



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPTO. INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

Diseño y construcción de un dispositivo corrector automático del factor de potencia

AUTORES

José Pinto Lemus

Diego Valdés Medina

SEMINARIO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO DE EJECUCIÓN EN ELECTRICIDAD

CONCEPCIÓN – CHILE

2015



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPTO. INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

Diseño y construcción de un dispositivo corrector automático del factor de potencia

AUTORES

José Pinto Lemus

Diego Valdés Medina

DOCENTE PATROCINANTE

Javier Riedemann Aros

DOCENTES ADJUNTOS

Fabrizio Salgado Días

Luis Silva Oyarzún



Índice

OBJETIVOS	4
RESUMEN.....	5
INTRODUCCION	6
 CAPITULO 1.....	 7
ANÁLISIS DE POTENCIA DE CORRIENTE ALTERNA	7
1.1.- GENERALIDADES	8
1.2.-TIPOS DE CARGA	8
1.2.1-Cargas resistiva	8
1.2.2-Carga inductiva	9
1.2.3-Carga capacitiva	9
1.2.4-Carga combinadas	10
1.3-TIPOS DE POTENCIA.....	10
1.3.1-Potencia instantanea	10
1.3.2-Potencia promedio o activa.....	11
1.3.3-Potencia reactiva	12
1.3.4-Potencia reactiva inductiva	13
1.3.5-Potencia reactiva capacitiva.....	14
1.3.6-Potencia compleja o aparente	14
1.3.7-Triangulo de potencia	15
 CAPITULO 2.....	 17
ESTUDIO Y ANÁLISIS DEL FACTOR DE POTENCIA	17
2.1-INTRODUCCION	18
2.2-CAUSAS DEL BAJO FACTOR DE POTENCIA	19
2.2.1-Incremento de las perdidas por efecto joule	19
2.2.2-Sobrecarga de los generadores, transformadores y líneas de distribución	19
2.2.3-Aumento en la caída de tensión	20
2.3-CONSECUENCIA DE UN BAJO FACTOR DE POTENCIA	20
2.3.1-Incremento en la factura eléctrica	20
2.3.1-Costo de la energía	21
 CAPITULO 3.....	 23
COMPENSACION DE POTENCIA REACTIVA	23
3.1-INTRODUCCION	24
3.2-MÉTODOS DE COMPENSACION DE POTENCIA REACTIVA	25
3.2.1-Compensacion de potencia reactiva mediante banco de capacitores	25
3.3-TIPOS DE COMPENSACION	26
3.3.1 -Compensacion fija.....	26
3.3.2-Compensacion automatica	27
3.4-PRINCIPIOS Y MOTIVOS DEL USO DE LA COMPENSACION AUTOMATICA.....	27
 CAPITULO 4.....	 29
ARDUINO.....	29
4.1-INTRODUCCION	30



4.2-ELEMENTOS DE UNA TARJETA ARDUINO.....	30
4.2.1-Microcontrolador.....	31
4.2.2-Chip ATmega 16u2	31
4.2.3-Alimentacion de la tarjeta.....	32
4.2.4-Entrada y salidas digitales	32
4.2.5-Entrada analogica	33
4.2.6-Salida PWM.....	33
4.2.7-Pines hembra de la placa arduino	34
4.2.8-Conexión mediante cable USB	34
4.3-Software de Arduino	36
4.3.1-Estructura general de un programa con Arduino	37
4.3.2-Variables	38
CAPITULO 5	39
DISEÑO DE LA UNIDAD CORRECTORA	39
5.1-METODOLOGIA DE MEDICION	40
5.2-ELEMENTOS PRINCIPALES Y ADAPTACION AL DISEÑO	42
5.2.1-Plataforma Arduino	42
5.2.3-Fuente de alimentacion	42
5.2.4-Regulador de 5V	43
5.2.5-Sensor de tension	44
5.2.6-Sensor de corriente	44
5.2.7- Amplificador operacional	47
5.2.8-Filtro de paso banda con amplificador operacional	52
5.3-CONSTRUCCION DEL COSENOFIMETRO CON ARDUINO	56
5.5.1-Hipotesis del diseño	56
5.5.2-Plantamiento del diseño	56
5.5.3-Construccion del programa.....	57
5.4-POTENCIA REACTIVA INYECTADA.....	62
5.4.1-Teoria del diseño	62
5.4.2-Planteamiento del diseño	63
5.4.3-Construccion del programa.....	64
5.4.4-Modulo de rele para Arduino	69
5.4.5-Contactores Danfoss.....	70
5.4.6-Caracteristicas tecnicas de los capacitores de la universidad	71
5.4.7-Caracteristicas tecnicas en el diseño del compensador de reactivos	74
5.4.8-Activacion de los modulos reles de acuerdo a la potencia reactiva	74
5.5-PANTALLA DE MEDICIONES	77
5.6-PRUEBA DE LA UNIDAD CORRECTORA	80
5.6.1-Prueba con carga resistiva	80
5.6.2-Prueba con carga inductiva(Motor en vacio)	82
5.6.3-Prueba con carga inductiva(Motor con freno prony)	86
COMENTARIOS Y CONCLUSIONES	89
BIBLOGRAFIA.....	92
ANEXOS	93



Título

Diseño y construcción de un dispositivo corrector automático del
factor de potencia



Objetivos

Los objetivos del presente Seminario de Titulación son:

- Aplicar los conocimientos adquiridos en la carrera al diseño específico de un dispositivo corrector automático del factor de potencia.
- Aprender a utilizar la plataforma Arduino para el diseño de la unidad correctora.
- Adaptar Arduino para las mediciones de formas de onda de tensión y corriente de una instalación o consumo.
- Diseñar un programa que permita analizar con Arduino las formas de onda de tensión y corriente para determinar el factor de potencia.
- Diseñar un programa que permita corregir con Arduino el factor de potencia en forma automática.
- Construir un solo dispositivo que mida, analice y corrija de manera automática el factor de potencia.
- Poder visualizar el correcto funcionamiento del dispositivo y realizar pruebas.



Resumen

El siguiente seminario recopila tanto información teórica como práctica para realizar el diseño y construcción de un dispositivo corrector automático del factor de potencia. Contiene cada uno de los pasos que se fueron realizando para ir diseñando y construyendo la unidad, además 3 pruebas de funcionamiento para comprobar su óptimo desempeño.

Se analizó los tipos de carga que se conectan a un circuito eléctrico y cada una de las potencias que generaban a partir de dicha carga en corriente alterna. Su comportamiento visualizado en diagramas fasoriales tanto para tensión como la corriente y sus fórmulas.

Determinamos las causas que originan el bajo factor de potencia, a partir de estas se nombraron las consecuencias que producía en cada uno de los elementos que conformaban al sistema. Se hizo un pequeño énfasis a la distorsión del factor de potencia debido a las armónicas.

Con una breve introducción se explicó la compensación de potencia reactiva donde se nombran cada uno de los métodos de compensación, la selección del tipo de compensación que se pueden elegir dependiendo del requerimiento. Se especificó las características principales y consideración que se tienen al instalar condensadores.

Nombramos cada uno de los elementos que conformaban la tarjeta, que función cumplían cada uno de sus terminales y su conexonado. Mostramos el software que utiliza para su programación y la estructura de su programa con los diferentes comandos.

Al finalizar aplicamos cada uno de los capítulos para diseñar y construir paso a paso las etapas que conforman la unidad correctora desde los diferentes elementos y circuitos a utilizar hasta su código de programación. Comprobamos y mostramos que el diseño cumpliera con las exigencias requeridas.



Introducción

Una de las medidas al alcance de la industria para conocer el grado de eficiencia con el cual se está usando dicha energía es el llamado factor de potencia, el cual ha sido tomado muy en cuenta en la mejor utilización de la electricidad, para esto se diseñara un dispositivo que mejorará el factor de potencia.

Para diseñar este dispositivo hay que tener bien claro el análisis de la potencia, ya que está presente en todos los equipos eléctricos lo que implica que cada equipo absorbe una energía que necesita ser conocida para ser aplicada al diseño, es por esto que en el capítulo I se hace un análisis de la potencia en C.A.

Debido a que los equipos eléctricos consumen energía y no todos lo hacen de la mejor manera, impone la necesidad de que los conductores, transformadores y demás dispositivos que participan en el suministro eléctrico de esta energía sean más robustos, por lo tanto hace que se realice un estudio de cómo se utiliza la energía a través del análisis del factor de potencia en el capítulo II.

Una vez realizado el análisis del factor de potencia se puede determinar cómo se mejorara el aprovechamiento de la energía eléctrica, es por esto que en el capítulo III se describirán los métodos de compensación de la potencia reactiva.

Con todo el conocimiento teórico entregado en los tres primeros capítulos, se puede comenzar a crear el diseño y para esto se necesita conocer la plataforma y todas sus características. En el capítulo IV conoceremos todo lo que utilizaremos para crear nuestro diseño, características y elementos que contiene la plataforma para crear el código de programación.

En el capítulo V se construirá la unidad correctora paso a paso a partir de los conocimientos teóricos aplicados sobre la plataforma Arduino, adaptándolo y solucionando cada uno problemas que pueda presentar para generar el código de programación correcto.



CAPITULO 1

Análisis de potencia en corriente alterna



1.-Análisis de la potencia en corriente alterna

1.1- Generalidades

El análisis de la potencia es de suma importancia, ya que es la cantidad más relevante en sistemas de suministros de electricidad, electrónicos y de comunicación, porque en tales sistemas implican la transmisión de potencia de un punto a otro.

De igual manera, cada aparato eléctrico industrial y doméstico, cada ventilador, motor, lámpara, plancha, televisor y computadora personal, tiene una potencia nominal que indica cuanta potencia requiere el equipo; exceder la potencia nominal puede causar daños permanentes a un dispositivo.

1.2-Tipos de Cargas

1.2.1- Carga Resistiva

Tales cargas son referidas como si tuvieran una resistencia eléctrica designada con la letra R y expresada en Ohm (Ω). Las cargas resistivas pueden encontrarse en equipos como lámparas incandescentes, planchas y estufas eléctricas, en donde la energía que requieren para funcionar es transformada en energía lumínica o energía calorífica, en cuyo caso el factor de potencia toma el valor de 1.0.

En un circuito puramente resistivo, la corriente está en fase con la como se muestra en la figura 1.1.

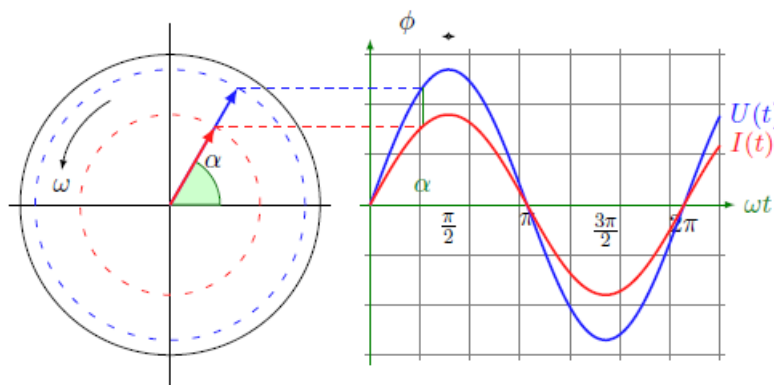


Figura 1.1: Diagrama fasorial de tensión y corriente de una carga resistiva.

Este grafico muestra las ondas senoidales de tensión y corriente eléctrica en función del tiempo y el desfase que existe entre ellas, la cual es igual a cero, es decir, se encuentran en fase.



1.2.2- Carga Inductiva

Las cargas inductivas son encontradas en cualquier lugar donde haya bobinados involucrados, por ejemplo en los equipos del tipo electromecánicos como los motores, balastos, transformadores, entre otros; además de consumir potencia activa, requieren potencia reactiva para su propio funcionamiento, por lo cual trabajan con un factor de potencia menor a 1.0. Considerándose por lo tanto que las cargas inductivas, sean el origen del bajo factor de potencia (menores a 0.9). En un circuito puramente inductivo la corriente no está en fase con la tensión ya que va atrasada 90° con respecto a la tensión.

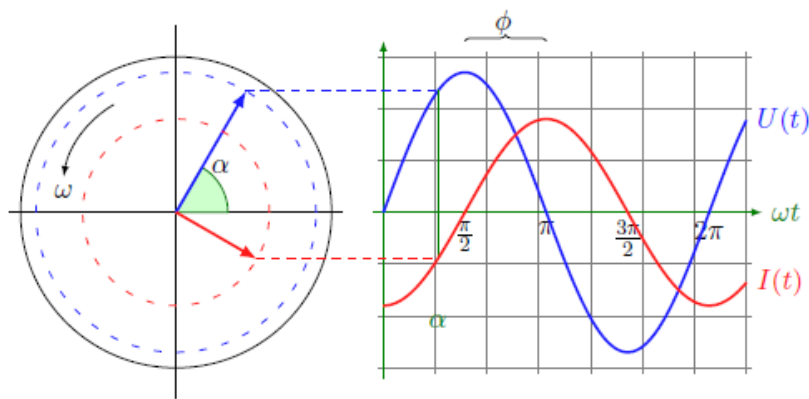


Figura 1.2: Diagrama fasorial de la corriente respecto a la tensión de una carga inductiva

Algunos equipos de cargas del tipo inductivo son los siguientes:

- Transformadores.
- Motores de inducción.
- Alumbrado fluorescente.
- Máquinas soldadoras.

En la figura 1.2, se muestran las ondas senoidales de tensión y corriente eléctrica en función del tiempo y el desfase de 90° de la corriente con respecto a la tensión.

1.2.3- Carga Capacitiva

Las cargas capacitivas se presentan en los capacitores y se caracterizan porque la corriente se haya adelantada respecto de la tensión 90° . En la Figura 1.3, se presenta el diagrama fasorial correspondiente a las cargas capacitivas.

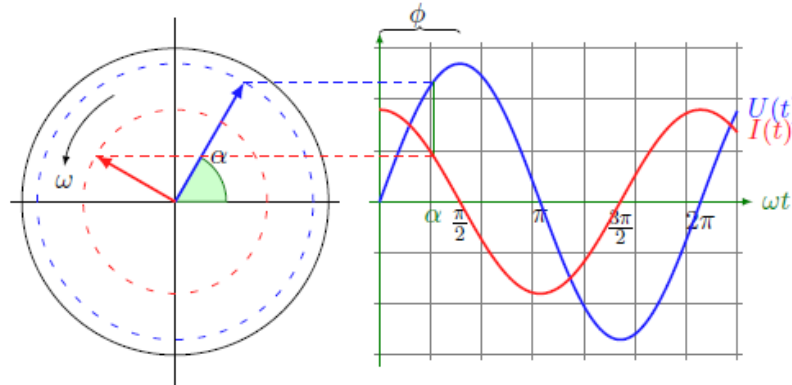


Figura 1.3: Diagrama fasorial cargas capacitivas y Ondas de corriente adelantada en 90° con respecto a la onda tensión

Las cargas de tipo capacitivo son:

- Bancos de capacitores.
- Motores síncronos.

En la figura 1.3, se muestran las ondas senoidales de tensión y corriente eléctrica en función del tiempo, para este caso la corriente se adelanta 90° con respecto a la tensión.

1.2.4- Cargas combinadas

En la práctica una carga no está constituida solamente por cargas resistivas, inductivas o capacitivas, ya que estas tres cargas con frecuencia coexisten en los circuitos eléctricos. Sin embargo para el caso de una industria la carga más predominante es la carga inductiva, de ahí que sea el factor por el cual se realiza este trabajo.

1.3-Tipos de Potencia

1.3.1-Potencia Instantánea

La potencia instantánea que se suministra a cualquier dispositivo está dada por el producto de la tensión instantánea a través del dispositivo y la corriente instantánea que circula por él.

$$p(t) = v(t) * i(t) \quad (1.1)$$

Si el dispositivo en cuestión consiste en una resistencia R , entonces la potencia se exprese solo en términos de su corriente o nada más mediante la corriente o la tensión:



$$p(t) = v(t) * i(t) = i^2(t) * R = \frac{v^2(t)}{R} \quad (1.2)$$

Si la tensión y la corriente se asocian con un dispositivo que es completamente inductivo, entonces:

$$p(t) = v(t) * i(t) = Li(t) * \frac{di(t)}{dt} = \frac{1}{L} v(t) \int_{-\infty}^t v(t') * dt' \quad (1.3)$$

Donde se supone de manera arbitraria que la tensión es cero en $t = -\infty$. En el caso de un capacitor,

$$p(t) = v(t) * i(t) = Cv(t) * \frac{dv(t)}{dt} = \frac{1}{C} i(t) \int_{-\infty}^t i(t') * dt' \quad (1.4)$$

1.3.2- Potencia promedio o activa

La potencia activa es realmente la potencia contratada en la empresa eléctrica y que llega al domicilio, la industria, la oficina o cualquier otro lugar donde se necesite a través de la red eléctrica de distribución. Es consumida por todos los aparatos eléctricos utilizados, normalmente se registra en contadores o medidores de electricidad que instala la empresa suministradora para medir el total de la energía eléctrica consumida en el periodo de tiempo determinado en el contrato.

Es la potencia que transforma la energía eléctrica en trabajo, es tomada por los diferentes dispositivos eléctricos y convertida en otras formas de energía tales como: mecánica, lumínica, térmica, química, etc. Esta potencia es la realmente consumida por los circuitos eléctricos, su unidad de medida es el watts (W).

Esta potencia asociada con las señales sinusoidales es el promedio de potencia instantánea a lo largo de un periodo y se obtendrá a partir del siguiente resultado.

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{1}{2} V_m * I_m \cos(\theta v - \theta i) dt + \frac{1}{T} \int_0^T \frac{1}{2} V_m * I_m \cos(2\omega t + \theta v + \theta i) dt \quad (1.5)$$

$$P = \frac{1}{2} V_m * I_m \cos(\theta v - \theta i) \frac{1}{T} \int_0^T dt + \frac{1}{2} V_m * I_m \frac{1}{T} \int_0^T \cos(2\omega t + \theta v + \theta i) dt \quad (1.6)$$

El primer integrando es contante, y el promedio de una constante es la misma constante. El segundo integrando es una senoidal. Se sabe que el promedio de una senoidal a lo largo de un periodo es de cero, por lo que es área bajo la senoidal durante el medio ciclo positivo es



cancelada por el área bajo ella durante el siguiente medio ciclo negativo. Así, el segundo término de la ecuación se anula y la potencia promedio o activa se convierte en

$$P = \frac{1}{2} V_m * I_m \cos(\theta_v - \theta_i) = \frac{1}{2} V \sqrt{2} * I \sqrt{2} * \cos\theta \quad (1.7)$$

$$P = V * I * \cos\theta \quad (1.8)$$

La potencia promedio o activa resulta ser la semisuma del producto de la tensión, la corriente y el coseno de la diferencia de la fase entre estas dos. Puesto que $\cos(\theta_v - \theta_i) = \cos(\theta_i - \theta_v)$, lo importante es la diferencia en las fases de la tensión y la corriente.

