nivel nacional, que resultan más económicos y accesibles a los usuarios.

RESUMEN

Los sistemas de puestas a tierra, son conexiones realizadas mediante elementos conductores hacia el planeta tierra. Por medio de estas instalaciones se disipan las corrientes transitorias peligrosas que pueden causar daños a equipos y a personas. Una buena instalación a tierra es aquella con resistencia baja, existen algunos factores que pueden variar este valor como son la naturaleza del terreno, la humedad, la compactación, entre otros; así como también hay diferentes métodos para mejorar el valor de la resistencia como son la utilización de sustancias químicas y con el aumento del número de electrodos.

Para verificar que el valor de la resistencia de la instalación sea bajo, se utiliza un telurómetro. Existen varios tipos pero el más conocido es el de 3 puntos, que utiliza el método de caída de potencial. Con este método, el medidor inyecta una corriente por medio de una varilla a tierra, esta fluye a través de la tierra y la segunda varilla censa el valor de la caída de potencial generado por la resistencia de la puesta a tierra; entonces conocidos la corriente y el voltaje se puede saber el valor de la resistencia aplicando la ley de Ohm.

En este documento se detalla la construcción de este equipo así como son varios elementos electrónicos utilizados, como amplificadores operacionales, transistores, el LCD, microcontrolador PIC16f870, entre otros.

Se detalla el esquema eléctrico dividido en etapas como son el generador de onda, la fuente de corriente, las escalas controladas por optoacopladores, el receptor de la señal, el filtro de 60Hz, el circuito analógico digital, la alimentación que esta dada por 2 baterías recargables de 12V. Se detalla en general lo necesario para la construcción del equipo.

Llegando a la conclusión de que es factible la elaboración de este equipo a nivel nacional a un costo accesible.

PRESENTACION

Este proyecto tiene por objeto presentar un equipo digital de medición de resistencias de puesta a tierra, utilizando un microcontrolador P16F870, que se encarga de controlar el funcionamiento del equipo; presentado en los siguientes capítulos.

En el primer capítulo se revisa algunas definiciones de las puestas a tierra, su funcionamiento, tipos de instalaciones de puestas a tierras, sus objetivos, factores que influyen en una instalación a tierra, elementos que las componen y algunas normas necesarias para la elaboración de puestas a tierra.

En el capítulo dos se explica el principio de funcionamiento del equipo que se utiliza para medir la resistencia de una instalación a tierra conocido como telurómetros, sus características principales, clases de telurómetros, métodos de medición, solución de problemas frecuentes al realizar las mediciones.

En el siguiente capítulo se realiza una descripción de los principales componentes electrónicos del equipo como son: amplificador operacional transistor (TBJ), diodos emisores de luz (LED), pantalla de cristal líquido (LCD) y el microcontrolador PIC16F870.

En el capítulo cuatro explica la construcción del telurómetro digital de 3 puntos, la selección de los elementos adecuados y la programación del PIC16F870 que controla el equipo.

El capítulo cinco contiene las conclusiones y recomendaciones que se obtuvo al concluir este proyecto y que pueden servir de referencia para otros proyectos.

En la parte final se encuentran los anexos que describen de manera gráfica lo explicado en cada capítulo, además de la bibliografía.

CAPITULO 1

SISTEMAS DE PUESTAS A TIERRA

1.1. DEFINICIONES[1]

Sistema de tierra[2]

Es 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 la tierra.

Toma de Tierra.

Es un electrodo enterrado en el suelo con una terminal que permita unirlo a un conductor es una toma de tierra. Este electrodo puede ser una barra de cobre, grafito, una varilla o tubo de hierro y en general cualquier estructura que esté en contacto con la tierra y que tenga una resistencia a tierra dentro de ciertos límites.

Conexión a Tierra.

Es la unión entre un conductor y el sistema de tierra.

Resistividad de Tierra.[3]

Es la resistencia específica o unitaria del suelo. Se simboliza con la letra griega ρ (Rho) y se expresa en ohmios por metro (Ω.m). Se define como la resistencia que presenta 1 m3 de tierra, y resulta de un interés importante para determinar en donde se puede construir un sistema de puesta a tierra.

Resistencia a Tierra.

La resistencia a tierra se puede definir como la resistencia que ofrece un sistema de tierra al paso de la corriente eléctrica. Este valor de resistencia depende de la

[1] http://hugarcapella.files.wordpress.com/2010/03/manual-de-puesta-a-tierra.pdf
[2] Definición de la IEEEhttp://www.analfatecnicos.net/archivos/08.PuestaATierra.pdf
[3] http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2192/3/Capitulo%20II.pdf

resistividad del terreno, las características físicas del electrodo a tierra (diámetro, área, longitud, etc.), también de la longitud y el área de los conductores.
El valor de resistencia a tierra es la resistencia óhmica entre un conductor puesto a tierra y un punto a potencial cero.

Tierra Física.

Se dice que un conductor se conecta a una tierra física cuando se une sólidamente a un sistema a tierra, que a su vez está directamente conectado a la toma de tierra.

Neutro

El neutro lo usamos como regreso de nuestra línea de alimentación o en otras palabras es por donde pasa la corriente de regreso a los postes de suministro eléctrico.

Neutro Aislado.

Neutro aislado es el conductor de una instalación que está conectado a tierra a través de una impedancia. La función de esta impedancia es limitar la corriente de corto circuito que circularía por el conductor o por las partes del equipo que estén conectadas a tierra y disminuir así los posibles daños.

Neutro de Trabajo.

Es aquel que se requiere para la conexión de un consumidor alimentado por una sola fase. La sección transversal de este neutro y de la fase deben ser iguales ya que conducen la misma corriente.

Neutro de un sistema.

Es un potencial de referencia de un sistema que puede diferir del potencial de la tierra y que puede no existir físicamente. Por ejemplo en una interconexión de transformadores tipo delta no existe neutro físico, pero si un neutro de referencia.

Neutro Flotante.

Se le llama así al neutro de una instalación que no se conecta a tierra. Dependiendo de las condiciones de operación puede existir una diferencia de potencial entre este neutro y tierra.

1.2. OBJETIVOS DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

- Preservación de la vida humana, equipos, instalaciones y bienes en general, al facilitar y garantizar la correcta operación de los dispositivos de protección
- Proporcionar el punto de descarga para las carcasas, armazón o instalaciones. Asegurando que estén siempre a potencial de tierra, aun en el caso de fallar en el aislamiento.
- Habilitar la conexión a tierra en sistemas con neutro a tierra.
- Disipar la corriente asociada a descargas atmosféricas y limitar las sobre tensiones generadas.

1.3. FUNCIONAMIENTO

Los sistemas de puesta a tierra al ofrecer bajas resistencias al paso de la corriente, permiten desviar hacia la tierra y que se disipen corrientes no deseadas, producidas por descargas atmosféricas, sobretensiones, etc.

Una conexión a tierra debe ofrecer una trayectoria continua y permanente, debe tener una capacidad de transporte suficiente como para tolerar la corriente de falla más alta que pueda producir en el punto protegido y debe tener una impedancia lo suficiente baja como para limitar los potenciales respecto a tierra dentro de límites de seguridad y facilitar el accionamiento de los elementos de protección.

Figura 1.1 Funcionamiento puesta a tierra[4]

1.4. ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

Cada elemento de un sistema de puesta a tierra debe tener las siguientes características:

- Resistencia a la corrosión, para retardar su deterioro en el ambiente donde se instalen
- Conductividad eléctrica, de tal manera que sustancialmente no contribuya con diferencias de potencial en la red.
- Capacidad de conducción de corriente, suficiente para soportar los esfuerzos térmicos durante las condiciones más adversas impuestas por la magnitud y duración de las corrientes de falla
- Resistencia mecánica, de tal manera que soporte los esfuerzos electromecánicos y el daño físico.

Los elementos usados para efectuar una instalación de puesta a tierra son los siguientes:

[4] http://puestaatierrauss.blogspot.com/

1.4.1. ELECTRODOS[5]

Es un cuerpo metálico conductor desnudo que va enterrado y su función es establecer el contacto con la tierra física.

Estas son varillas que sean resistentes a la corrosión por las sales de la tierra, la humedad y la acción química del terreno, tal como el cobre, el hierro galvanizado, hierro sin galvanizar con protección catódica o fundición de hierro; que van enterradas a la tierra para servirnos como el elemento que disipara la corriente en la tierra en caso de alguna falla de nuestra instalación o de alguna sobrecarga, las varillas más usadas para este tipo de instalaciones son las varillas de cobre, marca copperweld ya que son las que cumplen con las mejores características.

1.4.1.1. Resistencia del electrodo de tierra

La resistencia de tierra de un electrodo depende de sus dimensiones, de su forma y de la resistividad del terreno en el que se establece. Esta resistividad varía frecuentemente de un punto a otro del terreno, y varía también con la profundidad. Como referencia la Tabla 1.1, muestra unos valores de la resistividad para un cierto número de materiales.

MATERIALES	***RESISTIVIDAD EN OHM · METRO***
Sal gema	1013
Cuarzo	109
Arenisca, guijarros de río, piedra triturada	107
Granitos compactos	106 - 107
Rocas compactas, cemento ordinario, esquistos	106
Carbón	105 - 106
Rocas madres, basaltos, diabases, cascajos y granitos antiguos (secos)	104

[5] http://hugarcapella.files.wordpress.com/2010/03/manual-de-puesta-a-tierra.pdf

Guijarros de río y cascajo piedra triturada húmedos	5 x 103
Terrenos rocosos, calizos (jurásico) secos	3 x 103
Granitos antiguos (húmedos)	1,5 a 2 x 103
Yeso seco	103
Arena fina y guijarros (secos)	103
Grava y arena gruesa (seca)	102 - 103
Arena arcillosa, grava y arena gruesa húmeda	5 x 102
Suelos calcáreos y rocas aluvionarias	3 a 4 x 102
Tierra arenosa con humedad	2 x 102
Barro arenoso	1,5 x 102
Margas turbas, humus muy secos	102
Margas y humus secos	50
Arcillas (secas)	30
Margas, arcillas y humus húmedos	10
Arcilla ferrosas, piritosas	10
Esquistos grafíticos (húmedos y secos)	Menos de 5
Agua de mar	1
Soluciones salinas	0,1 - 0,001
Minerales conductores	0,01
Grafitos	0,0001

Tabla 1.1 Valores de resistividad de algunos materiales[6]

Con el fin de obtener una primera aproximación de la resistencia de tierra, los cálculos pueden efectuarse utilizando los valores medios indicados en la Tabla1.2.

[6]http://personal.telefonica.terra.es/web/eb4df/esquemas/tierra.htm

Naturaleza del terreno	**Valor medio de la resistividad en Ohm*m**
Terrenos cultivables y fértiles, terraplenes compactos y húmedos	50
Terraplenes cultivables poco fértiles y terraplenes	500
Suelos pedregosos desnudos, arenas secas permeables	3.000

Tabla 1.2 Valores medios de resistividad de algunos suelos

Bien entendido que los cálculos efectuados a partir de estos valores no dan más que un valor muy aproximado de la resistencia del electrodo. La medida de resistencia de tierra de este electrodo puede permitir, aplicando las fórmulas dadas en la Tabla 1.3, estimar el valor medio local de la resistividad del terreno; el conocimiento de este valor puede ser útil para trabajos posteriores efectuados en unas condiciones análogas.

Electrodo	**Resistencia de la tierra en ohm**
Placa enterrada	_
Pica vertical	_
Conductor enterrado horizontalmente	__

Tabla 1.3. Como obtener la resistencia de un electrodo

R, resistividad de terreno (ohm*m)

P, perímetro de la placa (m)

L, longitud de la pica del conductor (m)

1.4.1.1.1. Variación de la resistencia

- **En función a su profundidad**

La norma de instalaciones eléctricas especifica que la profundidad mínima de enterrado de una varilla debe ser de 2.4 metros.

Para varillas de acero de sección circular, se requiere que su diámetro no sea menor a 1.59 cm y para varillas de cobre o de acero recubiertas de cobre el diámetro mínimo debe de ser de 1.27 cm, para terrenos duros como el tepetate es recomendable varillas con un diámetro de 1.91 cm.

- **En función del diámetro:**

Ciertamente, la resistencia de un electrodo de sección circular se reduce al incrementarse su diámetro, sin embargo tiene un límite en el que ya no es recomendable aumentarlo debido a que el valor de la resistencia del terreno permanece prácticamente constante.

1.4.1.2. Tipos de electrodos de tierra[7]

Para realizar un sistema de puesta a tierra se necesitan electrodos de tierra, los cuales existen de muchos tipos, algunos mejores que otros en ciertas características como el costo, entre otras.

1.4.1.2.1. Varilla Copperweld

Esta varilla es una de las más usadas, ya que es de bajo costo de material. Este tipo de electrodo esta hecho de acero y recubierto de una capa de cobre, su longitud es de 1.8 metros y un diámetro de 16 milímetros. Esta varilla se debe enterrar en forma vertical y a una profundidad de por lo menos 6 cm.

También se acepta que la varilla vaya enterrada en forma horizontal, siempre y cuando sea en una zanja de mínimo 80 cm de profundidad, pero no es muy recomendable. La varilla Copperweld no tiene mucha área de contacto, pero sí

[7] http://www.ruelsa.com/notas/tierras/pe80.html#1.4

una longitud considerable, con la cual es posible un contacto con capas de tierra húmedas, lo cual se obtiene un valor de resistencia bajo.

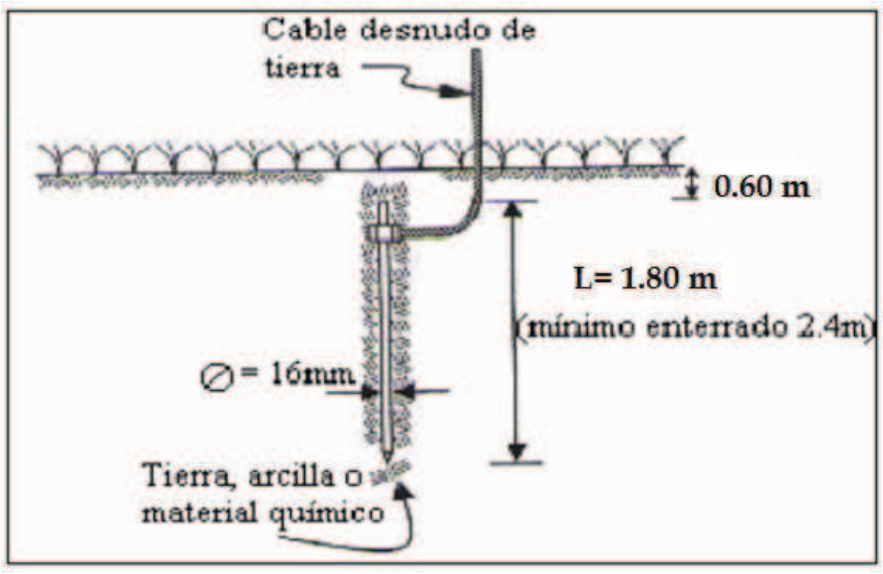


Figura 1.2 Detalle de instalación de electrodo de tierra tipo varilla Copperweld

1.4.1.2.2. Perfil

Este tipo de electrodo de tierra tiene un área de contacto más grande que la varilla copperweld, por lo que no necesita mucha longitud. Este electrodo se forma por un perfil de acero galvanizado, y puede ser en forma de cruz, de ángulo recto o en te.[8]

Figura 1.3 Electrodo tipo perfil

[8]http://hugarcapella.files.wordpress.com/2010/03/manual-de-puesta-a-tierra.pdf

1.4.1.2.3. Placa.

Debido a que este electrodo tiene una gran área de contacto es recomendado en terrenos que tengan alta resistividad. Son placas de cobre o hierro, de al menos 4mm de grosor, y una superficie útil nunca inferior a 0.5 m2. Se colocan enterradas en posición vertical, de modo que su arista superior quede, como mínimo, a 50 cm bajo la superficie del terreno.

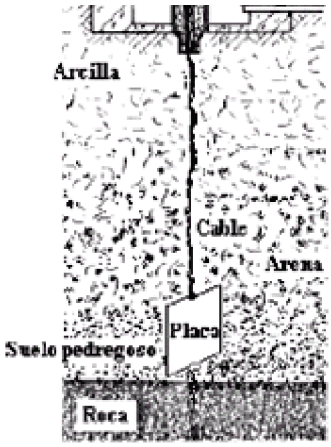


Figura 1.4. Electrodo tipo placa

1.4.1.2.4. Rehilete.

Este electrodo se forma de dos placas de cobre cruzadas, las cuales van soldadas. Este tipo de electrodo es bueno para terrenos donde es difícil excavar, ya que tiene mucha área de contacto.

Figura 1.5 Electrodo tipo rehilete

1.4.1.3. Configuraciones de electrodos de tierra

Un solo electrodo	100%
Dos electrodos en línea	-55%
Tres electrodos en línea	-38%
Tres electrodos en triángulo	-35%
Cuatro electrodos en simetría	-28%
Ocho electrodos en simetría	-16%

Tabla 1.4. Porcentaje de reducción del valor resistivo en función del tipo de configuración

1.4.1.3.1. Malla.

La malla se hace armando una red de conductores de cobre desnudos, esta malla se puede mejorar con algunos electrodos. Esta malla es muy utilizada en las subestaciones eléctricas, ya que reduce el riesgo de descargas.

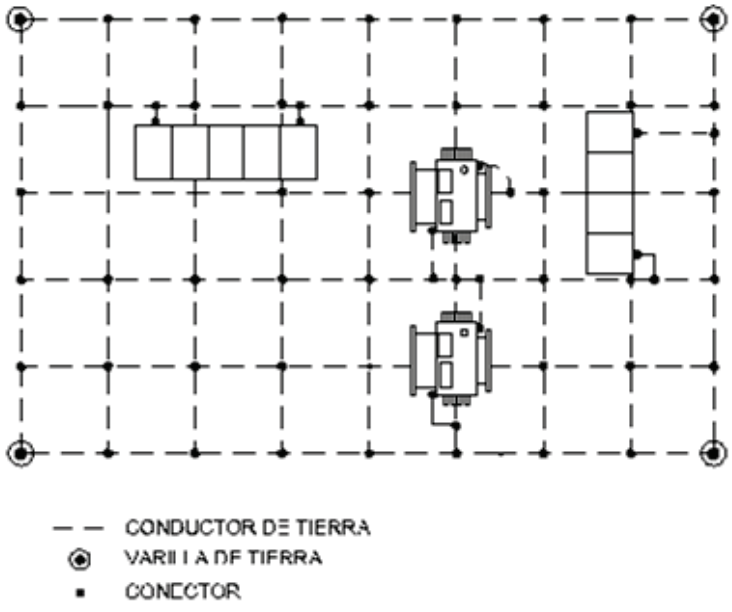


Figura 1.6. Topología Malla

1.4.1.3.2. Topología anillo

Ideal para sistemas donde se cuenta con suficiente espacio y terrenos naturales. Construidos con electrodos de cobre enterrados e interconectados mediante cable de cobre No 2/0 y soldaduras exotérmicas, presenta una muy baja resistencia.

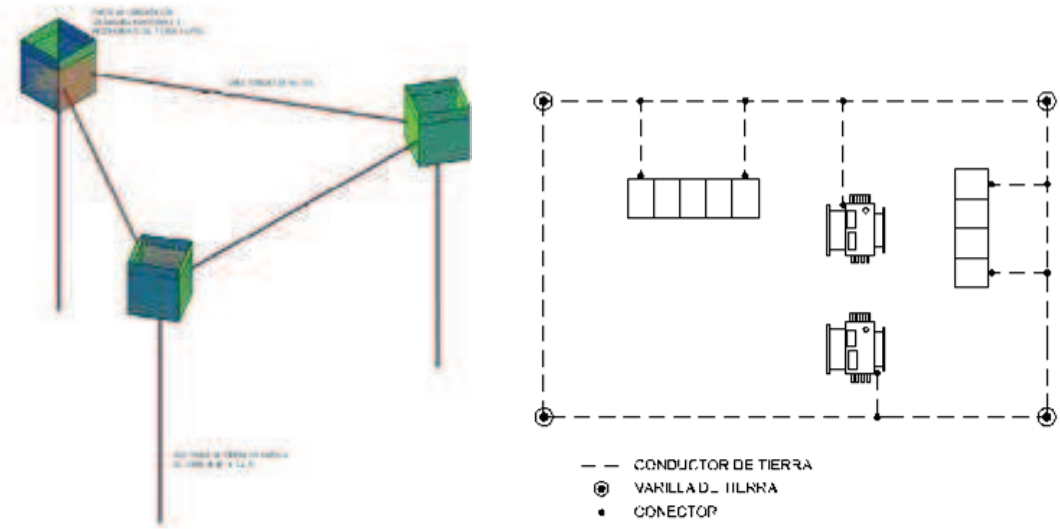


Figura 1.7. Topología Anillo

1.4.1.3.3. Topología núcleo

Este sistema ha sido diseñado para situaciones en las cuales se dificulta o imposibilita la implementación de un sistema anillo, dadas las condiciones del terreno, es decir, casos como ubicaciones urbanas con suelo en concreto. De igual manera, este sistema presenta una óptima efectividad.

Figura 1.8. Topología núcleo

1.4.1.3.4. Topología pozo plano

Existen terrenos rocosos en los cuales se debe construir una puesta a tierra que proteja efectivamente los equipos, no obstante dicha condición impide enterrar electrodos o excavar profundamente. De este modo, esta topología se presenta como la solución ideal ante la mencionada situación.

El electrodo es enterrado de forma horizontal en una zanja de 76 cm mínimo de profundidad, se pueden hacer varias configuraciones, pero la más utilizada es la línea recta. Su principal inconveniente es que la excavación es muy costosa.[9]

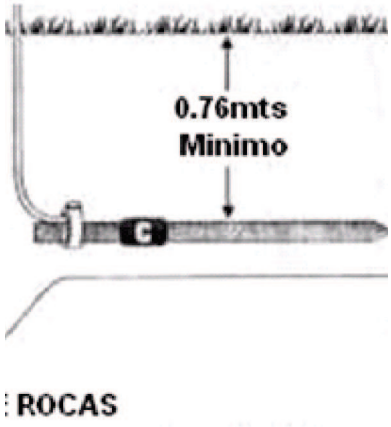


Figura 1.9. Electrodo horizontal

1.4.1.3.5. Puesta a tierras mediante planchas

Las puestas a tierra mediante placas-estrella, planchas o similares, tienen un sistema de construcción parecido, basado en la abertura de un pozo o zanja de 2 a 3 m3 y relleno mediante tierra vegetal y otros aditivos para disminuir la resistividad del terreno (tratamiento Ledoux).

Los valores de resistencia eléctrica de puesta a tierra obtenidos en estas instalaciones pueden considerarse como aceptables. Debido a la falta de compactación del suelo, estos valores tienden a mejorar un tiempo después de su

[9] http://metalcoltda.com/Sistemas_puesta_tierra.html

instalación, manteniéndose estables durante un plazo que oscila entre 5 y 10 años.[10]

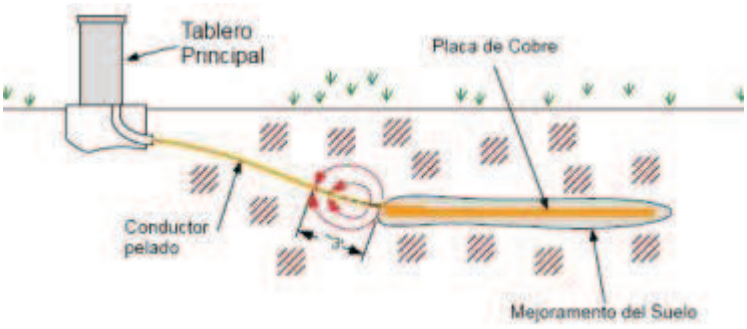


Figura 1.10. Puesta a tierra mediante plcas

1.4.2. CONDUCTOR O CABLE

Es aquel conductor de un circuito que se conecta a tierra intencionalmente. Este conductor garantiza la conexión física entre las partes metálicas expuestas a alguna falla y la tierra. Por medio de este conductor circula la corriente no deseada hacia la tierra

Debe procurarse que este cable no sea seccionado y en caso de ser necesario debe preferentemente ser soldado para poder asegurarse de su contacto y continuidad del sistema de conexión, pero hay que aclarar que no se puede usar cualquier soldadura sino que debe usarse soldadura exotérmica, ya que al calentar el cobre del conductor este puede dañarse y ya no tendría un buen contacto con la soldadura que se le coloque.

Otra cosa importante sobre este conductor es que debe procurarse usar un cable desnudo para que todas las partes metálicas de la instalación queden conectadas a tierra. En el caso de que se use un cable con aislante este debe ser color verde para poder distinguirlo de los otros cables.

1.4.3. CONECTORES

Los conectores de conductores de puesta a tierra con los electrodos pueden ser del tipo de soldadura exotérmica, conectores a presión, abrazaderas u otros

[10]http://www.procainsa.com/web/index.php?Itemid=31id=22option=com_contenttask=view

medios aprobados. Y no deben tener soldaduras con materiales de puntos de baja fusión (estaño, plomo, etc.) Las abrazaderas deben ser adecuadas para el número y tipo de conductores. Además, deben de ser compatibles con los materiales de los conductores y los electrodos de puesta a tierra, y cuando se usen enterradas, deben ser del tipo apropiado.

Figura 1.11.Conectores

1.4.4. COMPUESTOS QUIMICOS

El problema de lograr una resistencia baja en la roca así como en otros suelos de alta resistividad, está asociada con el material en contacto con el electrodo y la compactación que éste recibe al rellenar el agujero.

El relleno ideal debe compactarse fácilmente, ser no corrosivo y a la vez buen conductor eléctrico. La bentonita entre otros compuestos como el sulfato de magnesio o de sulfato de cobre, o de compuestos químicos patentados (THOR GEL, GEM, etc.) cumple con esos requisitos.

1.4.4.1. Bentonita

Las bentonitas molidas retienen las moléculas del agua , pero la pierden con mayor velocidad con la que la absorben debido a la sinéresis provocada por un exiguo aumento en la temperatura ambiente, al perder el agua pierden conductividad , elevándose la resistencia del pozo.

La bentonita es una arcilla consistente en el mineral montmorillonita, un silicato de aluminio, y tiene la particularidad de absorber hasta cinco veces su peso de agua

y de hincharse hasta 13 veces su volumen seco. Y tiene una resistividad de 2.5 ohm−m con humedad del 300%.

1.4.4.2. Cloruro de sodio y carbón vegetal

El cloruro de sodio forma una solución verdadera muy conductiva que se precipita fácilmente junto con el agua; si bien es cierto que el cloruro de sodio disuelto en agua no corroe al cobre (por ser un material noble) no es menos cierto que la presencia de una corriente eléctrica convertirá al sistema en una celda electrolítica con desprendimiento de cloro y formación de hidróxido de sodio en cuyo caso ya empieza la corrosión del cobre.[11]

1.4.4.3. Thor-gel

Es un compuesto químico complejo que se forma cuando se mezclan en el terreno las soluciones acuosas de sus 2 componentes, convirtiéndose en un excelente conductor eléctrico.

Tiene una gran atracción por el agua, de modo que puede aprisionarla manteniendo un equilibrio con el agua superficial que la rodea. Thor-gel no es corrosivo por lo que la vida media de la puesta a tierra con el este producto será de 20 a 25 años.[12]

1.4.4.4. Formas de utilizar los compuestos químicos

Una manera de utilizar los compuestos químicos es que junto a la varilla se colocan unos 30 cm de los compuestos. Este método es efectivo donde hay poco espacio como en banquetas o estacionamientos.

[11] http://puestaatierrauss.blogspot.com/
[12] http://puestaatierrauss.blogspot.com/

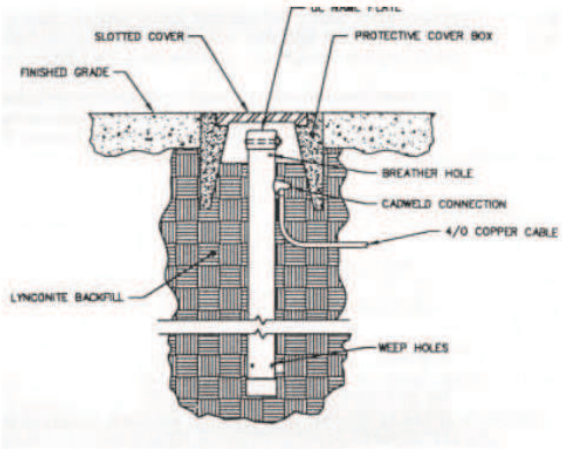


Figura 1.12. Método 1 de utilizar compuestos químicos

El otro método es excavar una zanja alrededor de la varilla y llenarla con unos 20 o 40kg de los compuestos químicos mencionados arriba, diluyendo con agua.

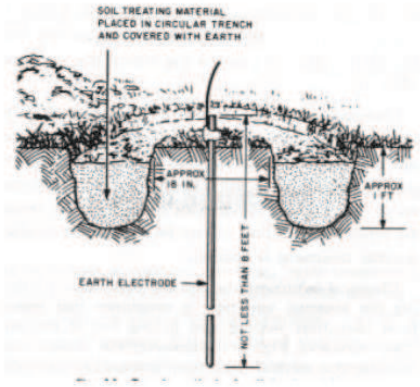


Figura 1.13. Método 2 de utilizar compuestos químicos

La primera carga dura unos 2 o 3 años y, las posteriores aún más, por lo que el mantenimiento es menos frecuente con el tiempo.

Por último, se puede utilizar uno de los cementos puzolánicos grafíticos conductores (EarthLink 101, etc.) de la siguiente manera: se cubre el cable del electrodo [4/0 AWG] colocado horizontalmente en una zanja de unos 75 cm de profundidad, con una capa de cemento seco de unos 5 cm de grueso y 50 cm de ancho. Con el tiempo, el cemento toma la humedad del suelo y endurece. Este método desarrollado en Japón en los 70s, tiene la ventaja que no requiere mantenimiento, es antirrobo, y por el tipo de material, no se corroen los cables

con el tiempo. Y, se adapta perfectamente a los lugares donde la capa superficial es poco profunda y de alta resistividad

1.5. FACTORES QUE AFECTAN LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO

En la resistividad del terreno influyen varios factores que pueden variarla, entre los más importantes se encuentran: naturaleza del terreno, humedad, temperatura, salinidad, estratigrafía, compactación y las variaciones estaciónales.

1.5.1. NATURALEZA DEL TERRENO:

Esta se refiere a que la resistividad varía según el tipo de terreno, es decir se tiene una resistividad más elevada en un terreno rocoso que en uno donde haya arena.

Terrenos pantanosos	de algunas unidades a 30
Limo	20 a 100
Humus	10 a 150
Turba húmeda	5 a 100
Arcilla plástica	50
Margas y arcillas compactas	100 a 200
Margas del jurásico	30 a 40
Arena arcillosa	50 a 500
Arena silícea	200 a 3.000
Suelo pedregoso cubierto de césped	300 a 500
Suelo pedregoso desnudo	1500 a 3.000
Calizas blandas	100 a 300
Calizas compactas	1000 a 5000
Calizas agrietadas	500 a 1000
Pizarras.	50 a 300
Rocas de mica y cuarzo	800
Granitos y gres procedente de alteración	1.500 a 10.000
Granitos y gres muy alterados	100 a 600

Tabla 1.5. Valores de resistividad de algunos tipos de terreno

1.5.2. HUMEDAD:

Aquí varía la resistividad según la humedad del terreno, mientras más húmedo sea éste más baja será la resistividad del terreno y mientras más seco este el terreno mayor será la resistividad de éste, es por esta razón que debe procurarse un terreno un poco más húmedo para obtener mejores valores

1.5.3. TEMPERATURA:

Aquí también la temperatura afecta en las mediciones ya que el calor crea una resistencia en el terreno, ya que es como si se tuviera un terreno seco. Y por el contrario a temperaturas muy bajas la poca humedad que hay en el terreno puede congelarse (solo la superficie del agua), y como se sabe el hielo no es un buen conductor por lo que se eleva la resistividad del terreno.

1.5.4. SALINIDAD:

Como se sabe el agua por sí sola no conduce la electricidad pero con sales se convierte en un excelente conductor, es por esto que mientras más sales contenga el terreno y este húmedo más bajo serán los valores de resistividad.

1.5.5. ESTRATIGRAFÍA:

Esta afecta por el exceso de rocas y piedras de tamaño considerable en un terreno ya que las rocas y piedras provocan una mayor resistencia en el terreno.

1.5.6. COMPACTACIÓN:

Aquí la resistividad disminuye mientras más compactado este un terreno ya que cuando no está bien compacto hay pequeños espacios de aire los cuales impiden que la corriente eléctrica se pueda esparcir por el terreno.

1.5.7. VARIACIONES ESTACIÓNALES:

Las estaciones también intervienen en el valor de la resistividad de un terreno ya que en una estación calurosa como lo es verano el terreno estará más seco que si

se tuviera una estación con muchas lluvias y por esto los valores cambiarían según la estación del año en que nos encontremos, es por esto que se recomienda hacer varias mediciones en diferentes estaciones del año para determinar la resistividad promedio.

Debido a la uniformidad del terreno, cuando se mide la resistividad del terreno en un punto, por cualquier método, el valor que se obtiene es llamado resistividad media o aparente. Por esto se recomienda hacer varias mediciones en el terreno en diferentes posiciones y después sacar un promedio de estas para obtener un valor de resistividad más exacto.

1.6. TIPOS DE PUESTAS A TIERRA

1.6.1. TIERRA DE PROTECCIÓN.

La puesta a tierra de protección sirve para evitar accidentes personales cuando se producen contactos directos o indirectos, esta protección se realiza gracias al conjunto de conexión, encerramiento, canalización, cable y varilla que se acoplan a un equipo eléctrico, para prevenir descargas por contactos con partes metálicas energizadas accidentalmente.

1.6.2. TIERRA DE SERVICIO.

La puesta a tierra de servicio es aquella que pertenece al circuito de la corriente de trabajo, sirve tanto para condiciones de funcionamiento normal como de falla

1.6.3. TIERRA DE REFERENCIA.

Se entiende por tierra de referencia a la tierra que se le asigna potencial de 0 voltios.

DE ACUERDO A SU APLICACIÓN LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA SON:

1.6.4. PUESTA A TIERRA PARA SISTEMAS ELÉCTRICOS.

El propósito de aterrar los sistemas eléctricos es limitar cualquier voltaje elevado que pueda resultar de rayos, fenómenos de inducción o de contactos no intencionales con cables de voltajes más altos. Esto se realiza mediante un conductor apropiado a la corriente de falla a tierra total del sistema, como parte del sistema eléctrico conectado al planeta tierra.

1.6.5. PUESTA A TIERRA DE LOS EQUIPOS ELÉCTRICOS.

Su propósito es eliminar los potenciales de toque que pudieran poner en peligro la vida y las propiedades, de forma que operen las protecciones por sobre corriente de los equipos.

Utilizado para conectar a tierra todos los elementos de la instalación que en condiciones normales de operación no están sujetos a tensiones, pero que pueden tener diferencia de potencial con respecto a tierra a causa de fallas accidentales en los circuitos eléctricos, así como los puntos de la instalación eléctrica en los que es necesario establecer una conexión a tierra para dar mayor seguridad, mejor funcionamiento y regularidad en la operación y en fin, todos los elementos sujetos a corrientes eléctricas importantes de corto circuito y sobretensiones en condiciones de falla.

Generalmente la resistencia a tierra en cualquier punto del sistema, no debe ser mayor a 10 Ohms. Para la conexión a tierra de los equipos, se instalan en los edificios, una barra de cobre electrolítico de dimensiones adecuadas, instaladas a unos 60 cm sobre el nivel de piso con una leyenda indicativa, que es de uso exclusivo para el sistema de fuerza en las concentraciones de tableros de cada piso.

