



universidad
de león



Escuela de Ingenierías
Industrial, Informática y Aeroespacial

MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

Trabajo de Fin de Máster

**DISEÑO DE UN COMPENSADOR AUTOMÁTICO DE
POTENCIA REACTIVA MEDIANTE ARDUINO**

**DESIGN OF A REACTIVE POWER AUTOMATIC
COMPENSATOR USING ARDUINO**

Autor: Alberto Martínez Fernández
Tutor: Carlos López Díaz

(JULIO, 2022)

UNIVERSIDAD DE LEÓN
Escuela de Ingenierías Industrial, Informática y
Aeroespacial

MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL
Trabajo de Fin de Máster

ALUMNO: Alberto Martínez Fernández

TUTOR: Carlos López Díaz

TÍTULO: Diseño de un compensador automático de potencia reactiva mediante Arduino

TITLE: Design of a reactive power automatic compensator using Arduino

CONVOCATORIA: Julio, 2022

RESUMEN:

En el presente trabajo, primeramente, se realiza un estudio teórico del factor de potencia. La importancia que este tiene para las empresas industriales y para las suministradoras de energía. Asumiendo el factor de potencia un gran incremento de los costes, siempre que no opera en el rango adecuado. La metodología para corregir el factor de potencia más común, es la utilización de condensadores mediante corrección global o parcial de las cargas instaladas.

El principal fundamento por el que se ha realizado este estudio es conseguir emular un controlador automático de potencia reactiva. mediante la programación de un Arduino MEGA 2560.

Una vez explicado el marco teórico de lo que se quiere realizar nos sumergimos en la aventura de simular una maqueta en Arduino de todo lo explicado teóricamente. En el cual, a través de las ondas generadas se consigue diversas mediciones, del tiempo de desfase entre ondas, la amplitud de la intensidad, la tensión y las potencias. Con todos estos parámetros obtenidos se logra mostrar el factor de potencia con su posteriormente la corrección mediante la activación de los condensadores adecuados.

Para finalizar el estudio, se muestra una prueba del diseño del controlador automático de potencia reactiva comparando los valores adquiridos por el Arduino con los de un programa matemático donde las ondas generadas son exactas.

ABSTRACT:

In this paper, first of all, a theoretical study of the power factor is carried out. The importance of power factor for industrial companies and energy suppliers. The power factor is assumed to be a great increase in costs, whenever it does not operate in the appropriate range. The most common methodology for correcting the power factor is the use of capacitors by means of global or partial correction of the installed loads.

The main reason for this study is to emulate an automatic reactive power controller by programming an Arduino MEGA 2560.

Once the theoretical framework of what we want to do has been explained, we will dive into the adventure of simulating a model in Arduino of everything explained theoretically. In which, through the waves generated, various measurements are obtained of the time lag between waves, the amplitude of the intensity, the voltage and the powers. With all these parameters obtained, the power factor is shown and then corrected by activating the appropriate capacitors.

To conclude the study, a test of the design of the automatic reactive power controller is shown, comparing the values acquired by the Arduino with those of a mathematical programme where the waves generated are exact.

Palabras clave: Factor de potencia, Potencia reactiva Arduino.

Firma del alumno:

VºBº Tutor/es:

INDICE DE CONTEINDO

INDICE DE FIGURAS.....	IV
INDICE DE TABLAS.....	VI
1 INTRODUCCIÓN.....	1
2 ESTADO DEL ARTE.....	2
3 ESTUDIO DE LA CORRIENTE ALTERNA.....	1
3.1 TIPOS DE CARGAS.....	1
3.1.1 CARGA RESISTIVA.....	1
3.1.2 CARGA CAPACITIVA.....	2
3.1.3 CARGA INDUCTIVA.....	3
3.1.4 CARGAS COMBINADAS.....	4
3.2 POTENCIA.....	5
3.2.1 POTENCIA INSTANTÁNEA.....	6
3.2.2 POTENCIA ACTIVA.....	7
3.2.3 POTENCIA REACTIVA.....	9
3.2.4 POTENCIA APARENTE.....	12
4 FACTOR DE POTENCIA.....	14
4.1 CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA TEÓRICAMENTE.....	15
4.2 CAUSAS DEL BAJO FACTOR DE POTENCIA.....	17
4.3 CONSECUENCIAS DE UN BAJO FACTOR DE POTENCIA.....	18
4.3.1 INCREMENTO DE LAS PERDIDAS POR EFECTO JOULE.....	19
4.3.2 AUMENTO DE CAÍDAS DE TENSIÓN.....	20
4.3.3 SOBRECARGA DE LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS.....	21
4.3.4 AUMENTO DE LA FACTURA ELÉCTRICA.....	22
5 COMPENSAR POTENCIA REACTIVA.....	25

5.1	MÉTODOS DE COMPENSACIÓN.....	25
5.1.1	MOTORES SÍNCRONOS.....	25
5.1.2	CONDENSADORES.....	26
5.2	COMPENSACIÓN MEDIANTE EL USO DE CONDENSADORES.....	27
5.2.1	DEFINICIÓN DE CAPACITOR	27
5.2.2	TIPOS DE INSTALACIÓN DE LOS CONDENSADORES.	29
5.2.2.1	Compensación individual	29
5.2.2.2	Compensación parcial	31
5.2.2.3	Compensación global	33
5.2.3	SISTEMAS DE BANCO DE CONDENSADORES.	34
5.2.3.1	Condensadores Fijos	34
5.2.3.2	Condensadores automáticos.....	35
6	<i>DISTORSIÓN ARMÓNICA.....</i>	37
6.1	DEFINICIÓN ARMÓNICOS	37
6.2	EFFECTOS DE LOS ARMÓNICOS.....	39
6.3	SOLUCIONES	42
7	<i>ARDUINO.....</i>	44
7.1	ARDUINO MEGA 2560	45
7.1.1	COMPONENTES PRINCIPALES.....	46
7.1.2	PINES DEL ARDUINO.....	50
7.2	FUNCIONES BÁSICAS DE PROGRAMACIÓN	53
8	<i>DISEÑO DEL COMPENSADOR AUTOMÁTICO.....</i>	54
8.1	MATLAB	54
8.1.1	SOFTWARE.....	54
8.2	ARDUINO	57

8.2.1	SOFTWARE.....	57
8.2.2	METODOLOGÍA DE MEDICIÓN.....	59
8.2.2.1	Generación y transmisor de ondas.....	60
8.2.2.2	Lectura de los valores.....	61
8.2.2.3	Cálculo del factor de potencia.....	64
8.3	PANTALLA DE MEDIDAS.....	65
8.4	TECLADO.....	66
8.5	CONDENSADORES.....	67
8.6	PRUEBA DEL COMPENSADOR AUTOMÁTICO.....	68
9	CONCLUSIONES.....	74

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ANEXO I- ESQUEMA UNIFILAR DE ARDUINO MEGA 2560

ANEXO II - CÓDIGO PROGRAMADO EN MATLAB

ANEXO III - DATOS CAPTADOS EN LA PRUEBA POR EL MONITOR SERIE DE ARDUINO

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Controlador auto.mático de potencia reactiva	2
Figura 3.1. Desfase en carga resistiva.	2
Figura 3.2. Desfase en carga capacitiva.	3
Figura 3.3. Desfase en carga inductiva.....	4
Figura 3.4. Carga compuesta por cargas resistiva y reactiva.....	5
Figura 3.5 Potencia en un dipolo receptor.....	5
Figura 3.6 Señales instantáneas de corriente, tensión y potencia.	6
Figura 3.7 Potencia instantánea en una resistencia.....	9
Figura 3.8. Potencia instantánea de un capacitivo.....	10
Figura 3.9 Potencia instantánea en una inductancia	11
Figura 4.1 Corrección del factor de potencia de una instalación.	15
Figura 4.2 Instalación con factor de potencia corregido mediante condensadores.....	16
Figura 4.3 Diagrama fasorial de corrientes.	17
Figura 4.4 Esquema de las penalizaciones del Factor de Potencia.....	23
Figura 5.1. Compensación individual.	29
Figura 5.2. Compensación parcial.	32
Figura 5.3. Compensación global.	33
Figura 5.4. Condensadores Fijo.....	35
Figura 5.5. Condensadores Automáticos.	36
Figura 6.1. Gráfico de la onda fundamental y armónicos.	38
Figura 6.2. Gráfica de la distorsión de onda.....	39
Figura 6.3. Comportamiento reactancia capacitiva.....	41
Figura 7.1 Ilustración del logotipo de Arduino.....	44
Figura 7.2 Arduino MEGA2560.	45
Figura 7.3 Componentes principales del Arduino MEGA2560.	46
Figura 7.4 Mapeado de pines del microcontrolador ATmega2560.....	47
Figura 7.5. Pines de alimentación.	51
Figura 7.6. Pines analógicos.....	52

Figura 7.7. Pines digitales.	53
Figura 8.1. Ondas de tensión e intensidad.	55
Figura 8.2. Estructura del IDE de Arduino.	58
Figura 8.3. Interfaz del Audacity 60	60
Figura 8.4. Transmisor de señal del ordenador al Arduino.	61
Figura 8.5. Ondas con desfase 0º.	63
Figura 8.6. Ondas con desfase 20º.	63
Figura 8.7. Ondas en osciloscopio.	64
Figura 8.8. Cálculo del factor de potencia.	64
Figura 8.9. Esquema de conexión y pantalla.	66
Figura 8.10. Teclado para Arduino.	67
Figura 8.11. Simulación de condensadores.	68
Figura 8.12. Controlador automático.	69
Figura 8.13 Estado inicial.	70
Figura 8.14. Ondas lectura de datos.	70
Figura 8.15. Potencias por pantalla. Ángulo de desfase y factor de potencia 71	71
Figura 8.16. Condensadores activados. Factor de potencia corregido.	71
Figura 8.17. Resultado final 73	73

INDICE DE TABLAS

Tabla 4.1: Disminución de pérdidas por efecto Joule.....	20
Tabla 4.2: Relación factor de potencia - caída de tensión en las líneas	21
Tabla 4.3: Relación potencia del transformador – potencia activa transmitida.....	22
Tabla 8.1 Tabla de capacitores.....	68

1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad los costes de operación de las industrias se incrementan continuamente. La energía, un recurso fundamental para el progreso y la expansión industrial, no se escapa de ver un incremento constante en su coste.

Una de las medidas al alcance de las empresas industriales es conocer el grado de eficiencia con el cual se está utilizando dicha energía es el llamado factor de potencia, el cual ha sido tomado en cuenta para incrementar la mejor utilización de la electricidad y del cual se hablará en el presente proyecto.

Cuando se habla de la “energía” que suministra la compañía eléctrica, en realidad nos estamos refiriendo a dos componentes, potencia activa y reactiva.

La potencia activa, es la potencia que consumen los equipos eléctricos es decir la realmente utilizada para producir trabajo. La potencia reactiva por el contrario no produce un trabajo físico directo en los equipos, pero sí que es necesaria para producir el flujo electromagnético que es necesario en motores, transformadores. Cuando estos equipos son abundantes en una empresa la cantidad de potencia reactiva se hace significativa produciendo una disminución del factor de potencia. Por lo tanto, el factor de potencia es un indicador sobre el correcto aprovechamiento de la energía eléctrica.

Una vez explicado el marco teórico del factor de potencia, nos sumergimos en la aventura de emular una maqueta de todo lo explicado, en Arduino MEGA 2560. En el cual, a través de ondas generadas por el sonido y con una frecuencia real de 50 Hz se consiguen hacer mediciones del $\cos\varphi$ que tiene el archivo de sonido.

Cuando se ha conseguido realizar todas las mediciones de las ondas desfasadas, el programa de Arduino será capaz de activar los condensadores necesarios para llevar el factor de potencia lo más próximo posible a la unidad.

Para finalizar el proyecto, se muestra una prueba del controlador automático diseñado comparando los valores obtenidos con un programa matemático exacto, donde se observa que el cálculo es bastante preciso.

