

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO PARA MEDIR EL FACTOR DE POTENCIA DE UN MOTOR TRIFÁSICO DE INDUCCIÓN MEDIANTE MICROCONTROLADORES

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
TECNOLOGÍA EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL
TECNOLOGÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

ERIKA LOURDES GONZÁLEZ CASTAÑEDA

perikalou@hotmail.com

OSCAR ANDRÉS GUERRA MENSÍAS

andresinm@hotmail.com

Director: Ing. Jorge Eduardo Loza Cedeño

jorge.loza@epn.edu.ec

QUITO-Diciembre 2015

DECLARACIÓN

Nosotros, Erika Lourdes González Castañeda y Oscar Andrés Guerra Mensías, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es propia autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Erika Lourdes González Castañeda

Oscar Andrés Guerra Mensías

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Erika Lourdes González Castañeda y Oscar Andrés Guerra Mensías, bajo mi supervisión.

Ing. Jorge Eduardo Loza Cedeño

DIRECTOR

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a todos los que nos han apoyado en este proyecto de vida, en nuestras respectivas carreras, además de inculcarnos los valores que han sido base para afrontar este desafío con dignidad.

A nuestro director de tesis, Ing. Jorge Eduardo Loza Cedeño por su esfuerzo y dedicación, quien con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación nos ayudó a finalizar con éxito este proyecto y así culminar nuestros estudios y transmitirnos el valor de la responsabilidad.

También nos gustaría agradecer a todos nuestros profesores y compañeros que durante toda nuestra carrera profesional nos han apoyado en nuestras metas planteadas porque todos han aportado con un grano de arena en nuestro aprendizaje y conocimiento.

De corazón muchas gracias.

DEDICATORIA

A todas nuestras familias padres, tíos, abuelos, primos, y hermanos que a pesar de los problemas siempre estuvieron ahí con nosotros dándonos la confianza y la seguridad que necesitábamos, su apoyo fue importante y un motor para poder alcanzar un logro más en nuestras vidas.

Dedicamos de manera especial todo nuestro esfuerzo y logro a nuestras madres, porque creyeron en nosotros desde el inicio de nuestra formación profesional y porque con dedicación nos sacaron adelante, e inculcarnos ejemplos dignos de superación y entrega, porque en gran parte gracias a ustedes hoy podemos alcanzar nuestra meta y siempre estuvieron apoyándonos en los momentos más difíciles de nuestras carreras tanto económica, psicológica y moralmente.

CONTENIDO

RESUMEN.....	7
INTRODUCCIÓN.....	8

CAPÍTULO 1: Motores Trifásicos.....	10
1.1 Fundamentos teóricos de motores eléctricos.....	10
1.1.1 Motores eléctricos trifásicos.....	11
1.1.2 Partes del motor trifásico de inducción.....	13
1.1.3 Funcionamiento de los motores de inducción.....	15
1.1.4 Tipos de motores trifásicos de inducción.....	19
1.2 Potencia eléctrica.....	22
1.2.1 Factor de potencia	24
1.2.2 Medición del factor de potencia.....	27
1.2.3 Corrección del factor de potencia.....	29
 CAPÍTULO 2: Diseño e Implementación del Software.....	 31
2.1 Fundamentos teóricos de diseño del circuito.....	31
2.1.1 MikroC PRO.....	32
2.1.2 Proteus.....	33
2.2 Microcontroladores.....	37
2.2.1 Microcontroladores AVR.....	39
2.2.2 Arquitectura de los microcontroladores.....	39
2.3 Programación de los AVR.....	45
2.3.1 Principios del lenguaje C.....	46
 CAPÍTULO 3: Diseño del Equipo.....	 50
3.1 Diseño del circuito electrónico	50
3.1.1 Parte a Sensor de Voltaje.....	51
3.1.2 Parte b Sensor de Corriente.....	53
3.1.3 Parte c Reductor de Voltaje.....	54
3.1.4 Parte d Microcontrolador.....	55
3.2 Componentes.....	56
3.3 Diagrama de conexión del equipo a los tipos de motores de inducción....	60
3.4 Programa.....	63
 CAPÍTULO 4 Pruebas y Resultados.....	 65
4.1 Simulación de los circuitos en Proteus.....	67
4.1.1 Análisis de ondas obtenida.....	68
4.2 Esquema de medición del factor de potencia.....	74
CAPÍTULO 5 Conclusiones y Recomendaciones.....	77
5.1 Conclusiones.....	77
5.2 Recomendaciones.....	79
 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	 81

AMEXOS.....	82
ANEXO1.....	82
ANEXO2.....	83
ANEXO3.....	84
ANEXO4.....	85

RESUMEN

En todo el proceso de desarrollo de este equipo, como medidor de un parámetro eléctrico, tanto en el diseño del circuito electrónico del equipo como de la

programación del microprocesador, se lo hizo utilizando materiales factibles de conseguir para que su uso sea fácilmente manipulable en la medición del factor de potencia de un motor trifásico de inducción, para cargas balanceadas.

Capítulo 1: Se enfoca en los motores eléctricos trifásicos de inducción.

Capítulo 2: Trata acerca de los microcontroladores o microprocesadores y la forma de programación en lenguaje C.

Capítulo 3. Se enfoca en los diagramas del equipo el circuito, programación y conexión del equipo al motor.

Capítulo 4: Se muestra las pruebas y resultados tanto en el laboratorio de microcontroladores, electrónica de potencia y las pruebas reales de medición en los motores a disposición.

Capítulo 5: Conclusiones y Recomendaciones.

PRESENTACIÓN

Se pensó hacer este equipo pues en el mercado es una necesidad del sector industrial, que utilizan en su mayor parte motores trifásicos y que por su continuo uso pierden su eficiencia en Rendimiento y Potencia; por ello es de suma importancia tomar en cuenta la corrección del Factor de Potencia para tomar medidas en el proceso de mejorar su rendimiento.

La solución se implementó con microcontroladores ya que son de bajo costo y de fácil uso en las industrias; su diseño se basó en circuitos típicos utilizados en electrónica y programación.

Este equipo está diseñado para calcular el ángulo de desfase y el factor de potencia de un motor trifásico de carga balanceada; además de ser un equipo de fácil construcción nos brinda una eficiencia y precisión de más de noventa por ciento, lo cual asegura una correcta corrección del factor de potencia.

CAPÍTULO 1: MOTORES TRIFÁSICOS

1.1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE MOTORES TRIFÁSICOS DE INDUCCIÓN

Los motores trifásicos son máquinas que transforman la energía eléctrica trifásica que absorben por sus bornes, en energía mecánica al eje que da un movimiento rotatorio. La corriente que alimenta a este tipo de motores se da mediante una conexión directa a la red trifásica de alimentación y que además no posee un circuito auxiliar de arranque; por lo que la energía mecánica que provee depende de la potencia de entrada, que puede ser baja o alta.

Los motores según su conexión a la red eléctrica se clasifican en dos grupos:

- Motores eléctricos de corriente continua con excitación

Todos los motores de corriente continua así como los síncronos de corriente alterna tienen una utilización y aplicaciones específicas.

Los tipos de Motores de Corriente Continua son: Independiente, Serie, Shunt y Compuesta.

- Motores eléctricos de corriente alterna.

Se diseñan dos tipos básicos para funcionar con corriente alterna polifásica: los motores síncronos y los motores de inducción.

- | | |
|---------------------------|----------------------------------|
| ▪ Motores Síncronos | ▪ Motores Asíncronos o Inducción |
| ▪ Monofásicos | ▪ Trifásicos |
| - Con Bobinado Auxiliar | - Rotor Bobinado |
| - Espira en Cortocircuito | - Rotor en Cortocircuito |
| - Motores Universales | |

En general, las máquinas eléctricas pueden funcionar como:

- Motores, transformando la energía eléctrica en energía mecánica.
- Generadores, transformando la energía mecánica en energía eléctrica.

- Transformadores, aumentando o disminuyendo la tensión pero manteniendo la potencia.

Los motores de corriente alterna asíncronos (monofásicos o trifásicos) son de mayor aplicación por su facilidad de uso, poco mantenimiento y bajo costo de fabricación.

1.1.1 MOTORESELÉCTRICOS TRIFÁSICOS



*Fig. N°1: Motor de Inducción Industrial.
(Mcgraw Hill Motores Trifásicos, pág. 289)*

“El motor asíncrono fue creado en su forma más simple por Galileo Ferraris y Nikola Tesla en 1885-86. Dos años más tarde se construyó una máquina con el rotor en forma de jaula de ardilla y el rotor de bobinado se desarrolló a principio del S. XX”.(Motores Eléctricos, Vallejo Fernández, pág. 3)

Este tipo de motores son conocidos también como motores asíncronos; en estos la corriente es conducida a uno de sus devanados normalmente al rotor.

La corriente que circula por el devanado del rotor corresponde a la fuerza electromotriz inducida por el campo giratorio; por lo tanto se los conoce igualmente como motores de inducción. Se denomina motores asíncronos o de inducción debido a que el rotor y el campo magnético provocado por el estator tienen una velocidad desigual.

Otro término para describir el movimiento relativo de estos motores es el deslizamiento (s), que es la velocidad relativa expresada sobre la base de la velocidad sincrónica, y que puede ser expresado por unidad o en porcentaje.

$$s = \frac{n_{sinc} - n_{Motor}}{n_{sinc}}$$

Donde: n_{sinc} = Velocidad sincrónica
 n_{Motor} = Velocidad del motor

$$\rightarrow n_{Motor} = (1 - s) n_{sinc}$$

Y a partir de la expresión:

$$n_{sinc} = \frac{120 f_e}{P}$$

Donde: f_e = Frecuencia industrial
 P = Número de polos

Se obtendría:

$$n_{Motor} = \frac{120 f_e (1 - s)}{P}$$

Estas ecuaciones son útiles en la deducción del par del motor de inducción y en las relaciones de potencia.

$$P = M \omega$$

Dónde: P = Es la potencia (W)
 M = Es el par motor (Nm)
 ω = Es la velocidad angular (rad/s)

El motor trifásico de inducción se considera como motor industrial, a causa de la sencillez de su construcción, fortaleza en el rotor tanto en bajas como en altas potencias y por su seguridad de funcionamiento.

En la actualidad más del 80% de los motores eléctricos utilizados en la industria son de este tipo, trabajando en la mayoría de casos a velocidad prácticamente constante y gracias al perfeccionamiento del control por la electrónica de potencia en los inversores y ciclo convertidores. En los últimos años está aumentando considerablemente la utilización de este tipo de motores con velocidades variables.

1.1.2 PARTES DEL MOTOR TRIFÁSICO DE INDUCCIÓN

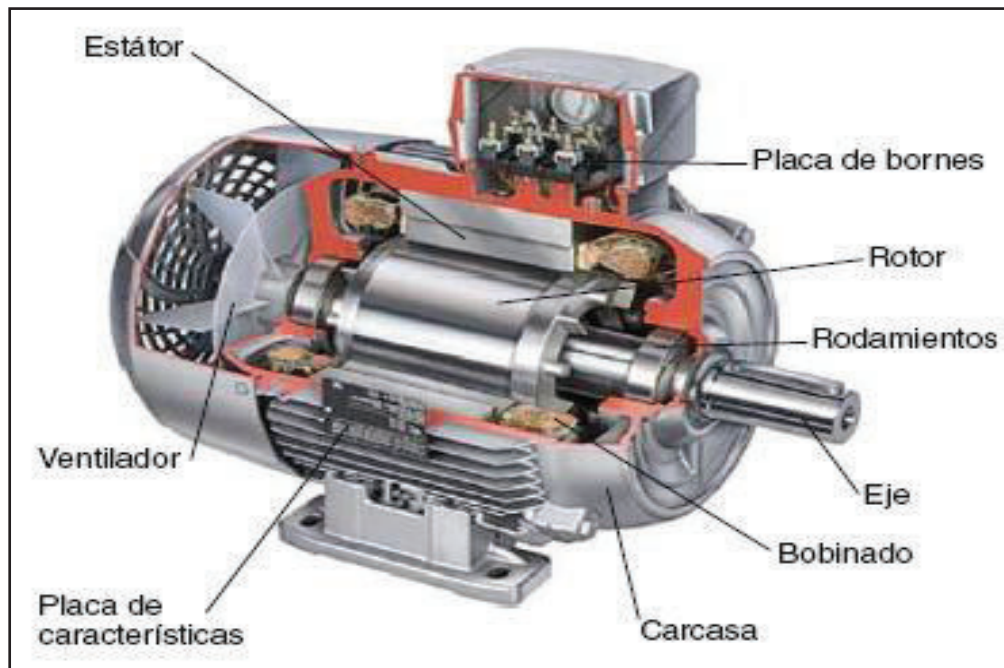


Fig. N° 2: Partes Principales de un Motor de Inducción Trifásico
(Mcgraw Hill Motores Trifásicos, pág. 289)

Los motores de inducción constan de dos partes principales:

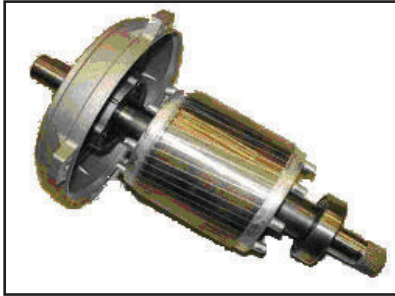
El Estator



Fig. N°3: Estator de un Motor Trifásico.
(http://images.jr-international.fr/images_jr/jr/DELTA4BST.jpg)

Es la parte fija de la máquina, constituido por una corona de chapas magnéticas aisladas entre sí por medio de barniz, ranuras internas sujetas a una carcasa, fabricada por lo general con fundición de hierro o aluminio. En las ranuras del estator se encuentra un devanado con cierto número de fases para igualar a la red eléctrica que alimenta el motor.

El Rotor



*Fig. N° 4: Rotor de un Motor Trifásico
(wikipedia.org/wiki/Squirrel-cage_rotor)*

Es la parte móvil de la máquina, constituido por chapas magnéticas acumuladas directamente sobre el eje de la máquina que presenta una serie de ranuras internas que se encuentra el devanado del rotor. El eje se apoya en unos rodamientos de acero para evitar rozamientos y sale al exterior para transmitir el movimiento. Los extremos de los bobinados van hacia las placas de los bornes y el rotor lleva acoplado un ventilador para refrigeración

Según su construcción, se pueden distinguir dos formas de rotor:

- Primer Caso: Cuando el cilindro se introduce en el interior del anillo, para girar hay que dotarlo de un entrehierro constante y anillo que disponen de ranuras en su parte interna además de ubicar el bobinado inductor, que se envuelve externamente de una pieza metálica con soporte llamada carcasa.
- Segundo Caso: El cilindro se adosa al eje del motor y puede estar ranurado en su superficie para colocar el bobinado inducido, o bien se le incorporan conductores de gran sección soldados a anillos del mismo material en los extremos del cilindro similar a una jaula por eso se le denomina jaula de ardilla.

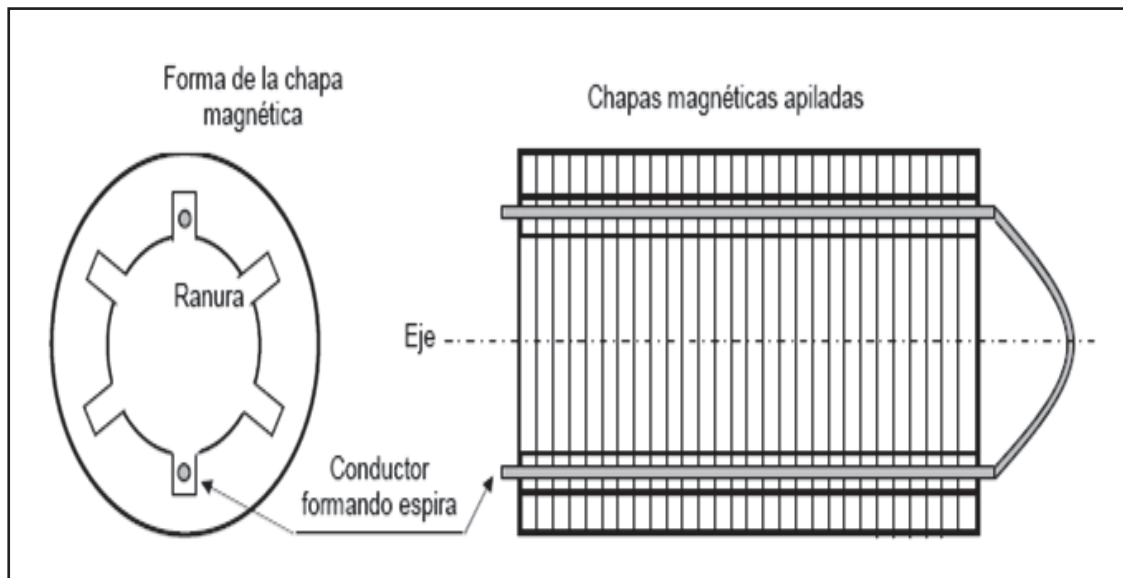


Fig. N° 5: Estructura de un rotor.
(Motores de Inducción, Ing. Julio Álvarez, pág. 160)

Una variedad de éste es la denominada doble jaula de ardilla posee dos jaulas concéntricas, la jaula externa ubicada más cerca de la boca de la ranura presenta pequeña inductancia de dispersión y elevada resistencia mientras que la interna del fondo de las ranuras del rotor presenta una resistencia e inductancia alta.

1.1.3 FUNCIONAMIENTO DE LOS MOTORES DE INDUCCIÓN

El funcionamiento es más complejo que el de los motores de corriente continua. Se basa en la acción que ejerce sobre el rotor un campo magnético giratorio producido por el devanado estatórico.

Por norma general, los motores de inducción disponen en los bornes de seis terminales de los devanados, lo que permite que los devanados se puedan conectar en estrella o en triángulo. El campo magnético giratorio en una máquina eléctrica trifásica se genera en tres devanados que se encuentran dispuestos desfasados entre sí 120° geométricos. Cada uno de ellos está conectado a una fase de una red eléctrica trifásica.

Explicación del Movimiento Giratorio

Como se puede observar en la Fig. 6, el bobinado trifásico alimentado por corriente alterna, el campo magnético producido tiene valor constante pero giratorio con velocidad de sincronismo. La resultante del flujo va ocupando las posiciones del sentido de la corriente que va tomando los conductores y el ciclo de la corriente se divide en seis partes iguales que se pueden denotar en tres instantes explicables.

Campos Magnéticos Giratorios

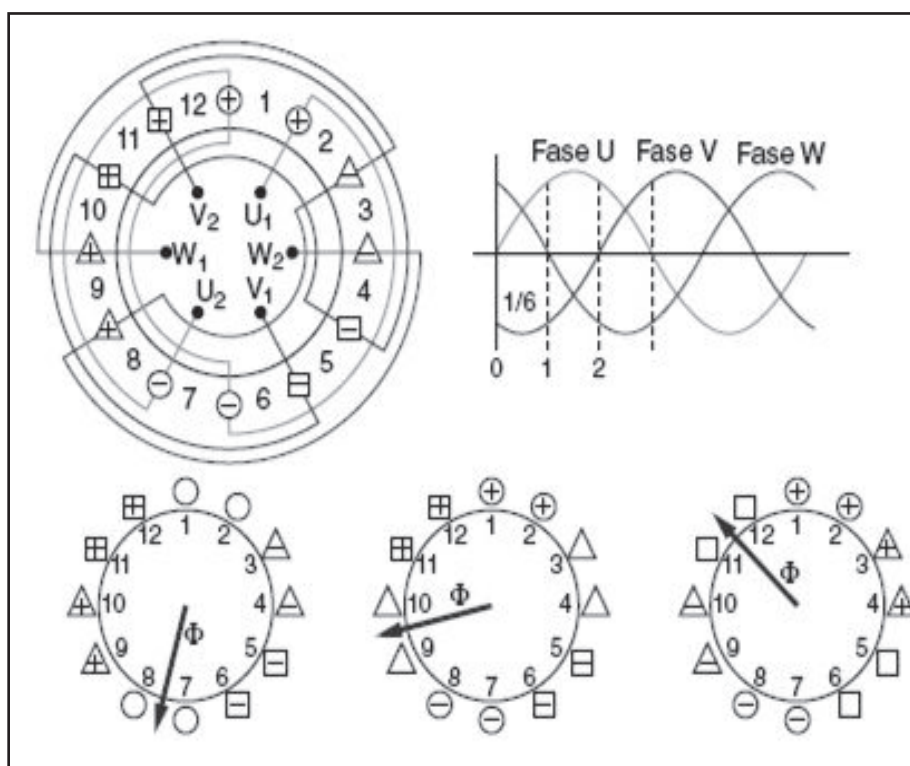


Fig. N° 6: Fase del campo magnético.
(Mcgraw Hill Motores Trifásicos, pág. 290)

- En el Instante 0:
La fase U tiene valor cero, la fase V tiene valor negativo y la fase W tiene valor positivo por lo tanto la corriente circula desde V_1 hasta V_2 por lo que la corriente circula desde W_1 hasta W_2 . En el bobinado se crea una bobina ficticia a la que aplicando la regla del sacacorchos nos da en ese instante, la resultante del flujo se sitúa en las ranuras 7 y 8.

- En el Instante 1

Vemos que la fase U tiene valor positivo, la fase V sigue teniendo valor negativo y la fase W tiene valor positivo, por lo tanto la resultante del flujo se sitúa entre las ranuras 9 y 10 que da en el tiempo transcurrido un avance de un sexto en la circunferencia desde el instante 0 al 1, corresponde al periodo de la corriente.