1.6.6. PUESTA A TIERRA EN SEÑALES ELECTRÓNICAS.

Para evitar la contaminación con señales en frecuencias diferentes a la deseada. Se logra mediante blindajes de todo tipo conectados a una referencia cero o a tierra.

Puesta a tierra de protección electrónica. Para evitar la destrucción de los elementos semiconductores por sobre voltajes, se colocan dispositivos de protección de forma de limitar los picos de sobré tensión conectados entre los conductores activos y tierra.

La puesta a tierra de los equipos electrónicos y de control, consta de una serie de electrodos instalados remotamente al edificio. En el interior se instala una barra de cobre electrolítico de dimensiones adecuadas montada a 2.60 metros sobre nivel de piso terminado con una leyenda indicativa, que es de uso exclusivo para el sistema de electrónica.

La resistencia a tierra máxima en este sistema debe ser de unos 2 Ohms, cuando no se alcanza la resistencia deseada, se instala algún elemento químico para reducir la resistividad del terreno y alcanzar así, la resistencia a tierra requerida.

1.6.7. PUESTA A TIERRA DE PROTECCIÓN ATMOSFÉRICA.

Como su nombre lo indica, se destina para drenar a tierra las corrientes producidas por descargas atmosféricas (RAYOS) sin mayores daños a personas y propiedades.

Se logra con una malla metálica igualadora de potencial conectada al planeta tierra que cubre los equipos o edificios a proteger o se conforma con electrodos tipo copperweld y cable tipo pararrayos de cobre Clase 1 de 27 hilos.

La distancia del edificio con respecto al sitio donde se entierre el electrodo, no debe ser inferior a 2,50 metros y debe quedar totalmente aislado de los sistemas de tierras para fuerza y para electrónica.

La resistencia a tierra en cualquier punto del sistema, no debe ser mayor a 10 ohms, para lo cual en caso

1.7. ESTANDARES Y NORMAS

NORMAS SOBRE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA:

- *National Electrical Code (NEC) En su Artículo 100:*

"Una Conexión conductora, ya sea intencional o accidental, entre un circuito eléctrico o equipo y la tierra, o algún cuerpo conductor que sirve en lugar de la tierra".

- *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE):*

"Es una conexión conductora, ya sea intencional o accidental, por medio de la cual un circuito eléctrico o equipo se conectan a la tierra o algún cuerpo conductor de dimensiones relativamente grande que cumple la función de la tierra". [13]

- *Estándar IEEE 242-1986 Prácticas Recomendadas para la Coordinación y Protección de Sistemas de Potencia Industriales y Comerciales.*[14]

La magnitud de la resistencia de puesta a tierra debe ser tal que permita circular corriente suficiente para que los relevadores de falla a tierra la detecten y liberen el circuito fallado

- *Secretaria del Trabajo y Previsión Social: NSTPS-022-2008:*

Es la acción y efecto de unir eléctricamente elementos de un equipo, circuito a un electrodo o a una red de puesta a tierra.

NORMAS SOBRE EL VALOR DE RESISTENCIA

Idealmente, una conexión a tierra debe tener una resistencia de cero ohmios. La NFPA y la IEEE recomiendan un valor de 5 Ohms o menos. En México, la Secretaria del Trabajo y Previsión Social en su norma NOM-STPS-022-2008 indica lo siguiente: "Asegúrese de que la resistencia para Sistema de Tierras sea menor a 10 Ohms y

[13] http://www-ppd.fnal.gov/eedoffice-w/infrastructure_group/huffman/web/engineering/standards%5CIEEE1100Rev.pdf

[14] http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2192/3/Capitulo%20II.pdf

para sistema de Pararrayos menor a 25 Ohms. La industria de las telecomunicaciones con frecuencia ha utilizado 5,0 ohmios o menos como su valor para conexión a tierra o menos. El objetivo es lograr el mínimo valor de resistencia". [15]

NORMAS SOBRE LOS ELECTRODOS

Las dimensiones mínimas de los electrodos están establecidas en el Reglamento de UTE, y se indican algunas a continuación:

Electrodo	Diámetro/ Sección	Largo	Superficie	Espesor
Placa de cobre			0.5 m²	2 mm
Barra de cobre	14 mm	2 m		
Conductor desnudo multifilar	35 mm²			
Cinta o pletina de cobre	35 mm²			2 mm
Cable de acero galvanizado	95 mm² - cada alambre 2.5 mm²			

Tabla 1.6. Dimensiones mínimas de los electrodos

El Reglamento de Baja Tensión de UTE le llama Conductor de enlace con tierra y establece como sección mínima para el mismo 35 mm² en cobre, a menos que la línea repartidora sea de menor sección, en cuyo caso será de la misma sección que los conductores de fase.

[15] http://massatierra.net/download/ABC_Sistemas_PuestaTierra_y_Pararrayos_v03-03-12.pdf

CAPITULO II

MEDIDORES DE PUESTAS A TIERRA

2.1. DEFINICIÓN

El medidor de tierra, telurómetro, telurímetro (de telúrico = referido a la tierra y metro = medir) o terróhmetro. Es un equipo portátil que permite determinar la resistencia de los sistemas de puestas a tierra y la resistividad del suelo. Es el equipo adecuado para la medición de sistemas de tierra de subestaciones, redes de distribución de energía, instalaciones domésticas e industriales, pararrayos, etc.

2.2. FUNCIONAMIENTO

Este instrumento realiza la medición de la resistencia de la puesta a tierra con el método de caída de potencial, utilizando 2 varillas auxiliares. El medidor inyecta una corriente constante a través de una varilla auxiliar (C), enterrada a una distancia de 20m del electrodo del sistema a tierra bajo prueba (T). La corriente fluye a través de la tierra y vuelve al medidor a través de la varilla auxiliar (P). Como la corriente atraviesa el material resistente (tierra) se crea una caída de voltaje. Esta caída de voltaje es proporcional a la corriente y a la resistencia del sistema de puesta a tierra. El medidor entonces sabe la cantidad de flujo de corriente y la caída de voltaje resultante. Utiliza simplemente la ley de ohm para calcular y para exhibir la resistencia. RX =V/I Ver figura 2.1

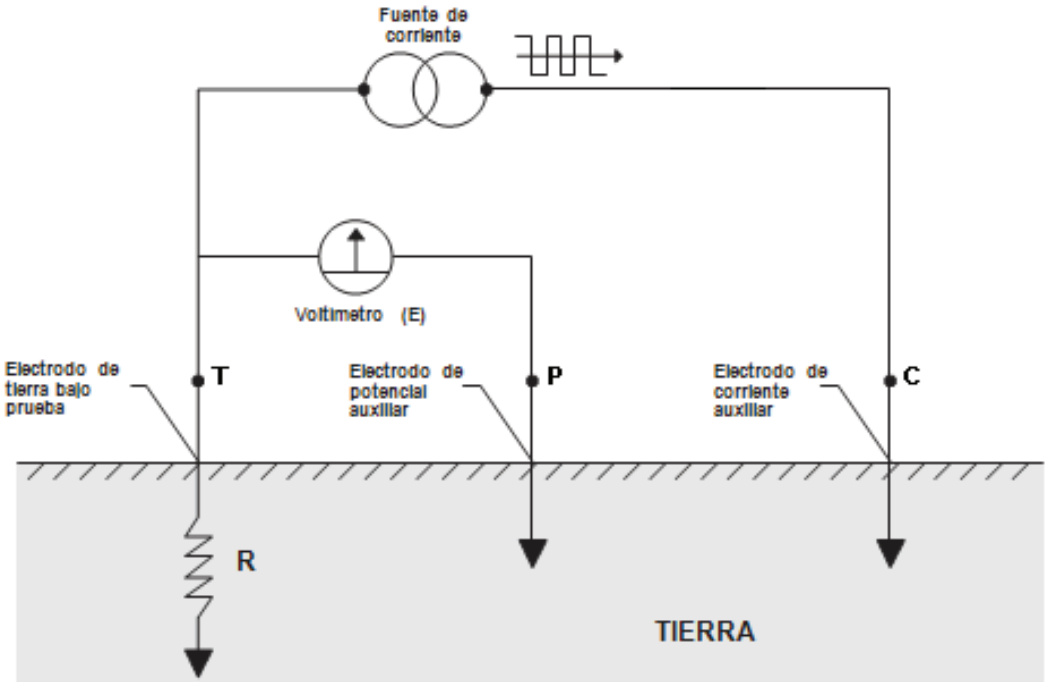


Figura 2.1 Principio de funcionamiento del telurómetro

Para comprobar una toma de tierra mediante este método se necesitan dos varillas de hierro de unos 30 cm que se clavarán en el terreno. Cada varilla metálica se coloca un cable eléctrico, cuyo extremo se colocará a los bornes C y P del telurómetro. Y el borne T se conecta mediante otro cable al sistema de puesta a tierra.

Borne C: De esta toma de color rojo se obtiene la señal alterna que se aplica a través de un cable de cobre flexible a una de las dos varillas metálicas que hay en el terreno.

Borne P: En esta toma de color azul o amarillo se inserta un cable de cobre flexible, cuyo extremo opuesto se conecta a la segunda varilla metálica que hay en el terreno, que sirve para obtener la frecuencia de 600-700 Hz dispersa en el terreno por la varilla conectada al borne C.

Borne T: En esta toma de color verde se inserta un cable de cobre flexible, cuyo extremo se conecta al agujero central de la toma más cercana de corriente tiene que estar conectada a la pica de toma de tierra.

2.2.1. PROCEDIMIENTO DE MEDIDA

Desconectar la tierra de prueba de todas las otras tierras y del sistema de puesta a tierra general de la estación. Enterrar las varillas de tensión y de corriente en línea recta. Partiendo del punto de puesta a tierra, primero se coloca la de tensión (P) y la más alejada la de corriente (C). La distancia entre las varillas debe ser de al menos 6 metros o 6 veces la profundidad de tierra bajo prueba. A fin de disminuir la resistencia, puede tratarse el suelo alrededor de las tierras de referencia con sal y agua.[16]

2.2.2. POSICIÓN DE LOS ELECTRODOS AUXILIARES EN MEDIDAS

El objetivo en medir de forma precisa la resistencia a tierra es colocar el electrodo de corriente auxiliar C suficientemente lejos del electrodo de tierra bajo prueba de manera que el electrodo de potencial auxiliar P esté fuera de las áreas de resistencia efectiva del electrodo de tierra y del electrodo de corriente auxiliar. La mejor manera de descubrir si la varilla de potencial auxiliar P está fuera de las áreas de resistencia efectiva es moverla entre T y C, y tomar una lectura en cada sitio. (Figura 2.2.)

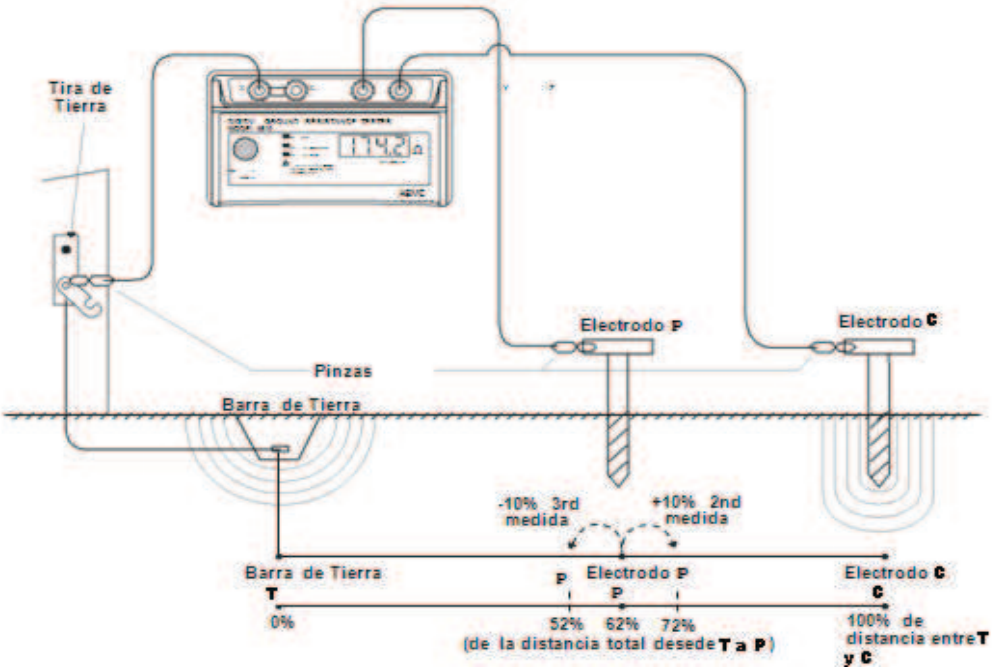


Figura 2.2 Posición de los electrodos auxiliares

[16]http://personal.telefonica.terra.es/web/eb4df/esquemas/tierra.htm

Si la varilla de potencial auxiliar P está en un área de resistencia efectiva, o en las dos se sobreponen, como en la Figura 2.3, al desplazarla las lecturas tomadas variarán notablemente de valor. Bajo estas condiciones, no se puede determinar un valor exacto para la resistencia de tierra.

Por otra parte, si la barra de potencial auxiliar P está situada fuera de las áreas de resistencia efectiva (Figura 2.4) cuando P es movida arriba y abajo la variación de la lectura es mínima. Las lecturas tomadas deberían estar relativamente cerca las unas de las otras, y son los mejores valores para la resistencia de la tierra T. Las lecturas deberían ser dibujadas para asegurar que caen en una región "plateau" como se muestra en la Figura 2.4. La región es a menudo llamada el "área 62%".[17]

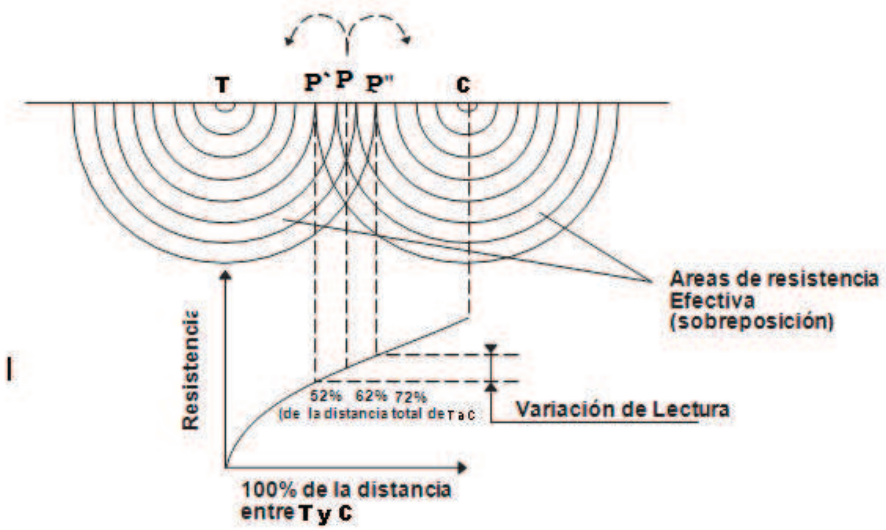


Figura 2.3 Áreas de resistencia efectiva sobrepuesta

[17] 950 WKBK GROUND SP

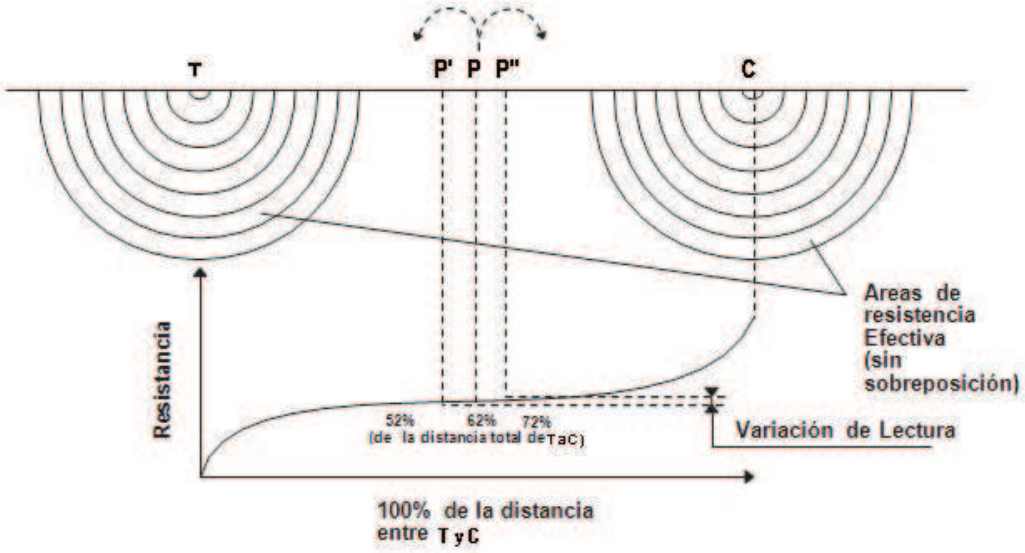


Figura 2.4 Áreas de resistencia efectiva sin sobreposición

2.2.2.1. Método 62%

El Método 62% ha sido adoptado después de consideración gráfica y después de haberlo probado. Es el método más preciso pero está limitado por el hecho que la tierra probada es una sola unidad.

Este método es aplicable sólo cuando los tres electrodos están en línea recta y la tierra es un solo electrodo, tubo, o placa, etc., como en la Figura 2.1.

Considerando la Figura 2.5, que muestra las áreas de resistencia efectiva (capas concéntricas) del electrodo de tierra T y del electrodo de corriente auxiliar C. Las áreas de resistencia se sobreponen. Si se tomaran lecturas moviendo el electrodo de potencia auxiliar P hacia T o C, las diferencias entre lecturas serían enormes y uno no podría obtener una lectura dentro de una banda de tolerancia razonable. Las áreas sensitivas se sobreponen y actúan constantemente para incrementar la resistencia medida que P es alejada de T.

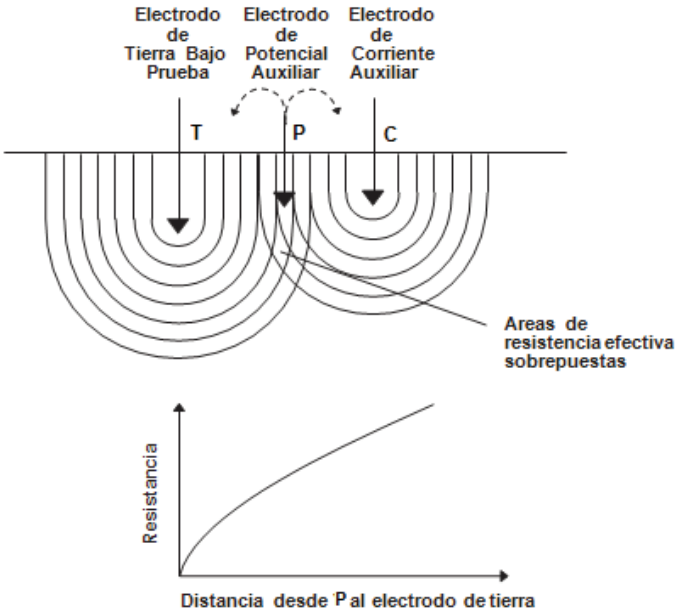


Figura 2.5 Método 62%

Ahora considerando la Figura 2.6, donde los electrodos T y C están suficientemente distanciados de manera que las áreas de resistencia efectiva no se sobreponen. Si dibujamos la resistencia medida descubrimos que las medidas se contrarrestan cuando P es colocado a un 62% de la distancia desde T a P, y que las lecturas en cualquier lado del sitio inicial de P son muy probables de estar dentro de la banda de tolerancia establecida. Esta banda de tolerancia es definida por el usuario y es expresada como un porcentaje de la lectura inicial: ±2%, ±5%, ±10%, etc.

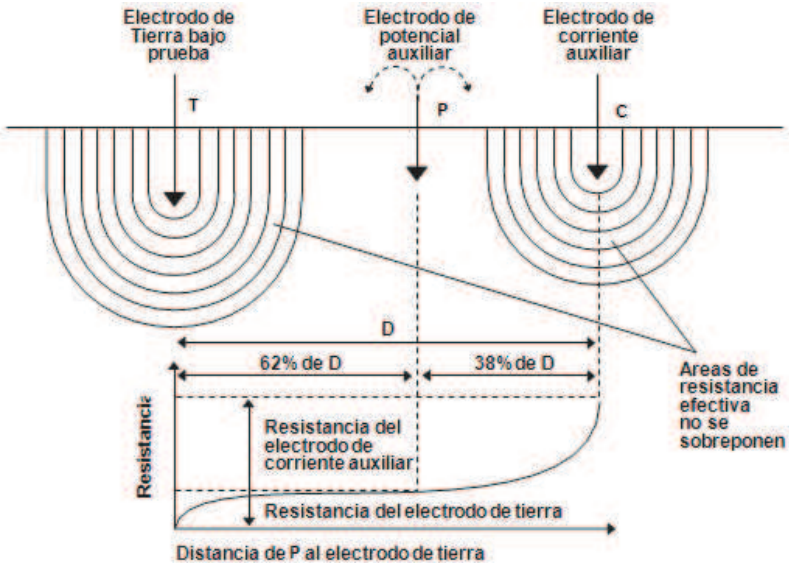


Figura 2.6 Método 62%

2.2.2.2. Sistemas de Electrodos múltiples

No se puede dar una distancia específica entre T y C, ya que esta distancia es relativa al diámetro del electrodo probado, su longitud, la homogeneidad de la tierra probada, y especialmente, las áreas de resistencia efectiva. Sin embargo, una distancia aproximada puede ser determinada desde la tabla siguiente que es dada para una tierra homogénea y para un electrodo de 1" de diámetro. (Para un diámetro de 1/2", reduzca la distancia un10%; para un diámetro de 2" aumente la distancia un10%.)

Distancia aproximada a los electrodos auxiliares usando el método 62%		
Profundidad enterrado	**Distancia a P**	**Distancia a C**
1,83 m	13,72 m	21,95 m
2,44 m	15,24 m	24,38 m
3,05 m	16,76 m	26,82 m
3,66 m	18,29 m	29,26 m
5,49 m	21,64 m	35,05 m
6,10 m	22,56 m	36,58 m
9,14 m	26,21 m	42,67 m

Tabla 2.1 Distancia a los electrodos auxiliares

En sistemas de electrodos múltiples, el método 62% de distancia entre electrodos ya no puede ser aplicado directamente.

La distancia entre los electrodos auxiliares está ahora basada en la distancia de cuadrícula máxima; es decir, en un cuadrado, la diagonal, en una línea, la longitud total. Por ejemplo, un cuadrado con un lado de 6 m tendrá una diagonal de aproximadamente 8,48 m.

Sistema de Electrodos Múltiples		
Distancia de Cuad. Máx.	**Distancia a P**	**Distancia a C**
1,83 m	23,77 m	38,10 m
2,44 m	26,52 m	42,67 m
3,05 m	30,48 m	48,77 m
3,66 m	32,00 m	51,82 m
5,49 m	35,97 m	57,91 m
6,10 m	37,80 m	60,96 m
9,14 m	39,62 m	64,01 m

1,83 m	41,45 m	67,06 m
2,44 m	49,07 m	79,25 m
12,19 m	56,69 m	91,44 m
15,24 m	64,31 m	103,63 m
18,29 m	70,10 m	112,78 m
24,38 m	83,21 m	134,11 m
30,48 m	94,49 m	152,40 m
36,58 m	103,94 m	167,64 m
42,67 m	113,39 m	182,88 m
48,77 m	118,87 m	192,02 m
54,86 m	132,28 m	213,36 m
60,96 m	138,07 m	222,50 m

Tabla 2.2 Sistema de electrodos múltiples

2.2.2.3. Método simplificado

Algunos de estos medidores además permiten realizar la medición de la resistencia de tierra mediante un método simplificado que en lugar utilizar como referencia las dos picas auxiliares se pueden utilizar una tubería de agua o el propio neutro.

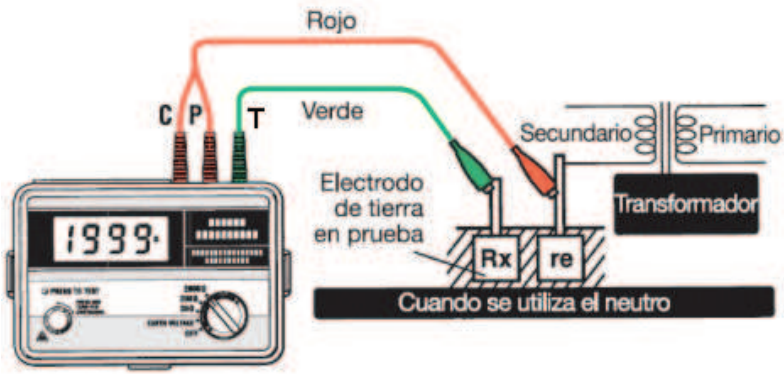


Figura 2.7. Método simplificado

2.2.3. PROBLEMAS QUE PRESENTA LA MEDICIÓN[18]

Al medir la resistencia un sistema de puesta a tierra se pueden presentar problemas como el no disponer de suelo para clavar las varillas auxiliares, excesivo ruido o resistencia grande de las varillas auxiliares; que interfieren con la

[18] dly servicios manuelvaredapdf

medición y producen errores apreciables de los valores medidos. Existen metodologías para superar dichos problema aceptando un error en la medición despreciable.

El método de medición exige que se disponga donde clavar el electrodo de inyección y la sonda de tensión. Ocurre que, en muchísimos casos no se dispone de este suelo y tenemos que sustituir las jabalinas por algún otro electrodo o diseñar otro método de medición. Disponemos del método de los electrodos virtuales.

2.2.3.1. Dificultad para clavar las varillas auxiliares

A veces una prueba debe ser realizada sobre una de puesta a tierra que está rodeada por una capa de alquitrán o de cemento, donde electrodos auxiliares no pueden ser enterrados fácilmente. En estos casos, se utilizan electrodos virtuales, como:

- **Rejillas metálicas**

Pueden ser usadas para remplazar los electrodos auxiliares, como es mostrado en la Figura 2.8.

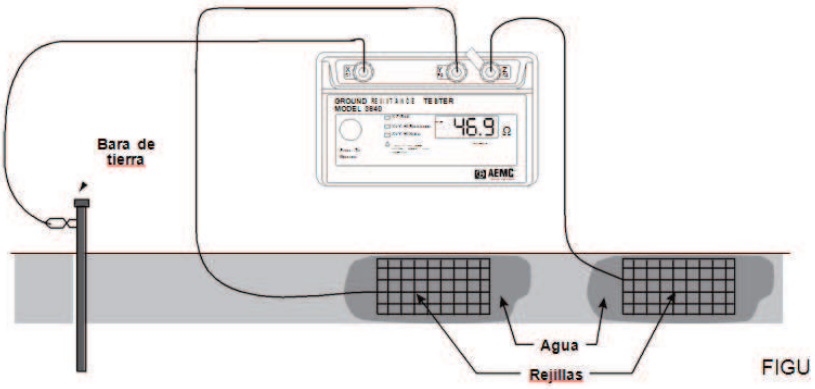


Figura 2.8 Rejillas Metálicas

Se coloca las rejillas sobre el suelo a la misma distancia de la barra de tierra bajo prueba como pondría los electrodos auxiliares en una prueba de caída de potencial estándar. Se vierte agua sobre las rejillas y permitiendo que se

empapen. Estas rejillas realizarán la misma función que realizarían los electrodos auxiliares enterrados.

- **Chapa de cobre**

El método consiste en utilizar como jabalina un electrodo consistente en una chapa de cobre de por lo menos 0,40 x 0,40 m (el espesor no interesa en teoría pero, por razones prácticas, 0,5 mm es una dimensión adecuada, se trata de que la chapa tenga suficiente rigidez). A esta chapa se suelda un conductor para que permita conectar la mordaza del conductor al instrumento utilizado. La chapa se envuelve con un tejido esponjoso (una frazada vieja puede servir o, si se prefiere, una funda de poliuretano expandido) con el que se forma un bolsillo del tamaño de la chapa para que se adhiera a la misma.

Para utilizar este electrodo se moja abundantemente el tejido de cubierta con salmuera o simplemente con agua y se lo coloca sobre el pavimento sólido. Para lograr una mayor adherencia se deben colocar algunas piedras, unos 40 kilos en total, o bien se hace parar una persona.

Esta chapa, actuando por capacidad (Una placa del capacitor es la chapa y la otra la porción imagen del suelo con el dieléctrico pavimento aislante) se lo utiliza como cualquier jabalina de medición.

La Figura 2.9 muestra el funcionamiento de este electrodo. El circuito equivalente de la derecha muestra que si hubiera que trabajar con corriente continua el sistema es inaplicable por la interposición del capacitor.

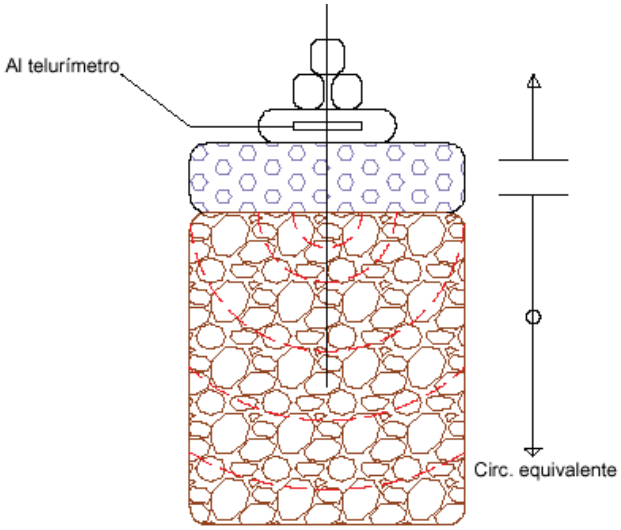


Figura 2.9 Chapa de cobre

2.2.3.2. Ruido Excesivo

Ruido excesivo puede interferir con las pruebas debido a los largos cables usados para realizar una prueba de caída de potencial. Un voltímetro puede ser utilizado para identificar este problema. Conecte los cables “T”, “P” y “C” a los electrodos auxiliares como para una prueba de resistencia de tierra estándar. Use el voltímetro para probar el voltaje a través de los terminales “T” y “C” (Figura 2.10).

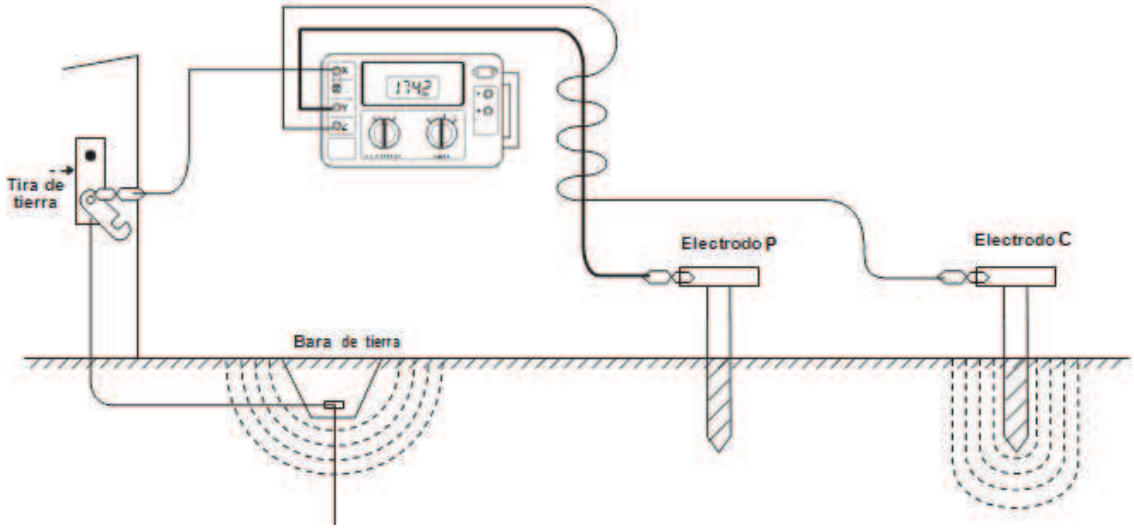


Figura 2.10 Ruido excesivo

Algunas soluciones pueden ser:

a) Intente cambiar la alineación de los cables auxiliares de manera que no estén en paralelo con las líneas de potencia por encima o por debajo tierra (Figura 2.11).

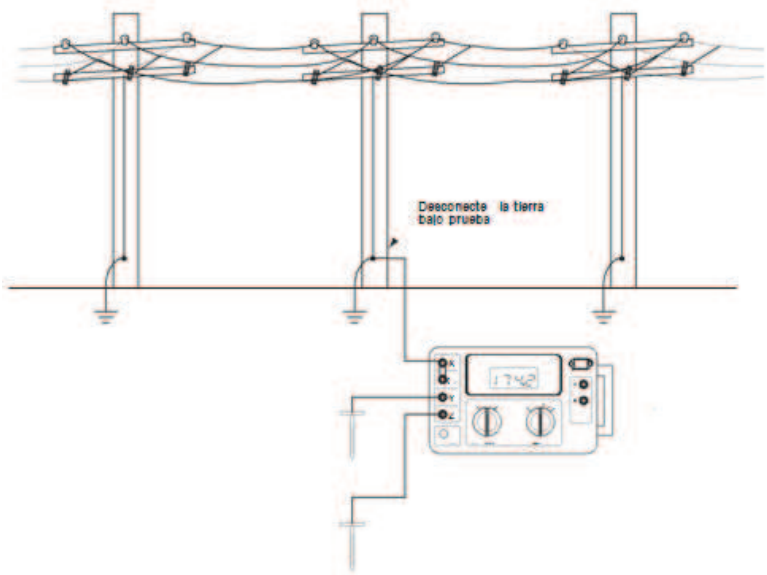


Figura 2.11 Cables auxiliares en paralelo

b) Si todavía no se ha obtenido un valor de voltaje bajo satisfactorio, puede ser que se necesite usar cables protegidos. El blindaje actúa para proteger el conductor interno capturando el voltaje y drenándolo a la tierra (Figura 2.12).

1. Separe los blindajes a los electrodos auxiliares.

2. Conecte los tres blindaje juntos en (pero no al) el instrumento.

3. Conecte con tierra de forma sólida el blindaje restante a la toma de tierra bajo prueba

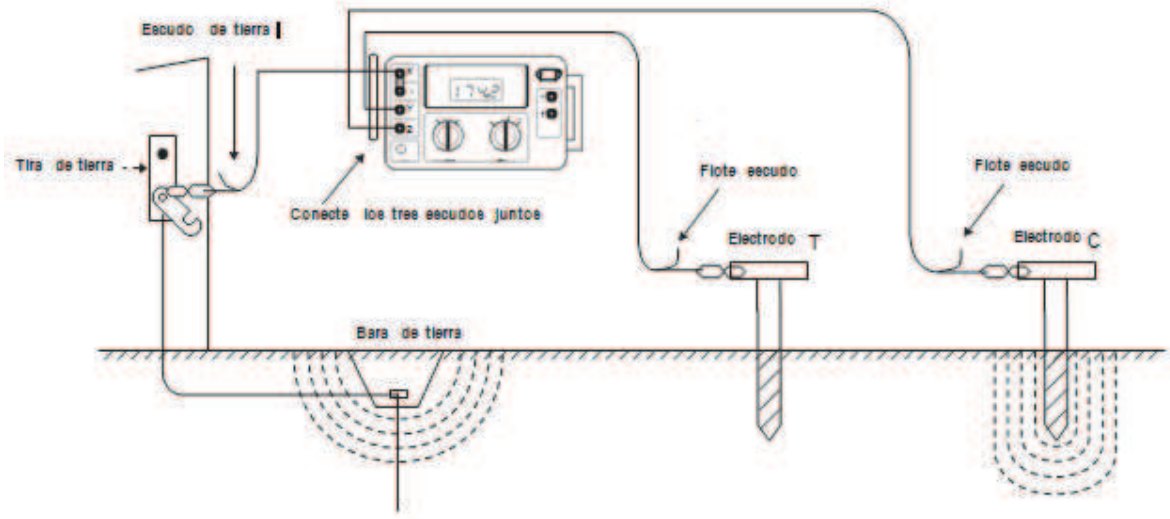


Figura 2.12 Cables blindados

2.2.3.3. Resistencia Excesiva de Barra Auxiliar

La función inherente de un probador de tierra de caída de potencial es entrar una corriente constante dentro de la tierra y medir la caída de voltaje a través de electrodos auxiliares. Una resistencia excesiva de uno o de los dos electrodos auxiliares puede inhibir esta función. Esto es causado por una alta resistividad de la tierra o por un mal contacto entre el electrodo auxiliar y la tierra de alrededor (Figura 2.13).