Se consideran dos casos especiales para el análisis de la ecuación 1.8, Cuando la diferencia angular entre la tensión y la corriente es cero esto quiere decir que $\theta_v = \theta_i$ y están en fase, el circuito conectado en los terminales es puramente resistivo.

$$P = V * I * \cos 0 = V * I = I^2 * R \quad (1.9)$$

1.3.3- Potencia Reactiva

La potencia reactiva es la consumen los motores, transformadores y todos los dispositivos o aparatos eléctricos que poseen algún tipo de bobina o enrollado para crear un campo electromagnético. Esta potencia no produce ningún trabajo útil y perjudica la transmisión de la energía a través de las líneas de distribución eléctrica. La unidad de medida de la potencia reactiva es el VAR y se designa con la letra Q, esta puede ser de carácter inductivo o capacitivo. Esta potencia se obtiene a partir de la ecuación de la potencia instantánea, como

$$p(t) = V * I * \cos(\theta_v - \theta_i) + V * I * \cos(2\omega t + \theta_v + \theta_i) \quad (1.10)$$

Se puede escribir de la siguiente forma

$$p(t) = VI * \cos\theta * (1 - \cos 2\omega t) - VI * \sin\theta * \sin 2\omega t \quad (1.11)$$

Como en este caso estamos hablando solamente de potencia reactiva

$$P = VI * \cos\theta = 0 \quad (1.12)$$



$$p(t) = -VI * \text{Sen}\theta * \text{Sen}2\omega t \quad (1.13)$$

Entonces:

$$Q = VI * \text{Sen}\theta = I^2 X = \frac{V^2}{X} \quad (1.14)$$

1.3.4- Potencia reactiva Inductiva

Si el circuito conectado a los dos terminales es puramente inductivo, la tensión y la corriente están desfasadas precisamente en 90° . En particular la corriente esta retardada 90° con respecto a la tensión es decir $\theta_i = \theta_v - 90^\circ$, Por lo tanto la expresión para la potencia instantánea es

$$p = -VI * \text{Sen}\theta * \text{Sen} 2\omega t \quad (1.15)$$

$$Q = VI * \text{Sen}\theta = +Q(\text{VAR ind.}) \quad (1.16)$$

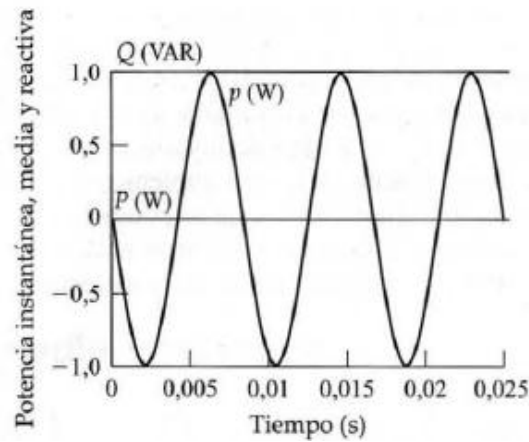


Figura 1.4: Onda de potencia reactiva

En un circuito puramente inductivo, la potencia media es cero. Por tanto no hay transformación de energía eléctrica en energía no eléctrica. La potencia instantánea en los terminales de un circuito puramente inductivo está continuamente intercambiándose entre el circuito y la fuente que está excitando al circuito, con una frecuencia igual a 2ω .

En otras palabras cuando p es positiva, se está almacenando energía en los campos magnéticos asociados con los elementos inductivos, mientras cuando p es negativa se está extrayendo energía de dichos campos magnéticos. El nombre potencia reactiva proviene de la caracterización de una bobina como un elemento reactivo; su impedancia es puramente reactiva.

1.3.5- Potencia reactiva capacitiva

Si el circuito conectado a los terminales es puramente capacitivo, la tensión y la corriente están desfasadas precisamente 90° . En este caso la corriente esta adelantada 90° con respecto a la



tensión, es decir $\theta_i = \theta_v + 90^\circ$ por lo tanto $\theta_v - \theta_i = -90^\circ$, Por lo tanto la expresión para la potencia instantánea es:

$$p = -VI * \text{Sen}\theta * \text{Sen } 2\omega t \quad (1.17)$$

$$Q = VI * \text{Sen}\theta = -Q(\text{VAR cap.}) \quad (1.18)$$

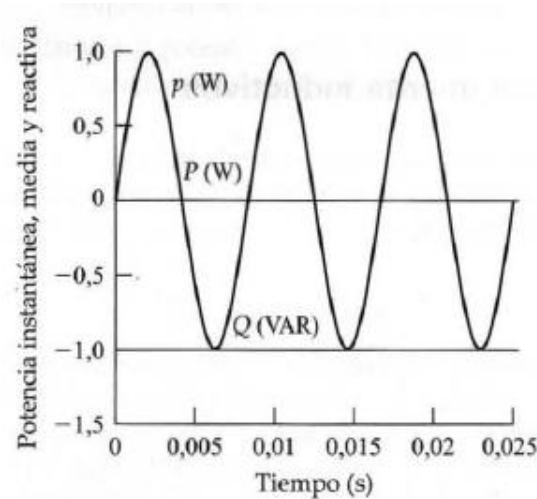


Figura 1.5: Onda de potencia reactiva capacitiva

De nuevo la potencia media es cero. En este circuito se está intercambiando potencia continuamente entre la fuente que excita al circuito y el campo eléctrico asociado con los elementos capacitivos.

Se puede observar que la decisión de utilizar la corriente como referencia hace que Q sea positiva para las bobinas (es decir $\theta_v - \theta_i = 90$) y negativa para los condensadores (es decir $\theta_v - \theta_i = -90$) con esto se puede decir que las bobinas demandan o absorben Vars magnetizantes mientras los condensadores entrega o suministran Vars magnetizantes.

1.3.6- Potencia Compleja o aparente

La potencia compleja es importante en el análisis de potencia a causa de que contiene toda la información correspondiente a la potencia recibida por una carga dada. Es el producto entre el fasor de la tensión rms y el conjugado del fasor complejo de la corriente rms y corresponde a la suma de la potencia real o activa y de la potencia reactiva.

Para distinguir esta potencia de los dos otros tipos utiliza como unidades de medida los voltio-amperios (VA). Considere una carga en corriente alterna de forma fasorial $V = V_m \angle \theta_v$ e $I =$



Im $\angle\theta_i$ de tensión $v(t)$ y la corriente $i(t)$ la potencia compleja S recibida por la carga es el producto de la tensión por el conjugado de la corriente compleja y la magnitud de esta potencia compleja será la potencia aparente con un ángulo que corresponde al ángulo del factor de potencia.

$$S = V_{rms} * I_{rms}^* = V_{rms} * I_{rms} \angle \theta_v - \theta_i \quad (1.19)$$

$$S = V_{rms} * I_{rms} * \cos(\theta_v - \theta_i) + jV_{rms} * I_{rms} * \sin(\theta_v - \theta_i) \quad (1.20)$$

$$S = P + jQ \quad (1.21)$$

La potencia compleja puede expresarse en términos de la impedancia de carga Z , así $V_{rms} = Z I_{rms}$.

$$S = I_{rms}^2 * Z = \frac{V_{rms}^2}{Z^*} \quad (1.22)$$

Puesto que $Z = R + jX$, la ecuación anterior se convierte en:

$$S = I_{rms}^2 (R + jX) = P + jQ \quad (1.23)$$

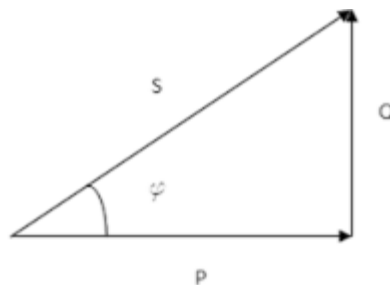


Figura 1.6: Triángulo de potencia

1.3.7- Triángulo de potencia

El llamado triángulo de potencias es la mejor forma de observar y comprender de forma gráfica qué es el factor de potencia ó $\cos \phi$ y su estrecha relación con los restantes tipos de potencia presentes en un circuito eléctrico de corriente alterna, además de observar la interacción de una potencia con respecto a las otras dos ya que al modificar una potencia repercutiría en la modificación de las otras dos potencias.

Como se puede observar en el triángulo de la figura 1.8 el factor de potencia o $\cos \phi$, representa el valor del ángulo que se forma al representar gráficamente la potencia activa (P) y la potencia aparente (S), es decir, la relación existente entre la potencia real de trabajo y la potencia total consumida por la carga o el consumidor conectado a un circuito eléctrico de corriente alterna.



Esta relación se puede representar también, de forma matemática, por medio de la siguiente ecuación

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} \quad (1.24)$$

El resultado de esta operación será 1 o un número fraccionario menor que 1 en dependencia del factor de potencia que le corresponde a cada equipo o dispositivo en específico. Ese número responde al valor de la función trigonométrica “coseno”, equivalente a los grados del ángulo que se forma entre las potencias (P) y (S).

Si el número que se obtiene como resultado de la operación matemática es un decimal menor que 1 (como por ejemplo 0,95), dicho número representará el factor de potencia correspondiente al desfase en grados existente entre la intensidad de la corriente eléctrica y la tensión en el circuito de corriente alterna.

Lo ideal sería que el resultado fuera siempre igual a 1, pues así habría una mejor optimización y aprovechamiento del consumo de energía eléctrica, o sea, habría menos pérdida de energía no aprovechada y una mayor eficiencia de trabajo en los generadores que producen esa energía.

En los circuitos de resistencia activa, el factor de potencia siempre es 1, porque como ya vimos anteriormente en ese caso no existe desfase entre la intensidad de la corriente y la tensión.

Pero en los circuitos inductivos, como ocurre con los motores, transformadores de tensión y la mayoría de los dispositivos o aparatos que trabajan con algún tipo de enrollado o bobina, el valor del factor de potencia se muestra con una fracción decimal menor que 1 (como por ejemplo 0,8), lo que indica el retraso o desfase que produce la carga inductiva en la senoidal correspondiente a la intensidad de la corriente con respecto a la senoidal de la tensión.



CAPITULO 2

Estudio y análisis del factor de potencia



2.- ESTUDIO Y ANALISIS DEL FACTOR DE POTENCIA

2.1- Introducción

Todos los aparatos eléctricos que suministran energía ya sea en forma de luz, calor, sonido, rotación, movimiento, etc. Consumen una cantidad de energía eléctrica equivalente a la entregada directamente de la fuente de electricidad a la cual se registra en los medidores y es facturada al consumidor por las respectivas empresas de suministro eléctrico.

Algunos aparatos, debido a su principio de funcionamiento toman de la fuente de electricidad una cantidad de energía mayor a la que registra el medidor: una parte de esta energía es la ya mencionada potencia activa y la parte restante no es en realidad consumida sino la retenida entre el aparato o consumo y la red eléctrica o fuente. Esta se denomina potencia reactiva y no es registrada por los medidores. La energía total que es tomada de la red eléctrica se denomina potencia aparente y es la que finalmente debe ser transportada hasta el punto de consumo.

El hecho de transportar una energía mayor a la que realmente se consume, impone la necesidad de que los conductores, transformadores y demás dispositivos que participan en el suministro eléctrico de esta energía sean más robustos, por lo tanto se eleva el costo del sistema de distribución.

Además el efecto resultante de una enorme cantidad de usuarios en esta condición, provoca que disminuya en gran medida la calidad del suministro de electricidad. Por estos motivos las compañías de distribución toman medidas que tienden a compensar económicamente a esta situación con multas la utilización de potencia reactiva o bien a regularizarla aconsejando a los usuarios a que corrijan sus instalación y generen un mínimo de potencia reactiva.

Es la relación de la potencia activa P con la potencia aparente S , es decir la proporción de potencia que se transforma en trabajo útil (P) de la potencia total (S) requerida por la carga. El factor de potencia expresa en términos generales, el desfase o no de la corriente con relación al voltaje y es utilizado como el indicador del correcto aprovechamiento de la energía eléctrica, el cual puede tomar valores entre 0 y 1.0 siendo este el valor máximo del F.P y por lo tanto el mejor aprovechamiento de la energía.



$$F.P = \frac{P}{S} = \cos\varphi \quad (2.1)$$

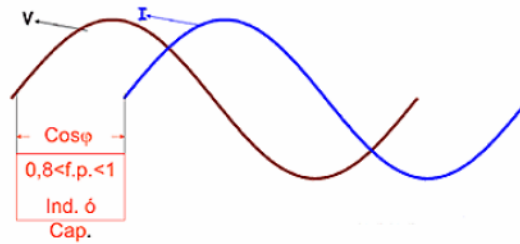


Figura 2.1: Desfase de la corriente con respecto al voltaje, $\cos\varphi$

2.2- Causas del bajo factor de potencia

Las cargas inductivas como motores, ballast, transformadores, etc., son el origen del bajo factor de potencia ya que son cargas no lineales que contaminan la red eléctrica, en este tipo de equipos el consumo de corriente se desfasa con relación al voltaje lo que provoca un bajo factor de potencia.

Las instalaciones eléctricas que operan con un factor de potencia menor a 1, afectan a la red eléctrica tanto en alta tensión como en baja tensión, además tiene las siguientes consecuencias en la medida que el factor de potencia disminuya.

2.2.1- Incremento de las pérdidas por efecto joule

La potencia que se pierde por calentamiento está dada por la expresión I^2R donde I es la corriente total y R es la resistencia eléctrica de los equipos (bobinados de generadores y transformadores, conductores de los circuitos de distribución, etc.). Las pérdidas por efecto joule se manifiestan en:

- Calentamiento de cables.
- Calentamiento de embobinados de los transformadores de distribución.
- Disparo sin causa aparente de los dispositivos de protección.

2.2.2-Sobrecarga de los generadores, transformadores y líneas de distribución

El exceso de corriente debido a un bajo factor de potencia, ocasiona que los generadores, transformadores y líneas de distribución, trabajen con cierta sobrecarga y reduzcan su vida útil debido a que estos equipos se diseñan para un cierto valor de corriente y para no dañarlos, se deben operar sin que este se sobrecargue.



2.2.3- Aumento de la caída de tensión

La circulación de corriente a través de los conductores ocasiona una pérdida de potencia transportada por el cable y una caída de tensión o diferencia entre las tensiones de origen y la que lo canaliza, resultando en un insuficiente suministro de potencia a las cargas, estas sufren una reducción en su potencia de salida.

Esta caída de tensión afecta a:

- Los embobinados de los transformadores de distribución.
- Los cables de la alimentación, los sistemas de protección y control.

2.3- Consecuencia de un bajo factor de potencia

2.3.1-Incremento en la facturación eléctrica

Debido a que un factor de potencia bajo implica pérdidas de energía en la red eléctrica, el productor y el distribuidor de energía eléctrica se ven en la necesidad penalizar al usuario haciendo que pague más por la energía eléctrica que utiliza. Haciendo una clasificación de los problemas que se presentan al usuario (industrial) y a la empresa distribuidora de energía por un bajo factor de potencia tenemos:

Al usuario (industrial)

- Aumento de la intensidad de corriente.
- Pérdidas en los conductores y fuertes caídas de tensión.
- Incrementos de potencia de las plantas, transformadores, reducción de su vida útil y reducción de la capacidad de conducción de los conductores.
- La temperatura de los conductores aumenta y esto disminuye la vida de su aislamiento.
- Aumentos en la factura por consumo de energía eléctrica.

A la empresa distribuidora de energía

- Mayor inversión en los equipos de generación, ya que su capacidad en KVA debe ser mayor, para poder entregar esa energía reactiva adicional.
- Mayores capacidades en líneas de transmisión y distribución así como en transformadores para el transporte y transformación de esta energía reactiva.
- Elevadas caídas de tensión y baja regulación de voltaje, lo cual puede afectar la estabilidad de la red eléctrica.



Una forma de que las empresas de electricidad a nivel nacional e internacional hagan reflexionar a las industrias sobre la conveniencia de generar o controlar su consumo de energía reactiva ha sido a través de un cargo por demanda, facturado en Q. /KVA, es decir cobrándole por capacidad suministrada en KVA, factor donde se incluye el consumo de los KVAR que se entregan a la industria.

2.3.2- Costo de la energía

En resumen, para proporcionar la potencia reactiva en cables principales y a través de transformadores de alto voltaje, la compañía de electricidad debe también generar su potencia reactiva en sus máquinas. Esto significa que las máquinas deben ser sobre dimensionadas o que los capacitores de potencia para alto voltaje deben ser instalados. Es por esta razón que las compañías de electricidad cargan tarifas más altas cuando el factor de potencia es bajo.

El medidor instalado en el inmueble del usuario indica:

- La energía activa usada (KWh).
- La energía reactiva usada (KVARh).

De lo que se deduce:

$$\cos\phi = \frac{KWh}{\sqrt{(KWh)^2 + (KVARh)^2}} \quad (2.2)$$

$$\tan\phi = \frac{KVARh}{KWh} \quad (2.3)$$

Dónde:

KWh: es la potencia activa consumida tomada de la lectura del medidor.

KVARh: es la potencia reactiva consumida tomada de la lectura del medidor.

Algunos países se refieren al valor de $\cos\phi$ otros al valor $\tan\phi$ para penalizar con cantidades, si $\cos\phi$ es menor que incierto valor, una bonificación es dada algunas veces si el $\cos\phi$ excede a un valor dado. Normalmente 0.93, esto nos quiere decir que entre más bajo sea el factor de potencia el usuario tiene que pagar más por cada KWh usado.



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 (algo menos económico si no se dispone de ellos).

Los excesivos consumos de Energía Reactiva pueden ser compensados con capacitores, estos elementos instalados correctamente y con el valor adecuado compensan la energía reactiva necesaria requerida por la instalación, elevando el Factor de Potencia.

Para el uso racional de la energía es prioritaria la corrección del Factor de Potencia, el mantenimiento del mismo en un valor adecuado conseguirá beneficios:

- Aumento de la vida útil de la instalación.
- Disminución del costo en la facturación.
- Reducción de las pérdidas por recalentamiento en las líneas y elementos de distribución.



CAPITULO 3

Compensación de potencia reactiva



3.- Compensación de potencia reactiva

3.1-Introducción

Los transformadores, motores, etc., para la formación de su campo magnético estos toman potencia inductiva o reactiva de la red de alimentación, Esto significa para las plantas generadores de energía eléctrica una carga especial, que aumenta cuanto más grande es y cuanto mayor es el desfase. Esta es la causa por la cual se pide a los consumidores o usuarios mantener una factor de potencia cercano a 1.

La demanda de potencia reactiva se puede reducir sencillamente colocando condensadores en paralelo a los consumidores de potencia inductiva. Dependiendo de la potencia reactiva capacitiva de los condensadores se anula total o parcialmente la potencia reactiva inductiva tomada de la red. A este proceso se le denomina compensación.

Después de una compensación la red suministra solamente potencia real. La corriente en los conductores se reduce, por lo que se reducen las pérdidas en éstos. Así se ahorran los costos por consumo de potencia reactiva facturada por las centrales eléctricas. Con la compensación se reducen la potencia reactiva y la intensidad de la corriente, quedando la potencia real constante, es decir, se mejora el factor de potencia.

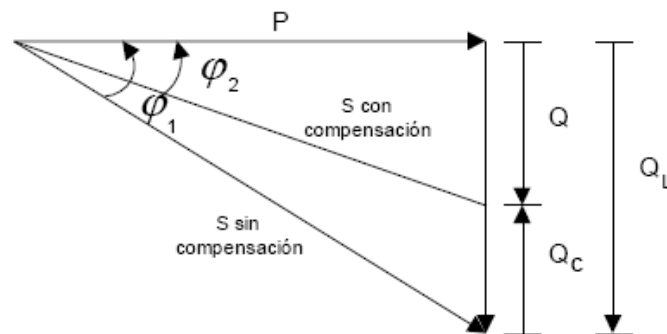


Figura 3.1: Triangulo de potencia con S de compensación y sin S de compensación

Las cargas que consumen la mayor cantidad de energía reactiva son:

- Motores de carga baja
- Maquinas soldadoras
- Hornos en arco y de inducción
- Rectificadores de potencia



3.2- Métodos de compensación de potencia reactiva

En la operación de los sistemas eléctricos de potencia de alta tensión se presentan, de vez en cuando, situaciones tales como una demanda anormal de reactivos, esto es, que dicha demanda sobrepasa la aportación que de ellos hacen algunos elementos de la red, obligando a los generadores a bajar su factor de potencia para suministrar los reactivos complementarios. El objetivo de la compensación reactiva es que la potencia aparente sea lo más parecida posible a la potencia activa.

El costo de generar, transmitir y transformar los reactivos, en el camino a su consumo, invita a realizar algunas consideraciones con respecto a los elementos que consumen estos reactivos, imponiendo la necesidad de localizar, operar y proyectar los equipos compensadores, de tal forma que estos no alteren el funcionamiento normal del sistema al cual se conecta. Los mecanismos de compensación más empleados son:

3.2.1- Compensación de potencia reactiva mediante bancos de condensadores

Este método es el que se utiliza en la actualidad en la mayoría de las instalaciones industriales dado que es más económico y permite una mayor flexibilidad. Se pueden fabricar en configuraciones distintas. Sin embargo son muy sensibles a las armónicas presentes en la red, los bancos de capacitores elevan el factor de potencia, con lo cual aumenta la potencia transmitida por la línea porque no necesita conducir la potencia reactiva.

Optimizar el factor de potencia de una instalación eléctrica consiste en darle los medios para producir una proporción variable de la energía reactiva que consume.

Hay diferentes sistemas disponibles para producir energía reactiva, pero en particular analizaremos el condensador, ya que se utiliza con mayor frecuencia y es el que utilizaremos gracias a:

- Su nulo consumo de energía activa
- Su costo de compra
- Su fácil uso
- Su vida útil (aproximadamente 10 años)
- Sus bajos requerimientos de mantenimiento (dispositivo estático).