2 ESTADO DEL ARTE

Este estudio nace con el principal fundamento de realizar unas funciones similares a las que se encuentran en los controladores automáticos de potencia reactiva, pero a través del software de Arduino.

Desde el propio surgimiento de los sistemas eléctricos de corriente alterna durante la segunda mitad del siglo XIX, numerosos científicos advirtieron de los efectos nocivos del desfase de corriente y tensión producidos por la presencia de bobinas y capacitores en el sistema y caracterizados por la potencia reactiva. Esto motivó la introducción de dispositivos compensadores al efecto, con el sentido de poder mejorar las condiciones de explotación de las instalaciones, esencialmente vinculado a la optimización de pérdidas. Los avances tecnológicos de las diferentes épocas han marcado diferencias constructivas, destacando tres etapas de desarrollo principales en la compensación: el empleo de máquinas eléctricas, el empleo de elementos reactivos (capacitores o bobinas) y recientemente el empleo de la electrónica de potencia.

El controlador que se intenta simular emprende sus inicios en los años 90 siendo en aquella época muy básicos, ajustando los valores por potenciómetro, hasta llegar a lo que nos encontramos en la actualidad. Estos sistemas son fundamentales tanto para el correcto funcionamiento de las líneas eléctricas como para los gastos que pueden ser aplicados en las empresas si cuentan con un desfase entre las potencias activa y reactiva elevado.[1]

Se puede visualizar uno de los elementos de compensación de energía reactiva de la actualidad, donde como se aprecia en la imagen en la pantalla led muestra los valores que está midiendo el sistema.



Figura 2.1. Controlador auto.mático de potencia reactiva

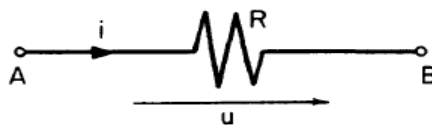
3 ESTUDIO DE LA CORRIENTE ALTERNA

3.1 TIPOS DE CARGAS

En una red eléctrica los elementos pasivos, son aquellos componentes de los circuitos que disipan o almacenan energía eléctrica y así constituyen las cargas de una red. Estas cargas pueden ser de tres tipos diferentes: resistivas, inductivas y capacitivas, originando cada una de ellas diferente desfase entre la tensión e intensidad. Seguidamente se explicará en detalle de cada una de las cargas:

3.1.1 CARGA RESISTIVA

Las resistencias son elementos físicos que disipan energía en forma de calor, estas pueden encontrarse en dispositivos como las lámparas. Este elemento modeliza también la transformación de energía eléctrica en trabajo, como ocurre en un circuito del motor asíncrono.



La figura muestra la representación esquemática de una resistencia y las referencias adoptadas para las variables tensión y corriente en la misma (estas referencias son las habituales en un receptor). Para estas referencias, la ecuación de definición es:

$$u(t) = R * i(t) \quad (3.1)$$

En esta ecuación, conocida como la ley de Ohm, R es expresada en ohmios (Ω), u en voltios (V) e i en amperios (A).

En un circuito puramente resistivo, la corriente está en fase con la tensión y es función inmediata de ella, como podemos ver a continuación, en la figura 2.1. Debido a esto el factor de potencia que producen tiene un valor igual a la unidad.[2]

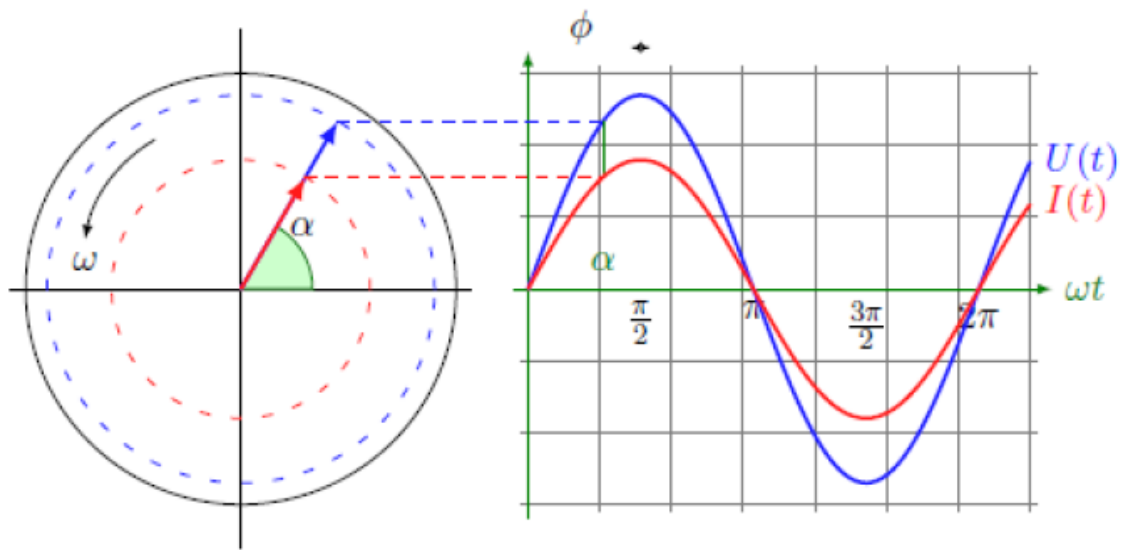
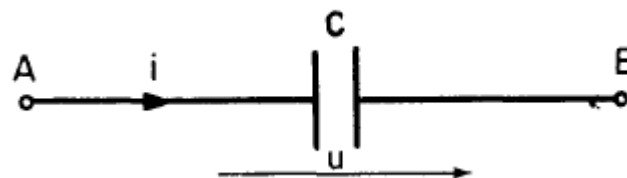


Figura 3.1. Desfase en carga resistiva.

3.1.2 CARGA CAPACITIVA

En las cargas capacitiva se almacena energía en forma de campo eléctrico. En estos elementos la corriente se encuentra adelantada respecto de la tensión.



En la figura anterior (deberías numerarla) se encuentra representado esquemáticamente un condensador, cuya ecuación de definición es:

$$u(t) = u(t_0) + \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i(t) dt \quad (3.2)$$

Las cargas capacitivas son los condensadores que se incluyen como tales en las instalaciones, aunque también, y en ocasiones con más importancia, las capacidades parásitas que aparecen, por ejemplo, en las líneas subterráneas. De acuerdo con la ecuación que los define, en ellos, en el caso de una red de corriente alterna, la intensidad se encuentra adelantada $\frac{\pi}{2}$ respecto a la tensión.

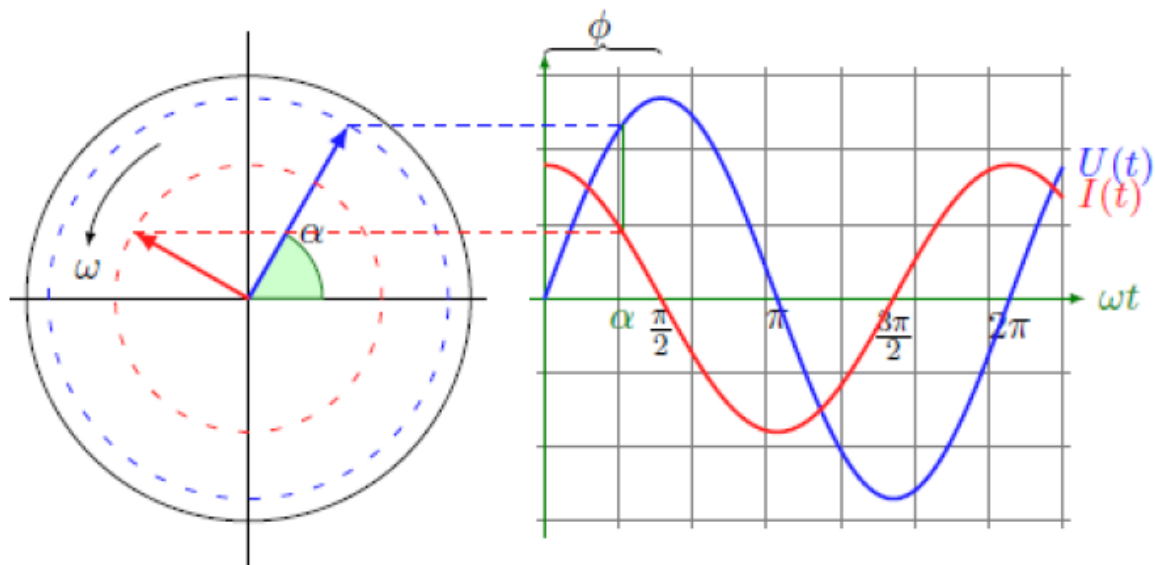
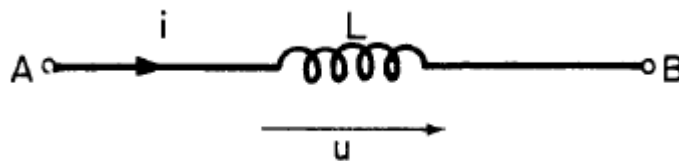


Figura 3.2. Desfase en carga capacitiva.

3.1.3 CARGA INDUCTIVA

Las cargas inductivas son aquellas que almacenan energía en campos magnéticos. Pueden ser encontradas en cualquier lugar donde haya bobinados involucrados, como pueden los motores y transformadores. La siguiente figura muestra la representación esquemática de una bobina ideal, las referencias de las variables y su ecuación de definición para dichas referencias.



$$i(t) = i(t_0) + \frac{1}{L} \int_{t_0}^t u(t) dt \quad (3.3)$$

- L = coeficiente de autoinducción en henrios (H)
- u = tensión (V)
- $i(t_0)$ = valor de la intensidad en el instante inicial (A)
- i = intensidad (A)

Se considerará por lo tanto que las cargas inductivas son el origen de que el factor de potencia se encuentre por debajo de 1. En un circuito puramente inductivo la intensidad se encuentra retrasada $\frac{\pi}{2}$ respecto a la tensión. Como se muestra en la siguiente figura:

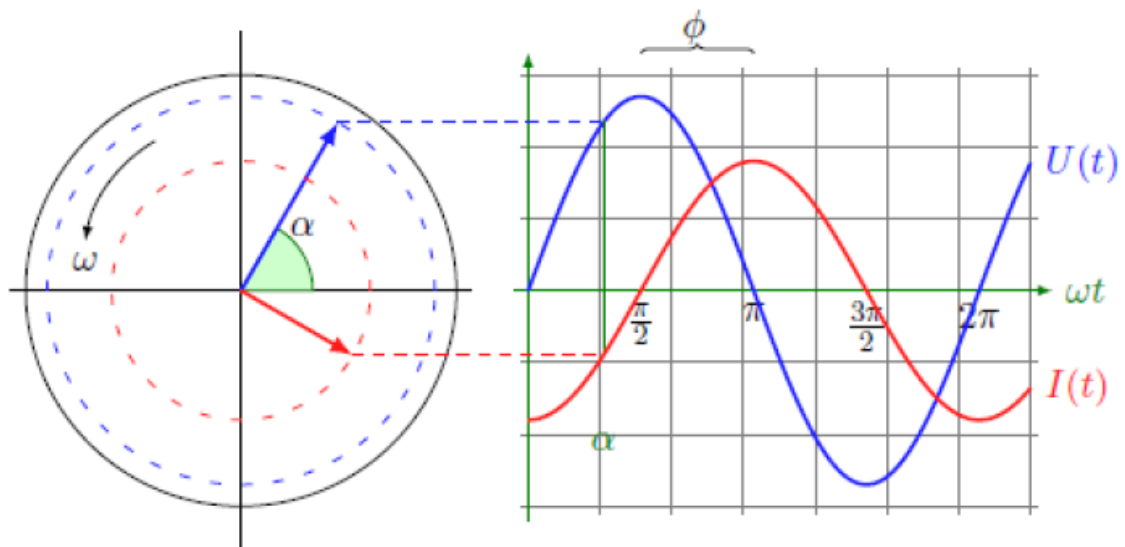


Figura 3.3. Desfase en carga inductiva.

