



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE HIDALGO**

INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA

**PROTOTIPO DE UN RELEVADOR DE
SOBRECORRIENTE MICROPROCESADO**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

P R E S E N T A

EDGAR MAHED AMADOR GUERRERO

ASESOR: ING. ALEJANDRO CERÓN LÓPEZ

PACHUCA DE SOTO HGO. FEBRERO 2007

AGRADECIMIENTOS:

A Dios gracias por todas las cosas que me ha permitido hacer. También les agradezco a Dos personas bien importantes en mi vida; que siempre han estado con migo apoyándome Ininterrumpidamente; gracias Papá y Mamá por todo. ¿Como poder pagarles?. Obviamente hay más gente con quien estoy en deuda pero temiendo pasar por alto a alguno, Sólo concluyo agradeciendo a cada persona que ha gastado tiempo con migo. GRACIAS!

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN		Pág.
1.1	Objetivo general	2
1.2	Objetivos específicos	3
1.3	Breve estado del arte	4
1.4	Planteamiento del problema	5
1.5	Solución propuesta	6
1.6	Justificación	7
1.7	Organización de la tesis	8
CAPÍTULO II RELEVADORES		
2.1	Introducción	10
2.2	Descripción del dispositivo	11
2.2.1	Relevadores	11
2.2.1.1	Confiabilidad	11
2.2.1.2	Selectividad	13
2.2.1.3	Rapidez de operación	14
2.2.1.4	Discriminación	15
2.2.1.5	Consideraciones económicas	15
2.2.2	Clasificación de los relevadores	16
2.2.2.1	Debido a la función que desempeñan	17
2.2.2.2	Debido a la naturaleza de la cantidad actuante	18
2.2.2.3	Debido a la conexión de elemento sensor	18
2.2.2.4	Debido a su construcción	19
2.2.3	Relevadores electromagnéticos	19
2.2.3.1	Relevadores de armadura	20
2.2.3.2	Relevadores de inducción	21
2.2.4	Relevadores de estado sólido	22
2.2.4.1	Alta frecuencia de conmutación	22
2.2.4.2	Funcionamiento silencioso	22
2.2.4.3	Compatibilidad en ambientes severos	23
2.2.5	Relevadores microprocesados	23
2.3	Características de los relevadores de sobrecorriente	24
2.3.1	Coordinación por ajuste de corriente	26
2.3.2	Coordinación por ajuste de tiempo	28
2.4	Tipos de relevadores de sobrecorriente	29
2.4.1	Relevadores electromagnéticos instantáneos de sobrecorriente	29

	Pág.	
2.4.2	Relevadores de sobrecorriente de estado sólido	31
2.4.3	Relevadores de sobrecorriente con retardo	32
2.4.4	Relevadores direccionales	34
2.5	Conclusiones	37
CAPÍTULO III DESARROLLO DEL PROTOTIPO		
3.1	Introducción	40
3.2	Desarrollo del software	41
3.2.1	Estructura general del programa	41
3.2.2	Lógica de control	42
3.2.2.1	Tiempo de adquisición de datos	43
3.2.2.2	Lógica de protección	43
3.2.3	Introducción de datos	44
3.2.3.1	Curva característica del tipo muy inversa	45
3.2.3.2	Valores de tiempo/corriente correspondientes a la curva característica	45
3.3	Desarrollo de la interfase análoga	48
3.3.1	Transformadores de instrumento	49
3.3.1.1	Especificaciones de los transformadores de instrumento	49
3.3.1.2	Relación de transformación	50
3.3.1.3	Precisión	51
3.3.1.4	Carga o burden	52
3.3.2	TC necesario para este proyecto	53
3.4	Circuito sensor de corriente	53
3.4.1	Circuito recortador de señal	54
3.4.2	Circuito seguidor de voltaje	54
3.4.3	Circuito convertidor de CA-CC	55
3.4.4	Filtro pasabajas	56
3.5	Visualización de parámetros	58
3.6	Diagrama eléctrico del prototipo del relevador de sobrecorriente microprocesado	59
3.7	Conclusiones	60
CAPÍTULO IV CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS		
4.1	Conclusiones generales	62
4.2	Perspectivas	63
Apéndice A	Microcontrolador 16F877A	65
Apéndice B	Pruebas realizadas con la interfase análoga	83
Apéndice C	Listado del programa	87
Apéndice D	Módulo LCD	98
Glosario		101
Bibliografía		103

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.		Pág.
1	Clasificación de los relevadores	17
2	Relevador tipo buzo	20
3	Relevador de inducción de disco con polo sombreado	21
4	Relevador de protección multifunciones microprocesado REF610 marca ABB	24
5	Red protegida por relevadores de sobrecorriente	26
6	Curvas características de tiempo-corriente	27
7	Curvas tiempo-corriente de los diferentes tipos de relevadores de sobrecorriente	28
8	Relevador de sobrecorriente magnético de disparo instantáneo	30
9	Relevador de estado sólido modelo SIL	31
10	Relevador de sobrecorriente magnético con retardo	33
11	Relevador direccional	35
12	Relevador de fase abierta y de fase invertida	36
13	Diagrama de flujo del programa desarrollado e implementado	40
14	Diagrama de flujo correspondiente a la función Overcurrent	41
15	Curva característica del tipo muy inversa	44
16	Circuito de conexión del transformador de voltaje	49
17	Circuito de conexión del transformador de corriente	50
18	Diagrama a bloques del circuito sensor de corriente	52
19	Circuito recortador de señal	53
20	Circuito seguidor de voltaje	54
21	Circuito convertidor de ca a cc	55
22	Filtro pasabajas	56
23	Leyendas mostradas por el LCD implementado en el prototipo	57
24	Diagrama eléctrico del prototipo del relevador de sobrecorriente microprocesado	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla		Pág.
1	Primeros 115 valores contenidos en la curva muy inversa	45
2	Últimos 115 valores contenidos en la curva muy inversa	46
3	Coeficientes del polinomio de orden 8, al que responde la curva implementada	47

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar y desarrollar un relevador microprocesado estándar de sobrecorriente, que pueda ser programado para que se adapte a las condiciones de control y protección demandadas por el sistema donde se encuentre instalado. El dispositivo en cuestión, por medio de un microcontrolador, será capaz de recrear las características de operación típicas de cualquier tipo de relevador de sobrecorriente.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar un algoritmo encargado de realizar los pasos necesarios para recrear el proceso de operación de un relevador de sobre corriente estándar.
- Implementar el algoritmo desarrollado a través de un microcontrolador para obtener un sistema mínimo.
- Desarrollar una interfase análoga que le permita al dispositivo generar un voltaje de corriente continua proporcional a los valores de corriente alterna sensados en el sistema, y cuyo valor se encuentre dentro de un rango de operación adecuado para los dispositivos de control.
- Proponer un medio que permita discretizar lo más fielmente posible a la curva característica de operación del tipo de relevador que se desea emular por medio del prototipo.
- Implementar un sistema de visualización que le permita al usuario conocer el estado de la operación del prototipo además del valor actual de los parámetros sensados.

1.3 BREVE ESTADO DEL ARTE

En la actualidad podemos encontrar una gran variedad de relevadores de sobrecorriente. Entre los más comunes, podemos mencionar a los relevadores electromagnéticos que se emplean para la manipulación de grandes cantidades de corriente. Este tipo de relevadores por lo regular son caros en su construcción, además que requieren de un costoso mantenimiento que asegure un buen funcionamiento en su operación.

Por otro lado, existen también los relevadores de estado sólido basados en tiristores. Estos relevadores a diferencia de los electromagnéticos no contienen partes móviles ni contactos mecánicos, lo cual reduce significativamente sus requerimientos de mantenimiento, razón por la cual han remplazado en muchas aplicaciones a los relevadores electromagnéticos.

Así mismo, existen en el mercado relevadores *microprocesados* que basan su funcionamiento en un microcontrolador, el cual les permite duplicar las curvas características de prácticamente cualquier relevador electromagnético. Sin embargo, además de que la mayoría de estos relevadores son bastante costosos, la gama de curvas características que dichos relevadores tienen almacenada en la memoria del microcontrolador, no siempre es compatible con los dispositivos y con las redes eléctricas en las cuales se desean implementar [12].

1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El problema que busca resolver este proyecto de tesis, consiste en la dificultad de conseguir dispositivos de protección para sistemas eléctricos de potencia, que se ajusten a las necesidades del sistema o dispositivo a controlar. La resolución del problema evitará la difícil tarea de adecuar el sistema al dispositivo que lo protegerá o lo controlará según sea el caso.

1.5 SOLUCIÓN PROPUESTA

Lo que se pretende con este proyecto de tesis es la obtención de un relevador de sobrecorriente microprocesado, que será adaptable a las características específicas de cada sistema eléctrico en particular. Lo anterior es posible ya que antes de implementar dicho relevador en un sistema, se estudiarán anticipadamente las características del mismo, adecuando de esta manera al relevador para que funcione exclusivamente para un sistema específico.

Cabe señalar que al utilizar este dispositivo en un sistema determinado, los viejos relevadores electromecánicos aun pueden seguirse utilizando, ya que el relevador que se propone en esta tesis puede ser compatible “en el caso de que el cliente así lo quiera” con los relevadores que las estaciones eléctricas tengan implementados.

1.6 JUSTIFICACIÓN

Personalmente he visto los diferentes problemas y dificultades que se generan debido a la falta de los dispositivos adecuados de protección en estaciones eléctricas. Particularmente hablando de las diferentes estaciones de bombeo del Sistema Ductos Centro de PEMEX Refinación Sector Catalina.

Después de haber trabajado en varias ocasiones en las distintas estaciones con las que dicho sector cuenta, me he percatado de que casi en todos los casos, los sistemas de protección y de control con los que cuentan las subestaciones eléctricas (basados en relevadores) se encuentran funcionando en un estado menor al 70%. Esto debido a lo difícil y costoso que es encontrar relevadores que cumplan con las características adecuadas del sistema. La mayoría de las veces los problemas se solucionan adaptando los sistemas a los relevadores con los que se cuenta.

Con base en lo anterior surge este proyecto de tesis, ofreciendo así una alternativa de renovación para sistemas eléctricos de protección que necesiten modernizar sus dispositivos y al mismo tiempo aumentar la eficiencia en sus operaciones.

1.7 ORGANIZACIÓN DE LA TESIS

En el Capítulo 2 nos familiarizaremos con las características de los relevadores además de conocer como, porque y en que tipos de sistemas se utilizan. Más adelante veremos cuales son los distintos relevadores que existen y cuales son las diferencias entre ellos, para más adelante enfocarnos en el relevador de sobrecorriente.

En el capítulo 3 se muestra el proceso de desarrollo del prototipo creado, mostrando las fases del programa desarrollado así como la forma en que fue generada la curva característica del relevador diseñado. También se muestra el desarrollo de cada una de las partes de la interfase análoga implementada para la transformación de la señal y por último se indica como fue implementado el visualizador de los parámetros sensados.

Por último en el capítulo 4 terminaremos comentando acerca de las conclusiones obtenidas después de desarrollar y poner en funcionamiento el prototipo de relevador de sobrecorriente. Además de conocer las perspectivas propuestas en este proyecto de tesis.

CAPÍTULO II
RELEVADORES

2.1 INTRODUCCIÓN

Un sistema de potencia eléctrica debe asegurar que toda carga conectada al mismo disponga ininterrumpidamente de energía. Una de las principales causas de interrupción del suministro continuo, es la falla en derivación ó cortocircuito, que ocasiona un cambio súbito y a veces violento en la operación del sistema [1].

Los relevadores de protección detectan condiciones anormales de operación como por ejemplo; las fallas en los circuitos eléctricos y, en forma automática funcionan para aislar con la mayor rapidez posible la falla en el sistema. Debe entenderse que un relevador de protección no puede prevenir las fallas. Sólo puede actuar después de que éstas se han presentado. Sería muy conveniente que la protección pudiera anticipar y prevenir las fallas, pero obviamente esto es imposible [2].

Los relevadores de sobrecorriente tienen su mejor aplicación en los sistemas de distribución radiales ya que en estos sistemas no se requieren de algunas características direccionales, mientras que los elementos direccionales son normalmente requeridos en alimentadores en malla. Existen diferentes tipos de relevadores de sobrecorriente en el mercado de tal forma que se puede seleccionar el más adecuado para cada aplicación específica[3]

2.2 DESCRIPCIÓN DEL DISPOSITIVO

2.2.1 RELEVADORES

Cuando se presentan condiciones anormales, la función principal de un relevador de protección es aislar el dispositivo que esta protegiendo, para evitar que se dañe tanto el dispositivo como la red que lo alimenta, todo esto con el mínimo de interrupción del servicio. En consecuencia, los relevadores deben diseñarse para detectar y medir condiciones anormales específicas del sistema que protegen.

Todo sistema de protección que aisle un elemento en condición de falla, debe llenar cuatro requisitos básicos:

- 1) Confiabilidad
- 2) Selectividad
- 3) Rapidez de operación
- 4) Discriminación

Por ejemplo, sin confiabilidad y selectividad, la protección sería completamente inefectiva e incluso podría convertirse en un peligro; es por eso que dicha tarea se les asigna a los relevadores [2].

2.2.1.1 CONFIABILIDAD

Las fallas pueden reducirse a un pequeño riesgo calculado, mediante diseños inherentemente confiables respaldados por un mantenimiento regular y completo.

Al considerar la confiabilidad, no debe omitirse la calidad del personal, porque las equivocaciones de éste se cuentan entre las causas más frecuentes de las fallas.

Confiabilidad es un término cualitativo, aunque cuantitativamente puede expresarse como la probabilidad de una falla [2].

Se puede decir que en un sistema eléctrico bien diseñado no debería haber intervención de los relevadores de protección por mucho tiempo, años quizás, por lo que los relevadores deben operar con bastante precisión y seguridad cuando sea requerida su intervención.

Para obtener una seguridad de operación cuando se requiera de la intervención de un relevador, además de la confiabilidad misma del instrumento se deben implementar programas de mantenimiento, tales que en cualquier momento que sea requerida su intervención lo hagan en forma segura y precisa de acuerdo a una política de seguridad establecida para el sistema eléctrico, dependiendo del sistema que se trate. Dicha política consiste principalmente en justificar el costo total de la protección, incluyendo mano de obra y mantenimiento en función de la importancia del servicio que prestará el sistema eléctrico, así por ejemplo no sería razonable invertir en la protección de un elemento que si se daña tendría un costo de \$5,000.00 dólares, si la protección tiene un costo de \$70,000.00 dólares [1].

2.2.1.2 SELECTIVIDAD

Esta es la propiedad por medio de la cual sólo se aísla el elemento del sistema que se encuentra en condición de falla, quedando intactas las restantes secciones en buen estado [2].

La capacidad de esta propiedad de los relevadores consiste en su capacidad para determinar con gran precisión el nivel de corriente para el cual debe ocurrir la señal de disparo o bien la distancia para una falla remota o lejana al relevador, a la cual una línea se debe sacar de servicio, conceptos como estos dan un índice de la selectividad de un relevador.

Desde el punto de vista de operación es frecuente que otros elementos ajenos al relevador afecten la selectividad, tales elementos pueden ser afectados por errores en los transformadores de instrumento debidos a saturación o carga excesiva, formas de ondas transitorias fuera de su ajuste, etc.

La selectividad es un concepto que en cierto modo está relacionado con la velocidad ó más bien conocida como rapidez de operación de los relevadores, ya que si bien es cierto que para fallas en buses, fallas en líneas de transmisión de alta tensión o fallas en motores y generadores se desea que la protección opere tan rápido como sea posible, por otra parte algunos segmentos de los sistemas eléctricos pueden no requerir de una alta velocidad de operación en la protección, por ejemplo algunos alimentadores radiales que alimentan como carga a motores

eléctricos, pueden tener como protección principal fusibles y relevadores de sobrecorriente, si algunas cargas son motores de inducción de gran potencia, que toman un tiempo relativamente grande para arrancar pueden demandar corrientes grandes durante periodos de tiempo que pueden ser considerados como largos desde el punto de vista de la protección de tal forma que para algunos relevadores no se puede notar la diferencia entre una corriente de arranque o una corriente de falla, de manera que en estos casos es deseable un relevador con características de protección para tiempos mayores. Ya que de otra forma cada vez que se trata de arrancar el motor se disparará la protección.

Cabe señalar que es necesario interrumpir las corrientes de corto circuito tan rápido como sea posible, para reducir al mínimo los daños que puedan ser causados por ellas. Sin embargo pueden existir circunstancias especiales que requieran cierto retardo para llevar a cabo las interrupciones [1].

2.2.1.3 RAPIDEZ DE OPERACIÓN

Se requiere que los relevadores de protección sean de acción rápida, por las siguientes razones:

- a) No debe rebasarse el tiempo crítico de eliminación
- b) Los aparatos eléctricos pueden dañarse si se les hace soportar corrientes de falla durante un tiempo prolongado.
- c) Una falla persistente hace bajar el voltaje y ocasiona el arrastre o lento avance y la consiguiente sobrecarga en las transmisiones industriales [2].

Por otro lado, los relevadores no deben funcionar extremadamente rápidos, en forma general a menos de 10 milisegundos, porque, cuando un relámpago produce cualquier variación en la línea, los divisores de variación deben tener el tiempo suficiente para descargarlo a tierra; de lo contrario, el relevador operará innecesariamente en condiciones transitorias [2].

2.2.1.4 DISCRIMINACIÓN

La protección debe ser lo bastante sensitiva como para operar confiablemente en condiciones mínimas de falla, y debe permanecer estable bajo carga máxima o persistentes condiciones de falla.

Un relevador debe poder diferenciar una falla de una sobrecarga. En el caso de los transformadores, la llegada violenta de corriente magnetizante puede ser comparable a la corriente de falla, al ser de 5 a 7 veces la corriente a carga total y el relevador no debe operar con tales corrientes. En los sistemas interconectados, hay oscilaciones de la energía, que también deben ser ignoradas por el relevador. Esta discriminación entre las fallas y las sobrecorrientes es una característica con la que el relevador debe contar [2].

2.2.1.5 CONSIDERACIONES ECONÓMICAS

Cada día se tiene más conciencia de que existe un límite económico para la cantidad que puede gastarse en los diferentes tipos de seguros de vida o para salvaguardar la propiedad. En forma semejante, en un sistema de suministro de

energía existe un límite económico para la cantidad que pueda gastarse en la protección del mismo. Generalmente se trata de un asunto muy complejo, en vista de que la probabilidad de falla esta en función del dispositivo, de su ubicación, del tiempo de uso, etc. Todos estos factores pueden proporcionar diferentes alternativas para el mismo problema y la selección debe hacerse teniendo presente la justificación económica.

El costo de la protección esta relacionado con el costo del dispositivo o del sistema que se va a proteger. Por lo general, el costo del sistema de protección no debe ser mayor del 5% del costo total del dispositivo o, si es el caso del sistema que se va a proteger.

Sin embargo, cuando los aparatos que hay que proteger son de suma importancia, como un generador o la línea principal de transmisión, las consideraciones económicas se subordinan a menudo a la confiabilidad [2].

2.2.2 CLASIFICACIÓN DE LOS RELEVADORES

Son varios los tipos de relevadores que se emplean en la protección de los sistemas de potencia. Normalmente, la cantidad que entra en acción es una señal eléctrica, aunque a veces se utiliza la presión o la temperatura. Los relevadores de protección del tipo eléctrico pueden clasificarse de diversas maneras.

La figura 1 muestra un cuadro sinóptico con la clasificación de los relevadores.