Una vez que se determinó la potencia reactiva del banco de capacitores y el cálculo del número de unidades de los bancos, a continuación se determinara el tipo de compensación de potencia reactiva en el sistema y el modo de realizarla (compensación fija o automática).

Los bancos de capacitores, pueden ser instalados en varios puntos del sistema eléctrico de la industria, y pueden distinguirse tres tipos de instalación de capacitores para compensar la potencia reactiva, es importante mencionar que antes de instalar los bancos de capacitores se deben considerar los siguientes factores: tipos de cargas eléctricas, variación y distribución de las mismas, la disposición y longitud de los circuitos, y la tensión de las líneas de alimentación.

3.3- Tipos de compensación

Compensación fija o automática

Cuando tenemos calculada la potencia reactiva necesaria para realizar la compensación, se nos presenta la posibilidad de elegir entre una compensación fija y una compensación automática o variable, para elegir entre una u otra se deben contemplar las características que a continuación se presentan.

3.3.1-Compensación fija

Es aquella en la que suministramos a la instalación, de manera constante, la misma potencia reactiva. Debe utilizarse cuando se necesite compensar una instalación donde la demanda reactiva sea constante. Este tipo de compensación se emplea en instalaciones donde la potencia reactiva a compensar es constante y con una pequeña variación en el consumo de la carga.

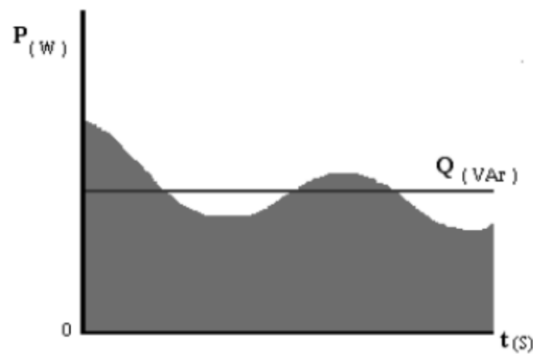


Figura 3.2: Gráfico potencia activa respecto a la potencia reactiva



3.3.2- Compensación automática

Es aquella en la que se suministra la potencia reactiva según las necesidades de la instalación. Debe utilizarse cuando se presenta una instalación donde la demanda de potencia reactiva sea variable.

Si se desea compensar una instalación en la que la potencia reactiva a compensar tenga muchas variaciones, se debe utilizar una compensación que se adapte en cada momento a las necesidades de la instalación. Para conseguirlo se utiliza un banco de capacitores operados automáticamente, estos están formados básicamente por:

- Banco de capacitores
- Regulador

El regulador detecta las variaciones en la demanda de potencia reactiva, y en función de estas variaciones actúa sobre los contactores, permitiendo la entrada o salida de los bancos de capacitores necesarios. En la figura 3.3 el banco de capacitores entrega a cada momento la potencia necesaria, evitando de este modo una sobre compensación o una subcompensación.

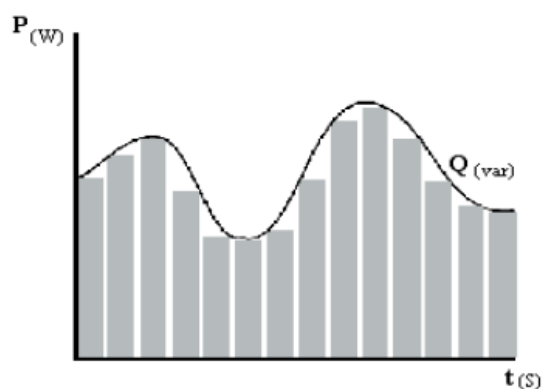


Figura 3.3: Grafico Potencia Activa Vs Potencia reactiva

3.4-Principios y motivos del uso de la compensación automática

Un equipo de compensación automática debe ser capaz de adecuarse a las variaciones de potencia reactiva de la instalación para conseguir mantener el $\cos \phi$ objetivo de la instalación. Un equipo de compensación automática está constituido por tres elementos principales:



El regulador: Mide el $\cos \phi$ de la instalación y dar las órdenes a los contactores para intentar aproximarse lo más posible al $\cos \phi$ objetivo, conectando los distintos escalones de potencia reactiva.

Los contactores: Son los elementos encargados de conectar los distintos condensadores que configuran la batería. El número de escalones que es posible disponer en un equipo de compensación automática depende de las salidas que tenga el regulador.

Los capacitores: Son los elementos que aportan la energía reactiva a la instalación.

Además para el correcto funcionamiento de un equipo de compensación automática es necesaria la toma de datos de la instalación; son los elementos externos que le permiten actuar correctamente al equipo:

La lectura de intensidad de corriente: Se debe conectar un transformador de intensidad de corriente que lea el consumo de la totalidad de la instalación.

La lectura de tensión: Normalmente se incorpora en la propia batería de manera que al efectuar la conexión de potencia de la misma ya se obtiene este valor.

Esta información de la instalación le permite al regulador efectuar el cálculo del $\cos \phi$ existente en la instalación en todo momento y le capacita para tomar la decisión de introducir o sacar escalones de potencia reactiva.

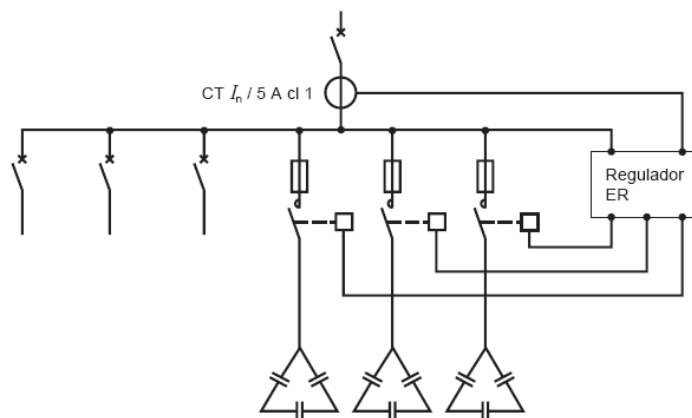


Figura 3.4: Diagrama de compensación automática



CAPITULO 4

Arduino



4. ARDUINO



Figura 4.1: Tarjeta Arduino

4.1- Introducción

Arduino es una tarjeta que incorpora un micro controlador reprogramable y una serie de pines hembra (los cuales están unidos internamente a las E/S del micro controlador) que permite conectar allí de forma muy sencilla y cómoda diferentes sensores y actuadores. No obstante, cuando hablamos de Arduino, deberemos especificar el modelo concreto, ya que existen varias placas Arduino oficiales, cada una con diferentes características.

La plataforma Arduino cuenta con un software que debemos instalar en nuestro ordenador y que nos permite escribir, verificar y guardar (cargar) en la memoria del micro controlador, el conjunto de instrucciones que deseamos que este empiece a ejecutar.

4.2- Elementos de una tarjeta Arduino

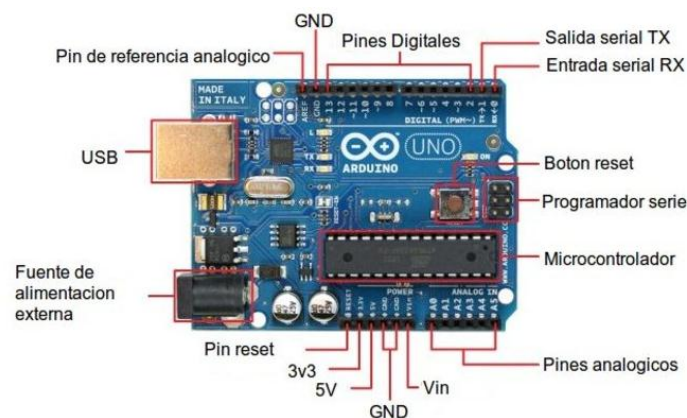


Figura 4.2: Disposición de los elementos en una placa Arduino



4.2.1- Microcontrolador

El micro controlador que lleva la placa Arduino uno, es el modelo ATmega328P de la marca Atmel. La “P” del final significa que este chip incorpora la tecnología “Picopower” la cual permite un consumo eléctrico sensiblemente menor comparándolo con el modelo equivalente sin “PicoPower”.

Para conocer bien la estructura del micro controlador es necesario conocer la disposición concreta de los pines de entrada/salida del micro controlador, ya que cada pin suele tener una determinada función específica. Como cada modelo de micro controlador tiene un número y ubicación de pines diferente, en nuestro caso concreto debemos tener a mano la disposición de pines del ATmega328P. La figura siguiente muestra esta disposición en encapsulado DIP.

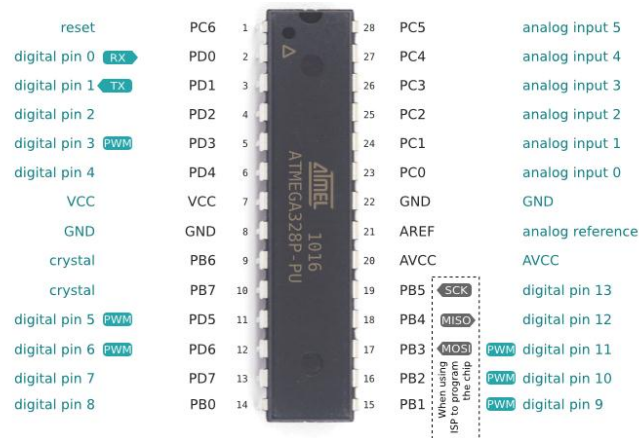


Figura 4.3: Disposición en el encapsulado DIP.

4.2.2- Chip Atmega16U2

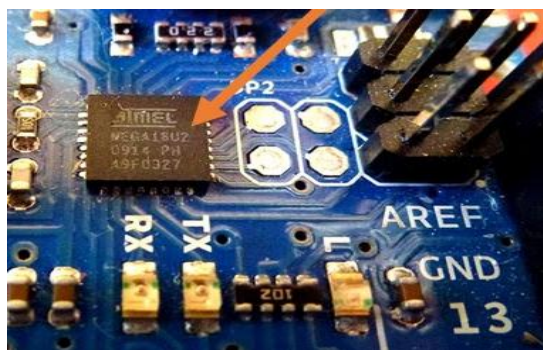


Figura 4.4: Chip ATmega16U2 incorporado en Arduino.



La conexión USB de la tarjeta Arduino, es un medio para poder transmitir datos entre nuestro computador y la placa, y viceversa. Este tráfico de información que se realiza entre ambos aparatos se logra gracias al uso del protocolo USB. No obstante, el protocolo USB internamente es demasiado complejo para que el micro controlador Atmega328P pueda comprenderlo por sí mismo sin ayuda. Por lo tanto es aquí la importancia del chip ATmega16U2, ya que es necesario que la placa disponga de un elemento traductor, que facilite al Atmega328P la manipulación de la información transferida por USB sin que este tenga que conocer la estructura de dicho protocolo.

4.2.3- Alimentación de la placa Arduino

El voltaje de funcionamiento de la tarjeta Arduino (incluyendo el micro controlador y el resto de componentes) es de 5V. Podemos obtener esta alimentación eléctrica de dos principales maneras.

El primer caso la placa dispones de un zócalo donde se puede enchufar una clavija de 2,1 milímetros de tipo “Jack” y para el segundo caso los cables saliente de los bornes de la pila se pueden conectar a los pines hembras marcados como “Vin” y “Gnd” (positivo y negativo) en la zona de la placa marcada con la etiqueta POWER. En ambos casos, la placa está preparada en teoría para recibir una alimentación de 6 a 20 voltios, aunque, realmente, el rango recomendado de voltaje de entrada es menor de 7 y 12 voltios.

4.2.4- Entradas y salidas digitales

La placa Arduino dispone de 14 pines hembras de entradas o salidas digitales, numeradas desde la 0 hasta la 13. Es aquí donde se pueden conectar sensores para que la placa pueda recibir datos del entorno, y donde también se pueden conectar actuadores para que la placa pueda enviarles las órdenes pertinentes, además de poder conectar cualquier otro componente que necesite comunicarse con la placa de alguna manera.

Todos estos pines hembra digitales funcionan a 5V, pueden proveer o recibir un máximo de 40 mA y disponer de una resistencia “pull up” interna de entre 20 kΩ y 50kΩ que inicialmente está desconectada.



4.2.5- Entradas analógicas

La tarjeta Arduino dispone de 6 entrada analógicas (en forma de pines hembra etiquetados como A0, A1 hasta A5) que pueden recibir voltajes dentro de un rango de valores continuos de entre 0 y 5 V. No obstante, la electrónica de la placa solo puede trabajar con valores digitales, por lo que es necesaria una conversión previa del valor analógico recibido a un valor digital lo más aproximado posible.

Esta se realiza mediante un circuito conversor analógico/digital incorporado en la propia placa. El circuito conversor es de 6 canales (uno por cada entrada) y cada canal dispone de 10 bits (los llamados “bits de resolución”) para guardar el valor del voltaje convertido digitalmente.

Los pines hembra de entrada analógicos tienen también toda la funcionalidad de los pines de entrada-salida digitales. Es decir, que si en algún momento necesitamos más pines hembra digitales más allá de los 14 que la placa Arduino ofrece, los 6 pines hembra analógicos pueden ser usados como unos pines hembra digitales.

4.2.6- Salidas (PWM)

En los proyectos a menudo necesitamos enviar al entorno señales analógicas, No basta con simples señales digitales, tenemos que generar señales que varíen continuamente.

La tarjeta Arduino no dispones de pines hembra de salida analógica, sino que utiliza algunos pines hembras de salida digitales concretos para simular un comportamiento analógico. Los pines hembra digitales que son capaces de trabajar en este modo no son todos, solo son los marcados con la etiqueta “PWM”. Las siglas PWM vienen de “Pulse Width Modulation” lo que significa modulación de ancho de pulso. Lo que hace este tipo de señal es emitir, en lugar de una señal continua, una señal cuadrada formada por pulsos de frecuencia constante. La gracia está en que al variar la duración de estos pulsos, estaremos variando proporcionalmente la tensión promedio resultante. Es decir cuánto más corto sean los pulsos y más distante entre sí en el tiempo, menor será la tensión promedio de salida, y cuantos más largos sean los pulsos y más juntos en el tiempo estén, mayor será dicha tensión.

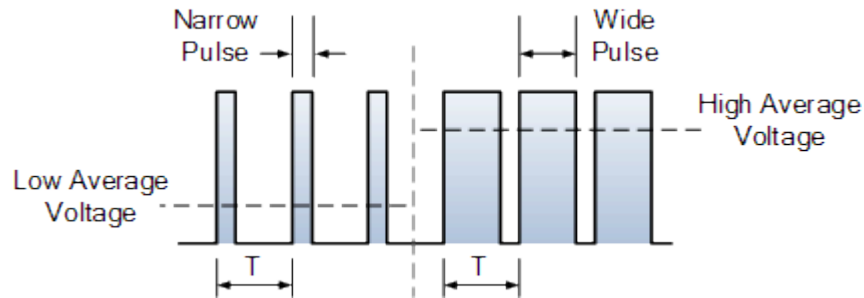


Figura 4.5: Variación de pulsos en función de la tensión

4.2.7- Pines hembra de la placa Arduino

Existen determinados pines hembra de entrada/salida digitales, que además de su función estándar, tienen otras funciones especializadas y son los siguientes.

Pines 2 y 3: se pueden usar, con la ayuda de programación del software, para gestionar interrupciones.

Pines 10(SS), 11(MOSI), 12(MISO) y 13(SCK): Se puede usar para conectar algún dispositivo con el que se quiera llevar a cabo comunicaciones mediante el protocolo SPI.

Pin 13: Este pin está conectado directamente a un LED incrustado en la placa (identificado con la letra “L”) de forma que si el valor de voltaje recibido por el pin es ALTO (HIGH), el LED encenderá, si dicho valor es BAJO (LOW), el LED se apagará. Es una manera sencilla, y rápida de detectar señales de entradas externas sin necesidad de disponer de ningún componente extra.

Pines A4 (SDA) y A4 (SCL): Se pueden usar para conectar algún dispositivo con el que se quiera llevar a cabo comunicaciones mediante el protocolo I2C/TWI. La placa Arduino ofrece (por una simple cuestión de comodidad y ergonomía) una duplicación de estos dos pines hembra, los cuales están sin etiquetar porque no hay más espacio físico.

4.2.8- Conexión mediante cable USB

Para la conexión la placa Arduino, se dispone de un conector USB hembra de tipo B, la alimentación recibida de esta manera está regulada permanentemente a los 5V de trabajo y ofrece un máximo de hasta 500 mA de corriente.

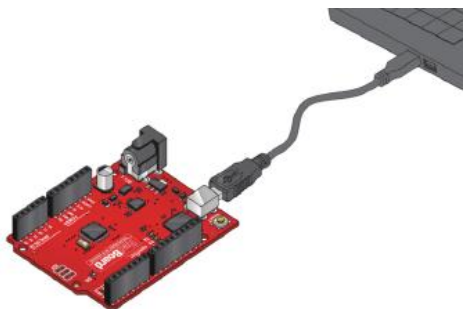


Figura 4.6: Conexión de placa Arduino mediante cable USB

Si llegamos a utilizar un adaptador AC/DC, se recomienda el uso de uno con las siguientes características: El voltaje de salida ofrecido tiene que ser de 9 a 12 V DC. En realidad, el circuito regulador que lleva incorporado la placa Arduino es capaz de manejar voltajes de salida de hasta 20 V, así que en teoría se podrían utilizar adaptadores AC/DC que generen una salida de 20 V DC.

Además dentro de la zona etiquetado como POWER en la tarjeta Arduino existen una serie de pines hembras relacionados con la alimentación eléctrica como son.

GND: Pines hembra conectados a tierra, estos pines son muy importantes que todos los componentes compartan una tierra en común como referencia. Estos pines-hembra son diseñados para cumplir esta función.

Vin: Este pin hembra se puede utilizar para dos cosas diferentes: la primera es que si la placa está conectada mediante la clavija de 2,1 mm a alguna fuente externa que aporte un voltaje dentro de los márgenes de seguridad, podemos conectar a este pin hembra cualquier componente electrónico para alimentarlo directamente con el nivel de voltaje que esté aportando la fuente en ese momento.

Si la placa está alimentada mediante USB, entonces ese pin hembra aportará 5V regulados, también podemos usar el pin hembra Vin para alimentar la propia placa directamente desde alguna fuente de alimentación externa sin utilizar los pines hembra ni el cable USB.

5V: Este pin hembra se puede utilizar para dos cosas diferentes tanto si la placa está alimentada mediante el cable USB como si está alimentada por una fuente externa que aporte



un voltaje dentro de los márgenes de seguridad, podemos conectar a este pin hembra cualquier componente para que pueda recibir 5V regulados.

3,3 V: Este pin hembra ofrece un voltaje de 3,3 voltios. Este voltaje se obtiene a partir del recibido indistintamente a través del cable USB o de la clavija de 2.1 mm.

4.3- Software de Arduino

Un programa es un conjunto concreto de instrucciones que pretenden obtener un resultado determinado, mediante instrucciones, ordenadas y agrupadas de forma adecuada y sin ambigüedades.

IDE (Entorno de Desarrollo Integrado), Esto es simplemente una forma de llamar al conjunto de herramienta que permite a los programadores poder desarrollar sus propios programas con comodidad. En el caso de Arduino, necesitamos un IDE que nos permita escribir y editar nuestro programa, que lo llamaremos sketch.

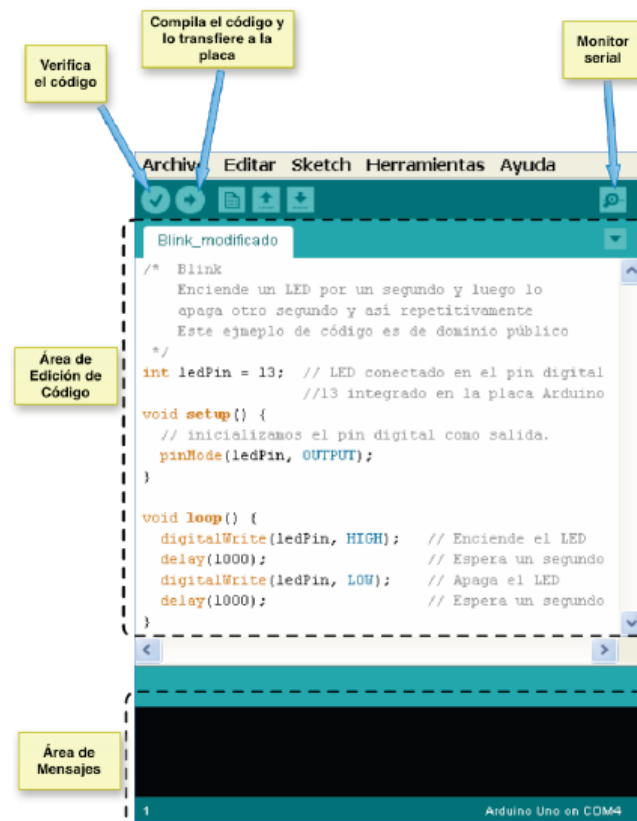


Figura 4.7: Estructura del programa Arduino



El área de edición de código es donde se escribirá el código del software que se requiere. Es sencillo visualmente y tiene ciertas características que se descubre mediante su uso. Normalmente, en la jerga de Arduino, aquí se crea el “sketch” (código fuente).