3.1.4 CARGAS COMBINADAS

En la práctica los circuitos eléctricos no están constituidos por cargas únicamente resistivas, inductivas o capacitivas, ya que estas tres cargas con frecuencia coexisten en las instalaciones industriales. Sin embargo, en la industria está comprobado que la carga más predominante es la carga resistiva, a continuación la carga inductiva, a la gran cantidad de consumo que se generan a través de los motores eléctricos. Por eso el factor de potencia es uno de los puntos más característicos para tener en cuenta, que es lo que se va a definir en este estudio y como mejorarlo.

Se representará de forma esquemática la alimentación de energía eléctrica que puede tener lugar en la industria, la carga total de la planta se ha descompuesto en parte resistiva y parte reactiva de tipo inductivo, representando la carga real de un sistema.

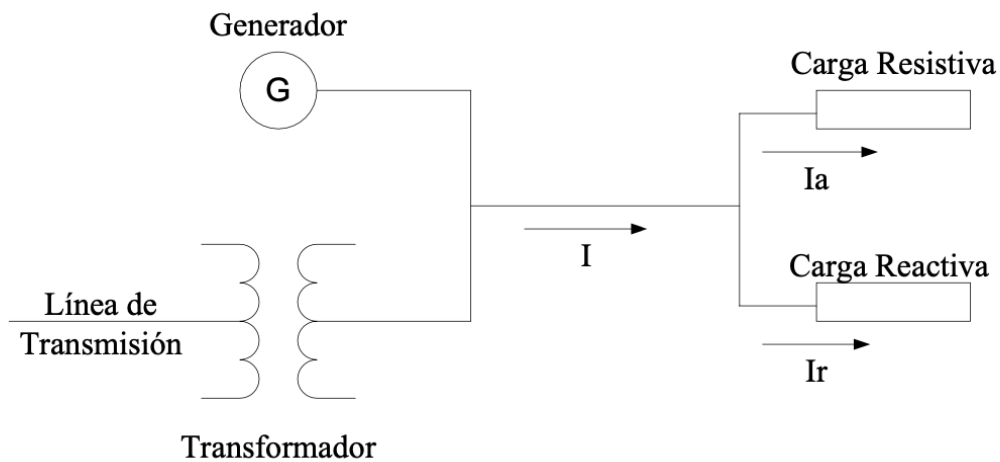


Figura 3.4. Carga compuesta por cargas resistiva y reactiva.

3.2 POTENCIA

La potencia eléctrica es la proporción por unidad de tiempo, con la cual la energía eléctrica es transferida por un circuito eléctrico, o lo que es lo mismo, la cantidad de energía eléctrica entregada o absorbida por un elemento en un momento determinado.

Considerando el dipolo que se muestra en la figura 3.5, en el cual se señalan los sentidos de referencia la tensión aplicada y la corriente eléctrica absorbida. Se supondrá que dichos valores instantáneos de ambas magnitudes sean de la forma:

$$u(t) = \sqrt{2}U\cos\omega t \ ; \ i(t) = \sqrt{2}I\cos(\omega t - \varphi) \quad (3.4)$$

Tomando la tensión como origen de fases, de tal forma que la corriente está retrasada respecto la tensión en un ángulo de φ grados. Por definición, el desfase se considera con valor positivo cuando la corriente se retrasa respecto de la tensión (es decir para cargas inductivas) y se considera con un valor negativo cuando la corriente se adelanta respecto a la tensión (es decir para cargas capacitivas).[3]

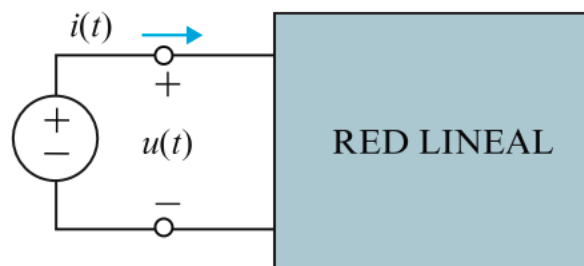


Figura 3.5 Potencia en un dipolo receptor.

3.2.1 POTENCIA INSTANTÁNEA

La potencia eléctrica instantánea absorbida por el dipolo (para hacerlo de un modo más sencillo, se considera que tiene solo elementos pasivos) es igual a:

$$p(t) = u(t) * i(t) = 2UI \cos(\omega t) \cos(\omega t - \varphi) \quad (3.5)$$

sabiendo que la multiplicación de cosenos es:

$$\cos(a) \cos(b) = \frac{1}{2} [\cos(a + b) + \cos(a - b)] \quad (3.6)$$

se llega a:

$$p(t) = UI \cos \varphi + UI \cos(2\omega t - \varphi) \quad (3.7)$$

En la siguiente figura se pueden encontrar representadas las señales $u(t)$ e $i(t)$ y su producto, la potencia $p(t)$. Se observa que la potencia tiene una frecuencia doble que la de la tensión o de la corriente.

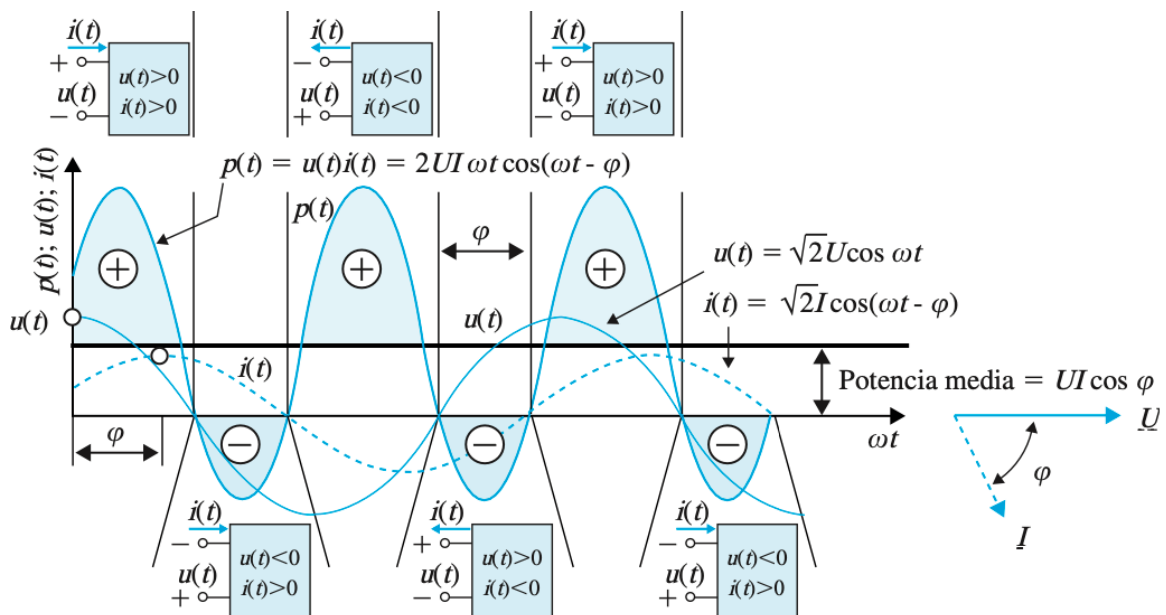


Figura 3.6 Señales instantáneas de corriente, tensión y potencia.

La potencia instantánea $p(t)$ tiene valores negativos, correspondiendo a los intervalos de tiempo en los que la tensión $u(t)$ y la corriente $i(t)$ tienen signos opuestos. Durante estos intervalos se devuelve la energía a la fuente, que impone el potencial $u(t)$, procedente de los elementos pasivos no resistivos (bobinas y condensadores) contenidos en el dipolo

receptor. Este efecto se produce si el desfase entre $u(t)$ e $i(t)$, es decir, el ángulo φ , es distinto de cero. Para que esto sea así, el circuito equivalente del dipolo deberá contener, junto con un elemento resistivo (en el que se disipe potencia), algún otro elemento almacenador de energía (inductivo y/o capacitivo).

La energía devuelta por los campos magnéticos y eléctricos, almacenada en los condensadores y las bobinas respectivamente, junto con la energía que proviene del generador se transforma en calor mediante la resistencia del dipolo receptor. Cuando la energía devuelta por estos campos supera la energía disipada en la resistencia, el exceso de energía vuelve al generador, acelerando su marcha durante un breve intervalo de tiempo; justamente en estos momentos la potencia absorbida por el dipolo es negativa, lo que indica que el generador que alimenta este circuito está recibiendo potencia del dipolo receptor. [3]

Indudablemente si el dipolo de la figura 3.5 es receptor, la potencia absorbida por el mismo expresada $p(t)$ tendrá un valor medio mayor que cero (siempre que en el dipolo exista un elemento pasivo que disipe energía, como es la resistencia). El valor medio es igual a:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T [UI \cos(\varphi) + UI \cos(2\omega t - \varphi)] dt \quad (3.8)$$

Representa una potencia media:

$$P = UI \cos \varphi \quad (3.9)$$

3.2.2 POTENCIA ACTIVA

La potencia activa o también llamada potencia útil es realmente la pagada a las empresas eléctricas, la cual es llevada a sus clientes, a través de la red eléctrica de distribución. La potencia activa es consumida por todos los dispositivos eléctricos utilizados, su registro se lleva a cabo mediante contadores electrónicos que instala la empresa suministradora para así poder medir el total de la energía consumida por el cliente en un periodo de tiempo estipulado.

Se define como potencia activa es la que se aprovecha cuando se pone en funcionamiento un dispositivo eléctrico, el cual realiza un trabajo (o produce calor). La unidad en el Sistema Internacional de Unidades es el vatio o watt (W).

Esta potencia, en el caso de las señales sinusoidales, es el promedio de potencia instantánea a lo largo de un periodo y se obtendrá a partir de las ecuaciones mostradas a continuación.

Todo ello vendrá dado de la potencia instantánea que se vio anteriormente.

$$p(t) = u(t) * i(t) = 2UI \cos(\omega t) \cos(\omega t - \varphi) \quad (3.10)$$

El ángulo de desfase entre la tensión y la intensidad se denominará φ , puesto que en la potencia activa las ondas no tienen ángulo de desfase en este caso $\varphi = 0$.

Corresponde al sumando independiente del tiempo ecuación 3.10. De tal modo se puede considerar la potencia instantánea $p(t)$ dibujada en la figura 3.6, que es la suma de la potencia media $UI \cos \varphi$ más un término *fluctuante* $UI \cos(2\omega t - \varphi)$:

$$UI \cos(2\omega t - \varphi) = (UI \cos \varphi) \cos 2\omega t + (UI \sin \varphi) \sin 2\omega t \quad (3.11)$$

$$P = UI \cos \varphi = U * I = R^2 * I \quad [W] \quad 3.12$$

es como ya se ha indicado la potencia media, denominada **potencia activa**.

Utilizando un circuito resistivo puro como el que se puede visualizar en la figura donde se ha representado conjuntamente las señales $p(t)$, $u(t)$ y $i(t)$, se puede observar cuando la potencia instantánea permanece siempre en estado mayor o igual que cero. El signo es constantemente positivo debido al hecho físico de que la resistencia siempre absorbe energía eléctrica, la cual es transformada en calor por el efecto Joule.