Para asegurar un buen contacto con la tierra, comprima la tierra que está directamente alrededor del electrodo auxiliar para eliminar bolsas de aire formadas al insertar la barra. Si la resistividad de la tierra es el problema, vierta

agua alrededor de los electrodos auxiliares. Esto reduce la resistencia de contacto del electrodo auxiliar sin afectar las medidas.

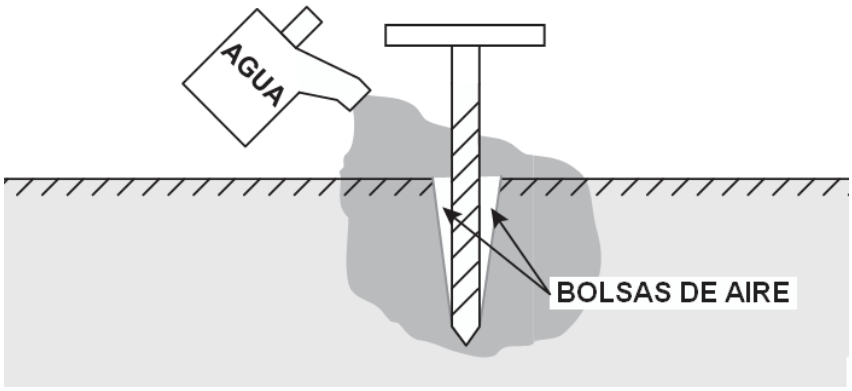


Figura 2.13 Resistencia excesiva de la barra

2.3. TIPOS DE MEDIDORES

2.3.1. MEDIDOR DE 4 PUNTOS

El medidor de prueba de cuatro puntos inyecta una corriente constante a través de la tierra vía del probador y las dos puntas externas. La corriente fluyendo a través de la tierra desarrolla una diferencia de voltaje. Esta caída de voltaje resultado del flujo de corriente es entonces medido entre las dos puntas de prueba internas.

El medidor entonces sabe la cantidad de corriente que este atravesando la tierra y la caída de voltaje a través de las dos puntas de prueba del centro. Con esta información el medidor utiliza la ley de ohm para calcular y exhibir la resistencia en ohmios.

Para convertir de los ohmios exhibidos a ohmio-metro, la lectura del medidor es multiplicada por 1.915 y el resultado es multiplicado las veces del espaciamiento de la punta de prueba en pies.

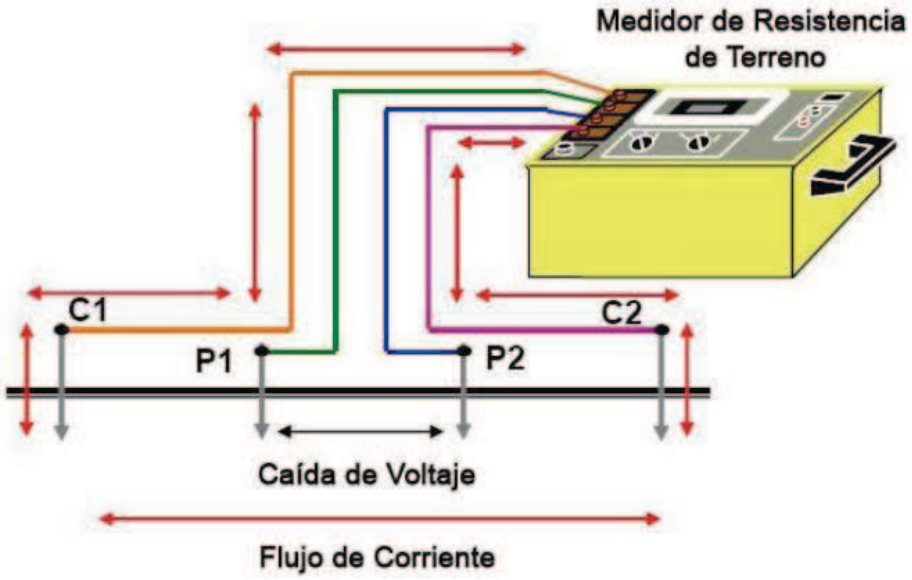


Figura 2.14 Medidor de 4 puntos

2.3.2. MEDIDOR DE PINZA

El medidor de pinza está diseñado para medir la resistencia del sistema de aterramiento sin el uso de electrodos auxiliares. Este también puede verificar la continuidad de la conexión de aterramiento y permitir la evaluación de corrientes neutrales o corrientes fluyendo al terreno. Además no requiere el sistema de puesta a tierra este aislado.

La cabeza del medidor contiene dos transformadores de control. Un transformador induce un voltaje pequeño fijo con una frecuencia aproximada de 2khz en el conductor de aterramiento. Si existe una trayectoria, el voltaje resultara en un flujo de corriente. La trayectoria normalmente consiste el sistema de tierra bajo prueba y la línea de neutro. Entonces el segundo transformador en la cabeza del medidor detecta la cantidad de corriente en una frecuencia única, fluyendo en la trayectoria.

La cantidad de flujo de corriente, es determinada por el voltaje inducido y la cantidad de resistencia de la trayectoria. La resistencia se compone de la resistencia del sistema de tierra bajo prueba y de la resistencia del neutro de los varios aterramientos. El medidor sabe la cantidad de voltaje que induce y mide la

corriente en la trayectoria, este ahora tiene dos parámetros conocidos de la ley de ohm y muestra la resistencia calculada.

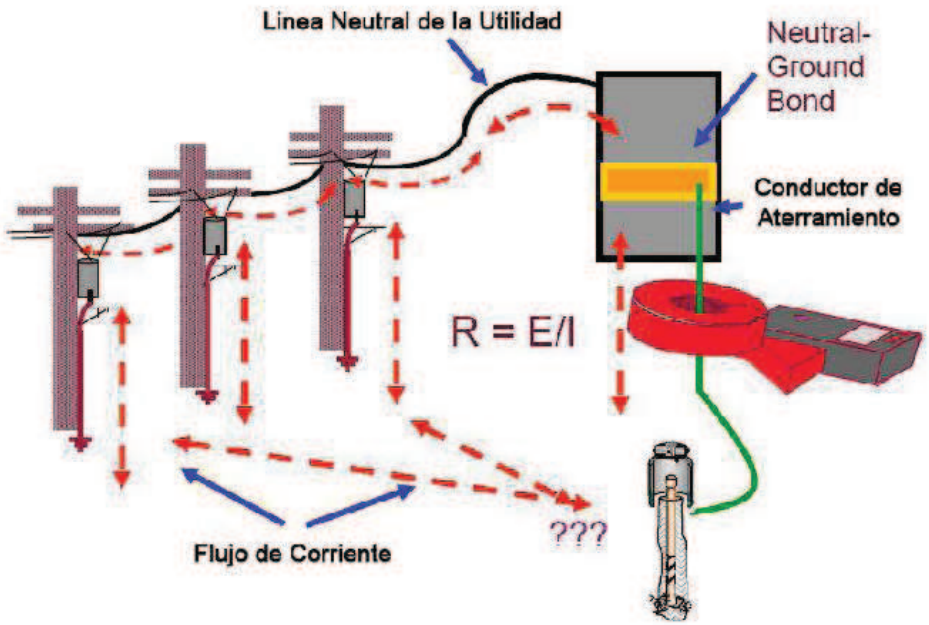


Figura 2.15 Medidor de pinza

2.3.3. MEDIDOR DE 3 PUNTOS

El método de caída de potencial es el método más reconocido para medir la resistencia de las instalaciones a tierra. Está basado en un estándar IEEE y cuando es realizada apropiadamente, es una prueba muy certera.

Aunque la mayoría de la gente reconozca que el sistema de puesta a tierra es requerido para protección de personal, para la protección eléctrica y que determina la efectividad de la protección contra descargas ambientales y sistemas de supresores de sobretensión, el aterramiento también sirve como trayectoria para el ruido al ser disipado de los equipos. No se verifica que se tenga una resistencia requerida en las instalaciones a tierra para que estos sistemas funcionen.

Los sistemas de aterramiento deben ser probados en el momento de la instalación y después anualmente durante su vida de servicio.

La prueba inicial establece una línea de base de funcionamiento, confirma que la especificación del diseño está resuelta y valida la calidad de la instalación. La prueba anual asegura la continua integridad del sistema y proporciona protección contra la degradación antes del daño al equipo o problemas de funcionamiento.

CAPITULO 3

COMPONENTES ELECTRONICOS

3.1. AMPLIFICADORES OPERACIONALES[19]

El amplificador operacional (AO) es un circuito integrado muy utilizado debido a sus excelentes características normalmente tiene 5 terminales: 2 terminales de entrada, 1 terminal de salida y 2 terminales de polarización.

La función básica de un amplificador operacional es producir a la salida una señal cuyo valor es directamente proporcional a la diferencia entre las dos señales de entrada. El factor de proporcionalidad se conoce como factor de amplificación o de ganancia.

Si la tensión en la entrada con signo negativo varía, manteniéndose constante la tensión en la entrada positiva, en la salida la tensión variará con signo opuesto a la variación de la entrada negativa; por esta razón, la entrada con signo negativo recibe el nombre de inversora. Por el contrario, si la tensión en la entrada positiva varía, manteniéndose constante la tensión en la entrada negativa, la salida variará con el mismo signo que la variación de la entrada positiva, razón por la cual esta entrada se denomina no inversora.

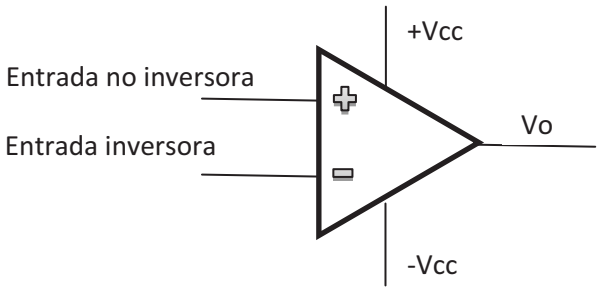


Figura 3.1 Amplificador operacional

El amplificador operacional no tiene un terminal de tierra o cero, sin embargo las entradas, la salida y los voltajes de polarización siempre son con relación a tierra, es por eso que en todo circuito AO es necesario poner un terminal de tierra. Se

[19]Cuaderno de apuntes Electrónica II, Ing. Pablo López

acostumbra decir que el amplificador operacional necesita un terminal de tierra virtual.

Las características fundamentales del amplificador operacional son las siguientes:

a) Presenta una impedancia de entrada inmensamente grande en cada una de sus entradas esto significa que la corriente de entrada del amplificador operacional siempre es igual a cero.

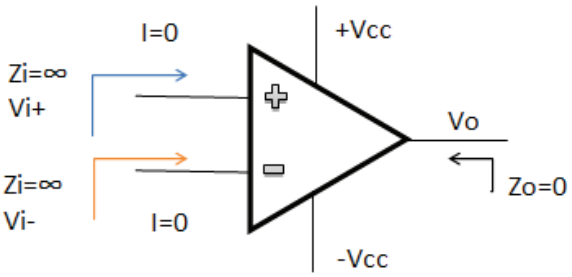


Figura 3.2 Características amplificador operacional

b) La impedancia de salida del amplificador operacional es prácticamente cero por lo tanto a la salida se tiene únicamente un voltaje como si se tratara de una fuente sin resistencia interna.
c) La amplificación que presenta el amplificador operacional es inmensamente grande se dice que es infinita.

—

3.1.1. ZONAS DE FUNCIONAMIENTO

El Amplificador operacional tiene dos zonas de funcionamiento:

– Lineal: la salida toma valores comprendidos entre + Vcc y – Vcc .

– Saturación: la tensión de salida adquiere el valor de los dos valores de alimentación +Vcc ó – Vcc.

3.1.2. REALIMENTACIÓN

Conectar o inyectar una señal de la salida con alguna de las entradas. Una muestra de tensión o corriente en algún punto de la salida la llevamos a la entrada

3.1.2.1. Lazo abierto

En lazo abierto las entradas pueden tener potenciales diferentes, ya que no existe ninguna realimentación.

En el peor de los casos la ganancia en lazo abierto nunca es menor que 200.000 y en general no se trabaja con todo el rango de frecuencias las más utilizadas se encuentran entre 40 y 50 KHz.

Si no existe realimentación, la salida del AO será la resta de sus 2 entradas multiplicada por un factor. Este factor suele ser del orden de 100000 (que se considera infinito en cálculos con el componente ideal). Debido a la limitación que supone no poder entregar más tensión de la que hay en la alimentación, el AO estará saturado si se da este caso. Si la tensión más alta es la aplicada a la Terminal positiva la salida será la que corresponde a la alimentación +Vcc, mientras que si la tensión más alta es la de la Terminal negativa la salida será la alimentación –Vcc.

3.1.2.2. Realimentación positiva.

Cuando la realimentación se hace a la entrada no inversora. Circuitos inestables, rápidamente la salida se satura a los valores máximo o mínimo (tensiones de alimentación)

3.1.2.3. Realimentación negativa.

Para que el amplificador operacional no este saturado y podamos controlar la tensión de salida, es necesario que trabaje con realimentación negativa (consiste en establecer una conexión entre la salida y la entrada inversora)[20].

Cuando la realimentación se hace a la entrada inversora. La ganancia se reduce respecto al valor en lazo abierto y el circuito es más estable.

Si existe realimentación negativa, se puede considerar que las dos entradas se encuentran siempre al mismo potencial (siempre que no se llegue a la zona de saturación). Se dice que existe un cortocircuito virtual entre ambas entradas, ya que aunque tienen la misma tensión, entre ellas no circula corriente.

Esto se debe a que la ganancia del AO es tan elevada que unas décimas de milivoltio de tensión diferencial entre las entradas satura la salida; por tanto, al realimentar negativamente, si ambas tensiones se desequilibran y dejan de ser iguales, la realimentación negativa compensa esta diferencia y hace que las entradas tomen nuevamente el mismo valor.

3.1.3. APLICACIONES BÁSICAS CON AMPLIFICADORES

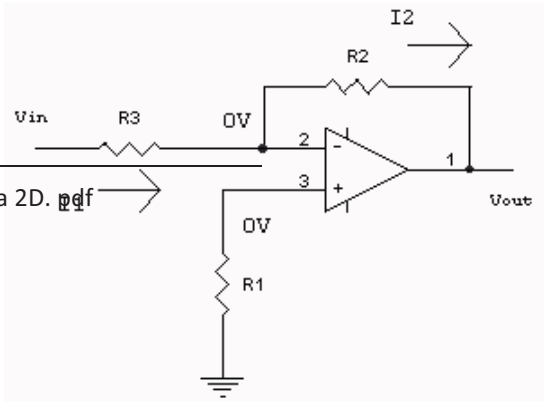
3.1.3.1. Aplicaciones lineales

Características:

- No está saturado.
- No existe elementos externos no lineales (diodos, transistores,…)
- Circuito trabaja con realimentación negativa.

3.1.3.1.1. Amplificador Inversor

Dada una señal analógica (por ejemplo de audio) el amplificador inversor constituye el modo más simple de amplificar o atenuar la señal (en el ejemplo propuesto modificar el volumen de la señal).



[20] AO Teoría 2D. pdf

Figura 3.3

3.1.3.1.2. Amplificador no inversor

Este circuito presenta como característica más destacable su capacidad para mantener la fase de una señal.

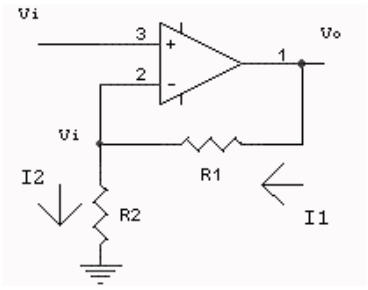


Figura 3.4.

3.1.3.1.3. Amplificador Unitario

También llamado seguidor unitario, es un amplificador de corriente. Sirve como acoplador de impedancias. Zin=∞; Zout=0.

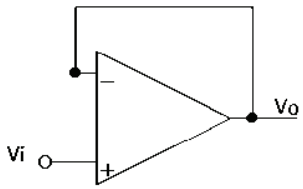


Figura 3.5.

3.1.3.1.4. Amplificador Sumador

La salida de este amplificador es proporcional a la suma de las señales de entrada. Dado que V- =0 por ser igual a V+ que sí es igual a cero, las intensidades que circulan por cada rama son independientes de las demás y no se produce redistribución de intensidad alguna. Con ello la intensidad total que

atraviesa R2 será la suma de las intensidades de cada una de las ramas de entrada.[21]

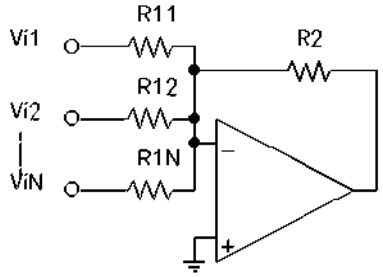


Figura 3.6.

3.1.3.1.5. Amplificador Integrador

Un circuito integrador realiza un proceso de suma llamado "integración". La tensión de salida del circuito integrador es proporcional al área bajo la curva de entrada (onda de entrada), para cualquier instante.

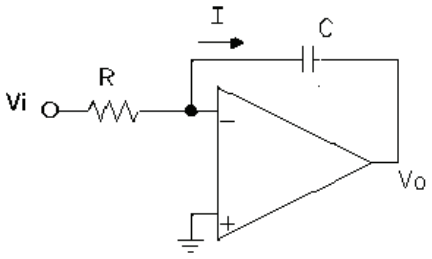


Figura 3.7.

3.1.3.1.6. Amplificador Derivador

Este dispositivo nos permite obtener la derivada de la señal de entrada. En el caso general la tensión de entrada variará con el tiempo Vi= Vi(t).

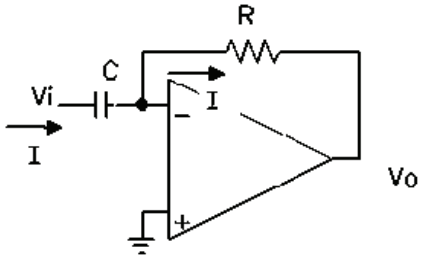


Figura 3.8.

[21]Tema 1. Amplificadores Operaccionales.pdf J. I. Escudero, M. Parada, F. Simón

Dada la alta ganancia en lazo abierto del A.O. (idealmente ∞), el funcionamiento en zona lineal implica realimentación negativa. Las aplicaciones antes mencionadas funcionan en zona no lineal cuando la tensión de salida supera los límites.[22]

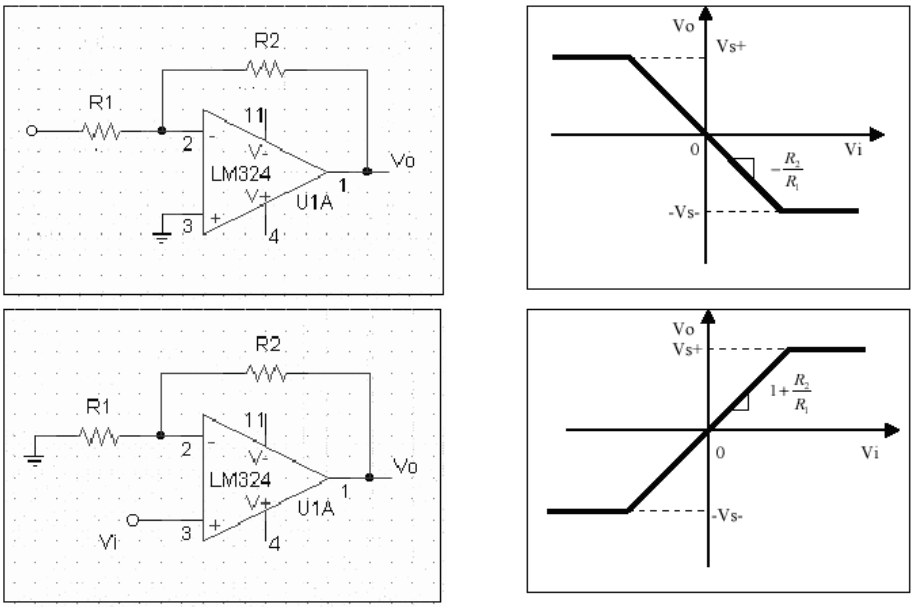


Figura 3.9.Tensión de salida

3.1.3.2. Aplicaciones no lineales

Características:

- Se trabaja en la zona de saturación.

- No existe realimentación negativa (o existe una realimentación positiva mayor)
- Trabaja en bucle abierto (Sin realimentaciones)
- Únicamente existe realimentación positiva.

NOTA: si el circuito posee realimentación negativa y elementos activos, el análisis del circuito se realiza igual que para las aplicaciones lineales, pues aunque la respuesta no lo sea trabaja en la zona lineal.

[22]Sistema de adquisición y distribución de señales I. Tema 2, Amplificadores Operacionales.pdf

3.1.3.2.1. Amplificador Comparador

Cuando funciona en lazo abierto (con la entrada directamente a los terminales de entrada del A.O.),el amplificador operacional trabaja en zona no lineal. Cualquier diferencia de voltaje entre las 2 entradas del amplificador produce la saturación del mismo. En la práctica, las transiciones de la señal de salida no son instantáneas, dando a la salida voltajes cercanos a los voltajes de polarización.

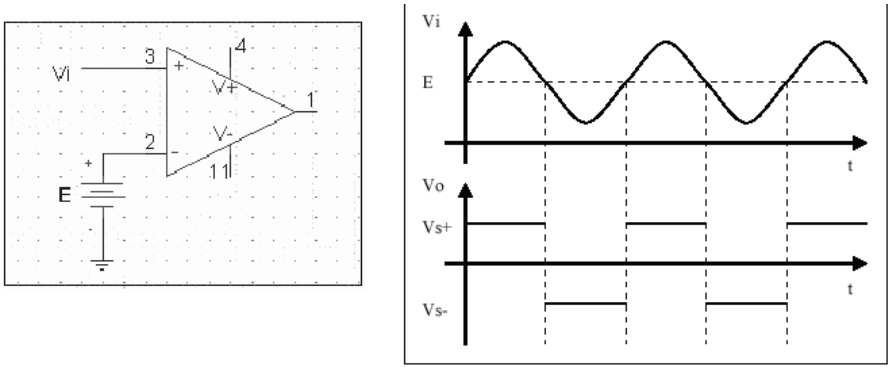


Figura 3.10.

3.1.3.2.2. Amplificador Comparador Smith

Como se ha mencionado la realimentación positiva en el amplificador operacional da lugar a que este funcione en zona no lineal. Esto se puede aprovechar para hacer un ciclo de histéresis.

Permite comparar una señal de entrada con una parte de la señal de salida con esto se consigue que los voltajes con los cuales se va a comparar tengan 2 valores diferentes, eliminando de esta forma cualquier cambio de alto a bajo o viceversa producido por la presencia de ruido existente en todos los circuitos electrónicos.[23]

[23]Cuaderno de apuntes Electrónica II, Ing. Pablo López

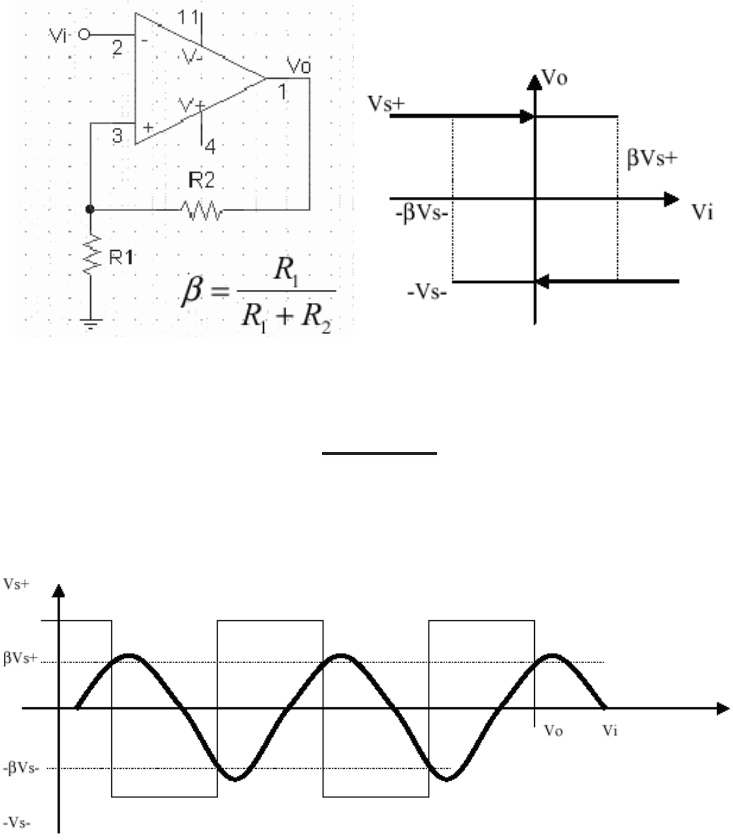


Figura 3.11.

3.2. TRANSISTOR BIPOLAR DE JUNTURA (TBJ)

Es un elemento electrónico de tres terminales: colector, base y emisor. En su interior tiene 3 capas de material semiconductor del tipo P y del tipo N colocados en forma alternada, por eso existen 2 tipos de transistores: NPN y PNP.

Las 3 capas de material semiconductor son diferentes, la capa del emisor es la encargada de emitir o entregar las cargas eléctricas para el funcionamiento del transistor es por eso que esta capa tiene una inmensidad de cargas eléctricas. La capa del colector es la encargada de recoger las cargas eléctricas entregadas por el emisor y tiene una mediana cantidad de cargas eléctricas. La capa de la base es la encargada de controlar el paso de las cargas desde el emisor al colector y tiene una bajísima cantidad de cargas eléctricas.

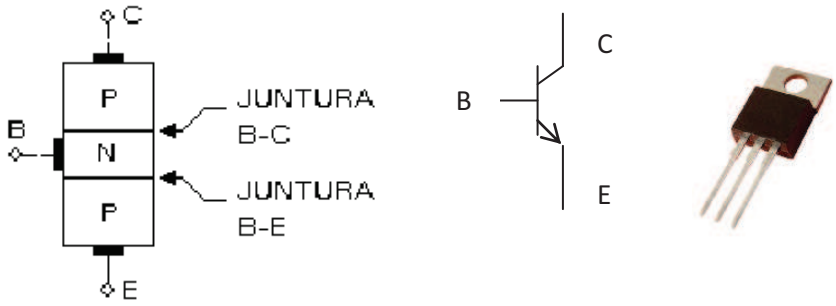


Figura 3.12.Transistor Bipolar de Juntura

Otra forma de ver la estructura de un transistor bipolar de juntura es por medio de sus uniones semiconductoras o junturas entendiéndose estas como la unión de un semiconductor tipo P con uno tipo N.

Cada transistor bipolar tiene 2 junturas denominadas: juntura base emisor y juntura base colector.

Cada juntura puede ser considerada como un diodo es por eso que para probar un transistor lo único que se hace es probar las 2 junturas.

3.2.1. POLARIZACIÓN DEL TRANSISTOR (TBJ)

Para que un transistor funcione adecuadamente tiene que estar polarizado y para eso tiene que cumplir con 2 condiciones:

- La juntura base emisor tiene que estar polarizada directamente
- La juntura base colector tiene que estar polarizado indirectamente

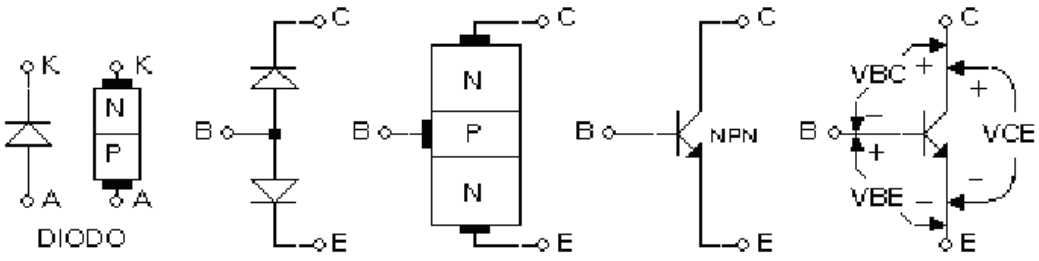


Figura 3.13. Transistor NPN

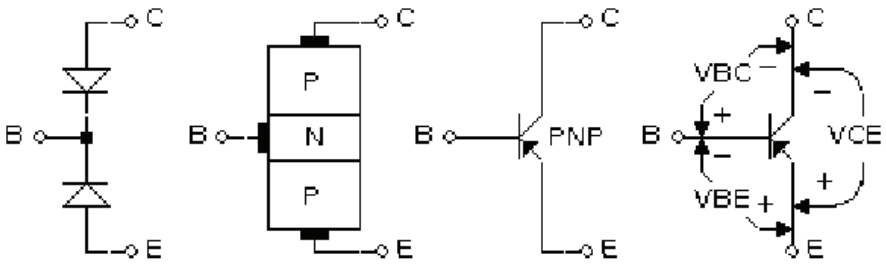


Figura 3.14. Transistor PNP

La polarización directa de la juntura base-emisor produce un intercambio de cargas entre base y emisor, este intercambio es totalmente desigual por que el emisor entrega una inmensa cantidad de cargas mientras que la base entrega una pequeñísima cantidad de cargas las mismas que producen una corriente de base muy pequeña, pero la gran cantidad de cargas que pasaron del emisor a la base son atraídas por la polarización del colector, es por eso que a pesar de que la juntura base colector esta polarizada inversamente, estas cargas pasan al colector formando la corriente entre el colector y el emisor denominado corriente de colector.

Existe una relación directa entre a corriente de colector y la corriente de base se denomina ganancia de corriente

—

La ganancia de corriente normalmente es de 100 lo que significa que la corriente de colector es más o menos 100 veces la corriente de base.

En cada transistor bipolar existen 3 corrientes cada uno por cada terminal del mismo.

Figura 3.15. Corrientes en los terminales del TBJ

3.2.2. CURVAS CARACTERISTICAS

Para cada corriente de base existe una curva característica y en cada curva se puede ver 2 partes:

- La una desde 0 hasta el codo donde la corriente sube conforme al voltaje sería casi una recta que representaría una resistencia.
- La segunda parte después del codo la corriente se mantiene prácticamente constante a pesar de que existen variaciones en el voltaje que es aquí donde funciona el transistor bipolar y cada corriente de base que corresponde su respectiva corriente de colector y en todas ellas se cumple la ganancia de corriente.

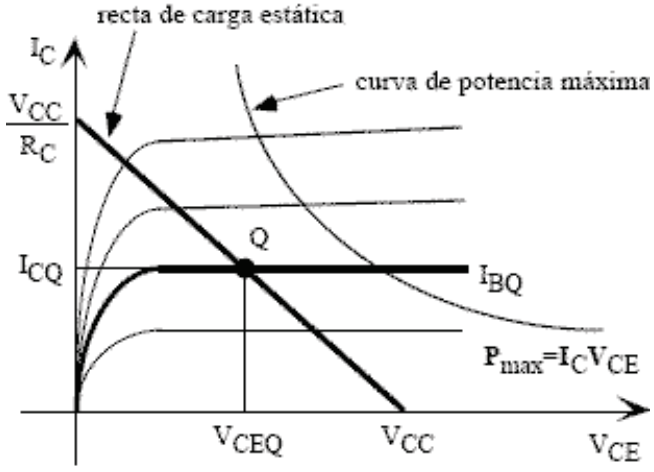


Figura 3.16. Curva característica del TBJ

3.2.3. REGIONES DE FUNCIONAMIENTO

Un transistor bipolar funciona de maneras diferentes, por eso se dice que el TBJ tiene 3 regiones de funcionamiento: región activa normal (RAN), región de corte, región de saturación.

3.2.3.1. Región Activa Normal

Es la región central de las curvas características en donde las curvas prácticamente se transforman en rectas horizontales, esta región está limitada por la curva de potencia.

En esta región la corriente de colector (Ic) depende principalmente de la corriente de base (Ib), de β (ganancia de corriente, es un dato del fabricante) y de las resistencias que se encuentren conectadas en el colector y emisor. Esta región es la más importante si lo que se desea es utilizar el transistor como un amplificador de señal.

Condiciones de polarización:

$J_{BE} \rightarrow$ Polarización Directa

$J_{BC} \rightarrow$ Polarización Indirecta

NPN ➡ $V_C > V_B > V_E$

PNP ➡ $V_C < V_B < V_E$

El transistor bipolar en la región activa normal funciona como amplificador porque una pequeña corriente de base produce una gran corriente de colector.

3.2.3.2. Región de Corte

La corriente de base controla el funcionamiento del TBJ si la corriente de base es igual a cero la corriente de colector también es igual a cero. Una corriente igual a cero es una corriente de circuito abierto es por eso que cuando se cumplen estas condiciones se dice que el transistor está trabajando en corte y su funcionamiento es el de un interruptor abierto entre colector y emisor.

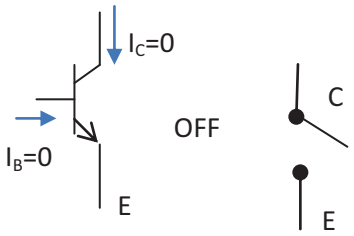


Figura 3.17. Transistor en corte

3.2.3.3. Región de Saturación

La corriente de base controla el funcionamiento del TBJ si la corriente de base (I_B) es grande la corriente de colector (I_C) también es grande y mientras más grande es la corriente de colector menor es el voltaje entre colector y emisor de tal manera que al aumentar la corriente de base aumenta la corriente de colector y disminuye el voltaje entre colector y emisor hasta que llega un momento en el cual el voltaje emisor-colector es prácticamente cero en estas condiciones se dice que el TBJ está saturado y su funcionamiento es igual a un interruptor cerrado entre colector y emisor.

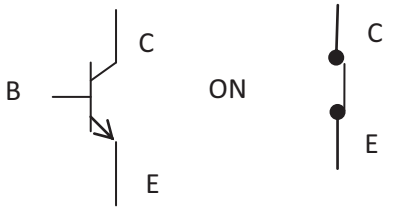


Figura 3.18 Transistor en saturación

3.3. EL LED

Un LED (Light Emitting Diode) básicamente es un diodo semiconductor que emite luz.

Su funcionamiento se basa en el intercambio entre electrones y huecos que existe en un diodo polarizado directamente entre los 2 semiconductores, este proceso de intercambio en los diodos normales produce calor en cambio en los diodos emisores de luz esta energía se transforma en energía luminosa (fotones).

Dependiendo de la magnitud de la corriente, hay recombinación de los portadores de carga (electrones y huecos). Hay un tipo de recombinaciones que se llaman recombinaciones radiantes.[24]

La relación entre las recombinaciones radiantes y el total de recombinaciones depende del material semiconductor utilizado (GaAs, GaAsP, y GaP)

Dependiendo del material de que está hecho el LED, será la emisión de la longitud de onda y por ende el color

Figura 3.19. Estructura del diodo LED

El LED tiene un voltaje de operación que va de 1.5 V a 2.2 voltios aproximadamente y la gama de corrientes que debe circular por él está entre los 10 y 20 miliamperios (mA) en los diodos de color rojo y de entre los 20 y 40 miliamperios para los otros LED.[25]

Existen diodos LED de varios colores que dependen del material con el cual fueron construidos. Hay de color rojo, verde, amarillo, ámbar, infrarrojo, entre otros.