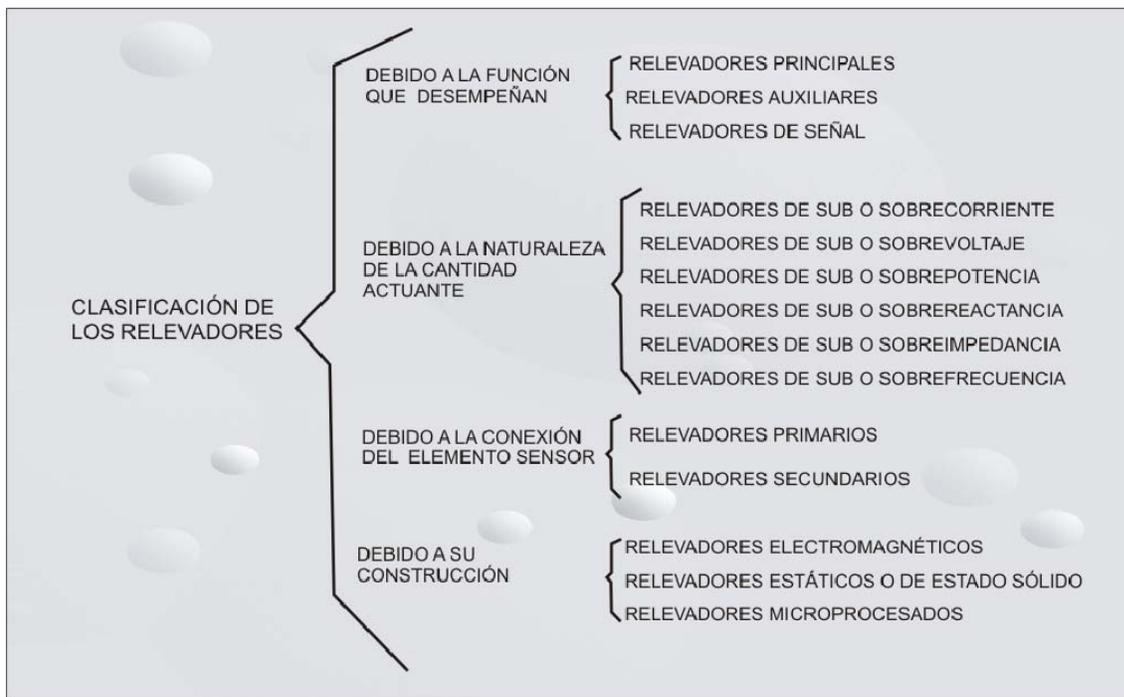


Figura 1. Clasificación de los relevadores
Fuente: Propia

2.2.2.1 DEBIDO A LA FUNCIÓN QUE DESEMPEÑAN

En el esquema de protección, los relevadores pueden dividirse en principales, auxiliares y de señal.

Los relevadores principales son los elementos protectores que responden a cualquier cambio en la cantidad actuante, ya sea la corriente, el voltaje, la potencia, etc.

Los relevadores auxiliares son aquellos que están controlados por otros relevadores para efectuar alguna función auxiliar; tales como la introducción de un atraso, el aumento del número de contactos, el aumento de acciones de contacto

o interrupción de los contactos de otro relevador, el paso de una señal de un relevador a otro, la energización de una señal o alarma, etc.

Los relevadores de señal tienen por función registrar la operación de algún relevador mediante un indicador de bandera y, simultáneamente, pueden accionar el circuito de una alarma audible. La elección de un relevador de señal depende de la importancia del sistema de interrupción asociado, del método de control y del número de indicaciones de la alarma que se necesite [2].

2.2.2.2 DEBIDO A LA NATURALEZA DE LA CANTIDAD ACTUANTE

Este tipo de clasificación se lleva a cabo tomando en cuenta la naturaleza de la cantidad actuante a la cual responde el relevador ya sea la corriente, el voltaje, la potencia, la reactancia, la impedancia o la frecuencia. Dichos relevadores se diferencian como sobre y sub relevadores. Los relevadores que responden a la cantidad actual cuando esta rebasa un valor predeterminado, son los sobrerrelevadores y si operan cuando el valor de la cantidad actuante descienda debajo de un valor predeterminado se conoce como subrelevador. Por lo tanto, un *relevador de sobrecorriente* es aquel que opera cuando el valor de la corriente rebasa un valor predeterminado y un subrelevador de voltaje es aquel que opera cuando el voltaje desciende debajo de un cierto valor en particular [2].

2.2.2.3 DEBIDO A LA CONEXIÓN DEL ELEMENTO SENSOR

Los relevadores primarios son aquellos cuyos elementos sensores están conectados directamente en el circuito o elemento al que protegen, los

relevadores secundarios son aquellos cuyos elementos sensores están conectados a través de un transformador de corriente o de voltaje. Normalmente, los relevadores secundarios se emplean en la protección de los sistemas de potencia debido a los altos valores de los voltajes y de las corrientes de línea.

2.2.2.4 DEBIDO A SU CONSTRUCCIÓN

Los relevadores se fabrican en cualquiera de los siguientes tipos:

- Electromagnéticos
- Estáticos ó de estado sólido
- Microprocesados

Esta clasificación se refiere a su tipo constructivo y principio de operación. Los de tipo electromagnético son los más antiguos, y su uso es cada vez más restringido en los sistemas eléctricos de potencia. Aún cuando son aplicables en las instalaciones eléctricas industriales con ciertas ventajas [2].

Los de tipo estático y los microprocesados, tienen la ventaja de poder prácticamente duplicar cualquier curva de los relevadores electromagnéticos.

2.2.3 RELEVADORES ELECTROMAGNÉTICOS

Hay dos tipos principales de relevadores electromagnéticos:

- a) Los de armadura
- b) Los de inducción

2.2.3.1 RELEVADORES DE ARMADURA:

En este tipo están comprendidos los relevadores de buzo, los de armadura articulada, los de rayo balanceado y los relevadores polarizados de hierro móvil.

Estos son relevadores del tipo más simple y responden tanto a c.a. como a c.d.

El principio de los relevadores de armadura consiste en que el flujo magnético produce una fuerza electromagnética; dicho flujo magnético es producido por la cantidad operante. La fuerza electromagnética ejercida sobre el elemento móvil es proporcional al cuadrado del flujo existente en el entrehierro o lo que es igual; al cuadrado de la corriente. En los relevadores electromagnéticos de c.d., esta fuerza es constante; si su valor rebasa al de la fuerza resistente el relevador opera confiablemente [2].

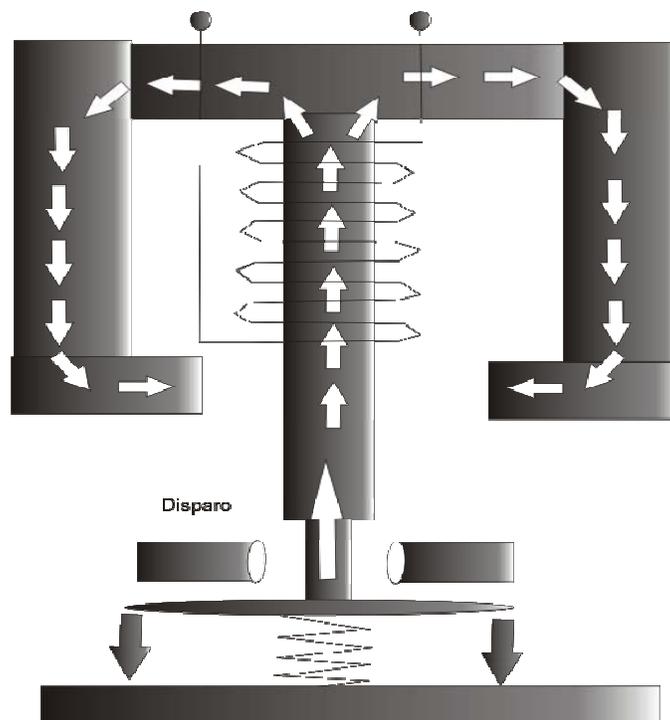


Figura 2. Relevador tipo buzo

Fuente: Protección de sistemas de potencia e interruptores, Ravindranath

2.2.3.2 RELEVADORES DE INDUCCIÓN:

En estos relevadores se produce un par de torsión cuando el flujo alterno reacciona con la corriente inducida en el rotor por otro flujo alterno desplazado en tiempo y espacio, pero con la misma frecuencia. Los relevadores de inducción son muy usados para la relevación de la protección cuando intervienen cantidades de corriente alterna. Es posible tener velocidad alta, baja ó ajustable y se obtienen diversas formas de las curvas de operación para la relación tiempo/cantidad operante. Dependiendo del tipo de rotor, que puede ser de disco ó de copa, el relevador se conoce como de inducción con disco ó de inducción con copa.

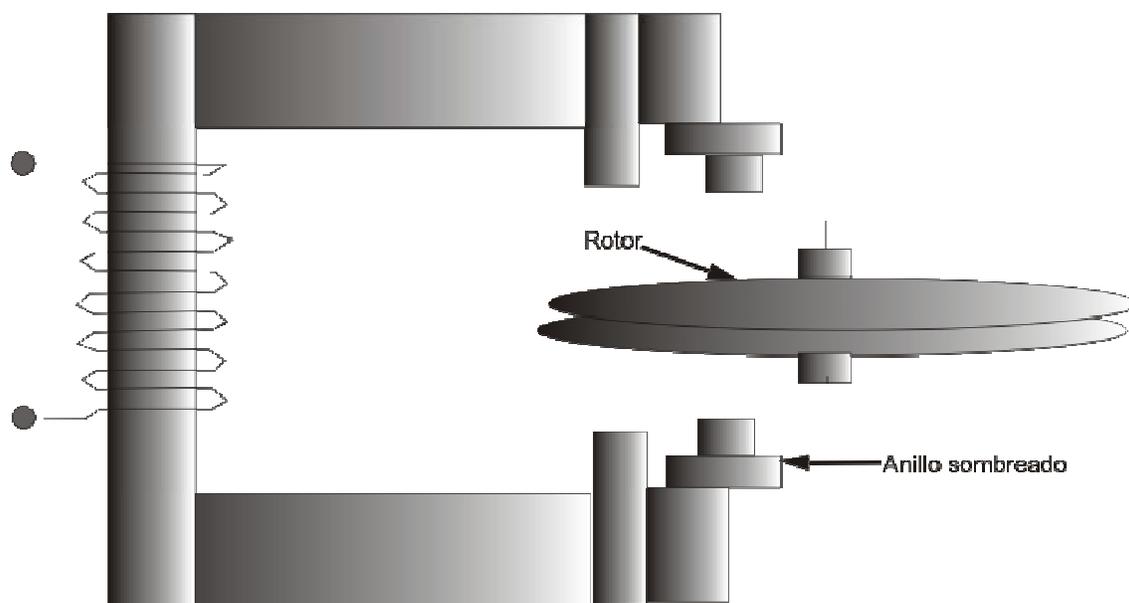


Figura 3. Relevador de inducción de disco con polo sombreado
Fuente: Protección de sistemas de potencia e interruptores, Ravindranath

En el relevador de polo sombreado el flujo principal se divide en dos, desplazados en cuanto a tiempo y espacio, con ayuda de un anillo de sombreado, quedando el flujo del entrehierro de los polos sombreados en atraso con respecto al flujo que pasa por los dos polos no sombreados [2]

2.2.4 RELEVADORES DE ESTADO SÓLIDO

Los relevadores de estado sólido no contienen partes móviles o contactos mecánicos. Pueden conmutar cargas de hasta cientos de amperes varias veces por segundo, año tras año. El parámetro estándar de cantidad máxima de ciclos de maniobra para relevadores electromecánicos es irrelevante para los relevadores de estado sólido al igual que para los microprocesados.

2.2.4.1 ALTA FRECUENCIA DE CONMUTACIÓN

Un relevador de estado sólido puede conmutar cargas hasta 80 veces en un segundo. Esta frecuencia es por mucho más alta que la de un relevador electromecánico.

El tiempo de respuesta para un relevador de estado sólido asincrónico es de solo 100 μ s. Este proceso es libre de rebotes y totalmente confiable [12].

2.2.4.2 FUNCIONAMIENTO SILENCIOSO

El relevador de estado sólido es completamente silencioso. Posiblemente, esta característica no sea relevante para ciertas aplicaciones industriales, pero lo es en muchas aplicaciones en el área de electro-medicina, automatización de oficinas, edificios y para aplicaciones donde se requiere un ambiente libre de ruidos para el confort de sus habitantes.

2.2.4.3 COMPATIBILIDAD CON AMBIENTES SEVEROS

La naturaleza de los componentes de estado sólido los hace altamente resistente a golpes y vibraciones. Estos están herméticamente sellados para asegurar un excelente funcionamiento en atmósferas húmedas. La ausencia de contactos mecánicos aumenta la seguridad en ambientes donde arcos y chispas pueden ser peligrosos [12].

2.2.5 RELEVADORES MICROPROCESADOS

Son llamados de esta forma, debido a que su funcionamiento depende de un microcontrolador, en consecuencia su operación se basa en la lógica de un programa. El cual es diseñado según las especificaciones del relevador que se quiera obtener; y se utiliza el termino obtener por que con los relevadores microprocesados podemos obtener literalmente las características de cualquier relevador electromagnético ó de estado sólido.

Además del microcontrolador, los relevadores microprocesados cuentan con transformadores de instrumento, además de un conjunto de circuitos para acoplar la señal recibida por el transformador de instrumento a la entrada del microcontrolador.

El diseño de los relevadores microprocesados no se rige por un solo programa ni por un solo tipo de diseño del hardware. Todo lo anterior queda en los límites del diseñador ya que estos relevadores se pueden aplicar en cualquier área del sistema de protección.

Los relevadores microprocesados tienen la ventaja de no utilizar componentes mecánicos. Esto significa que están libres de energía y de interferencias, y pueden conmutar silenciosamente sin incurrir en un desgaste o corrosión con relativamente poca energía. Los relevadores microprocesados son también resistentes a las vibraciones [12].



Figura 4. Relevador de protección multifunciones microprocesado REF610 marca ABB
Fuente: <http://www.schneider-electric.com//>

2.3 CARÁCTERÍSTICAS DE LOS RELEVADORES DE SOBRECORRIENTE

Los relevadores de sobrecorriente son dispositivos tanto de control como de protección; utilizados en sistemas eléctricos que demanden gran cantidad de potencia para distintos fines específicos. Como su nombre lo indica, tienen como finalidad operar cuando la corriente en la parte del sistema donde se ubica el relevador alcanza valores superiores a un valor predeterminado o mínimo de

operación. Existen dos tipos básicos de relevadores de sobrecorriente: los de tipo de operación instantánea y los de tipo de operación retardada.

Los relevadores de sobrecorriente instantáneos operan sin retardo cuando la corriente excede de un valor preestablecido; sin embargo, el tiempo de operación de estos tipos de relevadores pueden variar significativamente (desde 0.016 a 0.1 seg.)

Los relevadores de sobrecorriente con retardo poseen características de operación tal que el tiempo varía inversamente con la magnitud de la corriente que detecta.

Desde el punto de vista de su operación, el tiempo de operación de todos los tipos de relevadores tiende a ser asintótico a un valor mínimo definitivo que se incrementa con el valor de la corriente, esto es inherente a los relevadores electromagnéticos debido a la saturación de los circuitos magnéticos de manera que si se varía su punto de saturación es posible obtener diferentes características que son:

- a) Tiempo definido
- b) Mínimo tiempo definido inverso
- c) Muy inverso
- d) Extremadamente inverso

Algunas de las situaciones que se presentan en la aplicación de relevadores de sobrecorriente se presentan a continuación:[1]

2.3.1 COORDINACIÓN POR AJUSTE DE CORRIENTE

El concepto más simple en la coordinación de relevadores es el gradiente de corriente de tal forma que los relevadores tienen diferente tiempo de disparo. Supongamos que se cuenta con un sistema elemental como el de la siguiente figura.

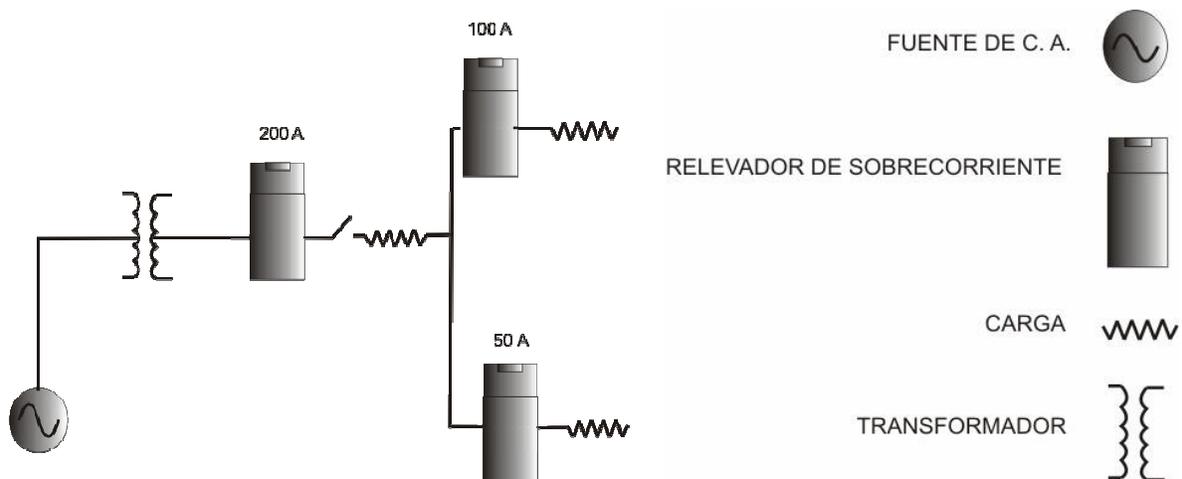


Figura 5. Red protegida por relevadores de sobrecorriente
Fuente: Fundamentos de protección de sistemas eléctricos por relevadores, Enriquez

En el sistema anterior los relevadores ajustados trabajan mejor cuando la impedancia de la fuente es mucho menor que la impedancia de la línea de transmisión, ya que entonces la corriente de falla para una terminal remota es considerablemente menor que para una falla en el extremo de la fuente.

Supongamos que ocurre una falla de 80 amperes en el lado de la carga, siguiendo el principio de ajuste de corriente solo el relevador de 50 amperes operaría ya que los relevadores ajustados para 100 y 200 amperes tienen el ajuste arriba del valor de la corriente de dicha falla, sin embargo este no es el caso general del ajuste de relevadores de sobrecorriente.

Ya que puede ocurrir en el lado de la carga una falla mayor que demande por ejemplo una corriente de 250 amperes; en este caso los tres relevadores operarían. Para comprender más a fondo el funcionamiento de este tipo de relevadores observemos las siguientes curvas características [1].

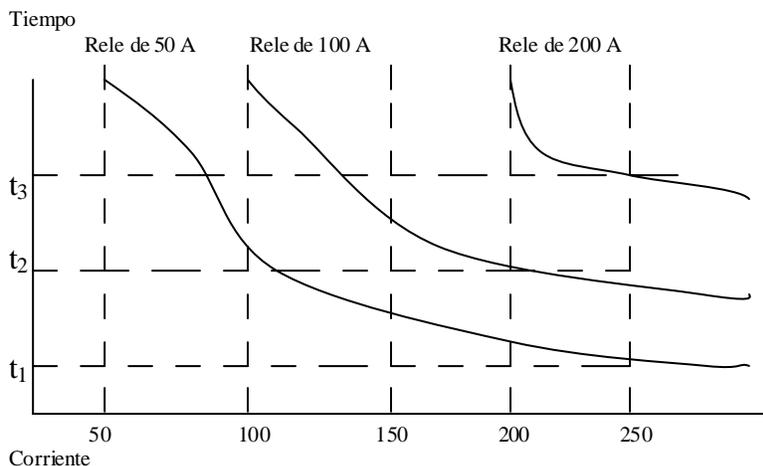


Figura 6. Curvas características de tiempo-corriente
Fuente: Fundamentos de protección de sistemas eléctricos por relevadores, Enriquez

Las curvas características mostradas en la figura anterior corresponden a relevadores que son del tipo que operan más rápido para valores grandes de corrientes de falla que para valores pequeños de corriente de falla. Lo anterior mejor conocido como relación inversa tiempo-corriente y es una característica típica de los relevadores de inducción; de los cuales hablaremos mas adelante.

Nótese en la figura que el tiempo t_1 del relevador que está ajustado a 50 amperes es menor que t_2 y t_3 por lo que interrumpirá la falla antes de que operen los relevadores ajustados a 100 y a 200 amperes. En caso de que por alguna razón no interrumpiera el relevador de 50 amperes, lo haría el de 100 amperes en un tiempo t_2 , y si esto no ocurriese, se activaría el de 200 amperes aun tiempo t_3 .

No todas las situaciones permitirán usar relevadores de ajuste inverso ya que por ejemplo cuando la impedancia de la fuente es grande con respecto a la impedancia de la línea de transmisión, este tipo de relevadores no funcionará [1].

2.3.2 COORDINACIÓN POR AJUSTE DE TIEMPO

Los relevadores que se mencionan a continuación se denominan definidos en lugar de los conocidos como inversos de sobrecorriente. Lo que significa que los relevadores definidos tienen un valor específico de disparo por corriente una vez que se ha alcanzado un determinado valor de corriente. El valor real del tiempo de operación es independiente de la corriente.

En la siguiente figura se ilustran y comparan las relativas relaciones tiempo-corriente de distintos relevadores de sobrecorrientes [1].