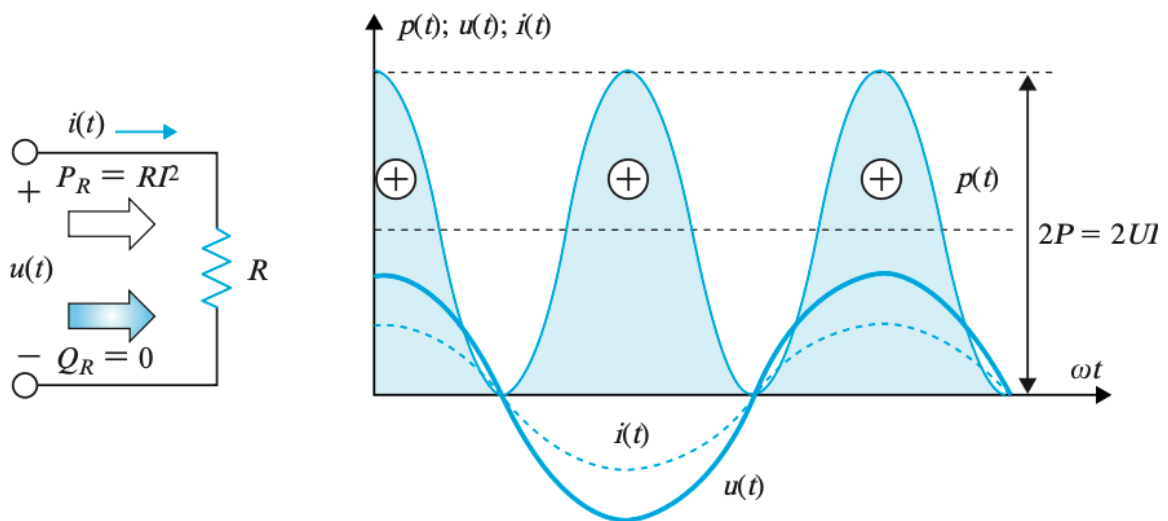


Figura 3.7 Potencia instantánea en una resistencia.

3.2.3 POTENCIA REACTIVA

La potencia reactiva es aquella consumida por los motores, transformadores y todo tipo de dispositivos eléctricos que poseen algún tipo de bobinado para crear un campo electromagnético. Dicha potencia no produce ningún tipo de trabajo útil, además perjudica la transmisión de la energía a través de las líneas eléctricas. La unidad de medida de la potencia reactiva es el VAR y es designada con la letra Q como se verá a continuación; esta puede ser de carácter capacitivo o inductivo.

Se puede considerar que la potencia instantánea $p(t)$ es la suma de la potencia media más un término fluctuante al igual que ocurre en el apartado anterior con la potencia activa, pero por analogía se considera el término:

$$UI \cos(2\omega t - \varphi) = (UI \cos\varphi) \cos 2\omega t + (UI \sin\varphi) \sin 2\omega t \quad (3.13)$$

$$Q = UI \sin\varphi \quad (3.14)$$

lo que se denomina **potencia reactiva**.

- Capacitiva

Si el circuito se encuentra en estado puramente capacitivo, la tensión y la corriente están desfasadas $\frac{\pi}{2}$. Las ecuaciones en este caso en el dominio del tiempo son:

$$u(t) = \sqrt{2}U\cos\omega t \quad ; \quad i(t) = \sqrt{2}I\cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) \quad (3.15)$$

Como se puede observar se ha puesto un $\varphi = -\frac{\pi}{2}$ debido a que la carga es capacitiva pura. Por lo que la potencia instantánea del condensador es:

$$p(t) = 2UI\cos(\omega t)\cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = UI\cos\left(2\omega t + \frac{\pi}{2}\right) \quad (3.16)$$

$$p(t) = -UI\sin\left(\frac{\pi}{2}\right)\sin(2\omega t) = Q_c\sin(2\omega t) \quad (3.17)$$

La representación conjunta de las señales $p(t)$, $u(t)$ y $i(t)$. La potencia es fluctuante de pulsación 2ω , lo que significa que, durante el intervalo de tiempo en el que la potencia es positiva, el generador entrega energía al condensador, la cual es almacenada en forma de campo eléctrico, mientras que, en los intervalos de potencia instantánea negativa, la energía del condensador es devuelta al generador. Esta potencia que oscila entre el generador y la capacidad es precisamente la potencia reactiva Q_c .

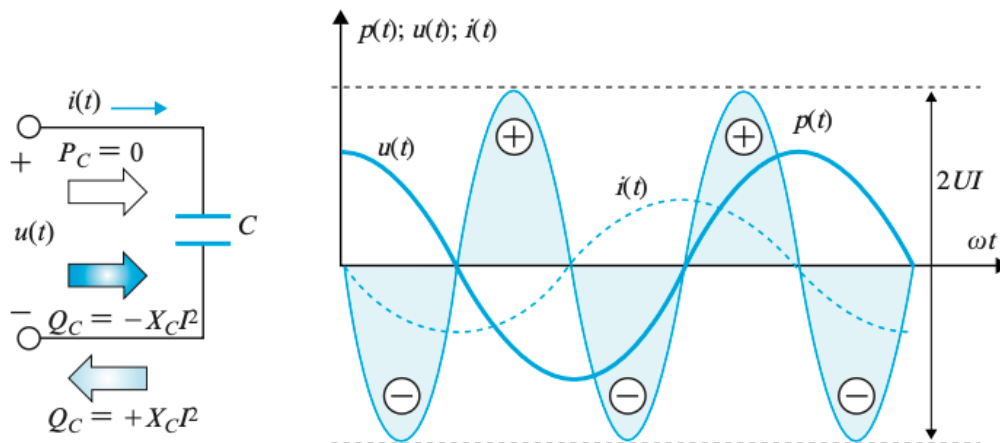


Figura 3.8. Potencia instantánea de un capacitivo.

$$U = \frac{1}{C\omega} I \quad ; \quad \varphi = -\frac{\pi}{2} \quad (3.18)$$

Las potencias activas y reactivas en este caso son:

$$P_c = UI\cos\varphi = UI\cos\left(\frac{\pi}{2}\right) = 0 \quad [W] \quad (3.19)$$

$$Q_c = UI \operatorname{sen} \varphi = UI \operatorname{sen} \left(\frac{\pi}{2} \right) = -\frac{1}{c\omega} I^2 = -X_c I^2 \quad [\text{VAr}] \quad (3.20)$$

Un condensador no consume potencia activa, pero absorbe una potencia reactiva negativa o, en otras palabras, es un generador de potencia reactiva que entrega a la fuente.

- Inductiva

Si el circuito se encuentra en estado puramente capacitivo, la tensión y la corriente están desfasadas $\frac{\pi}{2}$. Las ecuaciones en este caso en el dominio del tiempo son:

$$u(t) = \sqrt{2}U \cos \omega t \quad ; \quad i(t) = \sqrt{2}I \cos \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) \quad (3.21)$$

Se ha puesto $\varphi = +\frac{\pi}{2}$, debido a que la carga inductiva pura (en los casos de cargas inductivas se toman los ángulos positivos). La potencia instantánea $p(t)$ en la inductancia es de la forma:

$$p(t) = 2UI \cos(\omega t) \cos \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) = UI \cos \left(2\omega t - \frac{\pi}{2} \right) \quad (3.22)$$

$$p(t) = UI \operatorname{sen} \left(\frac{\pi}{2} \right) \operatorname{sen}(2\omega t) = Q_L \operatorname{sen}(2\omega t) \quad (3.23)$$

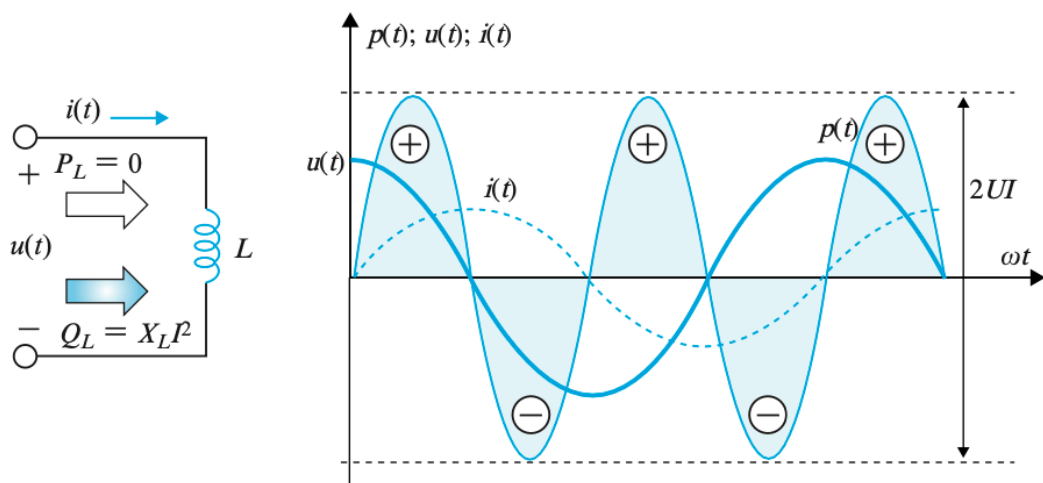


Figura 3.9 Potencia instantánea en una inductancia

Se ha representado conjuntamente las señales $p(t)$, $u(t)$ y $i(t)$. La $p(t)$ es una potencia fluctuante de pulsaciones 2ω , lo que en el intervalo de tiempo en que $p(t)$ es positiva, el generador entrega energía a la inductancia, la cual es almacenada en

forma de campo magnético, mientras que, en los intervalos en que $p(t)$ es negativa, la energía almacenada en la bobina es devuelta al generador. La potencia que oscila entre el generador y la inductancia es precisamente la potencia reactiva en este caso Q_L . El valor medio de la potencia instantánea es cero y no existe disipación de energía si no, intercambio de esta.

La potencia activa y reactiva en un circuito puramente inductivo se obtienen:

$$P_L = UI \cos \varphi = UI \cos \left(\frac{\pi}{2} \right) = 0 \quad [W] \quad (3.24)$$

$$Q_c = UI \sin \varphi = UI \sin \left(\frac{\pi}{2} \right) = L\omega I^2 = X_L I^2 \quad [VAr] \quad (3.25)$$

En definitiva, una inductancia no consume potencia activa, pero absorbe una potencia reactiva positiva. La potencia reactiva de una inductancia se puede expresar como el producto de la pulsación ω por el valor máximo de la energía almacenada por el campo magnético.

Como se ha podido observar la decisión de utilizar la corriente como referencia hace que Q sea positiva para las bobinas y negativa para los condensadores, con esto se puede decir que las bobinas demandan VAr , mientras que los condensadores entregan VAr .

3.2.4 POTENCIA APARENTE

Cuando se realizan cálculos con potencias eléctricas, es a menudo muy útil, combinar las potencias activa y reactiva de un elemento en una única magnitud compleja, la cual es denominada **Potencia compleja**. Si consideramos un dipolo como el que se mostró en la figura 3.5, alimentado por una tensión $u(t)$ (es tomada como referencia):

$$u(t) = \sqrt{2}U \cos \omega t \quad (3.26)$$

y que absorbe una intensidad $i(t)$:

$$i(t) = \sqrt{2}I \cos(\omega t - \varphi) \quad (3.27)$$

Se define como potencia compleja S absorbida por el dipolo receptor, donde I^* expresa el conjugado del fasor I :

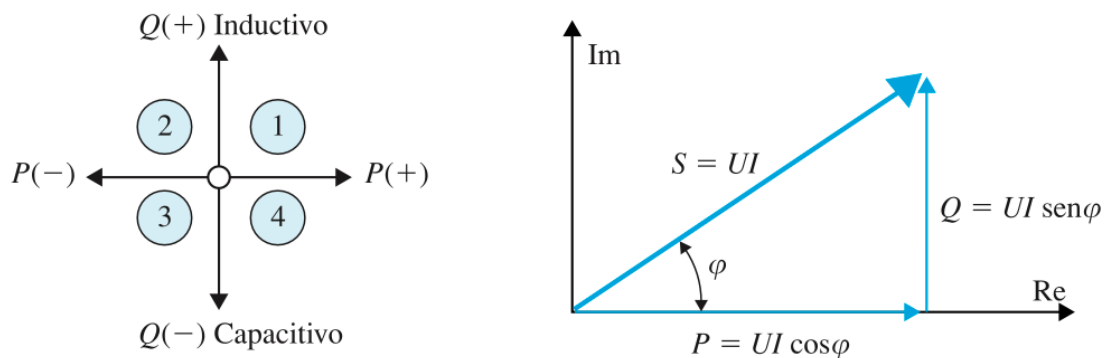
$$S = U * I^* = UI \cos \varphi + jUI \sin \varphi \quad (3.28)$$

Lo que se puede traducir a:

$$S = P + jQ \quad (3.29)$$

Donde la parte real de la potencia compleja es la potencia activa, mientras que, la parte imaginaria es la potencia reactiva. Es necesario tomar el conjugado de la corriente para conseguir que las potencias inductivas (la corriente se retrasa a la tensión), de lugar a potencias reactivas positivas.