[24] http://www.unicrom.com/Tut_diodo_led.asp

[25] http://www.unicrom.com/Tut_diodo_led.asp

Hay LEDs de 2 o 3 colores, no son más que 2 o mas LEDs colocados en antiparalelo el uno de un color y el otro de diferente color se prende el que esta polarizado directamente.

Material	Longitud de onda de emisión en Angstroms (A°)	Color
GaAs: Zn	9100	Infrarrojo
GaAsP.4	6500	Rojo
GaAsP.5	6100	Ambar
GaAsP.85:N	5900	Amarillo
Ga:P	5600	Verde

Tabla 3.1. Longitudes de onda de algunos compuestos de Galio

Color	Luminosidad	Consumo	Longitud onda	Diámetro
Rojo	1,25 mcd	10 mA	660 nm	3 y 5 mm
Verde, amarillo y naranja	8 mcd	10 mA		3 y 5 mm
Rojo (alta luminosidad)	80 mcd	10 mA	625 nm	5 mm
Verde (alta luminosidad)	50 mcd	10 mA	565 nm	5 mm
Hiper Rojo	3500 mcd	20 mA	660 nm	5 mm
Hiper Rojo	1600 mcd	20 mA	660 nm	5 mm
Hiper Verde	300 mcd	20 mA	565 nm	5 mm
Azul difuso	1 mcd 60°		470	5 mm
Rojo y verde	40 mcd	20 mA		10 mm

Tabla 3.2. Características de los LED

Los LEDs son muy utilizados como elementos de señalización, la ventaja de estos es que consumen muy baja potencia y además tienen una vida útil del orden de las 100 000 horas.

3.4. EL LCD

Está constituido por un circuito impreso en el que están integrados los controladores del display y los pines para la conexión del display. Sobre el circuito impreso se encuentra el LCD en sí, rodeado por una estructura metálica que lo protege.

La tensión nominal de alimentación es de 5V,con un consumo menor de 5mA.

El LCD dispone de una matriz de 5x8 puntos para representar cada carácter. En total se pueden representar 256 caracteres diferentes. 240 caracteres están grabados dentro del LCD y representan las letras mayúsculas, minúsculas, signos de puntuación, números, etc... Existen 8 caracteres que pueden ser definidos por el usuario. En la figura 3.21 se muestra gráficamente cómo es la matriz de representación de los caracteres. Se ha dibujado el carácter A y un carácter definido por el usuario.

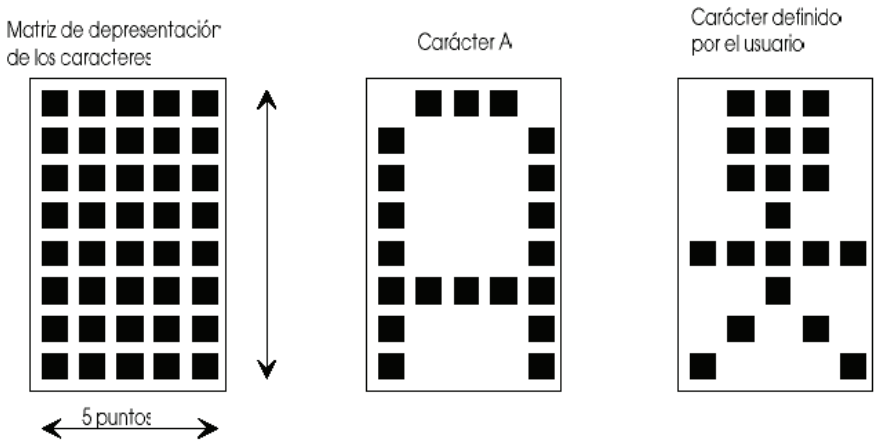


Figura 3.20 Matriz de representación de caracteres

3.4.1. MEMORIA DEL LCD

El LCD dispone de dos tipos de memorias independientes: la DD RAM y la CG RAM

3.4.1.1. DD RAM

En la DD RAM, se almacenan los caracteres que están siendo visualizados o que se encuentran en posiciones no visibles. El display almacena en esta memoria dos líneas de 40 caracteres pero sólo se visualizan 2 líneas de 16 caracteres. Por ello la DD RAM tiene un tamaño de 2x40=80 bytes.

Las operaciones de escritura en el display, son operaciones de escritura en la memoria DD RAM. Según en la posición de esta memoria en la que se escriba el carácter, aparecerá en una posición u otra en el display real. Los caracteres enviados al display pueden ser visibles si se encuentran en posiciones que caen

dentro del display real o pueden ser no visibles. En la figura 3.22, las posiciones (1,1)-(16,1) y (1,2)-(16,2) son visibles. Todos los caracteres enviados a esas posiciones serán visibles. Si se envía un carácter a cualquiera de las otras posiciones no será visible.

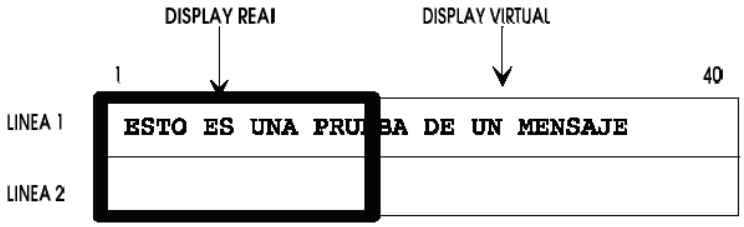


Figura 3.21 Caracteres visibles en el display

3.4.1.2. CG RAM

La CG RAM (Character Generator RAM), es la memoria que contiene los caracteres definibles por el usuario. Está formada por 64 posiciones, con direcciones $00-$3F. Cada posición es de 5 bits.

La memoria está dividida en 8 bloques, correspondiendo cada bloque a un carácter definible por el usuario. Por ello el usuario puede definir como máximo 8 caracteres, cuyos códigos van del 0 al 7. En la figura 3.23 se ha representado la CG RAM. Todas las direcciones están en hexadecimal.

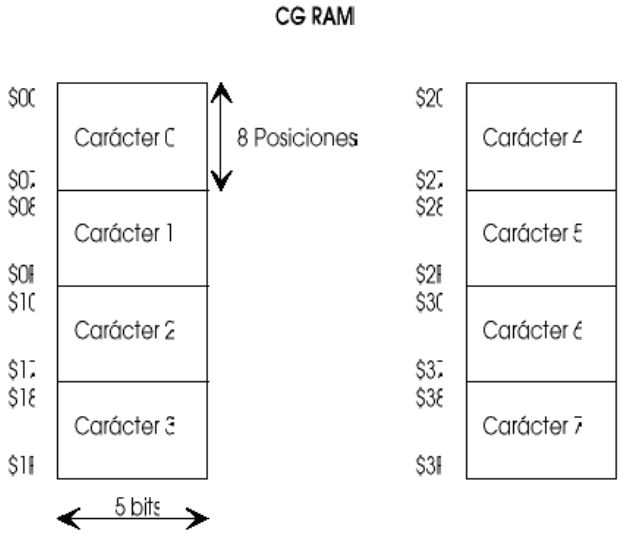


Figura 3.22. Mapa de la memoria CG RAM

Como se explicó anteriormente, cada carácter está constituido por una matriz de 5columnas x 8 filas. Para definir un carácter y asignarle por ejemplo el código 0 habrá que almacenar en las posiciones $00-$07 los valores binarios de las 8 filas del carácter del usuario. Un bit con valor 1 representa un punto encendido. Un bit con valor 0 es un punto apagado.

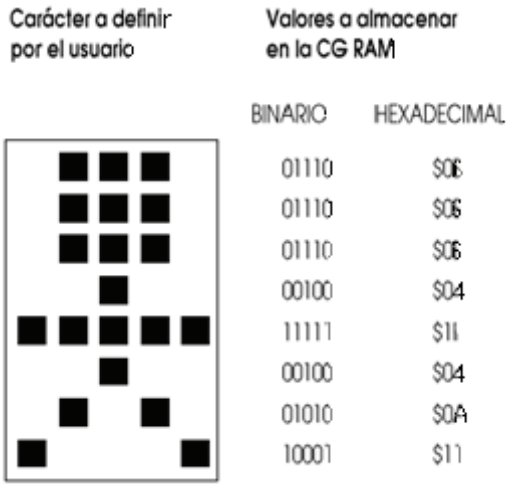


Figura 3.23. Carácter definido por el usuario y los valores a almacenar

3.4.2. PINES DE CONTROL DEL LCD

Para el control del display son necesarios 3 bits: una señal de enable (E), una para indicar lectura/escritura (R/W) y otra para seleccionar uno de los dos registros internos (RS).

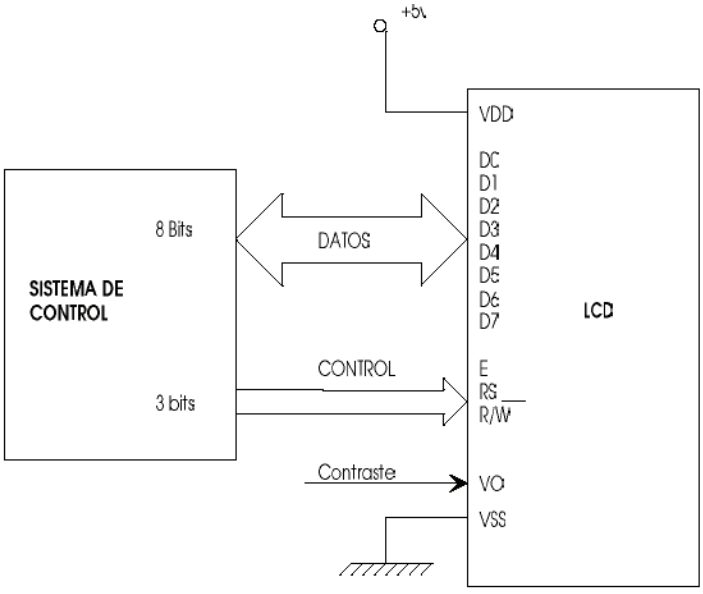


Figura 3.24. Interfaz del LCD con un sistema de control

El bus de control está formado por 3 señales: RS, R/W y E. La señal E es la señal de validación de los datos. Cuando no se utiliza el display esta señal debe permanecer a 0. Sólo en las transferencias de información (lecturas o escrituras) es cuando se pone a nivel 1 para validar los datos, pasando después de un tiempo a nivel 0.

La señal R/W permite seleccionar si la operación que se va a realizar sobre el display es una lectura o una escritura. Cuando R/W=1 se realizan lecturas y cuando R/W=0 escrituras. Lo normal siempre es realizar escrituras, no obstante, el display ofrece la posibilidad de poder leer los contenidos de la memoria CG RAM y DD RAM así como leer el estado interno del display (ocupado o disponible) y el contador de direcciones.

Con RS (Register Select) se selecciona el registro interno del display sobre el que se va a leer/escribir. El LCD dispone de dos registros internos: Registro de control y registro de datos. Ambos registros son de lectura y escritura. RS=0 selecciona el registro de control. RS=1 el registro de datos.

	REGISTRO DE CONTROL	REGISTRO DE DATOS
LECTURA	Lectura del flag de ocupado (D7) y del contador de direcciones (D0-D6)	Leer contenido de la memoria CG RAM o DD RAM
ESCRITURA	Ejecución de un comando interno: borrar display, desplazar el display, mover cursor...	Escribir en la DD RAM o CG RAM

Tabla 3.3 Registros Internos

Para controlar el contraste hay que introducir por el pin Vo una tensión entre 5 y 0 voltios. La tensión típica es de 0.6 voltios. Normalmente se coloca un potenciómetro para poder ajustar en cada momento el contraste más adecuado.

3.5. MICROCONTROLADOR PIC16F870

Los microcontroladores denominados “PIC”, corresponden exclusivamente a la marca Microchip. PIC significa “Peripheral Interface Controller” y fue desarrollado por Microchip a principio de los 80.[26]

[26] http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1995/1/CD-1101.pdf

Un microcontrolador es un circuito integrado programable el cual contiene todos los componentes de un computador. Es un computador completo de limitadas prestaciones, que está contenido en un único chip.

Un microcontrolador normalmente dispone de una memoria pequeña, en la que se almacena un solo programa.

Las líneas de entrada y salida se conectan con sensores y actuadores al dispositivo físico que controlan.

Una vez programado el microcontrolador sólo sirve para atender la tarea para la que ha sido programado.

Las ventajas de los microcontroladores son:

- Aumento de servicios y utilidades para el usuario.
- Aumento de la fiabilidad.
- Reducción de tamaño en el producto acabado.
- Mayor flexibilidad.

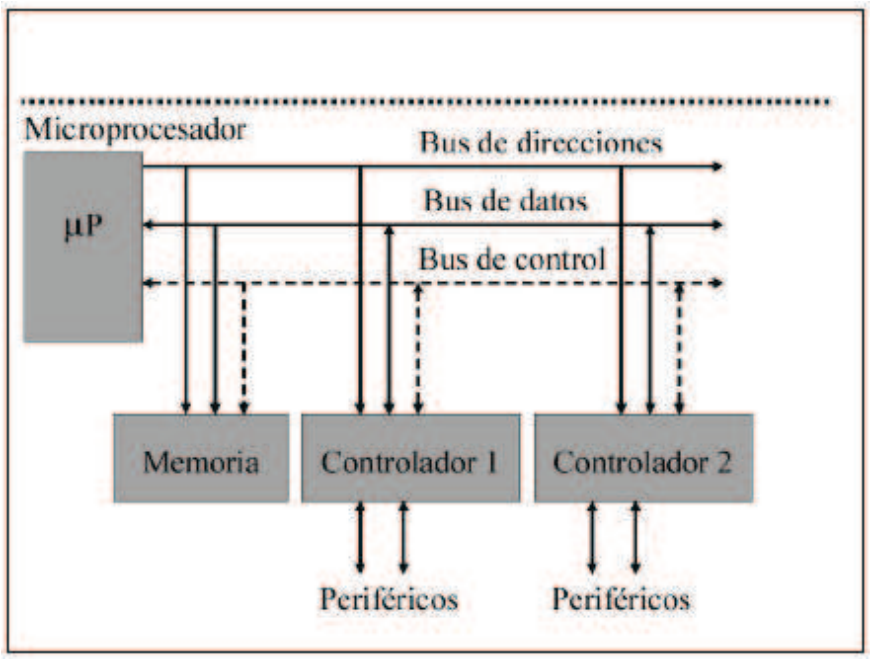


Figura 3.25. Microcontrolador

Básicamente, un microcontrolador está compuesto de los siguientes componentes:

- Procesador o CPU (Unidad Central de Proceso)
- Memoria ROM para el programa
- Memoria RAM para los datos
- Líneas de E/S para comunicarse con el exterior
- Diversos módulos para el control de periféricos (temporizadores, puertas Serie y Paralelo, CAD (Conversores Analógico/Digital), CDA (Conversores Digital/Analógico, etc.)

3.5.1. PROCESADOR (CPU)

Es el elemento más importante del microcontrolador y que determina sus principales características, tanto a nivel hardware como software. Se encarga de la decodificación y ejecución del programa.

El PIC 16F870 es de tipo RISC con un repertorio pequeño y sencillo de instrucciones, de forma que la mayor parte de las instrucciones se ejecutan en un ciclo de máquina.

Además se introduce una segmentación (*pipeline*) en el procesador, dividiendo la ejecución de una instrucción en varias etapas. De esta forma se puede trabajar sobre varias instrucciones simultáneamente cada una en una etapa distinta.

3.5.2. MEMORIAS

Los PIC utilizan arquitectura Harvard en lugar de la tradicional Von Neumann.

La arquitectura Harvard se caracteriza por tener dos memorias independientes, una para instrucciones y otra para datos. Cada una tiene su propio bus por lo que la CPU puede acceder simultáneamente a las dos. Esto agilita el proceso de lectura y ejecución de las instrucciones

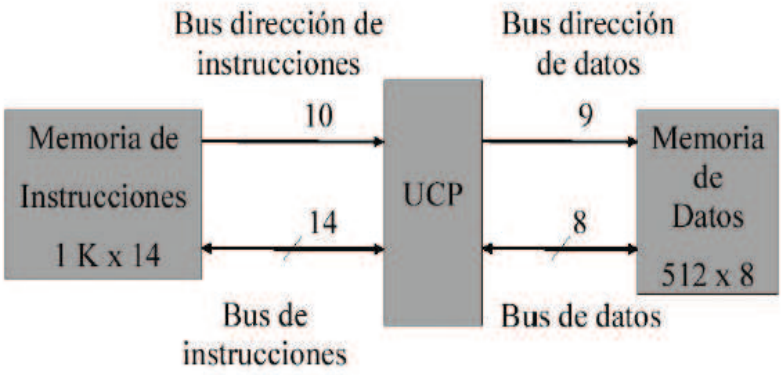


Figura 3.26. Arquitectura Harvard

3.5.2.1. Memoria del programa

Es una memoria de almacenamiento no volátil (ROM, EPROM, OTP, EEPROM, FLASH), en la que se almacena el programa que gobierna la aplicación a la que está destinado el microcontrolador.

En general tiene un tamaño muy reducido desde 512 a 16K palabras en la familia de los micros PIC. Además al tener una memoria específica de programa se puede adecuar el tamaño de las instrucciones y los buses al más apropiado para cada aplicación.

El PIC16F870 tiene una memoria de programa tipo FLASH, que es programable en el circuito y de bajo consumo, de 2 K direcciones, cada una de ellas con 14 bits, por lo que abarca un rango de direcciones de 0000 H a la 03FF H (en total 2048 posiciones).

3.5.2.2. Memoria de datos

La memoria para almacenar datos debe ser de lectura y escritura, por lo que en general se usa memoria SRAM, aunque algunos micros llevan memoria EEPROM para evitar la pérdida de los datos en caso de corte en el suministro de corriente.

Los tamaños son mucho más reducidos que la memoria de programa; por ejemplo el PIC16F870 dispone de 128 bytes de datos SRAM y 64 bytes de EEPROM.

La memoria de datos está divida en cuatro bancos, los registros de propósito general GPR son para el usuario, los registros son posiciones en la memoria, se los identifica con un número hexadecimal.

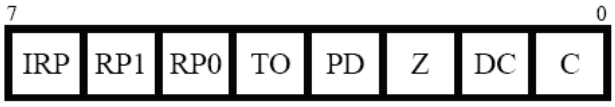
❖ *Registro STATUS*

El registro Status está ubicado en la localidad 03h de la RAM

Tiene varias funciones:

- Avisar el estado de la ALU (C, DC, Z)
- Indicar el estado de reset (TO, PD)
- Seleccionar el banco de memoria

Bits del registro status



❖ *Registros TRISA, TRISB y TRISC*

Cada línea de los pórticos debe especificarse si será usada como entrada o como salida.

Los registros TRISA, TRISB y TRISC sirven para indicar si las líneas son entradas o salidas: con 1L entrada, con 0L salida.

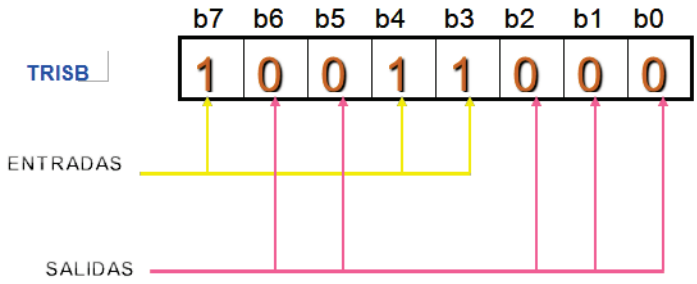


Figura 3.27 Registro TRISB

❖ *Registro INTCON*

Función principal: controlar las interrupciones. Está ubicado en la localidad0BH de la RAM. Su formato es:

GIE: permiso global de las interrupciones, con 1 habilita

EEIE: habilitación de interrupción para grabación de la EEPROM

TOIE: 1 habilita interrupción de TMR0, 0 lo deshabilita

INTE: 1 habilita la interrupción RB0/INT, 0 la deshabilita

RBIE: habilita interrupciones en RB4 a RB7

TOIF: bandera de TMR0

INTF: bandera de interrupciones en RB0

RBIF: bandera de interrupciones en RB4 a RB7

3.5.3. LÍNEAS DE ENTRADA/SALIDA

Estas líneas son los pines del microcontrolador que sirven para comunicarse con los periféricos conectados al sistema.

Pueden enviar o recibir datos digitales al o desde el periférico. Manejan la información en paralelo y se agrupan en conjuntos que reciben el nombre de puertas o pórticos. Los pines de las puertas pueden configurarse independientemente cada una de ellos como entrada o salida.

3.5.4. MODULOS PARA CONTROL DE PERIFERICOS

Cada uno de los microcontroladores de un fabricante está orientado a una función concreta, por lo que algunos tienen una serie de complementos que aumentan su potencia y flexibilidad.

A continuación se comentan muy brevemente los más comunes.

- Circuito de reloj, encargado de la sincronización del sistema.

- Temporizador para controlar los tiempos.
- Perro guardián (*watchdog*) provoca una reinicialización cuando el programa se queda colgado.
- Conversor AD y DA para recibir y enviar señales analógicas.
- Comparador analógico para comprobar el valor de una señal analógica.
- Sistema de protección ante fallos de alimentación.
- Estado de reposo, para minimizar el consumo de energía.

3.5.5. CARACTERISTICAS DEL PIC 16F870

- Memoria de Programa de 2 K de 14 bits, EEPROM.
- Memoria de Datos RAM de 128 bytes.
- Memoria de Datos EEPROM de 64 bytes.
- Dispone de una pila de 8 niveles para permitir llamadas a subrutinas anidadas.
- Tiene 11 tipos diferentes de interrupciones.
- Un juego reducido y sencillo de 35 instrucciones.
- El encapsulado es de plástico DIP con 28 pines.
- Permite un rango de frecuencias de trabajo de hasta 20 MHz.
- Dispone de 3 timers (TMR0, TMR1, TMR2), y de perro guardián (WDT).
- *Tiene 22 líneas de E/S digitales, divididas en 3 puertos (puerto A 6 líneas, puerto B 8 líneas, puerto C 8 líneas).*
- *Corriente máxima absorbida por línea: 25 mA.*
- *Corriente máxima suministrada por línea: 25mA.*
- *Voltaje de alimentación (VDD) entre 2 y 5.5 V.*
- *Módulo CCP*
- *Módulo A/D de 5 canales*
- *Frecuencia máxima de trabajo: 20 MHz*

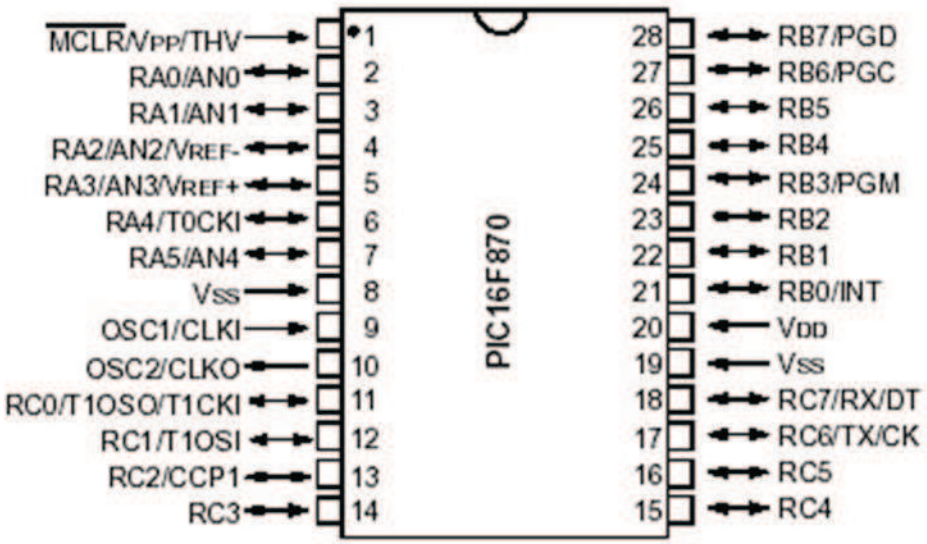


Figura 3.28 PIC16F870

Polarización: VDD = 5v

VSS = 0v

OSC1/CLKIN: entrada del circuito oscilador externo

OSC2/CLKOUT: Auxiliar del circuito oscilador

MCLR: Reset del micro. También se usa para introducir el voltaje de programación.

RA0 – RA5: pórtico A. RA4/TOCKI también sirve para ingresar una frecuencia externa para el temporizador TMR0

RB0 – RB7: pórtico B. RB0/INT entrada de interrupción externa

RC0 – RC7: pórtico C.

3.5.6. PROGRAMACION DE PICs

Lenguaje de "Alto Nivel": permite que los algoritmos se expresen en un nivel y estilo de escritura fácilmente legible y comprensible por el hombre. En la actualidad se trata de lenguajes de tipo visual.

Lenguaje de "Bajo Nivel": el usuario se acerca un poco más al lenguaje de máquina. Permiten un acceso más amplio al control físico de la maquina (hardware).

Lenguaje Ensamblador: Podríamos considerarlo el lenguaje de más bajo nivel. El usuario escribe código en el mismo "idioma" del procesador. Se tiene control total del sistema. El lenguaje de programación es muy específico para cada modelo de procesador, incluso puede variar de un modelo a otro de procesador dentro de un mismo fabricante.

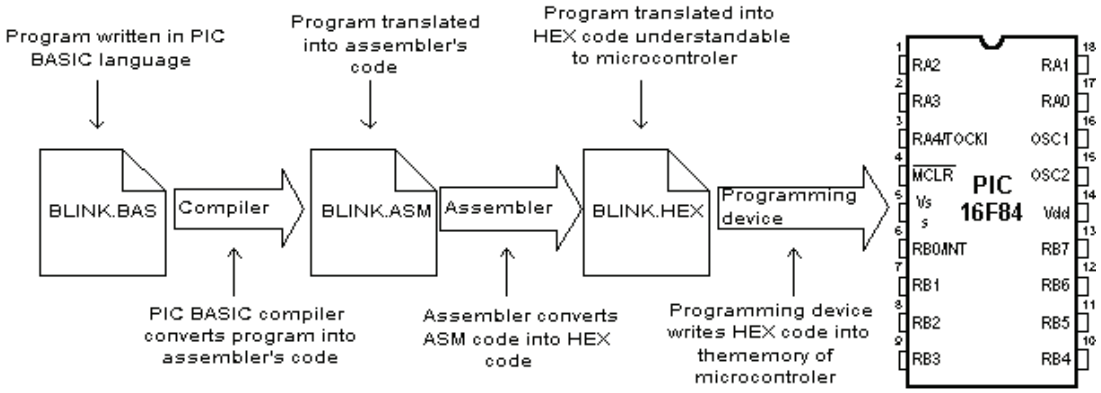


Figura 3.29 Pasos para programar un PIC

Para la programación de PICs se hace uso de compiladores como el MikroC PRO, PICC, CCS, PIC Basic, entre otros. Además se puede hace uso de simuladores como el Proteus que permiten hacer un seguimiento del programa antes de grabarlo en el PIC.

Lo primero que se hace es escribir el programa, es hacer una lista de instrucciones en un lenguaje que nos permita indicarle al PIC lo que deseamos que haga. Existen varios lenguajes como: Ensamblador, Basic, C, etc. Todos ellos pretenden acercarse a nuestra manera de pensar y de hablar. Sin embargo los PIC no conocen más que unos y ceros. Por eso se compila el programa al lenguaje de máquina. Para realizar esta traducción hacemos uso de un software como MikroC, Matlab, etc.

Una vez compilado se crea un archivo *.hex que se lo quema o grava en el PIC, mediante un programador de PIC que transfiere el programa de la PC al PIC.

CAPITULO 4

CONSTRUCCIÓN DEL TELURÓMETRO

4.1. ESQUEMA ELÉCTRICO

Para la determinación del circuito electrónico, se consideró el principio de funcionamiento del telurómetro de 3 puntos explicado en el capítulo 2.

Se utilizó la herramienta de simulación ISIS de Proteus para determinar los elementos adecuados y verificar su funcionamiento.

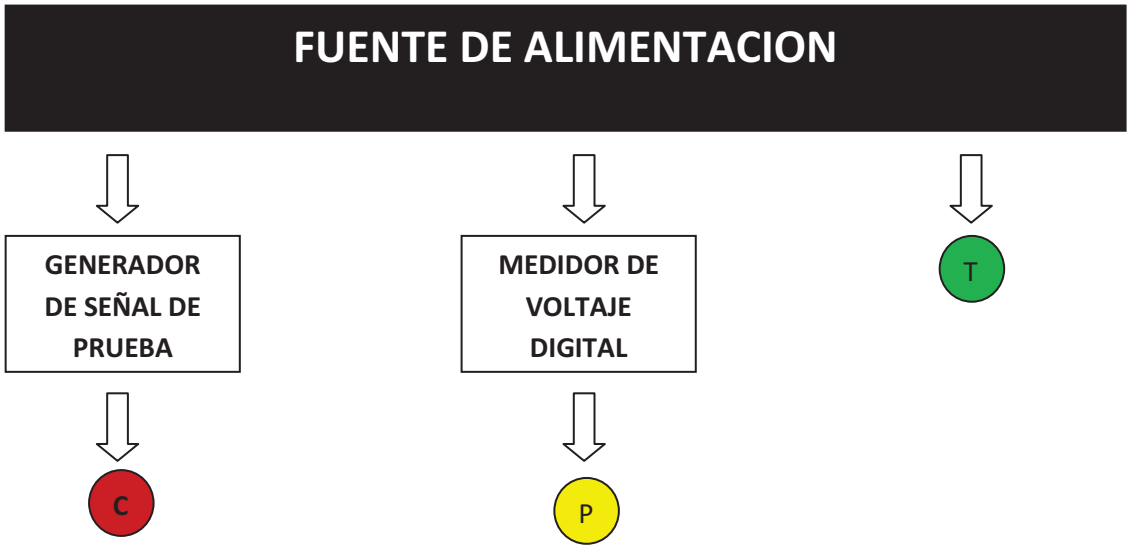
El telurometro tiene tres partes bien diferenciadas la primera es la fuente de alimentación encargada de distribuir la energía de las baterías a todos los circuitos que componen el equipo, la segunda es un generador de señal de prueba en esta etapa se genera una onda cuadrada de corriente constante que se inyecta al terreno por medio de una varilla auxiliar C con un cable de color rojo a una distancia de 20m de la puesta a tierra, esta onda sirve para realizar el test de medición.

La tercera etapa es un voltímetro digital que recoge una señal de voltaje que es proporcional a la caída de tensión en la resistencia de puesta a tierra en la varilla auxiliar P que se encuentra enterrada en el terreno a una distancia de 10m de la puesta a tierra utilizando un cable color amarillo. En esta etapa la señal que haya en P se amplifica se filtra y se la convierte en una señal continua que sirve de entrada al microcontrolador y esta a su vez pueda mostrar en el LCD el valor de la resistencia de puesta a tierra.

El borne T es la tierra general del circuito del telurometro que se conecta directamente a la puesta a tierra a través de un cable de color verde se debe recordar que antes de realizar este test se debe desconectar la puesta a tierra de la red eléctrica.

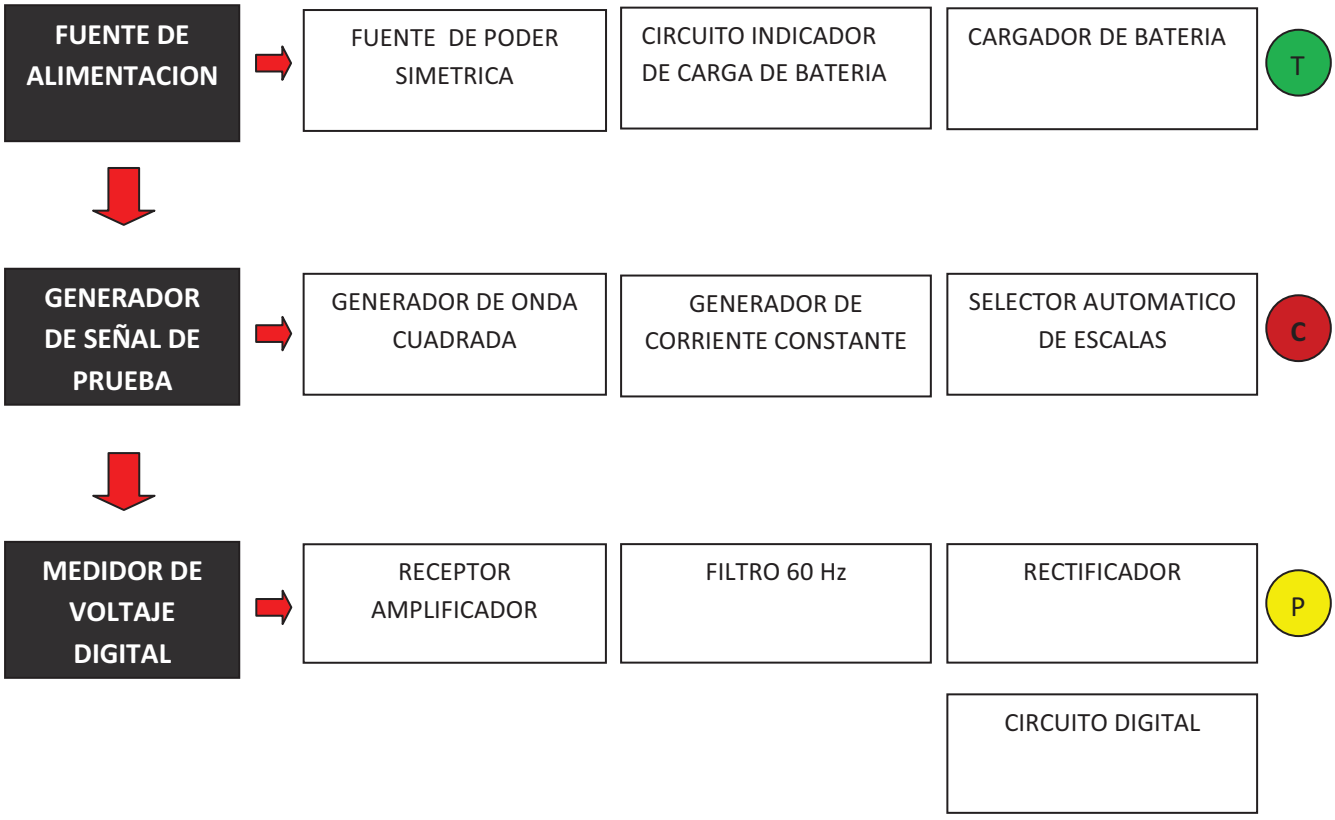
Estas tres etapas se pueden visualizar en el siguiente diagrama de bloques.

DIAGRAMA DE GENERAL BLOQUES



Las tres etapas mencionadas se explican a continuación detalladamente el siguiente diagrama de bloques.

DIAGRAMA DE BLOQUES DETALLADO



4.1.1. FUENTE DE ALIMENTACIÓN

Es la parte encargada de proveer de energía al circuito del telurometro para que este pueda realizar las mediciones. En esta etapa existe tres partes la primera es una fuente de poder simétrica, la segunda es el circuito indicador de carga de batería y finalmente el cargador de batería. A continuación se explica estos circuitos.

4.1.1.1. Fuente de poder simétrica

Para alimentar este equipo se necesita una tensión dual de+12 y -12 voltios, que se obtiene con dos baterías recargables de plomo de 12V y 800mAh. El circuito consume unos 80mA, por lo que las dos baterías garantizan una larga autonomía.
Para los amplificadores operacionales se utilizan los reguladores de voltaje 7809 y 7909, ya que requieren una alimentación de +9 y -9 Voltios
Además el microcontrolador utiliza una tensión de 5V, que se obtiene utilizando un circuito integrado 7805 como se muestra en la figura 4.1.