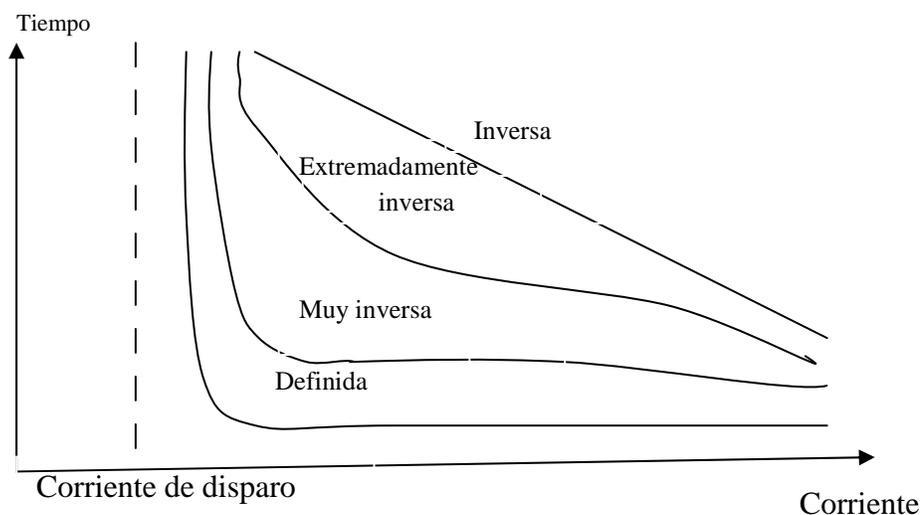


Figura 7. Curvas tiempo-corriente de los diferentes tipos de relevadores de sobrecorriente

Fuente: Fundamentos de protección de sistemas eléctricos por relevadores, Enriquez

2.4 TIPOS DE RELEVADORES DE SOBRECORRIENTE

2.4.1 RELEVADORES ELECTROMAGNÉTICOS INSTANTÁNEOS DE SOBRECORRIENTE

Un típico relevador de sobrecorriente obedece a un principio magnético de funcionamiento, tal y como se muestra en la figura 8. Este tipo de relevador puede ser utilizado en circuitos de corriente continua y en circuitos de corriente alterna.

Como se observa en la figura, los contactos fijos están normalmente cerrados cuando el relevador magnético de sobrecorriente está desexcitado. Con la corriente nominal o algo inferior, la presión del resorte es suficiente para impedir el movimiento de la armadura. Cuando la corriente excede una corriente en particular, por ejemplo el 125% de la corriente nominal.

Se crea la fuerza magnetomotriz suficiente para producir el movimiento de la armadura y la apertura de los contactos normalmente cerrados, con lo que se conecta el motor.

El funcionamiento instantáneo se utiliza generalmente en aquellas aplicaciones en las que el motor se utilice para conducir un tren de engranes mecánico, un transportador, en perforadoras ó en maquinarias en general en las cuales, las sobrecorrientes indiquen condiciones de trabajo que requieran la desconexión súbita del motor (5)

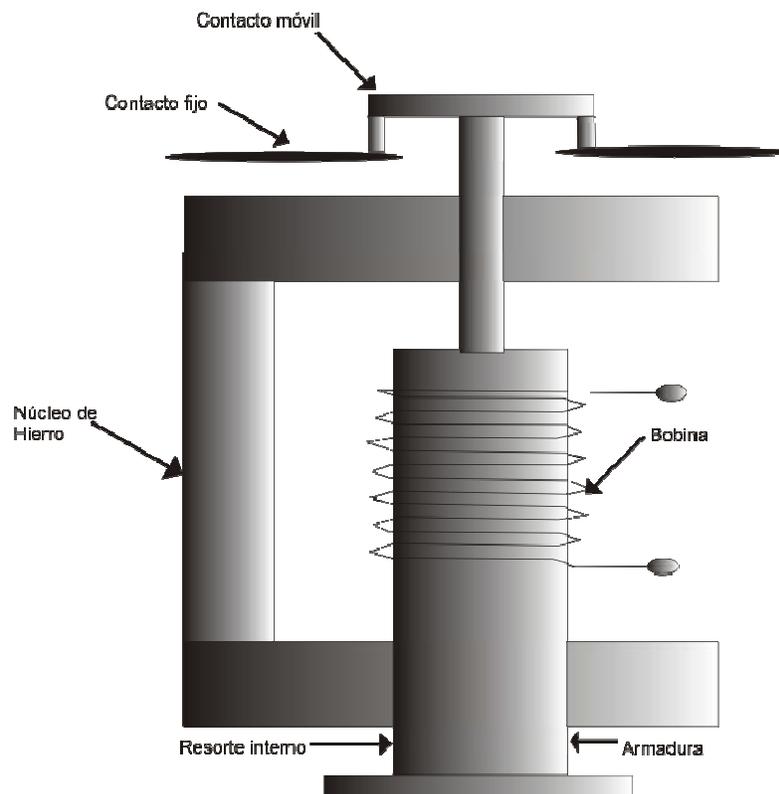


Figura 8. Relevador de sobrecorriente magnético de disparo instantáneo
Fuente: Protección de sistemas de potencia e interruptores, Ravindranath

Por lo general, para que el relevador opere sin ningún atraso intencional, se usa un relevador no polarizado del tipo de armadura atraída. Este, tiene la ventaja especial de reducir el tiempo de operación a un mínimo para fallas muy cercanas a la fuente, cuando la corriente de falla es muy grande y es efectivo solo cuando la impedancia entre el relevador y la fuente es pequeña en comparación de la impedancia de la zona a proteger.

Una de las consideraciones más importantes en las aplicaciones de los relevadores de sobrecorriente, es la velocidad de operación. Con los relevadores de armadura articulada pueden obtenerse tiempos de operación desde 0.010 segundos hasta 0.030 segundos, estos es a partir de que sobrepasa la corriente

mínima de operación del relevador. Dichos relevadores se emplean para la protección restringida por fallas de tierra y otras formas de protección de corriente circulante. Con una operación tan rápida es probable que el relevador pueda operar, por manifestaciones transitorias, más allá del intervalo normal de ajuste. Para que un esquema de protección como este sea eficiente, se requiere que la mínima corriente de falla exceda a la máxima corriente de carga (2).

2.4.2 RELEVADORES DE SOBRECORRIENTE DE ESTADO SÓLIDO

Las características de los relevadores de estado sólido son fijas. Lo que significa que antes de adquirir el SSR, se deben de considerar sus especificaciones eléctricas importantes como lo son; la señal de entrada en CA, la señal de entrada en CD, el pick up, la señal de control de entrada, el rango de corriente, el rango de voltaje y el valor máximo de switcheo.

A continuación se presenta un SSR de sobrecorriente que se encuentra actualmente en el mercado [12].



Figura 9. Relevador de estado sólido modelo SIL
Fuente: <http://www.schneider-electric.com//>

2.4.3 RELEVADORES DE SOBRECORRIENTE CON RETARDO

Los relevadores de sobrecorriente con retardo son muy parecidos a los relevadores de sobrecorriente instantáneos sólo que en los de retardo se implementan ciertos mecanismos para que dichos relevadores opongan resistencia al momento en el que el dispositivo es excitado.

En la figura 10, podemos ver el mismo modelo de relevador utilizado en el tipo instantáneo; con la adición de un amortiguador para retardar el movimiento de la armadura. El amortiguador contiene aceite ó algún otro líquido de especial viscosidad para producir el retardo necesario. Unido a la armadura, existe un pistón con varios agujeros por los cuales pasa dicho fluido.

El pistón asciende cuando la fuerza magnetomotriz de la bobina es la suficiente como para ejercer una tracción sobre la armadura. Para regular el tiempo de retardo del relevador, el tamaño de las aberturas de los agujeros se puede modificar sacando la cubeta y girando un disco obturador sobre el pistón.

Este dispositivo en particular produce una curva característica de retraso tiempo inverso. Cuando la corriente aumenta, la fuerza que hace subir el pistón es mayor y la armadura se levanta en más breve tiempo para abrir los contactos normalmente cerrados.

La ventaja de relevador electromagnético de acción retardada, difiere de la del tipo instantáneo en que las sobrecorrientes súbitas ó momentáneas son insuficientes para ocasionar la desconexión del motor. Sin embargo, si la sobrecarga continúa durante el periodo dado, el pistón se levanta lentamente, debido a la acción del líquido, para desplazar los contactos cerrados.

El tiempo de retardo se varía alterando la posición inicial del entrehierro de la armadura. Cuando ocurre un cortocircuito o una fuerte carga, el relevador actúa casi instantáneamente [2].

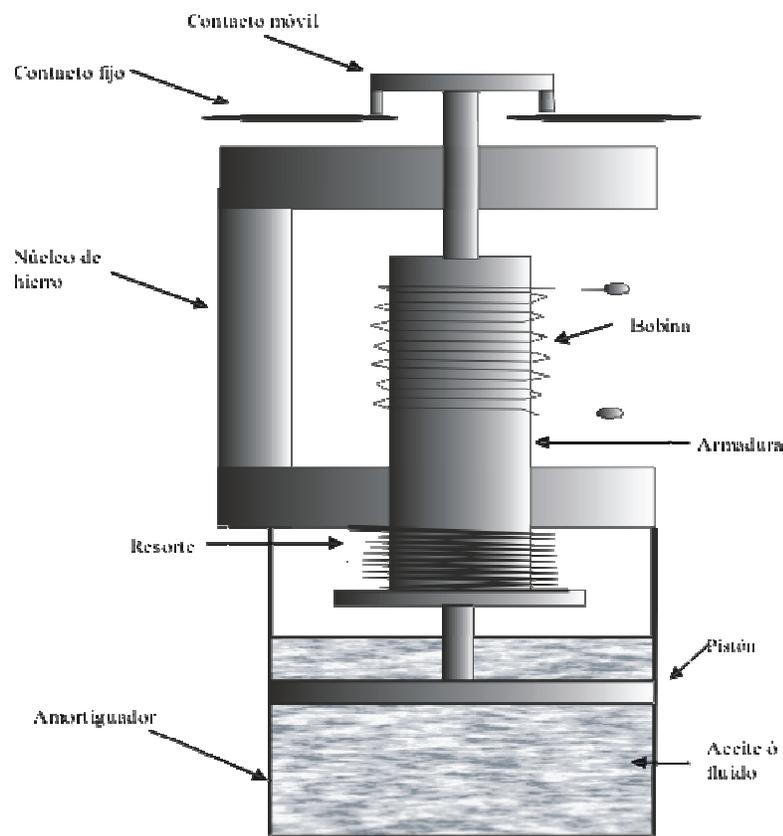


Figura 10. Relevador de sobrecorriente magnético con retardo
Fuente: Protección de sistemas de potencia e interruptores, Ravindranath

2.4.4 RELEVADORES DIRECCIONALES

El relevador direccional es un relevador que opera únicamente para un flujo de corriente en una dirección dada, de hecho, es un relevador de sobrecorriente que se hace direccional agregando una unidad direccional. Hasta que dicha unidad haya sido operada, el relevador comenzará su función. Regularmente la unidad direccional responde al producto de la magnitud del voltaje y de la corriente [3].

Por ejemplo si se intercambian dos fases de la línea de alimentación de un motor trifásico de inducción, éste invertirá la dirección de rotación. Esto se llama inversión de fase. En la operación de elevadores, de motores y en muchas aplicaciones industriales, esto podría dar por resultado un grave daño.

Si se funde un fusible o se rompe el alambre que conecta a un motor mientras esta funcionando, éste continuará su operación como monofásico, resultando un sobrecalentamiento serio. Cuando se desea proteger el motor contra estas condiciones se emplea un relevador para falla de fase ó inversión de fase, mejor conocido como relevador direccional[4]

La figura 11 muestra un relevador direccional sencillo, que utiliza una armadura de imán permanente. El circuito puede usarse bien como relevador normal cerrado o como normal abierto. Como se indica, cuando la corriente circula de I_1 a I_2 , el relevador abre los contactos A-B y cierra los A'-B'. Cuando la corriente circula de I_2 a I_1 , el electroimán cambia la polaridad indicada en la figura, y se cierran los

contactos A-B mientras que se abren los A'-B'. El relevador direccional (también conocido como relevador de inversión de corriente) se dispara cuando la tensión en la bobina produce una fuerza magnetomotriz suficiente para mover la armadura del imán permanente [5]. Por lo tanto, puede utilizarse como dispositivo de protección para:

- 1.- Evitar que el circuito sea alimentado con polaridad incorrecta
- 2.- Llevar a estado de reposo un generador si la corriente tiende a invertirse
- 3.- Desconectar una fuente de alimentación de batería si polaridad es incorrecta

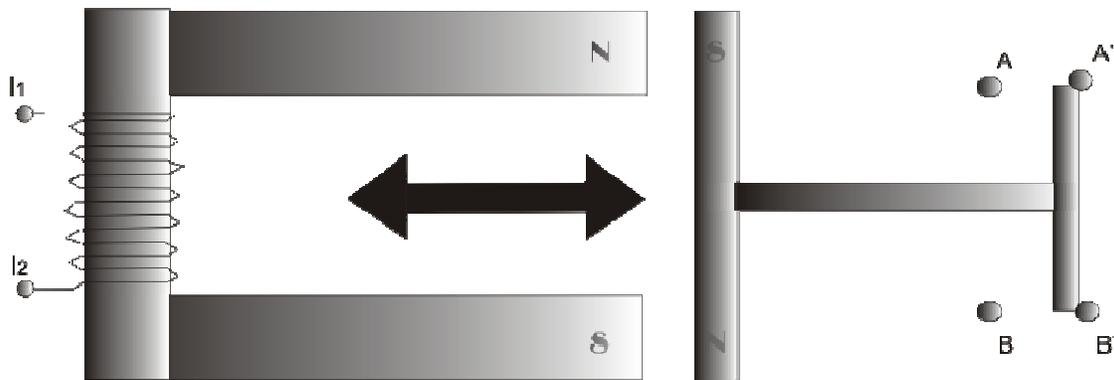


Figura 11. Relevador direccional
Fuente: Fundamentos de protección de sistemas eléctricos por relevadores, Enriquez

Los relevadores direccionales deben tener las siguientes características.

- a) Alta velocidad de operación
- b) Alta sensibilidad
- c) Capacidad para operar con valores de voltajes bajos
- d) No deben existir caídas de voltaje ó fugas de corriente [1]

Una aplicación de un relevador de inducción del tipo de disco, puede encontrarse en la **protección por inversión de fase**; como sabemos la dirección de la rotación del motor cambia cuando la secuencia de las fases cambia. En algunas aplicaciones de los motores, este tipo de protección puede convertirse en una característica esencial de la protección del motor. Un relevador polifásico de voltaje, de inducción y del tipo de disco, se emplea para proteger los motores contra el arranque con una fase abierta o con la secuencia de fases invertida. En la siguiente figura se ilustran las conexiones de uno de estos relevadores [2]

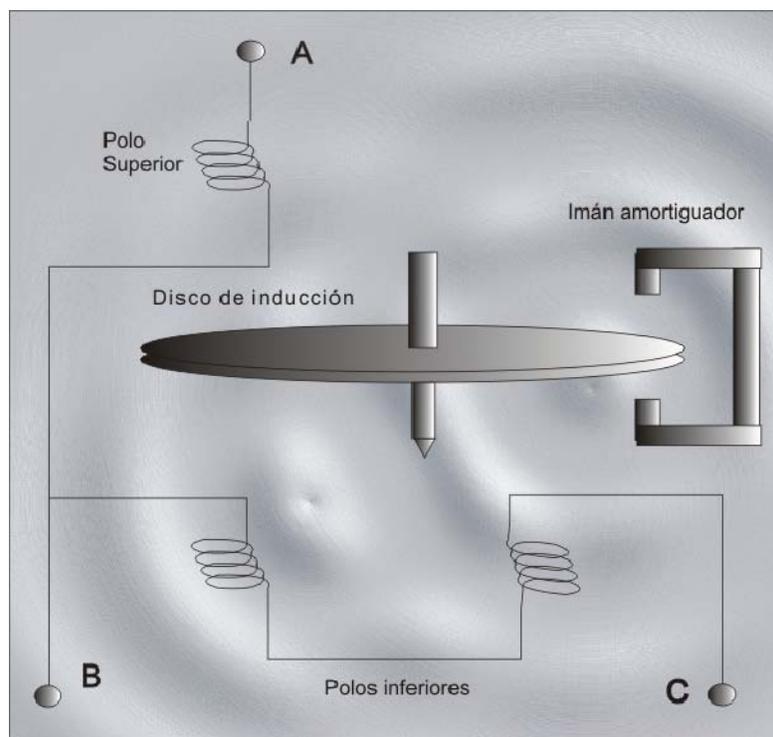


Figura 12. Relevador de fase abierta y de fase invertida
Fuente: Protección de sistemas de potencia e interruptores, Ravindranath

El relevador no cierra sus contactos y, por lo tanto, el motor no arranca si no están presentes todas las fases en la secuencia correcta.

2.5 CONCLUSIONES

Los dispositivos de protección principales que se utilizan en la generación de potencia eléctrica, así como en la distribución de alta tensión; son los relevadores. Los cuales como hemos visto a lo largo de este capítulo se diseñan para distintas aplicaciones y en distintos tipos.

El principio del funcionamiento de los relevadores consiste en que al ser energizado, opera para indicar o aislar las condiciones anormales de operación. Básicamente un relevador de protección, consiste de un elemento de operación y de un conjunto de contactos. El elemento de operación, toma la señal de dispositivos o de sensores en el sistema, tales como los transformadores de potencial o de corriente.

Por otro lado, como se mencionó a través de este capítulo; en la actualidad existen diferentes tipos de relevadores para distintas aplicaciones. La ventaja del prototipo del relevador que se diseñó en esta tesis es que puede duplicar la curva característica de cualquier relevador de sobrecorriente.

CAPÍTULO III
DESARROLLO DEL PROTOTIPO

3.1 INTRODUCCIÓN

Para construir el prototipo del relevador de sobrecorriente microprocesado, se tomaron en cuenta varios aspectos importantes sobre todo de protección para el buen funcionamiento del mismo. Así que se desarrolló un software que cumpliera con los aspectos de seguridad que un sistema de potencia eléctrica requiere. Y que además contara con un modo de operación simple; para que cualquier persona lo pudiera operar.

Por otro lado; debido a que el prototipo diseñado y construido en este proyecto de tesis, trabaja con cantidades grandes de voltaje y corriente. Fué necesario implementar una interfase análoga para convertir dichas cantidades. De tal modo que nos arrojaran un voltaje de 0 a 5 volts cc .

En resumen; a través de este capítulo veremos como se llevó a cabo el prototipo del relevador de sobrecorriente microprocesado. Empezaremos comprendiendo la lógica del programa que gobierna al microcontrolador y terminaremos analizando la interfase análoga que hizo posible que el microcontrolador pudiera trabajar con cantidades grandes tanto de voltaje como de corriente.

3.2 DESARROLLO DEL SOFTWARE

3.2.1 ESTRUCTURA GENERAL DEL PROGRAMA

La estructura del algoritmo al cual responde el programa. Se presenta en el siguiente diagrama de flujo.