- En los otros Instantes

Si vamos aplicándolo sucesivamente a los demás instantes podemos observar en el grafico que de uno a otro instante siempre avanza un sexto de vuelta igual al tiempo que transcurre de un instante a otro periodo de la corriente, lo que nos indica que el flujo es giratorio y su velocidad coincide con la velocidad del sistema de corriente alterna.

Arranque de los Motores Asíncronos

El factor más importante en el funcionamiento de los motores es el sistema de arranque que para motores de inducción se requiere una corriente elevada que puede provocar una caída de tensión en los otros consumos de la red de alimentación del motor no es lo suficientemente grande.

En el arranque de motores conectados directamente a la red eléctrica la corriente inicial puede llegar a ser 6 veces superior a la original, y su par de arranque inicial 1,5 veces mayor que el nominal. Para evitar este incremento de la corriente y del par se suelen utilizar diversos sistemas de arranque que limitan la corriente en el instante inicial

Para la reducción de la tensión aplicada en los bornes del estator del motor en el momento de arranque se emplean los siguientes métodos.

- Impedancia estatórica.
- Resistencias en el circuito rotórico
- Autotransformador.
- Arranque estrella-triángulo.

Arranque con Impedancia en el Estator

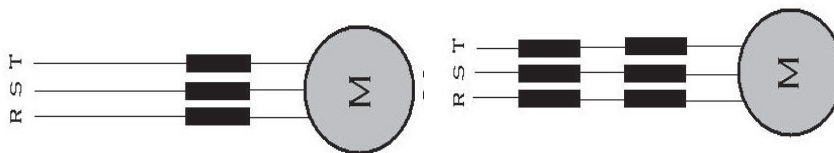


Fig. N° 7: Arranque con Impedancia en el Estator
(<http://e-ducativa.catedu.es>)

En este tipo de arranque se busca disminuir la tensión en los bornes del estator por medio de la inclusión de resistencias; en el momento del arranque, todas están conectadas y cuando el rotor adquiera velocidad se irán desconectando paulatinamente hasta adquirir la velocidad nominal.

Arranque por Inserción de Resistencias en el Circuito Rotórico



Fig. N° 8: Arranque con Autotransformador
(<http://e-ducativa.catedu.es>)

En los motores de anillos rozantes se puede limitar la corriente de arranque por medio de la inclusión en el circuito rotórico de resistencias que posteriormente se van excluyendo a medida que el motor gane velocidad.

Arranque con Autotransformador

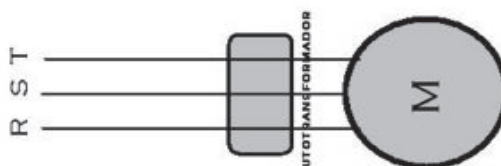


Fig. N° 9: Arranque con Autotransformador
(<http://e-ducativa.catedu.es>)

Se coloca un autotransformador entre el motor y la red para modificar la tensión en los devanados del estator. Al igual que en el caso anterior, el proceso de arranque puede tener varios tiempos. Este tipo de arranque precisa de una serie de equipos de maniobra de precio elevado, por lo que su utilización sólo se encuentra justificada en el caso de motores de grandes potencias.

Arranque Estrella-Triángulo

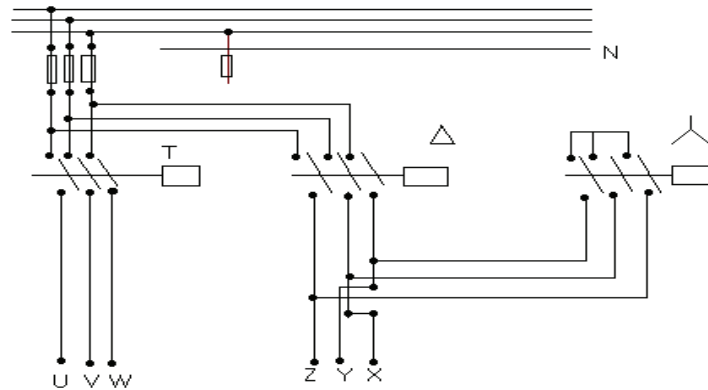


Fig. N° 10: Arranque con Autotransformador
(<http://e-ducativa.catedu.es>)

Este arranque se lleva a cabo en aquellos motores que en su caja de conexiones tienen disponibles los seis terminales correspondientes a los devanados de las tres fases del estator, que consiste en conectar en el momento del arranque los devanados en forma de estrella. De manera que la tensión aplicada a cualquiera de los devanados del motor será la tensión de fase; y cuando el motor adquiera velocidad se conectan los devanados en triángulo, así la tensión aplicada a cada uno de los devanados del estator es la tensión de línea.

1.1.4 TIPOS DE MOTORES TRIFÁSICOS DE INDUCCIÓN

Como se ha mencionado antes, los motores de inducción son aquellos que la velocidad de giro del rotor es algo inferior a la del sincronismo que podemos encontrar tanto monofásicos y trifásicos

La constitución y el principio de funcionamiento se han expuesto en los párrafos anteriores que corresponden a los motores con bobinado inductor colocado en el estator formado por tres bobinados independientes desplazados 120 grados eléctricos entre si y alimentados por un sistema eléctrico trifásico de corriente alterna

Los podemos encontrar de dos tipos:

a) Rotor en Cortocircuito

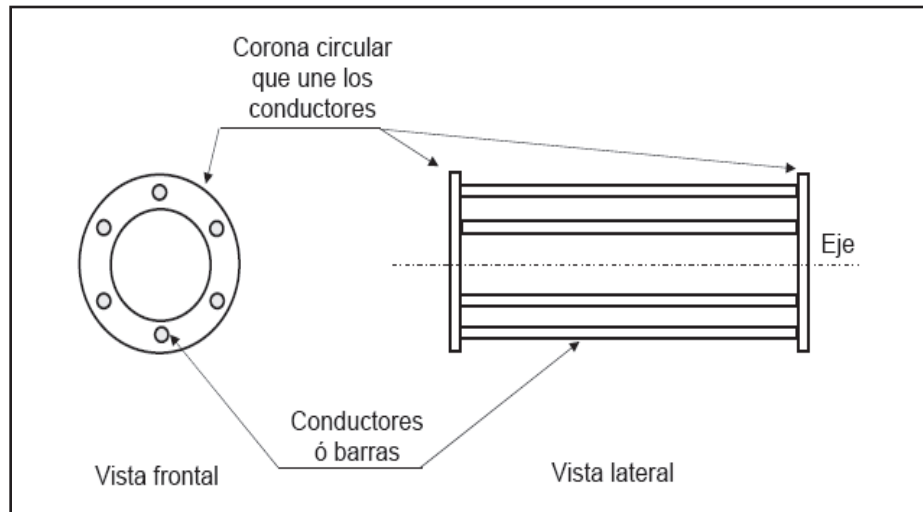


Fig. N° 11: Rotor en Cortocircuito.
(Motores de Inducción, Ing. Julio Álvarez, pág. 171)

Este tipo de motor tiene construcción sencilla, funcionamiento más seguro y de fabricación económica. Su único inconveniente es el de absorber una gran intensidad de corriente en el arranque o la tensión de funcionamiento. En el momento del arranque este motor acoplado directamente a la red presenta un momento de rotación de 1,8 a 2 veces el del régimen con la intensidad absorbida; en el arranque toma valores de 5 a 7 veces la nominal.

Su puesta en marcha se realiza de una forma simple y sencilla mediante un interruptor manual tripolar. Estos interruptores han de estar diseñados para la intensidad del motor.

La relación entre la intensidad de arranque y plena carga, se regula mediante normas electrónicas específicas de los motores que están alimentados desde una red pública de alimentación con potencias superiores a 0.7 kW. Los motores disponen de un sistema de arranque que disminuya la intensidad de corriente, ya que puede hacer que salten las protecciones o bien perjudicar las líneas que las alimentan. Por lo que se emplea los sistemas de arranque.

b) Motor de Rotor Bobinado

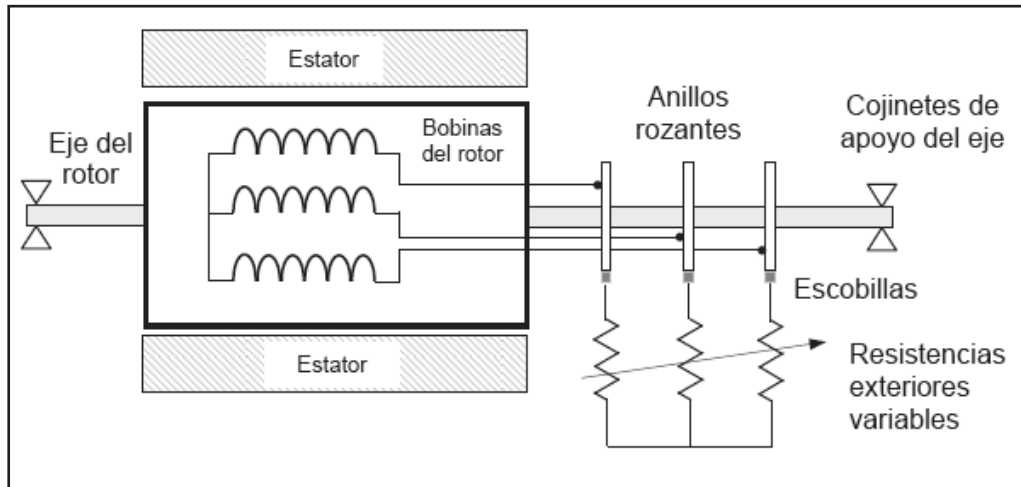


Fig. N°12: Motor de rotor bobinado.
(Motores de Inducción, Ing. Julio Álvarez, pág. 170)

En este tipo de motores el rotor van ranuras igual que el estator, se colocan en la bobina normalmente en estrella y los extremos libres se conectan a tres anillos de cobre aislados y solidarios con el eje del rotor. Sobre los anillos se colocan el porta escobillas y a su vez se conectan a la placa de bornes del motor por eso aparecen nueve bornes

La gran ventaja que presentan estos motores es su par de arranque ya que puede alcanzar hasta 2.5 veces el par nominal mientras que la intensidad del arranque es similar a la del par del arranque. Para realizar la puesta en marcha es necesaria la conexión de un reóstato de arranque conectado en serie con el bobinado del rotor que alcanza la velocidad de régimen y se puentean los anillos en estrella.

Estos motores tienen una aplicación muy específica y dada su constitución necesitan de un mantenimiento más exhaustivo que los del rotor en cortocircuito.

1.2 POTENCIA ELÉCTRICA

La potencia eléctrica es la relación de paso de energía de un flujo por unidad de tiempo o sea la cantidad de energía entregada o absorbida por un elemento en un tiempo determinado. La unidad en el S.I. es el Vatio [w] o el Kilovatio[Kw], por lo que la energía consumida por un dispositivo eléctrico se mide en vatios-hora o en kilovatios-hora.

La electricidad se puede producir mecánica, químicamente o también por la transformación de la luz en las células fotoeléctricas y se puede almacenar. La corriente eléctrica fluye en un circuito, ésta puede transferir energía cuando realiza trabajo mecánico o termodinámico y los dispositivos convierten la energía eléctrica de muchas maneras útiles, como calor, movimiento, sonido o procesos químicos.

Las empresas que suministran energía eléctrica a la industria y los hogares, facturan en kilovatios-hora (Kwh). La potencia de todos los aparatos eléctricos junto con la tensión de alimentación son datos que se encuentran en una placa metálica en la parte trasera de los equipos. En los motores, esa placa se halla colocada en uno de sus costados; y la potencia viene dada en [hp] (caballos de fuerza). Es importante conocer la relación: 1 [hp] = 746 [w]

La representación matemática de la potencia activa en un sistema trifásico equilibrado (las tres tensiones de fase tienen idéntico valor y las tres intensidades de fase también coinciden) está dada por la ecuación:

Potencia Activa (P) **Siendo:** I : la intensidad de línea.

$$P_{3\phi} = \sqrt{3} I V \cos \phi \quad \mathbf{V}: \text{la tensión de línea.}$$

Potencia Reactiva (Q) ϕ : el Ángulo de fase entre intensidad y tensión de línea.

$$Q_{3\phi} = \sqrt{3} I V \sin \phi$$

Potencia Aparente (S):

$$S_{3\phi} = \sqrt{3} I V \cos \phi + \sqrt{3} I V \sin \phi \quad S = P_x + jQ$$

Un sistema trifásico puede considerarse como tres circuitos monofásicos, por lo que la potencia total instantánea transferida a un circuito trifásico será la suma de las potencias instantáneas transferidas a cada uno de los tres sistemas monofásicos que lo forman.

La potencia instantánea en un sistema trifásico balanceado es igual a tres veces la potencia media de una de sus fases y su valor es tres veces la potencia de una fase.

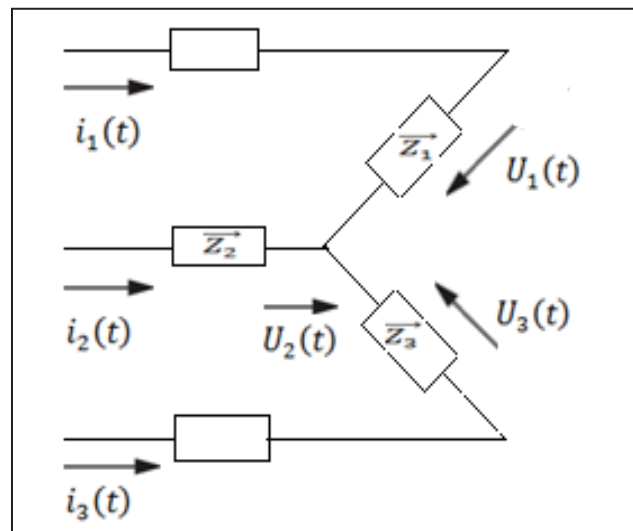
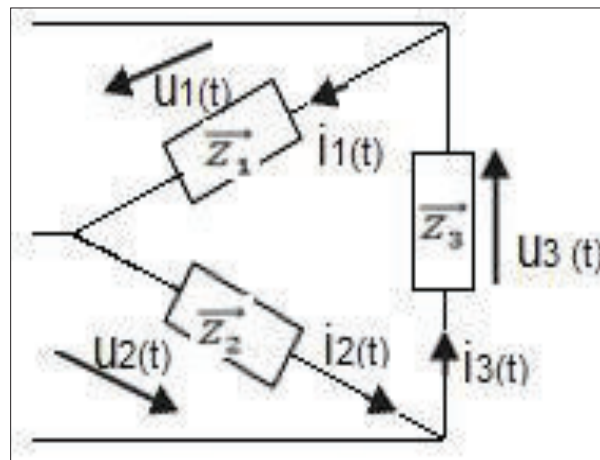


Fig. N°13: Corrientes y Voltajes de un sistema trifásico.
Propia Autonomía

1.2.1 FACTOR DE POTENCIA

Las cargas industriales son de carácter reactivo a causa de la presencia principalmente de motores. Este carácter reactivo obliga que junto al consumo de potencia activa (KW) se sume el de una potencia reactiva (KVAR), las cuales en su conjunto determinan el comportamiento operacional de dichos motores. Su valor depende de las características del propio circuito, y es un parámetro importante en instalaciones con una importante demanda de potencia eléctrica.

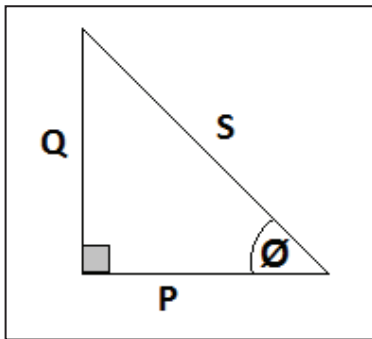
Todas estas cargas industriales necesitan de corrientes reactivas para su operación. Esta potencia reactiva ha sido tradicionalmente suministrada por las empresas de electricidad, aunque puede ser suministrada por las propias industrias. Al ser suministrada por las empresas de electricidad deberá ser producida y transportada por las redes, ocasionando necesidades de inversión en capacidades mayores de los equipos y redes de transmisión y distribución.

Características del Factor de Potencia Trifásica.

- Se define factor de potencia de un circuito de corriente alterna, como la relación entre la potencia activa (P) y la potencia aparente (S).
- De acuerdo con su definición, el factor de potencia (f_p) es adimensional y solamente puede tomar valores entre 0 y 1.
- Es el coseno del ángulo que forman los fasores de la intensidad y el voltaje, designándose en este caso como $\cos \emptyset$.
- El Coseno del ángulo entre la tensión y la corriente cuando la forma de onda es sinusoidal pura en el caso de motores trifásicos balanceados.
- En un circuito resistivo puro recorrido por una corriente alterna, la intensidad y la tensión están en fase ($\emptyset_{VI}=0$), esto es, cambian de polaridad en el mismo instante en cada ciclo, siendo el factor de potencia la unidad.
- Por otro lado en un circuito reactivo puro, la intensidad y la tensión están en cuadratura ($\emptyset_{VI} = 90^\circ$), dando como resultado un valor igual a cero.

Potencia Activa(P)	Potencia Reactiva (Q)	Potencia Aparente (S)
Medida en watts (W), representa la <i>capacidad del circuito</i> para realizar un trabajo en un tiempo dado.	Medida en voltamperes reactivos (VAR), es una medida de la energía almacenada y reflejada hacia la fuente en cada ciclo de la CA.	Medida en voltamperes (VA), producto de la tensión por la intensidad, será igual o mayor que la potencia activa

De acuerdo con el triángulo de potencias



$$f_p = \cos \varnothing = \frac{P}{S}$$

Fig. N° 14: Triángulo de potencias.
Autoría propia

En el caso de una onda perfectamente senoidal, P, Q y S pueden ser expresadas como vectores que forman un triángulo vectorial tal que: Si \varnothing es el ángulo de fase entre la corriente y la tensión. Los factores de potencia son expresados normalmente como "adelanto" o "retraso", para indicar el signo del ángulo de fase. El factor de potencia viene determinado por el tipo de cargas conectadas al suministro eléctrico.

Éstas pueden ser de naturaleza: Resistiva, Inductiva, Capacitiva

– Cuando el factor de potencia es igual a 0, la energía que fluye es enteramente reactiva esto significa que la corriente y la tensión cambian de polaridad el mismo instante cada ciclo.

– Las cargas inductivas, tales como transformadores, motores de inducción y, en general, cualquier tipo de inductancia generan potencia reactiva con la intensidad retrasada respecto a la tensión.

– Cuando el factor de potencia es igual a 1, toda la energía suministrada por la fuente es consumida por la carga.

Si se conecta una carga puramente resistiva a una fuente de suministro eléctrico, la corriente y el voltaje cambiarán de polaridad en fase, el factor de potencia será 1 y la energía eléctrica fluirá en una sola dirección a través de la red en cada ciclo.

Las cargas capacitivas, tales como bancos de condensadores o cables enterrados, generan potencia reactiva con la intensidad adelantada respecto a la tensión. Ambos tipos de cargas absorberán energía durante parte del ciclo de corriente alterna y solamente devolverán energía a la fuente durante el resto del ciclo.

- Si el f_p está cercano a la unidad, se dirá que es un circuito fuertemente resistivo por lo que su f_p es alto
- Si está cercano a cero que es fuertemente reactivo, su f_p es bajo.
- Cuando el circuito sea de carácter inductivo, caso más común, se hablará de f_p en retraso, mientras que se dice en adelanto cuando es de carácter capacitivo.

1.2.2 MEDICIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA

El principio de funcionamiento de un vatímetro de inducción se basa en que las formas de onda, tanto del voltaje como de la corriente, son totalmente senoidales.

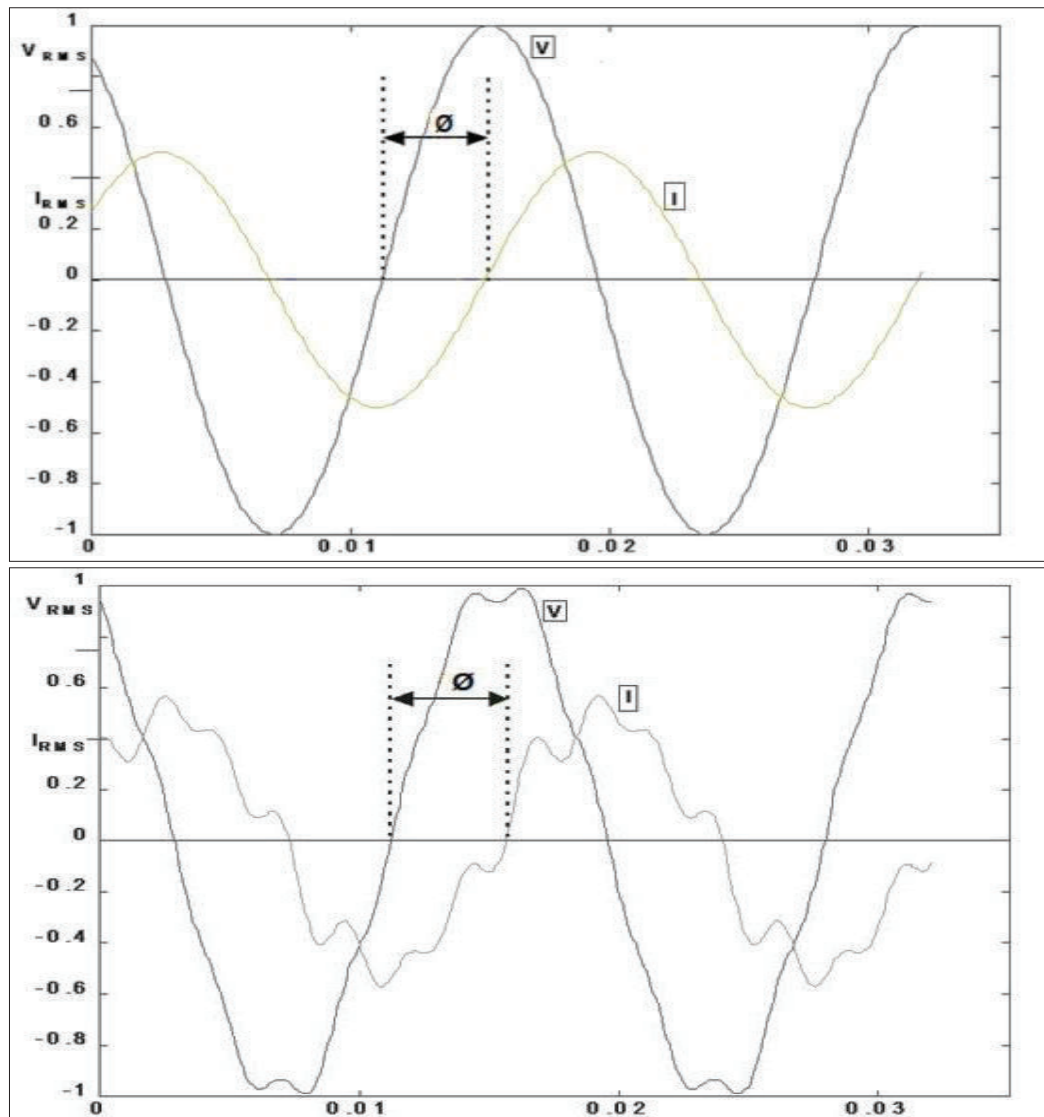


Fig. N°15: Señales senoidales de Voltaje y Corriente de una carga
Imagen de textos autónomos

Medición de Potencia (P) y Factor de Potencia (fp)

Este método es muy práctico porque en ocasiones no se tiene un vatímetro a la mano o bien no se lo puede adquirir por el costo tan elevado, pues bien existe un método práctico que solo necesita una resistencia, un amperímetro y aplicar unas fórmulas matemáticas.