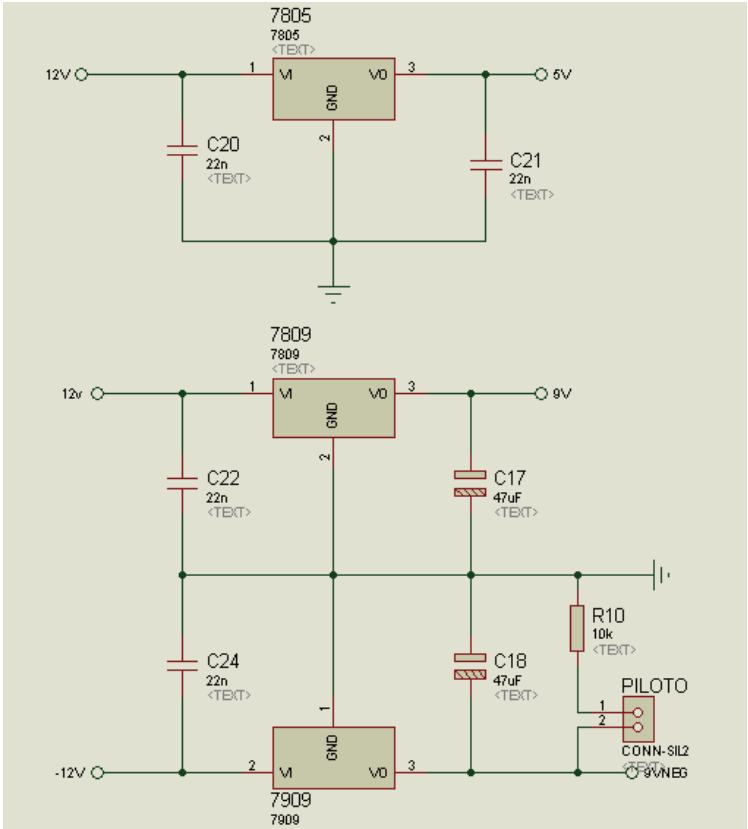


Fig. 4.1. Reguladores de voltaje

4.1.1.2. Circuito indicador de carga de batería

El telurómetro cuenta con un indicador de estado de las baterías. Que es controlado mediante amplificadores operacionales configurados como compradores.

Estos comparadores tienen como referencia un voltaje de 5 voltios, obtenido de un regulador de voltaje 7805, mientras que el voltaje a compararse esta dado por un divisor de voltaje en cada batería.

Cuando el voltaje del divisor de tensión de una batería es mayor a 5V, en la salida del AO se presentara el voltaje de saturación negativo, aproximadamente -7V, pero cuando el voltaje del divisor sea menor a los 5V en la salida del AO habrá un voltaje positivo de +7V. Dependiendo del voltaje en la salida del operacional se envía la señal al microcontrolador para que encienda el LED RGB en un color diferente.

Cuando el LED RGB se enciende en el color verde indica una carga completa en las baterías. Si se enciende en el color azul significa que hay suficiente carga en las baterías para realizar una medida fiable, sin embargo las baterías necesitan ser recargadas, además en el LCD del equipo aparece un símbolo de batería.

Cuando el RGB se pone rojo intermitente indica que no hay suficiente carga en las baterías del equipo para realizar una medición fiable. En este estado el telurómetro no muestra ninguna medición en el display, ya que esta podría ser errónea.

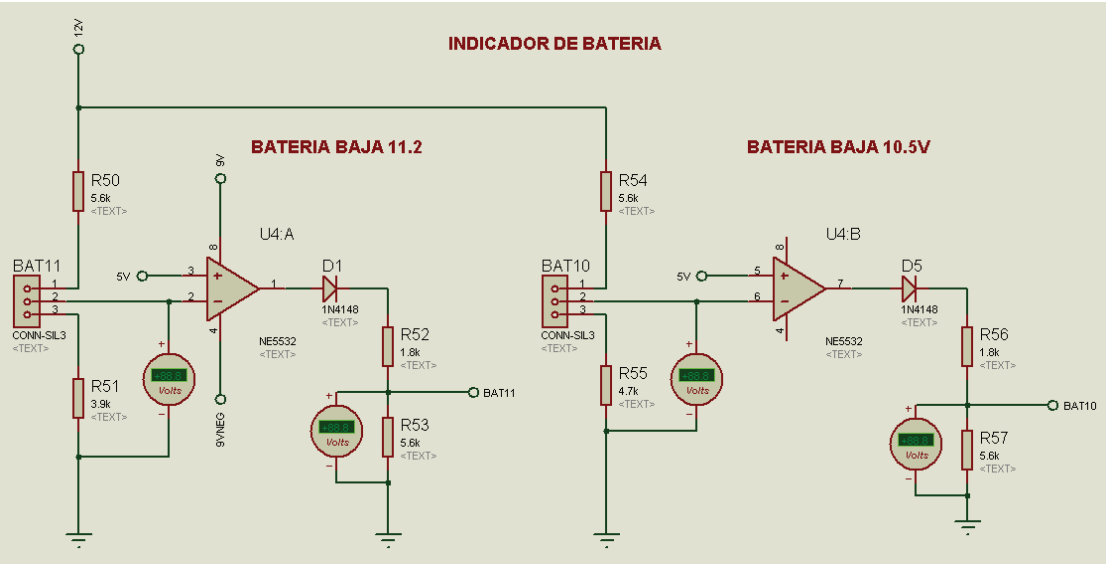


Fig. 4.2. Indicador de estado de batería

4.1.1.3. Cargador de batería

Para cargar el equipo se utiliza un adaptador de 30VDC el cual se conecta en la parte lateral del equipo, además consta de un LED indicador del estado de carga de las baterías.

En el circuito de carga el adaptador de 30VDC transfiere la corriente de 50mA a las baterías del circuito que están conectadas en serie a través del diodo LED de alto brillo.

Cuando el voltaje de las baterías sea mayor a 28V el diodo LED se polarizara inversamente, impidiendo el paso de corriente hacia las baterías e indicando la carga total de las mismas.

4.1.2. GENERADOR DE SEÑAL DE PRUEBA

Este circuito es el encargado de generar una onda cuadrada de corriente constante que puede ser de 1mA o 10mA dependiendo de la escala de medición a una frecuencia 750Hz.

Esta etapa está dividida en 3 partes la primera es un generador de onda cuadrada, la segunda es un generador de corriente constante y la tercera es el selector automático de escalas. A continuación se explica con detalle el funcionamiento de estos circuitos.

4.1.2.1. Generador de onda cuadrada

En figura 4.3 se puede observar al primer amplificador operacional denominado como U1-A configurado como comparador este se encarga de generar una onda cuadrada en la salida.

También se puede mirar dos diodos zener de 3.6V que son los encargados de recortar la onda cuadrada a una amplitud de 3.6V que servirá como entrada a la siguiente etapa del circuito.

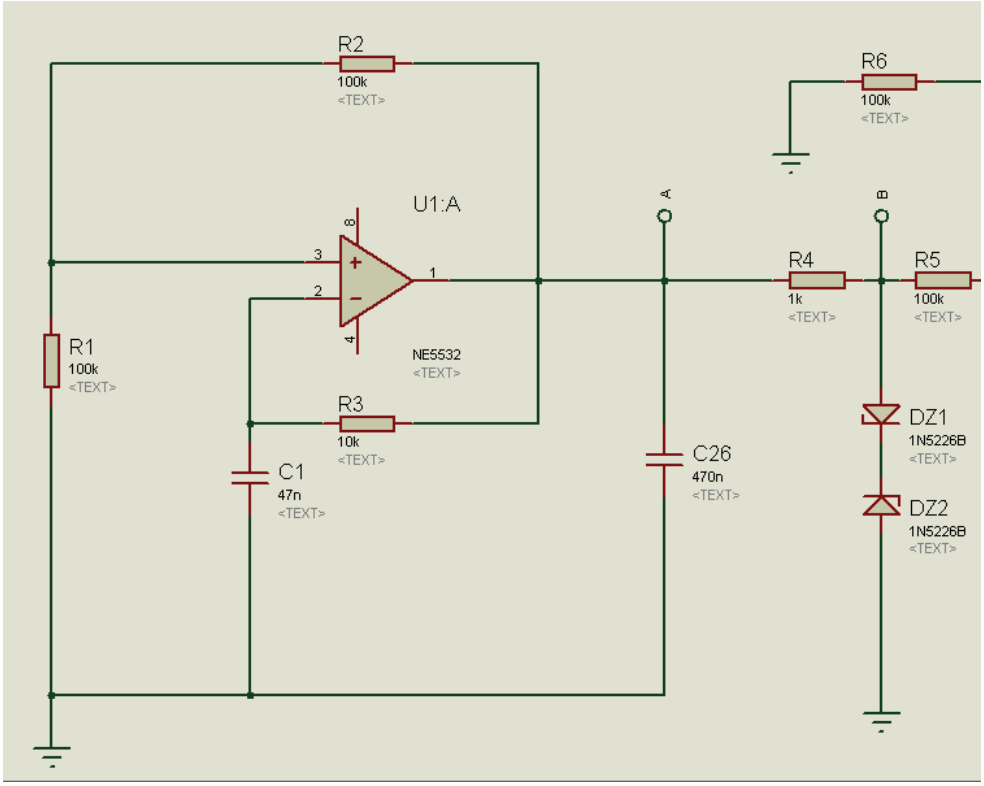


Figura 4.3 Generador de onda

Para entender como funciona el A.O. como generador de onda cuadrada, se puede observar en la figura 4.3 como el amplificador operacional esta configurado como comparador; una pequeña diferencia de voltaje entre las entradas lleva a la salida el voltaje de saturación, así en la salida se puede tener +Vcc o –Vcc en este caso +7 voltios o -7 voltios dependiendo cual entrada sea mayor.

Supongamos en un primer momento que a la salida del circuito de la figura se tiene un estado alto (Vo =+Vcc), en esas condiciones, la carga del capacitor seria 0v y en la salida del operacional habría +Vcc en ese instante el capacitor C1 se comienza a cagar a través de R3 llegando un punto donde el voltaje del capacitor es mayor al voltaje en el terminal 3, en esta parte cambiaría el estado de salida del amplificador operacional a -Vcc. Con el tiempo el voltaje del capacitor empieza a decrecer hasta llegar nuevamente 0 voltios lo que regresaría al estado anterior es decir la salida otra vez seria positiva en el amplificador operacional.

La carga y descarga del capacitor es periódica y a la salida de este circuito saldría una onda cuadrada que depende de la frecuencia de carga y descarga del capacitor.

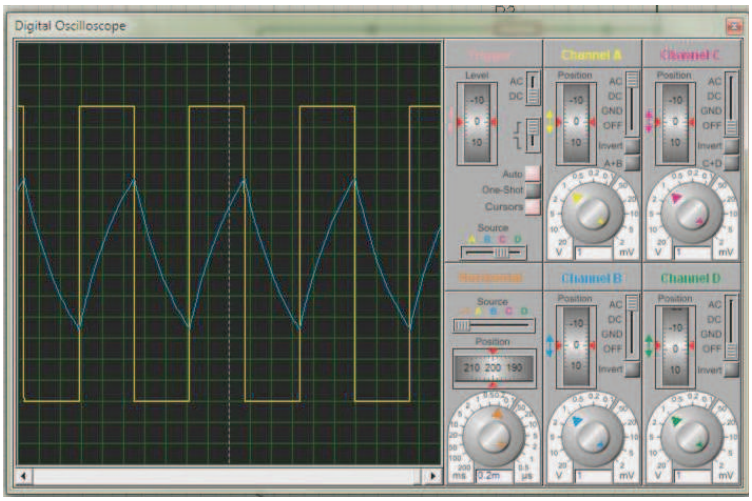


Figura 4.4 Sincronismo de la onda cuadrada con el capacitor C1

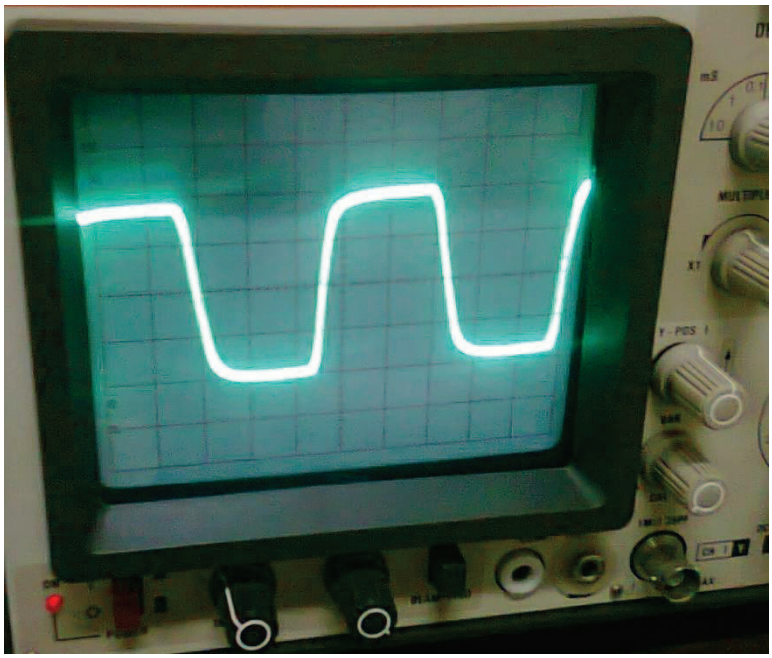


Figura 4.5 Forma de onda en la salida del amplificador operacional U1-A

La frecuencia depende básicamente de dos parámetros que son el valor de la resistencia R3 y el valor de C1.

La frecuencia se calcula con la siguiente ecuación.

La frecuencia seria

En la salida de esta onda cuadrada de 968Hz se colocó un capacitor de 470 nF el cual aumenta el tiempo del cruce por cero para poder utilizar los optoacopladores como interruptores en la etapa de selección automática de escalas pero al colocar este elemento la frecuencia de la onda generada disminuye a 750Hz.

Entonces es esta etapa se creó una onda cuadrada alterna con amplitud de 3.6 V y una frecuencia de 750Hz que es la onda principal del test de medida.

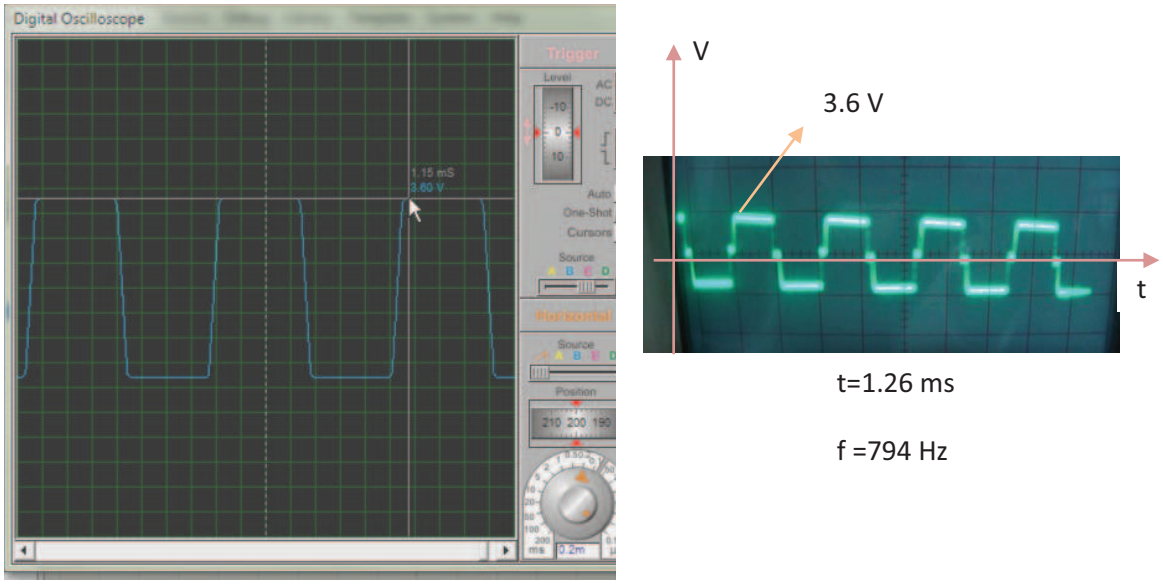


Figura 4.6 Onda final de la etapa 1

4.1.2.2. Generador de corriente constante

La segunda etapa es la encargada de generar una corriente constante de 1mA o 10mA en la onda cuadrada generada en el circuito anterior.
Para esto utilizamos un amplificador operacional U1-B configurado como restador este tiene una realimentación desde la salida del AO con la finalidad de mantener una corriente constante en la salida.

Es decir si hay una caída de tensión en la salida de este AO, esta se realimentara a través del divisor de voltaje entre las resistencias R6 y R7 a la entrada no inversora del AO, resultando una resta entre las señales que están presentes en las entradas del integrado; aquí se debe tomar en cuenta que la onda cuadrada de la etapa anterior llega a la entrada inversora del AO y que a su salida será una onda invertida de esta manera en realidad se estarían sumando tanto la señal de la onda cuadrada de 3.6v y la caída de tensión a la salida del circuito y de esta manera se mantendría una corriente constante.

La corriente generada en este circuito está dada por un amplificador push pull formado por los dos transistores uno NPN y el otro PNP, que obtienen la corriente de la alimentación general del circuito de +9V y -9v. A la salida de este circuito no habría caídas de voltaje teóricamente por que los transistores están configurados como seguidores de emisor y la ganancia seria aproximadamente 1 sin embargo hay una pequeña caída de tensión debido al voltaje que cae en las junturas de los transistores de aproximadamente 0.6v.
La frecuencia de la onda se mantiene constante a 750Hz al igual que su forma.
La corriente de 1mA y 10mA depende de los valores de las resistencias de los selectores de escalas de la etapa 3 del generador de señal de prueba.
El circuito generador de corriente constante descrito anteriormente se lo puede observar en la figura 4.7.

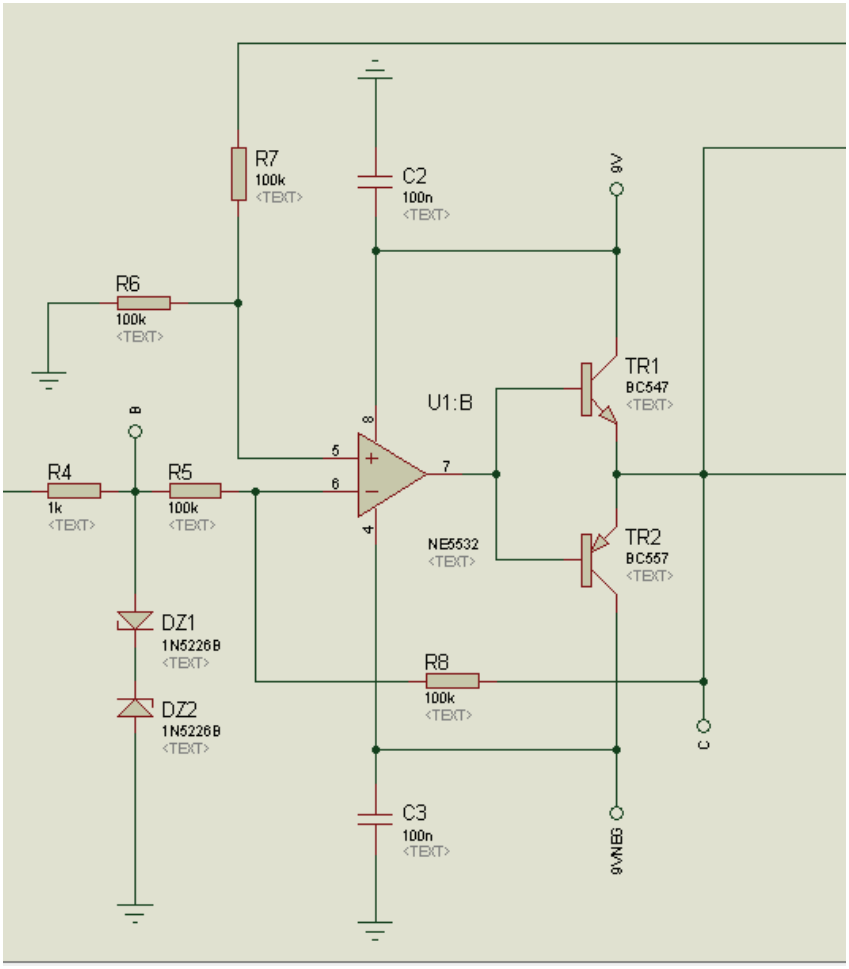


Fig.4.7 Fuente de corriente

4.1.2.3. Selector automático de escalas

Para la selección de la escala se utilizó optoacopladores, controlados mediante una señal del microcontrolador el cual selecciona la escala apropiada de medición. Se dispone de 2 escalas, una de 20 y otra de 200. La primera utiliza una corriente de prueba de 10mA y la segunda de 1mA

El microcontrolador selecciona la escala adecuada de la siguiente manera:

Primero conecta la escala en el rango de 200, censa la señal y si esta es mayor a 20 ohm se procede a mostrar el valor en el display. Caso contrario si la señal es menor a 20 ohmios se desconecta la escala de 200 y conecta la escala de 20 luego se procesa y se muestra el valor en el display.

Además cada escala dispone de un LED indicador.

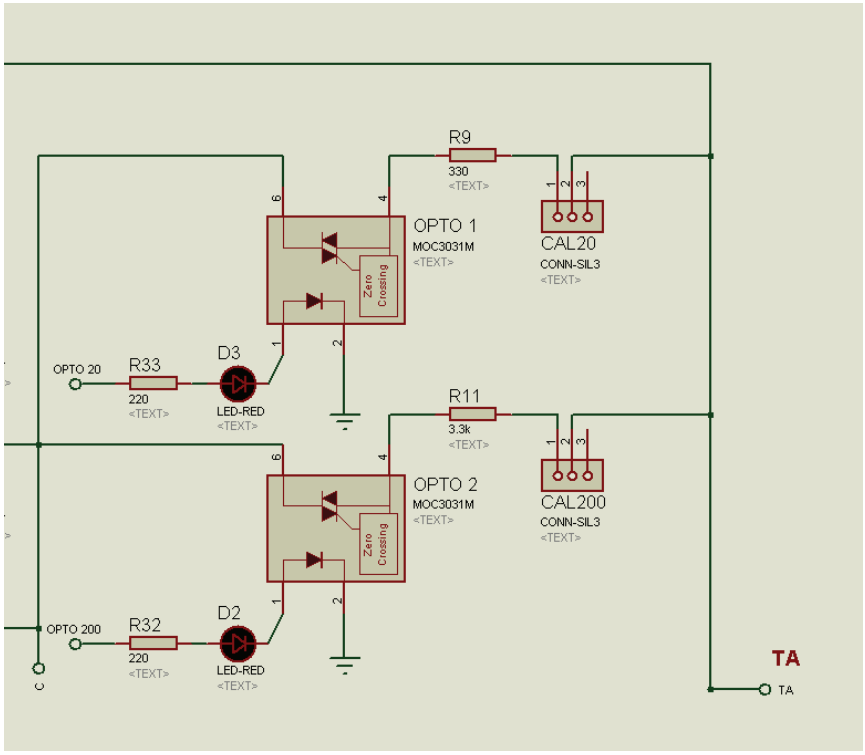


Fig. 4.8 Selector automático de escalas

4.1.3. MEDIDOR DE VOLTAJE DIGITAL

La señal alterna de 750 Hz que hay en el borne C del generador de corriente se aplica a una varilla metálica C que es enterrada en el terreno a una distancia aproximada de 20m, la segunda varilla P se conecta a unos 10 metros de la varilla anterior y es la encargada de recibir una caída de tensión entre el punto donde está la varilla P y la puesta a tierra este voltaje alterno es proporcional a la resistencia de la puesta de tierra.

El borne T (tierra) es la tierra general del circuito del equipo y esta se conecta a la puesta de tierra previamente desconectada de la red eléctrica a través de un de cable de color verde.

El circuito medidor de voltaje digital es el encargado de receptar, filtrar, amplificar, y digitalizar la señal alterna del test para poder visualizarla en el LCD un valor de resistencia que es proporcional a la caída de tensión entre los puntos mencionados (P,T).

Este circuito tiene 4 etapas que son las siguientes: la primera es el receptor medidor de voltaje, la segunda es un filtro de 60Hz, la tercera es un conversor AC-DC y finalmente la última etapa es el circuito digital.

4.1.3.1. Receptor amplificador

Es circuito está encargado de receptar la señal de voltaje que existe en la varilla auxiliar P a través de condensador C4 que se encarga de filtrar señales continuas no deseadas.

Después de pasar la señal por el capacitor C4 la onda entra al divisor de voltaje conformado por las dos resistencias R13 y R14 e ingresa al Amplificador Operacional U2-A configurado como amplificador no inversor el cual amplifica la señal al doble la señal.

El capacitor C5 es utilizado para reducir los ruidos en la salida de esta etapa.
Como se muestra en la figura 4.9.

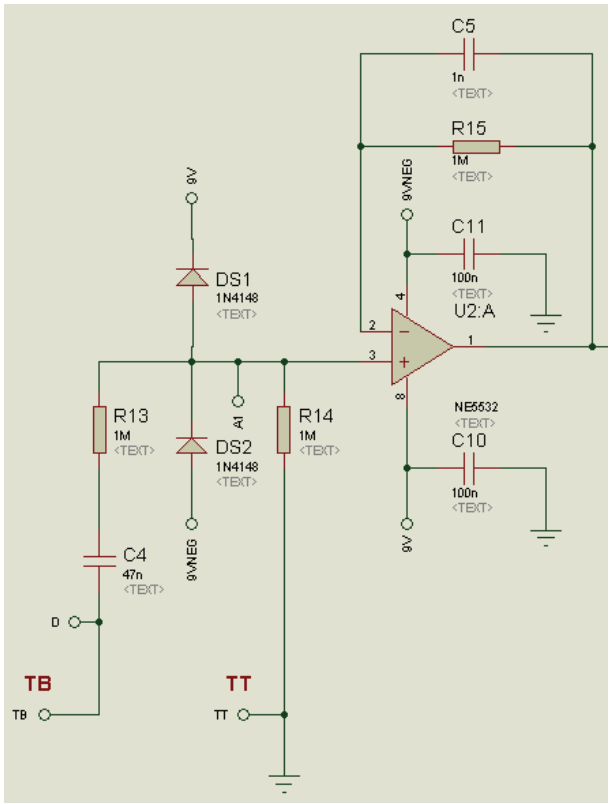


Fig. 4.9 Receptor amplificador

4.1.3.2. Filtro de 60Hz

En esta etapa se trata de eliminar la señal de la red eléctrica de 60Hz que puede inducirse desde el terreno por alguna mala conexión cerca de la puesta a tierra bajo prueba, ya que estas señales parasitas pueden influir en la medición mostrando un resultado erróneo en la medida.

El filtro empleado en este circuito es del tipo elimina bandas y la frecuencia central más atenuada es de 60Hz y está formado por 4 resistencias y 4 capacitores de iguales valores como se muestra en la figura 4.10.

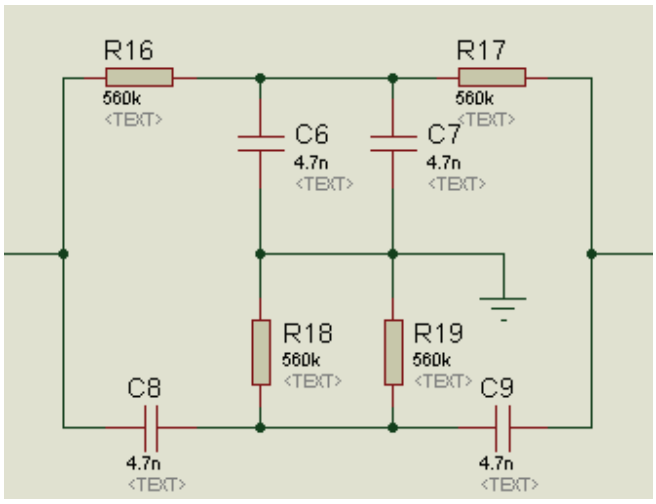


Fig. 4.10 Filtro de 60Hz

El cálculo de la frecuencia central se realiza utilizando la siguiente ecuación:

El capacitor C19 es utilizado para filtrar alguna señal continua que pudo haberse inducido en la señal en la etapa anterior.

Después tenemos un Amplificador operacional U2-B configurado como amplificador que duplica la señal del paso anterior como se muestra en la figura 4.11.

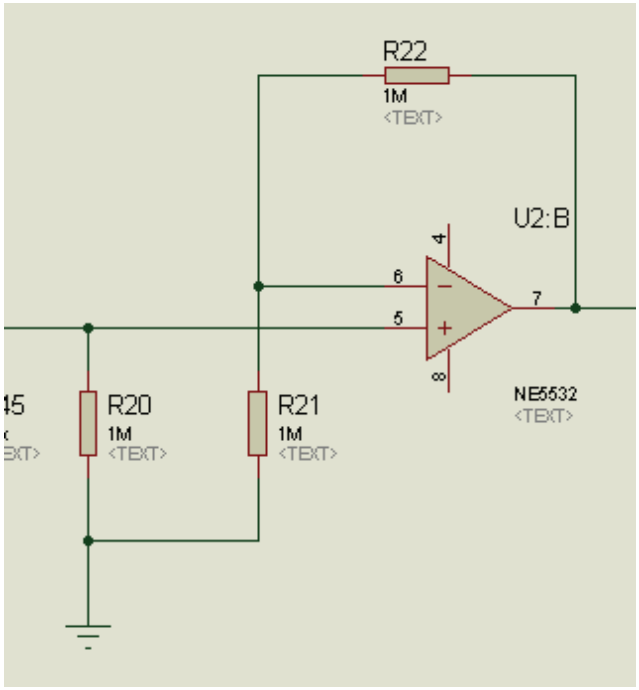


Fig. 4.11 Amplificador U2-B

4.1.3.3. Rectificador

La tercera etapa está formada por un amplificador operacional U3-A configurado como amplificador inversor que a su salida tiene dos diodos que rectifica la señal de entrada.

La semionda positiva de la señal pasa sin ser amplificada a los diodos DS4 y DS5 mientras que la semionda negativa de la señal llega a la entrada inversora del AO y se amplifica teniendo como resultado en la salida del AO una onda positiva y de esta manera a la salida del circuito hay una señal pulsante de una sola polaridad.

Después la pulsante de una sola polaridad obtenida en el paso anterior se la convierte en una señal continua utilizando un filtro de 470nF (C14).

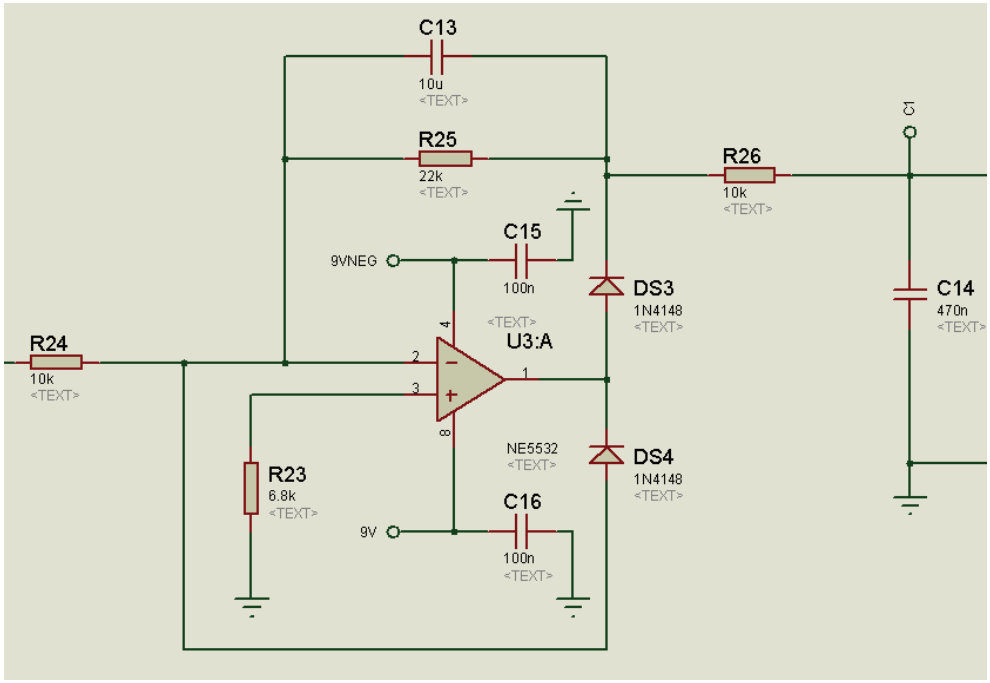


Fig. 4.12 Rectificador

La señal continúa obtenida en esta etapa, que por cierto es proporcional a la onda recogida en la varilla P, que es el resultado de la caída de tensión en la resistencia de puesta a tierra; es llevada a otro amplificador operacional U3-B configurado como amplificador no inversor que se encarga de amplificar la señal continua para que esta pueda entrar al ADC del microcontrolador y de esta manera empezar la etapa digital del equipo.

Además se colocó un diodo zener de 5.1v para protección del microcontrolador como se muestra en la figura 4.13.

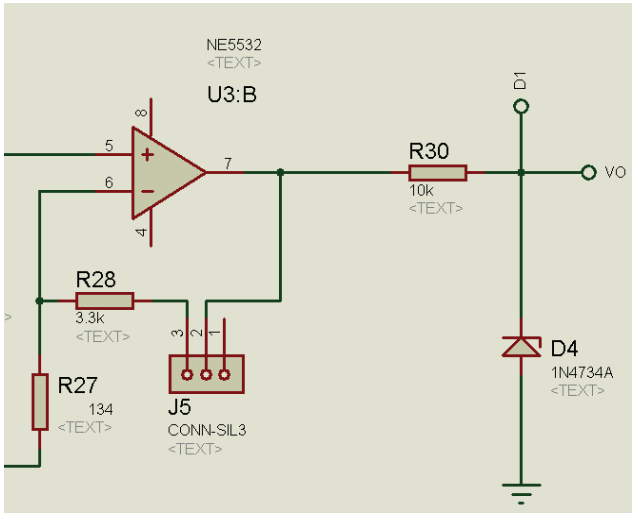


Fig. 4.13 Amplificador no inversor

4.1.3.4. Circuito Digital

Después del paso anterior se tiene una señal de voltaje continuo proporcional a la resistencia de tierra, este voltaje continuo ingresa a la entrada ADC del microcontrolador, de acuerdo a la programación de este lo digitaliza y muestra el valor de la resistencia en el LCD.

Este proceso se realiza con el convertidor interno de los microcontroladores. Este módulo está incorporado en la mayoría de los PICs. En este caso el microcontrolador PIC16F870 tiene un ADC con una resolución de 10 bits, lo que permite obtener un número con un rango de 0 a 1023, que es proporcional a los valores de referencia, que por defecto son 0 voltios y 5 voltios. Esto significa que si una entrada análoga, tiene un voltaje de 0 voltios su resultado es 0, y si el voltaje es de 5 voltios el resultado de la conversión es 1023 de igual manera si la tensión es de 2.5 voltios, el resultado será 512. El valor que se muestre en el LCD corresponde a la resistencia de la puesta tierra y se lo obtiene multiplicando el valor del ADC por una constante calculada.