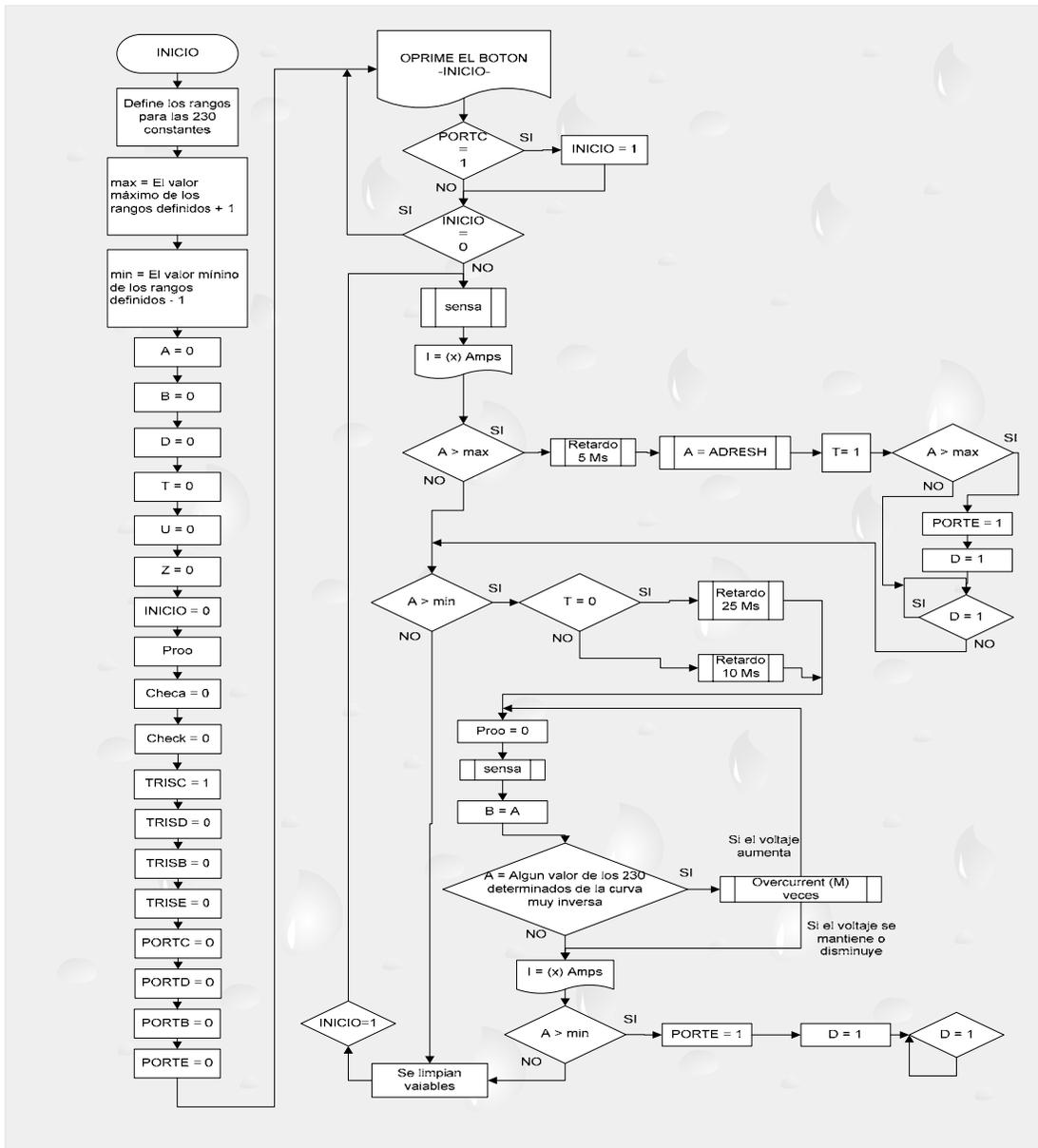


Figura 13. Diagrama de flujo del programa desarrollado e implementado
Fuente: Propia

El programa cuenta con una función llamada *Overcurrent*, que es la más importante del programa en cuanto a lógica de protección. El diagrama de flujo correspondiente a dicha función se presenta a continuación.

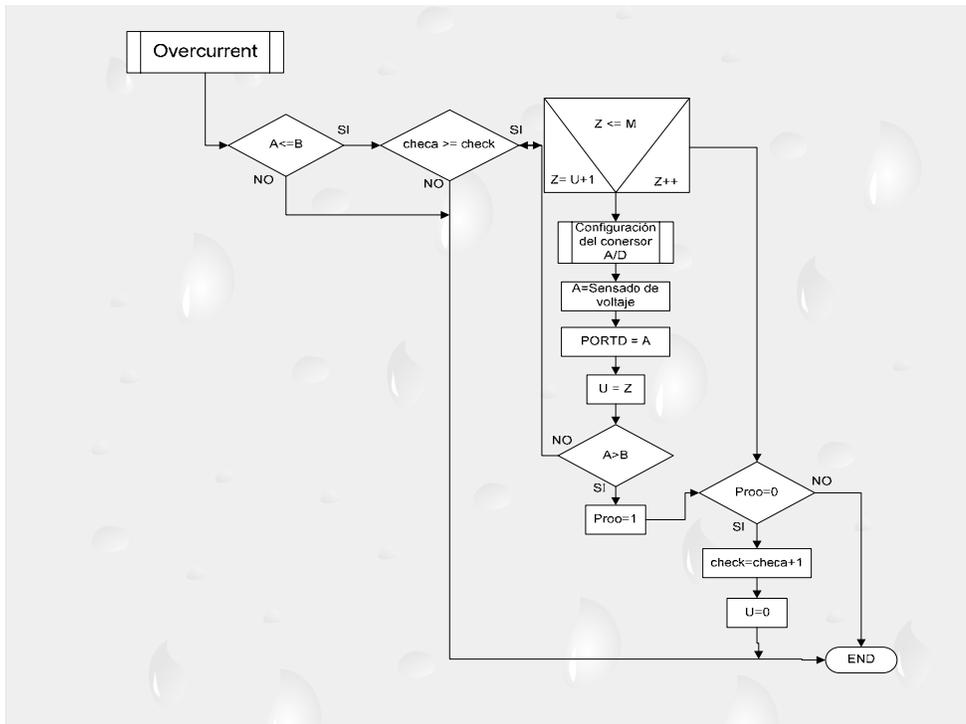


Figura 14. Diagrama de flujo correspondiente a la función Overcurrent
Fuente: Propia

3.2.2 LÓGICA DE CONTROL

Para la lógica de control se tomaron en cuenta principalmente dos aspectos fundamentales:

- Tiempo de adquisición de datos
- Lógica de protección

3.2.2.1 TIEMPO DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Para que un relevador funcione, es necesario que reciba cantidades actuantes (voltaje, corriente, impedancia).

Por lo tanto, en este caso tenemos que transformar la corriente para ser tratada por medio del PIC 16F877A. Aquí es donde sobresale la importancia del tiempo de adquisición de datos. Ya que el tiempo para la adquisición de datos no debe ser mayor que el tiempo mínimo de disparo del relevador. Es decir; que si con una corriente de 200 Amperes, el relevador debe de operar en 80 milisegundos. Sería absurdo que el sistema que protege a la red de potencia (en este caso el relevador de sobrecorriente), tardara en convertir dicha cantidad 1 segundo.

Tomando en cuenta lo anterior, tanto la lógica del programa como el diseño de la interfase análoga (de esta última hablaremos mas adelante), implementadas en el prototipo desarrollado; toman un máximo de 40 milisegundos para convertir cantidades de corriente alterna (C_{AC}) a cantidades de voltaje directo (V_{CC}).

3.2.2.2 LÓGICA DE PROTECCIÓN

El algoritmo del programa desarrollado, puede imitar el funcionamiento de cualquier relevador de sobrecorriente. El cual, como su nombre lo indica, actúa cuando un valor de corriente rebasa un rango predeterminado. No sin antes llevar a cabo un retardo, cuya dimensión depende del valor de corriente sensado.

Así que, en base a lo anterior y a lo mencionado en el capítulo II acerca de los relevadores. Se introdujeron al programa los datos correspondientes a una curva característica de sobrecorriente, que pertenece al tipo **Muy inversa**. Dicha curva está compuesta por dos variables; tiempo y corriente, así que para cada valor de corriente se introdujo un valor de tiempo antes que el disparo del relevador se lleve a cabo.

De este modo si la corriente sensada rebasa el valor mínimo predeterminado, se busca dentro de la curva seleccionada el valor correspondiente al sensado y se lleva a cabo el retardo predefinido para dicho valor de corriente. Si la corriente disminuye después de que se halla llevado a cabo el retardo, no se lleva a cabo el disparo. Cumpliendo así los requisitos de funcionamiento de un relevador de sobrecorriente.

3.2.3 INTRODUCCIÓN DE DATOS

Los valores predeterminados introducidos al programa; provienen de la siguiente curva. Contando esta con 231 valores de corriente y sus correspondientes 231 valores de tiempo (retardo).

La curva característica del tipo muy inversa que determina la operación del prototipo del relevador de sobre corriente desarrollado en este proyecto; se presenta a continuación:

3.2.3.1 CURVA CARACTERÍSTICA DEL TIPO MUY INVERSA

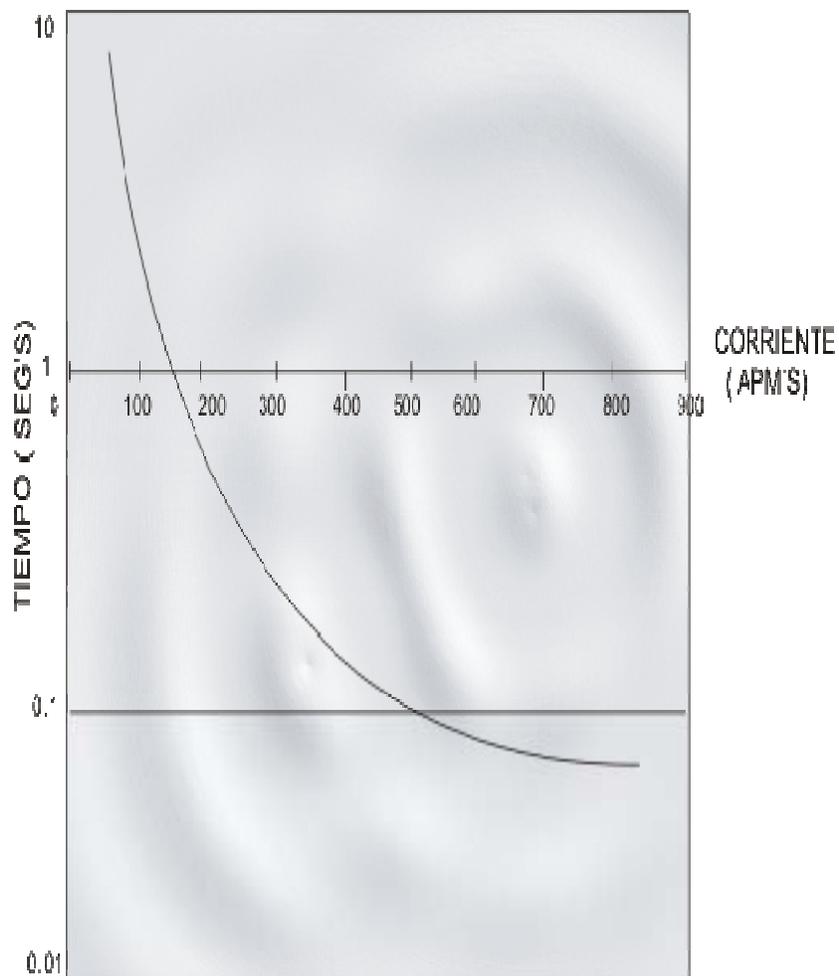


Figura 15. Curva característica del tipo muy inversa [17].

Fuente: Protección de instalaciones eléctricas industriales y comerciales, Enríquez

3.2.3.2 VALORES DE TIEMPO/ CORRIENTE CORRESPONDIENTES A LA CURVA CARACTERÍSTICA

Los siguientes son los valores que componen a la curva característica tiempo/corriente del tipo **muy inversa** de la figura 15.

CORRIENTE (AMP.s)	TIEMPO (SEG.s)	CORRIENTE (AMP.s)	TIEMPO (SEG.s)	CORRIENTE (AMP.s)	TIEMPO (SEG.s)
830,078	0,08	706,388	0,086	579,443	0,1
826,823	0,08	703,133	0,087	576,188	0,101
823,568	0,08	699,878	0,087	572,933	0,101
820,313	0,08	696,623	0,087	569,678	0,101
817,058	0,08	693,368	0,088	566,423	0,102
813,803	0,08	690,113	0,088	563,168	0,103
810,548	0,08	686,858	0,088	559,913	0,104
807,293	0,08	683,603	0,088	556,658	0,105
804,038	0,08	680,348	0,089	553,403	0,105
800,783	0,08	677,093	0,089	550,148	0,106
797,528	0,08	673,838	0,089	546,893	0,107
794,273	0,08	670,583	0,089	543,638	0,108
791,018	0,08	667,328	0,089	540,383	0,108
787,763	0,08	664,073	0,09	537,128	0,109
784,508	0,08	660,818	0,09	533,873	0,109
781,253	0,08	657,563	0,09	530,618	0,11
777,998	0,08	654,308	0,09	527,363	0,11
774,743	0,08	651,053	0,09	524,108	0,111
771,488	0,08	647,798	0,09	520,853	0,111
768,233	0,08	644,543	0,09	517,598	0,112
764,978	0,08	641,288	0,091	514,343	0,113
761,723	0,081	638,033	0,091	511,088	0,113
758,468	0,081	634,778	0,092	507,833	0,114
755,213	0,081	631,523	0,092	504,578	0,115
751,958	0,081	628,268	0,093	501,323	0,116
748,703	0,082	625,013	0,093	498,068	0,117
745,448	0,082	621,758	0,093	494,813	0,118
742,193	0,082	618,503	0,094	491,558	0,119
738,938	0,083	615,248	0,095	488,303	0,119
735,683	0,083	611,993	0,096	485,048	0,12
732,428	0,084	608,738	0,096	481,793	0,121
729,173	0,084	605,483	0,097	478,538	0,122
725,918	0,084	602,228	0,097	475,283	0,123
722,663	0,084	598,973	0,098	472,028	0,124
719,408	0,084	595,718	0,098	468,773	0,125
716,153	0,085	592,463	0,099	465,518	0,128
712,898	0,085	589,208	0,099	462,263	0,128
709,643	0,086	585,953	0,099	459,008	0,129
		582,698	0,1		

Tabla 1. Primeros 115 valores contenidos en la curva *muy inversa*
Fuente: Propia

CORRIENTE (AMP.s)	TIEMPO (SEG.s)	CORRIENTE (AMP.s)	TIEMPO (SEG.s)	CORRIENTE (AMP.s)	TIEMPO (SEG.s)
455,753	0,13	328,808	0,218	205,118	0,74
452,498	0,131	325,553	0,219	201,863	0,79
449,243	0,132	322,298	0,22	198,608	0,82
445,988	0,133	319,043	0,225	195,353	0,855
442,733	0,134	315,788	0,231	192,098	0,87
439,478	0,135	312,533	0,239	188,843	0,89
436,223	0,136	309,278	0,25	185,588	0,925
432,968	0,138	306,023	0,26	182,333	0,94
429,713	0,141	302,768	0,27	179,078	0,96
426,458	0,144	299,513	0,28	175,823	0,99
423,203	0,146	296,258	0,29	172,568	1
419,948	0,148	293,003	0,3	169,313	1,015
416,693	0,15	289,748	0,325	166,058	1,04
413,438	0,151	286,493	0,33	162,803	1,14
410,183	0,153	283,238	0,34	159,548	1,29
406,928	0,156	279,983	0,345	156,293	1,315
403,673	0,16	276,728	0,35	153,038	1,44
400,418	0,162	273,473	0,356	149,783	1,54
397,163	0,163	270,218	0,36	146,528	1,59
393,908	0,165	266,963	0,365	143,273	1,7
390,653	0,168	263,708	0,375	140,018	2,05
387,398	0,17	260,453	0,38	136,763	2,2
384,143	0,172	257,198	0,39	133,508	2,45
380,888	0,177	253,943	0,4	130,253	2,7
377,633	0,178	250,688	0,41	126,998	3
374,378	0,18	247,433	0,415	123,743	3,2
371,123	0,182	244,178	0,42	120,488	3,5
367,868	0,187	240,923	0,43	117,233	3,7
364,613	0,19	237,668	0,44	113,978	4
361,358	0,194	234,413	0,46	110,723	4,4
358,103	0,2	231,158	0,49	107,468	5
354,848	0,202	227,903	0,54	104,213	5,5
351,593	0,206	224,648	0,56	100,958	6,2
348,338	0,207	221,393	0,579	97,703	7
345,083	0,208	218,138	0,59	94,448	8
341,828	0,209	214,883	0,62	91,193	8,15
338,573	0,211	211,628	0,64	87,938	8,5
335,318	0,214	208,373	0,7	84,683	8,8
332,063	0,216			81,428	9,1

Tabla 2. Últimos 116 valores contenidos en la curva *muy inversa*

Fuente: Propia

Los valores se obtuvieron del polinomio de orden 8 $y=a+bx+cx^2+dx^3...$ obtenido por medio del método de regresión polinomial, introduciendo 20 muestras. Los valores correspondientes a los coeficientes son:

a	51.412185
b	-0.98205865
c	0.0080762225
d	-3.6781853 E-5
e	1.0110648 E -7
f	-1.7182929 E -10
g	1.7664555 E -13
h	-1.0067432 E -16
i	2.441401 E -20

Tabla 3. Coeficientes del polinomio de orden 8, al que responde la curva implementada
Fuente: Propia

El error estándar de aproximación es de 0.0625511 y el coeficiente de correlación en la regresión polinomial es de 0.9997588.

3.3 DESARROLLO DE LA INTERFASE ANÁLOGA

A continuación describiremos las partes que componen la interfase análoga desarrollada para la transformación de C_{AC} a V_{CC} . Cabe señalar que la interfase desarrollada e implementada en este proyecto de tesis trabaja en un rango de 0 a 830 $ampers_{AC}$ a 60 hertz (teniendo el valor de 830 amperes como máximo valor a sensor). Obteniendo así en la salida de la interfase valores que van de 0 a los 5 volts $_{CC}$. Empezaremos dando una descripción acerca de los transformadores de instrumento. Ya que el TC (transformador de corriente) es fundamental para que este prototipo funcione.

3.3.1 TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTO

Bajo el nombre de *transformadores de instrumento* se hace una designación general para clasificar transformadores de corriente y transformadores de potencial, que son dispositivos para transformar con precisión la corriente o voltaje de una magnitud a otra generalmente menor, debido principalmente a las siguientes razones;

1. Para reducir en forma precisa, a través de la transformación, la magnitud de la corriente primaria o del voltaje del circuito a valores que sean más fáciles de manipular por razones de seguridad del personal.
2. Para aislar el equipo secundario (instrumentos de medición y/o protección) de los voltajes primarios que son peligrosos [3].
3. Para dar a los usuarios mayor flexibilidad en la utilización del equipo, en aplicaciones tales como; medición y protección.

3.3.1.1 ESPECIFICACIONES DE LOS TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTO

Para las aplicaciones de protección y medición, se deben especificar algunas cantidades básicas en los transformadores de instrumento, como son:

- Relación de transformación
- Precisión
- Burden

Los transformadores de instrumento se dividen en dos tipos.

- a) **Transformadores de potencial:** Los cuales se usan para transformar o cambiar el voltaje
- b) **Transformadores de corriente:** Los que se usan para transformar o cambiar la corriente

3.3.1.2 RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN

La relación de transformación se expresa como el cociente de la cantidad actuante primara a la cantidad secundaria. La siguiente es la fórmula para los transformadores de potencial [3].

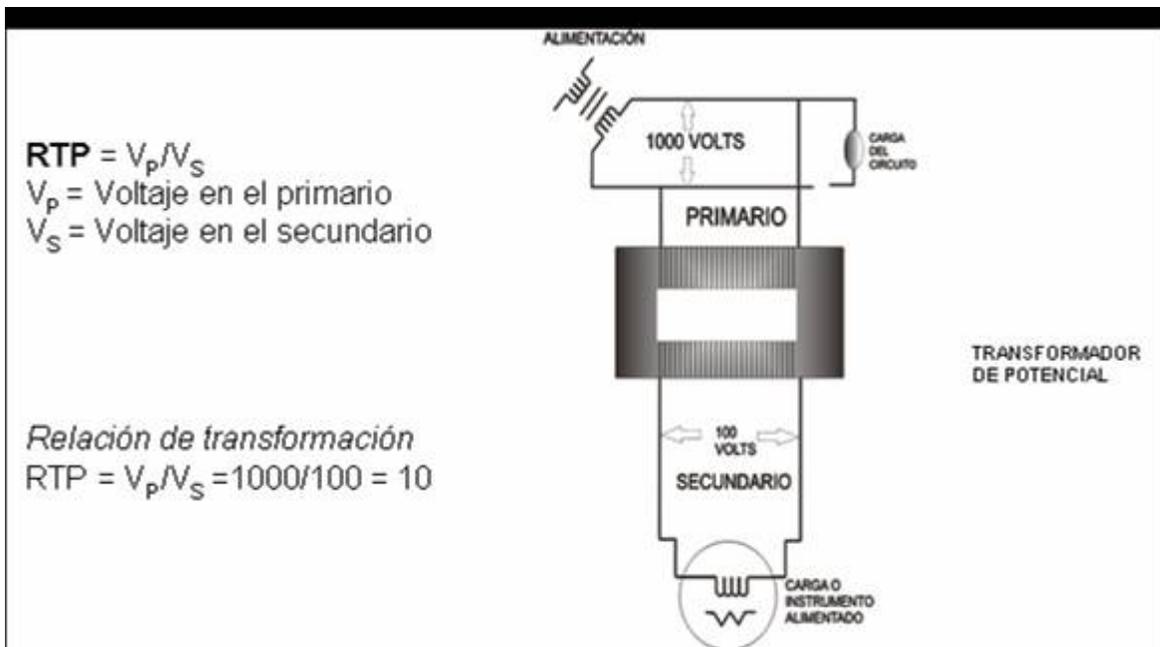


Figura 16. Circuito de conexión del transformador de voltaje
Fuente: Elementos de diseño de subestaciones eléctricas, Enriquez

La siguiente es la formula para los transformadores de corriente [3].