Una sección importante es el área de mensajes, en donde el compilador le informa posibles errores en el código. Además, en esta área, la placa Arduino puede enviar información acerca de su estado, según como sea programado.

El IDE nos permite comprobar que no hayamos cometido ningún error en la programación, estando seguro que el sketch este correcto, el IDE graba en la memoria del micro controlador de la placa Arduino el programa desarrollado.

Para desarrollar los sketches debemos instalar en nuestro computador el IDE que nos proporciona el proyecto Arduino.

4.3.1- Estructura general de un programa con Arduino

El código que se debe escribir en el IDE de Arduino debe tener cierta estructura.

En la primera sección (Declaraciones Globales), se deben poner las bibliotecas específicas que se utilizarán y las variables globales que se utilizarán. Este bloque se ejecuta una sólo vez y bajo cualquier de los siguientes eventos:

- Encendido de la placa.
- Después de un Reset.
- Después de cargar un programa desde el computador.

La función `setup()` se ejecuta después de la sección anterior y por una sola vez. Se utiliza para configurar el hardware que se utilizará.

La función `loop()`, por otro lado, se ejecuta después de la función anterior, de forma “perpetua”, a una tasa de repetición muy cercana a la velocidad de trabajo de la placa, dependiendo de la cantidad de instrucciones que tenga.

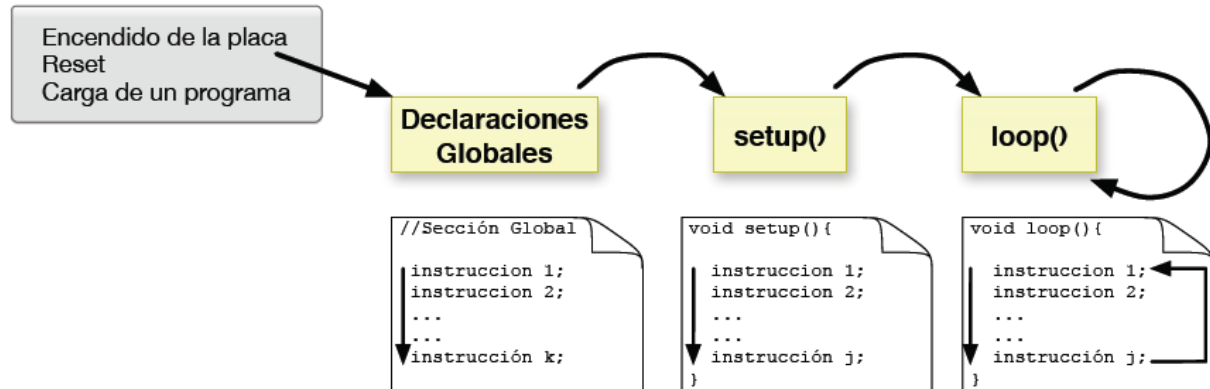


Figura 4.8: Declaraciones globales, setup y loop

4.3.2- Variables

Una variable es una manera de nombrar y almacenar un valor numérico para su uso posterior por el programa. Como su nombre indica, las variables son números que se pueden variar continuamente en contra de lo que ocurre con las constantes cuyo valor nunca cambia. Una variable debe ser declarada y, opcionalmente, asignada a un valor.

Todas las variables tienen que declararse antes de que puedan ser utilizadas. Para declarar una variable se comienza por definir su tipo como int (entero), long (largo), float (coma flotante), etc., asignándoles siempre un nombre, y, opcionalmente, un valor inicial. Esto sólo debe hacerse una vez en un programa, pero el valor se puede cambiar en cualquier momento usando aritmética y reasignaciones diversas.

Una variable puede ser declarada al inicio del programa antes de la parte de configuración setup (), a nivel local dentro de las funciones, y, a veces, dentro de un bloque, como para los bucles del tipo if... for..., etc. En función del lugar de declaración de la variable así se determinara el ámbito de aplicación, o la capacidad de ciertas partes de un programa para hacer uso de ella.

Una variable global es aquella que puede ser vista y utilizada por cualquier función y estamento de un programa. Esta variable se declara al comienzo del programa, antes de setup ().

Una variable local es aquella que se define dentro de una función o como parte de un bucle. Sólo es visible y sólo puede utilizarse dentro de la función en la que se declaró.



CAPITULO 5

Diseño de la unidad correctora



5.1. Metodología de medición

El factor de potencia es la relación que existe entre la potencia activa (P) usada en un sistema y la potencia aparente (S) que se obtiene de las líneas de alimentación. Pero en términos generales se expresa como el desfase o no de la corriente con relación a la tensión. Este desfase es producido por todos los equipos electromecánicos que están constituidos por devanados o bobinas, tales como motores y transformadores que necesitan la denominada corriente reactiva para establecer campos magnéticos necesarios para su operación.

Entonces el tipo de carga eléctrica determina en un circuito la posición de la onda de corriente respecto a la onda de la tensión. Es decir la corriente de una carga en el circuito se puede descomponer en dos tipos de corriente, la corriente resistiva, en fase con la tensión, y la corriente reactiva, desfasada 90 grados respecto a la tensión.

De este modo podemos analizar las formas de onda de la intensidad de corriente que fluye por un circuito eléctrico de corriente alterna, así como la tensión o voltaje aplicado al mismo, se puede representar gráficamente por medio de dos sinusoides, que sirven para mostrar cada una de las magnitudes.

Para un circuito cerrado con una carga resistiva conectada al mismo, tanto la sinusoide de la corriente como la del voltaje aplicado al circuito, coincidirán tanto en fase como en frecuencia.

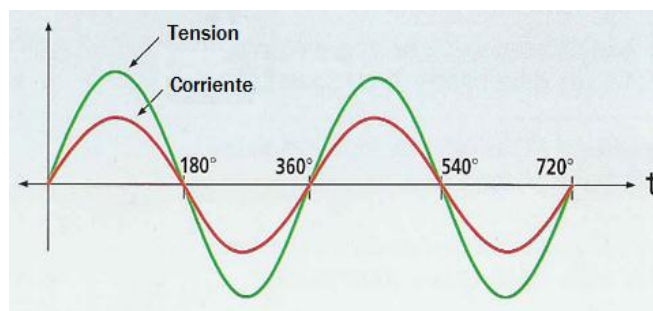


Figura 5.1: Forma de onda de la tensión y corriente en una carga resistiva.

Cuando la carga conectada en el circuito de corriente alterna es inductiva, como la de los motores y transformadores, por ejemplo, la sinusoide de la corriente se atrasa o desfasa en relación con la



tensión. Es decir, cuando el voltaje ya ha alcanzado un cierto valor en la senoide, superior a “0” volt, en ese preciso instante y con cierto retraso la intensidad de la corriente comienza a incrementar su valor, a partir de “0” ampere.

En un circuito de corriente alterna con carga inductiva, la senoide de corriente, se atrasa con respecto a la senoide de tensión. Tal como se puede observar en la figura, cuando la senoide del voltaje alcanza su valor máximo de 90° , en ese mismo momento y con 90° de retraso con respecto a éste, comienza a crecer el valor de la senoide de la intensidad de corriente, partiendo de 0° .

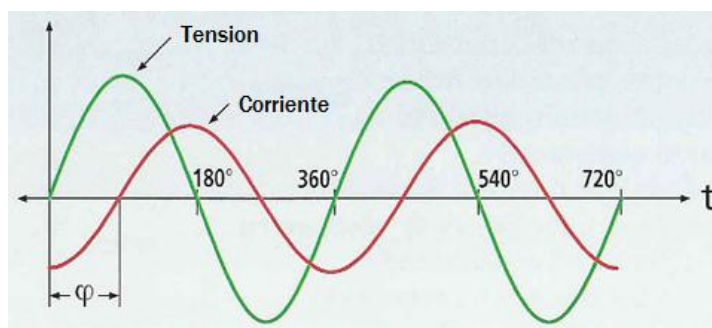


Figura 5.2: Forma de onda de la tensión y corriente en una carga inductiva.

Si lo que se conecta al circuito de corriente alterna es una carga capacitiva, como un capacitor o condensador, por ejemplo, entonces ocurrirá todo lo contrario al caso anterior, es decir, la senoide que representa la intensidad de la corriente se desfasará ahora también, pero en esta ocasión en sentido contrario, es decir, adelantándose a la tensión o voltaje. Por tanto, en este caso cuando la corriente alcanza un cierto valor en la senoide, superior a “0” ampere, entonces en ese momento el voltaje comienza a aumentar su valor partiendo de “0” volt.

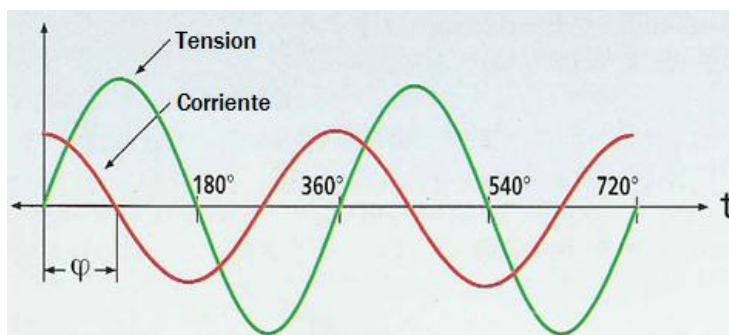


Figura 5.3: Forma de onda de la tensión y corriente en una carga capacitiva.



Como las cargas inductivas son principalmente el origen del bajo factor de potencia, analizaremos sus formas de onda de tensión y corriente cuando están insertas a la red, de este modo observaremos el desplazamiento que existe entre los dos y obtener el ángulo ϕ .

5.2-Elementos principales y adaptación al diseño

5.2.1-Tarjeta Arduino

Para la construcción de este diseño se decidió elegir la tarjeta Arduino UNO R3. Este será la unidad de procesamiento de nuestro dispositivo corrector, en él se programara el método de diseño que utilizaremos para conseguir el objetivo además se conectaran los sensores, actuadores y todo lo necesario.



Figura 5.4: Arduino UNO R3

5.2.3-Fuente de alimentación

Para que todos los elementos del dispositivo funcionen, se necesita una fuente de energía estable y que soporte todos los circuitos. Para ello se utiliza una fuente de alimentación 35W S-35-24.



Figura 5.5: Fuente de alimentación S-35-24



Características

La fuente de alimentación S-35-24, tiene un diseño PWM para asegurar una energía estable y eficiente. Además cuenta con protecciones de sobretensión, cortocircuito y sobrecarga. Esta fuente tiene potencia de salida estable y constante con larga vida útil, su temperatura de trabajo se encuentra entre los 10°-60° grados centígrados

Tabla 5.1-Especificaciones fuente de alimentación

Modelo	S-35-24
Voltaje de C.C.	24V
Corriente	1.5 ^a
Potencia	36W
Gama ajustable del voltaje	21.6-26.4

5.2.4-Regulador de 5V

Arduino Uno R3 necesita de una tensión de funcionamiento de 5 V, para esto tuvimos que diseñar un circuito regulador empleando un integrado LM 7805. Además de alimentar a Arduino se necesita alimentar un módulo de relé para la salida a los contactores teniendo que diseñar dos circuitos reguladores LM 7805 como se muestra a continuación.

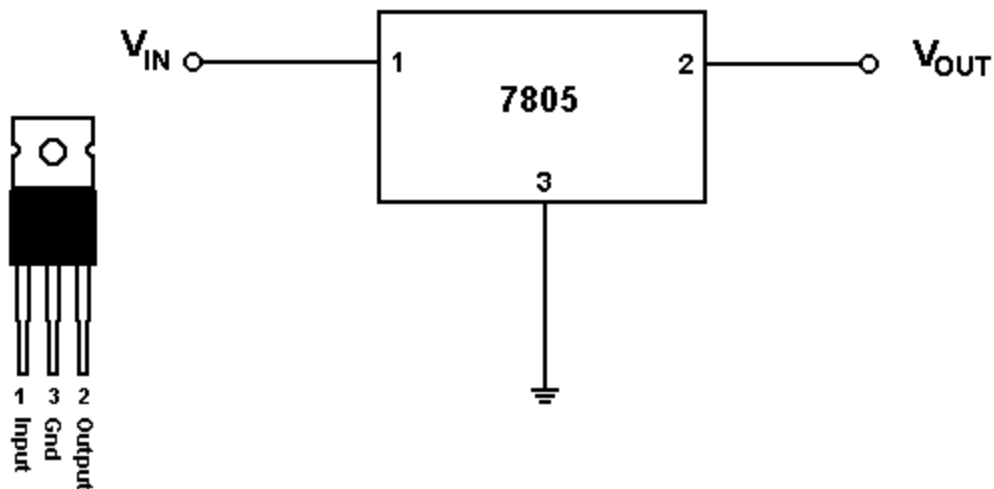


Figura 5.6: Regulador de tensión



5.2.5-Sensor de tensión

Para analizar la forma de onda de la tensión, se utiliza un sensor transformador de voltaje modular AC monofásico, especial ya que se ajusta a las características técnicas de entrada análoga para Arduino uno. Este sensor modular es el FZ1440.



Figura 5.7: Sensor de tension

Tabla 5.2-Características Técnicas sensor de voltaje

Voltaje de entrada	0 ~ 250 VAC
Voltaje de salida	0 ~ 3 VPP
Voltaje Offset	2.5 VDC
Frecuencia	50 HZ

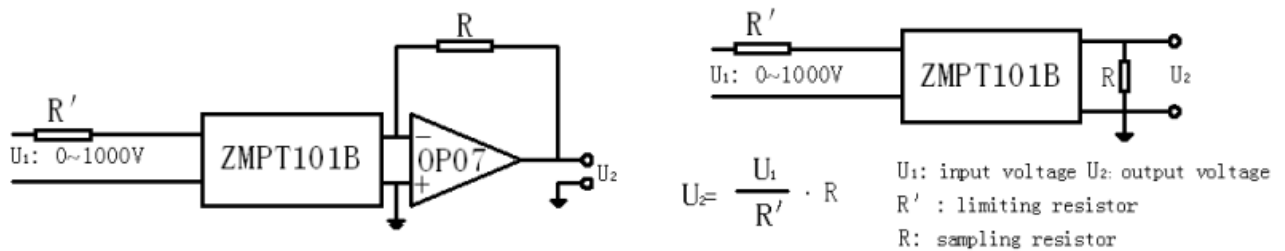


Figura 5.8:Circuito equivalente del sensor de voltaje

5.2.6-Sensor de corriente

Para analizar la forma de onda de la corriente, se utiliza un sensor transformador de corriente monofásico AC, es de tipo pinza diseñado para utilizarse en proyectos electrónicos pequeños, entrega una señal de salida en voltaje similar a la forma de onda de la corriente que circula por él. Este sensor es el SCT 013 – 030.

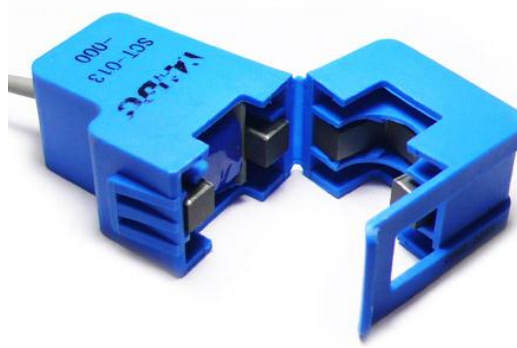


Figura 5.9: Sensor de corriente.

Tabla 5.3- Características técnicas del sensor de corriente

Corriente de entrada	0 ~ 30 A - AC
Señal de salida	0 ~ 1 VPP
Voltaje Offset	0 VDC
No linealidad	± 3 %
Rigidez dieléctrica	1000 V AC

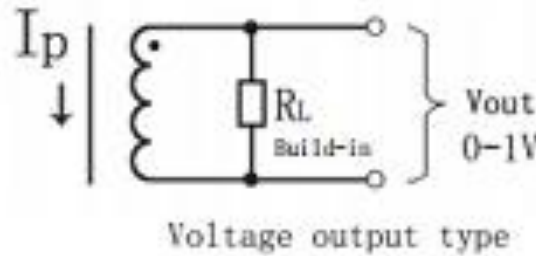


Figura 5.10: Circuito equivalente del sensor de corriente

Adaptación a Arduino

Puesto que el sensor de corriente no está diseñado para Arduino, no se ajusta a las características de entrada análogas de este, tendremos que adaptarlo de tal manera que cumpla con estas características y aprovechar el máximo rango de medición que podemos obtener con él y Arduino.

La tensión que entrega el sensor de corriente a una pequeña carga resistiva a través de un osciloscopio digital Rigol DS1052E como se muestra en la siguiente figura 5.11.

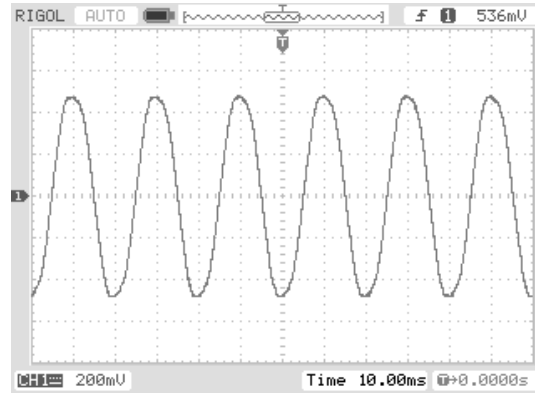


Figura 5.11. Voltaje del sensor de corriente.

Con esto tendremos que lograr que el sensor nos entregue en la entrada análoga del Arduino una señal con un voltaje de 0 a 5 Vpp, con un offset de 2.5 VDC, ya que la entrada análoga admite como máximo 5 V en las entradas y así aprovecharemos al máximo el espectro de mediciones. Primero cambiaremos el offset de la señal de voltaje entregada por el sensor, para esto utilizaremos un divisor de tensión con dos resistencias conectadas a la referencia del Arduino, de una de estas obtendremos el valor de referencia del offset para conectarla en serie al sensor.

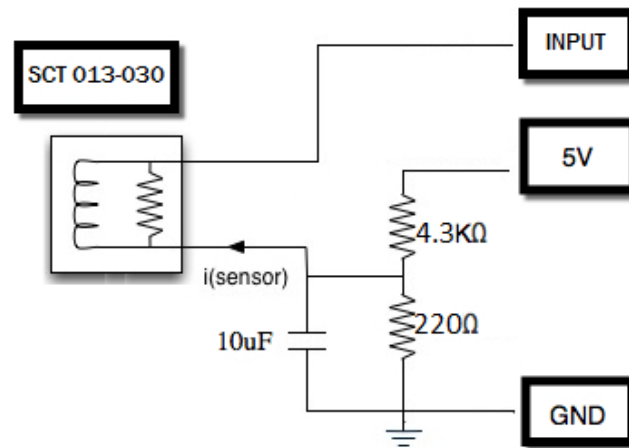


Figura 5.12: Divisor de tensión para cambiar el offset.

Este voltaje offset es el siguiente.

$$V(offset) = \frac{5}{(1000+3300)+220} * 220 = 0.24 \text{ VDC} \quad (5.1)$$



Ahora necesitamos amplificar este voltaje offset de 0.24 VDC, para que este en el centro de la amplitud máxima del voltaje de la entrada analógica del Arduino, que es de 2.5 VDC. Entonces la ganancia tendrá que ser.

$$\Delta V = \frac{2.5}{0.24} = 10.4 \quad (5.2)$$

5.2.7-Amplificador Operacional

Dado que el voltaje a amplificar es de 1 Vpp con offset 0.24 se decidió escoger un amplificador operacional que cumpla con estas características. Gracias a las especificaciones técnicas que presenta en su datasheet, se escoge un amplificador operacional LM 358.