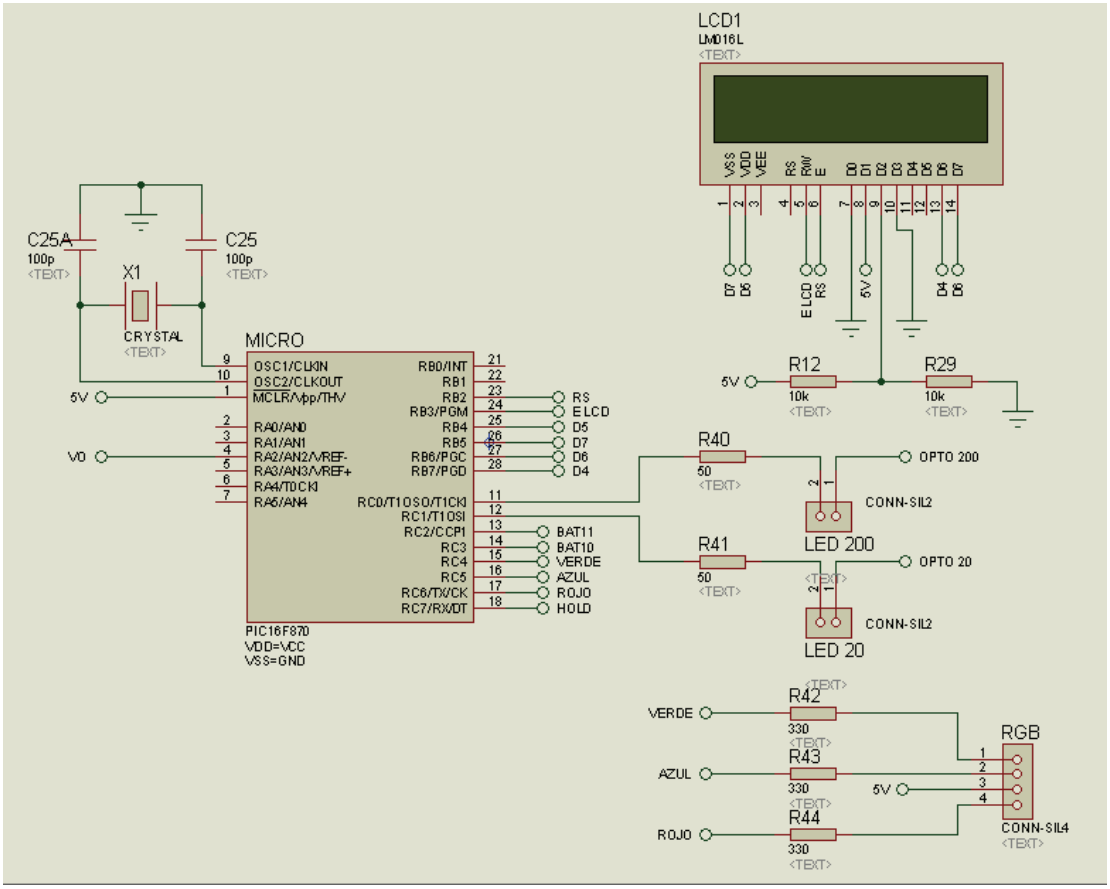


Fig. 4.14 Circuito digital formado por el PIC16F870 y un LCD

4.2. PROGRAMACION DEL PIC16F870

El programa para el microcontrolador fue escrito en lenguaje C, en el software de compilación y simulación MikroC.

El microcontrolador realizara las siguientes acciones:

- Controla las escalas
- Muestra el valor de la resistencia de tierra en el LCD
- Censa el voltaje de batería
- Convierte la señal analógica en digital
- Suprime el ruido

4.2.1. LENGUAJE C

C es un lenguaje de programación de propósito general que ofrece economía sintáctica, control de flujo y estructuras sencillas y un buen conjunto de operadores. No es un lenguaje de muy alto nivel y más bien un lenguaje pequeño, sencillo y no está especializado en ningún tipo de aplicación.[27]

4.2.1.1. Ventajas[28]

- Un núcleo del lenguaje simple, con funcionalidades añadidas importantes, como funciones matemáticas y de manejo de archivos, proporcionadas por bibliotecas.
- Es un lenguaje muy flexible que permite programar con múltiples estilos. Uno de los más empleados es el estructurado "no llevado al extremo".
- Un sistema de tipos que impide operaciones sin sentido.
- Acceso a memoria de bajo nivel mediante el uso de punteros.
- Interrupciones al procesador con uniones.
- Un conjunto reducido de palabras clave.

[27] http://www.mikroe.com/download/eng/documents/publications/other-books/libro_simulacion_mikroc.pdf
[28] http://www.taringa.net/posts/apuntes-y-monografias/13667957/C-ventajas-y-desventajas.html

- Por defecto, el paso de parámetros a una función se realiza por valor. El paso por referencia se consigue pasando explícitamente a las funciones las direcciones de memoria de dichos parámetros.
- Punteros a funciones y variables estáticas.
- Tipos de datos agregados (struct) que permiten que datos relacionados (como un empleado, que tiene un id, un nombre y un salario) se combinen y se manipulen como un todo (en una única variable "empleado"

4.2.1.2. Características

- Los comentarios se inician con la doble barra diagonal //.
- Los signos de agrupación siempre deben estar en pareja, es decir si hay tres llaves de apertura {{{, deben haber tres llaves de cierre correspondientes}}}. Lo mismo con los paréntesis ( ).
- Los números hexadecimales se escriben comenzando siempre con 0x, por ejemplo 0x0A, 0x16, 0xFD, etc.
- Los números binarios se escriben comenzando siempre con 0b, por ejemplo 0b001110, 0b11101111, etc.
- Los números decimales se escriben de la forma común y corriente, por ejemplo 64, 126, 12.75, etc.
- No se debe confundir el operador de asignación (=) con el operador de comparación (==) igual a.
- El punto y coma (;) indica el final de una instrucción, por lo tanto hay que tener mucho cuidado para colocarlo en el lugar apropiado.
- Las llaves { } no son necesarias en aquellos casos en los que únicamente se va a ejecutar una instrucción (ver los ejemplos a lo largo de este apartado).
- Todo programa en MikroC PRO debe tener una función principal (main), y su nombre no debe ser cambiado.

Los tipos de datos más utilizados se muestran en la tabla 4.1.

Tipo	Tamaño (en bytes)	Rango
bit	1 bit	0 ó 1
char	1	0…255
signed char	1	-128…127
int	2	-32768…32767
unsigned	2	0…65535
long	4	-2147483648…2147483647
unsigned long	4	0…4294967295
float	4	$-1.5 * 10^{45}$ … $+3.4 * 10^{38}$

Tabla 4.1. Tipos de datos más comunes en MikroC PRO

El tipo float es para números con punto decimal, mientras que los demás tipos son para números enteros.

La ejecución de una instrucción consiste en la realización de las operaciones especificadas en esa instrucción. De la ejecución se encarga la CPU (unidad central de proceso) del microcontrolador PIC.

Los siete elementos básicos de la programación son: entrada de datos, tipos de datos, operaciones, salida, ejecución condicional, lazos y funciones.

4.2.1.3. Principales instrucciones

4.2.1.3.1. Instrucción de asignación (=)

Permite asignar a una variable un valor constante, el contenido de otra variable o el resultado de una expresión matemática. La asignación va de derecha a izquierda.

4.2.1.3.2. Instrucción de entrada de datos (variable=PORTx)

Permite el ingreso de uno o más datos a través de los pines del microcontrolador y almacenarlos en una o más variables.

El siguiente es un caso especial utilizado en la programación de microcontroladores PIC en C:

PORTB=PORTA; //Los bits del puerto A se envían hacia los pines del puerto B.

También se puede leer el estado individual de cada bit de un puerto:

variable=RB3_bit; //Lee el estado del pin RB3 y lo guarda en la variable.

4.2.1.3.3. Instrucción de salida de datos (PORTx=dato)

Permite el envío de datos, el contenido de una variable o el resultado de una expresión matemática hacia los pines de un puerto. Por ejemplo,

PORTA=0x00; //Todos los pines del puerto A se ponen en 0.
PORTB=variable; Los bits de la variable son enviados hacia los pines del puerto B.
PORTB=PORTA+65; //El valor del puerto A más 65 se envía hacia el puerto B.
Como caso especial, se pueden enviar bits individuales a cada uno de los pines de un puerto:

RB0_bit=0; //El pin RB0 se pone en 0.

4.2.1.3.4. Instrucción de decisión (if...else)

Permite la ejecución de las instrucciones 1 si la condición es verdadera, de lo contrario se ejecutan las instrucciones2. Las llaves { } no son necesarias cuando hay una sola instrucción.

4.2.1.3.5. Instrucción de ciclo controlado por una variable (for)

Permite ejecutar un grupo de instrucciones de manera repetitiva, una determinada cantidad de veces.

```
for (número de veces){
instrucciones;
}
```

4.2.1.3.6. Instrucción iterativa condicional (while)

Permite ejecutar un grupo de instrucciones de manera repetitiva, mientras una condición sea verdadera. Primero se revisa la condición para determinar su valor de verdad (verdadero o falso) y luego se ejecutan las instrucciones.

```
while (condición){
instrucciones;
}
```

4.2.1.3.7. Instrucción hacer-mientras (do...while)

Permite ejecutar un grupo de instrucciones de manera repetitiva, mientras una condición sea verdadera. Es similar a la instrucción while, con la diferencia de que primero se ejecutan las instrucciones y luego se revisa la condición.

```
do{
instrucciones;
}
while (condición);
```

4.2.1.3.8. Funciones

Una función es una agrupación de instrucciones para formar una nueva instrucción creada por el programador (usuario). Empleando funciones, la solución total de un determinado problema se divide en varios subproblemas, cada uno de los cuales es resuelto por medio de una función particular, aplicando de esta manera la conocida máxima “Divide y vencerás”.
Las funciones constituyen una de las características fundamentales de MikroC PRO, pues todo programa bien escrito hace uso de ellas. Para poder utilizar una función se deben cumplir los dos siguientes pasos:

1.-Declaración de la función.- Consiste en indicar el tipo, nombre y parámetros de la función:

```
tipo nombre ( parámetro1, parámetro2, ...);
```

2.-Definición de la función.- Consiste en indicar las instrucciones que forman parte de dicha función:

```
tipo nombre ( parámetro1, parámetro2, ...){
instrucciones;
}
```

4.2.2. MIKROC PRO[29]

MikroC PRO es un paquete de software con una amplia variedad de ayudas y herramientas que facilita la creación de proyectos y aplicativos para los microcontroladores PIC.

El compilador de alto nivel en lenguaje C utiliza estructuras que facilitan la programación, optimiza las operaciones matemáticas y los procesos, por medio del uso de funciones predefinidas y las no predefinidas que el desarrollador puede crear, así como el uso de un conjunto de variables, de tipo carácter, entero, y punto decimal. El compilador crea automáticamente el código ensamblador y a su vez un código similar consignado en un archivo con extensión *.hex, este archivo es el resultado primordial del compilador dado que con este se programa eléctricamente el microcontrolador o con el mismo se puede realizar una simulación computacional.

[29] http://www.mikroe.com/downloads/get/944/es_1st_project_c_pro_pic_v101.pdf

http://www.mikroe.com/downloads/get/30/mikroc_pic_pro_manual_v101.pdf

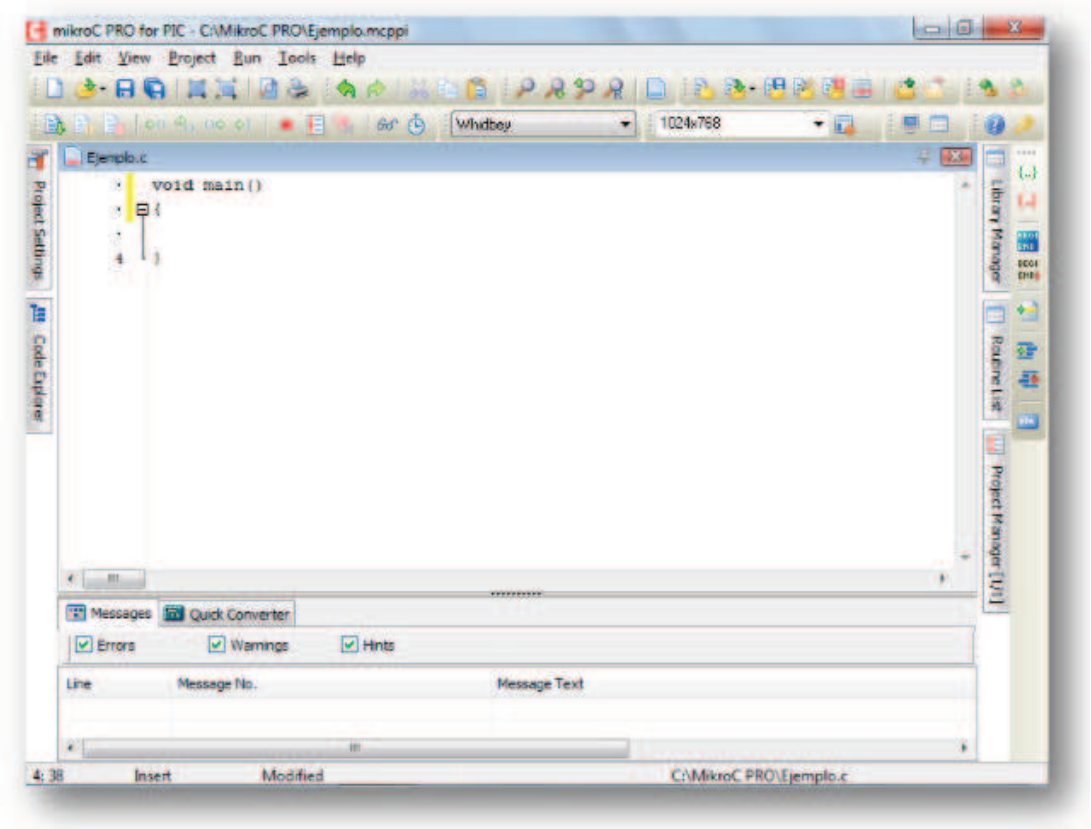


Figura 4. 15. Entorno de desarrollo de MicroC PRO.

El programa se caracteriza por permitir el ingreso de información, tener uno o varios lugares de almacenamiento de dicha información, contar con las instrucciones para manipular estos datos y obtener algún resultado del programa que sea útil para el usuario. También, las instrucciones se pueden organizar de tal forma que algunas de ellas se ejecuten sólo cuando una condición específica (o conjunto de condiciones) sea verdadera, otras instrucciones se repitan un cierto número de veces y otras pueden ser agrupadas en bloques que se ejecutan en diferentes partes de un programa.

4.2.2.1. Estructura básica de un programa en MikroC PRO[30]

Todos los programas (código fuente) en MikroC PRO tienen una estructura básica, a partir de la cual se desarrolla cualquier aplicación del usuario:

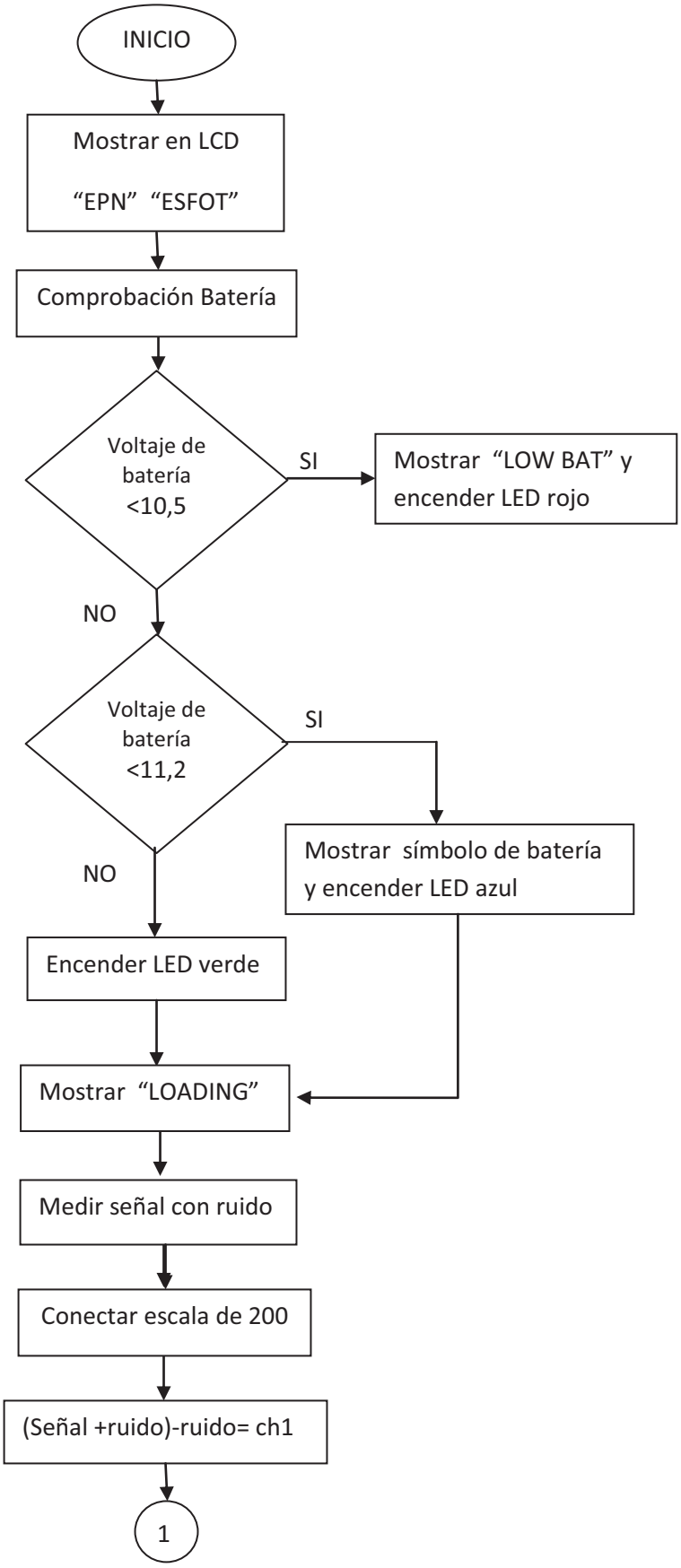
[30]http://www.programarpicenc.com/libro/programacion-pic-en-c-mikroc-pro.html

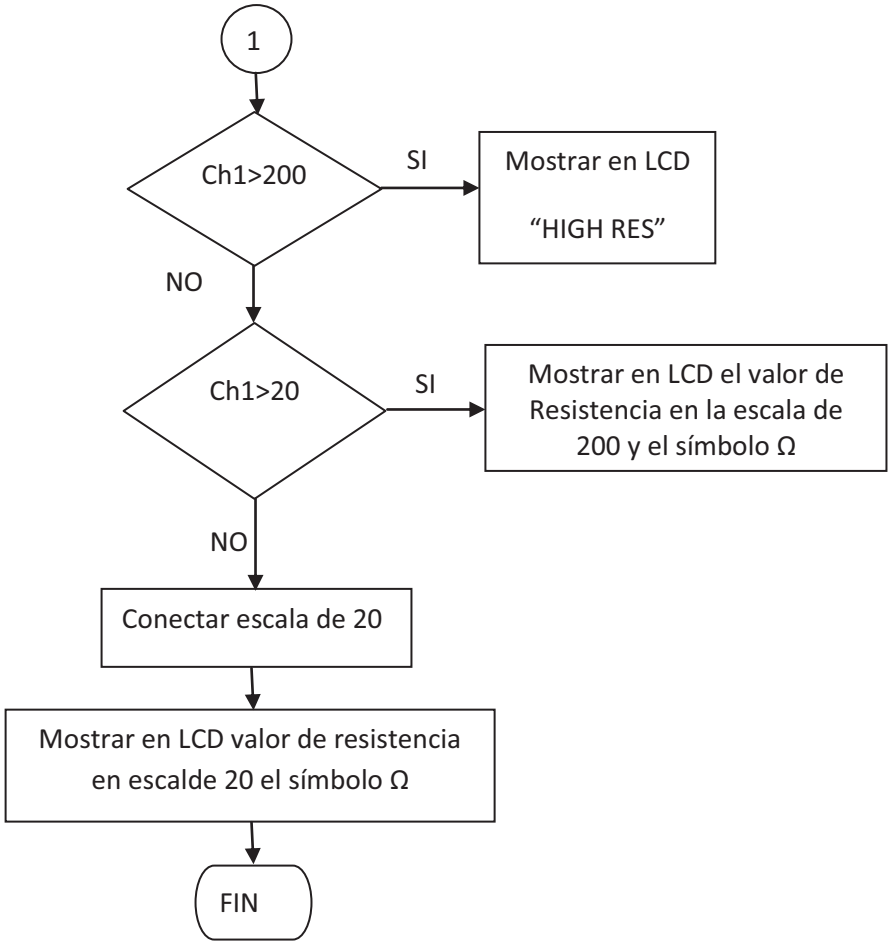
```
//Nombre_de_programa.c
//Descripción del programa.
//Autor: Ing. Penagos R.
//*****Declaración de funciones (prototipos)*****
//*****Fin de declaración de funciones*****
//=====Declaración de variables======
//=====Fin de declaración de variables======
//****Función principal*****
voidmain( ){
  //Instrucciones del programa.
}
//******Fin de función principal*****
//===Definición de funciones====
función1{
 instrucciones1;
}
función2{
 instrucciones2;
}
//=====Fin de definición de funciones========
```

Los tipos de funciones más empleadas son numéricas (char) y nulas (void). Las primeras retornan (return) o devuelven como resultado un número, mientras que las segundas simplemente ejecutan un grupo de instrucciones.

Cuando un cambio se realice sobre el código del programa se debe compilar el código picando el siguiente botón: que está ubicado en la parte superior del programa dentro de la paleta de herramientas. Está acción genera los resultados de la compilación que se encuentran en la parte inferior de la ventana del programa. Los mensajes se deben terminar con un texto de finalización exitosa, caso contrario se mostraran los errores detectados durante la compilación.

4.2.3. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA





Al presionar el botón de medida del telurómetro se inicializa el programa.
Comienza mostrando en el LCD el mensaje “EPN” y después de unos 2 segundos se muestra “ESFOT” para lo cual se configuro el puerto B como salida del display.

Luego se procede a comprobar si el valor de la batería es suficiente para realizar una medición confiable, para esto se configuro los pines RC2 y RC3 del puerto C del microcontrolador como entrada de datos, al puerto RC3 llega la señal del AO configurado como comparador, cuando el voltaje de las baterías es menor a 10,5 v, al puerto ingresa un 1 lógico y se enciende de forma intermitente el led RGB en el color rojo y se muestra el mensaje “LOW BAT” ; y no puede realizar ninguna medición.
Si no se tiene 1L en RC3 se pasa a comprobar el estado del puerto RC2, si el voltaje en la batería es menor a 11,2 v presentara un 1L y se enviara la señal al

puerto RC5 para que se encienda el LED RGB en azul y se muestre en el display el símbolo de batería y se continua con el programa. Si hay 0L se continúa con el programa y se enciende el LED en color verde.

A continuación se muestra en el LCD “LOADING” mientras que en ADC del microcontrolador se lee la señal del ruido y se almacena en la variable ruido.
Después se envía la señal a los optoacopladores, por medio del los pines RC0 y RC1, para conectar o desconectar las escalas. Se conecta primero la escala de 200Ω se vuelve a leer el voltaje en el ADC y se almacena en una variable. A esta variable se le resta el valor almacenado en la variable ruido, el resultado de esta operación se guarda en la variable ch1, si este valor es mayor a 200 se mostrara en el LCD “HIGH RES” y no se continuara, caso contrario se compara si este valor es mayor a 20, si es así se procesa la señal en la escala de 200 y se muestra el valor de la variable ch1, en el LCD con el símbolo Ω; si el valor es menor a 20 se desconecta la escala de 200 y se conecta la de 20 y se muestra en el LCD el valor en el ADC restado el ruido y el símbolo Ω, este ciclo se repite cada 1 milisegundo.
El programa completo se detalla en anexo 4-A

4.3. PRUEBAS Y CALIBRACION

4.3.1. SIMULACIÓN

Se utilizó la herramienta de simulación ISIS de Proteus para verificar su funcionamiento del circuito y analizar el mismo ya que dispone de herramientas de análisis como multímetro, osciloscopio, etc.

Además Proteus dispone de ARES una herramienta con la cual se puede elaborar y observara en 3D las placas de los circuitos impresos y permite imprimir las pistas para quemar la placa del circuito en baquelita.

4.3.1.1. ISIS de Proteus

El simulador ISIS de Proteus es un poderoso paquete de software, desarrollado por la compañía labcenterelectronics.

El ISIS permite la simulación de las familias de los PIC más populares tales como la: 12F, 16F, 18F. Además de los PIC, el ISIS puede simular una gran variedad de dispositivos digitales y analógicos, entre los dispositivos digitales es posible simular displays de siete segmentos, de caracteres, y gráficos. Permite, simular actuadores como: motores dc, servo motores, luces incandescentes entre otros. Es posible simular periféricos de entrada y salida como teclados, y puertos físicos del ordenador como: RS232, y USB

Este simulador cuenta con una amplia variedad de instrumentos de medición como voltímetros, amperímetros, osciloscopios, y analizadores de señal.

Lo primero que se hizo fue dibujar el circuito mediante las herramientas y librerías de dispositivos electrónicos que dispone ISIS de Proteus.

Antes de correr la simulación se debe cargar el archivo .hex, generado con el compilador MikroC, para este proceso se hace clic izquierdo sobre el PIC, y aparece una ventana que permite buscar el archivo .hex, en esta ventana también se ajusta la frecuencia de oscilación. Por defecto este valor es 1MHz, para efectos disimulación en este caso se debe seleccionar 4MHz, la vista de esta ventana es la siguiente:

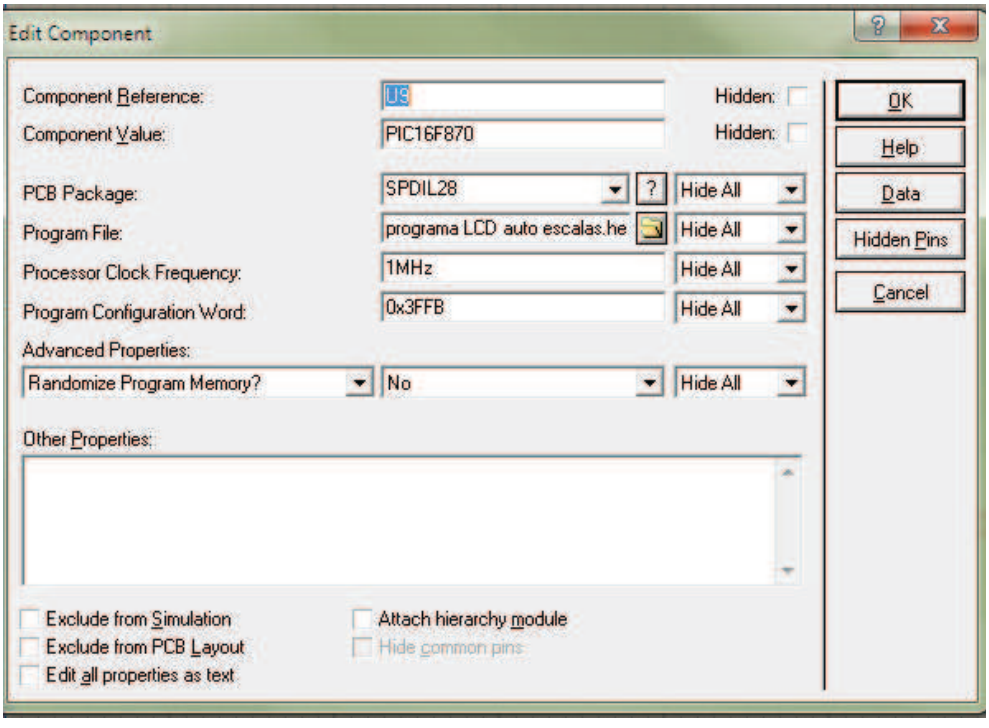


Fig. 4.16 Ventana de edición del PIC en Proteus

Una vez cargado el programa en el PIC se corre la simulación, en la cual se puede observar el comportamiento del circuito.

Mediante el osciloscopio virtual, se observar la señal a la salida del borne “C”.

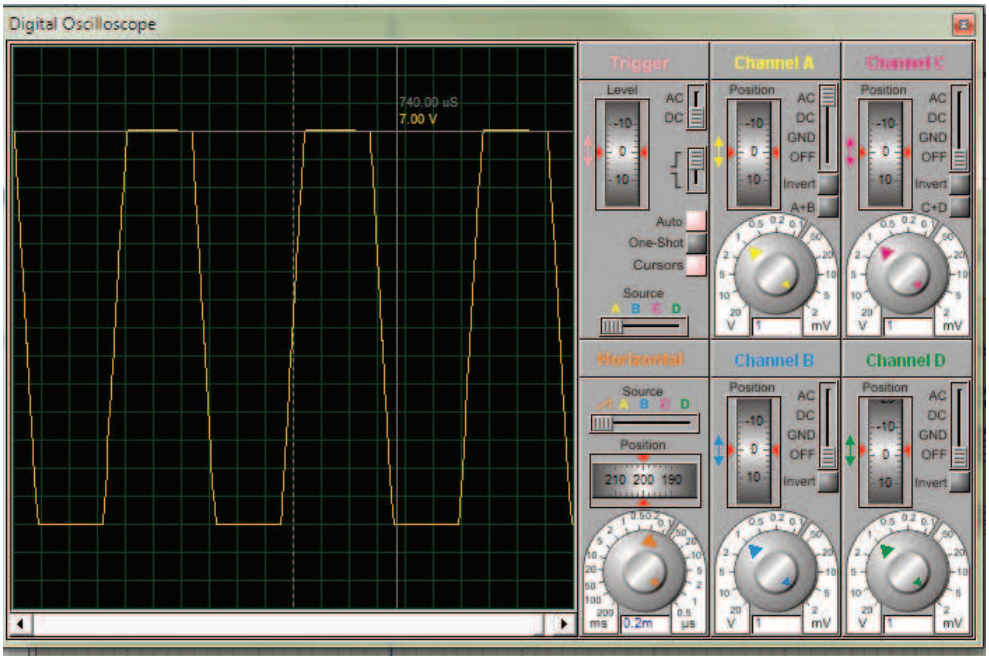


Fig. 4.17 Señal a la salida del borne “C”

Se puede medir el valor de la corriente a la salida del mismo, y comprobar que se mantiene constante a pesar de variar la resistencia que se está midiendo.

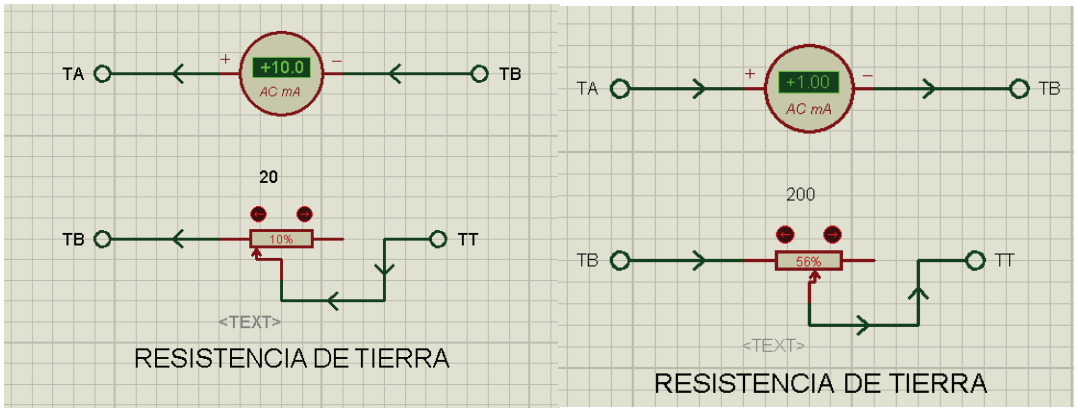


Fig. 4.18. Medición de la corriente a la salida en el borne C

Se puede observar la señal a la entrada del borne “B”, simulando el efecto de un ruido externo, para luego observar como es filtrado el ruido después de pasar por el filtro.

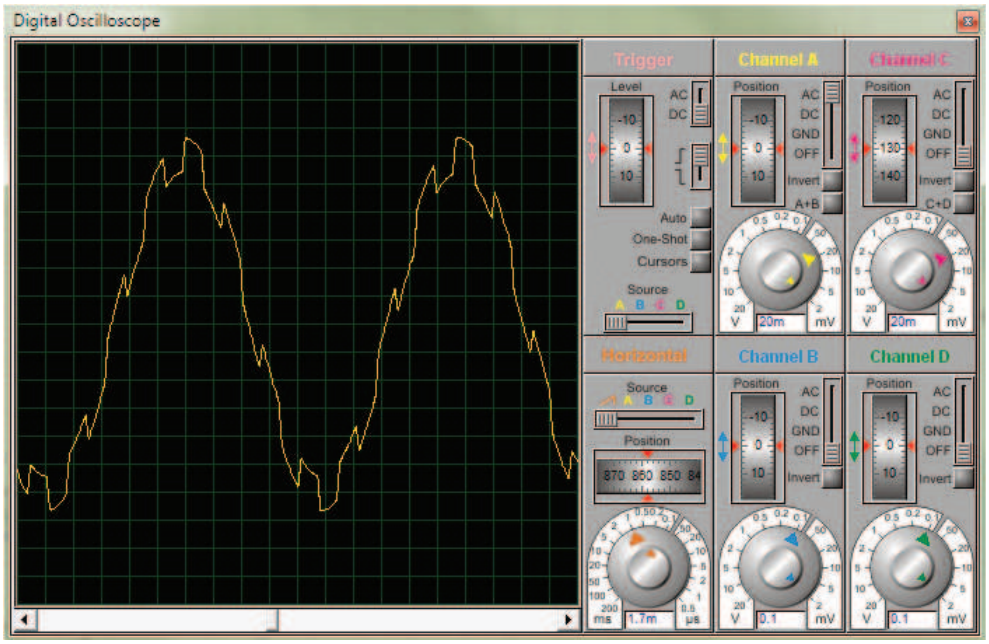


Fig.4.19. Señal con ruido en el borne “P”

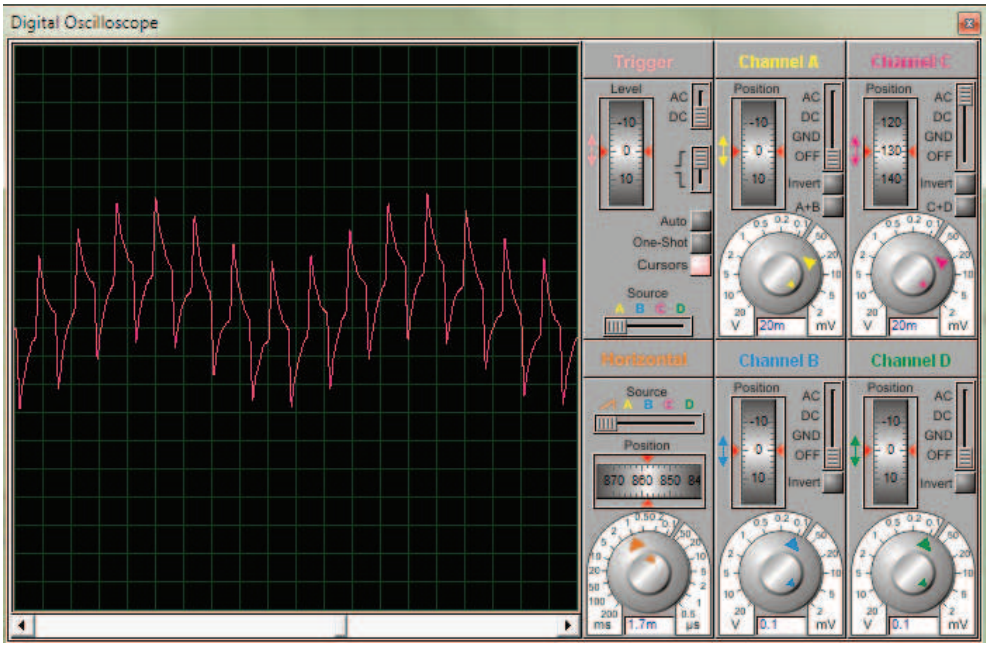


Fig.4.20. Señal después del filtro

Y finalmente se puede ver cual sería el valor de la resistencia a puesta a tierra en el display. Así como el comportamiento de los led conectados como indicadores.