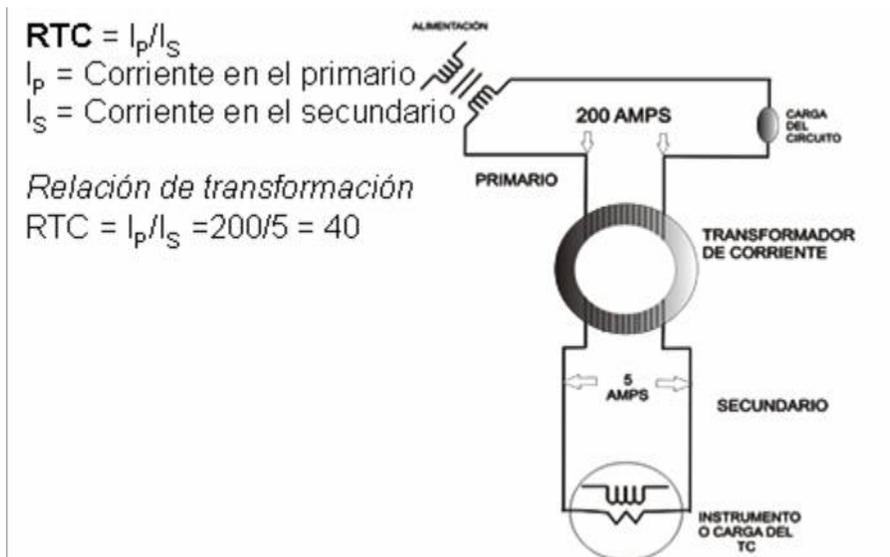


Figura 17. Circuito de conexión del transformador de corriente
Fuente: Elementos de diseño de subestaciones eléctricas, Enriquez

3.3.1.3 PRECISIÓN

Para que un transformador de instrumento sea una parte útil de la medición en un sistema, éste debe cambiar la magnitud del voltaje o de la corriente que se va a medir, sin introducir ningún error desconocido de la medición al sistema. Por lo tanto la precisión de su magnitud debe de estar en el cálculo de la medición global, o bien, los errores deben estar dentro de los límites de un valor pequeño previamente especificado, de manera que puedan ser despreciables.

La precisión obtenida con un transformador de instrumento depende de su diseño, las condiciones del circuito y su carga o burden impuesta o conectada en el secundario.

Para aplicaciones de protección, los datos de la relación de transformación se pueden determinar en forma experimental, o bien, calculados, debido a que se acepta un amplio rango de valores. La determinación del ángulo de fase es innecesaria para la mayoría de las aplicaciones en protección por relevadores [3].

3.3.1.4 CARGA O BURDEN

La carga o burden en el secundario para un transformador de instrumento es aquella que está propiamente conectada al devanado secundario y que determina las potencias activa y reactiva en las terminales del secundario.

El burden se puede expresar en forma de la impedancia total de la carga expresado en ohms con la resistencia efectiva y las componentes reactivas, o bien, como los volts-ampers totales (VA) y como el factor de potencia a un valor de corriente o de voltaje y una frecuencia especificados [3].

El burden sobre el circuito secundario de un transformador de instrumento afecta la precisión del dispositivo. De acuerdo con esto, las cargas o burdens de los conductores de los instrumentos de medición y de otros instrumentos en el secundario se deben conocer [3].

3.3.2 TC NECESARIO PARA ESTE PROYECTO

Para el buen funcionamiento de nuestro prototipo de relevador en este proyecto. Es necesario contar con un transformador de corriente que tenga una relación de transformación de 1000.

De este modo; introduciendo una corriente 0 a 830 amperes AC en el primario del TC y conectando una resistencia de 6 ohms en paralelo con el secundario del TC, obtendremos en los extremos de la resistencia un valor de 0 a 4.8 V_{AC} aproximadamente.

3.4 CIRCUITO SENSOR DE CORRIENTE

El circuito sensor de corriente es el encargado de proporcionar a la entrada del microcontrolador la componente de corriente directa. Dicho circuito está compuesto por un circuito recortador de señal, un circuito seguidor de voltaje, un circuito rectificador de onda completa y un filtro pasabajos.

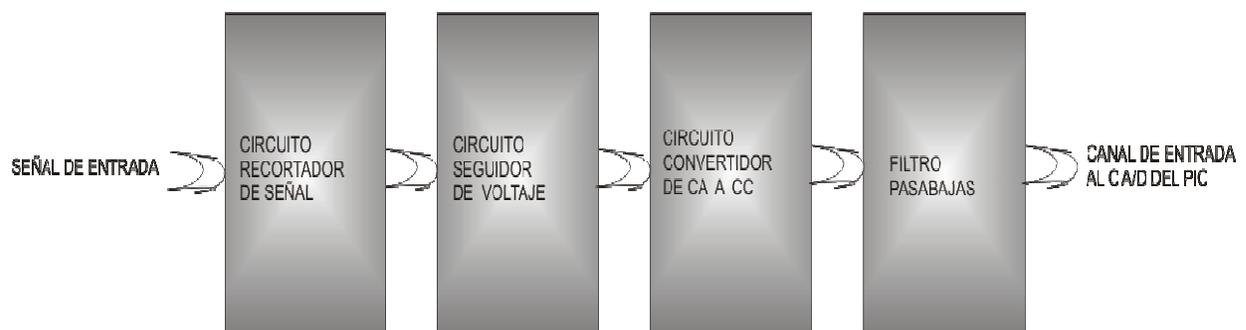


Figura 18. Diagrama a bloques del circuito sensor de corriente
Fuente: Propia

3.4.1 CIRCUITO RECORTADOR DE SEÑAL

El circuito recortador de señal básicamente es un circuito de protección, ya que protege al microcontrolador de la aplicación accidental de voltajes superiores a 5 volts pico en ambos semiciclos de la señal senoidal de entrada. Este circuito consta de dos diodos zener conectados como se muestra en la siguiente figura [10].

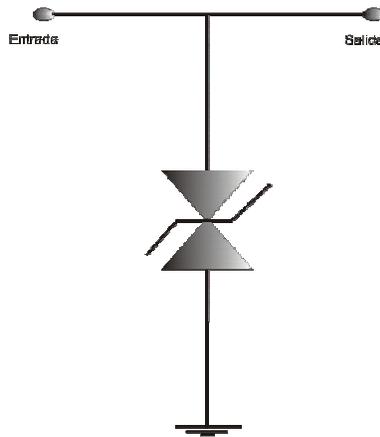


Figura 19. Circuito recortador de señal

Fuente: Desarrollo y construcción de un sistema de medición de resistencia superficial en aislamientos externos, Ruedas

3.4.2 CIRCUITO SEGUIDOR DE VOLTAJE

El circuito seguidor de voltaje se utiliza para reforzar la señal obtenida a la salida de la resistencia, antes de aplicarla al resto de los circuitos integrados. Este circuito está construido a partir de un amplificador operacional como se observa en la siguiente figura. Las dos entradas del operacional están virtualmente conectadas al mismo punto por lo que el voltaje de salida es igual al voltaje de entrada, en otras palabras la salida sigue a la entrada. Las particularidades de este circuito son que posee ganancia unitaria, muy alta impedancia de entrada y muy baja impedancia de salida [11].

El objetivo de la implementación de este circuito es la obtención de la misma cantidad de voltaje que se tiene a la entrada pero, con una mayor capacidad de corriente. Esto para evitar atenuaciones en la señal principal y con ello posibles errores en las mediciones realizadas [15].

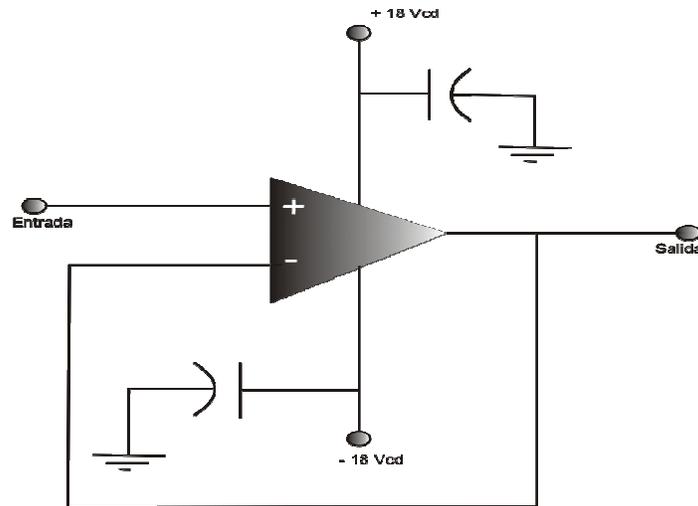


Figura 20. Circuito seguidor de voltaje
Fuente: Circuitos integrados lineales y amplificadores operaciones, Opre

3.4.3 CIRCUITO CONVERTIDOR DE CA-CC

La rectificación de la señal de corriente obtenida por el TC, se realiza mediante el uso de un circuito rectificador de onda completa de tipo activo. Se resalta el hecho de que el rectificador empleado es de tipo activo, ya que este tipo de circuito rectificador es el más apropiado cuando se requieren rectificar señales de V_{AC} del orden de milivolts. Los diodos normalmente utilizados en circuitos rectificadores, requieren un voltaje de polarización mismo que depende del material con el cual estén fabricados, por ejemplo: Los diodos de silicio requieren un voltaje de polarización de $0.7 V_{CD}$ y los diodos de germanio tienen un voltaje de polarización de $0.3 V_{CD}$ [11]. Si la rectificación de la señal se realizara con un puente

rectificador, aunque se utilizarán diodos de germanio, se tendría una pérdida de $0.6V_{CD}$ de la señal sensada, lo cual en este caso sería una gran desventaja, ya que se trabaja con señales del orden de los milivolts.

Un circuito rectificador de onda completa, también se conoce con el nombre de circuito de valor absoluto y puesto que un valor promedio también se denomina valor medio, el convertidor ca-cc también se conoce como circuito de *valor medio absoluto* (MAV).

Este circuito transmite una polaridad de la señal de entrada e invierte la otra. Por tanto, ambos medios ciclos de un voltaje alterno se transmiten pero están convertidos en una polaridad única en la salida del circuito. Es por eso que este circuito convertidor de ca-cc puede convertir voltajes de entrada con amplitudes de milivolts [15].

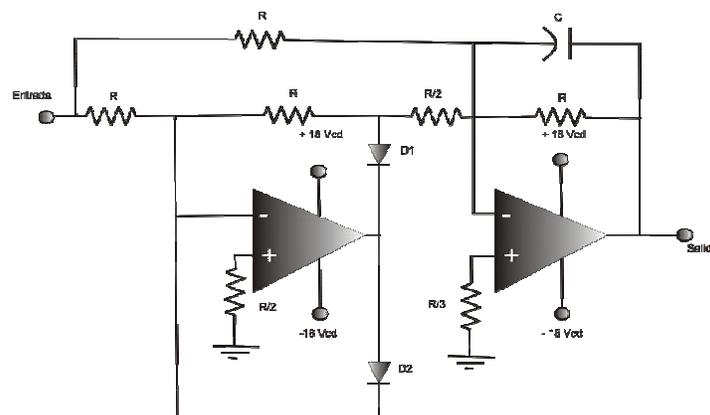


Figura 21. Circuito convertidor de ca a cc

Fuente: Circuitos integrados lineales y amplificadores operaciones, Opre

3.4.4 FILTRO PASABAJAS

El filtro pasabajos filtra la señal rectificada a la salida del circuito rectificador de onda completa, a fin de obtener el nivel de corriente directa estable de la señal de corriente de fuga. El filtro pasabajos usado, es un filtro tipo butterworth de dos

polos tal como el mostrado en la siguiente figura. La frecuencia de corte y la ganancia de voltaje de lazo cerrado para este circuito están dadas por las siguientes ecuaciones respectivamente [20]

Frecuencia de corte en lazo cerrado	Ganancia de voltaje de lazo cerrado
$F_2(LC) = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_2C_2}}$	$A_{LC} = \frac{R_1+1}{R_2}$

Como resultado, el filtro proporciona la máxima respuesta plana cuando es operado con una ganancia de voltaje de lazo cerrado A_{LC} igual a 1.586. Para ganancias menores que 1.586, la respuesta del filtro se aproxima a un desplazamiento de fase lineal con la frecuencia (respuesta Bessel); para ganancias mayores que 1.586, se obtienen rizados en la respuesta media (respuesta Chebyshev). El filtro pasabajas implementado cuenta con una ganancia de 1.586 para obtener la máxima respuesta plana y para una frecuencia de corte de 2Hz. Un filtro como este tiene la ventaja de usar componentes de igual valor [20].

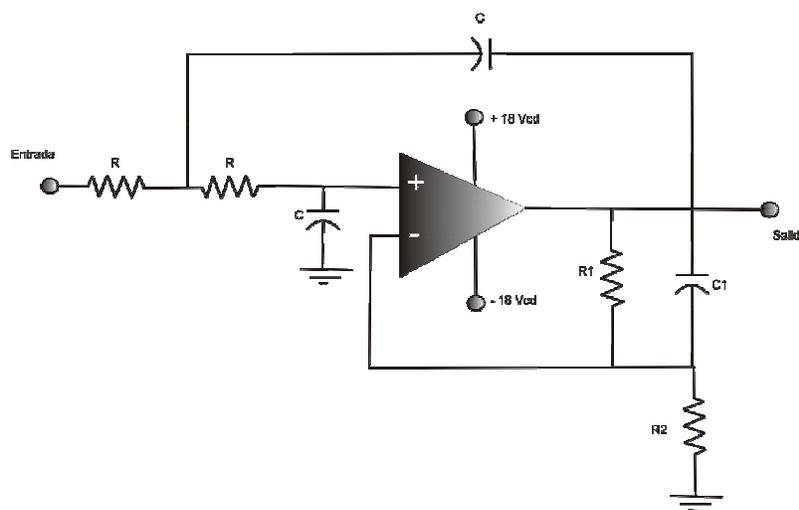


Figura 22. Filtro pasabajas
Fuente: Principios de electrónica, Malvino

3.5 VISUALIZACIÓN DE PARAMETROS

Para facilitar el uso del relevador así como la interpretación de los valores de corriente sensados, el prototipo desarrollado cuenta con un módulo LCD. El cual muestra una leyenda que invita al operador a oprimir el botón de inicio. Mientras el botón de inicio no sea presionado, el relevador no funciona.

Una vez que el botón de inicio es presionado el relevador comienza a operar y esto se aprecia por medio del módulo LCD. Ya que cuando el relevador esta operando, la pantalla muestra la cantidad de corriente que esta siendo sensada en ese momento.

La siguiente figura muestra las dos leyendas implementadas en el módulo LCD de nuestro prototipo.

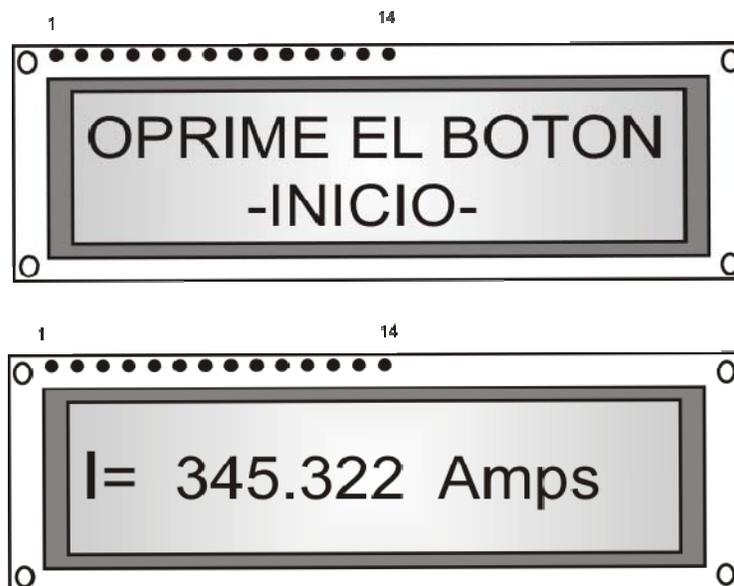


Figura 23. Leyendas mostradas por el LCD implementado en el prototipo
Fuente: Propia

3.7 CONCLUSIONES

Después de introducir señales de corriente alterna con valores de 0 a 830 miliampers a la interfase análoga. Se obtienen señales de voltaje directo óptimas para que el convertidor A/D del microcontrolador las transforme y de esta forma trabajar con valores discretos. Los cuales pueden ser manipulados por el software desarrollado.

Por otro lado el software desarrollado responde a los requerimientos de seguridad y protección con los que un relevador de sobrecorriente cuenta. Mejorándolos; debido a que la confiabilidad, la selectividad, la rapidez de operación y la discriminación se tomaron muy en cuenta al momento del diseño del software; obteniendo de este modo un sistema de seguridad confiable en su uso como relevador de sobrecorriente.

CAPÍTULO IV
CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

4.1 CONCLUSIONES GENERALES

Después de diversas pruebas se concluye que el programa desarrollado en el compilador PICCLite e implementado en el microcontrolador PIC16F877A satisface las condiciones de operación que caracterizan a un relevador de sobrecorriente. Llevando a cabo el disparo sólo en los casos en que la corriente lo amerita.

Así mismo el comportamiento del circuito sensor de corriente es el esperado. Ya que al probarlo con diferentes valores de corriente, el voltaje obtenido a la salida de nuestro circuito sensor de corriente, es lo suficientemente estable como para que el Convertidor Análogo Digital del PIC pueda trabajar con él.

En lo correspondiente al sistema de visualización de parámetros, se implementó satisfactoriamente un módulo LCD; este dispositivo le facilita al usuario la operación del relevador y también le muestra la cantidad de corriente actual con la que el sistema protegido opera.

Cabe mencionar que las pruebas fueron realizadas introduciendo señales de miliampers solamente. Ya que fue imposible obtener el TC necesario para convertir altas corrientes en miliampers.

4.2 PERSPECTIVAS

- Diseñar y desarrollar el circuito de amplificación de la señal de disparo.
- Mejorar el funcionamiento del prototipo desarrollado, utilizando un microcontrolador con mayor resolución para el uso de datos de tipo punto flotante, para una generación óptima de la curva.
- Diseñar un software que ofrezca una interfase gráfica para la programación de microcontroladores.

APÉNDICE A
MICROCONTROLADOR 16F877A

ARQUITECTURA DEL MICROCONTROLADOR 16F877A

Podemos decir que un microcontrolador cuenta con todos los componentes de una computadora. La diferencia es que el microcontrolador cuenta con ciertas características fijas que no pueden alterarse.

En este proyecto de tesis utilizamos el pic 16F877A; por lo cual en el presente capítulo nos enfocaremos a describir de manera muy práctica los aspectos principales de dicho microcontrolador.

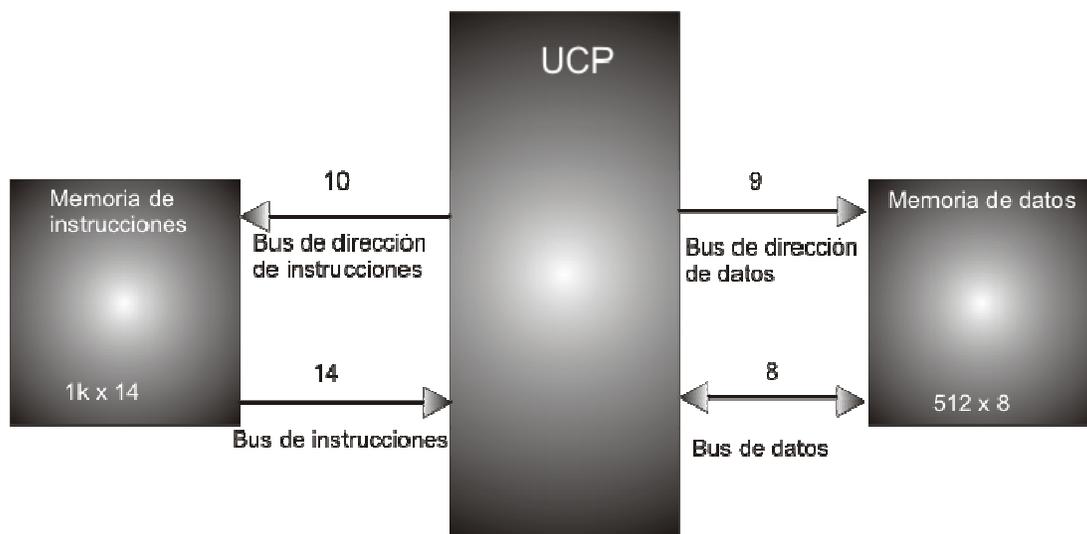
Cabe señalar que en este proyecto de tesis la programación del pic 16F877A se llevó a cabo por medio de un Compilador de C, (del cual más adelante hablaremos a detalle) gracias al uso de dicho compilador nos ahorramos todas las llamadas y subrutinas que conlleva un programa en ensamblador. Por lo tanto en este capítulo sólo se da una breve descripción del microcontrolador sin entrar más a detalle en cuanto a sus características con respecto al lenguaje ensamblador. Sin embargo abordaremos a detalle la descripción de los registros más importantes que gobiernan el funcionamiento de los recursos del pic así como de las instrucciones a las que responde.