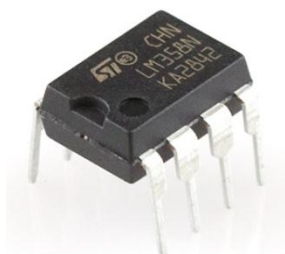


Figura 5.13: Amplificador operacional LM358

Tabla 5.4- Características técnicas del amplificador operacional LM358

Voltaje de alimentación	+ 32 V
Voltaje de entrada	-0.3 A +32 V
Ganancia	100 V/ mV
Ancho de banda	1.1 MHZ
Potencia disipada	500 mW
Corriente de entrada	50 mA
Velocidad de respuesta	0.3 a 0.6 V/ μs
Rango de temperatura	0°C a + 70°C

La configuración que se utiliza para este amplificador operacional es la de amplificador de tensión no inversor, se calculan las resistencias con las fórmulas de la teoría y los valores que se necesitan para la ganancia del sensor de corriente quedando de esta forma.

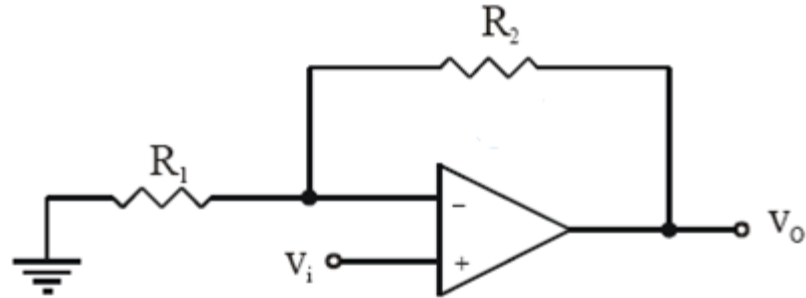


Figura 5.14: Amplificador de tensión no inversor

$$\Delta V = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (5.3)$$

$R_1 = 10 \text{ k}\Omega$.

$\Delta V = 10.4$.

Entonces:

$$R_2 = (\Delta V * R_1) - R_1 = (10.4 * 10000) - 10000 = 94 \text{ k}\Omega \quad (5.4)$$

Una vez realizado esto se construye y se conecta al sensor de corriente verificando que se cumpla con un osciloscopio digital.

El voltaje de offset configurado es el siguiente.

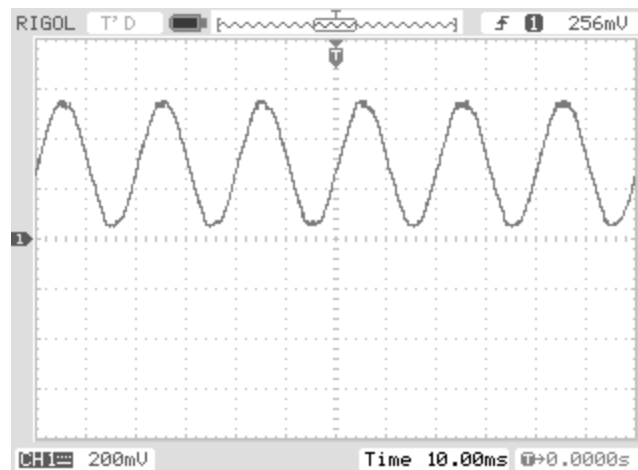


Figura 5.15: Voltaje offset configurado



La ganancia 10.4 en voltaje con un offset 0.24 es la siguiente.

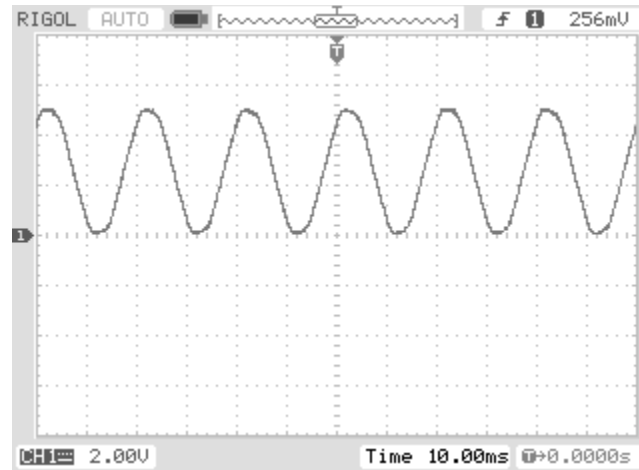


Figura 5.16: Ganancia y voltaje offset configurados.

Con esto tenemos los sensores de voltaje y corriente adecuados a las características de entrada analógica de Arduino, aprovechando al máximo su espectro de valores que podría medir.

Prueba de adaptación de los sensores

Para comprobar que los sensores estén listos para arrojar las mediciones de corriente y voltaje, se realizara una prueba con Arduino. Aplicando voltaje desde un variac de 0 a 250 V AC al sensor de voltaje y a través de una fuente de corriente aplicaremos de 0 a 15 A AC al sensor de corriente.

Realizaremos el circuito en forma de prueba a través de una protoboard, incluyendo en este el cambiador de offset del sensor, el amplificador de ganancia 10.4 y los dos sensores. Conectados a los terminales de referencia de voltaje y a las entradas analógicas A0 y A1.

En la siguiente imagen se muestra nuestra conexión de prueba, lo único que falta es el cable de corriente dentro de la pinza del sensor de corriente y los terminales (fase -neutro) al sensor de voltaje.

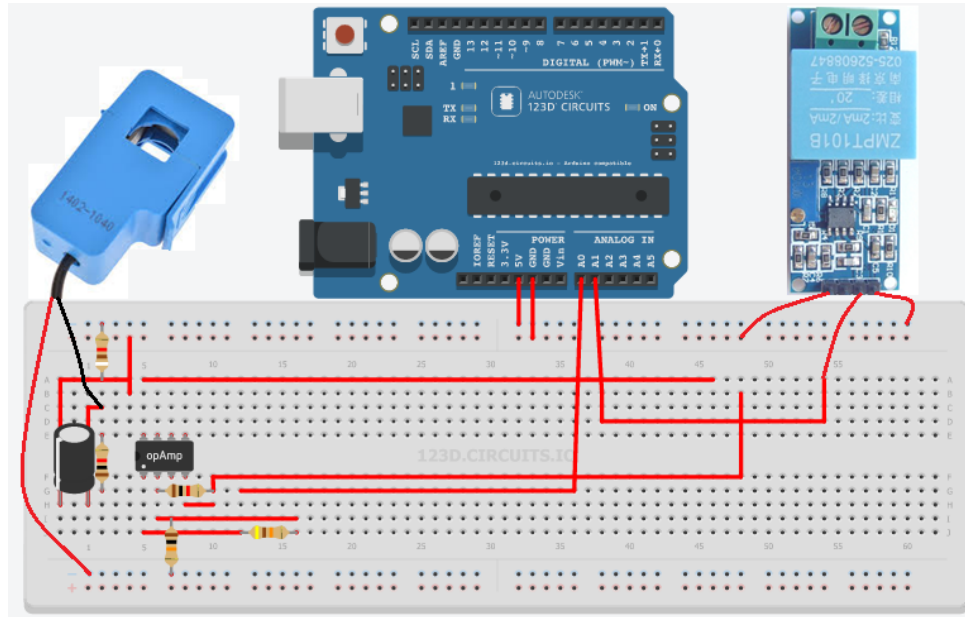


Figura 5.17: Conexión de adaptación del sensor de corriente.

Teniendo esta conexión lo primero que hacemos es conectar nuestro Arduino a la computadora. Después verificar si nuestra computadora detecta el puerto donde está conectado Arduino, verificando esto ya podemos comenzar a programar.

Ahora necesitamos desarrollar un pequeño programa en Arduino dentro de nuestro sketch, que nos permita visualizar los valores arrojados por los sensores. El programa se comienza con las declaraciones globales.

Nuestras declaraciones globales son:

Entradas análogas (Configuramos como puertos de entrada)

```
int analogPina = 0;
```

```
int analogPinb = 1
```

Variables (Asignamos variables que serán para guardar el valor del sensor)

```
int sensorcorriente;
```

```
int sensorvoltaje;
```



Después viene la función setup, acá colocaremos nuestra configuración de hardware. Como necesitamos ver las mediciones arrojadas por los sensores, utilizaremos el puerto serial para ver los valores. Entonces nuestra función setup es la siguiente.

```
Void Setup ( ) {  
    Serial.begin (9600);  
}
```

Abre el puerto serie y fija la velocidad en baudios para la transmisión de datos en serie. El valor típico de velocidad para comunicarse con el ordenador es 9600, aunque otras velocidades pueden ser soportadas.

La ultima estructura del programa de Arduino, es la función loop. Acá escribiremos lo que realmente queremos que haga Arduino y se repetirá continuamente. Tomamos los valores de los sensores y los guardamos en las variables, luego imprimimos en la pantalla estos valores de los sensores dando un retardo de 1 segundo cada muestreo. La función loop es la siguiente.

```
Void loop ( ) {  
    sensorcorriente = analogRead (in_sensor_c_A0);  
    sensorvoltaje = analogRead (in_sensor_v_A1);  
    Serial.println (sensorcorriente);  
    Serial.println (sensorvoltaje);  
    delay (1000);  
}
```

Nos aseguramos de abrir y cerrar las llaves después de cada función. También de los punto y como después de cada variable. Finalmente comprobamos de que este bien escrito el programa y lo compilamos para estar seguros.

Ahora nuestro programa para leer los valores de los sensores está listo. Cargamos el programa en la placa y abrimos el monitor serial arrojando estos valores.



- El sensor de corriente entrega valores análogos entre 223 ~ 512, cuando la corriente alterna se ajusta de 0 a 15 A en el ciclo negativo y cuando está en el ciclo positivo al ajustar de 0 a 15 A entrega valores análogos entre 512 ~ 900.
- El sensor de voltaje entrega valores análogos entre 0 ~ 510, cuando la tensión se ajusta de 0 a 250 V AC en el ciclo negativo y cuando está en el ciclo positivo al ajustar de 0 a 250 V AC entrega valores análogos entre 510 ~ 1023.

Producto de que al instalar bancos de capacitores incrementa la distribución de armónicas, se procedió a buscar una solución que considere eliminar completamente y evitar la magnificación de las armónicas en los sensores. Para ello se empleó un filtro de armónicos consistente en un filtro pasa banda con una frecuencia de central de 50 Hz.

5.2.8-Filtro de paso banda con amplificador operacional

El filtro de pasa banda electrónico tiene como función, dejar pasar un determinado rango de frecuencias de una señal, atenuando el paso del resto. Este tipo de filtro son selectores de frecuencia y rechaza aquellas frecuencias superiores a f_2 e inferiores a f_1 , tiene una ganancia máxima de salida f_0 (frecuencia central). La banda de frecuencia entre f_2 y f_1 es el ancho de banda BW.

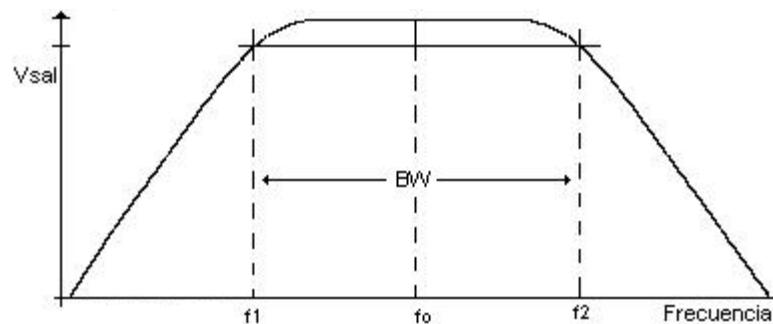


Figura 5.18: Grafico frecuencia v/s voltaje de salida

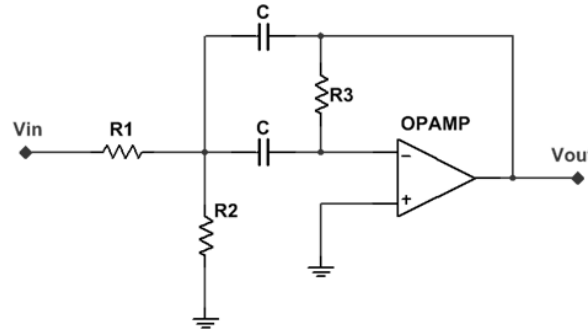


Figura 5.19: Circuito del filtro con paso banda

El diagrama anterior es del filtro pasa bandas que vamos a construir. El diagrama sigue la convención de amplificador operacional invertido con la terminal positiva hacia tierra con algunas modificaciones. Para obtener un factor de alta calidad (Q), tenemos que reducir el tamaño del ancho de banda para un rango de frecuencias más específico.

Dónde:

$$R1 = 150 \text{ k}\Omega. \quad C = 0.1 \text{ }\mu\text{f}.$$

$$R2 = 3 \text{ k}\Omega. \quad R3 = 330 \text{ k}\Omega.$$

$$\Delta v = -\frac{R3}{2R1} = -\frac{330}{300} = -1.1 \quad (5.5)$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi C \sqrt{\frac{R1+R2}{R1 \cdot R2 \cdot R3}}} = \frac{1}{2\pi \cdot 0.1 \sqrt{\frac{153 \times 10^3}{(150 \times 3 \times 330) \times 10^3}}} = 49.59 \text{ Hz} \quad (5.6)$$

Para comprobar se realizó una medición en el sensor de corriente antes del filtro pasa banda y después del filtro pasa banda con el siguiente resultado.

- Antes del filtro
- Después del filtro

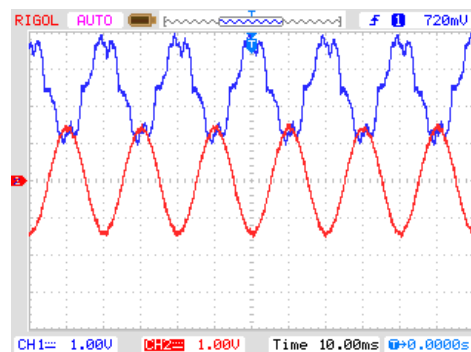


Figura 5.20: Ondas senoidales del sensor de corriente antes y después del filtro



La señal del sensor de corriente después del filtro quedo libre de corrientes armónicas pero invertida y con un offset de 0 v. Esto hace que debamos nuevamente adaptar a Arduino. Para ello se debe invertir y obtener una ganancia unitaria a 5 V con un offset de 2.5 V.

Se realiza con un amplificador operacional sumador inversor.

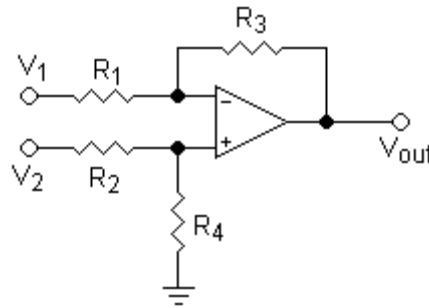


Figura 5.21: Amplificador operacional sumador inversor.

Entre V2 y tierra se establece una referencia de -2.5 con un divisor de tensión de -5 V.

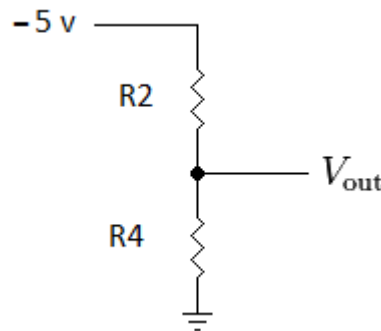


Figura 5.22: Divisor de tensión de 5V.

En V1 se ingresa la señal después del filtro pasa banda con R1 y R3 iguales para obtener la ganancia unitaria. Quedando las resistencias con los siguientes valores.

$R1 = 1\text{ k}\Omega$. $R2 = 220\ \Omega$. $R3 = 1\text{ k}\Omega$. $R4 = 220\ \Omega$.

Se midió la entrada y salida del amplificador operacional con el osciloscopio obteniendo lo siguiente.

- Entrada
- Salida

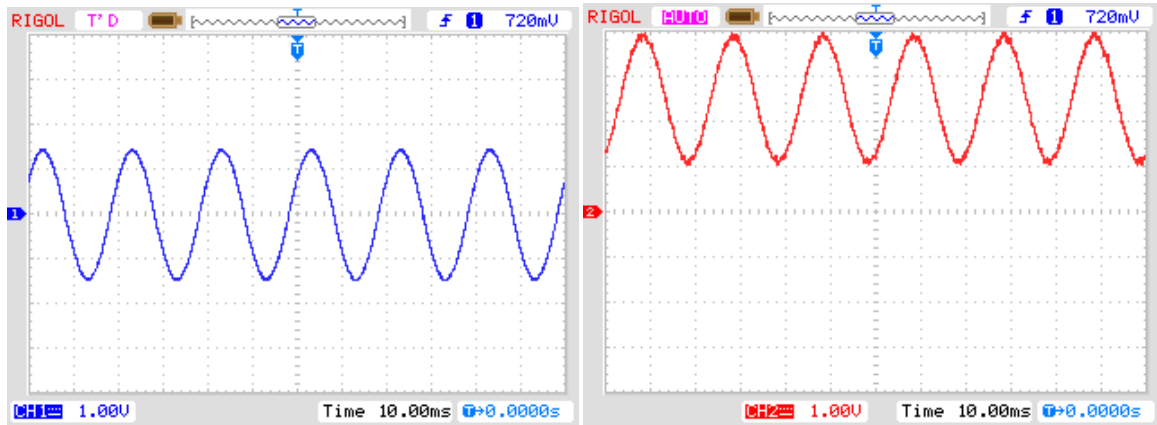


Figura 5.23: Ondas senoidales de entrada y salida del sumador inversor.

Con esto se puede deducir que el del filtro y posteriormente la adaptación para Arduino funciona con éxito. Ahora se mostrará una comparación del antes y después de los armónicos final después de la adaptación con un Voltaje offset de 2.5 V.

- Antes de la adaptación
- Después de la adaptación

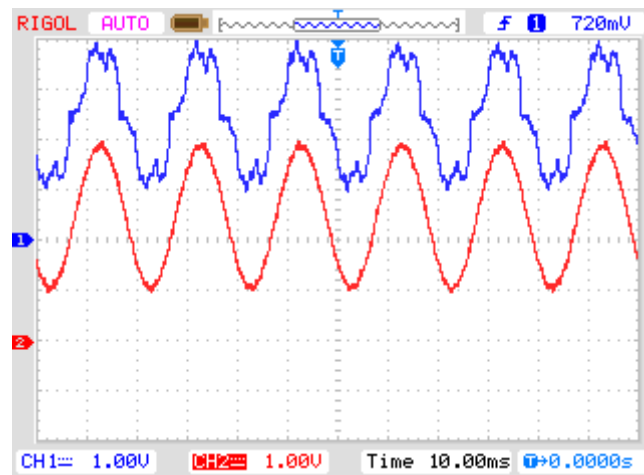


Figura 5.24: Diferencia de onda con la nueva adaptación.

Este filtro fue utilizado para eliminar casi por completo los armónicos que nos entregaban la red y los condensadores en la forma de onda de la corriente, ya que estos armónicos hacían que el equipo de medición entregara errores en los valores, e inestabilidad en el sistema.

Elimina todas las frecuencias desde cero a la frecuencia de corte inferior, permitiendo pasar todas aquellas que están entre las frecuencias de corte inferior y la frecuencia de corte superior, eliminando así todas las frecuencias por encima de la frecuencia de corte superior.



5.3- Construcción del Cosenofímetro con Arduino

5.3.1- Hipótesis de diseño

Como sabemos los valores máximos y mínimos que arrojan los sensores al aplicar tensión y corriente sobre estos, debemos diseñar con Arduino un programa que nos permita obtener el factor de potencia. Para esto tenemos dos propuestas de métodos diferentes.

- La primera es determinar desfase de las señales que hay entre la corriente y la tensión. Para ello tomaríamos el tiempo de desfase en segundos que hay entre las dos señales y la convertiríamos a radianes, para luego multiplicarlo por la función Coseno obteniendo el factor de potencia.
- La segunda es obtener los valores instantáneos de tensión y corriente, calcular el valor medio y obtener la potencia activa. Con esta potencia y la potencia aparente calcularemos el factor de potencia.