Existen dos métodos para la medición de fase y son los siguientes:

Medición Directa: Generalmente se usa para medir el factor de potencia (fase entre una tensión y una corriente) y se obtiene por lectura directa de un instrumento que mide esta variable.

Medición Indirecta: Se miden otras variables que están relacionadas con el ángulo de fase entre dos señales y luego por cálculo se obtiene el ángulo de fase correspondiente.

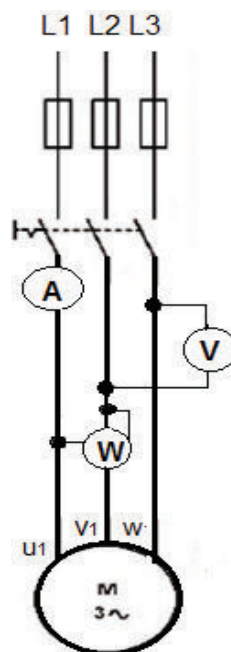


Fig. N° 16: Medición
(Autoría Propia)

1.2.3 CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA

Mejorar el factor de potencia resulta práctico y económico, por medio de la instalación de condensadores eléctricos estáticos, o utilizando motores sincrónicos disponibles en la industria. Es aconsejable que en una instalación eléctrica el factor de potencia sea alto y algunas empresas de servicio electro-energético exigen valores de 0,8 y más.

En la práctica los circuitos no pueden ser puramente resistivos ni reactivos, observándose desfases, más o menos significativos, entre las formas de onda de la corriente y el voltaje.

Se realiza los registros para cada fase y para el total de la planta de la fábrica en Potencia Activa, Reactiva, Aparente, Voltaje y Energía (KWH). Los intervalos de medición recomendados durante la prueba son entre cada 5 y cada 15 minutos como máximo del ciclo completo de operación incluyendo descanso.

Por supuesto, a menores intervalos de medición, tendremos mayor exactitud en cuanto a la curva real de la industria que dependerá del tipo de empresa a registrar. Aquellas empresas donde sus ciclos de carga varían lentamente, podría extenderse el periodo de medición. Midiendo la energía activa y reactiva que consumen las instalaciones existentes, se puede calcular la potencia necesaria (KVAR) que deben tener los condensadores para lograr la compensación deseada.

El consumo de KW y KVA en una industria se mantienen inalterables antes y después de la compensación reactiva por la instalación de los condensadores, la diferencia es que al principio los KVAR que esa planta estaba requiriendo, debían ser producidos, transportados y entregados por la empresa de distribución de energía eléctrica,

Pero esta potencia reactiva puede ser generada y entregada de forma económica, por cada una de las industrias que lo requieran, a través de motores sincrónicos, almacenando la energía en bancos de capacitores, evitando a la empresa de distribución de energía eléctrica, generarla transportarla y distribuirla por sus redes.

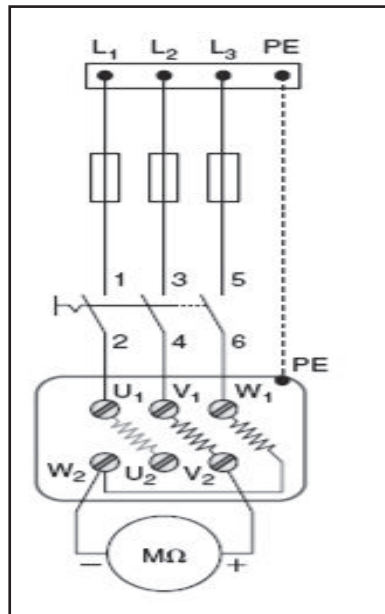


Fig. N°17: Diagrama de fuerza de un motor trifásico
(Mcgraw Hill Motores Trifásicos, pág. 290)

El motor consume sólo 60 A para su carga de trabajo. Pero la corriente de magnetización que requiere el motor es de 80 A por lo tanto el circuito de alimentación debe conducir: 100 A ($\sqrt{80^2 + 60^2} = 100\text{A}$). Por la línea de alimentación fluye la corriente de trabajo junto con la corriente no útil (corriente de magnetización).

Después de instalar un capacitor en el motor para satisfacer las necesidades de magnetización del mismo, el circuito de alimentación sólo tiene que conducir y suministrar 60 A al motor para que efectúe el mismo trabajo, ya que el capacitor se encarga de entregar los amperios restantes. El circuito de alimentación conduce ahora únicamente corriente de trabajo. Esto permite conectar equipo eléctrico adicional en el mismo circuito y reduce los costos por consumo de energía como consecuencia de mantener un factor de potencia adecuado.

CAPÍTULO 2: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE

2.1 FUNDAMENTOS TEORICOS DE DISEÑO DEL CIRCUITO

Para poder diseñar e implementar un programa se requieren conocimientos teóricos y prácticos en electrónica analógica / digital, circuitos combinacionales y programación en lenguaje C.

El esquema con microcontroladores va acompañado de un previo estudio del diseño del hardware, a fin de que el proyecto trabaje correctamente. Es necesario saber cuál será la función específica del microcontrolador y de sus pines, porque los datos pueden ser configurados a conveniencia, como entrada o como salida, de forma independiente antes de iniciar la programación.

Diseñar e Implementar un proyecto usando Microcontroladores, consiste en:

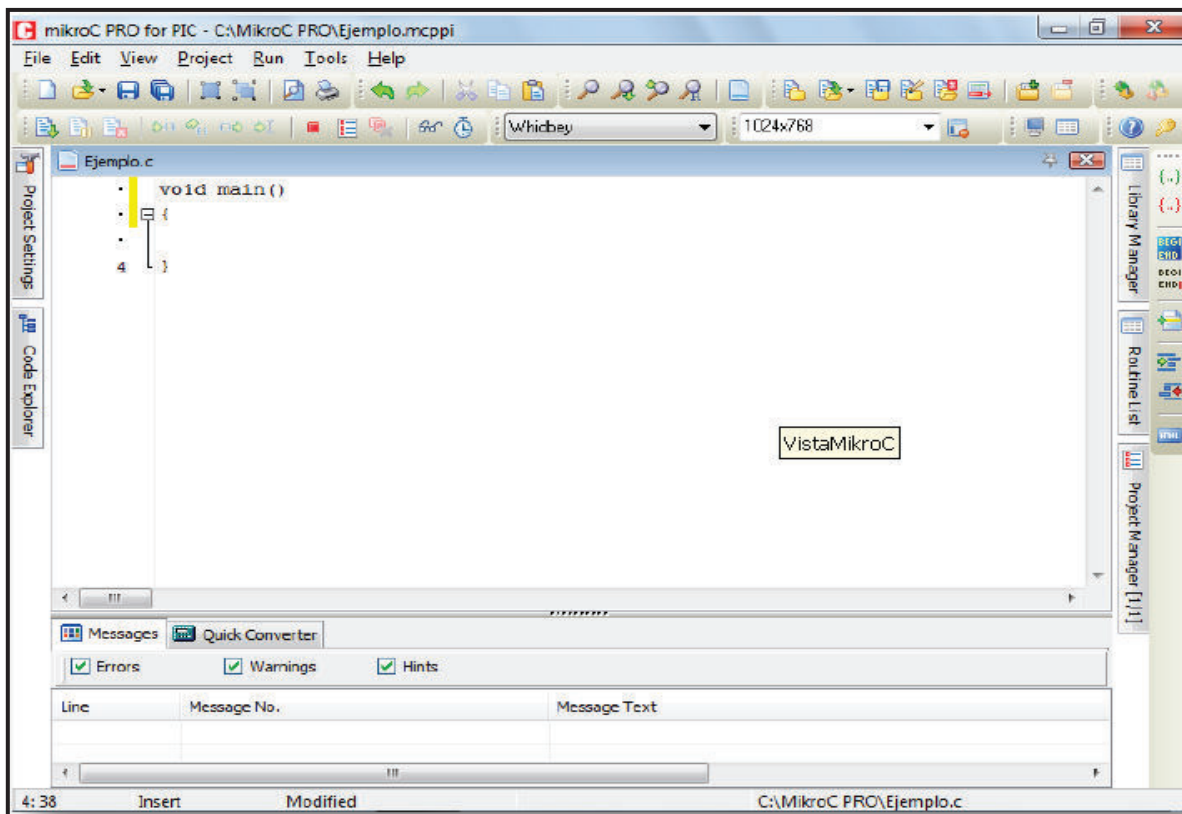
- Identificar el problema.
- Desarrollar un esquema sintetizando de todos los procesos.
- Crear un circuito electrónico que enfatice las funciones a realizar.
- Editar un programa específico.
- Compilar un programa de máquina.
- Programar eléctricamente el microcontrolador AVR.
- Continuar con el proceso de implementación del software.
- Finalizar con las pruebas de funcionamiento utilizando simuladores.

A pesar de que existen compiladores comerciales, un desarrollador puede adquirir un compilador practico de bajo costo, de estos existe amplia información publicada en Internet.

En nuestro proyecto utilizaremos el compilador MikroC PRO, el cual es un software libre desarrollado por Microchip para el desarrollo de programas

orientados a proyectos que usan como base los microcontroladores PIC y AVR; esta poderosa herramienta se complementa con otro paquete de software llamado Proteus, el cual es un programa licenciado que consta de dos subprogramas llamados ISIS y ARES que nos ayudan a simular, crear circuitos electrónicos y poder hacer pruebas en tiempo real para su posterior construcción con elementos electrónicos reales, asegurando su correcto funcionamiento.

2.1.1 MIKROC PRO



*Fig. N°18: Ventana principal de MikroC PRO
(Diseño y simulación de sistemas microcontrolados en lenguaje C, Clavijo Mendoza, pág 19)*

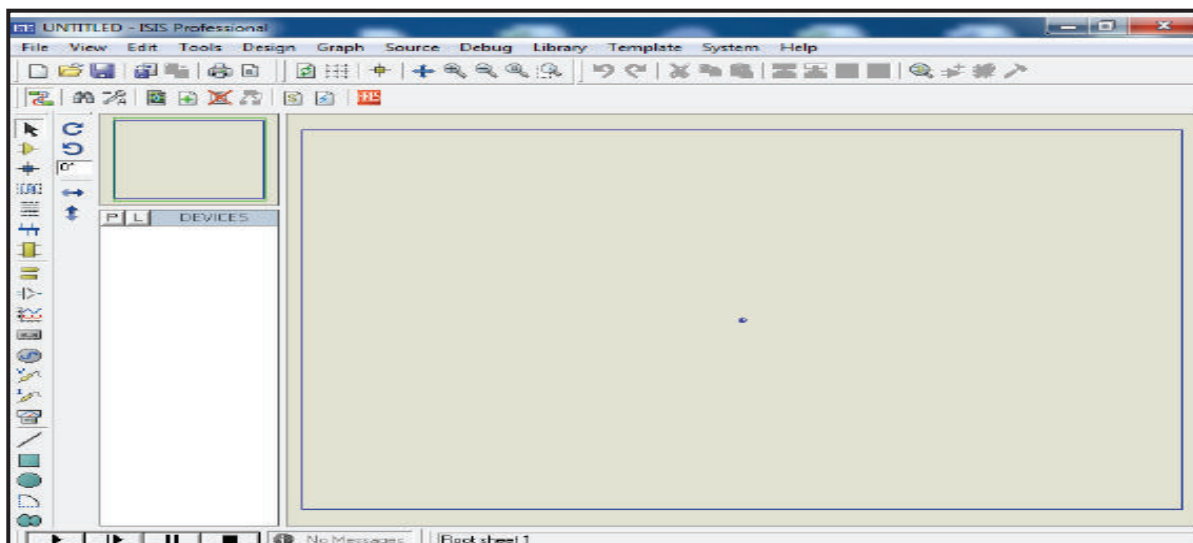
La creación de compiladores de alto nivel facilitó la creación de programas lógicos y diferentes lenguajes, como es el caso de MikroC PRO, que son paquetes de software con extensa variedad de herramientas facilitando la creación de proyectos y aplicaciones para los microcontroladores.

El estudio de este entorno de desarrollo es posible, debido a que el estudiante puede descargar una versión demo que tiene las mismas características de la versión completa; la única limitación es la dimensión del código de máquina que no puede exceder 2K bytes, sin embargo es una capacidad suficiente al tratarse de un pack de aprendizaje.

El compilador utiliza estructuras que facilitan la programación, optimiza las operaciones matemáticas y los procesos, por medio del uso de funciones predefinidas y no predefinidas (que el desarrollador puede crear), así como el uso de un conjunto de variables de tipo carácter, entero, y punto decimal.

El compilador crea automáticamente el código ensamblador y a su vez un código similar consignado en un archivo con extensión (.hex), con el mismo se puede realizar una simulación en computadora o en laboratorio. Este archivo fuente es el resultado final de la programación ya que contiene todas las ordenes y sentencias que se requiere para que el presente proyecto funcione.

2.1.2 PROTEUS



*Fig. N°19: Ventana principal de Proteus
(Captura de pantalla del programa Proteus)*

Está compuesto por dos aplicaciones que se describen a continuación:

Isis

Sirve para realizar esquemas de circuitos que abarca la mayoría de los componentes electrónicos que se encuentran disponibles en el mercado como son los circuitos integrados y los componentes (tanto pasivos como activos) que se pueden simular con fuentes de voltaje virtuales para comprobar su efectividad en la programación y en el circuito electrónico. ISIS nos ayuda a ir creando el diseño de nuestro circuito con mucha facilidad ya que por la amplia gama de librerías que contiene podemos seleccionar variedad de elementos electrónicos, fuentes de energía, aparatos de medición, etc.

Este programa también simula con precisión y hace posible realizar pruebas en computador para visualizar formas de onda, medición de voltajes, generación de ondas con aparatos similares a los que podemos encontrar en un laboratorio y así poder realizar alguna modificación, tanto en el circuito como en el programa de compilación.

Ares

Sirve para situar en forma esquemática y estética el final del circuito hecho en ISIS sobre un board virtual, para luego ser impresa en papel como son los fotográficos, transferibles o en acetato. Es importante tener en cuenta que para poder seleccionar cualquier elemento electrónico en el programa ISIS se debe estar seguro si la librería de donde se seleccionó el elemento la podemos encontrar en ARES, a fin de que ese elemento o encapsulado aparezca en el programa y así poder realizar la circuitería y que ningún elemento falte a la hora de crear la pista final. Los elementos de encapsulado de los integrados pueden encontrarse en la librería, junto con la proporción física de los demás componentes.

Esta aplicación cuenta también con una serie de procesos automatizados que generan acciones de auto ruteo y auto posicionamiento cuando el proyecto se carga desde ISIS; de lo contrario el posicionamiento y el ruteo debe hacerse manualmente.

Al manejar capas, se puede crear 2 capas; esto quiere decir que podemos hacer un circuito en dos caras (esto lo podemos ver sobre la bakelita), esta opción de dos caras o doble capa sirve cuando un circuito es demasiado complejo. Una vez impreso la circuitería se procede a obtener las pistas de conducción sobre la placa electrónica de cobre (bakelita).

Los pasos a seguir para obtener las pistas sobre la bakelita son los siguientes:

- Limpiar con alcohol la superficie de la bakelita (el lado que tiene cobre), para eliminar cualquier impureza.
- Si el lado de cobre ha sufrido algún efecto corrosivo u oxidación por el tiempo, se recomienda lijar la superficie (con lija de agua) para obtener un efecto brillante y rayado sobre el cobre; esto es para que las pistas se adhieran con facilidad.
- Se necesita una impresora a laser para imprimir las pistas. El papel a utilizar debe tener una característica brillante y resistente al calor (llamado termotransferible) de color blanco o de color azul; el más óptimo para una impresión de calidad es el de color azul. Si no se consigue este tipo de papel se puede imprimir también en papel fotográfico o acetato.
- Con la ayuda de una plancha común y corriente, vamos a transferir la pista impresa sobre la superficie de cobre; mediante el calor de la plancha la impresión a laser pasara del papel hacia la superficie de cobre.
- El programa ARES crea una capa de impresión de tal manera que al momento de soldar los elementos electrónicos no genere el efecto espejo y los elementos queden en un orden diferente, (esto es importante ya que todos los elementos electrónicos poseen pines y cada uno de estos pines tienen una función específica).
- Se debe tener en cuenta que la pista sobre la bakelita debe estar intacta y con los caminos visibles y completos: si es que esto falla y se quema la bakelita, esas pistas incompletas también faltaran en el circuito final y la

corriente eléctrica no podrá circular (se generara un circuito abierto), y al final no funcionará.

- Para evitar esto es recomendable repasar la pista impresa sobre la bakelita con marcador de tinta indeleble, se recomienda pasar de 2 a 3 veces para generar una mayor capa de película y que esa pista quede completa al momento del quemado de la bakelita.
- Una vez pasada la pista sobre la bakelita se podrá observar las pistas sobre el cobre con una película negra formando las pistas sobre el cobre, el siguiente paso será eliminar el cobre alrededor de las pistas.
- Para eliminar el cobre excedente nos ayudaremos de la química mediante una solución acida llamada cloruro-férrico (FeCl_3). Esta solución se consigue en cualquier electrónica por empaques de 40 gr; para el proyecto necesitaremos 2 fundas de 40 gr. de ácido.
- En un lugar abierto o ventilado colocaremos en un recipiente con agua hirviendo los dos paquetes de ácido, creándose una reacción química con el agua el cual emanara gases tóxicos. por lo que es necesario tener una vestimenta adecuada y el uso de mascarilla.
- Una vez terminada esta reacción se coloca la bakelita bajo esta solución acida que junto con ligeros movimientos del recipiente, hasta que el cobre excedente quede completamente eliminado.
- Eliminado el cobre excedente, retiramos la bakelita del recipiente (usando guantes) con cuidado de no derramar la solución y enjuagamos la bakelita con agua natural o con agua destilada; luego la secamos con un paño de microfibra para no dejar pelusas o impurezas sobre la bakelita.
- Para retirar la película de la pista sobre la bakelita, procedemos a limpiar con un paño empapado de alcohol o tinher con movimientos suaves hasta que se pueda visualizar la pista de cobre.

2.2 MICROCONTROLADORES

Un microcontrolador es un dispositivo electrónico encapsulado denominado un circuito de alto nivel de integración, llamado así por la cantidad inmensa de elementos electrónicos que pueden caber en el encapsulado del microcontrolador.

Con el pasar de los años y a una velocidad impresionante, este microcontrolador ha facilitado la realización de varios proyectos debido a los precios y a la reducción en espacio físico para la creación de circuitos. La optimización del espacio físico se logró gracias a la creación de la nano electrónica, el desarrollo de los transistores y el manejo de almacenamiento de datos en equipos cada vez más pequeños, este ejemplo lo podemos ver con más claridad en una flash memory o pen-drive; unos años atrás para almacenar información se requería de una infraestructura grande, pero podemos llevar la misma cantidad de datos en equipos pequeños y de bolsillo.

La forma de trabajar de un micro-controlador es mediante la ejecución de órdenes previamente grabadas en memoria, esto quiere decir que un microcontrolador es un circuito integrado programable. Las partes principales de un micro-controlador son:

- CPU (Unidad Central de Proceso).
- Memoria Interna.
- Periféricos (in/out).