Se dibujan las componentes de la potencia compleja en un diagrama complejo:



Es evidente que para carga inductiva $0 < \varphi \leq \frac{\pi}{2}$, por lo que Q es positiva y el vector S estará situado en el primer cuadrante. Para la carga capacitiva $\frac{\pi}{2} > \varphi \geq 0$, por lo que Q es negativa y S estará situada en el cuarto cuadrante.

Como se conoce vulgarmente, el triángulo de potencias es donde se observa de la mejor forma gráfica, que es el factor de potencia y la estrecha relación que hay con los restantes tipos de potencia presentes en un circuito eléctrico de corriente alterna; también se puede observar una potencia con respecto a las otras dos que lo forman, ya que al modificar una de las potencias del triángulo, hará que repercuta de forma directa en las otras dos potencias.

4 FACTOR DE POTENCIA

El factor de potencia representa el coseno del ángulo que forman la tensión y la corriente de un circuito. Esto es el cociente entre la potencia activa y la potencia aparente de la red:

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} \quad (4.1)$$

Históricamente la introducción técnica de los diversos tipos de potencia: activa, reactiva y aparente, y el factor de potencia se debe a las compañías eléctricas que tienen a su cargo la explotación de las centrales que necesitan transportar enormes cantidades de energía de un punto a otro. La eficacia con que se lleve a cabo este transporte repercute de forma directa sobre el coste de la energía eléctrica, la cual en definitiva la paga el cliente. Un usuario que aporta una carga que da origen a un rendimiento relativamente pobre de la red de transporte, debe pagar un precio mayor por cada kilovatio-hora (kWh) de la energía activa, que realmente utiliza. Así mismo, un consumidor que requiere de la Compañía Eléctrica una instalación más costosa para el transporte y distribución también deberá pagar más cada kWh. La potencia activa representa realmente la potencia media que se consume, mientras que la potencia reactiva representa una oscilación de energía entre el generador y el receptor. Su función consiste en suministrar energía para los campos magnéticos y carga de condensadores y transferir esta energía de vuelta a la fuente, cuando se anula el campo magnético o cuando se descargan los condensadores. Aunque los voltio-amperios reactivos, como tales, no requieren un aporte de energía por parte de los generadores, sí que necesitan una producción de voltio-amperios por parte de estos y, por tanto, limitan su capacidad de suministro. Téngase en cuenta que la tensión de un generador es una magnitud esencialmente constante, y que la corriente está limitada por la sección de los conductores de sus devanados para que la potencia disipada por efecto Joule no dé lugar a calentamientos inadmisibles, es por esto, por lo cual, la potencia nominal de los generadores (y transformadores) se define en kVA y no en kW. Para una cierta potencia aparente de un generador, la potencia activa que suministra depende del factor de potencia de la carga que coloca el usuario. Los motores eléctricos, por ejemplo, representan una carga de tipo inductivo, su potencia activa está relacionada con el trabajo

mecánico útil que realizan, pero requieren además una potencia reactiva para mantener los campos magnéticos en los que se basa su funcionamiento. Esta potencia reactiva necesaria en los motores precisa de una mayor corriente en la red, lo que provoca unas mayores pérdidas RI^2 en las líneas, con la consiguiente pérdida de rendimiento de la instalación, lo que no es aconsejable. [3]

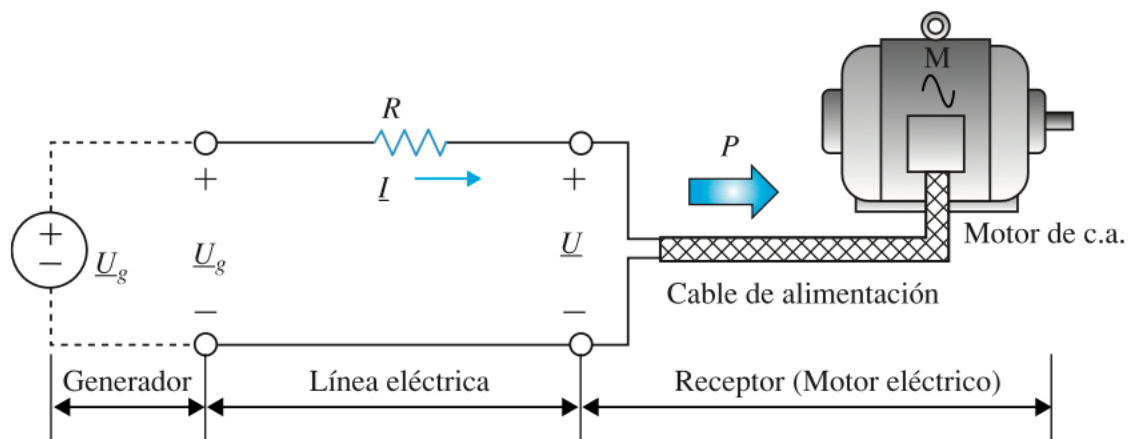


Figura 4.1 Corrección del factor de potencia de una instalación.

4.1 CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA TEÓRICAMENTE

La corrección del factor de potencia tiene como objeto el rendimiento de las instalaciones eléctricas, y así, evitar el pago de cantidades suplementarias en la facturación; para ello, conviene trabajar con factores de potencia elevados. Casi siempre los consumidores requieren energía reactiva de la red de carácter inductivo, debido a que, la mayor parte de la industria utiliza máquinas eléctricas que necesitan este tipo de energía para desarrollar los campos magnéticos fundamentales para el funcionamiento. El factor de potencia es por consiguiente inherente a las mismas y no puede ser modificado más que por un mejor diseño y utilización. Lo que realmente interesa es que la red obtenga un mejor factor de potencia en conjunto, este puede ser modificado utilizando receptores que consuman potencia reactiva de signo contrario al de los motores, lo que se logra conectando condensadores en la instalación; de este modo se puede reducir la potencia reactiva hasta obtener un buen factor de potencia final.

Primeramente, vamos a indicar como se podría corregir el factor de potencia con una serie de procedimientos prácticos para hacer un mejor uso de los equipos instalados:

- Maquinaria eléctrica giratoria: sustituir los motores que funcionan con poca carga, por motores de menor potencia pero que trabajen en condiciones nominales, cuyo rendimiento y factor de potencia son mejores.
- Transformadores: elegir el tipo adecuado al empleo que se destine, con pocas pérdidas en vacío. Evitar el funcionamiento con poca carga.

Una vez que se han realizado las consideraciones anteriores, se efectuará la corrección del factor de potencia con condensadores:

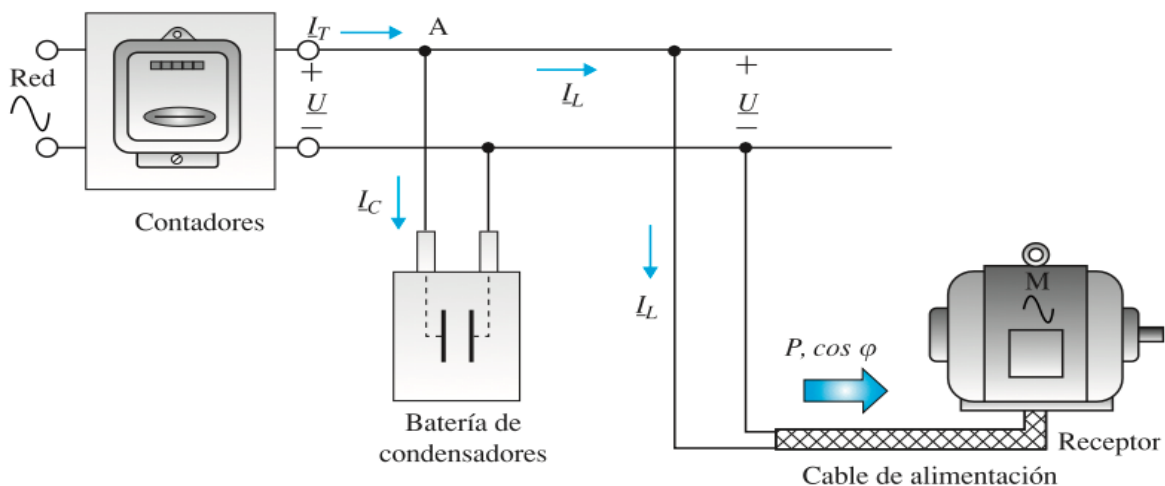


Figura 4.2 Instalación con factor de potencia corregido mediante condensadores.

Se muestra una instalación receptora simulada por un motor que absorbe de la red una potencia activa con un factor de potencia inductivo. Se ha añadido al conjunto, una batería de condensadores para corregir el factor de potencia de la instalación de $\cos\varphi$ a un valor final $\cos\varphi'$.

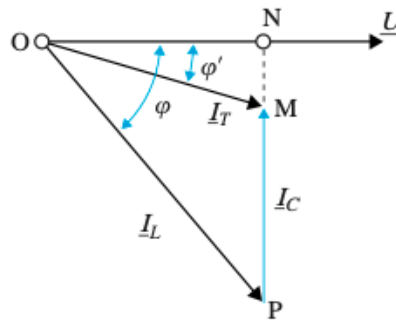


Figura 4.3 Diagrama fasorial de corrientes.

La ecuación para poder sacar la capacidad de los condensadores necesarios para reducir el factor de potencia a un φ' será la siguiente:

$$C = \frac{I_C \cos \varphi}{U \omega} (tg \varphi - tg \varphi') \quad (4.2)$$

Si lo que se desea es calcular la potencia reactiva de los condensadores, como era de esperar, esta es negativa de acuerdo con el convenio de signos de la potencia reactiva. Como actuamos con el módulo de Q_C será:

$$Q_C = UI_C = UI_L \cos \varphi (tg \varphi - tg \varphi') \quad (4.3)$$

O también se podría escribir sabiendo cual es la P:

$$Q_C = P (tg \varphi - tg \varphi') \quad (4.4)$$

Idealmente, parece que interesaría conseguir que el factor de potencia final fuese igual a 1 ($\cos \varphi = 1$), sin embargo, en la realidad para que no sea necesaria una gran inversión de condensadores, sería suficiente con obtener $\cos \varphi$ cercano a 0,90.

4.2 CAUSAS DEL BAJO FACTOR DE POTENCIA

El factor de potencia se debe a la carga producida por los motores de inducción, debido a que frecuentemente se utilizan estos en exceso, también se puede acarrear a transformadores o cualquier tipo de inductancia. Estos originan el bajo factor de potencia en las instalaciones ya que, son cargas no lineales que no benefician a la red eléctrica, si no, en estos equipos el consumo de corriente está desfasado con relación a la tensión, lo cual origina un bajo factor de potencia.

a) Motores de inducción

Son en general la principal causa de los factores de potencia bajos, las fábricas industriales contienen un gran número, también la propia máquina necesita potencia magnetizante y los cuales están formados por bobinas o inductores que permiten el funcionamiento y el movimiento del rotor del motor.

b) Motores sobredimensionados

Las consecuencias en este caso son análogas a las anteriores. Estos motores presentan una gran conservación de energía.

La sustitución de un motor por otro de mayor potencia, en general en los casos de mantenimiento y reparación, la sustitución transitoria pasa a ser permanente sin saber que, el sobredimensionado del motor provocará que el factor de potencia disminuya.

c) Transformadores operando en vacío

Se caracterizan por ser lo contrario a los motores; los transformadores operando en vacío o con pequeñas cargas, consumen una cantidad de energía reactiva bastante grande, comparada con la activa, esto genera que el factor de potencia sea menor.

d) Transformadores sobredimensionados

Son casos particulares donde un transformador de gran potencia se utiliza para alimentar cargas pequeñas, lo que produce un peor factor de potencia.

e) Nivel de voltaje superior al nominal

Cuando hay una tensión superior a la nominal, es aplicada en motores de inducción, se produce un aumento de potencia reactiva y, por ello, disminuye el factor de potencia.