EL PROCESADOR

La necesidad de conseguir elevados rendimientos en el procesamiento de las instrucciones ha desembocado en el empleo generalizado de procesadores de arquitectura Harvard frente a los tradicionales que seguían la arquitectura de Von Neuman; los cuales se caracterizaban por que la UCP (Unidad Central de

Proceso), se conectaba con una memoria única, donde coexistían datos e instrucciones mediante un sistema de buses.

En cambio en la estructura Harvard son independientes la memoria de instrucciones y la memoria de datos y cada una dispone de su propio sistema de buses para el acceso. Esta dualidad, además de propiciar el paralelismo, permite la adecuación del tamaño de las palabras y los buses a los requerimientos específicos de las instrucciones y de los datos. También la capacidad de cada memoria es diferente [6].



Arquitectura Harvard

El procesador con el que cuenta el microcontrolador 16F877A responde a la arquitectura RISC (Computadores de Juego de Instrucciones Reducido), los cuales poseen un repertorio de instrucciones máquina pequeño y simple, de forma que la mayor parte de las instrucciones se ejecutan en un ciclo de instrucción, más adelante profundizaremos más en las características de la arquitectura RISC.

ORGANIZACIÓN DE LA MEMORIA DE INSTRUCCIONES FLASH

El microcontrolador está diseñado para que en su memoria de programa ó memoria de instrucciones se almacenen todas las instrucciones del programa de control. No hay posibilidad de utilizar memorias externas de ampliación.

Como el programa a ejecutar siempre es el mismo, debe estar grabado de forma permanente. La memoria FLASH, en la que se graba el programa de aplicación en los PIC 16F877A, puede tener una capacidad de 4K u 8K palabras de 14 bits cada una. Dicha memoria está dividida en páginas de 2K palabras y está direccionada con el PC, que tiene un tamaño de 13 bits. La Pila, que tiene 8 niveles de profundidad, es transparente para el usuario, es decir, funciona automáticamente y no dispone de instrucciones para guardar o sacar de ella información. Con la instrucción CALL y con las interrupciones, el valor del PC se salva en el nivel superior. Con las instrucciones RETURN, RETFIE y RETLW el valor contenido en el nivel superior de la Pila se carga en el PC. Al poseer la Pila sólo 8 niveles le corresponde al programador preocuparse por los anidamientos en las subrutinas para no sobrepasar dicho valor. El vector de Reset ocupa la dirección 0000h y el vector de interrupción la 0004h [6].

Dirección	
0000h	Vector de Reset
...	...
0004h	Vector de interrupción
0005h	...
07FFh	Página 0
0800h	...
0FFFh	Página 1
1000h	...
17FFh	Página 2
1800h	...
1FFFh	Página 3

Organización de la memoria de programa tipo FLASH en el PIC16F877A

ORGANIZACIÓN DE LA MEMORIA DE DATOS RAM

La memoria de datos tiene posiciones implementadas en RAM y otras en EEPROM. En la sección RAM, se alojan los registros operativos fundamentales en el funcionamiento del procesador y en el manejo de todos sus periféricos, además de registros que el programador puede usar para información de trabajo propia de la aplicación. Más adelante, se estudiará la memoria EEPROM para guardar datos de forma no volátil, a la que se considera como un dispositivo especial [6].

Dirección indirecta 00h		Dirección indirecta 80h		Dirección indirecta 100h		Dirección indirecta 100h	
TMRO	01h	OPTIONAL_REG	81h	TMRO	101h	OPTIONAL_REG	181h
PCL	02h	PCL	82h	PCL	102h	PCL	182h
STATUS	03h	STATUS	83h	STATUS	103h	STATUS	183h
FSR	04h	FSR	84h	FSR	104h	FSR	184h
PORT A	05h	TRIS A	85h		105h		185h
PORT B	06h	TRIS B	86h	PORT B	106h	TRIS B	186h
PORT C	07h	TRIS C	87h		107h		187h
PORT D	08h	TRIS D	88h		108h		188h
PORTE	09h	TRIS E	89h		109h		189h
PCLATH	0Ah	PCLATH	8Ah	PCLATH	10Ah	PCLATH	18Ah
INTCON	0Bh	INTCON	8Bh	INTCON	10Bh	INTCON	18Bh
PIR1	0Ch	PIE1	8Ch	EEDTA	10Ch	EECON1	18Ch
PIR2	0Dh	PIE2	8Dh	EEADR	10Dh	EECON2	18Dh
TMR1L	0Eh	PCON	8Eh	EEDATH	10Eh	RESERVADO	18Eh
TMR1H	0Fh		8Fh	EEADRH	10Fh	RESERVADO	19Fh
T1CON	10h		90h				
TMR2	11h	SSPCON2	91h	Registros de Propósito General	91h	Registros de Propósito General	91h
T2CON	12h	PR2	92h				
SSPBUF	13h	SSPADD	93h	96 Bytes		96 Bytes	
SSPCON	14h	SSPSTAT	94h				
CCPR1L	15h		95h				
CCPR1H	16h		96h				
CCP1CON	17h		97h				
RCSTA	18h	TXSTA	98h				
TXREG	19h	SPBRG	99h				
RCREG	1Ah		9Ah				
CCPR2L	1Bh		9Bh				
CCPR2H	1Ch		9Ch				
CCP2CON	1Dh		9Dh				
ADRESH	1Eh	ADRESL	9Eh				
ADCON0	1Fh	ADCON1	9Fh				
Registros de Propósito General		Registros de Propósito General					
96 Bytes		80 Bytes					
		Accesos 70h-7Fh		Accesos 70h-7Fh		Accesos 70h-7Fh	
	7Fh		Ffh		17Fh		1FFh
Banco 0		Banco 1		Banco 2		Banco 3	

Localización de los registros en los 4 bancos que se encuentran en la memoria RAM estática del PIC 16F877A.

La RAM estática consta de 4 bancos con 128 bytes cada uno. En las posiciones iniciales de cada banco se ubican los Registros específicos que gobiernan al procesador y sus recursos. Cabe señalar que en la figura se presentan los cuatro bancos de la RAM, indicando en las primeras posiciones de cada uno los nombres de los registros que contienen [7].

CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL MICROCONTROLADOR 16F87X

- CPU RISC
- Sólo 35 instrucciones que aprender
- Todas las instrucciones se ejecutan en un ciclo de reloj, excepto los saltos que requieren dos
- Frecuencia de operación de 0 a 20 MHz (DC a 200 nseg de ciclo de instrucción)
- Hasta 8k x 14 bits de memoria Flash de programa
- Hasta 368 bytes de memoria de datos (RAM)
- Hasta 256 bytes de memoria de datos EEPROM
- Hasta 4 fuentes de interrupción
- Stack de hardware de 8 niveles
- Reset de encendido (POR)
- Timer de encendido (PWRT)
- Timer de arranque del oscilador (OST)
- Sistema de vigilancia Watchdog timer.
- Protección programable de código
- Modo SEP de bajo consumo de energía
- Opciones de selección del oscilador
- Programación y depuración serie "In-Circuit" (ICSP) a través de dos pines
- Lectura/escritura de la CPU a la memoria flash de programa
- Rango de voltaje de operación de 2.0 a 5.5 volts
- Alta disipación de corriente de la fuente: 25mA
- Rangos de temperatura: Comercial, Industrial y Extendido

- Bajo consumo de potencia:
 - *Menos de 0.6mA a 3V, 4 Mhz
 - *20 μ A a 3V, 32 Khz
 - *menos de 1 μ A corriente de standby.
- Timer0: Contador/Temporizador de 8 bits con pre-escalador de 8 bits

- Timer1: Contador/Temporizador de 16 bits con pre-escalador
- Timer0: Contador/Temporizador de 8 bits con pre-escalador y post-escalador de 8 bits y registro de periodo.
- Dos módulos de Captura, Comparación y PWM
- Convertidor Analógico/Digital: de 10 bits, hasta 8 canales
- Puerto Serie Síncrono (SSP)
- Puerto Serie Universal (USART/SCI).
- Puerto Paralelo Esclavo (PSP): de 8 bits con líneas de protocolo

DIAGRAMA DE PINES DEL PIC16F877A

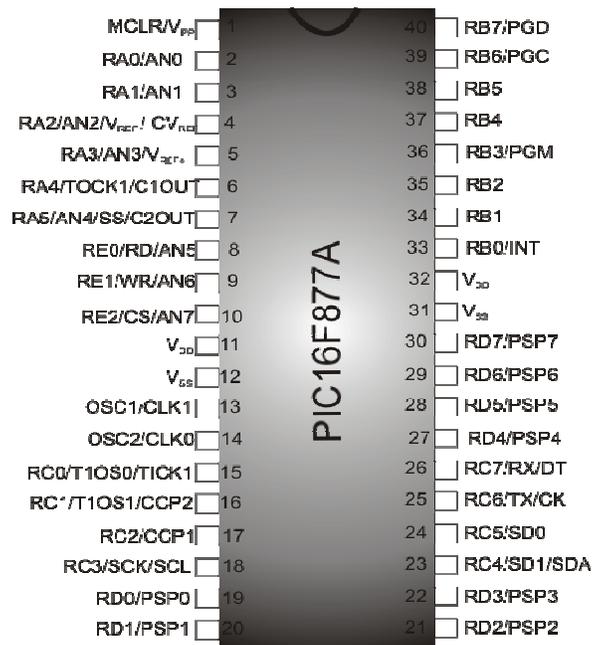


Diagrama de pines del PIC16F877A de Microchip

CONVERSION A/D

El microcontrolador PIC16F877A, cuenta con un convertidor analógico/digital de 10 bits de resolución y 8 canales de entrada.

La resolución que tiene cada bit procedente de la conversión tiene un valor que esta en función de la tensión de referencia V_{ref}, de acuerdo con la siguiente fórmula.

$$\text{Resolución} = (V_{\text{ref}+} - V_{\text{ref}-}) / 1023 = V_{\text{ref}} / 1023$$

De este modo tenemos que si $V_{ref+} = 5 V_{cc}$ y V_{ref-} es tierra, la resolución es de 4.8 mV/bit. Por lo tanto, a la entrada analógica con un valor de 0 Vcc le corresponde una salida digital de 00 0000 0000 y para un entrada de 5Vcc corresponde un salida digital de 11 1111 1111. La tensión de referencia determina los límites máximo y mínimo de la tensión analógica que se puede convertir.

A través del canal de entrada seleccionado, se aplica la señal analógica a un condensador de captura y mantenimiento (sample and hold) y luego se introduce al conversor, el cual proporciona un resultado digital de 10 bits de longitud.

La tensión de referencia puede implementarse con la tensión interna de alimentación VDD ó bien, con una externa que se introduce por el pin RA3/AN/V_{REF+}, en cuyo caso la polaridad negativa se aplica por el pin RA2/AN2/V_{REF-} [7].

REGISTROS QUE UTILIZA EL CONVERTOR A/D

El funcionamiento del conversor análogo/digital requiere la manipulación de cuatro registros:

ADRESH

ADRESL

ADCON0

ADCON1

En la pareja de registros ADRESH-ADRESL, se deposita el resultado de la conversión que al estar compuesta por 10 bits, sólo son significativos 10 de los 16 bits de dicha pareja.

INTERFASES DE PROGRAMACIÓN

MPLAB IDE

La disponibilidad de herramientas eficaces y económicas justifica la gran aceptación de los PICs. Por eso Microchip se ha esforzado en acompañar a los PICs con el complemento adecuado para desarrollar las aplicaciones de forma sencilla y cómoda. Para ello, trabaja en su conocido entorno MPLAB Integrated Development Environment (IDE).

MPLAB IDE es un programa de software que funciona en una PC, desarrollado para aplicaciones de los microcontroladores Microchip. Este es llamado un Entorno de Desarrollo Integrado, ó IDE, ya que proporciona un solo ambiente integrado para desarrollar el código para el microcontrolador.

Un sistema de desarrollo para controladores incluidos, es un sistema de programas que funciona en una PC, ayudando a escribir, editar, depurar y crear el código del programa en un microcontrolador.

MPLAB IDE, funciona en una PC y contiene todos los componentes necesarios para diseñar un proyecto con aplicaciones de sistemas incluidos [16].

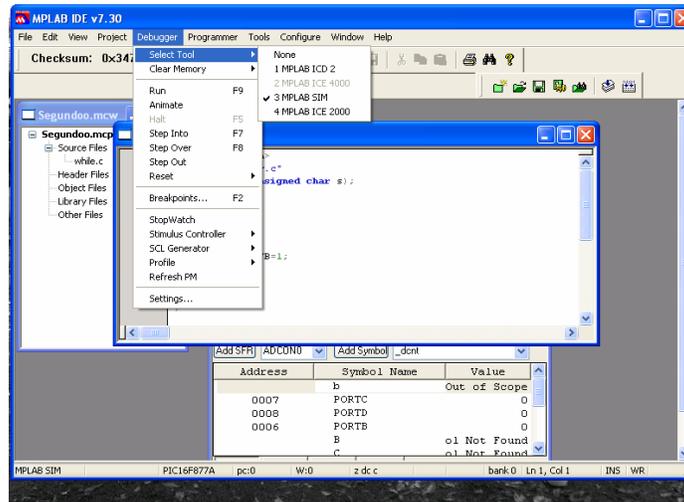
Las principales tareas para desarrollar una aplicación de controladores incluidos son:

- Crear un alto nivel de diseño: Con los rasgos y el desempeño deseado, decidir cual microcontrolador es el mejor para la aplicación, dependiendo del diseño asociado con la circuitería del hardware. Después determinar que periféricos y

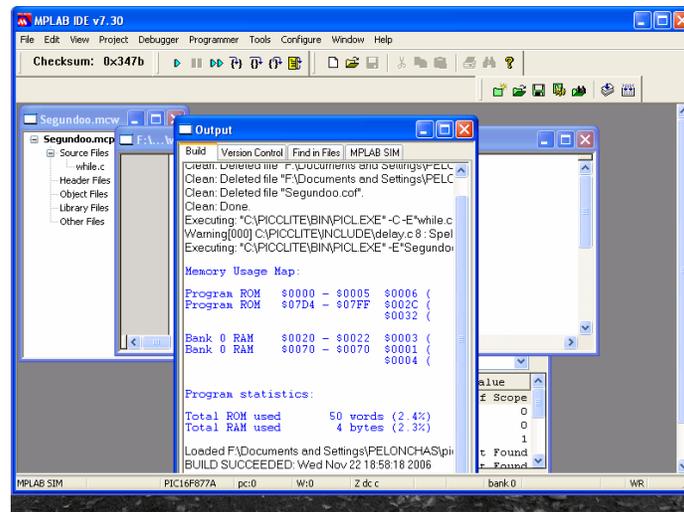
pinos controlarán el hardware, escribir el programa, el software que controlará los aspectos de la aplicación incluida. Un lenguaje de herramientas como el ensamblador, el cual es directamente traducido a código máquina, o a un compilador que permita un lenguaje más accesible para crear programas que puedan ser usados para escribir y editar código. El ensamblador y el compilador facilitan la comprensión del código, permitiendo nombres a las funciones para identificar los códigos de rutinas con variables que tienen nombres asociados con su uso, y con la construcción de la ayuda, organiza el código en una estructura mantenible.

- Compilar, ensamblar y pasar el software usando el ensamblador y/o compilador y el enlace para convertir el código en "1 y 0"(código máquina). Este código máquina eventualmente empezará la firmware (el código programado dentro del microcontrolador).
- Probar el código; Usualmente un programa complejo no trabaja exactamente a lo planeado, y los errores necesitan ser removidos del diseño para obtener los resultados esperados. El depurador permite ver los 1 y 0 ejecutándose, relacionado al código fuente que se escribió, con los símbolos y nombres de funciones del programa. La depuración permite experimentar con el código y de esta forma ver la evaluación de las variables además de otros puntos dentro del programa, haciendo varias pruebas cambiando los valores de las variables y pasando a través de las rutinas.

MPLAB IDE cuenta con las herramientas necesarias para poder llevar a cabo las tareas antes mencionadas y de esta forma poder garantizar el buen desempeño del diseño desarrollado [16].



Entorno de trabajo MPLAB mostrando la ventana de herramientas de simulación



Entorno de trabajo MPLAB en el momento en el que se compila un programa

PICCLITE

Se trata de un compilador de C que en un principio fue diseñado para el uso de estudiantes que necesitaban un compilador de PICs barato, para el desarrollo de proyectos escolares. El compilador solamente puede ser usado para los microcontroladores 16C84, 16F84, 16F84A, 16F627, 16F627A, 12F629, 12F675, 16F684, 16F877 y para el 16F877A de Microchip. Tales microcontroladores no cuentan con ningún tipo de código fuente implementado. Existe una limitación de solamente dos bancos en la memoria RAM de propósito general para los microcontroladores 16F627, 16F627A, 16F877 y 16F877A, además de una limitación de tan solo un banco con el pic 16F684. También hay una limitación de 2K con los PICs 16F877 y 16F877A y una limitación de 1K con el 16F684 [14].

DEFINICIÓN DEL COMPILADOR

Cuando un programa es compilado, dicho proceso se lleva a cabo por medio de muchas aplicaciones realizadas por separado. La principal tarea del compilador es la de determinar cual de las aplicaciones internas necesitan ser ajustadas y cuales opciones deben ser enviadas para cada instrucción. Cuando el término compilador es usado; se pretende denotar la entera colección de aplicaciones que están involucradas en el proceso, en resumen los controladores del compilador usan una gran cantidad de archivos para almacenar opciones e información usada en el proceso de compilación [14].

TIPOS DE DATOS QUE SOPORTA

El compilador PICCLite soporta tipos básicos de datos de 1, 2 y hasta 4 bytes de tamaño. Todos los tipos de datos multi-byte están bajo el formato del bit menos significativo primero ó también conocido como “little endian”.

De este modo las palabras tienen al bit menos significativo en la dirección más baja. En la siguiente tabla se mencionan los tipos de datos más importantes que soporta el compilador PICCLite y sus correspondientes tamaños en bits [14].

TIPO	TAMAÑO EN BITS
Bit	1
Char	8
unsigned char	8
Int	16
float	24

Nota: Char por default es unsigned, se le puede asignar signo utilizando la función PICL-SIGNED_CHAR

Equivalencias entre tamaños en bits y tipos de datos

ESPECIFICACIONES DE BASES Y CONSTANTES

PICCLite soporta el estándar de la ANSI. El formato para especificar las bases se muestra en la siguiente tabla.

BASE	FORMATO	EJEMPLO
Binario	0bnúmero ó 0Bnúmero	0b10011010
Octal	0número	0763
Decimal	número	129
Hexadecimal	0xnúmero ó 0Xnúmero	0x2F

Formatos de las bases que se utilizan en el PICC Lite

Las constantes que sean caracteres tipo char deben estar entre comillas simples ‘ ’, por ejemplo ‘a’. Lo anterior indica que a es una constante del tipo char.

Por otro lado, las constantes cadenas (string) deben estar entre dobles comillas “ ”, por ejemplo “hello” [14].

UTILIZANDO PICCLITE

Es necesario para poder utilizar el compilador PICCLite manejar el lenguaje C. En dado caso que no se cuente con los conocimientos necesarios, existen en el mercado un sin número de libros y otro tipos de publicaciones enfocados a la enseñanza de dicho lenguaje.

Aunque este compilador es muy parecido al lenguaje C, tiene sus diferencias. A continuación nos enfocaremos en remarcar y aclarar cuales son los casos de divergencia con los cuales nos topamos al llevar a cabo el desarrollo del programa por medio del compilador PICCLite. Cabe señalar que en lo consiguiente el objetivo no es el de dar una explicación amplia del manejo del compilador PICCLite. Si no el de familiarizar al lector con el entorno PICCLite además de dotarlo con las herramientas esenciales para que él mismo a partir de este proyecto pueda realizar sus propios programas y probarlos en un microcontrolador que acepte el ambiente PICCLite [14].

PRINCIPALES DIFERENCIAS ENTRE PICCLITE Y EL LENGUAJE C

Se puede decir que el compilador PICCLite es una buena mezcla del lenguaje ensamblador con el lenguaje C. Ya que para programar haciendo uso de este compilador se utilizan ambos lenguajes.