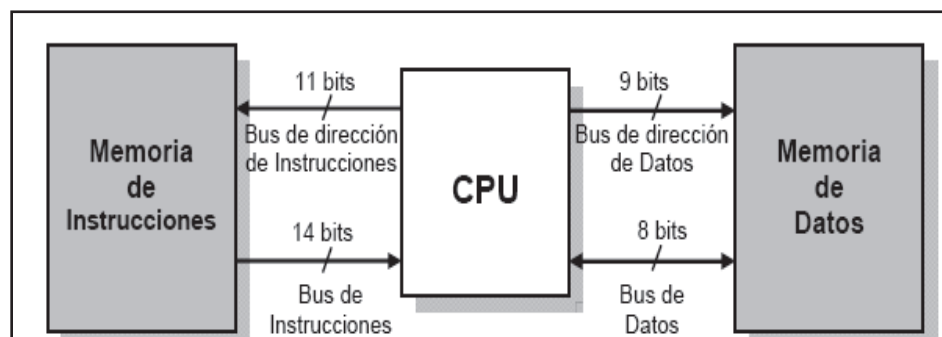


Fig. N°20: Estructura básica de un microcontrolador

(<http://4.bp.blogspot.com/BBL8ZBdHSs0/T6tBj4QJfSI/AAAAAAAAAZg/pAr8cLGx4XQ/s400/Screenshot-2.png>)

Se puede decir que estos dispositivos se asemejan a una computadora pero de tamaño muy reducido, pues cuentan con casi los mismos recursos; es decir, poseen memoria de programa, memoria RAM, memoria de datos, puertos de entrada o salida, temporizadores y en algunos casos cuentan con recursos adicionales como convertidores A/D (analógico/digital) y viceversa, comparadores, USART (Universal Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter), comunicación serial, entre otros.

Con todas estas características es considerado el principal elemento de un circuito electrónico ya que el microcontrolador es el encargado de dirigir todos los procesos en base a las instrucciones de programa o rutinas que definen funciones específicas de control, donde las mismas serán ejecutadas y programadas en lenguaje Basic para microcontroladores AVR.

El encapsulado de los microcontroladores se los clasifica en:

- DIP (Dual in-line package).
- LQFP (Low-profile Quad Flat Package).
- PGA (Pin grid array).
- PLCC (Plastic Leaded Chip Carrier).
- QFP (Quad Flat Package).

Los circuitos integrados se distribuyen en una variedad de encapsulados que se nombran en acrónimos según su forma, tipo de pines, localización y tipo de montaje. Los primeros encapsulados eran cerámico plano o circuito de compresión, un diseño básico de la electrónica militar por muchos años.

Luego aparecieron los encapsulados pasantes DIP, que es el encapsulado en que la gente más comúnmente piensa al imaginar un microchip; y por último aparecieron los encapsulados de montaje superficial. Siempre es importante revisar las hojas de datos, ya que muchas veces las propiedades y características de un chip varían de encapsulado en encapsulado.

Los microcontroladores se pueden adquirir comercialmente en diferentes casas de fabricantes como: Atmel Freescale, Motorola, Intel, Philips, Microchip.

2.2.1 MICROCONTROLADORES AVR



Fig. N°21: Microcontrolador AVR
<https://prezi.com/w5unnw0x1obx/copy-of-microcontrollers/>

Los AVR son una familia de microcontroladores RISC del fabricante Atmel posee un diseño simple y fácil programación.

Se dividen en los siguientes grupos:

- **AT90S:** tipos obsoletos, los AVR's clásicos.
- **ATxmega:** procesadores muy potentes con 16 a 384 Kb de memoria flash programable, encapsulados de 44, 64 y 100 pines (A4, A3, A1).
- **ATmega:** AVR grandes con 4 a 256 Kb de memoria flash programable, encapsulados de 28 a 100 pines, conjunto de instrucciones extendido.
- **ATtiny:** AVR pequeños con 0,5 a 8 Kb de memoria flash programable, encapsulados de 6 a 20 pines y un limitado set de periféricos.
- **AT90USB:** ATmega integrado con controlador USB.
- **AT90CAN:** ATmega con controlador de bus CAN.
- **Tipos especiales:** algunos modelos especiales, por ejemplo, para el control de los cargadores de baterías, pantallas LCD y los controles de los motores.

Clasificación de micro controladores AVR: Álvaro Ordoñez. (2013). Micro controladores AVR. 2015, de Slideshare Sitio web: <http://es.slideshare.net/abemen/microcontroladores-avr-26201965>

2.2.2 ARQUITECTURA DE LOS MICROCONTROLADORES

En las arquitecturas habituales de microprocesadores podemos encontrar la arquitectura John Von Neumann y la arquitectura Harvard.

La arquitectura John Von Neumann en su diseño consta de una memoria principal, en la cual se almacenan tanto datos como instrucciones. El acceso a esta memoria se lo hace a través de un sistema único de buses de direcciones, datos y control; esta arquitectura ahorra líneas de entrada y salida abaratando costos para los diseñadores o ensambladores de placas, y es la más utilizada en ordenadores.

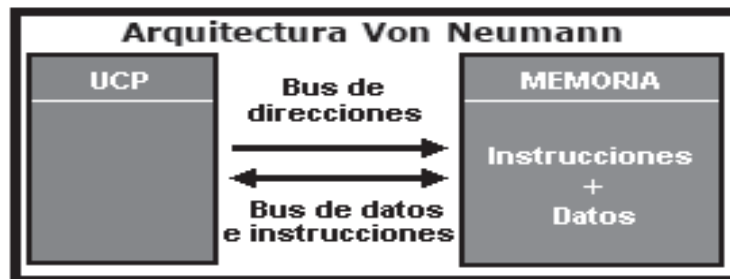


Fig. N°22: Arquitectura Von Neumann

(Autónoma)

El AVR es una CPU de arquitectura Harvard; tiene 32 registros de 8 bits. Algunas instrucciones sólo operan en un subconjunto de estos registros. La concatenación de los 32 registros, los registros de entrada/salida y la memoria de datos conforman un espacio de direcciones unificado, al cual se accede a través de operaciones de carga/almacenamiento.

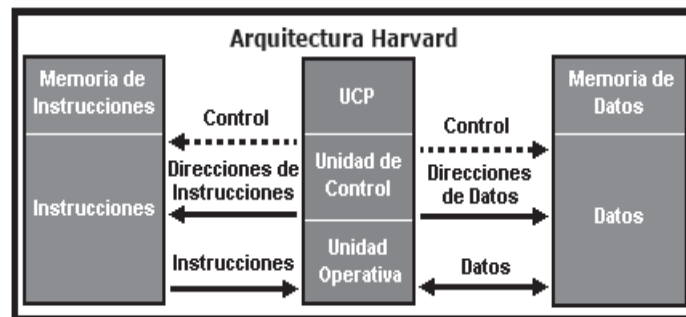


Fig. N°23: Arquitectura Harvard

(Autónoma)

Entre los componentes que conforman la arquitectura del AVR que se deben considerar para su elección están:

Diagrama de bloques

Es la representación gráfica del funcionamiento interno de un sistema y sus relaciones, que definen la organización de todo el proceso interno, sus entradas y sus salidas. En el diagrama de bloques cada una de las operaciones unitarias se representa como un bloque, sobre el que se pueden consignar algunas de las características de la operación.

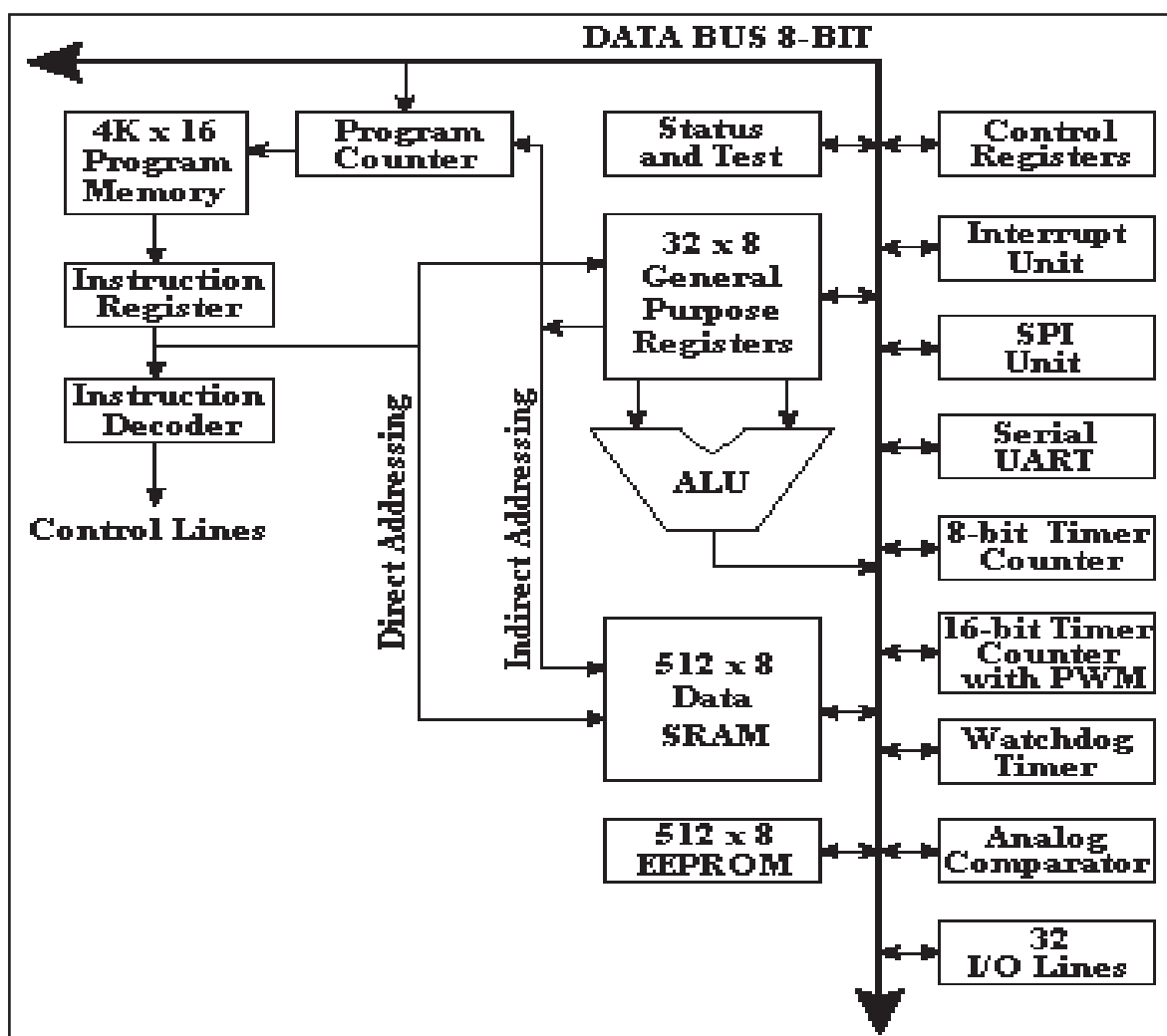
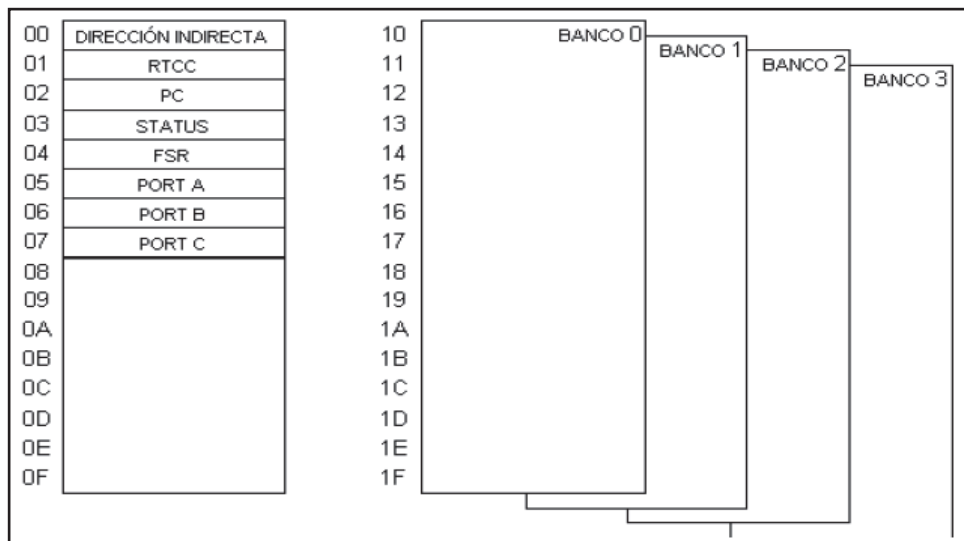


Fig. N°24: Diagrama de bloques de los AVR
(Introducción a los microcontroladores, Adolfo González)

Mapas de Memoria Interna (RAM) Organización

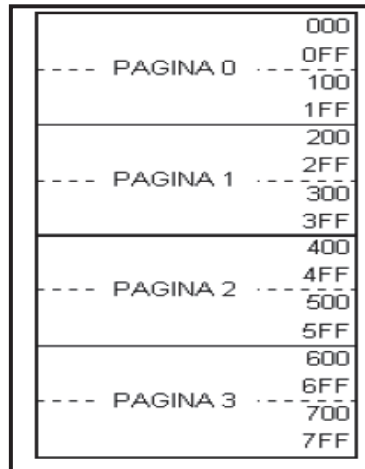
La memoria interna de datos, también llamada archivo de registros, está dividida en dos grupos: en los registros especiales y en los registros de propósito generales. Los primeros ocupan las primeras 11 posiciones que van desde la posición hexadecimal 00 a la 0A, y los segundos en las posiciones que siguen, de la posición hexadecimal 0B a la 0F, las posiciones están nombradas en formato hexadecimal es decir (0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,A,B,C,D,E,F).



*Fig. N°25: Organización de la memoria interna RAM
(Introducción a los microcontroladores, Adolfo González)*

Memoria de Programa Organización

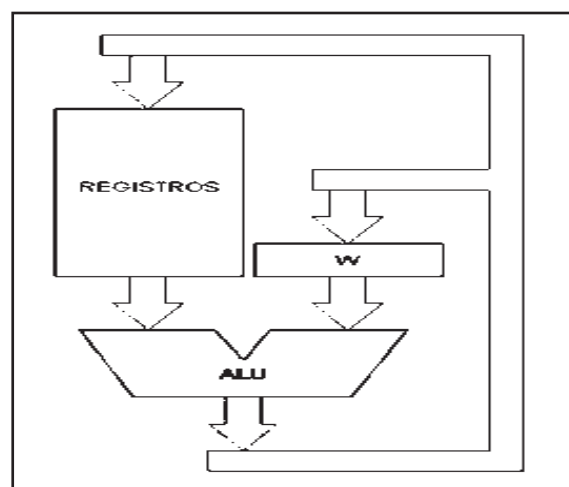
Como este lenguaje utiliza profusamente punteros para el manejo de variables en memoria, los tres últimos pares de registros internos del procesador son usados como punteros de 16 bit al espacio de memoria externa, bajo los nombres X, Y y Z. Esto es un compromiso que se hace en arquitecturas de ocho bit desde los tiempos de Intel 8008, pues su tamaño de palabra nativo de 8 bit (256 localidades accedidas) es pobre para direccionar.



*Fig. N°26: Memoria de programa
(Introducción a los microcontroladores, Adolfo González)*

Registros de funciones especiales (Camino de los datos y registro)

En los microcontroladores tradicionales todas las operaciones se realizan sobre el acumulador. La salida del acumulador está conectada a una de las entradas de la Unidad aritmética y Lógica y por lo tanto éste es siempre uno de los dos operandos de cualquier instrucción. Las instrucciones de simple operando actúan sobre el acumulador. La salida va solamente a la entrada del acumulador, por lo tanto el resultado de cualquier operación siempre quedará en este registro.



*Fig. N°27: Registro
(Microcontroladores, Tavernier, Editorial Paraninfo.)*

Contador de Programa

Este registro, normalmente denominado PC, es totalmente equivalente al de todos los microprocesadores y contiene la dirección de la próxima instrucción a ejecutar. Se incrementa automáticamente al ejecutar cada instrucción, de manera que la secuencia natural ejecución del programa es lineal, instrucción después de la otra.

Stack

En los microcontroladores el stack es una memoria interna dedicada, de tamaño limitado, separada de las memorias de datos y de programa, inaccesible al técnico programador y organizada en forma de pila, que es utilizada solamente, y en forma automática, para guardar las direcciones de retorno de subrutinas e interrupciones. Cada posición es de 11bits y permite guardar una copia completa del PC. Como en toda memoria tipo pila, los datos son accedidos de manera tal que el primero que entra es el último que sale.

Temporizador/Contador (RTCC)

Este dispositivo, llamado Real Time Clock / Counter, es básicamente un contador de 8 bits, constituido por el registro operacional RTCC que se encuentra en la posición 01 de la memoria de datos. Este registro puede usarse para contar eventos externos por medio de un pin de entrada especial (modo contador) o para contar pulsos internos de reloj de frecuencia constante (modo timer).

Interrupciones

Considera la posibilidad de contar con un sistema de interrupciones. Este sistema consiste en un mecanismo por el cual un evento interno o externo, asincrónico respecto del programa, puede interrumpir la ejecución de éste produciendo automáticamente un salto a una subrutina de atención, de manera que pueda atender inmediatamente el evento.

Algunas especificaciones son:

- Los registros punteros X, Y y Z (nombres estándares que toman en la memoria externa) tienen capacidades de direccionamiento diferentes entre cada uno de ellos.
- Los registros 0 al 15 tienen diferentes capacidades de direccionamiento que los registros 16 al 31.
- Las registros de I/O 0 al 31 tienen distintas características que las posiciones 32 al 63.
- La instrucción CLR afecta los 'flag', mientras que la instrucción SER no lo hace, a pesar de que parecen ser instrucciones complementarias (dejar todos los bits en 1x y dejar todos los bits en 0, respectivamente).
- Los códigos de operación 0x95C8 y 0x9004 hacen exactamente lo mismo.

2.3 PROGRAMACIÓN DE LOS AVR

Programar un AVR implica la creación del programa, ya sea en lenguaje C o en lenguaje Assembly, siguiendo una estructura lógica y utilizando herramientas de compilación, a fin de poder correr el programa sin ningún error. Para programar un AVR es necesario el uso de elementos tanto a nivel de hardware como de software. Los pasos para programar son los siguientes:

1. Diseño del programa en papel utilizando un flujograma.
2. Selección del AVR que vamos a utilizar en un proyecto (si se desconocen las características del AVR se debe consultar los data sheet's de microcontroladores).
3. Programación y compilación en MikroC PRO.
4. Quemar el programa ya compilado.

La programación de microcontroladores se basa en un código de máquina que es conocido como código ensamblador, este código contiene una a una las instrucciones del programa; el assembler crea códigos de programas extensos y de difícil comprensión. La creación de compiladores de alto nivel facilitó la edición y creación de programas en todo modo de programación lógica.

La transparencia de datos es la capacidad de empaquetar información con un bloque de inicio o encabezado y un bloque final del paquete de información. El éxito de la transparencia está en no repetir los datos de encabezado o final dentro de la información; de esta manera se puede ver de forma transparente la información dentro de los datos de control. Para encabezar la información se implementa el carácter DLE o marcador de transparencia equivalente al código 0x10, STX comienzo de texto que equivale al código 0x02, y para finalizar el bloque de datos se usa el carácter ETX que es equivalente a 0x03. Para demostrar el funcionamiento de la estructura de transparencia se implementan a continuación dos programas uno que transmiten información y otro que la recibe.

2.3.1 PRINCIPIOS DEL LENGUAJE C

El lenguaje C data del año 1972; fue creado por los laboratorios Bell como resultado de la necesidad de reescribir los sistemas operativos UNIX, con el fin de optimizar el conocido código ensamblador. De igual manera el lenguaje C fue la evolución de lenguajes previos llamados B, y BCPL. El nuevo lenguaje C, rápidamente tomó fuerza por su funcionalidad y facilidad en la implementación en diversos sistemas computacionales que requerían códigos de máquina.

La forma del lenguaje C, se fundamenta en un complejo estructural que requiere un amplio estudio del lenguaje, sin embargo para la programación de los microcontroladores el estudiante requiere una porción fundamental que le permita iniciar y crear los primeros proyectos en MikroC PRO. Para este fin el actual capítulo se centra en establecer las nociones necesarias para iniciar el estudio de los microcontroladores.

Las variables básicas en este compilador específico son:

- *Bit* permiten almacenar un valor lógico es decir verdadero o falso, 0 ó 1.
- Las variables *char* se utilizan para almacenar caracteres codificados con el código ASCII, son útiles para guardar letras o textos.

- Una variable *short* almacena un número entero de 8 bits corto puede valer de: -127 a 127.
- Las variables tipo *int* guardan números enteros de 16 bits, esta variable permite guardar números de: -32767 a 32767.
- La variable tipo *long* almacena números enteros largos de 32 bits, su rango puede ser de: -2147483647 a 2147483647.
- Las variables tipo *float* y *double* permiten guardar números con punto decimal.
- Las anteriores variables pueden declararse incluyendo el signo positivo y negativo, o se pueden declarar por medio de la opción sin signo con la directriz *unsigned*.

Los aplicativos en lenguaje C usan números en diferentes bases numéricas, a pesar de que para el trabajo de bajo nivel del microcontrolador todos sus números están procesados en base 2, es decir en números binarios. Además del sistema decimal el compilador en lenguaje C puede trabajar otras bases tales como los sistemas binario y hexadecimal, haciendo más simple realizar cálculos y tareas que en decimal serían más complejas.

Los sistemas numéricos en base 2, 10, y 16, son los implementados en este compilador en lenguaje C. Los números binarios solo pueden tener dos dígitos que son el 0 y el 1. Los números binarios se escriben con el encabezado 0b seguidos del número en binario, un ejemplo de esta escritura es: 0b10100001 que es equivalente al número decimal 161.

Los números en base 16 o hexadecimales se denotan con el encabezado 0x precedidos de un número en hexadecimal, la expresión 0x2A. Los números hexadecimales pueden tener 16 dígitos; 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E y F. El lenguaje C permite hacer operaciones aritméticas o matemáticas básicas entre números contenidos en variables o constantes. Las operaciones aritméticas disponibles son las siguientes:

La suma aritmética entre dos o más números:**int A;****int B;****int C;**

- $C = A+B$; //expresión guarda la suma de A y B, en la variable C.
- $C = A+B+C$; //expresión guarda la suma de A, B y C, en la variable C.