4.3 CONSECUENCIAS DE UN BAJO FACTOR DE POTENCIA

Las instalaciones eléctricas que operan con un bajo factor de potencia, causan diferentes efectos a la red eléctrica tanto en baja como en alta tensión, asimismo generan las siguientes consecuencias en la medida en la que disminuye el factor de potencia.

4.3.1 INCREMENTO DE LAS PERDIDAS POR EFECTO JOULE.

Las pérdidas por calor en las líneas eléctricas son producidas tanto por las corrientes activas como por las corrientes reactivas, representando una energía que se pierde, pero esta es pagada por el consumidor. Las pérdidas por el efecto Joule provocan el calentamiento de los conductores que, a su vez, producen su deterioro pudiendo llegar a producir cortocircuito y disparo de las protecciones sin causa aparente. También se produce una disminución de la capacidad de la Red Eléctrica de España, que debe producir energía extra para compensar las pérdidas.

Las pérdidas de potencia por el efecto Joule en una línea trifásica vienen dadas por la expresión:

$$P = 3 * R * I^2 = 3 * R * I_A^2 + 3 * R * I_R^2 \quad (4.5)$$

Donde:

P = Pérdidas de potencia activa en la línea

R = Resistencia de la línea

I = Corriente de la línea

I_A = Componente activa

I_R = Componente reactiva

De dicha ecuación se puede deducir que, las pérdidas generadas por la componente reactiva de la corriente son totalmente independientes de la potencia activa que es transportada por la línea. Esto se podrá solucionar como se verá más adelante, conectando condensadores en paralelo.

A continuación, vamos a mostrar cómo se disminuyen las pérdidas corrigiendo el factor de potencia.[4]

$$\frac{\text{Pérdidas } i}{\text{Pérdidas } f} = \left[\frac{\cos\phi_i}{\cos\phi_f} \right]^2 \quad (4.6)$$

DISMINUCIÓN DE PÉRDIDAS POR EFECTO JOULE				
$\cos\varphi_I$	$\cos\varphi_F$			
	0,85	0,90	0,95	1,00
0,50	65,40%	69,14%	72,30%	75,00%
0,55	58,13%	62,65%	66,48%	69,75%
0,60	50,17%	55,56%	60,11%	64,00%
0,65	41,52%	47,84%	53,19%	57,75%
0,70	32,18%	39,51%	45,71%	51,00%
0,75	22,15%	30,56%	37,67%	43,75%
0,80	11,42%	20,99%	29,09%	36,00%
0,85	-	10,80%	19,94%	27,75%
0,90	-	-	10,25%	19,00%
0,95	-	-	-	9,75%

Tabla 4.1: Disminución de pérdidas por efecto Joule.

4.3.2 AUMENTO DE CAÍDAS DE TENSIÓN

En el transporte por la red de energía, la corriente tendrá que vencer la impedancia ocasionada por el conductor produciendo así, una pérdida de potencia que es transportada por el conductor y a su vez, generará una caída de tensión.

Un bajo factor de potencia producirá una mayor caída de tensión, apareciendo una alimentación de potencia insuficiente en las cargas. Se mostrará a continuación como disminuye la caída de tensión corrigiendo el factor de potencia:

$$AU = \frac{P_{activa} * Z}{\sqrt{3} * U * \cos\varphi} \rightarrow \frac{AU_i}{AU_f} = \frac{\cos\varphi_i}{\cos\varphi_f} \quad (4.7)$$

DISMINUCIÓN DE LA CAÍDA DE TENSIÓN EN LAS LÍNEAS				
$\cos\phi_I$	$\cos\phi_F$			
	0,85	0,90	0,95	1,00
0,50	41,18%	44,44%	47,37%	50,00%
0,55	35,29%	38,89%	42,11%	45,00%
0,60	29,41%	33,33%	36,84%	40,00%
0,65	23,53%	27,78%	31,58%	35,00%
0,70	17,65%	22,22%	26,32%	30,00%
0,75	11,76%	16,67%	21,05%	25,00%
0,80	5,88%	11,11%	15,79%	20,00%
0,85	-	5,56%	10,53%	15,00%
0,90	-	-	5,26%	10,00%
0,95	-	-	-	5,00%

Tabla 4.2: Relación factor de potencia - caída de tensión en las líneas

4.3.3 SOBRECARGA DE LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS

El exceso de corriente debido al bajo factor de potencia ocasiona que, en las máquinas eléctricas, como generadores o transformadores y líneas de distribución, trabajen en sobrecarga, esto en general produce en ellas una reducción de la vida, ya que, son diseñados para un valor de corriente específico y deben operar sin sobrecargarse.

Los generadores y transformadores son dimensionados a partir de la potencia aparente (S). Esta, al igual que la potencia activa (P), es más pequeña cuanto menor es la potencia reactiva (Q) suministrada. Por lo tanto, compensando la instalación, las máquinas pueden ser dimensionadas en relación con una potencia aparente inferior, aún proporcionando la misma potencia activa. [5] Se mostrará un ejemplo a continuación:

POTENCIA DEL TRANSFORMADOR (kVA)	POTENCIA ACTIVA TRANSMITIDA (kW)					
	COSφ					
	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
63	31,5	37,8	44,1	50,4	56,7	63,0
100	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0
125	62,5	75,0	87,5	100,0	112,5	125,0
160	80,0	96,0	112,0	128,0	144,0	160,0
200	100,0	120,0	140,0	160,0	180,0	200,0
250	125,0	150,0	175,0	200,0	225,0	250,0
315	157,5	189,0	220,5	252,0	283,5	315,0
400	200,0	240,0	280,0	320,0	360,0	400,0
630	315,0	378,0	441,0	504,0	567,0	630,0
800	400,0	480,0	560,0	640,0	720,0	800,0
1000	500,0	600,0	700,0	800,0	900,0	1000,0
1250	625,0	750,0	875,0	1000,0	1125,0	1250,0

Tabla 4.3: Relación potencia del transformador – potencia activa transmitida

Según la tabla, para conseguir una potencia de 175 kW si la instalación cuenta con un factor de potencia de 0,7 necesitaremos en la instalación un transformador de 250 kVA, mientras que, si contamos con un factor de potencia mayor podremos mantener una potencia superior con un transformador de menores características.

4.3.4 AUMENTO DE LA FACTURA ELÉCTRICA

El aumento de la potencia reactiva generará un incremento en la facturación eléctrica, debido a que, esta energía es molesta para su distribución, incrementando así las pérdidas eléctricas. Por esta razón, se han creado los recargos para los excesos de consumo de este tipo de energía.

La potencia reactiva también provoca una bajada de potencia en la instalación, como se ha visto en la tabla anterior, lo que obliga a tener una potencia mayor contratada, por lo que se ve que es perjudicial tanto para las empresas distribuidoras como para los propios consumidores.

Las penalizaciones que se pueden recibir por energía reactiva son las siguientes:

- Tarifas 2.0A y 2.1A

Para estas tarifas en la que la potencia es menor a 15KW, se factura únicamente si la energía es superior al 50% del consumo de energía activa o, lo que es lo mismo, que el $\cos\varphi$ sea menor que 0.90.

- Tarifas 3.0A y 3.1A

Para estas tarifas por encima de 15kW, los recargos se aplicarán en los periodos P1 y P2. El periodo P3 queda ausente de esta penalización por potencia reactiva.

Ahora bien, si el consumo de energía reactiva es inferior al 33% de la energía reactiva consumida o, lo que es lo mismo, el $\cos\varphi > 0.95$ no habría penalización alguna. Si nos pasamos del 33% es cuando se producirían las penalizaciones.

El coste para las tarifas del recargo por potencia reactiva es:

Si el consumo de energía reactiva es superior al 33% de la energía activa consumida, o se encuentra en el intervalo $0.95 > \cos\varphi \geq 0.80$, la empresa suministradora efectuara un incremento en la factura eléctrica de 0.0041554€ por kVArh.

Si el consumo de energía reactiva es superior al 75% de la energía activa consumida, o el $\cos\varphi < 0.80$, la empresa suministradora efectuará un incremento en la factura eléctrica de 0.0062332€ por kVArh.

A continuación, se muestra una imagen resumen de lo hablado anteriormente donde se ve, claramente, el esquema de las penalizaciones que tiene el factor de potencia:

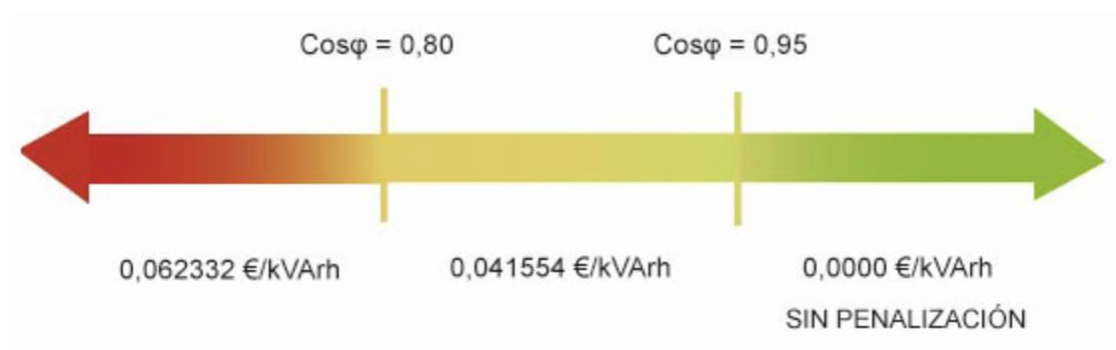


Figura 4.4 Esquema de las penalizaciones del Factor de Potencia.

Todo esto se recoge en el BOE. En los siguientes epígrafes se realiza un estudio con el fin de reducir la potencia reactiva.[6]

5 COMPENSAR POTENCIA REACTIVA

5.1 MÉTODOS DE COMPENSACIÓN

La metodología para corregir el factor de potencia puede presentar varias alternativas; en un primer lugar, se puede proceder mediante utilización de motores síncronos y, en segundo lugar, a través de condensadores estáticos.

5.1.1 MOTORES SÍNCRONOS

Actualmente, en la industria la gran mayoría de los motores eléctricos son del tipo asíncrono, debido a su facilidad de construcción, cuenta con reducido mantenimiento y sus buenas prestaciones. La gran desventaja el factor de potencia, aunque no es muy elevado, reduce la potencia efectiva del motor a la vez que introduce en la red una carga reactiva.

Este problema se puede solucionar con motores síncronos. Esta solución pasa por la complejidad de la instalación, arranque y mantenimiento de estos motores, se limita el uso de este tipo de motores a la producción de energía eléctrica como alternadores y se utilizan como motor en algunas escasas aplicaciones. La colocación de un motor asíncrono resultaría excesivamente complicado.

Estos dispositivos pueden ser utilizados como generadores de potencia reactiva. La capacidad para generar dicha potencia es en función de la carga conectada y la excitación; si estos operan en baja excitación no generan suficiente potencia reactiva para poder suplir sus necesidades, como consecuencia son tomadas de la red eléctrica. Sin embargo, cuando operan en forma sobrecitada (estado normal de operación) suplen sus requerimientos de potencia reactiva y pueden entregar de esta a la red eléctrica, en este caso serían utilizados como compensadores de factor de potencia. Como se puede ver al modificar la carga de una máquina síncrona, se puede regular el factor de potencia.

Tener en la industria motores síncronos sobrecitados hacen que el sistema pueda ser útil por las razones que se muestran a continuación:

- Una carga en adelanto puede entregar potencia reactiva a cargas en retraso cercanas, en lugar de las que deben venir del generador. Debido a que la potencia reactiva no tiene que recorrer la resistencia de las líneas de transmisión se reduce y ocasiona que las pérdidas del sistema de potencia sean menores.
- Al disminuir la corriente de las líneas, genera que el diámetro del conductor utilizado sea menos y así reducir el coste.
- Si fuese necesario un factor de potencia adelantado, se hará trabajar al motor sobrecitado.