Al describir de manera resumida estos dos métodos parecen ser sencillos, fáciles de implementar pero ejecutarlo tiene una gran cantidad de dificultades y de pasos que necesitan un buen conocimiento de esta plataforma. Hemos elegido el primer modelo para comenzar, ya que a simple razonamiento se lee como un modelo más sencillo y fácil, adecuándonos a nuestras necesidades que tenemos poco tiempo para diseñarlo e implementarlo.

5.5.2- Planteamiento de diseño

Vamos a obtener el factor de potencia determinando el desfase que existe entre la tensión y corriente, para esto necesitamos establecer una referencia que servirá como punto inicial de la medición y punto final de la medición. Este punto tiene que estar presente en todo momento de una medición.

Al tener estos puntos de referencia, mediremos el tiempo que se demora llegar en de un punto a otro, con esto tendremos el desfase en segundos al que lo transformaremos a radianes, ya que la función coseno de Arduino está diseñada para trabajar en radianes. Este tiempo en radianes lo asignamos a la función coseno y calculamos el coseno del tiempo en radianes obteniendo nuestro factor de potencia a través de su desplazamiento en segundos.



5.5.3- Construcción del programa

Empezamos por establecer una referencia en Arduino, que significa tomar el valor de un punto determinado dentro del espectro de valores que arrojan las entradas análogas en este caso, pero debe de estar presente en cualquier medición que podamos hacer.

Es por esto que nuestro punto de referencia e inicio de medición es el cruce por cero de la función senoidal entregadas por los sensores, en Arduino este valor en tensión es de 2.5 V y en las entradas análogas aproximadamente de un valor 511.

- Corriente
- Voltaje

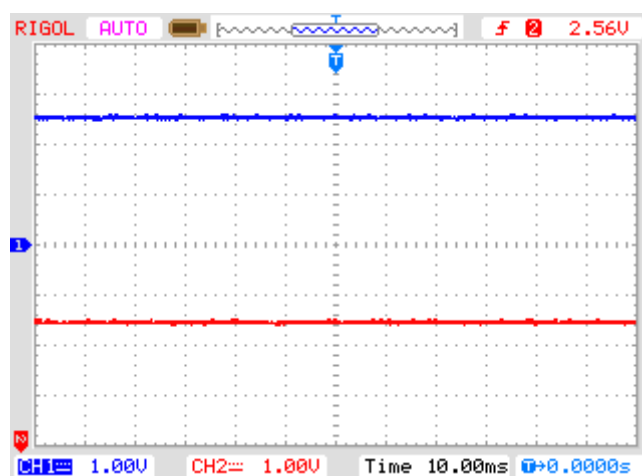


Figura 5.25: Punto de referencia para Arduino.

Al medir el valor análogo de corriente en Arduino entrega 510. Para la tensión entrega un valor análogo de 512. Como las cargas a analizar serán solamente inductivas teóricamente la tensión estará adelantando a la corriente como se muestra en el siguiente gráfico.

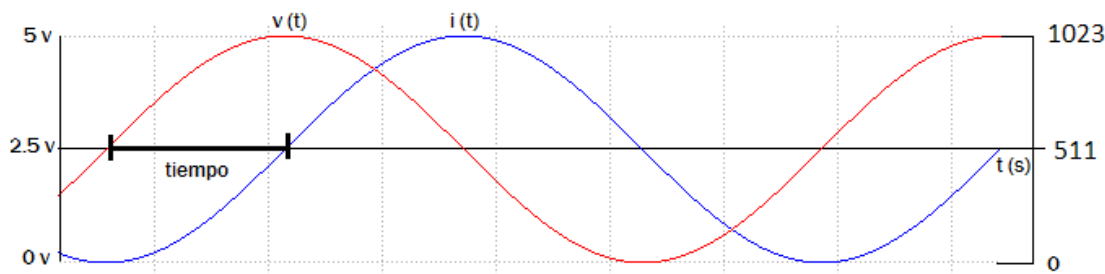


Figura 5.26: Tensión v/s Corriente de una carga inductiva representada en arduino.



Pero producto de los sensores y la adaptación de ellos se realiza una verificación del desfase de las señales en estado normal, con carga resistiva sin tener ningún tipo de carga reactiva que pudiera desplazar la forma de onda. La medición arroja lo siguiente en el osciloscopio.

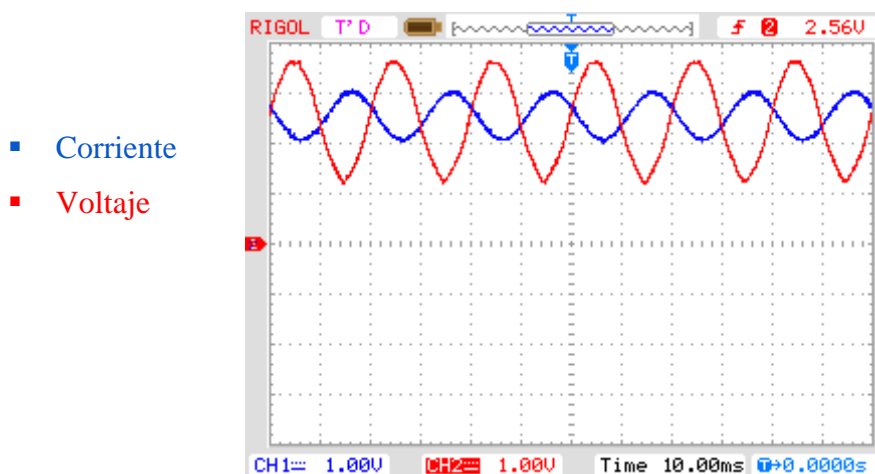


Figura 5.27: Verificación del desfase de los sensores con carga resistiva.

Se puede observar que el desfase entre las señales es significativo, producto de que los sensores y su adaptación tienen elementos o componentes no lineales que generan un desplazamiento en su forma de onda.

Como la corriente está en adelante al voltaje y a medida que coloquemos carga inductiva en el dispositivo la corriente se atrasará con respecto a la tensión, estando más cerca una sobre la otra empezaremos con esta la referencia.

Esta referencia se consigue realizando un filtro de valores, primero detectaremos el cruce por cero de la senoidal de corriente, cuando este en el valor 512 se activará el punto de inicio y dejará pasar todos los siguientes valores junto con la programación, esto se consigue con la condición if de la siguiente manera.

```
if (Sensorcorriente == 510)
```

Con esta función detectaremos el cruce por cero de la función senoidal del sensor de corriente, pero puede haber dos cruces por cero dentro de una función senoidal de corriente. Cuando está



ascendiendo al pick máximo del ciclo positivo y cuando desciende al pick máximo del ciclo negativo.

Estableceremos el ciclo positivo solamente en las mediciones, para no tener una variación de valores dejando trabajar de manera óptima a la tarjeta Arduino después de haber salido de un cruce por cero. Entonces para dejar pasar solamente los ciclos positivos de las funciones realizaremos otro filtro nuevamente con el comando if, pasando solamente valores mayores a 500.

```
if (Sensorcorriente > 500);
```

Ahora que detectamos el punto de inicio de la medición dentro de los ciclos positivos solamente de la función senoidal que entrega el sensor de corriente, tenemos que medir el tiempo para llegar al cruce por cero de la función senoidal del sensor de voltaje. Para ello utilizaremos la función for.

Tomaremos 100 muestras para determinar hasta el máximo desplazamiento que puede haber entre las dos funciones con una condición if, que detectara el cruce por cero de la función senoidal del sensor de voltaje y que será el punto final de la medición.



Figura 5.28: Detección del cruce por cero.

Cuando la condición if detecte el cruce por cero del sensor de corriente, una variable *i* tomara el valor de la posición de la muestra, al detectar el cruce por cero del sensor de voltaje este se podrá multiplicar por él y así obtener el tiempo de desplazamiento en segundos entre las dos funciones. El programa después del filtro del ciclo positivo será el siguiente.



```

for (int i=0; i<100; i++)
{
  Sensorvoltaje= analogRead (analogPinb);
  if (Sensorvoltaje> 500 &&Sensorvoltaje == 512)
  {
    conv = fmap(i, imax, imin, 0, 100);
  }
}

```

Con el desplazamiento en segundos, se debe transformarse a radianes. Para ellos se utilizara la regla tres simple directa la que estará dentro de una función fmap predefinida, si 100 muestras son $\pi/2$ como máximo, cuando el tiempo sea 0 segundos el tiempo en radianes serán 0.

Tabla 5.5-Regla tres simple

100	$\pi/2$
0	0

Esta conversión deberá agregarse a la variable tiempo, entonces el programa quedara así.

```
tiempo = conv*((PI/2)/100);
```

Los valor de imax e imin se establecen a partir de una medición de la cantidad de muestras que se entrega el for cuando la carga es totalmente resistiva con un factor de potencia 1, este valor es de 76 mostrado por el puerto serial y con una carga inductiva que utilizaremos para comprobar nuestro funcionamiento en forma real con un factor de potencia de 0.31 el imin es de 37. Por último, esta variable deberá agregarse a la función coseno y así obtener el factor de potencia, quedando así.

```
factorpotencia = COS (tiempo);
```

Entonces el programa completo para el factor de potencia comienza con las declaraciones globales.

Nuestras declaraciones globales son:

Entradas análogas (Configuramos como puertos de entrada)

```
int analogPina = 0;
```



```
int analogPinb = 1;
```

Variables (Asignamos variables que serán para guardar el valor del sensor y de los resultados)

```
int Sensorcorriente;
```

```
int Sensorvoltaje;
```

```
int i, conv;
```

```
float tiempo;
```

```
float factorpotencia;
```

Después viene la función Void setup, acá colocaremos nuestra configuración de hardware, como no necesitamos configurar nada, quedará en blanco.

La ultima estructura del programa de Arduino, es la función Void loop. Acá escribiremos lo que realmente queremos que haga Arduino y se repetirá continuamente. Tomamos los valores de los sensores y los guardamos en las variables, luego se realizan los filtros con la cantidad de muestras y se convierte a tiempo en radianes. La función Void loop es la siguiente.

```
Void loop ( ) {
  Sensorcorriente = analogRead(analogPina);
  Sensorvoltaje = analogRead(analogPinb);
  if (Sensorcorriente > 500 && Sensorcorriente == 510)
  {
    for (int i=0; i<100; i++)
    {
      Sensorvoltaje = analogRead (analogPinb);
      if (Sensorvoltaje > 500 && Sensorvoltaje == 512)
      {
        conv = fmap(i, imax, imin, 0, 100);
        tiempo = conv*((PI/2)/100);
        factorpotencia = cos (tiempo) ;
      }
    }
  }
}
```



}

Nos aseguramos de que las llaves se abran y cierren después de cada función. También de los punto y como después de cada variable. Finalmente comprobamos de que este bien escrito el programa y lo compilamos para estar seguros.

5.4- POTENCIA REACTIVA INYECTADA Q_c

5.4.1- Teoría de diseño

Una vez obtenido el factor de potencia de la instalación o consumo y haber probado que funcione correctamente debemos calcular la potencia reactiva que necesitamos inyectar al sistema para mejorar el factor de potencia al valor deseado. Es por ello que debemos diseñar otro programa que nos permita obtener el valor de la potencia reactiva.

Como la ecuación de factor de potencia se define:

$$F.P = \frac{P. activa}{P. aparente} \quad (5.7)$$

El valor de F.P lo conocemos, las incógnitas son la potencia activa y la potencia aparente, pero obteniendo alguna de estas dos incógnitas podemos saber la otra, de esta manera y en forma más práctica se nos hace más fácil encontrar el valor de la potencia activa, ya que es el resultado de la multiplicación de los valores rms de la tensión con la voltaje.

$$S = V_{rms} * I_{rms} \quad (5.8)$$

Entonces la función de este nuevo programa es encargarse de encontrar el valor rms de tensión que tiene la instalación y la corriente que circula por esta a través de sus sensores respectivamente. Para ello tendremos que obtener de los sensor el valor máximo de las señales senoidales que nos entregan estos dos sensores y calcular a través de su forma teoría el valor rms.

$$Valor RMS (senoidal) = \frac{Valor\ maximo}{\sqrt{2}} \quad (5.9)$$



Este nuevo diseño va a partir basándose en la referencia de los valores que nos entregan los sensores después de su adaptación. Como los sensores nos entrega una señal senoidal de 0 a 5 Vpp con un offset de 2.5 VDC adaptado para la plataforma Arduino, debemos encontrar una manera que a través de una programación de Arduino nos permita obtener el valor máximo entregado por el sensor.

5.4.2- Planteamiento de diseño

En una señal senoidal tal como la entregan los sensores, el valor o punto máximo de la señal se encuentra en la mitad de un ciclo, en este caso como es a 50 Hz un ciclo tiene un tiempo de 20 milisegundos, si tomamos como referencia el punto de inicio el cruce por cero el valor máximo se encuentra a los 5 milisegundos en el ciclo positivo y a los 15 milisegundos en el ciclo negativo tal como se ilustra en la siguiente imagen.

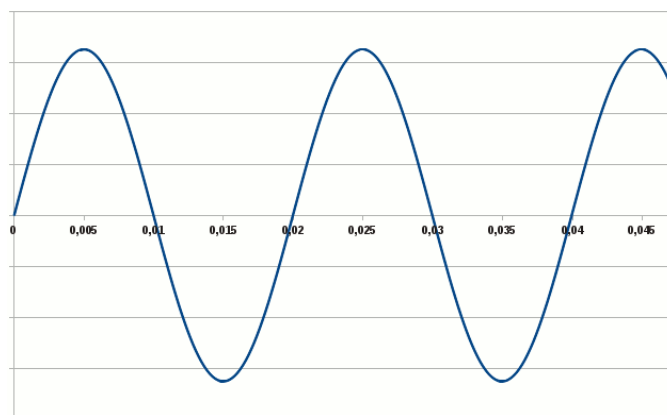


Figura 5.29: Señal senoidal en función del tiempo.

Entonces vamos a obtener este punto máximo cada 5 milisegundos después del cruce por cero, para tomar este valor colocaremos como punto de referencia o partida este cruce por cero tal como en el diseño del Cosenofímetro. Para esto tendremos que hacer un filtro que detecte este cruce por cero.

Cuando se detecte el cruce por cero, se establecerá un retardo de 5 milisegundos en la medición del programa, para que los sensores puedan obtener en forma precisa el punto máximo de la señal senoidal entregada por estos.



Con el valor del punto máximo se procesara dentro de una fórmula simple para obtener el valor rms de las señales senoidales de tensión y corriente arrojadas por los sensores insertos en el sistema. Obteniendo el valor rms de tensión y corriente podemos calcular dentro de nuestro programa la potencia aparente de nuestro sistema.

Al tener entonces el factor de potencia con la potencia aparente podemos saber la incógnita de potencia activa y aplicarlas a cualquier fórmula para determinar Q_c .

5.4.3- Construcción del programa

La construcción de este programa es de similar manera para obtener el valor rms en voltaje como en corriente, por lo tanto se utiliza para los dos. Empezamos por establecer una referencia en Arduino, que significa tomar el valor de un punto determinado dentro del espectro de valores que arrojan las entradas análogas en este caso, pero debe de estar presente en cualquier medición que podamos hacer.

Es por esto que nuestro punto de referencia e inicio de medición es el cruce por cero de la función senoidal entregadas por los sensores, en Arduino este valor en tensión es de 2.5 V y en las entradas análogas de un valor de 510.

Esta referencia se consigue realizando un filtro de valores, primero detectaremos el cruce por cero de la senoidal, cuando el sensor este en el valor 510 se activara el punto de inicio y dejara pasar todos los siguiente valores junto con la programación, esto se consigue con la condición if de la siguiente manera.

```
if (sensor== 510)
```

Con esta función detectaremos el cruce por cero de la función senoidal de los sensores de voltaje y corriente. Ahora que tenemos nuestro punto de referencia el valor cero de las senoidales, haremos nuestro retardo para que la medición se realice en el punto máximo de la señal. Es por ello que esta medición se hará a los 5 milisegundos después del cruce por cero.

Configuraremos en Arduino que los sensores realicen justo la medición del punto máximo a través de un retardo, este retardo hace que los sensores entreguen el valor obtenido de la



medición en el instante preciso tanto para el sensor de tensión como de corriente guardando este valor en la variable del sensor respectivamente de la siguiente manera.

```
delayMicroseconds (5000);
```

```
Sensorvoltaje = analogRead(analogPinb);
```

Para que las mediciones sean constantes realizaremos un filtro con el valor que nos entrega la variable del sensor almacenada después del retardo, este filtro es para tomar el valor máximo de las senoidales en el ciclo positivo solamente de la siguiente manera.

```
if (sensor > 500)
```

Con todo este programa obtenemos solamente los valores máximos arrojados de los sensores de corriente y tensión. Si el valor entregado es cero, colocamos una condición al valor del sensor, esto se cumple si la entrada análoga tiene un valor de 510 de la siguiente forma.

```
if (sensor == 510)
```

```
{
```

```
valor = 0;
```

```
}
```

En el caso contrario, si las mediciones de las entradas análogas arrojan otro valor convertiremos la señal de la entrada análoga a valores de tensión y corrientes reales. Esta conversión se realizara dentro de una función preestablecida que transformara el valor entregado por el sensor y la entrega dentro del rango definido.

Los valores de las entradas análogas estarán dentro del semi ciclo positivo de las señales senoidales, para saber los valores reales a los cuales convertiremos tenemos que tener claro las características del diseño. En resumen el valor entre las entradas análogas y el valor máximo que entregaran los sensores será el siguiente.

Tabla 5.6- Relación entre entradas analógicas y valores máximos

Entrada Análoga	Tensión	Corriente
510 a 1023	0 a $220 \cdot \sqrt{2}$ VAC	0 a $15 \cdot \sqrt{2}$ A AC



La fórmula establecida en la función será.

$$fmat = \frac{(x - in_min) * (out_max - out_min)}{(in_max - in_min) + out_min} \quad (5.10)$$

Escrita en el programa Arduino es.

```
float fmap (float x, float in_min, float in_max, float out_min, float out_max)
{
  return (x - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) + out_min;
}
```

Esta función dentro del programa será guardada dentro de una variable valor que es el resultado de esta transformación, escrita de la siguiente manera.

```
else (sensor > 510);
{
  valor = fmap (Sensor, min_analog, max_analog, min_real, max_real);
}
```

Entonces Arduino tomara el valor de los sensores con un valor de entrada análogo, lo convertirá al rango de valores reales máximos y así poder guardarlo dentro de una variable llamada “valor”. Ahora para obtener el valor rms del dato guardado en la variable, tendremos que crear otra variable que extraiga este valor y sea absoluto.

```
valor= sqrt(pow (valor,2));
```

Con esto hemos logrado obtener el valor rms a partir de las senoidales de los sensores, ya que tienen el mismo tipo de función se utiliza la misma programación para cada uno de estos. Ahora necesitamos desarrollar un breve programa en Arduino dentro de nuestro sketch, que nos permita probar el valor rms arrojados por los sensores. El programa se comienza con las declaraciones globales.

Nuestras declaraciones globales son:



Entradas análogas (Configuramos como puertos de entrada)

```
int analogPinx = x;
```

Variables (Asignamos variables que serán para guardar el valor del sensor y de los resultados)

```
int sensorx;
```

```
float valor;
```

Después viene la función Void setup, acá se coloca la configuración de hardware. Como no se necesita configurar nada, quedara en blanco.

La ultima estructura del programa de Arduino, es la función Void loop. Acá escribiremos lo que realmente queremos que haga Arduino y se repetirá continuamente. Tomamos los valores de los sensores y los guardamos en las variables, luego se detecta el cruce por cero activando un retardo de 5 milisegundos con otro filtro que hace que la senoidal este en el ciclo positivo.

Después con una condición convierte los valores análogos de los sensores obtenidos después del retardo a reales mediante la función fmap. Con esta conversión obtendremos los valores rms. La función Void loop es la siguiente.

```
Void loop () {
  Sensorx = analogRead (analogPinx);

  if (Sensorx == 510)
  {
    delayMicroseconds (5000);
    Sensorx = analogRead (analogPinx);
    if (Sensorx > 500)
    {
      if (Sensorx == 510)
      {
        valor = 0;
```



```

    }
else (Sensorx> 510);
{
valor = fmap(Sensorx, 510, 925, 0.0, 15.0);
}
valor= sqrt(pow (valor,2));
}
}
}
float fmap (float x, float in_min, float in_max, float out_min, float out_max)
{
return (x - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) + out_min;
}

```

Nos aseguramos de que las llaves se abran y cierren después de cada función. También de los punto y como después de cada variable. Finalmente comprobamos de que este bien escrito el programa y se compila para estar seguros.