La resta aritmética entre dos o más números:**int A;****int B;****int C;**

- $C = A-B$; //expresión guarda la diferencia entre A y B, en la variable C.
- $C = A-B-C$; //expresión guarda la diferencia entre A, B y C, en la variable C

La multiplicación aritmética entre dos o más números:

La operación matemática de multiplicación se puede realizar entre dos o más números, la operación se relaciona con el carácter asterisco (*):

int A;**int B;****int C;**

- $C = A*B$; //expresión guarda la multiplicación entre A y B, en la variable C.
- $C = A*B*C$; //expresión guarda la multiplicación entre A, B y C, en la variable C.

La división aritmética entre dos o más números:

La división aritmética en lenguaje C se especifica por la barra inclinada (/):

int A;**int B;****int C;**

- $C = A/B$; //expresión guarda la división A entre B, en la variable C.

La operación módulo

Calcula el módulo de una división aritmética es decir calcula el residuo de una división, el cálculo del módulo se denota con el carácter de porcentaje, (%),

`int A;`

`int B;`

`int C;`

- `C=A%B;`//expresión guarda el residuo de la división de A entre B, en la variable C

Las operaciones aritméticas pueden ser usadas en forma combinada

Es decir que se pueden mezclar varias operaciones en una misma expresión.

`int A;`

`int B;`

`int C;`

- `C = (A+B)/C;` //Está expresión es equivalente a $C = (A+B) \div C$.
- `C = (A/B)*C;` // Está expresión es equivalente a $C = (A \div B) \times C$.

Otros operadores matemáticos

Abreviados pueden ser utilizados cuando se requiere de conteos o cambios de una variable de forma constante, por ejemplo es posible incrementar o disminuir una variable en términos de un número, de igual manera es posible hacer esta operación con la multiplicación y la división.

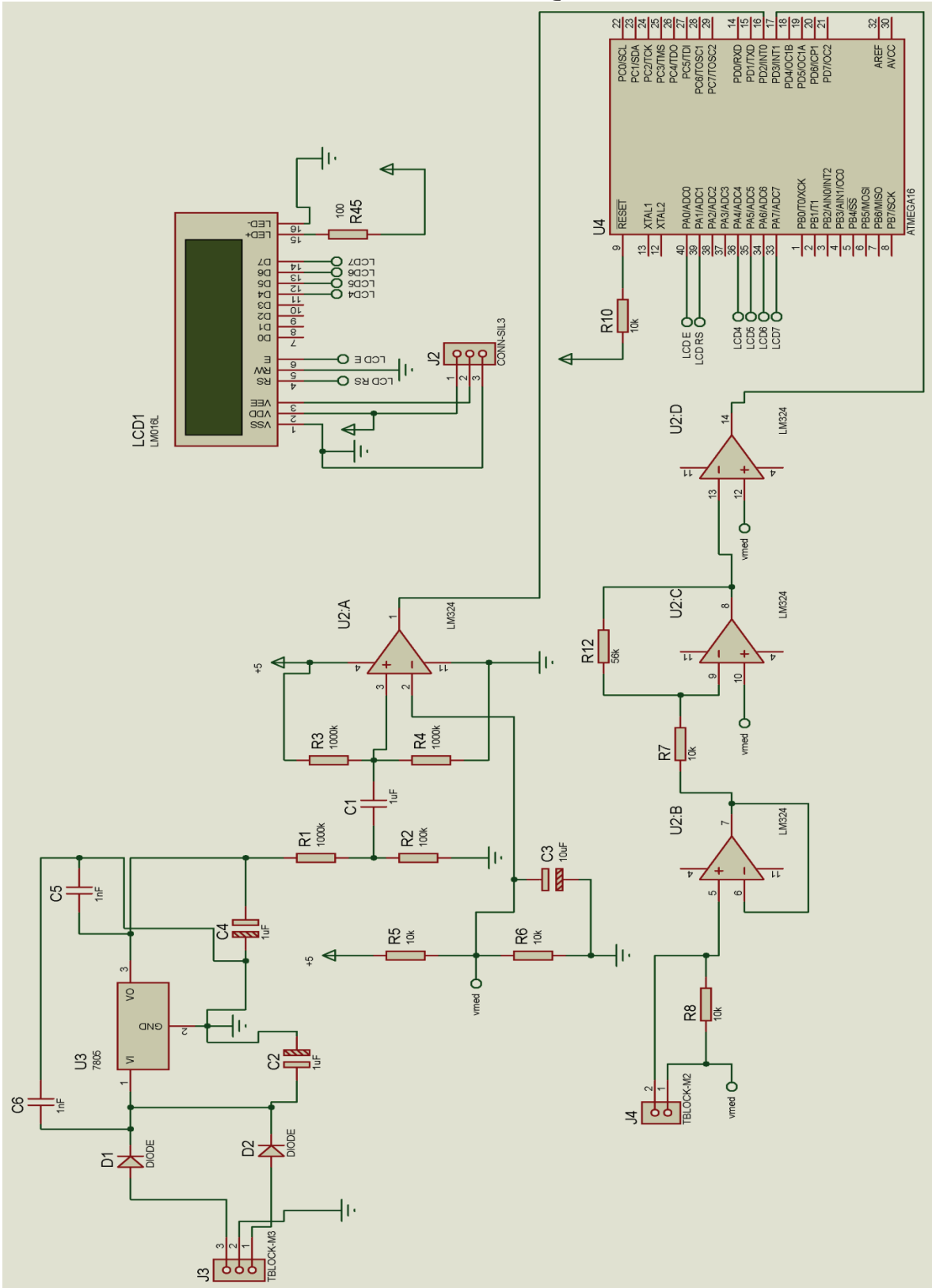
`int A=100;`

`int B=10;`

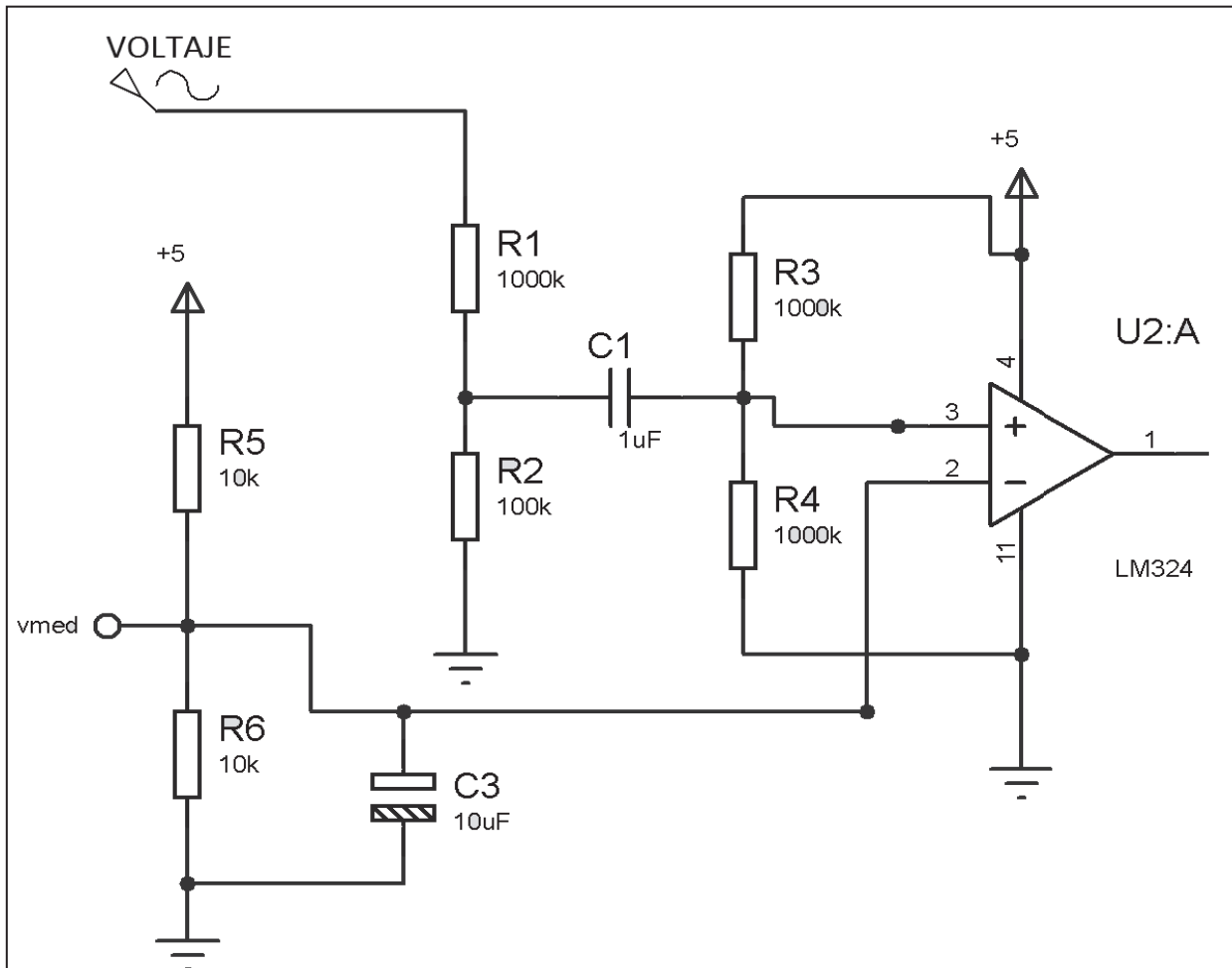
- `A++;` //Este operador incrementa en una unidad el valor de A.
- `A--;` //Este operador decremento en una unidad el valor de A.
- `A+=4;` //Este operador incrementa en 4 el valor de A.
- `A-=5;` //Este operador decremento en 5 el valor de A.
- `A/=4;` //Este operador divide el valor de A en 4
- `A*=3;` //Este operador multiplica el valor de A por 3.
- `A+=B;` //Este operador incrementa el valor de A en el valor de B unidades.

CAPÍTULO 3.- DISEÑO DEL EQUIPO

3.1 DIAGRAMA ELECTRÓNICO DEL EQUIPO



3.1.1 PARTE A: SENSOR DE VOLTAJE



*Fig. N°28: Parte Sensor de Voltaje del Circuito General
(Autoría Propia. Simulación en Proteus)*

El circuito mostrado en la figura (Fig. 28) sensa la señal de voltaje que ingresa en las fases del motor, para después ser rectificad y al salir del comparador detectar el cruce por cero de una señal cuadrada en el plano positivo.

En la entrada de este circuito se utiliza un transformador estabilizador de 110/220 [V] a 12/-12 [V] a 60 [Hz], con el objetivo de reducir el voltaje de trabajo y manejarlo con mayor facilidad para la parte electrónica que maneja 5V. Al final el resultado del cálculo del factor de potencia no va a variar, ya que la onda de voltaje va a ser exactamente la misma que si se trabajara con voltajes de 110 o 220 [V]; la única diferencia que radica en su utilización es que ahora los picos de

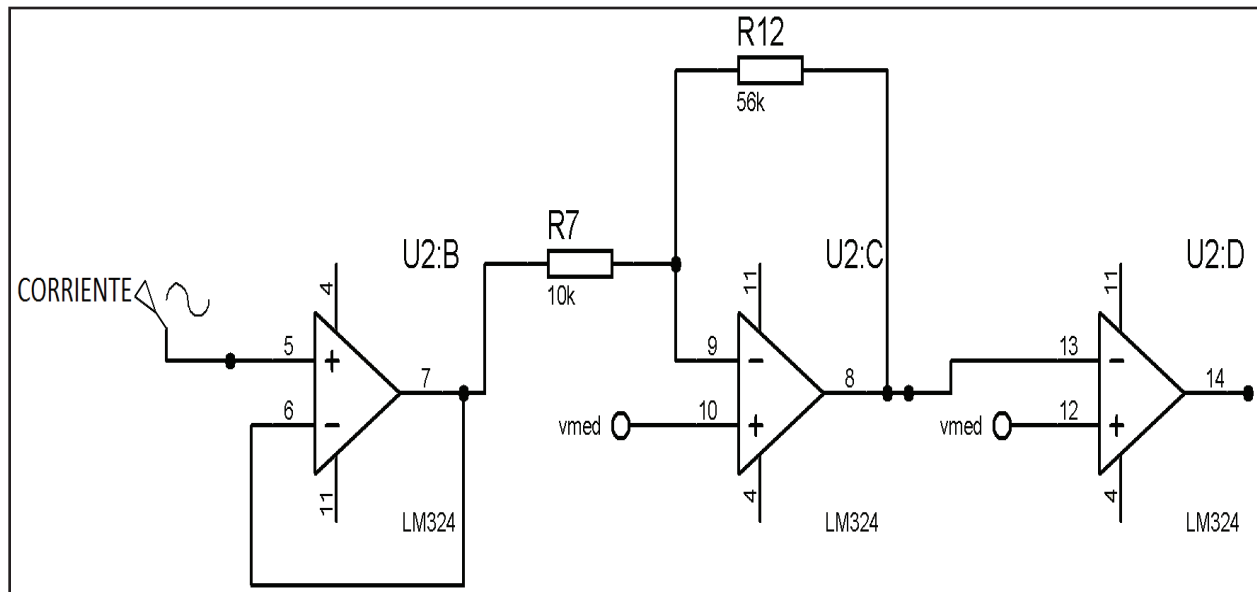
trabajo de voltaje van a ser de 12 [V], con lo cual se facilita controlar esta señal. Otro objetivo de usar el transformador es para acoplar a un circuito reductor de voltaje y bajar y rectificar la onda a 5 [V] de corriente continua, logrando así tener un circuito auto alimentador para los elementos TTL que trabajan en este rango de voltaje y evitar el uso de un adaptador de alimentación. El circuito con las resistencias de protección soporta valores de forma teórica para una carga máxima de 220 [V] y 5 [A].

Después del transformador estabilizador de voltaje tenemos un reductor de voltaje formado por dos resistencias y un capacitor; la señal de salida obtenida es una señal desfasada en el plano positivo. Esto con el objetivo de tener una señal senoidal con picos en el plano positivo, para que al momento de ingresar en el comparador la onda cuadrada resultante salga en los flancos entre 2.5 [V] - 0 [V].

La siguiente parte del circuito de sensado de voltaje es la parte del offset de una señal continua en 2.5 [V], la cual es tomada de los 5 [V] del auto alimentador y formada por 2 resistencias y un capacitor para rectificar la onda y convertirla en una señal continua; obteniendo así el valor medio de 2.5 [V] que necesitamos.

La última parte del circuito detector de la señal de voltaje es a la entrada del comparador de las dos señales, tanto de la onda senoidal desfasada en el plano positivo como de la señal continua obtenida con el offset. En este punto las dos señales son comparadas y, para obtener el resultado de la onda cuadrada, lo que hace es comparar la parte de la onda superior e inferior con respecto al offset, que toma estos valores y obtener la onda cuadrada del comparador en el intervalo 0 [V] - 5 [V] con las subidas y bajadas de voltaje en los puntos donde se cruzan las dos señales a la entrada del comparador.

3.1.2 PARTE B: SENSOR DE CORRIENTE.



*Fig. N°29: Parte Sensor de Corriente del Circuito General
(Autoría Propia. Simulación en Proteus)*

Este circuito (Fig.29) detecta y sensa permanentemente la señal de corriente. En la entrada de este circuito utilizamos un sensor de corriente STC013 de 30 [A], el cual transforma la corriente eléctrica que es detectada mediante un campo magnético y la convierte en una señal de voltaje en el orden de los mili voltios [mV]; esto es debido a la relación CORRIENTE/VOLTAJE del sensor de corriente, la cual es una señal senoidal con picos muy bajos.

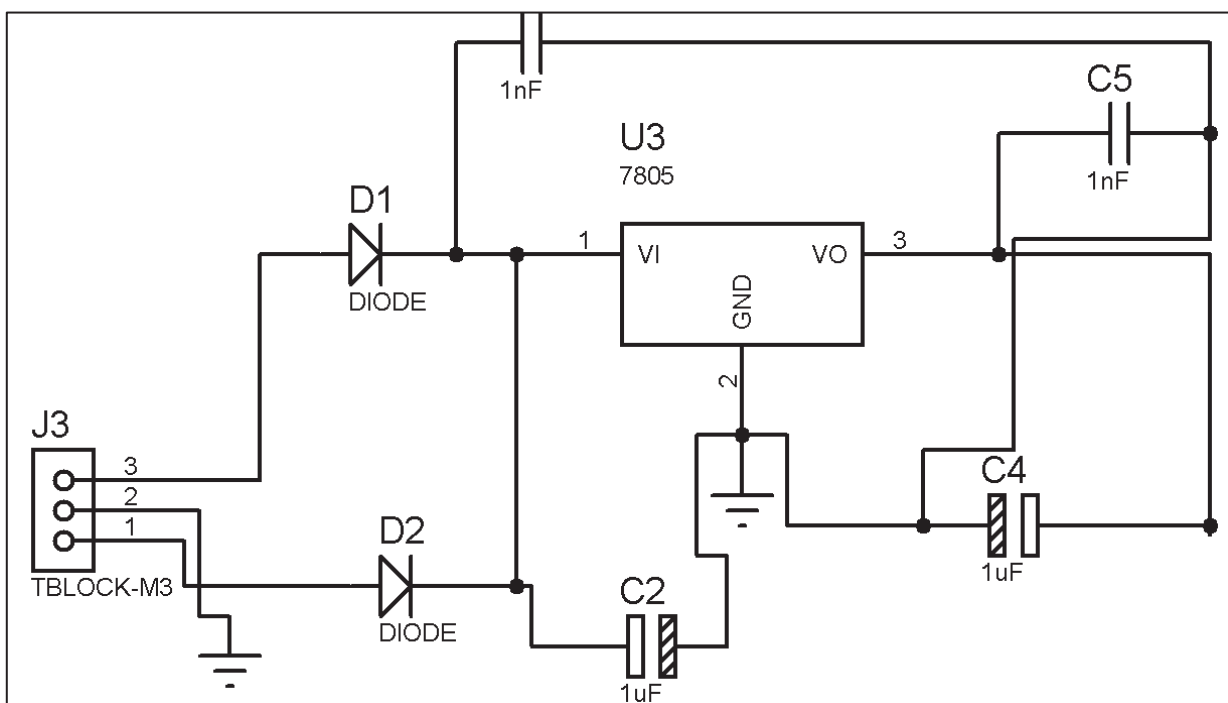
La siguiente etapa es en la entrada del primer amplificador operacional LM324N está configurado como un seguidor; esto con el objetivo de acoplar la señal de corriente con el circuito de sensado, debido a la alta impedancia que se puede llegar a tener al detectar la señal de corriente. En la tercera etapa del segundo amplificador operacional es un inversor para poder invertir y amplificar la señal de forma que, al momento de entrar a la última etapa, se compare de la misma forma que la señal de voltaje.

Para invertir y amplificar esta señal se la debe comparar con el voltaje medio de cruce por cero obtenido anteriormente a fin de que las señales trabajen con el

valor referencial del voltaje medio de 2.5 [V] para limitar los picos de trabajo de la señal.

En la última parte, las señales anteriores entran al comparador para detectar la señal de corriente; la cual a la salida es una señal cuadrada con su respectivo desfase en relación a la señal de voltaje

3.1.3 PARTE C: REDUCCIÓN DE VOLTAJE



*Fig. N°30: Parte Reducción de Voltaje del Circuito General
(Autoría Propia. Simulación en Proteus)*

Este es un circuito típico para reducir el voltaje alterno a una señal continua, exactamente de 5 [V].

A la salida del transformador tenemos un voltaje de 12 [V] que al pasar por el circuito y el integrado reductor 7805 da un voltaje de alimentación regulado a corriente continua y adecuado para toda la placa electrónica.

3.1.4 PARTE D: MICROCONTROLADOR

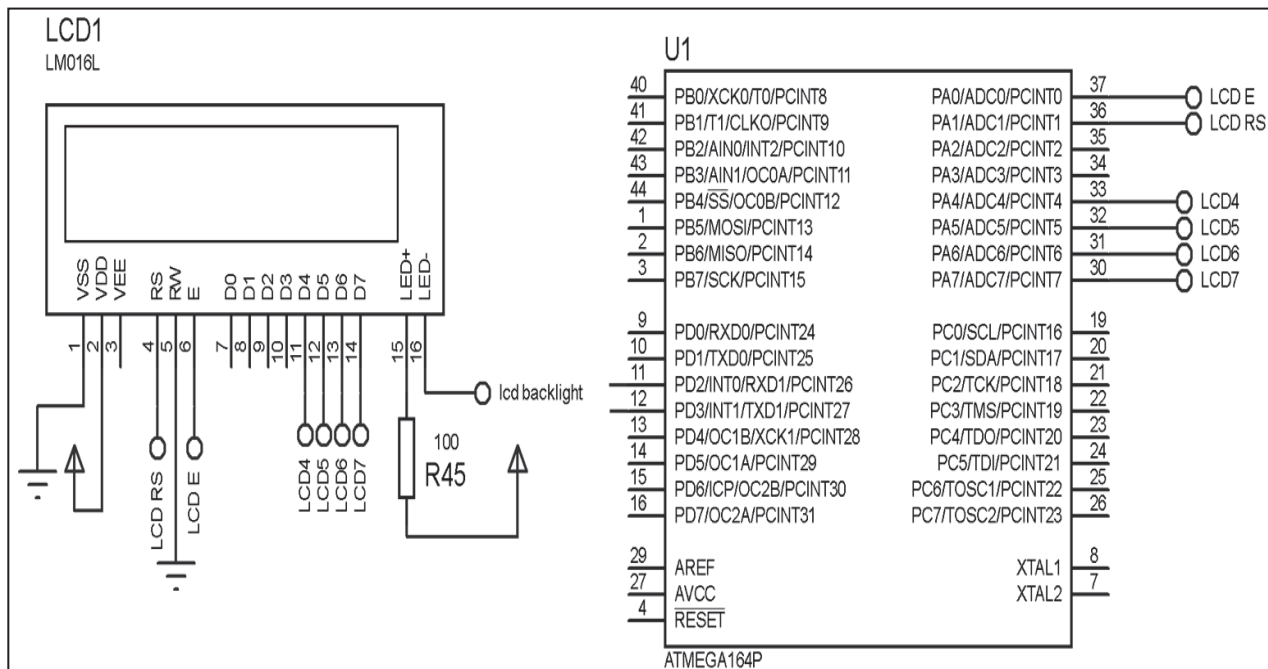


Fig. N°31: Parte AVR Y LCD del Circuito General
(Autoría Propia. Simulación en Proteus)

El microcontrolador sensa permanentemente el estado “alto” o “bajo” de los pulsos que provienen de los comparadores LM324N, habilitando el conteo del período de tiempo entre ambos flancos, tanto de la señal de voltaje como de la señal de corriente, ambas desfasadas. Dicha condición sucede cuando ambos niveles de salida se encuentren simultáneamente en el nivel cero, antes de iniciar la temporización.