Los motores síncronos al trabajar sobrecitados hace que requiera una corriente de campo y un flujo alto, lo cual causa un significativo calentamiento del rotor.

Para concluir, los motores síncronos pueden ayudar a reducir los costes de energía eléctrica y mejorar el rendimiento del sistema de energía, corrigiendo así el factor de potencia en la red donde están instalados. En pocos años, el ahorro de energía eléctrica puede igualarse al valor invertido en dichos motores.[7]

5.1.2 CONDENSADORES

En las plantas industriales, la forma más practica y que resulta más económica para la corrección del factor de potencia, es la utilización de condensadores. La corriente del condensador es usada para intentar suplir en su totalidad, las corrientes magnetizadas que requieren las cargas.

Los condensadores realizan una mejora en el factor de potencia debido a que los efectos son opuestos a las cargas reactivas que generan el desfase, con lo cual se compensa el efecto de ellas.

La potencia reactiva capacitiva de un condensador es:

$$Q_C = UI_C = UI_L \cos\varphi (tg\varphi - tg\varphi') \quad (5.1)$$

Nunca se debe realizar una compensación excesiva $Q_C > Q_L$, esto supondría unos problemas similares a la inductiva. Además, en caso de sobrecompensación se puede establecer un aumento de la tensión de los equipos con respecto a la de la red.

El método de compensar el factor de potencia por medio de condensadores presenta las siguientes ventajas:

- Un banco de condensadores cuenta con un rendimiento al 99% o más, para potencias pequeñas.
- Un banco de condensadores supondría el gasto de la inversión inicial, la energía eléctrica que consumen a consecuencia de sus pérdidas es reducida.
- No necesita mantenimiento prácticamente.
- La conexión al circuito es simple, se puede hacer directamente a las barras de baja tensión, a la salida de los transformadores.
- Es el equipo más rápido de amortizar, no tiene gasto de operación y no es necesario el mantenimiento para que funcione a pleno rendimiento.

Los condensadores también presentan las siguientes desventajas:

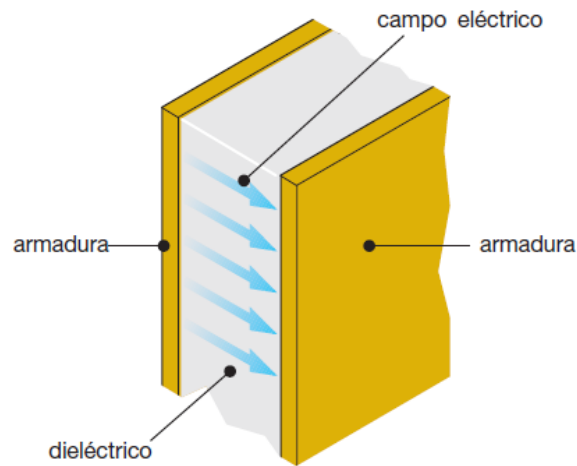
- Cuando funciona con cargas pequeñas, pueden aparecer ondas armónicas grandes por estar en resonancia el transformador con los condensadores, causando un calentamiento excesivo en los condensadores. Para evitar esto habría que desconectar los condensadores o dejar el circuito con el menor número de ellos para que no se produzca resonancia.
- Cuando un dieléctrico se ha roto en el condensador por algún motivo, en su interior se produce un cortocircuito, descomponiendo el líquido, cuyos gases producen la explosión del tanque del condensador.

Cuenta con más ventajas que desventajas, como se puede ver anteriormente, es el método de compensar el factor de potencia mediante banco de condensadores el más aconsejable.

5.2 COMPENSACIÓN MEDIANTE EL USO DE CONDENSADORES.

5.2.1 DEFINICIÓN DE CAPACITOR

El condensador es un bipolo pasivo que está constituido por dos superficies conductoras, las cuales son llamadas armaduras, entre ellas se interpone un material dieléctrico.



El material que lo forma queda impregnado con una sustancia que impide la entrada de humedad o que se formen burbujas en él, esto podría provocar descargas eléctricas.

Los dispositivos más novedosos se fabrican en seco, los cuales son sometidos a un tratamiento específico que mejora sus propiedades eléctricas, así, no presentan peligro de contaminación debido a la sustancia imprégnate.

La energía que acumula se puede expresar como:

$$E_c = \frac{1}{2} * C * U^2 \quad (5.2)$$

Donde:

C: la capacidad del condensador.

U: La tensión aplicada en los extremos del condensador.

Las principales magnitudes que caracterizan a un condensador son:

Capacidad nominal C_n : el valor de la capacidad obtenidos de los valores nominales de la potencia, tensión y frecuencia del condensador.

Potencia reactiva nominal Q_n : La potencia reactiva para la cual el condensador ha sido diseñado.

Frecuencia nominal f_n : La frecuencia para la cual el condensador fue diseñado.

Tensión nominal U_n : El valor eficaz de la tensión alterna para la que el condensador ha sido diseñado.

5.2.2 TIPOS DE INSTALACIÓN DE LOS CONDENSADORES.

El banco de condensadores que se utilice se puede instalar en varios puntos del sistema eléctrico de la fábrica industrial. La compensación de potencia reactiva puede realizarse de multiplex formas:

- Compensación individual
- Compensación en grupo
- Compensación global

La compensación ideal es aquella que limita el campo de actuación de la potencia reactiva al entorno más próximo a su creación. Pero los criterios técnico-económicos determinaran su situación y ubicación.

5.2.2.1 COMPENSACIÓN INDIVIDUAL

En la compensación individual se instalan los condensadores junto a cada una de las cargas que consumen potencia reactiva, así se corrige el factor de forma individual a cada carga. A continuación, se muestra un esquema de la compensación individual:

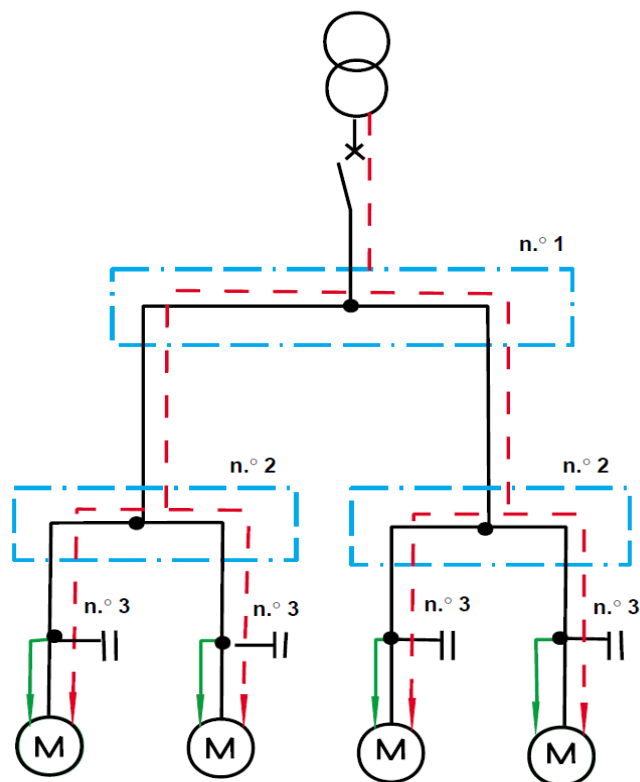


Figura 5.1. Compensación individual.

Es el método más efectivo, el condensador es instalado individualmente en cada una de las cargas que se quieren corregir; de esta manera la potencia reactiva solo circula entre los conductores de la carga inductiva y la capacitiva.

Es muy importante poder compensar la energía reactiva lo más cerca posible de la fuente de energía inductiva, pero a la vez esto se debe complementar con una compensación de general al lado de la alimentación.

Esta forma de compensación es empleada principalmente en equipos que tienen una operación continua y el consumo de la carga inductiva es representativo. La compensación individual es rentable en los motores grandes con operación continua y en transformadores.

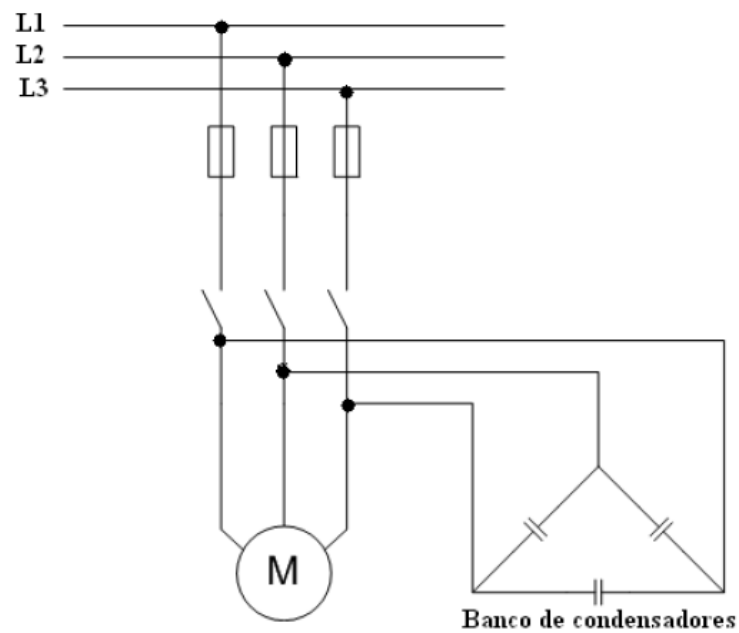
a) Ventajas

- La implementación de condensadores elimina las penalizaciones de las compañías eléctricas por potencia reactiva.
- La disminución de la potencia aparente reduciéndola a un valor próximo al de la potencia activa.
- Un mejor rendimiento del transformador que suministra la energía.
- Optimización de las líneas eléctricas.
- Anular las pérdidas por el efecto Joule en los conductores.
- Líneas sin potencia reactiva

b) Inconvenientes

- El coste de la instalación es muy grande, solo resultaría rentable con cargas muy inductivas y regulares.

La conexión individual de los motores se realizaría con un banco de condensadores en triángulo, como se puede apreciar en la siguiente imagen:



Se debe mencionar que para no incurrir en una sobrecompensación en la carga inductiva que provoque alteraciones en el voltaje que puedan dañar la instalación eléctrica, la potencia del banco de condensadores deberá limitarse a un 90% de la potencia reactiva del motor en vacío.

5.2.2.2 COMPENSACIÓN PARCIAL

Cuando se encuentra un grupo de equipos conectados conjuntamente, se puede llegar a colocar los condensadores en lugares apropiados, por eso, es aconsejable compensar la potencia reactiva de un grupo de cargas, cuando estas se conectan simultáneamente y demandan potencia reactiva constante, o bien cuando se tienen diferentes grupos de cargas situados en puntos distintos, como se mostrará en el esquema siguiente:

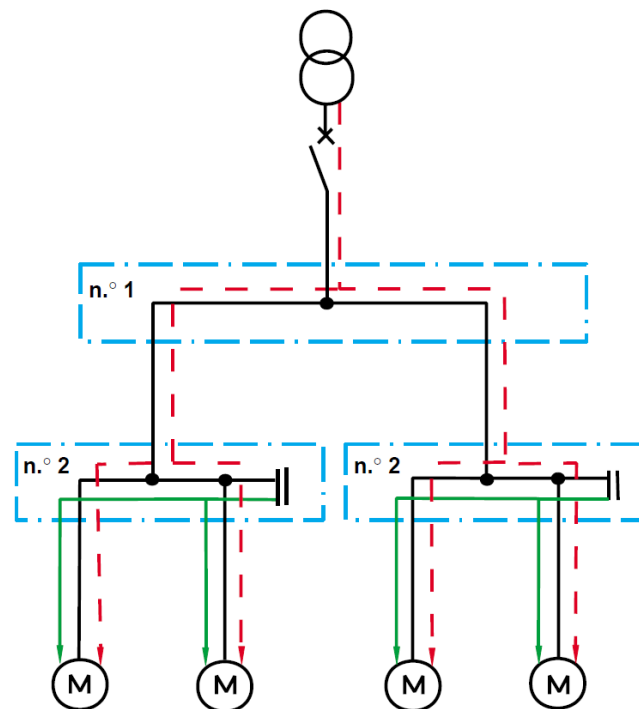


Figura 5.2. Compensación parcial.