Como ya comprobamos que el programa nos entrega el valor rms que nos servirá tanto para la tensión como la corriente, debemos duplicar el programa y asignar nombres distintos tanto al sensor de corriente como las variables almacenadas respectivamente al nombre del sensor. Así los siguientes nombres serán independientes en cada medición.

Para la tensión el valor rms queda con el nombre “valor1”, para corriente quedara “valor”, entonces con la tensión y corriente rms real en cada uno de ellos, podemos obtener la potencia aparente de nuestro sistema a medir. Para ello agregaremos una variable llamada potencia aparente que guarda el resultado de la multiplicación del valor rms de corriente con la tensión.

Paparente = valor * valor1;

Si queremos saber el valor de la potencia reactiva que inyectaremos Q_c , debemos saber la potencia aparente y el tiempo en radianes. Con esto podemos calcular con la programación de Arduino la potencia que necesitamos inyecta al sistema, ya que tenemos el factor de potencia,



potencia aparente. La potencia reactiva que necesitan inyectar los condensadores se obtiene de la siguiente fórmula.

$$Q_c = S * \text{Sen}\theta \quad (5.11)$$

El código Arduino quedaría así.

```
Q= valor*valor1*sin(tiempo);
```

Tenemos calculado con Arduino la potencia que necesitamos inyectar, ahora debemos distribuir la activación de los capacitores para llegar a la potencia reactiva que necesitamos compensar.

Para la activación de los condensadores se utiliza cuatro salidas digitales que conectados a relés de 5 VDC que controlan la alimentación de contactores que conectara los condensadores a la red. Para ello se utiliza un módulo de 4 relés que es el siguiente en la figura 5.30.

5.4.4- Módulo de relé para Arduino

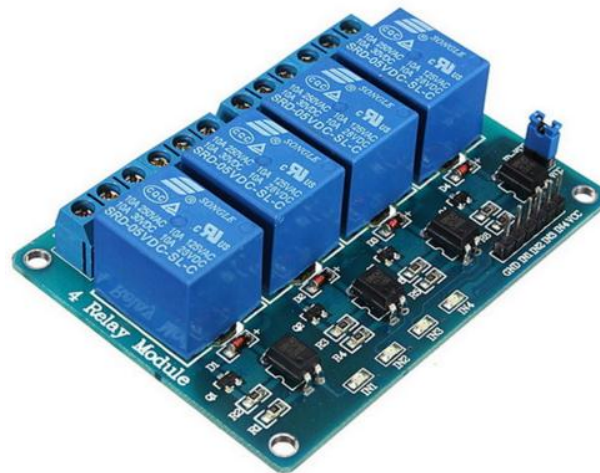


Figura 5.30: Módulo de relé para Arduino.

Características

Este módulo de relé contiene una interfaz estándar de cuatro canales, que puede ser controlado directamente por una amplia gama de micros controladores tala como Arduino. También es capaz de controlar varios aparatos y equipo con una alta corriente.



Especificaciones:

Voltaje de funcionamiento: 5V

Canal: 4 Canales

Tamaño de artículo: 7 x5.3 x 1,7

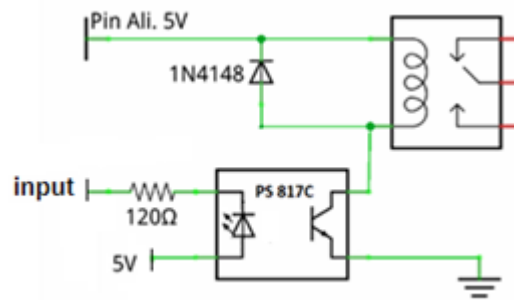


Figura 5.31: Diagrama simple del módulo de relés.

Estos relés controlan la alimentación de los contactores que activaran o desactivaran la conexión de los condensadores.

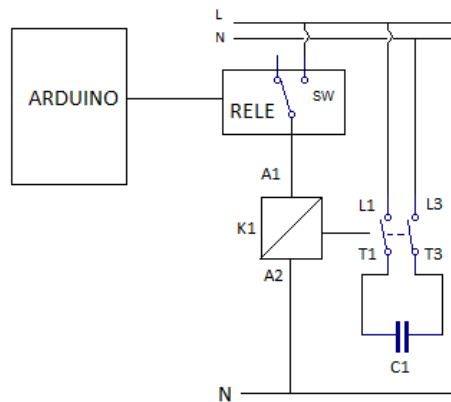


Figura 5.32: Diagrama de control de relés.

5.4.5-Contactores Danfoss

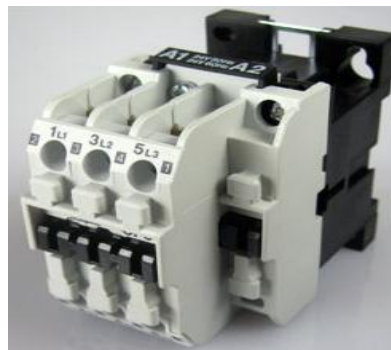


Figura 5.33: Contactores Danffos.



Tabla 5.7-Especificaciones de contactores

Potencia AC-3 220-240V	3KW
Potencia AC-3 380-690V	5.5KW
I e AC-3	12 A
I th abiertos AC-1	25A
I the Adj. AC -1	20A
Contactos principales	3
Tensión de la bobina en 50 Hz	220-400V

5.4.6-Características técnicas de los condensadores de la universidad

Condensadores trifásicos

Modelo MA/C/CE

Sistema por sobre tensión

Tensión 400V

Potencia 4 KVAR

Frecuencia 50 Hz

Ampares 5.7



Figura 5.34: Condensador RTE MA/C/CE.

$$Q_c = \frac{V^2}{X_c} = V^2 * WC = V^2 * 2\pi * f * C \quad (5.12)$$

$$Q_c = 4000/3 = 1333.33 \text{ VAR.}$$

$$V = 400 \text{ VAC.}$$

$$C = \frac{Q_c}{V^2 * 2\pi * f} = \frac{1333.33}{400^2 * 2\pi * 50} = 26.53 \mu f \quad (5.13)$$

La conexión interna del condensador en delta para 3φ.

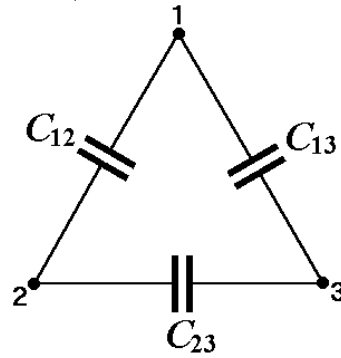
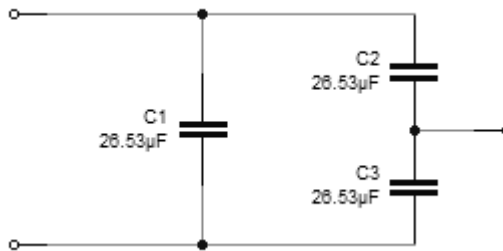
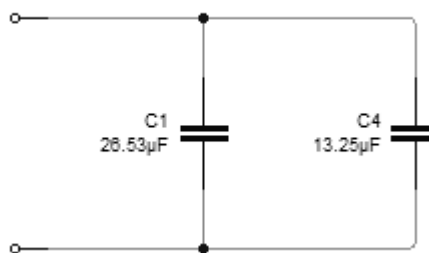


Figura 5.35: Conexión interna condensadores.

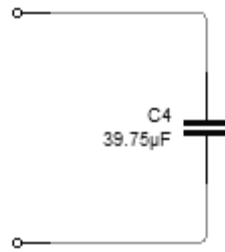
Transformación para la conexión 1∞.



$$C1 // C2 - C3 = \frac{1}{\frac{1}{26.53 \times 10^{-6}} + \frac{1}{26.53 \times 10^{-6}}} = 13.25 \mu f \quad (5.14)$$



$$C12 - C23 - C13 = (26.53 \times 10^{-6}) + (13.25 \times 10^{-6}) = 39.75 \mu f \quad (5.15)$$



Primera configuración para dos capacitores

Para nuestro sistema 1:

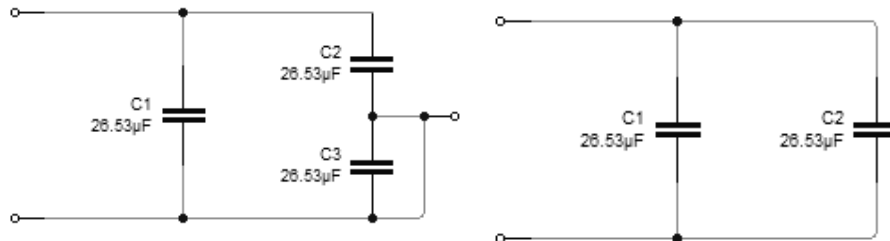
$$C = 39.75 \mu\text{f}$$

$V = 225 \text{ VAC}$ (Medidos de la red)

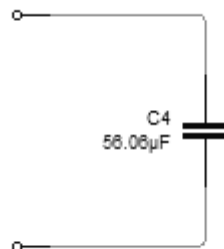
$$Q_c = \frac{V^2}{X_C} = V^2 * WC \quad (5.16)$$

$$Q_c = V^2 * 2\pi * f * C = 225^2 * 2\pi * 50 * 39.75 * 10e - 6 = 632.2 \text{ VAR} \quad (5.17)$$

La potencia reactiva máxima que puede aportar cada condensador en esta configuración es de 632.2 VAR. Como se tiene 4 condensadores se utilizara 2 en esta configuración y dos más en la siguiente.



$$C1//C2 = (26.53 * 10e - 6) + (26.53 * 10e - 6) = 56.06 \mu\text{f} \quad (5.18)$$





Segunda configuración para 2 capacitores

Para nuestro sistema 1:

$$C = 56.06 \mu\text{f}$$

$$V = 225 \text{ VAC (Medidos de la red)}$$

$$Q_c = \frac{V^2}{X_c} = V^2 * WC \quad (5.19)$$

$$Q_c = V^2 * 2\pi * f * C = 225^2 * 2\pi * 50 * 56.06 * 10e-6 = 891.6 \text{ VAR} \quad (5.20)$$

La potencia reactiva máxima que puede aportar cada condensador en esta configuración es de 891.6 VAR. Como se tiene 4 condensadores se utilizara 2 y está haciendo un total de 3048 VAR ind.

5.4.7- Características técnicas en el diseño del compensador de reactivos

Tensión máxima = 220 VAC (de acuerdo a la tensión máxima del sensor)

Corriente máxima = 15 A AC (de acuerdo a la corriente máxima del sensor)

Ajuste Factor de potencia máximo = 0.93 i. (factor mínimo en una instalación)

Por lo tanto:

$$S_{max} = V * I = 220 * 15 = 3300 \text{ VA} \quad P_{max} = S * F. P_{max} = 3300 * 0.93 = 3069 \quad (5.21)$$

$$Q_{c \text{ max}} = P_{max} * Tg(\cos^{-1}F.P' - \cos^{-1}F.P'') \quad (5.22)$$

$$Q_{c \text{ max}} = 3069 * Tg(\cos^{-1}0.4 - \cos^{-1}0.93) = 3053 \text{ VAR c.} \quad (5.23)$$

Ajuste Factor de potencia mínimo = 0.4 i. (factor de potencia más bajo por capacitores)

Esto quiere decir que el total de nuestros capacitores pueden compensar una potencia reactiva de 3036.74 alcanzando un factor de potencia mínimo de 0.46.

5.4.8- Activación de los módulos relé de acuerdo a la potencia reactiva

Los contactos principales del contactor conectaran a los condensadores al sistema cuando la potencia reactiva del capacitor sea necesaria para compensar y mejorar el factor de potencia de la instalación. Pero primeramente se activaran los relés de 5 VDC a medida que sea necesaria en el



momento requerido. El número de capacitores a activar la resumiremos en la donde condensador mínimo puede aportar 632.2 VAR y el máximo a 891.6 VAR.

Tabla 5.8- Disposición de la potencia reactiva en los capacitores.

Potencia Reactiva Qc (VAR)	N° del Capacitor
632.2	1
632.2	2
891.6	3
891.6	4

Para escribir la programación de activación de los condensadores mediante el relé con el contactor, tenemos que tener claro el intervalo de potencia en que se conectarán al sistema junto a la salida digital que activa a cada relé, contactor y condensador respectivamente.

Tabla 5.9- Relación entre rango de potencia reactiva, salida digital y N° de condensadores

Rango de Potencia Reactiva Qc	Salida Digital	N° de Condensador
632.2 a 1264	0	1
1264 a 2156	0-1	1-2
2156 a 3048	0-1-2	1-2-3
3048>	0-1-2-3	1-2-3-4

Por lo tanto la programación de Arduino tendrá que tener condiciones que permitan activar las salidas digitales respectivamente para cada condensador, cuando se cumpla que la potencia reactiva a inyectar este dentro de los rangos.

Después de obtener Q de la programación se debe continuar con el siguiente código, para aprovechar al máximo la capacidad que puede entregar con estos capacitores realizará un filtro de acuerdo a su capacidad que pueden entregar al sistema para que no quede sobre dimensionado.

```

if(Q>1264)
{
if (Q>632 && Q<1264)
{
digitalWrite(outPin2, LOW);
} if (Q>1264 && Q<2156)

```



```

    {
digitalWrite(outPin3, LOW);
    } if (Q>2156 && Q<3048)
    {
digitalWrite(outPin4, LOW);
    }
if (Q>3048)
    {
digitalWrite(outPin5, LOW);
    }
}

```

Este filtro es para entregar potencia reactiva cuando Q sobrepasa los dos capacitores mínimos y actúen a su vez no quedando sobre dimensionado con un capacitor mayor faltando potencia reactiva por inyectar.

```

if (Q<1264)
    {
if (Q>891 && Q<1782)
    {
digitalWrite(outPin5, LOW);
    } if (Q>1782 && Q<2414)
    {
digitalWrite(outPin4, LOW);
    } if (Q>2414 && Q<3048)
    {
digitalWrite(outPin3, LOW);
    }
if (Q>3048)
    {
digitalWrite(outPin2, LOW);
    }
}

```

Este filtro es para entregar potencia reactiva cuando Q es menor a los dos capacitores mínimos y actúe un capacitor mayor. Con esto Arduino podrá compensar con potencia reactiva al sistema en forma automática de acuerdo al ajuste requerido.

5.5-Pantalla de mediciones

Para colaborar que el diseño sea correcto se instala una pantalla que muestra el valor del factor de potencia y la medición de la corriente en cada instante en el que haya una carga conectada. Para esto se eligió un visualizador LCD de 16x2.



Figura 5.36: Visualizador LCD.

Si contamos con una pantalla LCD y la queremos utilizar con Arduino, debemos hacer las siguientes conexiones

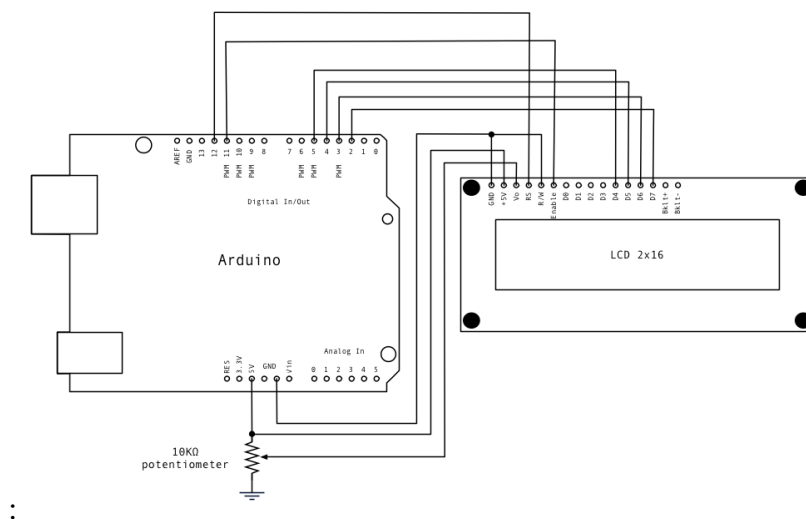


Figura 5.37: Diagrama de conexión del visualizador a Arduino.



Para facilitar la comunicación entre Arduino y la pantalla LCD se coloca un módulo de comunicación serial I2C, haciendo que disminuya la cantidad de pines de 16 a solo a 4. Este módulo seria I2C es el siguiente.

La principal característica de I2C es que utiliza dos líneas para transmitir la información: una para los datos y por otra la señal de reloj. También es necesaria dos líneas más, pero esta sólo es la referencia (masa) y Vcc. Como suelen comunicarse circuitos en una misma tarjeta que comparten una misma masa esta tercera línea no suele ser necesaria.

Las líneas se llaman:

SDA: datos

SCL: reloj

GND: tierra

VCC: 5V.

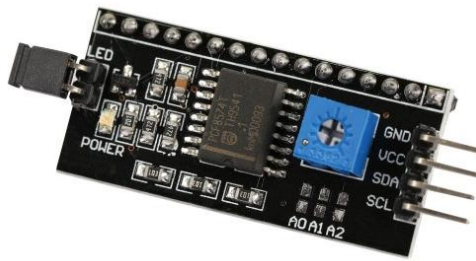


Figura 5.38: Módulos de comunicación serial I2C.

El bus I2C, un estándar que facilita la comunicación entre micro controlador, memorias y otros dispositivos con cierto nivel de "inteligencia", sólo requiere de dos líneas de señal y un común o masa. Fue diseñado a este efecto por Philips y permite el intercambio de información entre muchos dispositivos a una velocidad aceptable, de unos 100 Kbits por segundo, aunque hay casos especiales en los que el reloj llega hasta los 3,4 MHz.

La metodología de comunicación de datos del bus I2C es en serie y sincrónica. Una de las señales del bus marca el tiempo (pulsos de reloj) y la otra se utiliza para intercambiar datos.

Para hacer la conexión con el módulo I2C, la librería que viene por defecto en el IDE de Arduino no funciona por lo que necesitamos otra llamada LiquidCrystal_I2C, la cual la podemos descargar. Esta librería reemplaza la que ya viene con el IDE y según su creador dice que es mucho más rápida que la ofrecida por el IDE.

La conexión del LCD se queda de la siguiente forma:



El pin GND del display al pin GND del Arduino.

El pin VCC del display al pin 5V del Arduino.

El pin SDA del display al pin analógico 4 del Arduino.

El pin SDL del display al pin analógico 5 del Arduino.

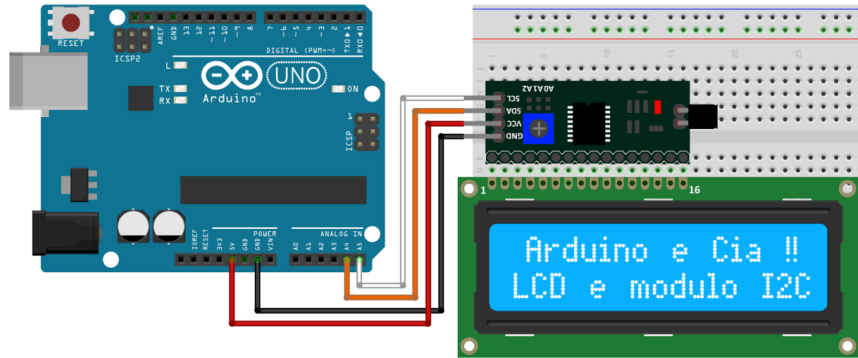


Figura 5.39: Conexión del LCD a Arduino.

La dirección del display por defecto es 0x3F. Esta dirección se configura usando los pines 1, 2 y 3 del controlador I2C PCF8574 y para comprobar se utiliza un código scanner, dando como resultado dirección 3F.

El código de programación de la unidad será solo para el factor de potencia y la corriente de la siguiente manera.