El programa también determina mediante la programación el ángulo de desfase que existe entre ambas señales.

Las señales cuadradas desfasadas, detectadas en las entradas del micro, son calculadas en el microcontrolador con una simple regla de tres a través de los tiempos de las señales cuadradas del cambio de estado alto a bajo y viceversa, en cada periodo de las señales: Los tiempos están en relación al ángulo de desfase y

el tiempo en que cada señal cruza por cero, por lo que tendremos un rango de trabajo de ángulo de desfase para el cálculo del factor de potencia

A la salida del microcontrolador la señal es enviada a un LCD, que es la última etapa del proyecto donde visualizaremos el ángulo de desfase entre las señales (con 3 dígitos) y el factor de potencia (con 4 decimales) para un cálculo lo más acertado posible.

3.2 LOS COMPONENTES

Comparador LM324N

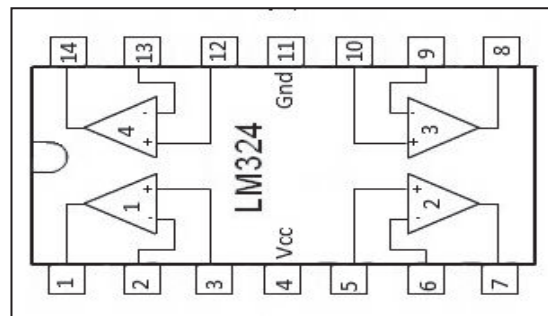


Fig. N°32: Comparador LM324N
(TTL)

El circuito integrado LM324, contiene cuatro amplificadores operacionales en un solo circuito que tiene las siguientes características:

- Amplio rango de Alimentación de corriente continua de $\pm 1,5V$ a $\pm 16V$, o sólo positiva desde 3 a 32 V.
- Puede trabajar directamente a 5V
- La tensión de salida será de 0V hasta $V_{cc} - 1,5V$.
- Potencia que es capaz de disipar, 1130 mW.
- Tiempo de respuesta 10 μs .
- Se puede utilizar para aplicaciones de baja frecuencia, frecuencias inferiores a 100kHz.

AVR ATMEGA 164P20PU-1419

(PCINT8/XCK0/T0) PB0	1	40	PA0 (ADC0/PCINT0)
(PCINT9/CLKO/T1) PB1	2	39	PA1 (ADC1/PCINT1)
(PCINT10/INT2/AIN0) PB2	3	38	PA2 (ADC2/PCINT2)
(PCINT11/OC0A/AIN1) PB3	4	37	PA3 (ADC3/PCINT3)
(PCINT12/OC0B/ \overline{SS}) PB4	5	36	PA4 (ADC4/PCINT4)
(PCINT13/MOSI) PB5	6	35	PA5 (ADC5/PCINT5)
(PCINT14/MISO) PB6	7	34	PA6 (ADC6/PCINT6)
(PCINT15/SCK) PB7	8	33	PA7 (ADC7/PCINT7)
RESET	9	32	AREF
VCC	10	31	GND
GND	11	30	AVCC
XTAL2	12	29	PC7 (TOSC2/PCINT23)
XTAL1	13	28	PC6 (TOSC1/PCINT22)
(PCINT24/RXD0) PD0	14	27	PC5 (TDI/PCINT21)
(PCINT25/TXD0) PD1	15	26	PC4 (TDO/PCINT20)
(PCINT26/RXD1/INT0) PD2	16	25	PC3 (TMS/PCINT19)
(PCINT27/TXD1/INT1) PD3	17	24	PC2 (TCK/PCINT18)
(PCINT28/XCK1/OC1B) PD4	18	23	PC1 (SDA/PCINT17)
(PCINT29/OC1A) PD5	19	22	PC0 (SCL/PCINT16)
(PCINT30/OC2B/ICP) PD6	20	21	PD7 (OC2A/PCINT31)

Fig. N°33: AVR ATMEGA 164P20PU-1419
(TTL)

Es un microcontrolador CMOS de 8 bits de bajo consumo basado en la arquitectura RISC mejorada con voltajes de operación de - 1.8 hasta - 5.5V de 10MHz. Contiene 64 direcciones para las funciones periféricas de la CPU, el Registro de Control SPI y otras funciones de entrada y salida.

Reductor L7805

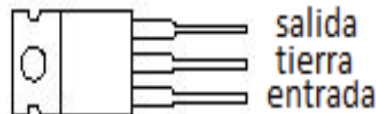


Fig. N°34: REDUCTOR

L7805

(TTL)

- Corriente de salida de hasta 1,5 A
- Las tensiones de salida de 5; 6; 8; 8,5; 9; 12; 15; 18; 24 V
- Protección de sobrecarga térmica
- Protección contra cortocircuitos
- Transición de salida protección SOA
- Tolerancia de voltaje de salida del 2% (una versión)

Transformador

110/220 V a 12 V y 500 mA

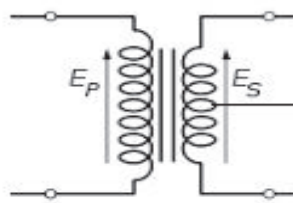


Fig. N°35: Transformador
(TTL)

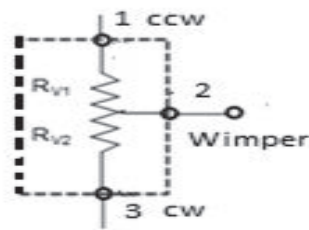
Timmer 396

Fig. N°36: Timmer 396
(TTL)

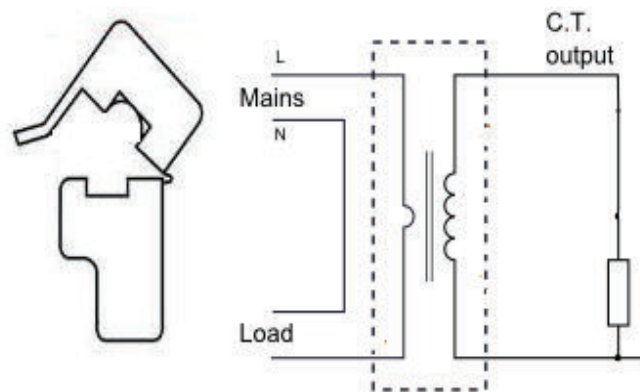
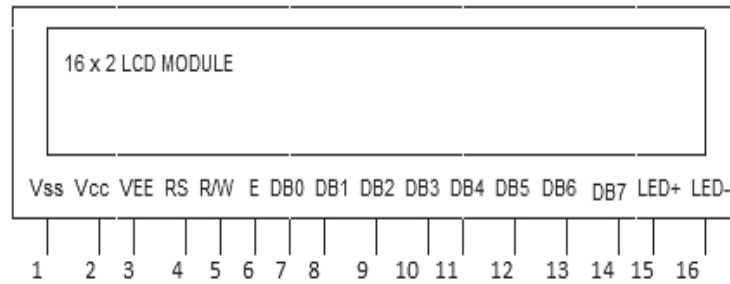
Sensor STC013 DE 30 A

Fig. N°37: Parte Sensor de Corriente
(TTL)

Este sensor es capaz de medir hasta 30 [A] sin contacto. Simplemente es cuestión de enganchar su pinza sobre el cable a medir y producirá una (muy) pequeña corriente alterna proporcional a la corriente del cable medida. El sensor tiene una terminación con conector jack de 3,5mm.

Este sensor tiene una infinidad de usos, puedes usarlo para medir el consumo de algún aparato eléctrico, hacer tu propio monitor de consumo casero o un protector de sobre consumo.

LCD 16x2



*Fig. N°38: LCD
(TTL)*

- Pantalla de caracteres ASCII.
- Desplazamiento de los caracteres hacia la izquierda o la derecha.
- Proporciona la dirección de la posición absoluta o relativa del carácter.
- Memoria de 40 caracteres por línea de pantalla.
- Movimiento del cursor y cambio de su aspecto.
- Permite que el usuario pueda programar 8 caracteres.
- Conexión a un procesador usando un interfaz de 4 u 8 bits

Resistencias 1/4w

Capacitores Cerámicos Y Electrolitos Varios.

Diodo LN 4007

3.3 DIAGRAMA DE CONEXIÓN DEL EQUIPO A LOS TIPOS DE MOTORES DE INDUCCIÓN.

Este dispositivo es para motores de carga balanceada que se encuentran en su mayoría en uso en el mercado; x así se podrá obtener el valor de forma monofásica. Para aclararlo mejor se explicará cómo es la conexión de entrada o de alimentación de un motor.

En la figura se ve como se presenta en la placa del motor de forma simple

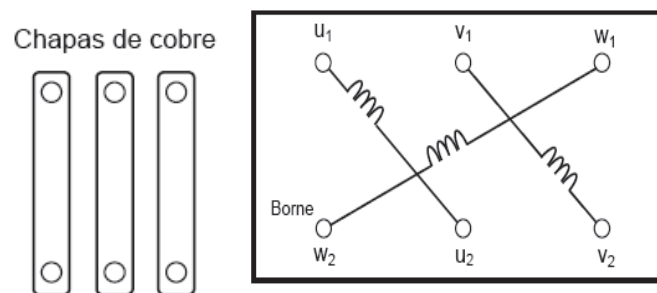


Fig. N°39: Representación de bornes de los motores
(Autoría Propia)

Estos bordes se encuentran en conexión eléctrica de las siguientes formas:

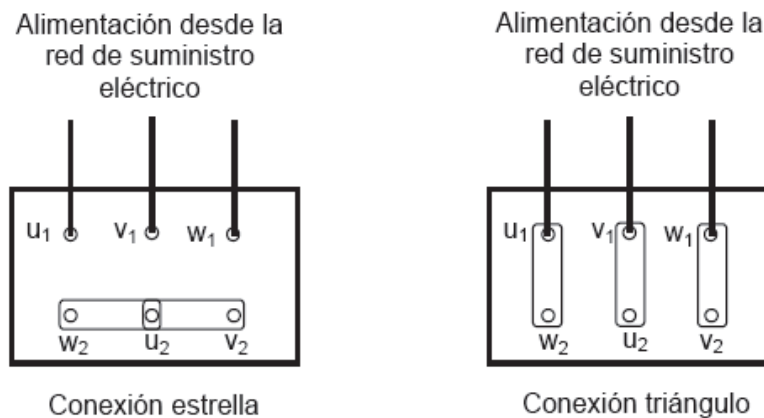


Fig. N°40: Formas de alimentación de los motores
(Autoría Propia)

El cosfímetro (W) mide el fp de una línea y mediante el micro-controlador realizará las operaciones correspondientes para darnos una respuesta trifásica de la siguiente manera:

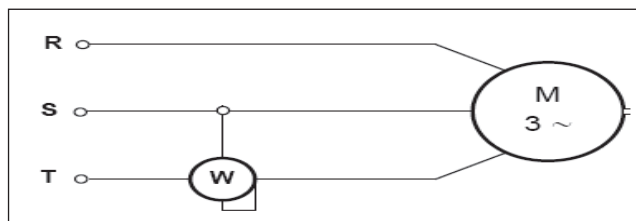
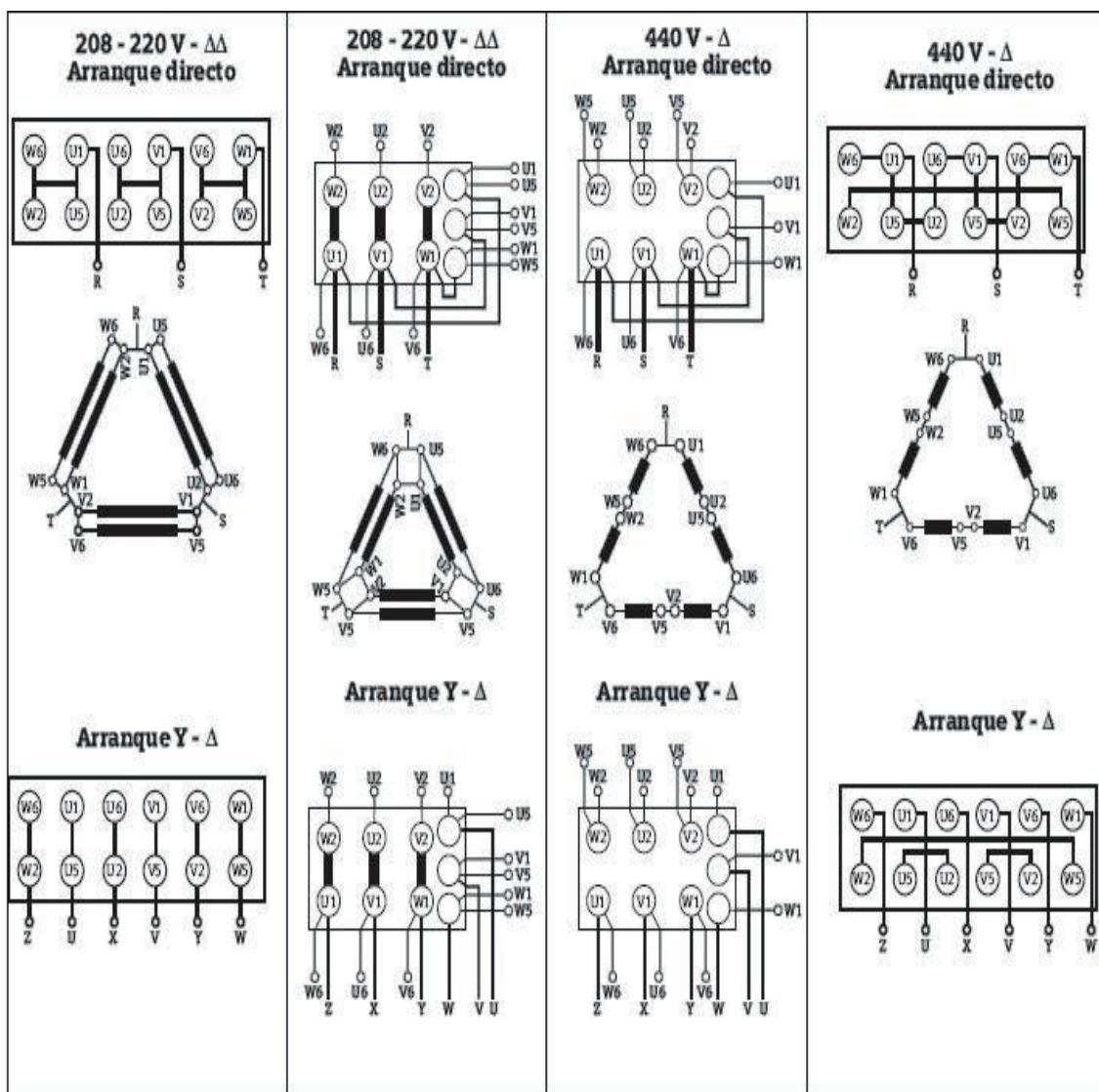


Fig. N°41: Conexión de instrumentos en las líneas del motor
(Autoría Propia)

Esquemas de conexión eléctrica y alimentación de motores trifásicos existentes en el país.



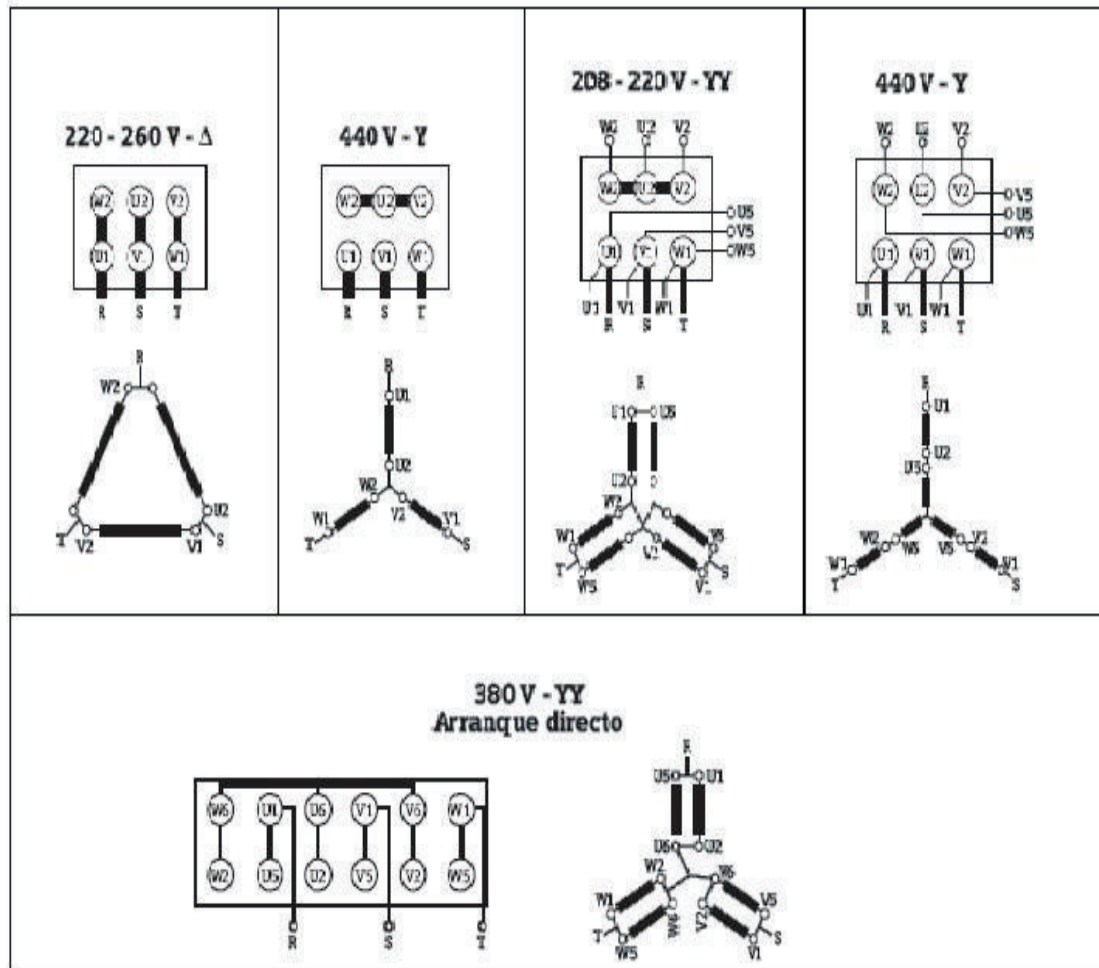


Fig. 42: Esquemas Conexión Trifásica.
(Catálogo de Motores Eléctricos, Anónimo, pág 3-4)

3.4 PROGRAMA:

```

#include "config.h"
#include <avr/io.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include <util/delay.h>
#include "lcd.h"
#include <math.h>
void ext_interrupt_init(void);
void timer0_init(void);
uint16_t aux;
volatile uint8_t estado_deteccion = 0;
volatile uint8_t contadorH;
volatile uint16_t contador;
volatile uint16_t periodo;
volatile uint32_t angulo;
volatile float factor;
int main(void)
{
    timer0_init();
    ext_interrupt_init();
    sei();
    lcd_init(LCD_DISP_ON);
    lcd_puts("cosfmetro: ");
    while(1)
    {
        _delay_ms(200);
        aux = contador;
        lcd_gotoxy(13,0);
        angulo=aux;
        angulo = angulo *360 / periodo;
        if (angulo>=180)
        {
            angulo-=180;
        }
        lcd_write_value(angulo,3);
        factor = angulo*2*M_PI/360;
        factor = cos(factor);
        lcd_gotoxy(0,1);
        lcd_puts("Factor P: ");
        uint16_t aux_fp = factor;
        uint16_t aux2_fp = factor*1000;
        lcd_write_value(aux_fp,1);
        lcd_puts(".");
        lcd_write_value(aux2_fp,3);
    }
}

```

```

void    ext_interrupt_init(void)
{
    PORTD |= (1<<PIND2)|(1<<PIND3);
    EICRA = (1<<ISC11)|(1<<ISC10)|(1<<ISC00)|(1<<ISC00);
    EIMSK = (1<<INT1)|(1<<INT0);
}
ISR    (INT1_vect)
{
    estado_deteccion = 1;
    TCCR0B |= (2<<CS00);
    TCNT0 = 0;
    contadorH =0;
    periodo = TCNT1;
    TCNT1 =0;
}
ISR    (INT0_vect)
{
    estado_deteccion = 0;
    TCCR0B = (0<<CS00);
    contador = ((contadorH<<8)+TCNT0);
}
ISR (TIMER0_OVF_vect)
{
    contadorH++;
}
ISR (TIMER1_OVF_vect)
{
    // contadorH++;
    asm("nop");
}
void timer0_init (void)
{
    TCCR0A = (0<<WGM00);
    TCCR0B = (0<<WGM02)|(0<<CS00);
    TCCR1B = (2<<CS10);
    TIMSK0 = (1<<TOIE0);
    TIMSK1 = (1<<TOIE1);
}

```


CAPITULO 4 :PRUEBAS Y RESULTADOS

Las pruebas se realizaron en el Laboratorio de Control de la Facultad de Eléctrica de la Escuela Politécnica Nacional, con los siguientes equipos a disposición.