La configuración de registros y puertos del pic que se vaya a utilizar se lleva a cabo de la misma forma como se hace en el lenguaje ensamblador. Y el desarrollo

del algoritmo se hace en lenguaje C, con algunas diferencias; las cuales se deben principalmente a la capacidad de memoria de los microcontroladores.

Específicamente; el diseño del programa de este proyecto de tesis, se enfrentó con una fuerte limitante en cuanto al uso de cadenas (strings). Dicha limitante impidió el uso de esta poderosa herramienta en nuestro software, debido a que el uso de las cadenas en el compilador PICCLite, implica el uso de mucha memoria, por muy chica que sea la cadena.

Por supuesto que el compilador también tiene ventajas, sobre el lenguaje C. Una de ellas es la capacidad de mezcla dentro del desarrollo del algoritmo en lenguaje C, junto con el ensamblador.

Es decir que podemos hacer uso de las herramientas que nos ofrece el lenguaje ensamblador y que lamentablemente el lenguaje C no tiene.

Para llevar a cabo dicha mezcla, se utilizan las directivas **#asm** y **#endasm** para empezar y terminar un bloque de instrucciones en lenguaje ensamblador. Estas instrucciones operarán junto con las instrucciones del lenguaje C en un mismo programa; todo lo anterior gracias al compilador PICCLite [14].

PROGRAMANDO EN PICCLITE DENTRO DE MPLAB IDE

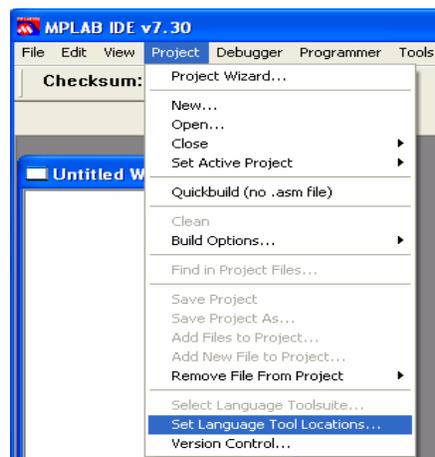
Si se combinan la comodidad y sencillez de trabajar en MPLAB IDE con la facilidad de programar PIC's en C que nos brinda PICCLite. Obtenemos un ambiente más accesible para desarrollar y comprobar nuestros programas.

Es por eso que para la programación de nuestro microcontrolador PIC16F877A utilizamos el compilador PICCLite, desde el entorno de desarrollo integrado MPLAB.

A continuación se describen los pasos a seguir para configurar MPLAB de modo que nos permita trabajar con el compilador PICCLite.

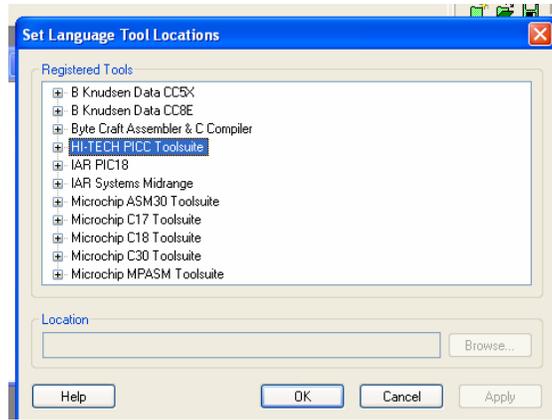
Una vez instalados tanto el compilador PICCLite (HI-TECH software) como el ambiente de desarrollo integrado MPLAB (Microchip). Seguimos los siguientes pasos:

1.- Inicializamos MPLAB IDE y después damos click en el menú **Project**, a continuación seleccionaremos la opción **Set lenguaje Tool Locations**, tal y como se muestra en la siguiente figura.



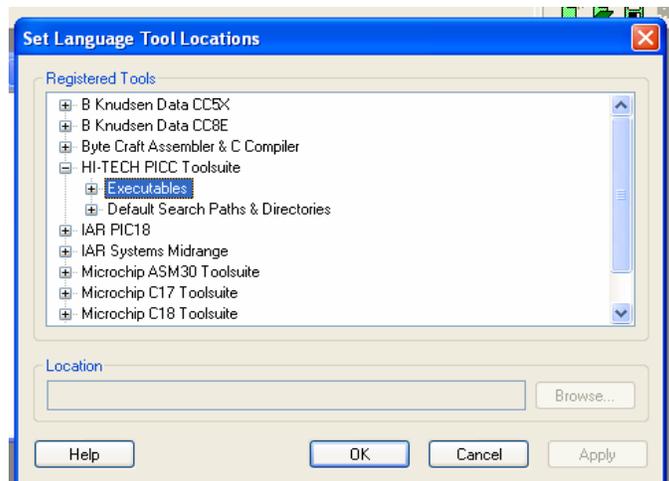
Configuración de MPLAB para trabajar con PICCLite paso 1

2.- Dentro de la ventana **Set Language Tool Locations**, Expandimos la lista correspondiente **HI-TECH PICC Toolsuite**.



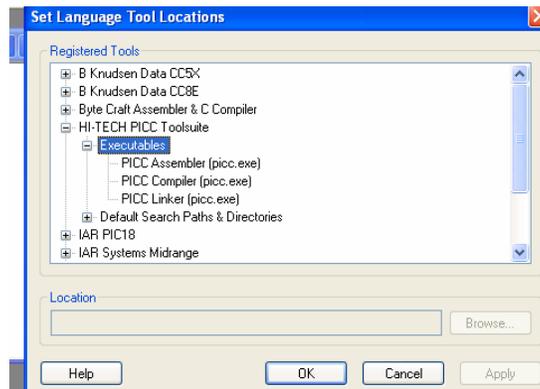
Configuración de MPLAB para trabajar con PICCLite paso 2

3.- A continuación expandimos la lista que se encuentra dentro de **Ejecutables**.



Configuración de MPLAB para trabajar con PICCLite paso 3

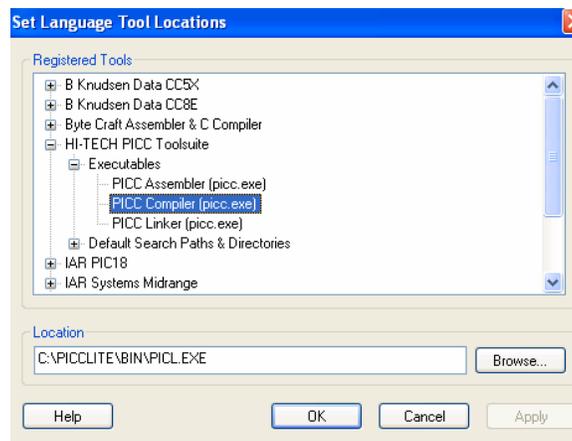
4.- Ahora seleccionamos la opción **PICC Compiler(picc.exe)**.



Configuración de MPLAB para trabajar con PICCLite paso 4

5.- Al seleccionar la opción **PICC Compiler(picc.exe)** inmediatamente nos pedirá la locación en la que se encuentra ubicado el compilador PICCLite.

Haciendo uso de la herramienta *browse* que se encuentra en la parte baja de la misma ventana localizamos la ubicación de PICCLite y por último damos click en el botón *ok* y listo.



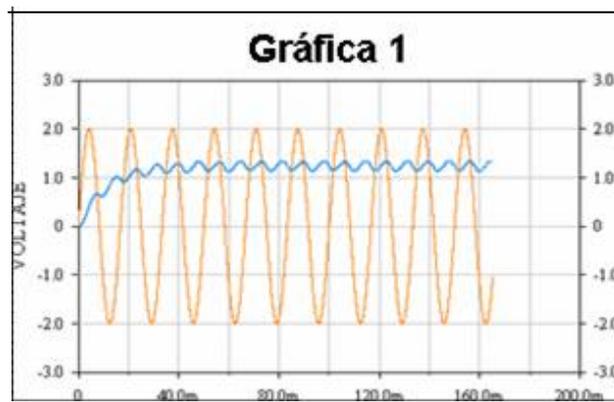
Configuración de MPLAB para trabajar con PICCLite paso 5

Para mas detalles en cuanto al buen uso y funcionamiento tanto de MPLAB IDE como del compilador PICCLite; se recomienda leer sus respectivos manuales.

APÉNDICE B

PRUEBAS REALIZADAS AL CIRCUITO SENSOR DE CORRIENTE

A lo largo de este apéndice se mostrarán las pruebas realizadas al circuito sensor de corriente, algunas de ellas introduciendo señales de entrada con distintos valores de amplitud y de esta forma observaremos el comportamiento de dicho circuito.



TIEMPO (seg)

Señal naranja; 2 Volts ca.

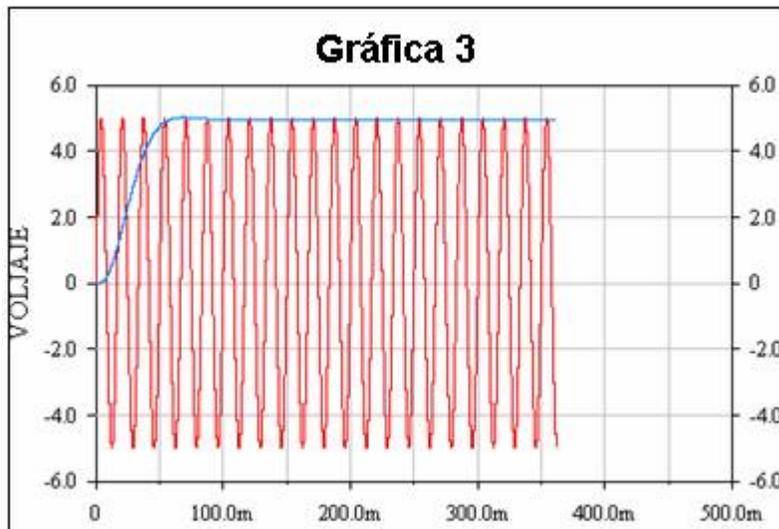
Señal azul; es la obtenida a la salida del circuito seguidor de voltaje y después del circuito rectificador de onda completa activo o mav.



TIEMPO (seg)

Señal roja; 2 Volts ca.

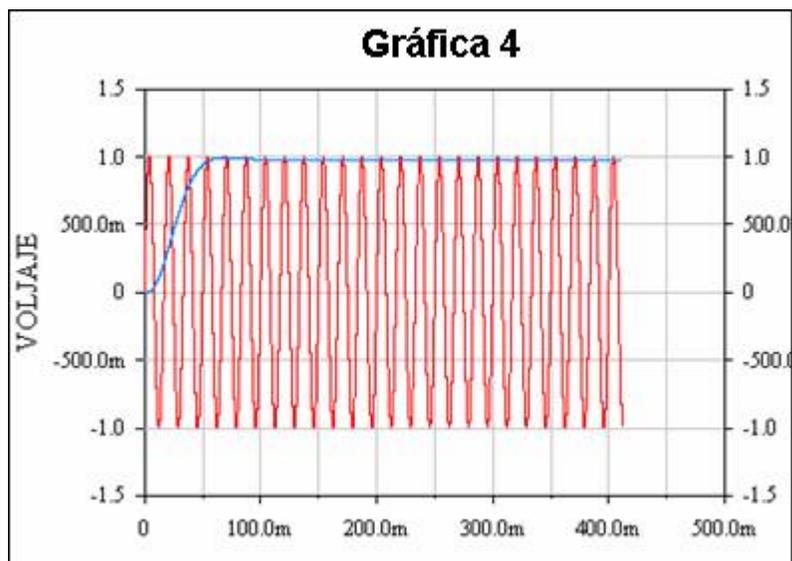
Señal azul; Se obtienen 2 volts cc después del circuito seguidor de voltaje, del circuito rectificador de onda completa activo o mav y después de filtro pasabajas.



TIEMPO (seg)

Señal roja: Voltaje alterno con un valor pico a pico de 5 volts.

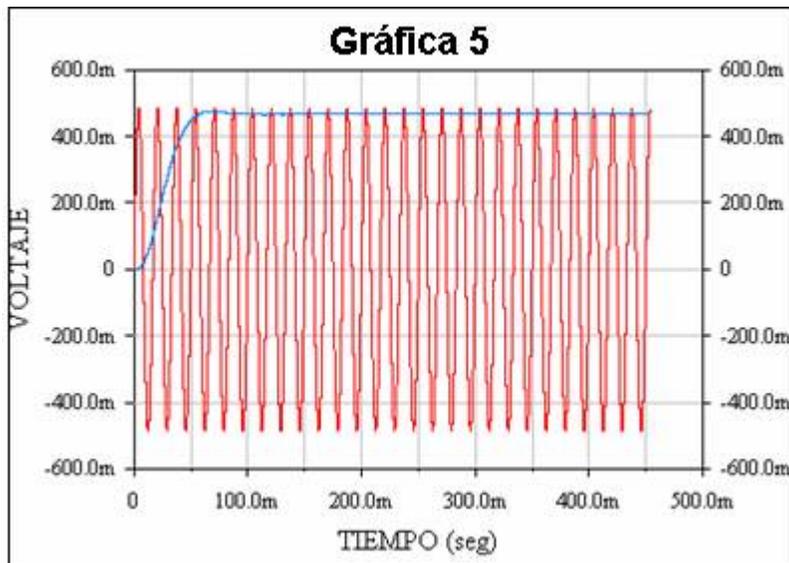
Señal Azul: Es la obtenida después de aplicar la señal de entrada a los circuitos mencionados en la gráfica 2. En este caso obtenemos un voltaje cc. de 5 volts.



TIEMPO (seg)

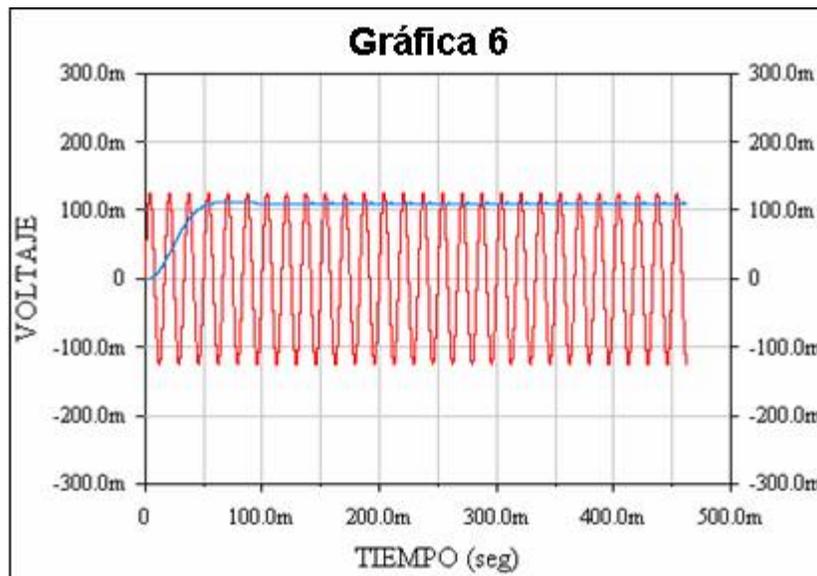
Señal roja: Voltaje alterno con un valor pico a pico de 1 volts.

Señal Azul: Es la obtenida después de aplicar la señal de entrada a los circuitos mencionados en la gráfica 2. En este caso obtenemos un voltaje cc. de 988 milivolts.



Señal roja: Voltaje alterno con un valor pico a pico de 485 milivolts.

Señal Azul: Es la obtenida después de aplicarla a los circuitos mencionados en la gráfica 2. En este caso obtenemos un voltaje cc. de 476 milivolts.



Señal roja: Voltaje alterno con un valor pico a pico de 125 milivolts.

Señal Azul: Es la obtenida después de aplicar la señal de entrada a los circuitos mencionados en la gráfica 2. En este caso obtenemos un voltaje cc. de 110 milivolts.

APÉNDICE C
LISTADO DEL PROGRAMA

A continuación se presenta el listado del programa con el cual es gobernado el microcontrolador.

```
#include <pic.h>
#include "delay.c"
#include "lcd.c"
void lcd_inicio();
void lcd_sensa();
void show_var(float var);
float amp;
unsigned char max=255,A=0,B=0,D=0,U=0,Z=0,Proo,checa=0,check=0;
void Overcurrent(unsigned char M);
void sensa();
void main(){
int INICIO=0,min=24,T=0;
TRISC=1;
TRISD=0;
TRISB=0;
TRISE=0;
PORTC=0;
PORTD=0;
PORTB=0;
PORTE=0;
do{
lcd_inicio();
if(PORTC>=1)
  INICIO=1;}
while(INICIO==0);
do{
sensa();
if (A>max){
TRISA=0XFF
ADCON0=0X81;
ADCON1=0X00;
ADON=1;
ADIF=0;
ADGO=1;
DelayMs(15);
DelayUs(250);
while(ADGO)
{continue;}
PORTD=A=ADRESH;
T=1;if (A>max){PORTE=1;D=1;sensa();}while(D==1){continue;}} if (A>min){if (T==0)
DelayMs(25);else DelayMs(10);  do{Proo=0;sensa();
```

```

B=A;
switch(A){
case 254:
Overcurrent(4);
case 253:
Overcurrent(4);
break;
case 252:
Overcurrent(4);
break;
case 251:
Overcurrent(4);
break;
case 250:
Overcurrent(4);
break;
case 249:
Overcurrent(4);
break;
case 248:
Overcurrent(4);
break;
case 247:
Overcurrent(4);
break;
case 246:
Overcurrent(4);
break;
case 245:
Overcurrent(4);
break;
case 244:
Overcurrent(4);
break;
case 243:
Overcurrent(4);
break;
case 242:
Overcurrent(4);
break;
case 241:
Overcurrent(4);
break;
case 240:
Overcurrent(4);

```

```

break;
case 239:
Overcurrent(4);
break;
case 238:
Overcurrent(4);
break;
case 237:
Overcurrent(4);
break;
case 236:
Overcurrent(4);
break;
case 235:
Overcurrent(4);
break;
case 234:
Overcurrent(4);
break;
case 233:
Overcurrent(4);
DelayMs(1);
break;
case 232:
Overcurrent(4);
DelayMs(1);
break;
case 231:
Overcurrent(4);
DelayMs(1);
break;
case 230:
Overcurrent(4);
DelayMs(1);
break;
case 229:
Overcurrent(4);
DelayMs(2);
break;
case 228:
Overcurrent(4);
DelayMs(2);
break;
case 227:
Overcurrent(4);

```

```

DelayMs(2);
break;
case 226:
Overcurrent(4);
DelayMs(3);
break;
case 225:
Overcurrent(4);
DelayMs(3);
break;
case 224:
Overcurrent(4);
DelayMs(4);
break;
case 223:
Overcurrent(4);
DelayMs(4);
break;
case 222:
Overcurrent(4);
DelayMs(4);
break;
case 221:
Overcurrent(4);
DelayMs(4);
break;
case 220:
Overcurrent(4);
DelayMs(4);
break;
case 219:
Overcurrent(4);
DelayMs(5);
break;
case 218:
Overcurrent(4);
DelayMs(5);
break;
case 217:
Overcurrent(4);
DelayMs(6);
break;
case 216:
Overcurrent(4);
DelayMs(6);

```

break;
case 215:
Overcurrent(4);
DelayMs(7);
break;
case 214:
Overcurrent(4);
DelayMs(7);
break;
case 213:
Overcurrent(4);
DelayMs(7);
break;
case 212:
Overcurrent(4);
DelayMs(8);
break;
case 211:
Overcurrent(4);
DelayMs(8);
break;
case 210:
Overcurrent(4);
DelayMs(8);
break;
case 209:
Overcurrent(4);
DelayMs(8);
break;
case 208:
Overcurrent(4);
DelayMs(9);
break;
case 207:
Overcurrent(4);
DelayMs(9);
break;
case 206:
Overcurrent(4);
DelayMs(9);
break;
case 205:
Overcurrent(4);
DelayMs(9);
break;

case 204:
Overcurrent(4);
DelayMs(9);
break;
case 203:
Overcurrent(5);
break;
case 202:
Overcurrent(5);
break;
case 201:
Overcurrent(5);
break;
case 200:
Overcurrent(5);
break;
case 199:
Overcurrent(5);
break;
case 198:
Overcurrent(5);
break;
case 197:
Overcurrent(5);
break;
case 196:
Overcurrent(5);
DelayMs(1);
break;
case 195:
Overcurrent(5);
DelayMs(1);
break;
case 194:
Overcurrent(5);
DelayMs(2);
break;
case 193:
Overcurrent(5);
DelayMs(2);
break;
case 192:
Overcurrent(5);
DelayMs(3);
break;

case 191:
Overcurrent(5);
DelayMs(3);
break;
case 190:
Overcurrent(5);
DelayMs(3);
break;
case 189:
Overcurrent(5);
DelayMs(4);
break;
case 188:
Overcurrent(5);
DelayMs(5);
break;
case 187:
Overcurrent(5);
DelayMs(6);
break;
case 186:
Overcurrent(5);
DelayMs(6);
break;
case 185:
Overcurrent(5);
DelayMs(7);
break;
case 184:
Overcurrent(5);
DelayMs(7);
break;
case 183:
Overcurrent(5);
DelayMs(8);
break;
case 182:
Overcurrent(5);
DelayMs(8);
break;
case 181:
Overcurrent(5);
DelayMs(9);
break;
case 180:

Overcurrent(5);
DelayMs(9);
break;
case 179:
Overcurrent(5);
DelayMs(9);
break;
case 178:
Overcurrent(6);
break;
case 177:
Overcurrent(6);
break;
case 176:
Overcurrent(6);
DelayMs(1);
break;
case 175:
Overcurrent(6);
DelayMs(1);
break;
case 174:
Overcurrent(6);
DelayMs(1);
break;
case 173:
Overcurrent(6);
DelayMs(2);
break;
case 172:
Overcurrent(6);
DelayMs(3);
break;
case 171:
Overcurrent(6);
DelayMs(4);
break;
case 170:
Overcurrent(6);
DelayMs(5);
break;
case 169:
Overcurrent(6);
DelayMs(5);
break;

case 168:
Overcurrent(6);
DelayMs(6);
break;
case 167:
Overcurrent(6);
DelayMs(7);
break;
case 166:
Overcurrent(6);
DelayMs(8);
break;
case 165:
Overcurrent(6);
DelayMs(8);
break;
case 164:
Overcurrent(6);
DelayMs(9);
break;
case 163:
Overcurrent(6);
DelayMs(9);
break;
case 162:
Overcurrent(7);
break;
case 161:
Overcurrent(7);
break;
case 160:
Overcurrent(7);
DelayMs(1);
break;
case 159:
Overcurrent(7);
DelayMs(1);
break;
case 158:
Overcurrent(7);
DelayMs(2);
break;
case 157:
Overcurrent(7);
DelayMs(3);

break;
case 156:
Overcurrent(7);
DelayMs(3);
break;
case 155:
Overcurrent(7);
DelayMs(4);
break;
case 154:
Overcurrent(7);
DelayMs(5);
break;
case 153:
Overcurrent(7);
DelayMs(6);
break;
case 152:
Overcurrent(7);
DelayMs(7);
break;
case 151:
Overcurrent(7);
DelayMs(8);
break;
case 150:
Overcurrent(7);
DelayMs(9);
break;
case 149:
Overcurrent(7);
DelayMs(9);
break;
case 148:
Overcurrent(8);
break;
case 147:
Overcurrent(8);
DelayMs(1);
break;
case 146:
Overcurrent(8);
DelayMs(2);
break;
case 145:

Overcurrent(8);
DelayMs(3);
break;
case 144:
Overcurrent(8);
DelayMs(4);
break;
case 143:
Overcurrent(8);
DelayMs(5);
break;
case 142:
Overcurrent(8);
DelayMs(8);
break;
case 141:
Overcurrent(8);
DelayMs(8);
break;
case 140:
Overcurrent(8);
DelayMs(9);
break;
case 139:
Overcurrent(9);
break;
case 138:
Overcurrent(9);
DelayMs(1);
break;
case 137:
Overcurrent(9);
DelayMs(2);
break;
case 136:
Overcurrent(9);
DelayMs(3);
break;
case 135:
Overcurrent(9);
DelayMs(4);
break;
case 134:
Overcurrent(9);
DelayMs(5);

break;
case 133:
Overcurrent(9);
DelayMs(6);
break;
case 132:
Overcurrent(9);
DelayMs(8);
break;
case 131:
Overcurrent(10);
DelayMs(1);
break;
case 130:
Overcurrent(10);
DelayMs(4);
break;
case 129:
Overcurrent(10);
DelayMs(6);
break;
case 128:
Overcurrent(10);
DelayMs(8);
break;
case 127:
Overcurrent(11);
break;
case 126:
Overcurrent(11);
DelayMs(1);
break;
case 125:
Overcurrent(11);
DelayMs(3);
break;
case 124:
Overcurrent(11);
DelayMs(6);
break;
case 123:
Overcurrent(12);
break;
case 122:
Overcurrent(12);

DelayMs(2);
break;
case 121:
Overcurrent(12);
DelayMs(3);
break;
case 120:
Overcurrent(12);
DelayMs(5);
break;
case 119:
Overcurrent(12);
DelayMs(8);
break;
case 118:
Overcurrent(13);
break;
case 117:
Overcurrent(13);
DelayMs(2);
break;
case 116:
Overcurrent(13);
DelayMs(7);
break;
case 115:
Overcurrent(13);
DelayMs(8);
break;
case 114:
Overcurrent(14);
break;
case 113:
Overcurrent(14);
DelayMs(2);
break;
case 112:
Overcurrent(14);
DelayMs(7);
break;
case 111:
Overcurrent(15);
break;
case 110:
Overcurrent(15);

DelayMs(4);
break;
case 109:
Overcurrent(16);
break;
case 108:
Overcurrent(16);
DelayMs(2);
break;
case 107:
Overcurrent(16);
DelayMs(6);
break;
case 106:
Overcurrent(16);
DelayMs(7);
break;
case 105:
Overcurrent(16);
DelayMs(8);
break;
case 104:
Overcurrent(16);
DelayMs(9);
break;
case 103:
Overcurrent(17);
DelayMs(1);
break;
case 102:
Overcurrent(17);
DelayMs(4);
break;
case 101:
Overcurrent(17);
DelayMs(6);
break;
case 100:
Overcurrent(17);
DelayMs(8);
break;
case 99:
Overcurrent(17);
DelayMs(9);
break;

case 98:
Overcurrent(18);
DelayMs(5);
break;
case 97:
Overcurrent(19);
DelayMs(1);
break;
case 96:
Overcurrent(19);
DelayMs(9);
break;
case 95:
Overcurrent(21);
break;
case 94:
Overcurrent(22);
break;
case 93:
Overcurrent(23);
break;
case 92:
Overcurrent(24);
break;
case 91:
Overcurrent(25);
break;
case 90:
Overcurrent(26);
break;
case 89:
Overcurrent(28);
DelayMs(5);
break;
case 88:
Overcurrent(29);
break;
case 87:
Overcurrent(30);
break;
case 86:
Overcurrent(30);
DelayMs(5);
break;
case 85:

Overcurrent(31);
break;
case 84:
Overcurrent(31);
DelayMs(6);
break;
case 83:
Overcurrent(32);
break;
case 82:
Overcurrent(32);
DelayMs(5);
break;
case 81:
Overcurrent(33);
DelayMs(5);
break;
case 80:
Overcurrent(34);
break;
case 79:
DelayMs(35);
break;
case 78:
Overcurrent(36);
break;
case 77:
Overcurrent(37);
break;
case 76:
Overcurrent(37);
DelayMs(5);
break;
case 75:
Overcurrent(38);
break;
case 74:
Overcurrent(39);
break;
case 73:
Overcurrent(40);
break;
case 72:
Overcurrent(42);
DelayMs(2);

break;
case 71:
Overcurrent(45);
break;
case 70:
Overcurrent(50);
break;
case 69:
Overcurrent(52);
break;
case 68:
Overcurrent(53);
DelayMs(9);
break;
case 67:
Overcurrent(55);
DelayMs(8);
break;
case 66:
Overcurrent(58);
break;
case 65:
Overcurrent(60);
break;
case 64:
Overcurrent(66);
break;
case 63:
Overcurrent(70);
break;
case 62:
Overcurrent(75);
break;
case 61:
Overcurrent(78);
break;
case 60:
Overcurrent(81);
DelayMs(5);
break;
case 59:
Overcurrent(83);
break;
case 58:
Overcurrent(85);

break;
case 57:
Overcurrent(88);
DelayMs(5);
break;
case 56:
Overcurrent(90);
break;
case 55:
Overcurrent(92);
break;
case 54:
Overcurrent(95);
break;
case 53:
Overcurrent(96);
break;
case 52:
Overcurrent(97);
DelayMs(5);
break;
case 51:
Overcurrent(100);
break;
case 50:
Overcurrent(110);
break;
case 49:
Overcurrent(125);
break;
case 48:
Overcurrent(127);
DelayMs(5);
break;
case 47:
Overcurrent(140);
break;
case 46:
Overcurrent(150);
break;
case 45:
Overcurrent(155);
break;
case 44:
Overcurrent(166);

break;
case 43:
Overcurrent(201);
break;
case 42:
Overcurrent(216);
break;
case 41:
Overcurrent(241);
break;
case 40:
checa=1;
Overcurrent(250);
checa=2;
Overcurrent(16);
break;
case 39:
checa=1;
Overcurrent(250);
checa=2;
Overcurrent(46);
break;
case 38:
checa=1;
Overcurrent(250);
checa=2;
Overcurrent(66);
break;
case 37:
checa=1;
Overcurrent(250);
checa=2;
Overcurrent(96);
break;
case 36:
checa=1;
Overcurrent(250);
checa=2;
Overcurrent(116);
break;
case 35:
checa=1;
Overcurrent(250);
checa=2;
Overcurrent(146);

```

break;
case 34:
checa=1;
Overcurrent(250);
checa=2;
Overcurrent(186);
break;
case 33:
checa=1;
Overcurrent(250);
checa=2;
Overcurrent(246);
break;
case 32:
checa=1;
Overcurrent(250);
checa=2;
Overcurrent(250);
checa=3;
Overcurrent(46);
break;
case 31:
checa=1;
Overcurrent(250);
checa=2;
Overcurrent(250);
checa=3;
Overcurrent(116);
break;
case 30:
checa=1;
Overcurrent(250);
checa=2;
Overcurrent(250);
checa=3;
Overcurrent(196);
break;
case 29:
checa=1;
Overcurrent(250);
checa=2;
Overcurrent(250);
checa=3;
Overcurrent(250);
checa=4;
Overcurrent(46);
break;
case 28:
checa=1;
Overcurrent(250);
checa=2;
Overcurrent(250);
checa=3;
Overcurrent(250);
checa=4;
Overcurrent(61);
break;
case 27:
checa=1;
Overcurrent(250);
checa=2;
Overcurrent(250);
checa=3;
Overcurrent(250);
checa=4;
Overcurrent(96);
break;
case 26:
checa=1;
Overcurrent(250);
checa=2;
Overcurrent(250);
checa=3;
Overcurrent(250);
checa=4;
Overcurrent(126);
break;
case 25:
checa=1;
Overcurrent(250);
checa=2;
Overcurrent(250);
checa=3;
Overcurrent(250);
checa=4;
Overcurrent(156);
break; } }

```

```

while(Proo==1);
lcd_sensa();
if (A>min){
PORTE=1;
D=1;}
}
while(D==1)
{continue;}
T=0;
Z=0;
U=0;
checa=0;
check=0;
;}
while(INICIO==1);

}
void lcd_inicio(){

    lcd_init();
    lcd_home();
    lcd_clear();
    lcd_puts("OPRIME EL BOTON");
    lcd_goto(40);
    lcd_puts("-INICIO-");}

void lcd_sensa(){

    amp=(ADRESH* 4.8828125*4)/6;
        lcd_clear();
        lcd_home();
        lcd_puts("I= ");
        show_var(amp);
        lcd_puts(" Amps");
    }

void show_var(float var)
{
    unsigned int C,D,U,d,c;

        C = var*0.01; //centenas
        D = (var-(C*100))/10; //decenas
        U = (var-(C*100)-(D*10)); //unidades
        d = (var-(C*100)-(D*10)-U)*10; //decimas
        c = (var-(C*100)-(D*10)-U-(d*0.1))*100; //centesimas
        lcd_putchar('0'+C);

```

```

        lcd_putchar('0'+D);
        lcd_putchar('0'+U);
        lcd_putchar('.');
        lcd_putchar('0'+d);
        lcd_putchar('0'+c);
    return;
}
void sensa() { TRISA=0XFF;
              ADCON0=0X81;
              ADCON1=0X00;
              ADON=1;
              ADIF=0;
              ADGO=1;
              DelayMs(10);
              DelayUs(250);
              while(ADGO)
              {continue;}
              PORTD=A=ADRESH;
              lcd_sensa();}

```

```

void Overcurrent(unsigned char M){
if(A<=B){
if(checa>=check){
for(Z=(U+1);Z<=M;Z++){

    TRISA=0XFF;
    ADCON0=0X81;
    ADCON1=0X00;
    ADON=1;
    ADIF=0;
    ADGO=1;
    DelayMs(10);
    DelayUs(250);
    U=Z;
    while(ADGO)
    {continue;}
    PORTD=A=ADRESH;
    if(A>B){
    Proo=1;
    break;}}
    if(Proo==0){
    check=(checa+1);
    U=0;}}}}
}

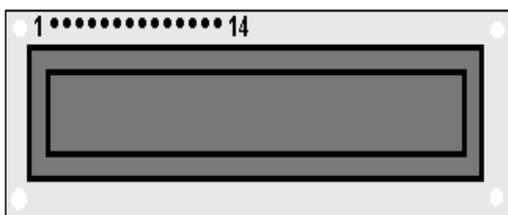
```

APÉNDICE D
MÓDULO LCD

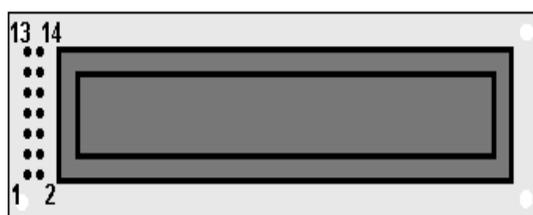
Los módulos LCD están compuestos básicamente por una pantalla de cristal líquido y un circuito microcontrolador especializado el cual posee los circuitos y memorias de control necesarias para desplegar el conjunto de caracteres **ASCII**, un conjunto básico de caracteres japoneses, griegos y algunos símbolos matemáticos por medio de un circuito denominado generador de caracteres. La lógica de control se encarga de mantener la información en la pantalla hasta que ella sea sobrescrita o borrada en la memoria RAM de datos.

La pantalla de cristal líquido está conformada por una ó dos líneas de 8, 16, 20, 24 ó 40 caracteres de 5x7 pixeles c/u. El microcontrolador especializado puede ser el modelo **HITACHI 44780**, ó el modelo **HITACHI 44100**.

El microcontrolador y la pantalla de cristal líquido están colocados sobre un circuito impreso (PCB) y se interconectan con el mundo exterior (μ C, μ P o PP del PC) a través de un conector de 14 pines, el cual puede obtenerse en dos presentaciones: una línea y dos líneas teniendo la siguiente distribución:



Conector de 1 línea por 14



Conector de 2 líneas por 7

Descripción de pines de los módulos LCD

Pin número	Símbolo	Función
1	Vss	Tierra ó Masa
2	Vdd	Alimentación + 5 VDC
3	Vo	Voltaje de ajuste de contraste
4	RS	Selección de Dato / Comando
5	R/W	Lectura / Escritura
6	E	Habilitador
7	DB0	1a línea de datos (LSB)
8	DB1	2a línea de datos
9	DB2	3a línea de datos
10	DB3	4a línea de datos
11	DB4	5a línea de datos
12	DB5	6a línea de datos
13	DB6	7a línea de datos
14	DB7	8a línea de datos (MSB)

A continuación se muestra la tabla del código ASCII.

		Most Significant Character								
		Hex	0	1	2	3	4	5	6	7
Least Significant Character	0	NUL	DLE	Space	0	@	P	`	p	
	1	SOH	DC1	!	1	A	Q	a	q	
	2	STX	DC2	"	2	B	R	b	r	
	3	ETX	DC3	#	3	C	S	c	s	
	4	EOT	DC4	\$	4	D	T	d	t	
	5	ENQ	NAK	%	5	E	U	e	u	
	6	ACK	SYN	&	6	F	V	f	v	
	7	Bell	ETB	'	7	G	W	g	w	
	8	BS	CAN	(	8	H	X	h	x	
	9	HT	EM	)	9	I	Y	i	y	
	A	LF	SUB	*	:	J	Z	j	z	
	B	VT	ESC	+	;	K	[	k	l	
	C	FF	FS	,	<	L	\	l	l	
	D	CR	GS	=	=	M	]	m	l	
	E	SD	RS	.	>	N	^	n	-	
	F	SI	US	/	?	O	_	o	DEL	

GLOSARIO

ASCII: Por sus siglas en inglés American Standard Code for Information Interchange. Código Americano Estándar para el Intercambio de Información [18].

CMOS: Por sus siglas en inglés Complementary Metal Oxide Semiconductor. Tecnología aplicada en la construcción de circuitos integrados [19].

DISYUNTOR: Es un dispositivo de sobrecarga destinado a interrumpir un circuito (de la misma forma que un fusible) pero sin autodeteriorarse. Como los fusibles, los disyuntores actúan en primer lugar como protección de cortocircuitos, combinados con cualquier tipo de relevador. Existen numerosos tipos de disyuntores que utilizan diversos métodos para abrir un circuito y extinguir el arco que se forma entre los contactos fijos y móviles [1].

ELECTROMAGNETISMO: Implica una interacción entre los campos eléctrico y magnético; lo cual es el núcleo del proceso de conversión de energía en las máquinas rotatorias. En donde la energía eléctrica se convierte en mecánica y viceversa, tanto en motores como en generadores [9].

LCD: Por sus siglas en inglés Liquid Cristal Display. Pantalla de Cristal Líquido [18].

PAR: A menudo llamado momento, es el producto de una fuerza por un brazo de palanca. Algunas veces se representa como un vector:

$$\mathbf{T} = \mathbf{r} \times \mathbf{F}$$

Donde F representa la fuerza y r el brazo de palanca o radio alrededor de un eje de rotación, con dirección hacia fuera del eje de rotación. En máquinas rotatorias electromagnéticas, r es generalmente el radio del elemento rotatorio de la máquina: el rotor, y F es la fuerza que actúa.

En unidades del SI, las unidades de par son newton-m y en unidades inglesas libra-pie [9].

PIC: Por sus sigla en inglés Peripheral Interfase Controller [8].

RAM: Por sus siglas en inglés Read Access Memory. Memoria volátil en la que se puede leer y escribir. Dicha memoria pierde su contenido cuando se detiene su suministro de energía [18].

RISC: Por sus siglas en inglés Reduced Instruction Set Computer. Arquitectura de computadoras con un conjunto de instrucciones reducido [6].

ROM: Por sus siglas en inglés Read Only Memory. Memoria de sólo lectura; la información que contiene es permanente, no se puede modificar solamente leer [18].

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Enriquez, H. G. (1992). *Fundamentos de protección de sistemas eléctricos por relevadores*. LIMUSA.
- [2] Ravindranath. B., et al (1989). *Protección de sistemas de potencia e interruptores*. LIMUSA.
- [3] Enriquez, H. G. (2002). *Elementos de diseño de subestaciones eléctricas*. LIMUSA.
- [4] Alerich. W. (1993). *Control de motores eléctricos*. Diana
- [5] Kosow. I., et al. (1996). *Control de máquinas eléctricas*. Reverté.
- [6] Angulo, U. J., et al. (1999). *Microcontroladores PIC. Diseño práctico de aplicaciones. Primera parte*. Mc. Graw Hill.
- [7] Angulo, U. J., et al. (2000). *Microcontroladores PIC. Diseño práctico de aplicaciones. Segunda parte*. Mc. Graw Hill.
- [8] <http://www.microchip.com//>.

[9] Nasar. S., et al. (1982). *Electromecánica y máquinas eléctricas*. LIMUSA.

[10] Ruedas, T. A. (1994). *Tesis sobre el desarrollo y construcción de un sistema de medición de resistencia superficial en aislamientos externos*. Instituto Tecnológico de Pachuca.

[11] Millman. J., et al.(1984). *Microelectronics Digital and Analog Circuits and Systems*. Mc. Graw Hill.

[12] <http://www.schneider-electric.com//>.

[13] <http://www.fanox.com//>.

[14] HI-TECH Software. (2005). *The PIC-Compiler for the Microchip PICmicro family*. <http://www.htsoft.com//>.

[15] Opre. L., et al. (1987). *Circuitos integrados lineales y amplificadores operacionales*. Prentice-Hall.

[16] Microchip Inc. (2005). *MPLAB IDE Quick Start Guide*. Microchip Technology Inc MPLAB.

[17] Enríquez, H. G., et al. (1991). *Protección de instalaciones eléctricas, industriales y comerciales*. LIMUSA.

[18] Hayes, P. J. (1988). *Computer Architecture and Organization*. Mc.

Graw Hill.

[19] Tocci, J. R. (2001). *Digital Systems: Principles and Applications*.

Prentice-Hall.