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x3F, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7, 3, POSITIVE);
void setup(){
    lcd.begin(16,2);
}
void loop(){ lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("F.P ");
    lcd.print(factorpotencia);
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Corriente ");
    lcd.print(valor);
}
```



5.6-Pruebas de la unidad correctora

Se realiza tres pruebas para comprobar el funcionamiento de la unidad correctora. Estas serán con carga resistiva, con carga inductiva con motor en vacío y con motor bajo carga a través de un freno prony (Simulador de carga).

5.6.1-Prueba con carga resistiva

Las señales de corriente y tensión que se entregan a través de un osciloscopio son.

- Tensión
- Corriente

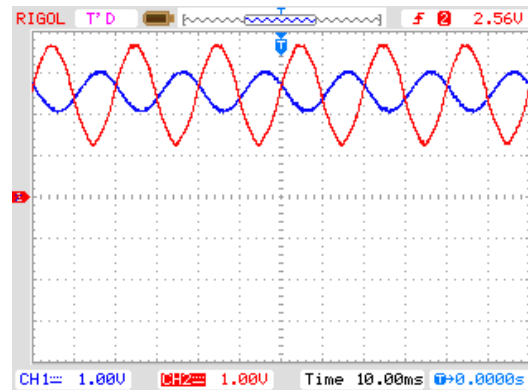


Figura 5.40: Señal de los sensores de tensión y corriente en prueba con carga resistiva.

Los valores de corriente y factor de potencia que se entregan a través de un analizador industrial Fluke 43B son los siguientes.



Figura 5.41: Visualización de valores de corriente y factor de potencia.

Los valores de corriente y factor de potencia que se entregan a través de la pantalla LCD de nuestra unidad correctora son los siguientes.



Figura 5.42: Resultados entregado por la pantalla LCD.

Con esta prueba se puede decir que la unidad correctora funciona perfectamente con carga resistiva. Ya que las mediciones son correctas y no inyecta potencia reactiva al sistema.

Se procedió a conectar dos motores 1 ϕ con fase de partida en conexión paralela para la prueba con carga inductiva.



Figura 5.43: Motores con fase de partida en conexión paralelo.

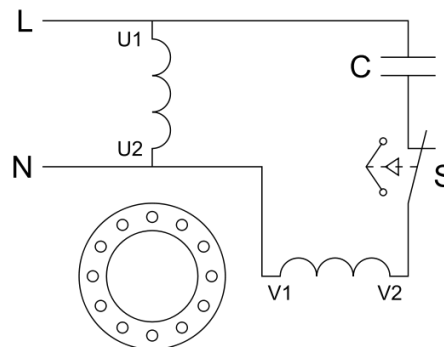


Figura 5.44: Esquema de un motor con fase de partida

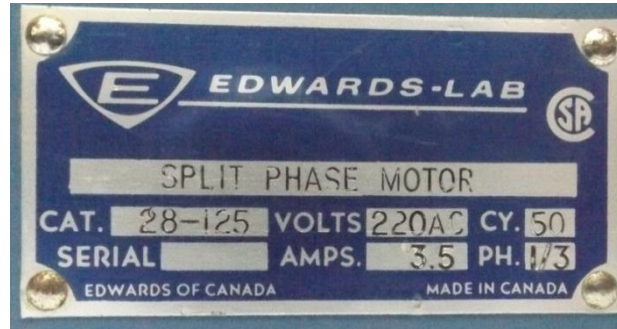


Figura 5.45: Datos de placa de un motor de fase de partida.

$$P = 746 * hp = 746 * \frac{1}{3} = 248.67 \text{ W} \quad (5.24)$$

$$F.P = \frac{P}{S} = \frac{248.67}{220 * 3.5} = 0.32 \text{ ind.} \quad (5.25)$$

5.6.2-Prueba con carga inductiva

Motor en vacío

Antes que actué la unidad correctora

Las señales de corriente y tensión que se entregan a través de un osciloscopio son.

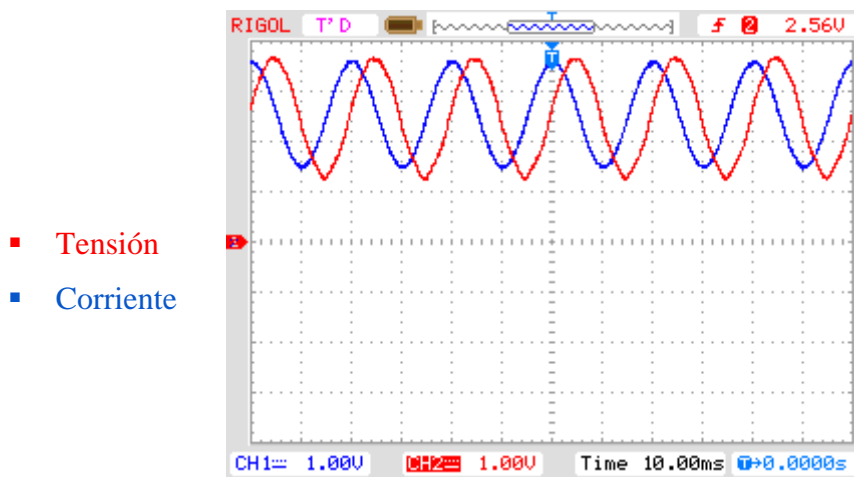


Figura 5.46: Señal de los sensores de tensión y corriente en prueba con carga inductiva.



Los valores de corriente y factor de potencia que se entregan a través de un analizador industrial Fluke 43B son los siguientes.



Figura 5.47: Visualización de valores de corriente y factor de potencia.

Los valores de corriente y factor de potencia que se entregan a través de la pantalla LCD de nuestra unidad correctora son los siguientes.



Figura 5.48: Resultados entregado por la pantalla LCD.

Con esta prueba se puede decir que la unidad correctora visualiza perfectamente los valores de las mediciones con carga inductiva. Ahora veremos cómo actúa la unidad y lo que nos visualiza.

Después de compensar la unidad correctora

Las señales de corriente y tensión que se entregan a través de un osciloscopio son.



- Tensión
- Corriente

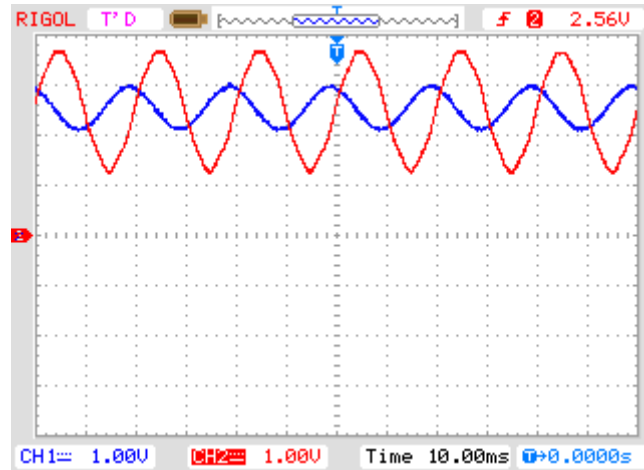


Figura 5.49: Señal de los sensores de tensión y corriente en prueba con carga inductiva después que actuara la unidad correctora.

Los valores de corriente y factor de potencia que se entregan a través de un analizador industrial Fluke 43B son los siguientes.



Figura 5.50: Visualización de valores de corriente y FP después que actuara la unidad correctora.

Los valores de corriente y factor de potencia que se entregan a través de la pantalla LCD de nuestra unidad correctora son los siguientes.



Figura 5.51: Resultados entregado por la pantalla LCD una vez actuado la unidad correctora.

Con esta prueba se puede decir que la unidad correctora funciona perfectamente con carga inductiva de un motor en vacío, con una pequeña diferencia en el valor de la corriente. La unidad inyectora correctamente potencia reactiva para mejorar el factor de potencia de 0.28 a 0.68.

Falto compensar más pero esto es debido a la capacidad de los condensadores, la unidad procesa que si inyectaba otro condensador sobrepasaría la potencia reactiva inductiva y pasaría a tener un factor de potencia capacitivo.

$$P = V * I * \cos\theta = 225 * 2.38 * 0.68 = 364.14 \text{ W} \quad (5.26)$$

$$S = \frac{P}{F.P} = \frac{364.14}{0.68} = 535.5 \text{ VA} \quad (5.27)$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{535.5^2 - 364.14^2} = 392.63 \text{ VAR} \quad (5.28)$$

Esto quiere decir que al inyectar un capacitor aunque sea uno de los más bajos, que es de 632.2 VAR sobrepasaría en 239.56 VAR la potencia reactiva requerida y nuestra unidad decidió mejor no inyectar. También podemos apreciar el efecto que tiene nuestro dispositivo en la corriente bajo de 5.6 A a 2.38 A lo cual es muy significativo y beneficioso para el sistema.



5.6.3-Prueba con carga inductiva

Motor con freno prony

Antes que actué la unidad correctora

Las señales de corriente y tensión que se entregan a través de un osciloscopio son.

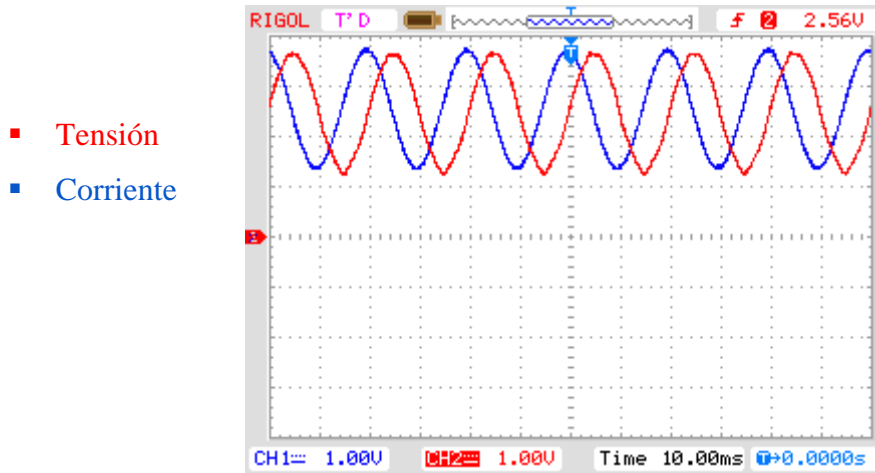


Figura 5.52: Señal de los sensores de tensión y corriente en prueba con carga inductiva.

Los valores de corriente y factor de potencia que se entregan a través de un analizador industrial Fluke 43B son los siguientes.



Figura 5.53: Visualización de valores de corriente y F.P.



Los valores de corriente y factor de potencia que se entregan a través de la pantalla LCD de nuestra unidad correctora son los siguientes.



Figura 5.54: Resultados entregado por la pantalla LCD.

Con esta prueba se puede decir que la unidad correctora visualiza perfectamente los valores con carga inductiva de un motor con freno prony, con una pequeña diferencia en el factor de potencia y en la corriente. Ahora veremos cómo actúa la unidad y lo que nos visualiza.

Después de que actuara la unidad correctora

Las señales de corriente y tensión que se entregan a través de un osciloscopio son.

- Tensión
- Corriente

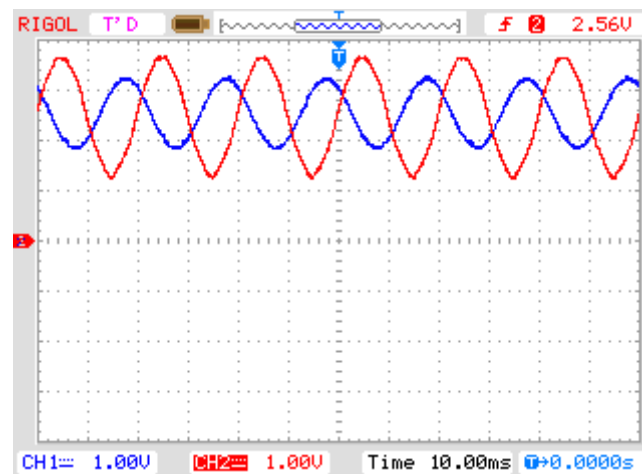


Figura 5.55: Señal de los sensores de tensión y corriente en prueba con carga inductiva después que actuara la unidad correctora.



Los valores de corriente y factor de potencia que se entregan a través de un analizador industrial Fluke 43B son los siguientes.



Figura 5.56: Visualización de valores de corriente y F.P después que actuara la unidad correctora. Los valores de corriente y factor de potencia que se entregan a través de la pantalla LCD de nuestra unidad correctora son los siguientes.



Figura 5.57: Resultados entregado por la pantalla LCD una vez actuado la unidad correctora.

Con esta prueba se puede decir que la unidad correctora funciona perfectamente con carga inductiva sometido a carga con freno prony. La unidad inyectora correctamente potencia reactiva para mejorar el factor de potencia de 0.58 a 0.9. También podemos apreciar el efecto que tiene nuestro dispositivo en la corriente, bajo de 6.36A a 3.8A lo cual es muy significativo y beneficioso para el sistema.



Comentarios y conclusiones



Conclusiones

Durante el desarrollo de este trabajo se logró comprobar la teoría que hay en el análisis de la potencia en corriente alterna, para diseñar cada una de las fórmulas que están presentes en el diseño de la programación de la tarjeta Arduino, con esto calcular los valores necesarios que debe tener nuestra unidad para actuar correctamente y con un alto grado de precisión.

Con el estudio y análisis del factor de potencia se tomó en cuenta las causas y consecuencias que puede producir una instalación con un bajo factor de potencia y por qué se debe corregir de la mejor manera. Gracias a esto se aplicó al diseño un óptimo desempeño aprovechando al máximo cada una de las características presentes en la medición que se obtiene del sistema.

La compensación de la potencia reactiva ayudó a determinar las características generales que tendrá el diseño del dispositivo, poder así determinar el método de compensación, el tipo de compensación y los parámetros necesarios y principales que debe tener la unidad. Toda esta teoría se aplica en forma práctica para cada elemento que interviene en el sistema.

Se aprendió a utilizar tanto el hardware como el software de la plataforma Arduino para poder desarrollar cada una de las partes del funcionamiento de la unidad, gracias al conocimiento del hardware se pudo generar un código de adaptación correcto de todos los periféricos conectados a Arduino obteniendo el valor de las señales de corriente y tensión correctamente, analizando las formas de onda para ejecutar los parámetros necesarios y ser aplicados a las fórmulas teóricas para determinar el factor de potencia.

A partir de esta adaptación y cálculos se logró desarrollar otro programa que permitiera saber el valor del factor de potencia de la instalación y procesar esta información para determinar la potencia necesaria que debe inyectar al sistema y corregir de la mejor manera el factor de potencia, lo que se consiguió con éxito.

Finalmente se comprobó perfectamente el funcionamiento de nuestro dispositivo corrector automático del factor de potencia con tres pruebas diferentes y se pudo verificar que este diseño lograra cada uno de los objetivos dispuestos con la inserción de una pantalla que visualizó las mediciones.



Comentarios

Como resultado de este seminario, es posible concluir que se logró con éxito el diseño y construcción de un dispositivo corrector automático del factor de potencia cumpliendo cada uno de sus objetivos dispuestos pero con algunos detalles y problemas que se fueron dando dentro del transcurso del diseño de la unidad.

Unos de los primeros detalles que se tuvo que solucionar fue la adaptación de los sensores a la tarjeta Arduino, puesto que esta plataforma es básica y no está diseñada para analizar elementos eléctricos dentro de todo su espectro, se tuvo que diseñar circuitos que permitieran al sensor de corriente aprovechar todo el rango de medición que puede capturar Arduino para un mejor análisis de este.

Una vez que esto fuera mejorado nos dimos cuenta que al accionar capacitores para que inyecten potencia reactiva el sistema estos producían armónicos que afectaban al sensor de corriente y por ello a la medición. Es debido a esto que se tuvo que diseñar un filtro pasa banda con una frecuencia central de 50 Hz, así poder eliminar cualquier armónica que se introduzca al sensor y no afectar en la medición.

Ya con esto obteníamos buenas mediciones pero faltaba la etapa de corrección, aquí uno de los problemas que se tuvo fue el dimensionamiento de los capacitores para compensar la potencia reactiva a inyectar, de tal manera que no faltara ni sobrepasara compensación. Es por esto que se realizó dos configuraciones en los condensadores para obtener la potencia reactiva, una donde se pueda obtener una compensación menor y otra mayor.

Con esta solución podía ser más selectiva la unidad a la hora de compensar, pero que pasaba si la carga se desconectaba, quedaban conectados los condensadores inyectando potencia reactiva. Por esto se añadieron filtros de valores en la programación para poder así diferenciar cuando los condensadores estaban inyectando potencia reactiva sin ser requerida.

Finalmente solucionados todos estos problemas la unidad funciono correctamente pero con algunas variaciones y retardo en las mediciones.



Bibliografía

- [1] Software Arduino 1.6.4
- [2] Milton Gussow, “Fundamentos de Electricidad Schaum”, Primera edición, Año 1988.
- [3] Matthew N. Sadiku, “Fundamentos de Circuitos Eléctricos”, Tercera Edición, Año 2006.
- [4] Joseph A. Edminister, “Circuitos Eléctricos Schaum”, Primera Edición, Año 1965.
- [5] William H. Steven M, “Análisis de Circuitos en Ingeniería”, Séptima Edición, Año 2007.
- [6] Stephen J. Chapman, “Maquinas Eléctricas”, Tercera Edición, Año 2000.
- [7] Oscar T. Artero, “Arduino, Curso práctico de formación”, Primera Edición, Año 2013.
- [8] Brian W. Evans, “Arduino, Manual de programación”, Quinta Edición, Año 2007.



Anexos

```

#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x3F, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7, 3, POSITIVE);
int analogPina = 0;
int analogPinb = 1;
int Sensorvoltaje ;
int Sensorcorriente ;
int conv,conv1;
float valor,tiempo;
float factorpotencia;
int S,P,Q=0;
int valor1=225;
int Q1;
int i,e;
int outPin5 = 5;
int outPin4 = 4;
int outPin3 = 3;
int outPin2 = 2;

void setup(){
  lcd.begin(16,2);
  pinMode(outPin5, OUTPUT);
  pinMode(outPin4, OUTPUT);
  pinMode(outPin3, OUTPUT);
  pinMode(outPin2, OUTPUT);
  digitalWrite(outPin5, HIGH);
  digitalWrite(outPin4, HIGH);
  digitalWrite(outPin3, HIGH);
  digitalWrite(outPin2, HIGH);
}

void loop(){

  Sensorcorriente = analogRead(analogPina);

  if (Sensorcorriente == 525)
  {
    delayMicroseconds (5000);
    Sensorcorriente = analogRead(analogPina);
    if (Sensorcorriente > 500)
    {
      if (Sensorcorriente == 525)
      {
        valor = 0;
      }
      else (Sensorcorriente > 510);
      {
        valor = fmap(Sensorcorriente, 525, 920, 0.0, 10.0);
      }
      valor= sqrt(pow (valor,2));
      lcd.setCursor(0,1);
      lcd.print("Corriente ");
      lcd.print(valor);
    }
  }
}

```



```

lcd.print(" A");
S= valor*valor1;

delay (2000);
if (valor <1)
{
digitalWrite(outPin5, HIGH);
digitalWrite(outPin4, HIGH);
digitalWrite(outPin3, HIGH);
digitalWrite(outPin2, HIGH);
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Esperando Carga");
}
}
}

Sensorcorriente = analogRead(analogPina);
Sensorvoltaje = analogRead(analogPinb);
if (valor >1)
{
if (Sensorcorriente > 500 && Sensorcorriente == 525)
{
for (int i=0; i<100; i++)
{
Sensorvoltaje = analogRead(analogPinb);
if ( Sensorvoltaje > 500 && Sensorvoltaje == 510)
tiempo = conv*((PI/2)/100);
factorpotencia = cos (tiempo) ;
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("F.P ");
lcd.print(factorpotencia);
lcd.print("      ");
P= S*factorpotencia;

Q= valor*valor1*sin(tiempo);
Q1=Q;

if (valor>1)
{
if(Q>1264)
{
if (Q>632 && Q<1264)
{
digitalWrite(outPin2, LOW);
} if (Q>1264 && Q<2156)
{
digitalWrite(outPin3, LOW);
} if (Q>2156 && Q<3048)
{
digitalWrite(outPin4, LOW);
}
} if (Q>3048)
{
digitalWrite(outPin5, LOW);
}
}
}
}
}

```




```

}
}
if (Q<1264)
{
if (Q>891 && Q<1782)
{
digitalWrite(outPin5, LOW);
} if (Q>1782 && Q<2414)
{
digitalWrite(outPin4, LOW);
} if (Q>2414 && Q<3048)
{
digitalWrite(outPin3, LOW);
}
} if (Q>3048)
{
digitalWrite(outPin2, LOW);
}
}
}
if (factorpotencia <0.2)
{
digitalWrite(outPin5, HIGH);
digitalWrite(outPin4, HIGH);
digitalWrite(outPin3, HIGH);
digitalWrite(outPin2, HIGH);
}
delay (2000);
    break;
    }

    }
    }
    }

}

float fmap(float x, float in_min, float in_max, float out_min, float out_max)
{
    return (x - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) + out_min;
}

```