- Motor
- Generador de señales
- Transformador
- Regulador de voltaje
- Variador de velocidad de motores AC
- Cosfímetro analógico
- Cables de osciloscopio
- Osciloscopio
- Cables lagarto- banana
- Multímetro

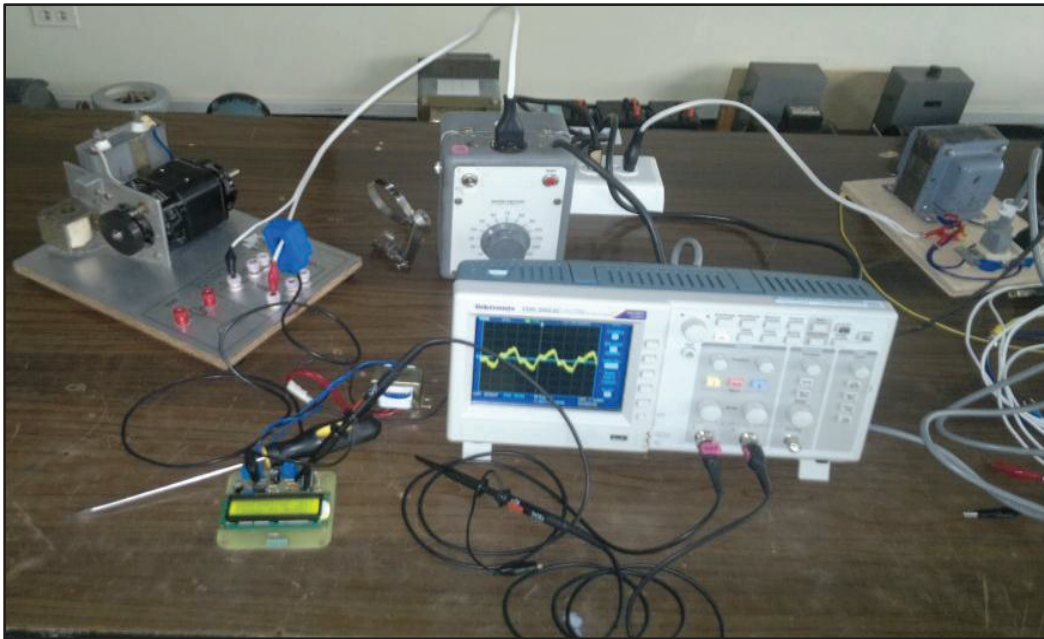


Fig. N°43: Fotografía de equipos en la práctica de laboratorio

Las primeras pruebas físicas se realizaron con un generador de señales que nos ayudó a ver físicamente el desfase y la forma de las ondas del equipo. Con el osciloscopio verificamos si existe desfasaje entre las señales de voltaje y corriente que enviamos con el regulador. El resultado obtenido en el cosfímetro lo compara con los cálculos de las señales que se visualizan en el osciloscopio y con la ayuda adicional de un cosfímetro analógico.

Se verifica que el equipo pase las pruebas del osciloscopio con aproximadamente más del 90 % de eficiencia; esto nos indica que las relaciones y los cálculos

programados en el microprocesador funcionan correctamente. Además se indica los rangos de tolerancia que nuestro equipo puede llegar a soportar, teniendo el máximo voltaje de trabajo de 220 [V] y una máxima corriente de 30 [A]

Para las pruebas finales se utilizaron en cambio motores que se encuentran en el laboratorio, con voltajes y corrientes especificados en la placa. Para comprobar el funcionamiento correcto de nuestro equipo, nos ayudamos de un variador de velocidad de motores AC, ya que al variar la velocidad variamos la eficiencia del motor aunque no trabaja en su máxima carga; es decir no utilizamos la máxima potencia a la hora de las pruebas.

Luego se mide, en los motores, el factor de potencia con un cosfímetro analógico del laboratorio; con esos resultados procedemos a tabularlos y compararlos con nuestro cosfímetro, obteniéndose una eficiencia de más del 90%.

Una vez realizadas satisfactoriamente las pruebas, el equipo se lo encuadra correctamente quedando solo los cables que corresponden a la medición, la alimentación y el LCD visibles, para mostrar el resultado que, en nuestro caso, serían el ángulo y el factor de potencia.

4.1 SIMULACIÓN DE LOS CIRCUITOS EN PROTEUS.

Para poder optimizar el funcionamiento del equipo, primero se simula el circuito en la herramienta informática llamada Proteus. Una vez armado y simulado el circuito general, con la ayuda del osciloscopio integrado en el programa, se procede a verificar la obtención de las señales requeridas; es decir, tanto las ondas sinusoidales como las ondas cuadradas de la entrada del circuito y de la salida de los comparadores.

Después de variar parámetros, se analizan las ondas del osciloscopio que simularían un caso real. Por ejemplo, al variar la velocidad del motor se obtienen las ondas esperadas teóricamente; al detectar los cruces por cero y los desfases en un periodo, que sirven para el cálculo del factor de potencia. Otro uso que pudimos aprovechar de las simulaciones de señales es que también verificamos el offset de trabajo de ambas señales; este desplazamiento fue muy importante pues pudimos comprobar que un circuito que es capaz de realizar este desplazamiento funciona perfectamente.

Después, mediante un osciloscopio real, comprobamos las ondas reales que entran y salen del equipo; determinando así el correcto funcionamiento del mismo. De igual forma el circuito detecta correctamente las ondas que eran las esperadas en las simulaciones, pero esta vez con pruebas en un motor real, variando parámetros reales; tanto las ondas sinusoidales como las cuadradas fueron detectadas con éxito. En las simulaciones, así como en las pruebas reales, al variar algún parámetro del motor (como la velocidad o el ángulo de desfase) varía también el factor de potencia.

4.1.1 ANÁLISIS DE LAS ONDAS OBTENIDAS

Las señales del programa (simulación) son representativas respecto a las del osciloscopio (real); obteniendo la siguiente información.

Señal de Voltaje

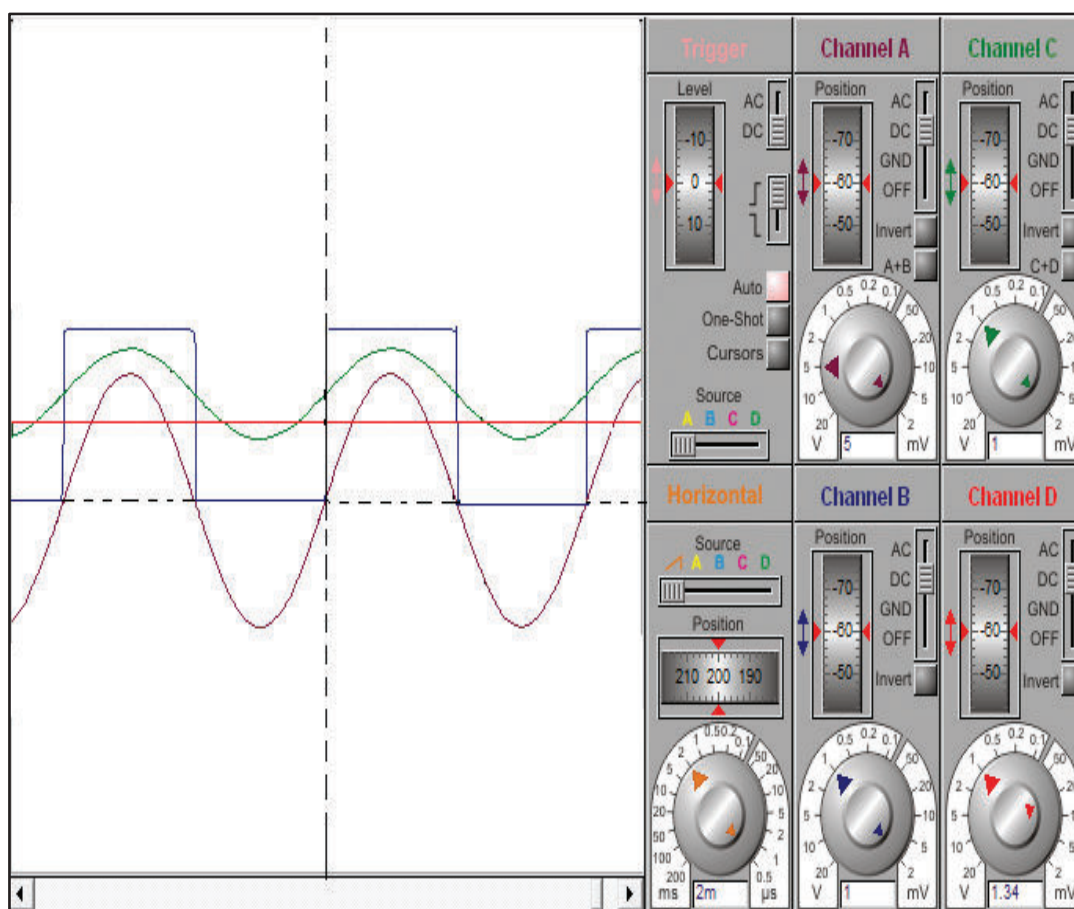


Fig. N°44: Simulación en el Osciloscopio de Proteus

- Para utilizar la señal de voltaje, se necesita una señal lineal rectificadora positiva; para esto usamos el respectivo circuito que nos ayuda a desplazar la onda en el cuadrante positivo, el cual se le conoce con el nombre de offset.
- La señal de voltaje que entra al equipo es una señal senoidal (color morado), ésta señal es la del motor.
- Para trabajar en nuestro equipo la movemos al cuadrante positivo (color verde).

- A ésta señal se la debe rectificar y hacerla cuadrada (color azul) para poder ser utilizada en los elementos electrónicos y evitar quemar el circuito.
- La señal de salida es la detectada del cruce por cero, que sale del amplificador como un tren de pulsos, para que pueda ser utilizada y detectada en el microprocesador.

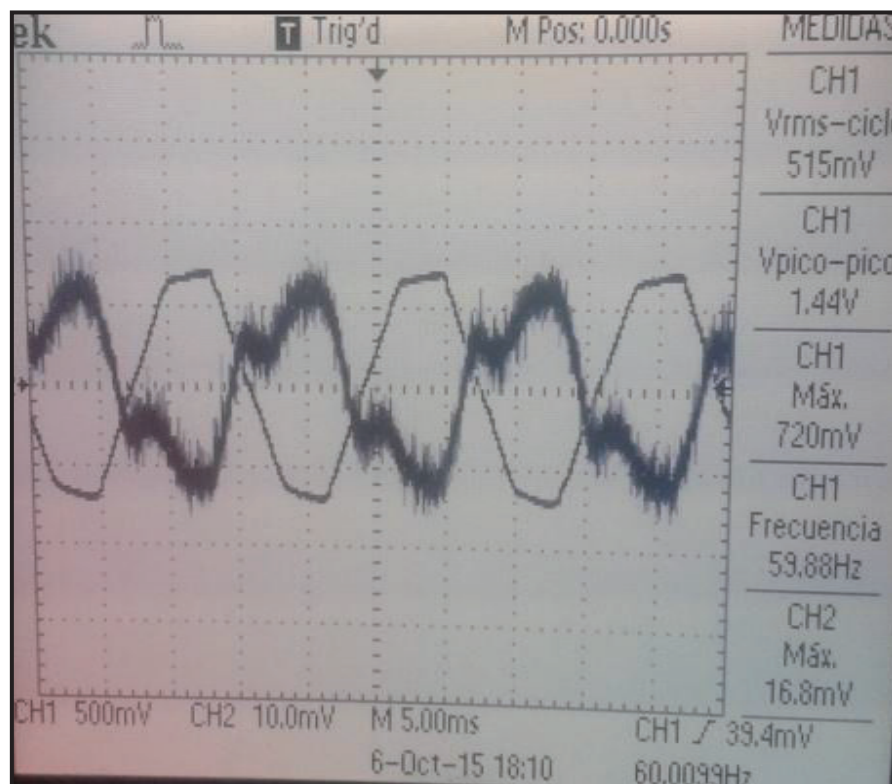


Fig. N°45: Simulación en Osciloscopio de Laboratorio

Señal de Corriente

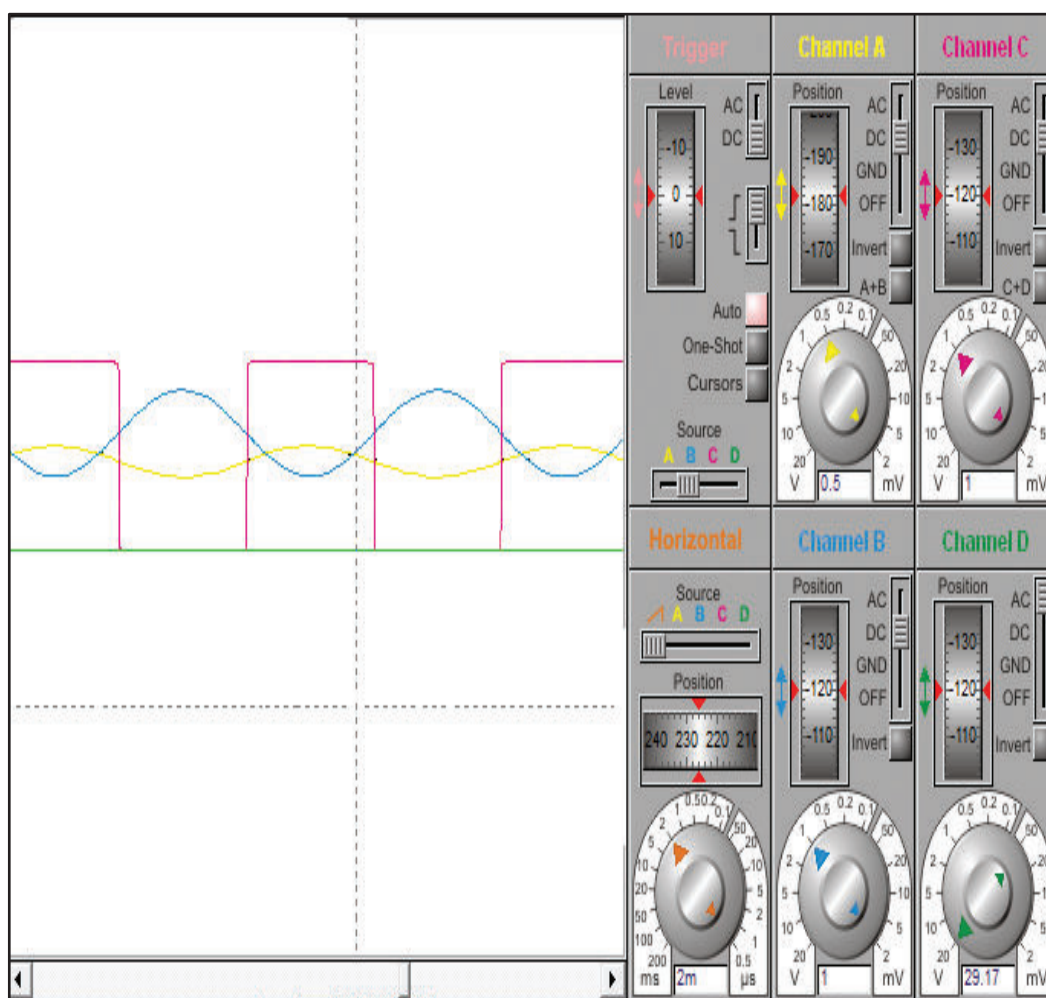


Fig. N°46: Simulación en el Osciloscopio de Proteus

Así mismo, para utilizar la señal de corriente se necesita una señal lineal rectificada.

- La señal de corriente que entra al equipo es una señal senoidal (color amarillo), que corresponde al motor y es medida por el sensor de corriente. Esta onda es pequeña debido a la transformación que hace el sensor de corriente en el orden de los miliamperios.
- Como la señal es pequeña, el siguiente paso consiste en amplificar la señal para mejorar la eficiencia y detectar el cruce por cero (color azul).

- A ésta señal se la rectifica e invierte para tener una señal cuadrada (color rojo) y así poder utilizar la señal en el circuito electrónico.
- La señal de pulsos, a la salida del comparador, es la señal de detección del cruce por cero que sale del amplificador para ser utilizada en el microprocesador.



Fig. N°47: Simulación en Osciloscopio de Laboratorio

Análisis del Desfase del Tiempo

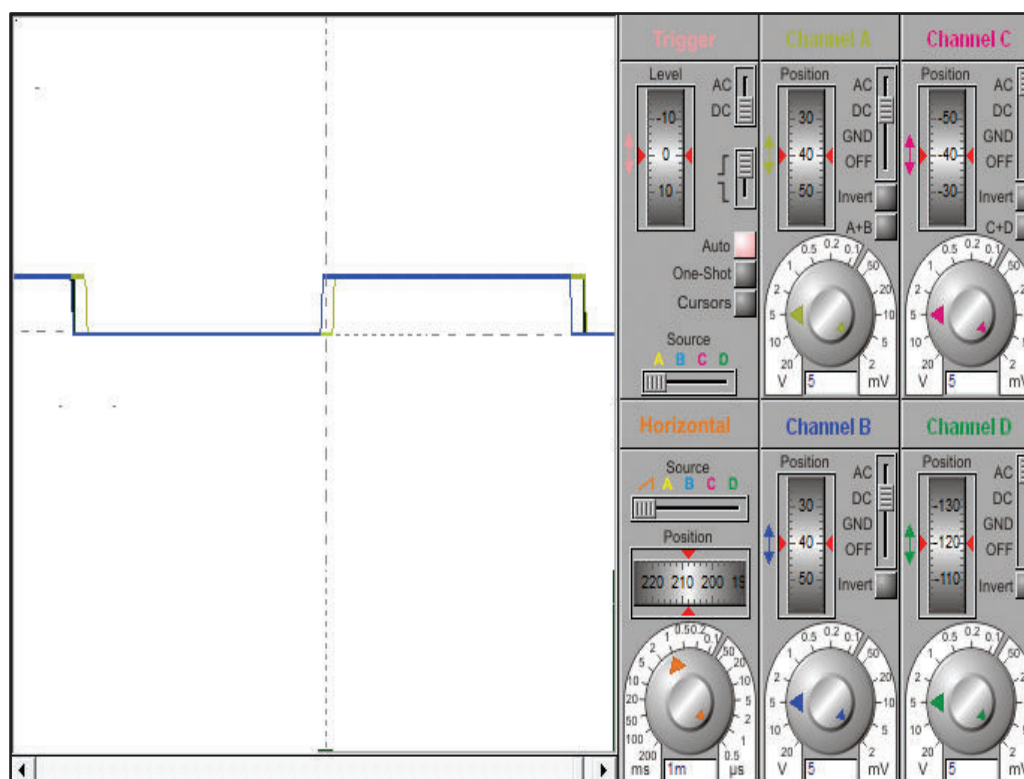


Fig. N°48: Simulación en el Osciloscopio de Proteus

Las señales, o tren de pulsos, tanto de voltaje (color azul) como de corriente (color amarillo) que obtenemos ya rectificadas, como se puede observar en las imágenes obtenidas de la simulación y del osciloscopio real, tienen el desfase esperado entre dichas ondas. Al variar la velocidad del motor podemos visualizar que el ángulo de desfase, o distancia entre señales, por periodo, aumenta cambiando el factor de potencia; comprobando así el correcto funcionamiento del equipo.

Teóricamente, si el motor funcionara al 100%, sin pérdidas ni variaciones, estas señales estarían en fase; teniendo así un ángulo de desfase igual a cero y, al proceder a calcular el factor de potencia, obtendríamos un valor de 1, lo que significa una eficiencia del motor del 100%.

Ahora, trasladando el mismo criterio para casos reales de funcionamiento de un motor, encontramos que ningún motor es eficiente en un 100%, porque en su funcionamiento existen pérdidas o variaciones, por lo que existe desfase entre las señales de voltaje y corriente, representada por un ángulo o distancia medida entre los flancos de bajada, por cada periodo.