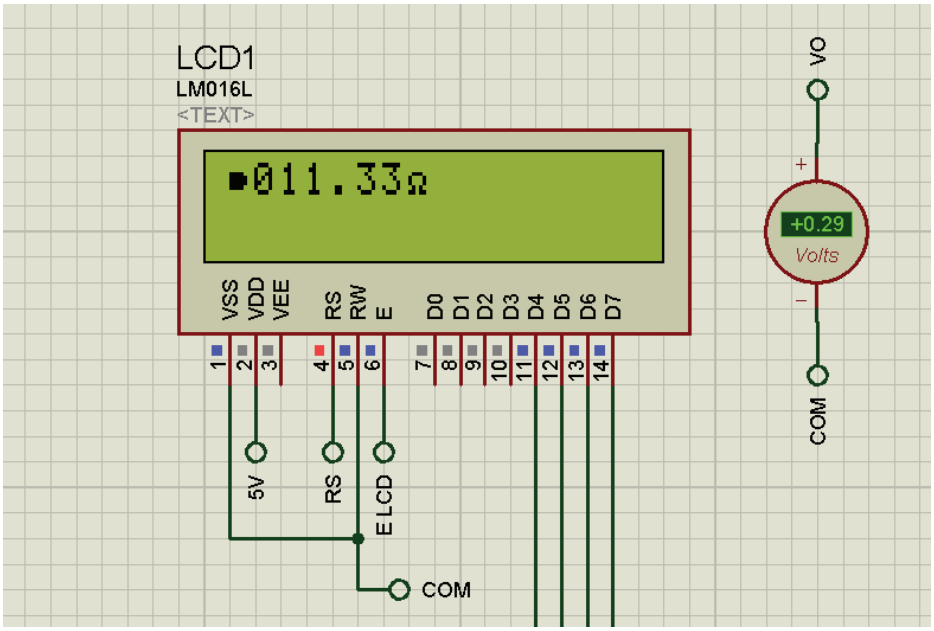


Fig.4.21. Visualización de la resistencia de puesta a tierra en el display

4.3.1.2. ARES de Proteus

ARES de Proteus es una herramienta para el diseño de placas de circuitos impresos. Permite el enrutamiento, ubicación y edición de componentes.

Está integrada con la herramienta ISIS, por lo que facilita la revisión de conectividad de los elementos. Cualquier modificación que se realice en el esquema de ISIS se lo puede enviar a ARES.

En la figura 4.18 se puede observar un esquema del circuito final con los respectivos elementos y las pistas dibujadas que irán en la placa.

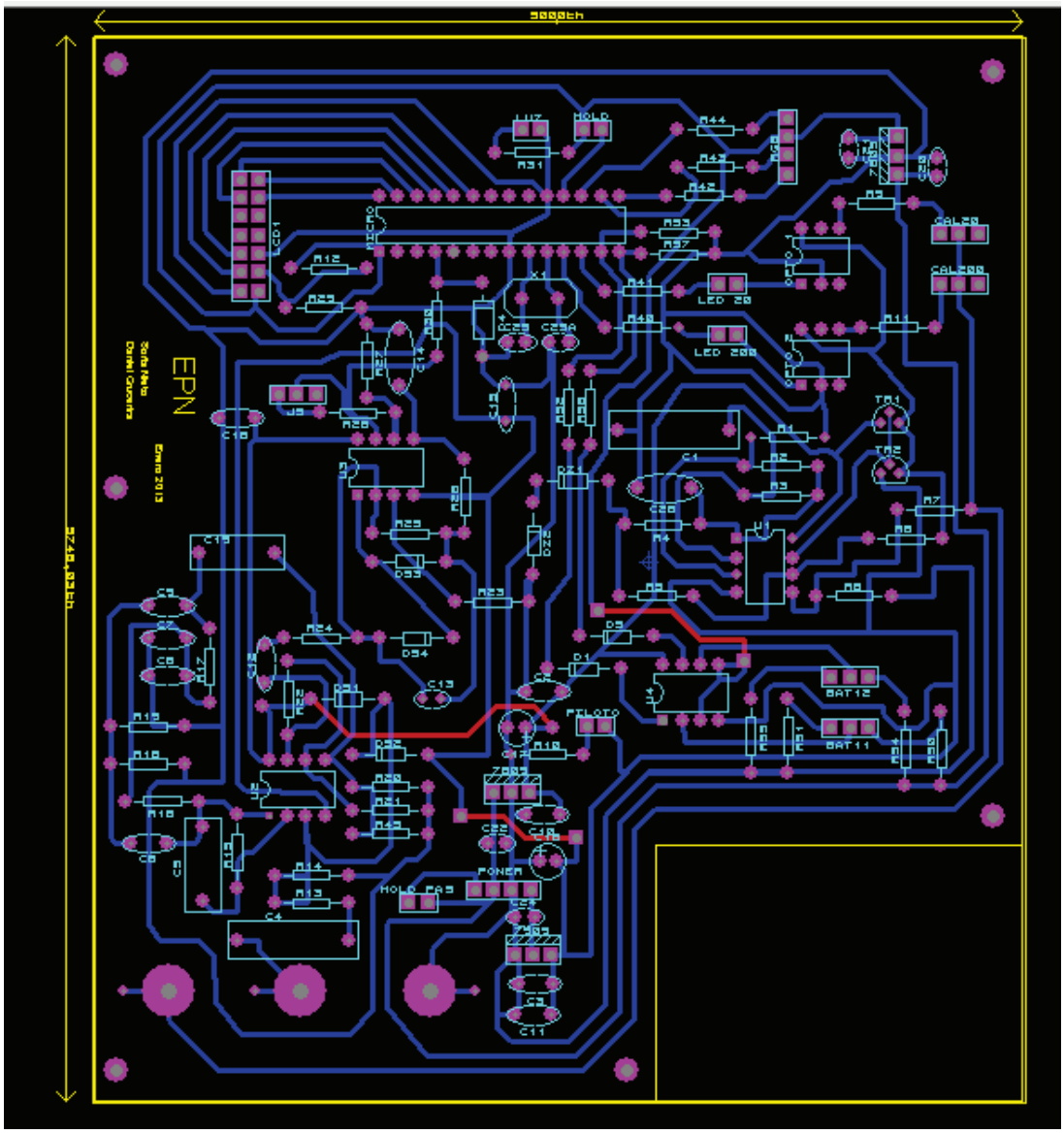


Fig.4.22 Esquema del circuito impreso en ARES

Se puede visualizar el diseño final en tres dimensiones con los elementos y las pistas.

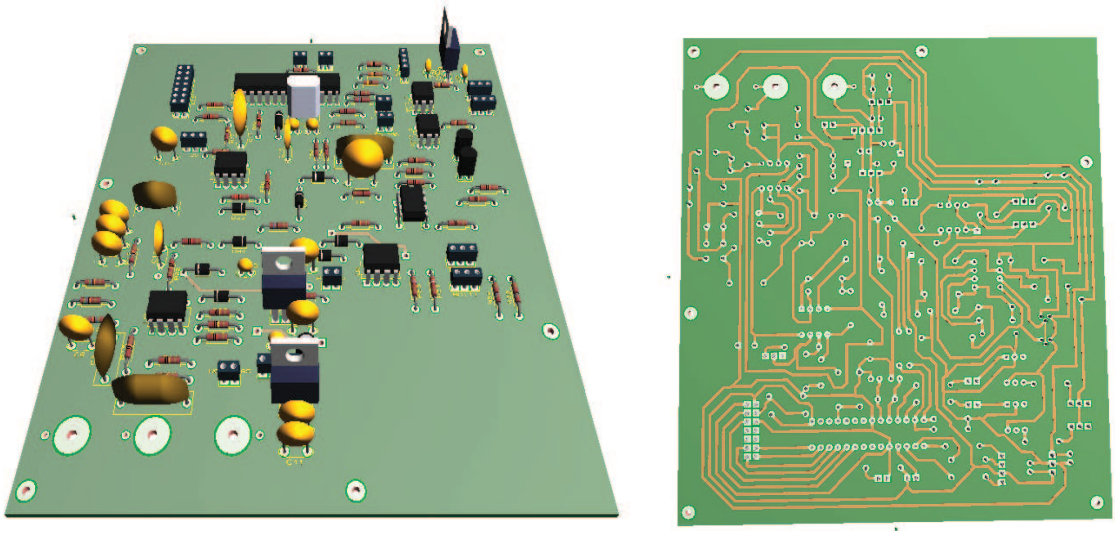


Fig. 4.23. Visualización de la placa en tres dimensiones

4.3.1.3. Protoboard

El Protoboard es esencialmente una placa agujerada con conexiones internas dispuestas en hileras, de modo que forman una matriz de taladros a los que podemos directamente pinchar componentes de formar eventual, nunca permanente, por lo que probamos y volvemos a desmontar los componentes, quedando el Protoboard listo para el próximo circuito.[31]

[31] www.slideshare.net/fapilla/el-protoboard-9542384

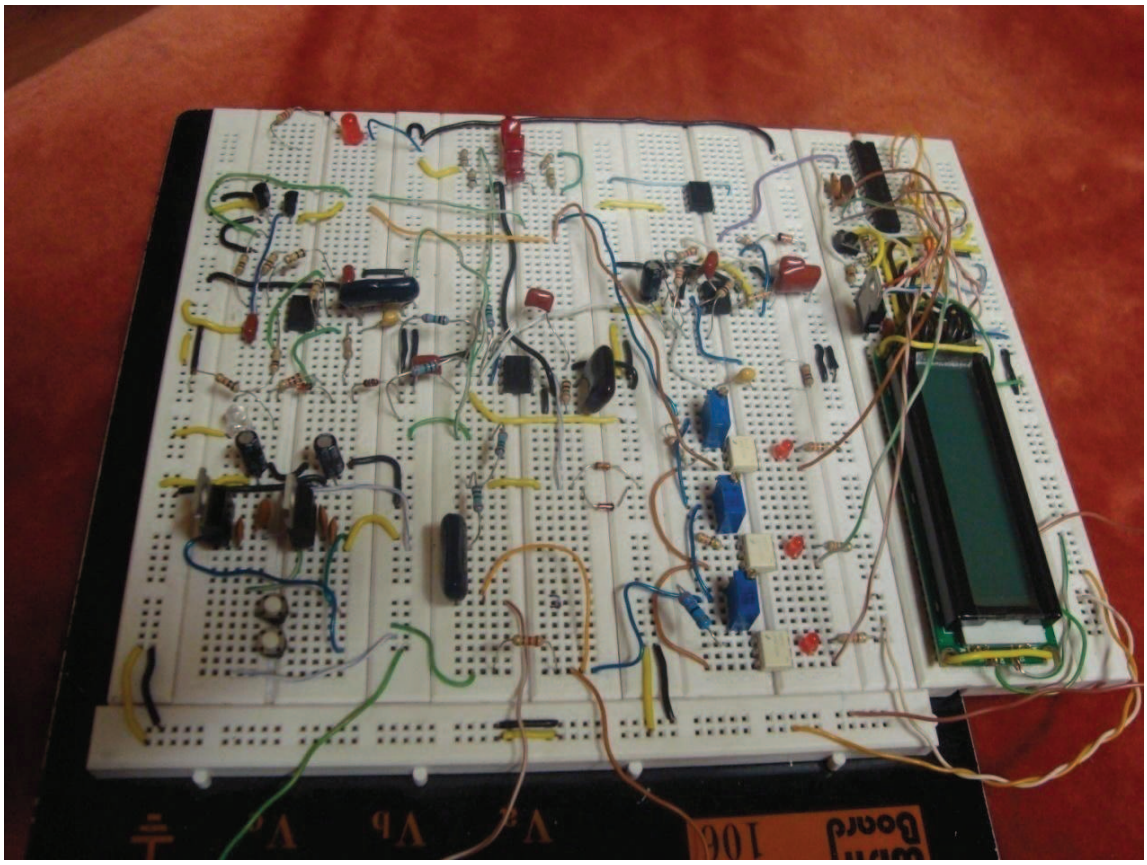


Fig. 4.24. Circuito montado en el Protoboard

Una vez armado todo el circuito en el Protoboard se utilizó un osciloscopio digital para verificar el funcionamiento para luego realizar varias mediciones.

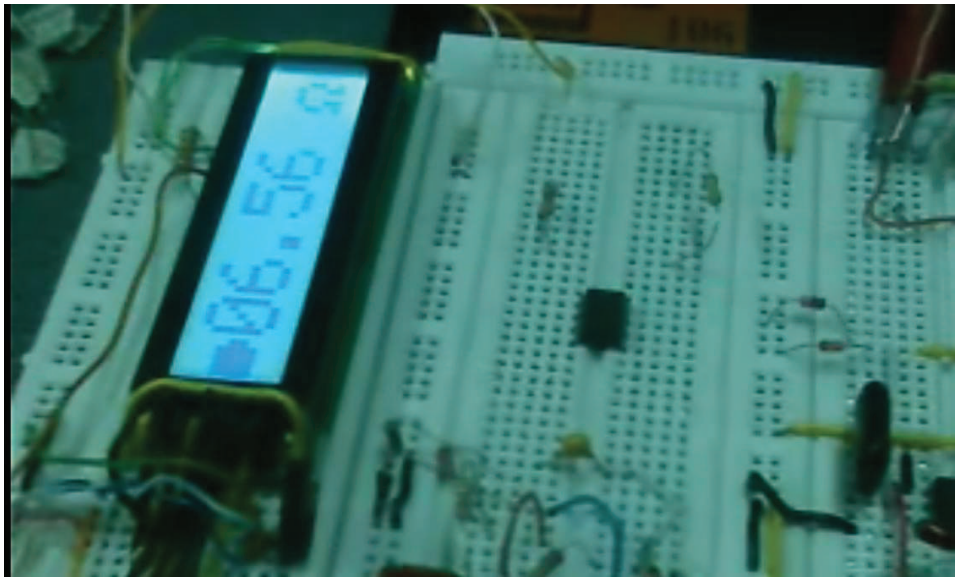


Fig. 4.25. Pruebas realizadas en el Protoboard

4.3.2. PLACA IMPRESA

Una vez realizadas las pruebas y verificado el funcionamiento del circuito se realizó la placa impresa.

El circuito realizado en ARES de Proteus se lo transfiere a la placa de baquelita, se perfora y suelda los respectivos elementos, como se observa en la figura 4.22.

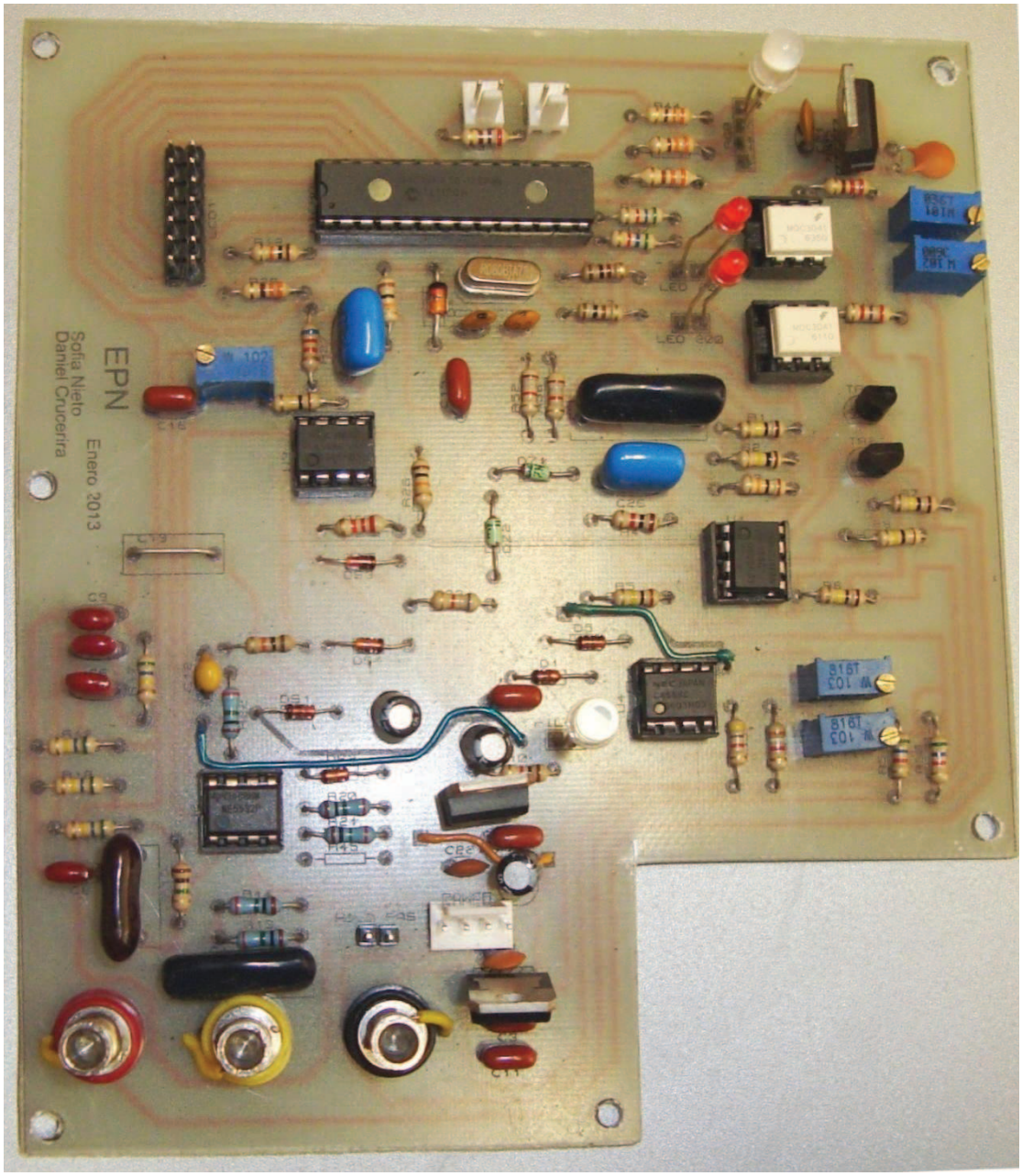


Fig. 4.26. Placa impresa con los elementos

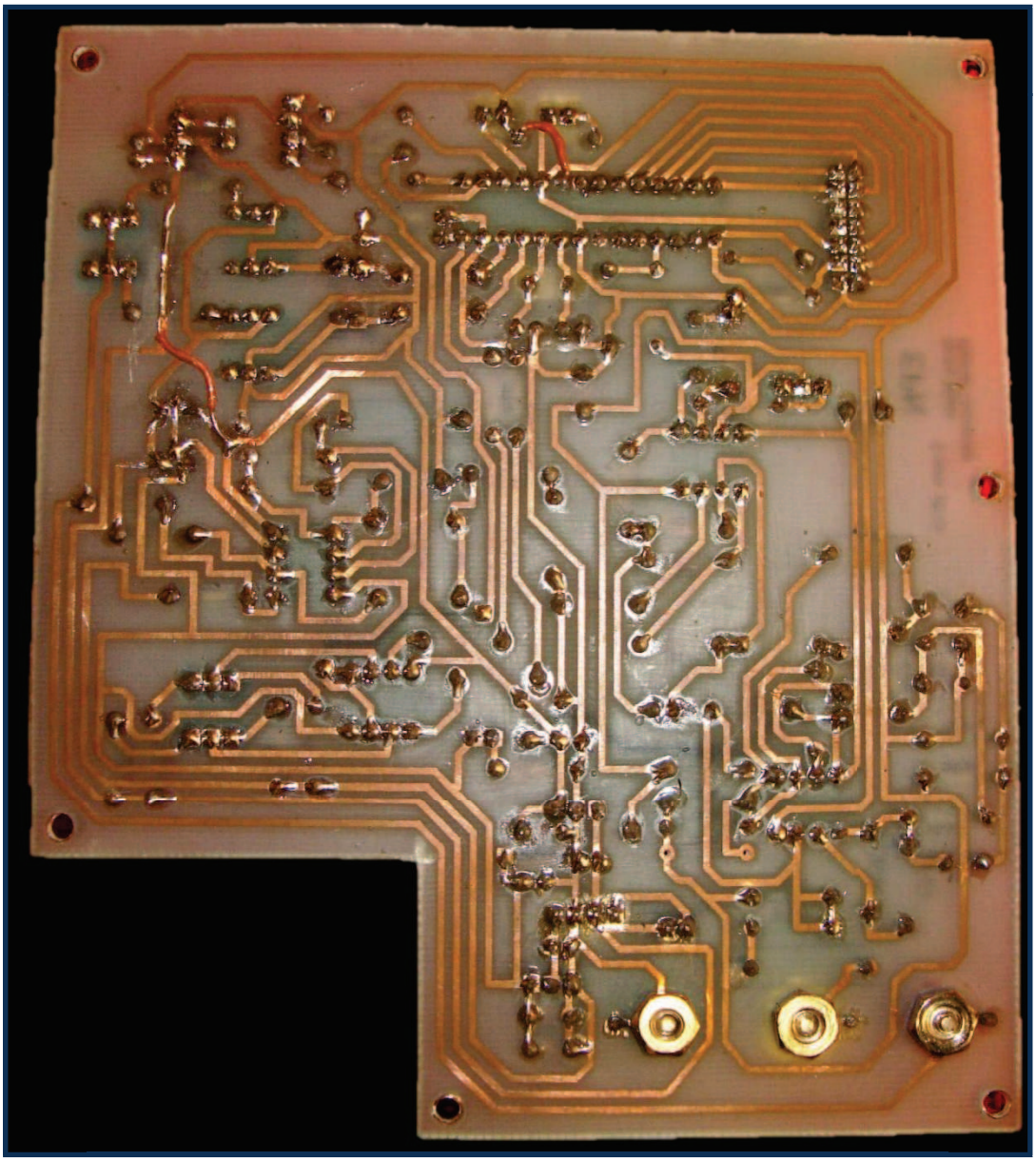


Fig.4.23 Placa impresa, pistas

4.3.3. PRUEBAS Y RESULTADOS

Se calibro el telurómetro mediante los trimers ubicados en las escalas del circuito los cuales controlan la corriente de ensayo, y debido a la ley de Ohm el valor de la resistencia varia.

Se tomó como referencia resistencias comerciales y se midió puestas a tierra con un telurómetro comercial y se calibro hasta conseguir resultados aceptables.

No.	Medida Teórica	Medida Practica	% Error
1	1,80	1,68	6,6
2	4,00	3,83	4,25
3	18,60	17,80	4,30
4	7,00	6,60	5,71
5	5,00	4,80	4,00

Tabla 4.2. Tabla de mediciones

De acuerdo a las mediciones realizadas el error máximo es menor al 10% que está dentro de los estándares aceptables de medición.

4.4. COSTOS

En la siguiente tabla se listan los elementos y materiales utilizados para la construcción del proyecto

ITEM	Cantidad	Elemento	V. Unitario	V. Total
1	1	PIC16F870	6,55	6,55
2	2	Baterías recargables 12V	14,00	28,00
3	1	LCD 3 ½”	12,00	12,00
4	4	Resistencia 100 KΩ	0,02	0,08
5	4	Resistencia 100 KΩ2%	0,40	1,60
6	6	Resistencia 1MΩ2%	0,40	2,40
7	4	Resistencia330Ω	0,02	0,08
8	2	Resistencia3,3 KΩ	0,02	0,04
9	1	Resistencia 134 Ω	0,02	0,02
10	2	Resistencia 50 Ω	0,02	0,04
11	5	Resistencias6,8 KΩ	0,02	0,10
12	7	Resistencias10 KΩ	0,02	0,14
13	1	Resistencia22 KΩ	0,02	0,02
14	2	Resistencias1 KΩ	0,02	0,04
15	4	Resistencia560 Ω	0,02	0,08
16	5	Resistencia5,6 KΩ	0,02	0,10
17	1	Resistencia3,9 KΩ	0,02	0,02

18	2	Resistencia1,8 KΩ	0,02	0,04
19	1	Resistencia4,7 KΩ	0,02	0,02
20	1	Trimer1KΩ	0,60	0,60
21	4	Trimer10 KΩ	0,60	2,40
22	2	Condensador 470 nF	0,25	0,50
23	2	Condensador 47 nF	0,10	0,20
24	6	Condensador 100 nF	0,15	0,90
25	4	Condensador 4,7 nF	0,50	2,00
26	6	Condensador 22 nF	0,12	0,72
27	1	Condensador 1 nF	0,80	0,80
28	1	Condensador 1 uF	1,00	1,00
29	1	Condensador 10 uF	0,12	0,12
30	2	Condensador 100 pF	0,12	0,24
31	2	Condensador 47 uF	0,25	0,50
32	4	Operacional 5532	0,70	2,80
33	4	Diodo zéner 1N5226	0,12	0,48
34	6	Diodo 1N4148	0,12	0,72
35	1	Diodo 1N4734A	0,12	0,12
36	1	Transistor NPN 547	0,30	0,30
37	1	Transistor PNP 557	0,30	0,30
38	1	Regulador 7805	0,95	0,95
39	1	Regulador 7809	0,90	0,90
40	1	Regulador 7909	0,90	0,90
41	2	Optoacoplador 2031	1,20	2,40
42	1	Cristal de 4MHz	0,50	0,50
43	4	LEDs	0,15	0,60
44	1	Led RGB	1,00	1,00
45	3	Bornes	0,50	1,50
46	1	Pulsador industrial	0,50	0,50
47	1	Interruptor bipolar	1,50	1,50
48	1	Switch	0,50	0,50
49	2	Conectores lagarto	0,35	0,70

50	2	Conectores banana	0,20	0,40
51	42	Cable flexible 18AWG	0,14	5,88
52	2	Varillas acero inoxidable	8,00	16,00
53	1	Caja	13,60	13,60
			TOTAL	**113,90**

Como se observa en la tabla de costos, el presupuesto necesario para la fabricación del equipo es accesible para producirlo a nivel nacional.

CAPITULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- La fabricación de un telurómetro de 3 puntos a nivel nacional es factible, ya que se disponen de los elementos y materiales necesarios para su construcción sin la necesidad de importarlos haciendo que el costo del equipo no sea elevado para su venta, cumpliendo el objetivo planteado.

- La señal de prueba del telurómetro debe ser una señal alterna, con una frecuencia diferente a la utilizada por la red eléctrica local para evitar inducciones y mediciones erróneas. Además de hacer que la señal sea más fácil de recuperar y de eliminar el ruido, al estar en otra frecuencia.

- La corriente de prueba utilizada de 10mA para la escala de 20Ω no debe ser mayor ya que el amplificador que forma la fuente de corriente se saturaría al aumentar la caída de voltaje en la resistencia a medir, realimentando un mayor valor.

- La distancia entre las varillas de prueba no es totalmente estricta, es suficiente con mantener una distancia para que no se interfiera las áreas de resistencia efectiva entre varillas. Con la experiencia práctica se ha determinado una distancia entre las varillas de 6 a 10 m.

- En un sistema de puesta a tierra el calibre del conductor que se utilice debe de ser el adecuado para poder soportar las altas corrientes de falla que podrían circular por dicho conductor. Además de que todo el sistema de puesta a tierra deberá estar compuesto de materiales conductores que resistan el deterioro en el tiempo y requieran poco mantenimiento.

5.2. RECOMENDACIONES

- Antes de comenzar la medición se recomienda realizar una inspección visual del sistema de tierra, observar todos los contactos eléctricos y conexiones para estar seguro que son eficientes y verificar que los conductores no estén físicamente dañados.

- Al realizar la medición de la resistencia de puesta a tierra se debe verificar que este se encuentre aislado del sistema eléctrico para evitar medidas erróneas y daños en el equipo.

- Se recomienda verificar el buen estado del equipo antes de realizar una medición para evitar resultados erróneos.

- Utilizar como referencia el circuito y el principio de funcionamiento del telurómetro de 3 puntos para la elaboración de otros equipos como medidores de resistividad de 4 puntos, óhmetros, o medidores de resistencia en pinza.

BIBLIOGRAFIA

http://hugarcapella.files.wordpress.com/2010/03/manual-de-puesta-a-tierra.pdf

Definición de la IEEEhttp://www.analfatecnicos.net/archivos/08.PuestaATierra.pdf
http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2192/3/Capitulo%20II.pdf

http://puestaatierrauss.blogspot.com/

http://personal.telefonica.terra.es/web/eb4df/esquemas/tierra.htm

http://hugarcapella.files.wordpress.com/2010/03/manual-de-puesta-a-tierra.pdf

http://metalcoltda.com/Sistemas_puesta_tierra.html
http://www.procainsa.com/web/index.php?Itemid=31id=22option=com_contenttask=view

http://puestaatierrauss.blogspot.com/

http://www-ppd.fnal.gov/eedoffice-w/infrastructure_group/huffman/web/engineering/standards%5CIEEE1100Rev.pdf

http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2192/3/Capitulo%20II.pdf
http://massatierra.net/download/ABC_Sistemas_PuestaTierra_y_Pararrayos_v03-03-12.pdf

http://personal.telefonica.terra.es/web/eb4df/esquemas/tierra.htm

Tema 1. Amplificadores Operaccionales.pdf J. I. Escudero, M. Parada, F. Simón

Sistema de adquisición y distribución de señales I. Tema 2, Amplificadores Operacionales.pdf

Cuaderno de apuntes Electrónica II, Ing. Pablo López

http://www.unicrom.com/Tut_diodo_led.asp

http://www.unicrom.com/Tut_diodo_led.asp

http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1995/1/CD-1101.pdf

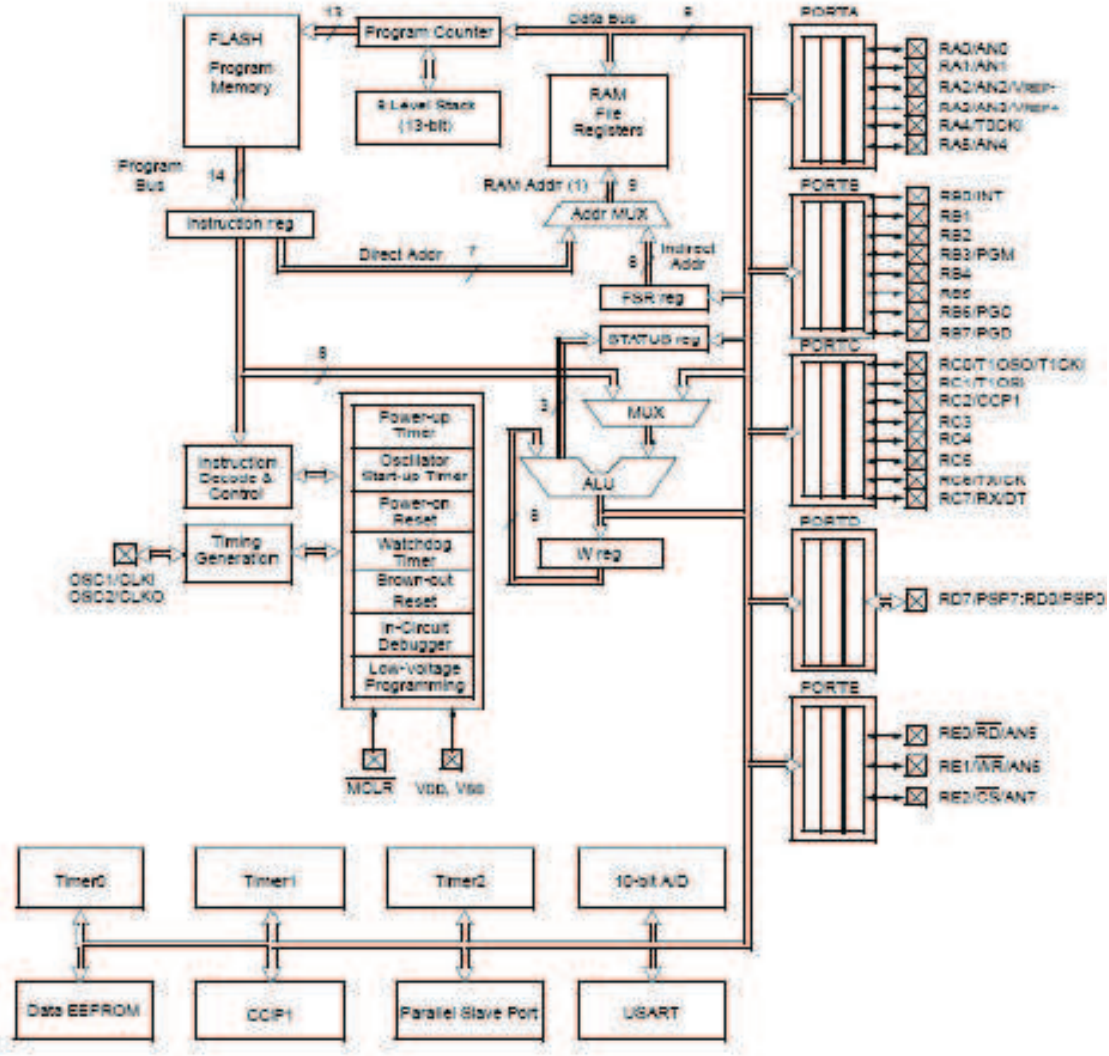
http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1995/1/CD-1101.pdf

ANEXOS

ANEXO 1-A

ESTRUCTURA INTERNA DEL PIC

Device	Program FLASH	Data Memory	Data EEPROM
PIC16F871	2K	128 Bytes	64 Bytes



Note 1: Higher order bits are from the STATUS register.