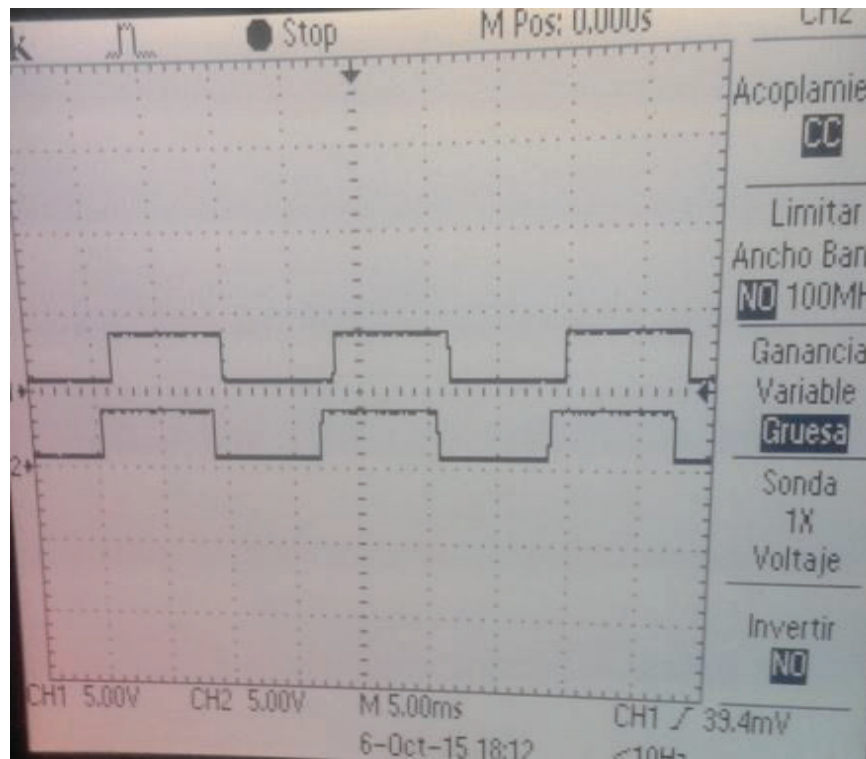
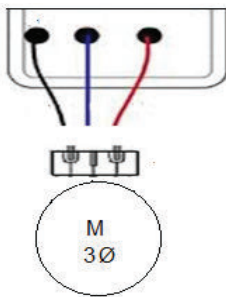


Fig. N°49: Simulación en Osciloscopio de Laboratorio

4.2 ESQUEMA DE MEDICIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA.

El equipo está diseñado para motores trifásicos de carga balanceada esto quiere decir que, conociendo el factor de potencia de una sola fase, podemos obtener el factor de potencia total del motor.

Sabiendo que este equipo nos da el resultado de una fase, ese valor entonces se utilizará para obtener el valor total del motor trifásico. En la programación del microprocesador se obtiene como resultados el ángulo y el coseno de dicho ángulo, determinando así el factor de potencia.



*Fig. N°50: Conexión de instrumentos
(Autoría Propia)*



Fig. N°51: Fotografía cableado del equipo

El siguiente es el procedimiento: Se coloca los cables que salen del cosfímetro en un motor utilizando las dos borneras de una fase de la conexión ya sea en estrella o triángulo.

El cable negro es del sensor de corriente de una fase; la medición se la hace por el campo magnético originado por la cantidad de flujo de corriente que circula por una

fase y para la señal de voltaje utilizamos dos cables. Además ésta constituye también la conexión de alimentación del circuito de nuestro equipo; por eso están conectados en paralelo de los bornes, dos fases del motor tanto para conexiones tanto para estrella como para triangulo. El voltaje máximo de trabajo es de 220 [V], por lo que nuestro transformador de voltaje lo soporta sin ningún problema.



Fig. N°52: Placa Circuito General Fig. N°53: LCD

Esquema de medición del cosfímetro analógico del laboratorio.

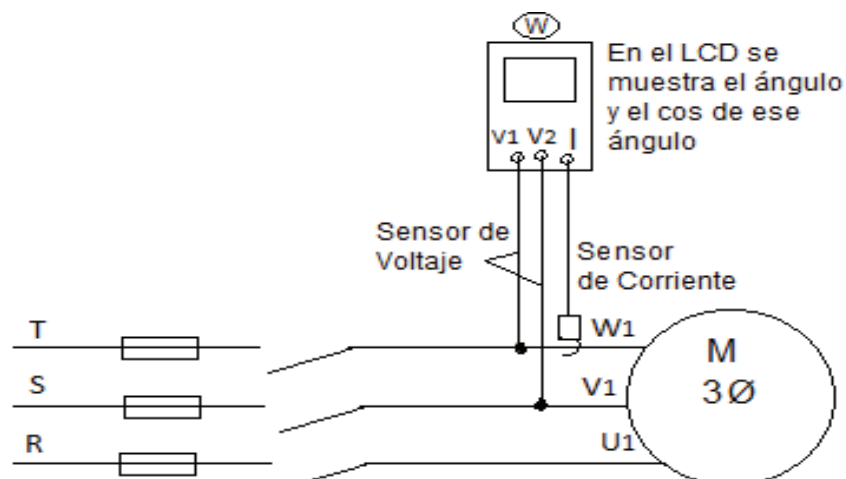


Fig. N°53: Esquema de medición
(Autoría Propia)

Dónde:

I: sensor de corriente U_1 : Entrada del motor

V_1, V_2 : sensores de voltaje V_1 : Entrada del motor

W: Símbolo del cosfímetro W_1 : Entrada del motor

M 3 Ø: Motor trifásico

Motor: Utilizamos 3 motores de valores diferentes comprendidos entre 110[V], 120[V], y 220 [V].

Generador de señales: Utilizado para generar y enviar distintas señales con valores diferentes para pruebas.

V: Es el Voltaje de entrada al equipo de medición.

I: Es la corriente de entrada al equipo de medición.

Angulo: Es el ángulo proporcional al desfase de las señales.

fp_1 : Es el factor de potencia en el caso de los motores medido por un cosfímetro analógico del laboratorio.

fp_2 : Es el factor de potencia medido con nuestro equipo.

Eficiencia: Es la diferencia entre el fp_1 y fp_2

CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

5.1.1 El presente proyecto permite la medición del factor de potencia de forma directa, utilizando un instrumento que facilita la medición y la realización posterior de cálculos, sin la necesidad de un equipo costoso o del uso de un multímetro. En este proyecto para poder detectar el ángulo de desfase entre la onda de corriente y la onda de voltaje, optamos por la manera más práctica y sencilla que es la detección de cruces por cero, que nos permite –con un circuito básico y un comparador– detectar con precisión el desfase de ondas cuadradas que son manejables y detectables por el microcontrolador. El equipo también lo construimos de manera modular, es decir si algún elemento electrónico o eléctrico llegara a fallar, quemarse o dañarse, sería fácilmente reemplazable.

5.1.2 El costo del equipo electrónico es relativamente bajo en el mercado, gracias a los elementos (tanto eléctricos como electrónicos) que fueron implementados, los mismos que se pueden adaptar a cualquier entorno de trabajo, siempre y cuando se respeten los rangos de trabajo y la forma de funcionalidad del equipo. En esta parte, en las primeras pruebas realizadas, tuvimos que adquirir varios kits de elementos ya que en éstas, debido a fallas técnicas, se quemaron algunos componentes; esto nos ocurrió un par de veces pues únicamente las podíamos notar en la práctica, hasta que fuimos mejorando el diseño y características del circuito que y obtener así un resultado final exitoso.

5.1.3 El equipo implementado mide el factor de potencia en los motores con una eficiencia mayor al 90 %, con características que van en un rango de trabajo de 110 a 220 Voltios y 30 Amperios como máximo y con una potencia mecánica de hasta 8 Hp (6.6 Kw) en una fase del motor trifásico balanceado. Como detalle de nuestro equipo en comparación con los que se encuentran en el mercado, resulta relativamente de bajo costo su construcción, obteniendo así el mismo resultado que un cosfímetro de

marca; que además, son difíciles de encontrar en el mercado ecuatoriano. En el mercado tendrían un valor sobre los \$300 dólares por ser un equipo importado, mientras que si la producción fuera nacionalmente de nuestro equipo tendría un costo los implementos de \$ 50 dólares.

5.1.4 La forma de la programación y el circuito del equipo permite relacionar el tiempo y el ángulo de desfase que se utiliza para el cálculo del factor de potencia. Este es tan eficiente como medir el factor de potencia utilizando un cosfímetro analógico o realizar los cálculos teniendo los valores de potencia, voltaje y corriente; esto nos sirve como un indicador de que nuestro equipo funciona bien y realiza el cálculo correctamente del factor de potencia, para su posterior corrección. Con esto bajarían los costos de mantenimiento de un motor e incluso puede llegar a tener una bitácora con mejor organización para realizar futuros mantenimientos y constantes revisiones del factor de potencia del motor e ir verificando continuamente su eficacia.

5.1.5 El equipo implementado puede ser utilizado por cualquier persona sin necesidad de un conocimiento especial, pues la forma como se conecta el equipo al motor es directa a la alimentación de una fase del motor; es decir, el equipo ayudará tanto a personas con conocimientos técnicos como a personas sin experiencia técnica específica. Adicionalmente el equipo puede utilizarse para las necesidades de las pequeñas y medianas empresas que no poseen equipos de medición del factor de potencia ya que con este equipo realicen buenas prácticas de control y mantenimiento, tanto preventivos como correctivos, de los motores, que bien conservados aseguran un producto final de calidad y no detiene la producción. El equipo también puede ser utilizado en laboratorios de prácticas de centros universitarios o de colegios técnicos, donde facilitará a los estudiantes la detección de este parámetro eléctrico.

5.2 RECOMENDACIONES

5.2.1 Se recomienda tener en cuenta el rango de trabajo establecido, tanto de los motores como del equipo; ya que este diseño está enfocado para motores trifásicos balanceados que a niveles superiores de lo establecido el equipo no soportaría por sobrecalentamiento. Si se respeta estos rangos, la medición será acertada para posteriores correcciones del factor de potencia. Ésta recomendación es importante y la citamos en primera instancia por que en la experiencia que adquirimos en la construcción del presente proyecto tuvimos esas dificultades; a tal punto que tuvimos que construir protecciones al equipo hasta lograr estabilizarlo y que sea resistente a los rangos establecidos sin dañar el equipo varias veces; por ese motivo se lo hizo de manera modular, poniendo especial cuidado en los elementos electrónicos más sensibles, de forma que si se llegasen a quemar, pudiese ser reemplazado con facilidad.

5.2.2 Los elementos utilizados en la construcción de este equipo soportan corrientes y voltajes altos, por lo que su manejo adecuado evitará riesgos innecesarios para el personal que haga uso del mismo. Siempre se debe tener en cuenta primero la seguridad e integridad física de las personas, ya que el riesgo siempre está latente; por lo que se recomienda que al usar el equipo se logre una cultura de llevar siempre un control programado de los mantenimientos de los motores cuyo factor de potencia van a ser medidos, disminuyendo los alarmas de accidentes. Debe tomarse su tiempo para realizar la medición, analizando lo que pueda pasar.

5.2.3 El correcto funcionamiento del equipo dependerá de la adecuada conexión de los cables en las borneras, asegurándose de la configuración del motor trifásico es tanto conexión estrella o en triángulo. Esto hace que nuestro equipo de medición sea independiente del tipo de motor, siempre y cuando sea de carga balanceada; asegurando una medición eficiente, igual que lo haría con cualesquier instrumento eléctrico de medición. En cuestiones tecnológicas y técnicas siempre es recomendable asesorarse bien de lo que se va a adquirir para no tener

complicaciones futuras; en nuestro caso las pruebas realizadas en laboratorio nos dieron el resultado esperado.

5.2.4 Hay que asegurarse que el momento de utilizar el equipo en la medición del factor de potencia, no sea al instante de encender el motor, ya que los picos de voltaje que se generan al arrancar un motor son elevados que pueden dañar al equipo. En el sector industrial esta recomendación es más importante porque los rangos que hemos establecido son los más comunes que se podrían encontrar en una empresa pequeña o mediana; es fundamental primero preguntarnos ¿Qué tipo de motor trifásico tengo en mi industria?

5.2.5 Es preciso hacer la medición del factor de potencia con el motor encendido y estabilizado para tener una lectura del factor de potencia eficiente y acertada que conllevará a una corrección del factor de potencia a tiempo y un uso eficaz de la energía; es decir lo que se busca también es optimizar el uso de la energía y que no genere pérdidas por un mal funcionamiento. A la larga esto abarata costos de mantenimiento, porque evita reparaciones innecesarias de los motores trifásicos y no se detiene la producción de la industria; volviéndola competitiva en todos los ámbitos del mercado ecuatoriano.

Bibliografía

- FRAILE Jesús MORA. Maquinas eléctricas. 5ª Edición, McGraw Hill. 2008.
- PONCE Pedro CRUZ. Máquinas Eléctricas. 1ª Edición. Alfaomega Grupo Editor. Colección 3B. 2008.
- CHAPMAN Stephen. Máquinas Eléctricas. 4ª Edición. México DF. McGraw Hill. 2009.
- ANGULO JoséUSATEGUI. Microcontroladores PIC Diseño practico de aplicaciones. 3ª edición. Mc Graw Hill. 2008.
- CLAVIJO Ricardo. Diseño y simulación de sistemas microcontrolados en lenguaje C. 1ª edición. mayo 2011.
- RAMOS Guillermo. Curso Práctico de Electrónica Industrial y Automatización. Pereira. CEKIT SA. 2012.
- RASHID Muhammad. Electrónica, 3ª Edición. 2010.
- Mcgraw Hill Motores Trifásicos
- Motores de Inducción, Ingeniero Julio Álvarez. Pdf.
- Motores de Inducción, Ingeniero Julio Álvarez. Pdf.
- Motores de Corriente Alterna, Ingeniera María Jesús Vallejo Fernández. Pdf.
- Basic para Microcontroladores
- Introducción a la Programación en C. Andrés Marzal e Isabel García. Pdf.
- Manual MicroICD, Nebojsa Matic. 2009.
- Diseño y Simulación de Sistemas Microcontrolados en lenguaje C, Clavijo Mendoza Juan Ricardo. 2009.

ANEXO 1

Comparación entre microcontroladores AVR y PIC

COMPARACION	PIC	AVR
Fabricación	Son una familia de 8 bits de la empresa estadounidense MICROCHIP, cuentan con un CPU RISC, memoria FLASH y con periféricos como Puertos Digitales, ADC, PWM, entre otros.	Son una familia de 8 bits la compañía noruega ATMEL, cuentan con una CPU RISC y su memoria de programa viene implementada en FLASH y con periféricos como Puertos Digitales, ADC, PWM, entre otros.
Lenguaje de Programación	Podemos encontrar diferentes IDE y compiladores para C , C++ y Basic, sin embargo cabe destacar que estas herramientas de desarrollo no son completamente gratis y tienen su costo, entre IDE más usados están: MPLAB	Se utiliza compiladores de lenguaje C, C++, Basic, con IDE en todo ellos. Podemos citar el AVR studio, y el BASCOM. Como ventaja se debe a que todos los IDE se pueden descargar gratis o Demo en la web de los fabricantes.
Características externas	En el PIC se debe de conectar un cristal externe que hará la función de oscilador de reloj.	No necesitan cristal o resonador porque tienen un oscilador interno.
Programar el micro controlador	Disponen de un puerto para programación, usualmente un puerto serial, pero la diferencia con los AVR es que la programación se realiza a alto voltaje, >5Vdc, lo que hace necesario el uso de circuitos externos que realizan esta conversión de niveles y por lo tanto incrementan la complejidad del circuito.	El chip dispone de un periférico específico para la programación de su memoria, el puerto ISP, el cual es un puerto serial formado por 3 pines que se conectan a un programador y este a un puerto del PC, para realizar el grabado o "quemado" del chip.

ANEXO 2

Cuadro de costos de los elementos del equipo

Ítem	Elemento	Cantidad	P. Unitario	P. Total
1	Transformador	1	5	5
2	Sensor de corriente o pinza	1	22	22
3	Micro controlador ATMEGA 16	1	20	20
4	Pantalla LCD	1	15	15
5	Integrado 7805	1	2	2
6	Integrado LM324	1	2	2
7	Capacitores varios	6	0,25	1,50
8	Diodos varios	2	0,15	0,3
9	Resistencias varias	12	0,1	1,2
10	Cable varios	2	3	6
11	Conectores	5	0,3	1,5
12	Estaño	1	2,5	2,5
13	Baquelita	1	7	7
14	Implementos para placa	1	10	10
15	Taladro para baquelita	1	45	45
16	Cautín	1	35	35
17	Kit. Herramientas	1	40	40
18	Armazón	1	15	15
19	Licencias de programas	2	60	120
VALOR TOTAL APROXIMADO				351

ANEXO 3

Cuadro comparativo de varios instrumentos de medición en el mercado

PROYECTO COSFIMETRO	El proyecto mide el ángulo de desfase entre las ondas de corriente y voltaje y calcula el factor de potencia el resultado lo muestra en un display LCD	\$ 351.00
FLUKE 434 ANALIZADOR TRIFASICO DE CALIDAD ELECTRICA BASICO	Este Instrumento de medición mide valores de voltaje corriente potencia factos de potencia y muestras las señales de corriente y voltaje, etc.	\$ 4.446
Vatímetro pce-gpa 62	Este instrumento mide la potencia de motores monofásicos y trifásicos y el ángulo pero no contamos con el factor de potencia.	\$ 1.031,07
VATIMETRO DIGITAL CHAUVIN ARNOUX CA8220	Este instrumento mide la potencia de motores monofásicos y trifásicos.	\$ 1.531,05
PX 120	Este instrumento es un vatímetro que mide la potencia eléctrica, pero solo con cálculos complementariamos el dato de factor de potencia.	\$ 1.018,49
Medidor De Factor De Potencia Yokogawa (cosfimetra) ANALOGICO	Este instrumento mide el factor de potencia de forma analógica por lo tanto no es tan preciso como los instrumentos digitales.	\$ 900.00

ANEXO 4

Funcionamiento del programa

```

#include "config.h" //Nos permite
manipular ficheros desde nuestros programa
#include <avr/io.h> //Esta cabecera incluye
las definiciones IO apropiado para el dispositivo AVR
seleccionado.
#include <avr/interrupt.h> //Esta cabecera llama
la libreria para control de interrupciones.
#include <util/delay.h> //Libreria para llamar
las interrupciones.
#include "lcd.h" //Libreria para configurar
pines de control y datos del LCD 16x2.
#include <math.h> //Libreria para llamar
operaciones matematicas.
void ext_interrupt_init(void); //Habilita la
interrupcion externa
void timer0_init(void); //Configura el
temporizador sin preescala
uint16_t aux; //Auxiliar para numero
entero sin signo de 16 bits
volatile uint8_t estado_deteccion = 0; //Variable volatil
volatile uint8_t contadorH; //Variable volatil
para mayor cantidad de bits
volatile uint16_t contador;
volatile uint16_t periodo;
volatile uint32_t angulo; //Variable volatil para
mayor cantidad de bits
volatile float factor; //Variable para guardar
en memoria solo de lectura
int main(void) //Funcion main debe
regresa un dato entero
{
    timer0_init(); //Inicializa el registro
    TIMER0 con el reloj interno
    ext_interrupt_init(); //Inicializa la
    interrupcion externa
    sei(); //Habilita las interrupciones
    lcd_init(LCD_DISP_ON); //Inicializa el LCD
    lcd_puts("cosfimetro: "); //Muestra en el LCD
    el mensaje cosfimetro
    while(1) //Ciclo infinito
    {
        _delay_ms(200); //Retardo de 200 mili
        segundos
        aux = contador; //Se define el valor de
        contador a la variable aux
        lcd_gotoxy(13,0); // Se ubica en la fila 13
        columna 0
        angulo=aux; //Se define el valor de aux
        en la variable angulo
        angulo = angulo *360 / periodo; //Calcula con regla
        de 3 para obtener el angulo comprendido entre 0 y 360 grados
        if (angulo>=180) //Condicional para la
        variable angulo
        {
            angulo-=180; //Se asigna a la variable
            angulo el valor de 180
        }
        lcd_write_value(angulo,3); //Presenta en el LCD
        el valor de la variable angulo
        factor = angulo*2*M_PI/360; //Calcula mediante
        una regla de 3 para obtener el valor de factor
        factor = cos(factor); //Se define el valor del
        factor de potencia a la variable factor
        lcd_gotoxy(0,1); //Se ubica en la fila 0
        columna 1
        lcd_puts("Factor P: "); //Muestra en el LCD el
        mensaje Factor P:
        uint16_t aux_fp = factor; //Auxiliar para
        presentar valor sin signo
        uint16_t aux2_fp = factor*1000;
        lcd_write_value(aux_fp,1); //Presenta en el LCD
        el valor de la variable aux_fp
        lcd_puts("."); //Muestra en el LCD el
        simbolo .
        lcd_write_value(aux2_fp,3); //Presenta en el
        LCD el valor de la variable aux2_fp
    }
}
void ext_interrupt_init(void) //Iniciamos la
interrupcion externa
{
    PORTD |= (1<<PIND2)|(1<<PIND3); //Definimos
    los pines del puerto D a los pines del LCD
    EICRA =(1<<ISC11)|(1<<ISC10)|(1<<ISC00)|(1<<ISC00);
    //Se llaman a las interrupciones externas
    EIMSK = (1<<INT1)|(1<<INT0); //Se
    llaman a las interrupciones externas
}
ISR (INT1_vect) //Interrupcion
{
    estado_deteccion = 1; //Declaracion de
    variable
    TCCR0B |= (2<<CS00); //Sentencias para
    setear e iniciar las interrupciones en 0
    TCNT0 = 0; //Declaracion de
    los pines del AVR
    contadorH =0;
    periodo = TCNT1;
    TCNT1 =0;
}
ISR (INT0_vect)
{
    estado_deteccion = 0;
    TCCR0B = (0<<CS00);
    contador = ((contadorH<<8)+TCNT0); //Variable
    contador se inicia interrupcion
}
ISR (TIMER0_OVF_vect)
{
    contadorH++;
}
ISR (TIMER1_OVF_vect)
{
    // contadorH++;
    asm("nop"); //Ciclo variable
    contador aumenta e inicia la interrupcion en un ciclo
}
void timer0_init(void) //Inicializa el
TIMER 0
{
    TCCR0A = (0<<WGM00); //Declaracion de
    los pines del AVR entradas y salidas para las interrupciones
    TCCR0B = (0<<WGM02)|(0<<CS00);
    TCCR1B = (2<<CS10);
    TIMSK0 = (1<<TOIE0);
    TIMSK1 = (1<<TOIE1);
}

```