ANEXO 1-B

HOJA DE DATOS DEL PIC16F870

MICROCHIP

PIC16F870/871

28/40-Pin, 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers

Devices Included in this Data Sheet:

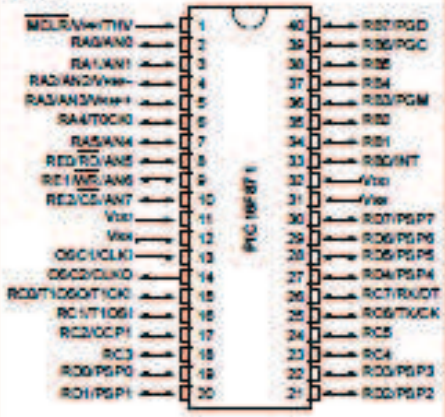
- PIC16F870
- PIC16F871

Microcontroller Core Features:

- High performance RISC CPU
- Only 35 single word instructions to learn
- All single cycle instructions except for program branches which are two-cycle
- Operating speed: DC - 20 MHz clock input
  DC - 200 ns instruction cycle
- 2K x 14 words of FLASH Program Memory
  128 x 8 bytes of Data Memory (RAM)
  64 x 8 bytes of EEPROM Data Memory
- Pinout compatible to the PIC16CXXX 28 and 40-pin devices
- Interrupt capability (up to 11 sources)
- Eight level deep hardware stack
- Direct, Indirect and Relative Addressing modes
- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT) and Oscillator Start-up Timer (OST)
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options
- Low power, high speed CMOS FLASH/EEPROM technology
- Fully static design
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins
- Single 5V In-Circuit Serial Programming capability
- In-Circuit Debugging via two pins
- Processor read/write access to program memory
- Wide operating voltage range: 2.0V to 5.5V
- High Sink/Source Current: 25 mA
- Commercial and Industrial temperature ranges
- Low power consumption:
  - < 1.6 mA typical @ 5V, 4 MHz
  - 20 µA typical @ 3V, 32 kHz
  - < 1 µA typical standby current

Pin Diagram

PDIP



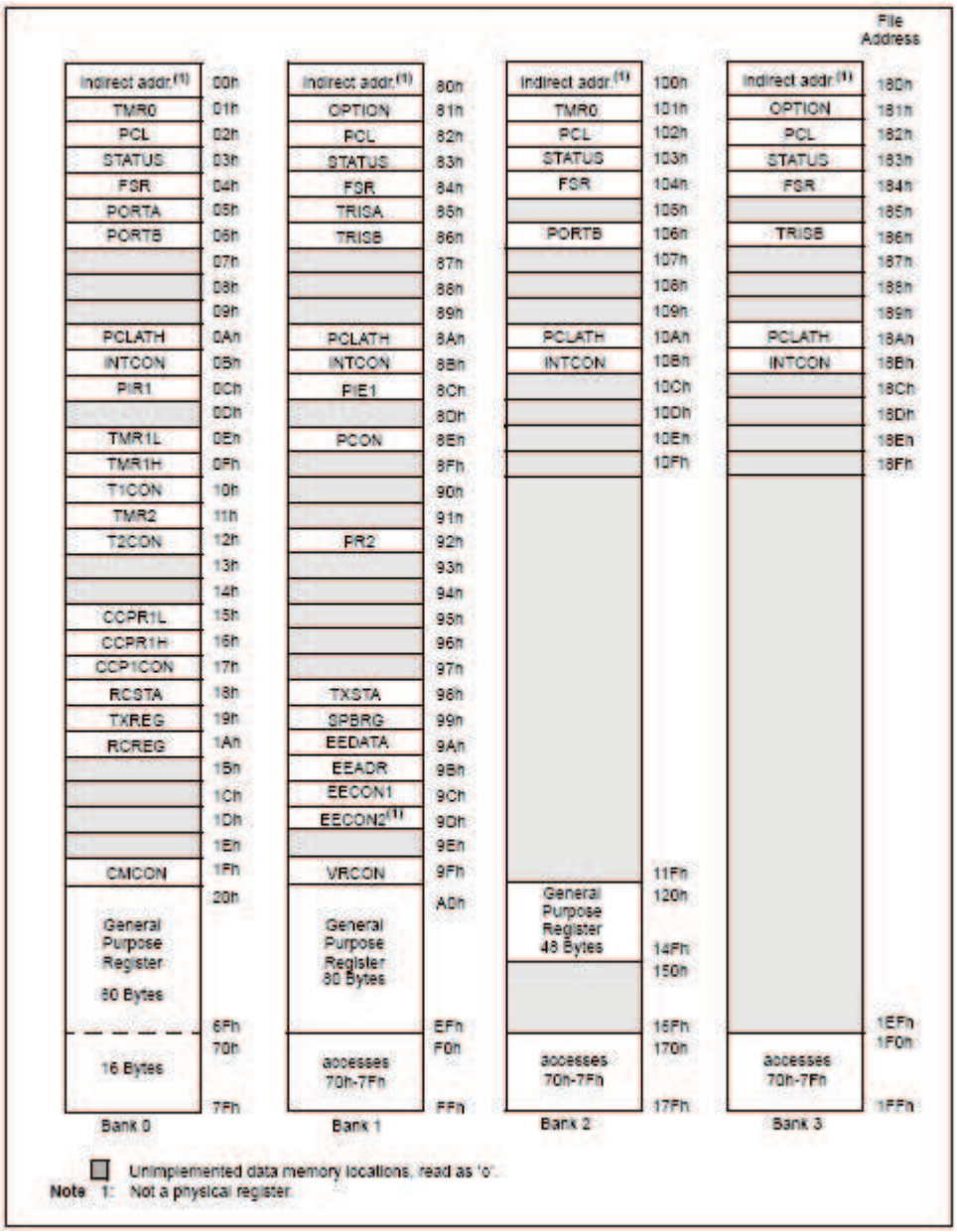
Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler, can be incremented during SLEEP via external crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period register, prescaler and postscaler
- One Capture, Compare, PWM module
  - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
  - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
  - PWM max. resolution is 10-bit
- 10-bit multi-channel Analog-to-Digital converter
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address detection
- Parallel Slave Port (PSP) 8-bits wide, with external RD, WR and CS controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for Brown-out Reset (BOR)

© 2003 Microchip Technology Inc.

ANEXO 1-C

MAPA DE REGISTROS PIC16F870



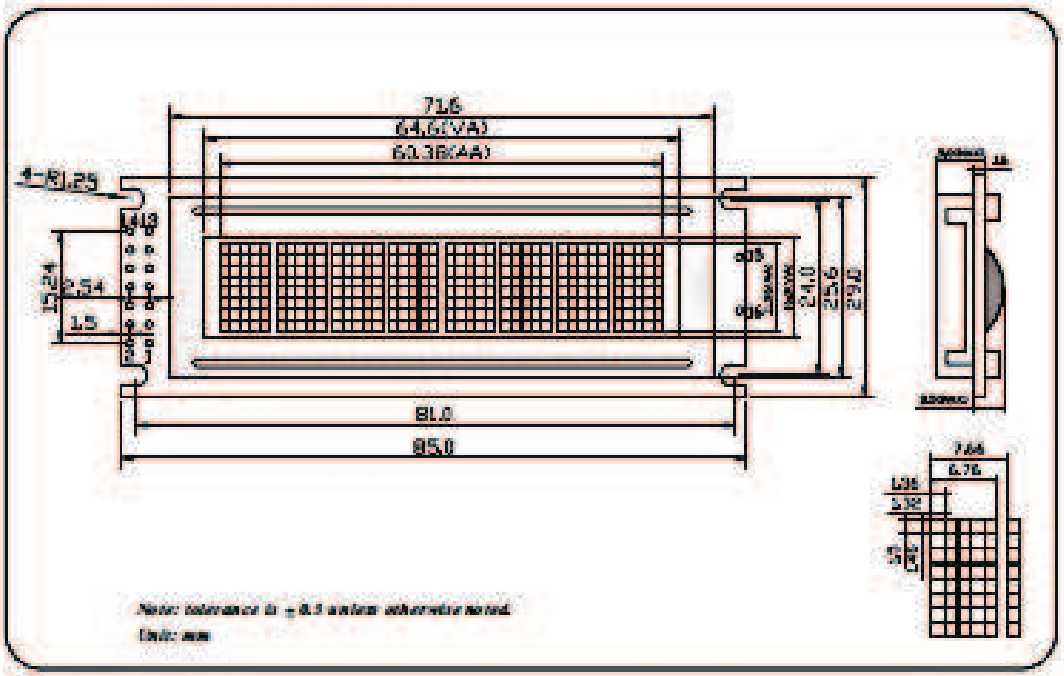
ANEXO 2-A

LCD 8X1 12mm

■ CHARACTERISTICS:

DISPLAY CONTENT: 8 x 1 CHARACTERS
LCD TYPE: STN GRAY
LED BACKLIGHT: WHITE
CONTROLLER: KS0066 OR EQUAL
OPERATING TEMPERATURE: NORMAL(0~50℃); WIDE(-20~70℃)
POWER SUPPLY: 5.0V
VIEWING ANGLE: 6H; 12H

■ DIMENSIONS/DISPLAY CONTENT



■ PIN CONFIGURATION

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Vcc	Vss	Vo	RS	R/W	E	DB0	DB1	DB2	DB3	DB4	DB5	DB6	DB7	LEDA	LEDK

■ PARAMETER (Vdd=5.0 ± 10%, Vss=0V, Ta=25℃)

Parameter		Symbol	Standard Values			Unit
			Min.	Typ.	Max	
Supply voltage		Vdd-Vss	4.5	5.0	5.5	V
Input voltage	H	VIH	2.2	-	Vdd	
	L	VIL	-0.3	-	0.6	
LCD Drive Voltage		-	-	4.7	-	
Operating current		Idd	-	1.2	3.0	mA

■ APPLICATION CIRCUIT

ANEXO 3-A

AMPLIFICADOR OPERACIONAL NE-5532

TEXAS INSTRUMENTS

NE5532, NE5532A
SA5532, SA5532A

www.ti.com

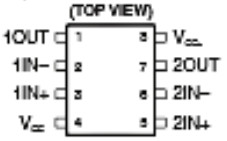
SLOS075I–NOVEMBER 1979–REVISED APRIL 2009

DUAL LOW-NOISE OPERATIONAL AMPLIFIERS

FEATURES

- Equivalent Input Noise Voltage: 5 nV/√Hz Typ at 1 kHz
- Unity-Gain Bandwidth: 10 MHz Typ
- Common-Mode Rejection Ratio: 100 dB Typ
- High DC Voltage Gain: 100 V/mV Typ
- Peak-to-Peak Output Voltage Swing 26 V Typ With $V_{CC\pm}$ = ±15 V and R_L = 600 Ω
- High Slew Rate: 9 V/μs Typ

NE5532, NE5532A . . . D, P, OR PS PACKAGE
SA5532, SA5532A . . . D OR P PACKAGE
(TOP VIEW)



DESCRIPTION/ORDERING INFORMATION

The NE5532, NE5532A, SA5532, and SA5532A are high-performance operational amplifiers combining excellent dc and ac characteristics. They feature very low noise, high output-drive capability, high unity-gain and maximum-output-swing bandwidths, low distortion, high slew rate, input-protection diodes, and output short-circuit protection. These operational amplifiers are compensated internally for unity-gain operation. These devices have specified maximum limits for equivalent input noise voltage.

ORDERING INFORMATION(1)

T_A	PACKAGE(2)		ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING
0°C to 70°C	PDIP – P	Tube of 50	NE5532P	NE5532P
			NE5532AP	NE5532AP
	SOIC – D	Tube of 75	NE5532D	NE532
		Reel of 2500	NE5532DR	
		Tube of 75	NE5532AD	NE532A
		Reel of 2500	NE5532ADR	
	SOP – PS	Reel of 2000	NE5532PSR	NE532
			NE5532APSR	NE532A
−40°C to 85°C	PDIP – P	Tube of 50	SA5532P	SA5532P
			SA5532AP	SA5532AP
	SOIC – D	Tube of 75	SA5532D	SA532
		Reel of 2500	SA5532DR	
		Tube of 75	SA5532AD	SA532A
		Reel of 2500	SA5532ADR	

(1) For the most current package and ordering information, see the Package Option Addendum at the end of this document, or see the TI web site at www.ti.com.
(2) Package drawings, thermal data, and symbolization are available at www.ti.com/packaging.

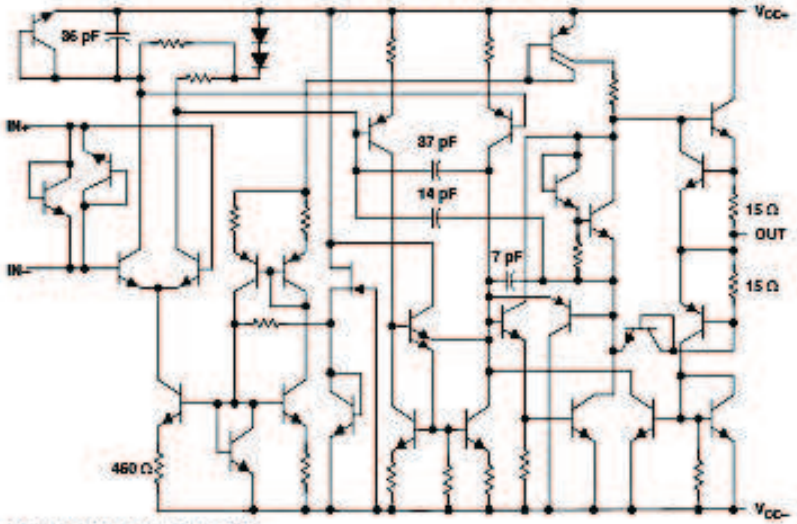
Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of the Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

Copyright © 1979–2009, Texas Instruments Incorporated

ANEXO 3-B

SCHEMATIC (EACH AMPLIFIER)



Component values shown are nominal.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS(1)

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

V_{CC}	Supply voltage(2)	V_{CC+}	22 V
		V_{CC-}	−22 V
	Input voltage, either input(2)(3)		V_{CC+}
	Input current(4)		±10 mA
	Duration of output short circuit(5)		Unlimited
θ_{JA}	Package thermal impedance(6)(7)	D package	97°C/W
		P package	85°C/W
		PS package	95°C/W
T_J	Operating virtual-junction temperature		150°C
T_{stg}	Storage temperature range		−65°C to 150°C

(1) Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.
(2) All voltage values, except differential voltages, are with respect to the midpoint between V_{CC+} and V_{CC-}.
(3) The magnitude of the input voltage must never exceed the magnitude of the supply voltage.
(4) Excessive input current will flow if a differential input voltage in excess of approximately 0.6 V is applied between the inputs, unless some limiting resistance is used.
(5) The output may be shorted to ground or either power supply. Temperature and/or supply voltages must be limited to ensure the maximum dissipation rating is not exceeded.
(6) The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51-7.
(7) Maximum power dissipation is a function of $T_J(max)$, θ_{JA}, and T_A. The maximum allowable power dissipation at any allowable ambient temperature is $P_D = (T_J(max) - T_A)/\theta_{JA}$. Operating at the absolute maximum T_J of 150°C can affect reliability.

Copyright © 1979–2009, Texas Instruments Incorporated

ANEXO 3-C

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

			MIN	MAX	UNIT
V_{CC+}	Supply voltage		5	15	V
V_{CC-}	Supply voltage		−5	−15	V
T_A	Operating free-air temperature	NE5532, NE5532A	0	70	°C
		SA5532, SA5532A	−40	85	

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

$V_{CC\pm}$ = ±15 V, T_A = 25°C (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS[1]		MIN	TYP	MAX	UNIT
V_{IO}	Input offset voltage	V_O = 0	T_A = 25°C		0.5	4	mV
			T_A = Full range[2]			5	
I_{IO}	Input offset current	T_A = 25°C			10	150	nA
		T_A = Full range[2]				200	
I_{IB}	Input bias current	T_A = 25°C			200	800	nA
		T_A = Full range[2]				1000	
V_{ICR}	Common-mode input-voltage range			±12	±13		V
V_{OPP}	Maximum peak-to-peak output-voltage swing	R_L ≥ 600 Ω, $V_{CC\pm}$ = ±15 V		24	26		V
A_{VD}	Large-signal differential-voltage amplification	R_L ≥ 600 Ω, V_O = ±10 V	T_A = 25°C	15	50		V/mV
			T_A = Full range[2]	10			
		R_L ≥ 2 kΩ, V_O±10 V	T_A = 25°C	25	100		
			T_A = Full range[2]	15			
A_{vd}	Small-signal differential-voltage amplification	f = 10 kHz			2.2		V/mV
B_{OM}	Maximum output-swing bandwidth	R_L = 600 Ω, V_O = ±10 V			140		kHz
B_1	Unity-gain bandwidth	R_L = 600 Ω, C_L = 100 pF			10		MHz
r_i	Input resistance			30	300		kΩ
z_o	Output impedance	A_{VD} = 30 dB, R_L = 600 Ω, f = 10 kHz			0.3		Ω
CMRR	Common-mode rejection ratio	V_{IC} = V_{ICR} min		70	100		dB
k_{SVR}	Supply-voltage rejection ratio ($\Delta V_{CC}/\Delta V_{IO}$)	$V_{CC\pm}$ = ±9 V to ±15 V, V_O = 0		80	100		dB
I_{OS}	Output short-circuit current			10	38	60	mA
I_{CC}	Total supply current	V_O = 0, No load			8	16	mA
	Crosstalk attenuation (V_{O1}/V_{O2})	V_{O1} = 10 V peak, f = 1 kHz			110		dB

(1) All characteristics are measured under open-loop conditions, with zero common-mode input voltage, unless otherwise specified.
(2) Full temperature ranges are: −40°C to 85°C for the SA5532 and SA5532A, and 0°C to 70°C for the NE5532 and NE5532A.

Copyright © 1979–2009, Texas Instruments Incorporated

ANEXO 4-A

PROGRAMA

```
// Conexiones del módulo LCD

sbit LCD_RS at RB2_bit;

sbit LCD_EN at RB3_bit;

sbit LCD_D4 at RB7_bit;

sbit LCD_D5 at RB4_bit;

sbit LCD_D6 at RB6_bit;

sbit LCD_D7 at RB5_bit;

sbitLCD_RS_Direction at TRISB2_bit;

sbitLCD_EN_Direction at TRISB3_bit;

sbit LCD_D4_Direction at TRISB7_bit;

sbit LCD_D5_Direction at TRISB4_bit;

sbit LCD_D6_Direction at TRISB6_bit;

sbit LCD_D7_Direction at TRISB5_bit;

// Declarar variables

int ruido, medida200, medida20 ;

intch , ch1 , ch2 , i  ;

longadc_rd, adc_rd1  , adc_rd2 ;

long  tlong , tlong1, tlong2;


//Caracteres especiales
```

```
// símbolo omega

Constcharomega[] = {0,0,14,17,17,10,27,0};

VoidCustomChar(char pos_row, char pos_char) {

chari;

Lcd_Cmd(64);

for (i = 0; i<=7; i++) Lcd_Chr_CP(omega[i]);

Lcd_Cmd(_LCD_RETURN_HOME);

Lcd_Chr(pos_row, pos_char, 0);

}

//símbolo  batería

constcharbateria[] = {0,0,30,31,31,30,0,0};

void CustomChar2(char pos_row, char pos_char) {

chari;

Lcd_Cmd(72);

for (i = 0; i<=7; i++) Lcd_Chr_CP(bateria[i]);

Lcd_Cmd(_LCD_RETURN_HOME);

Lcd_Chr(pos_row, pos_char, 1);

}

constcharcharacter[] = {14,14,14,4,31,4,10,17};


//PROGRAMACION

void main() {
```

```
// Configuración de los puertos del LCD
  INTCON = 0;                    // Todas las interrupciones deshabilitadas
ADCON0 = 0b10001011;             // Pin RA2 se configura como una entrada analógica
  ADCON1 = 0b00000000;           // Configuración adc
  TRISA  = 0xFF;                 // Todos los pines del puerto PORTA se configuran como entradas
trisC  = 0b10001100;             //Configuración puerto c como entradas y salidas

  //Desconectar escalas
RC4_bit= 1;                      //apagar led verde
RC5_bit= 1;                      //apagar led azul
RC6_bit= 1;                      //apagar led rojo
RC0_bit= 0;                      //escala 200 desconectada
RC1_bit= 0;                      //escala 20 desconectada
Delay_ms(100);

  // Iniciar el LCD
Lcd_Init();                      // Inicialización del visualizador LCD
Lcd_Cmd(_LCD_CURSOR_OFF);        // Comando LCD (apagar el cursor)
Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);             // Comando LCD (borrar el LCD)
Delay_ms(30);
Lcd_Out(1,3,"EPN");              // mostrar ese mensaje
```

```
Delay_ms(1000);
Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);                // Comando LCD (borrar el LCD
Delay_ms(30);
Lcd_Out(1,2,"ESFOT");               // mostrar ese mensaje
Delay_ms(500);
```

//comprobación de la batería

```
if(RC3_bit=1)                       // batería descargada completamente  LED
ROJO
    {
Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);                // Comando LCD (borrar el LCD)
Lcd_Out(1,1,"LOW BAT");             // mostrar LOW BAT en LCD
while(1)
{
RC6_bit=0;                          // led color rojo encendido
Delay_ms(600);
RC6_bit=1;                          // led color rojo apagado
Delay_ms(600);
}
     }

Delay_ms(30);
if(RC2_bit=1)   {                   // Batería semi cargada    LED AZUL
```

```
RC5_bit=0;                          // led color azul encendido
Delay_ms(30);
goto medir ;
}
Delay_ms(30);
//Indicador de batería cargada
Rc4_bit=0;                          //led color verde encendido
Delay_ms(30);

 //Mostrar loading
Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);                // Comando LCD (borrar el LCD)
Delay_ms(200);
Lcd_Out(1,1,"LOADING.");            // mostrar el proceso

medir:
//Medir el ruido
for (i=3000;i>=1;i--) {
ruido = ADC_Read(2);                 // leer el Adc
Delay_ms(1);
                    }
  //Conectar la escala 200
RC0_bit= 1;                         //escala 200 conectada
```

```
RC1_bit= 0;                          //escala 20 desconectada
Delay_ms(30);


//ESCALA 200//
 // Procesamiento escala 200
for (i=3000;i>=1;i--) {
    medida200= ADC_Read(2);          // leer el Adc
    adc_rd1=  medida200-ruido;       //resta en bits (señal + ruido) -ruido
tlong1 = (long)adc_rd1*400000 ;      //operaciones
tlong1 = tlong1/ 1023;               //operaciones
ch1 = tlong1 / 1000;                 //operaciones
Delay_ms(1);
                        }
    // Resistencia alta > 200
if (ch1>200)
    {
Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);                 // Comando LCD (borrar el LCD
while(1){
Lcd_Out(1,1,"high res");             // mostrar high res
Delay_ms(1);
              }
    }                                // continua la escala 200
```

```
if (ch1 > 20 )
{
Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);                // Comando LCD (borrar el LCD
while(1) {
// Procesamiento escala 200
   medida200= ADC_Read(2);          // leer el Adc
   adc_rd1=  abs(medida200-ruido);  //resta en bits (señal + ruido) -ruido
tlong1 = (long)adc_rd1*400000 ;     //operaciones
tlong1 = tlong1/ 1023;              //operaciones
ch1 = tlong1 / 1000;                //operaciones

 //Mostrar en el LCD escala de 200
CustomChar(1,8) ;                   // muestra el caracter omega
if(rc2_bit=1) {
CustomChar2(1,1);                   // muestra el simbolobateria baja
                }
   ch1 = (tlong1/ 100000) % 10;      // centenas
Lcd_Chr(1,3,48+ch1);                // Escribir resultado en formato ASCII
   ch1 = (tlong1 / 10000) % 10;     // decenas
Lcd_Chr_CP(48+ch1);                 // Escribir resultado en formato ASCII
   ch1 = (tlong1 / 1000) % 10;      // unidades
Lcd_Chr_CP(48+ch1);                 // Escribir resultado en formato ASCII
```

```
Lcd_Chr_CP('.');                    // punto de separación
    ch1 = (tlong1 / 100) % 10;       // Extraer centenas de milivoltios
Lcd_Chr_CP(48+ch1);                 // Escribir resultado en formato ASCII
Delay_ms(200);                      // El ciclo se repite cada 1ms
            }
}
```

//Conectar la escala 20

```
  RC0_bit= 0;                       //escala 200 desconectada
Delay_ms(100);
  RC1_bit= 1;                       //escala 20  conectada
Delay_ms(3000);

Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);                // Comando LCD (borrar el LCD
while(1) {
```

// Procesamiento escala 20

```
medida20= ADC_Read(2);              //  leer el Adc
adc_rd2= medida20-ruido;            //resta en bits (señal + ruido) - ruido
tlong2 = (long)adc_rd2*40000 ;      //operaciones
tlong2 = tlong2/ 1023;              //operaciones
ch2 = tlong2 / 1000;                //operaciones
```

//Mostrar en el LCD escala de 20

```
CustomChar(1,8) ;                    // muestra el caracter omega
if(rc2_bit=1) {
CustomChar2(1,1);                    // muestra el símbolo batería baja
}
ch2 = (tlong2 / 10000) % 10;          // decenas
Lcd_Chr(1,3,48+ch2);                 // escribir resultado en formato ASCII
ch2 = (tlong2 / 1000) % 10;          // unidades
Lcd_Chr_CP(48+ch2);                  // escribir resultado en formato ASCII
Lcd_Chr_CP('.');                     // punto de separación
ch2 = (tlong2 / 100) % 10;           // Extraer centenas de milivoltios
Lcd_Chr_CP(48+ch2);                  // Escribir resultado en formato ASCII
ch2 = (tlong2 / 10) % 10;            // Extraer decenas de milivoltios
Lcd_Chr_CP(48+ch2);                  // Escribir resultado en formato ASCII
Delay_ms(200);                       // El ciclo se repite cada 1ms
            }
}
```

ANEXO 5-A

MANUAL DE USUARIO TELURMETRO DIGITAL

TELUROMETRO DIGITAL

MANUAL DE USUARIO

DESCRIPCIÓN GENERAL

El telurómetro digital es un equipo que se utiliza para medir la resistencia de una instalación a tierra utilizando el método de tres puntos. Este equipo tiene un LCD con dígitos de 12mm un botón de medida, y tres salidas las cuales están identificadas por color de la siguiente manera C (rojo) P (Amarillo) y T (Verde) donde se conectan los cables que sirven para hacer el test de medida.

Además cuenta con LEDs indicadores y un botón para accionar la luz del LCD.

Este equipo es recargable gracias a sus baterías de plomo de larga duración.

INFORMACIÓN DE SEGURIDAD

Siga las instrucciones de este manual cuidadosamente

No utilizar el equipo cuando la puesta a tierra esté conectada a la red eléctrica.

Remplace los fusibles del telurómetro con los que se indica en este manual.

No deje caer el telurómetro esto podría causar mal funcionamiento.

MANTENIMIENTO

Utilizar los fusibles de protección del tipo indicado 250V/250mA.

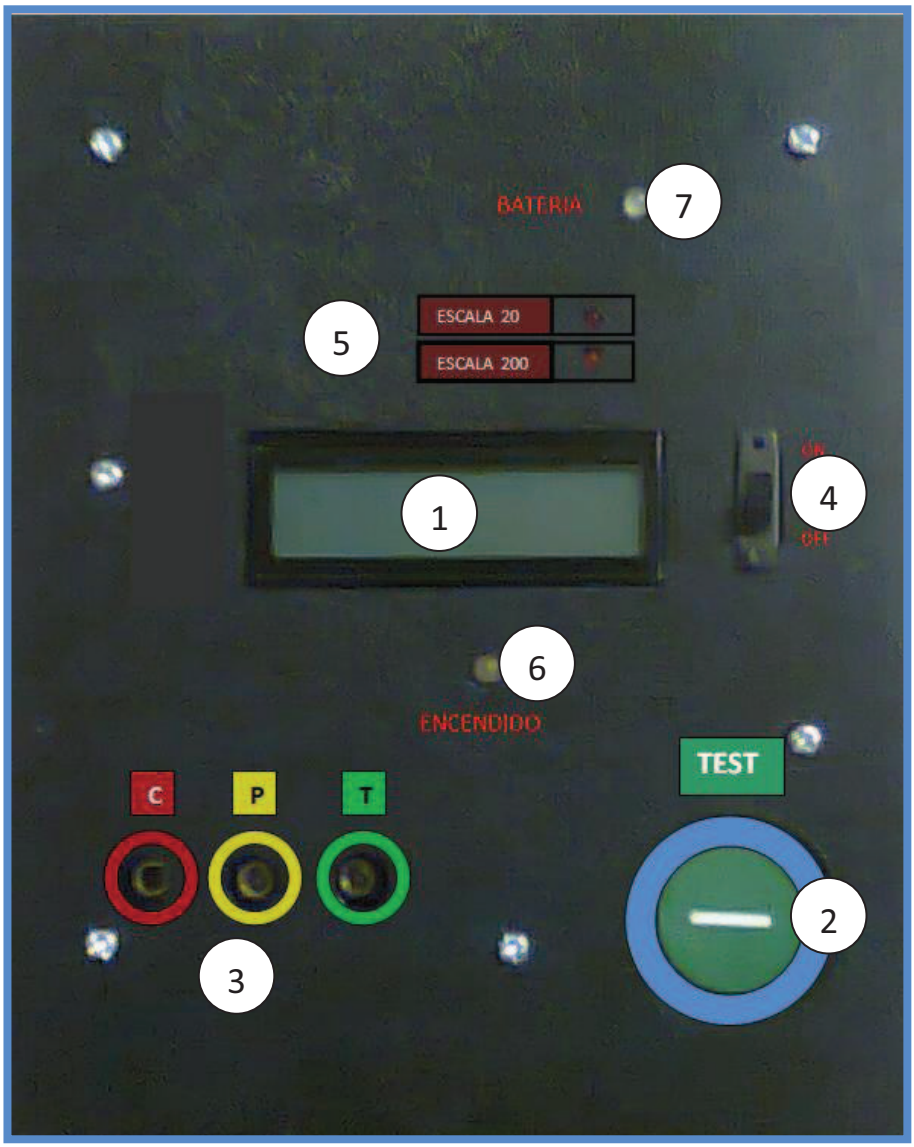
Conectar de una manera correcta de los cables C (rojo) P (Amarillo) y T (Verde) de acuerdo a los diagramas presentados en este manual en las siguientes secciones.

No utilice sustancias fuertes como alcohol para limpiar la pantalla de LCD.

PARTES DEL TELUROMETRO

El telurómetro consta de las siguientes partes.

PANEL FRONTAL



1 LCD

Donde se puede visualizar los resultados de las mediciones y los mensajes indicadores.

2 Botón de medida

Presiónelo por aproximadamente 15 segundos para obtener una medida estable.

3 Bornes de conexión identificados por color

Utilizados para conectar los cables de prueba del telurómetro.

4 Botón de iluminación del LCD.

Utilizado para activar la retro iluminación del display en condiciones desfavorables de iluminación.

5 Indicadores LED de selección automática de escala

Indica en que escala el equipo está trabajando.

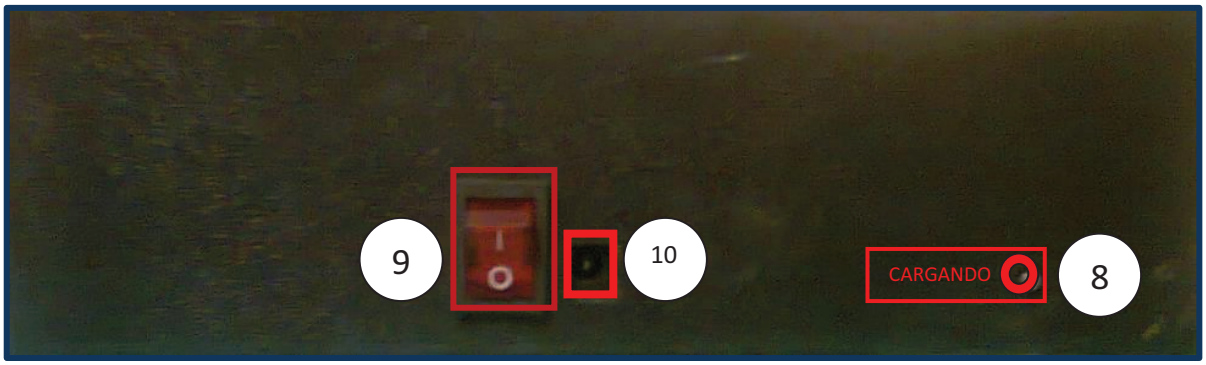
6 LED de encendido

Indica que el equipo está trabajando normalmente.

7 LED de estado de batería.

El color del LED indica la carga de las baterías.

PANEL LATERAL



8 indicador de carga las baterías

Es un LED de color rojo que se enciende mientras el equipo se está cargando cuando la carga de las baterías es completa este indicador se apagara automáticamente.

9 interruptor general del equipo.

Energiza el circuito cuando este está en la posición ON.

10 Entrada DC para el cargador de baterías.

Es el conector para el adaptador de 30VDC que se conecta para recargar las baterías del telurómetro.

ESPECIFICACIONES

Equipo auto escalable con 2 Escalas de medida (0 a 20 Ohm) y (20 a 200 Ohm)

Corriente de ensayo 10mA y 1mA.

Señal de salida onda cuadrada alterna.

Frecuencia de la señal 700HZ.

Fusibles de protección de 250V/250mA.

Alimentación 2 baterías de plomo 12V y 800mAh recargables.

Tiempo de duración de las baterías

Con el LCD sin iluminación 800 ensayos de 20 segundos.

Con el LCD con iluminación 500 ensayos de 20 segundos.

Método de medición utilizado de 3 puntos

Tempo de carga aproximadamente 8 horas

Longitud del cable rojo 20 m

Longitud del cable amarillo 10m

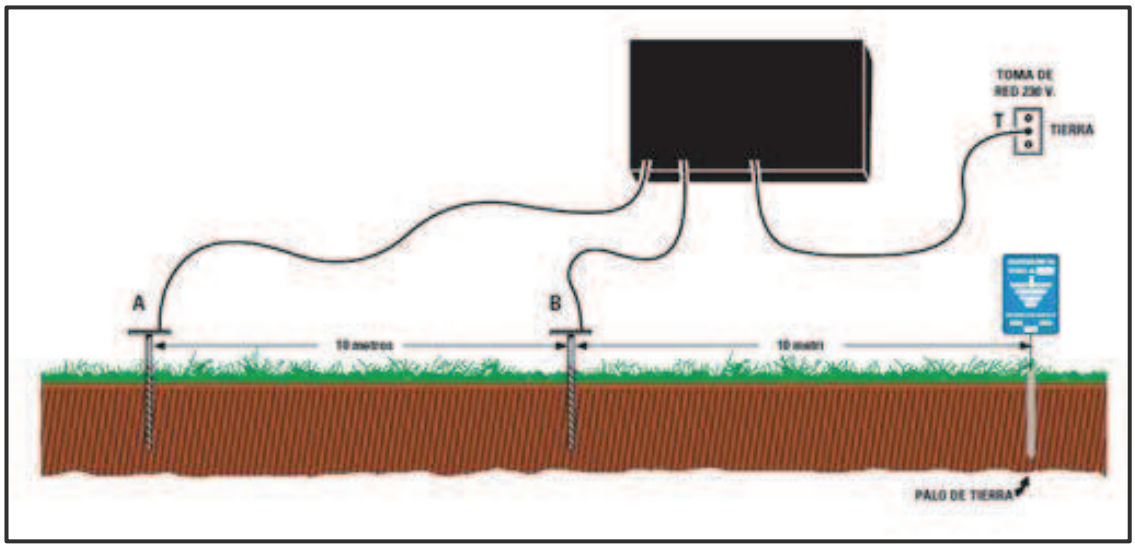
Longitud del cable verde 5 m

INSTRUCCIONES DE OPERACIÓN

1,- desconecte la puesta de tierra de la red eléctrica.

2.-conecte los cables en los bornes del telurómetro de acuerdo a cada color.

3.-Entierre la una varilla de acero inoxidable (varilla 2) a una distancia X de la puesta a tierra después entierre la segunda varilla de acero inoxidable (varilla 1) a una distancia X de la primera varilla como se muestra en la siguiente figura.



Nota:

La distancia X debe ser entre 5 a 15m

4.- Conecte el cable rojo a la varilla 1 y el cable amarillo a la varilla 2 con el lagarto de cada cable.

5.-Conecte el cable verde directamente a la varilla de la puesta a tierra.

6.-Encienda el equipo poniendo en posición 1 el interruptor lateral (9 interruptor general del equipo).

7.-Presione el pulsador de color verde y manténgalo presionado hasta poder visualizar la medida en el LCD.

SÍMBOLOS INDICADORES

El LED indicador de batería baja

El LED indicador de batería baja situada en la parte superior del telurómetro cambia de color dependiendo el estado de la batería y funciona de la siguiente manera:

LED de color verde indica que el equipo tiene carga completa de baterías y procederá normalmente con la medición.

LED de color azul indica que se puede seguir realizando mediciones pero se debe cargar la batería, además se podrá observar en el LCD un símbolo de batería seguido de la medición.

LED indicador de batería baja color rojo e intermitente indica que el equipo no posee la suficiente carga en sus baterías para realizar una medida confiable. Cuando sucede esto aparecerá en el LCD el siguiente mensaje “LOW BAT” y no se podrá observar ninguna medida.

El LED de encendido

Indica que el telurómetro está en funcionamiento

Nota el telurómetro está funcionando correctamente cuando tanto el LED de encendido y el de batería están prendidos. Cuando alguno no se encienda revise los fusibles del equipo y remplácelos si es necesario.

Mensaje LOADING

Este mensaje aparece cuando el equipo está seleccionando la escala adecuada de medición

Mensaje HIGH RES

Este mensaje aparece en el display cuando la resistencia de la puesta a tierra es mayor a 200 Ohm o el equipo no está conectado correctamente.

Mensaje LOW BAT

Este mensaje aparece en el display cuando no hay suficiente carga en las baterías del equipo para realizar una medición fiable. Cuando ocurre esto el equipo no mostrara ninguna medida y el LED de indicador de carga de batería será de color rojo e intermitente.

Símbolo de batería baja en el display

Cuando aparezca este símbolo en el display indica que se recargue la batería además el LED de estado de carga de batería será de color azul.

ACCESORIOS

Este equipo contiene lo siguiente:

1 telurómetro digital recargable

1 cable rojo de 20m calibre 18 AWG

1 cable amarillo de 15m calibre 18 AWG

1 cable verde de 5m 18AWG

2 varillas de acero inoxidable de 30cm en forma de T

1 Cargador de baterías de 30VDC