Este tipo de instalación se adopta por lo general en grandes instalaciones, por eso, es conveniente realizar un análisis detallado para definir los grupos y la forma de compensación según las características de operación de la industria.

a) Ventajas

- Como en las otras compensaciones, eliminar las penalizaciones por potencia reactiva.
- Disminuir la potencia aparente igualándola a la potencia activa.
- Mayor rendimiento del transformador.
- Mejora la instalación entre los puntos 1 y 2.

b) Inconvenientes

- La potencia reactiva circula por la red desde el punto 2 aguas abajo de la instalación.
- Las pérdidas por calentamiento de los conductores haciendo el efecto joule se mantienen a partir del nivel 2 de la instalación y no se permite una reducción del dimensionamiento de la instalación. Si los escalones no están bien dimensionados pueden originar sobredimensionamientos en periodos determinados en la instalación

5.2.2.3 COMPENSACIÓN GLOBAL

Cuando hay un gran número de equipos de potencias diferentes y conexión variable, resulta muy apropiada la compensación central con un sistema de regulación, con el fin de mantener constante el factor de potencia de la instalación. Cuando la compensación se efectúa global se facilita los trabajos de mantenimiento; al contrario de lo que ocurre en la compensación individual en donde los condensadores están distribuidos por separado.

El comportamiento variable de las cargas tiene una importancia fundamental para la elección de este tipo de corrección. En instalaciones con muchas cargas, en las que todos sus elementos funcionan de forma simultánea y/o algunos están conectados solo unas pocas horas al día, parece evidente que la solución de la corrección grupo distribuida resulta demasiado costosa, quedando durante largos periodos inutilizados muchos de los capacitores instalados. Por tanto, el uso de un único sistema de corrección en el punto inicial de la instalación permite reducir la suma de potencias de los capacitores instalados.

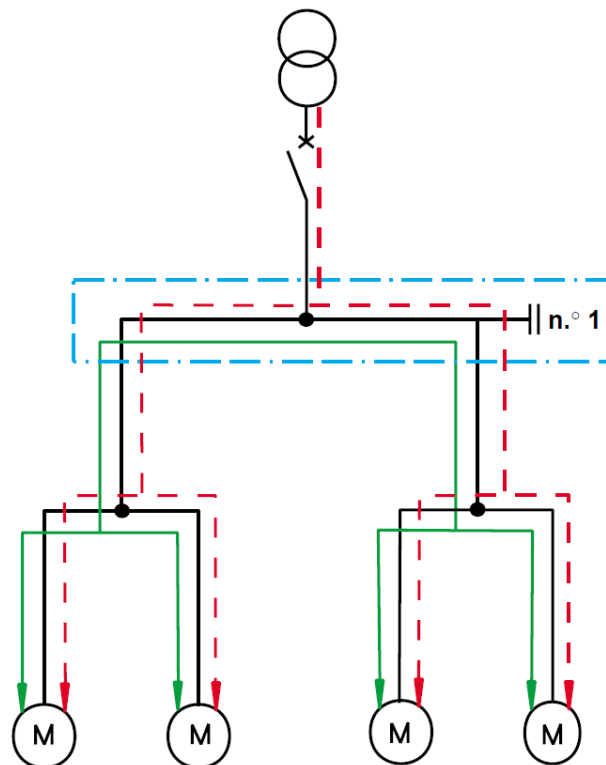


Figura 5.3. Compensación global.

La potencia total del banco de condensadores se divide en varios bloques que están conectados a un regulador automático de energía reactiva, que conecta y desconecta los

bloques que sean necesarios para obtener el factor de potencia previamente programado en dicho regulador.

a) Ventajas

- Una mejor utilización de la capacidad de los bancos de condensadores.
- Mejor regulación del voltaje en sistema eléctrico.
- Suprimir las penalizaciones por energía reactiva en el recibo de la energía eléctrica.
- Suministrar la potencia reactiva que se requiera en cada momento.
- Mantenimiento y supervisión sencilla.
- Es la alternativa más económica de las que hemos visto, ya que toda la instalación se concentra en un único lugar.

b) Inconvenientes

- La potencia reactiva circula por toda la instalación.
- Las pérdidas por el efecto joule siguen existiendo en los conductores aguas abajo de la instalación de la batería.

5.2.3 SISTEMAS DE BANCO DE CONDENSADORES.

La compensación del factor de potencia en BT se realiza con dos tipos de equipos:

- Condensadores fijos.
- Baterías de condensadores automáticas que permiten ajustar permanentemente la compensación a las necesidades de la instalación.

Estos dos tipos se explicarán a continuación con más detalle.

5.2.3.1 CONDENSADORES FIJOS

Optar por la configuración de condensadores fijos supone encontrarse con una potencia se prácticamente constante. Se debe a que la potencia reactiva capacitiva suministrada es constante, independientemente del estado de carga de la instalación ya que, si esta varía nos encontraremos con instantes, en los que la potencia reactiva estará sobrecompensada o subcompensada.

Esta configuración utiliza uno o varios condensadores para obtener la potencia reactiva necesaria. Seguidamente se encontrará un esquema con una respectiva imagen de los condensadores fijos:

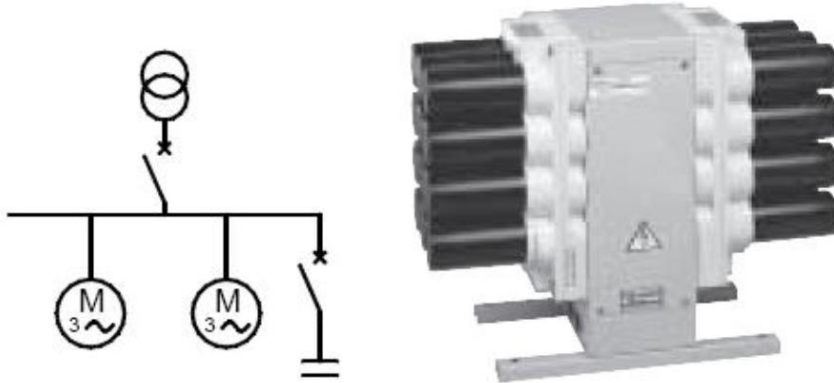


Figura 5.4. Condensadores Fijo.

Los bancos de condensadores fijos son utilizados de la siguiente forma:

- Se usan de forma manual mediante interruptores o seccionadores, por lo cual hace que haya que estar pendiente de ellos.
- De forma medio automática a través de contactores.

Son utilizados generalmente en los siguientes casos:

- Instalaciones donde la carga reactiva constante.
- Compensación de pérdidas reactivas de transformadores.
- Para la compensación individual de cada motor.

Se podrá realizar compensación fija para uno o varias cargas siempre que funcionen por medio de un único interruptor, es decir, simultáneamente. Para compensar la totalidad de la instalación se deberá instalar un equipo automático. En la práctica esta instalación no es usada prácticamente, solo es utilizada para la compensación de algunos motores o transformadores.

5.2.3.2 CONDENSADORES AUTOMÁTICOS

Este caso es el más práctico y el que se va a utilizar, debido a que la potencia reactiva del banco de condensadores puede ser regulada de acuerdo con las variaciones del estado de carga de la instalación.

Los bancos de condensadores automáticos están formados por varios condensadores conectados todos ellos en paralelo, el control de los condensadores que se utilicen o no viene determinado por el cerebro, el cual es el regulador electrónico que se va a diseñar. Este es incorporado al banco de condensadores.

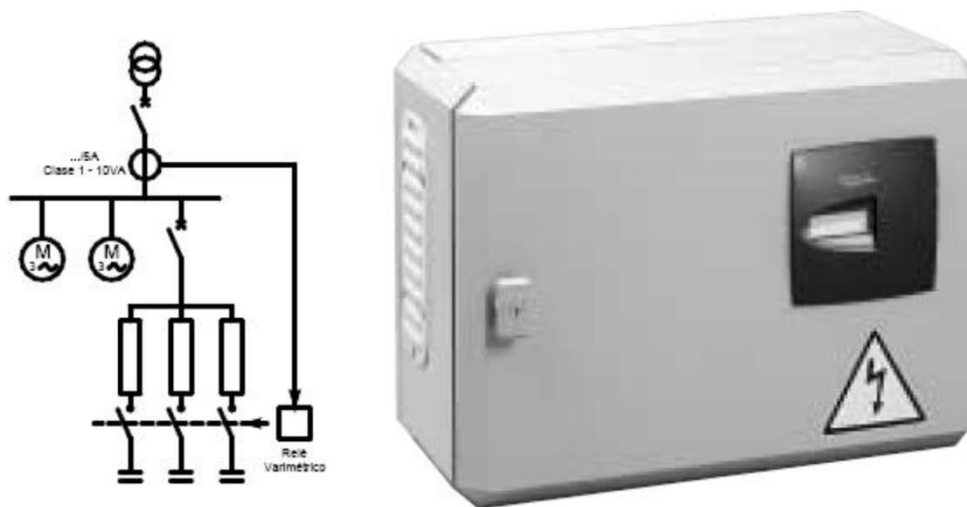


Figura 5.5. Condensadores Automáticos.

Los bancos de condensadores automáticos son utilizados generalmente en las instalaciones con las siguientes características:

- Instalaciones que cuentan con una variación del estado de carga.
- Compensación de tableros generales de distribución en baja tensión.
- Los bancos de condensadores que superan el 15% de la potencia del correspondiente transformador MT/BT.

Estos generalmente, se instalan en los puntos de una instalación en los que las variaciones activas o reactiva son importantes:

- En la cabecera de la instalación de un tablero general.
- En la salida de un cuadro secundario muy cargado

6 DISTORSIÓN ARMÓNICA

En los últimos años, con el creciente uso de la electrónica de potencia, así como la calidad del suministro eléctrico, con la eficiencia energética, se han convertido en una cuestión clave. Los responsables de la gestión energética de las empresas son cada vez más conscientes de los beneficios que se pueden obtener de una buena gestión.

La primordial representación de la calidad energética es dicha distorsión armónica, la cual representa la desviación entre la forma de onda sinusoidal ideal que debería producir la tensión de red y la corriente de carga, con lo que en realidad se ve representada.

La atenuación de los armónicos puede generar abundantes beneficios, en cuanto al coste total de la instalación la reducción de la factura de la energía y la protección contra interrupciones y averías de los equipos.[8]

Se tiene en cuenta este apartado, debido a que siempre que se instala una batería de condensadores en una instalación para reducir el factor de potencia, se debe realizar un estudio de armónicos de la red eléctrica, debido a que estos pueden dañar si no la batería instalada.

6.1 DEFINICIÓN ARMÓNICOS

Tanto en el ámbito industrial como en el doméstico cuentan actualmente, con una gran cantidad de elementos electrónicos que, debido a su principio de funcionamiento, absorben una corriente no sinusoidal (cargas no lineales son la principal causa de que se generen armónicos). Dicha corriente genera, aguas arriba en la red, una caída de tensión también no sinusoidal y, como consecuencia, las cargas lineales se encuentran alimentadas por una tensión distorsionada, lo que produce una contaminación de la red pudiendo afectar incluso a otros usuarios.

Los armónicos son las componentes de una forma de onda distorsionada y su utilización permite analizar cualquier forma de onda periódica no sinusoidal, descomponiendo está en distintas componentes sinusoidales.

Según nos explica el teorema de Fourier, cualquier función periódica de periodo T generalmente, continua y limitada puede representarse por la suma de infinitos términos sinusoidales cuyas funciones son múltiplos enteros de la frecuencia de la función original. Según este teorema una onda perfectamente sinusoidal no presenta armónicos de orden diferente al fundamental.[9]

El armónico cuya frecuencia corresponde al periodo de la forma de onda que es la original, es llamado armónico fundamental y los armónicos con frecuencia igual a “ n ”, veces la fundamental, se llaman armónicos de orden “ n ”.

Se muestra a continuación una gráfica de ejemplo con la forma de la onda fundamental y con los armónicos de onda

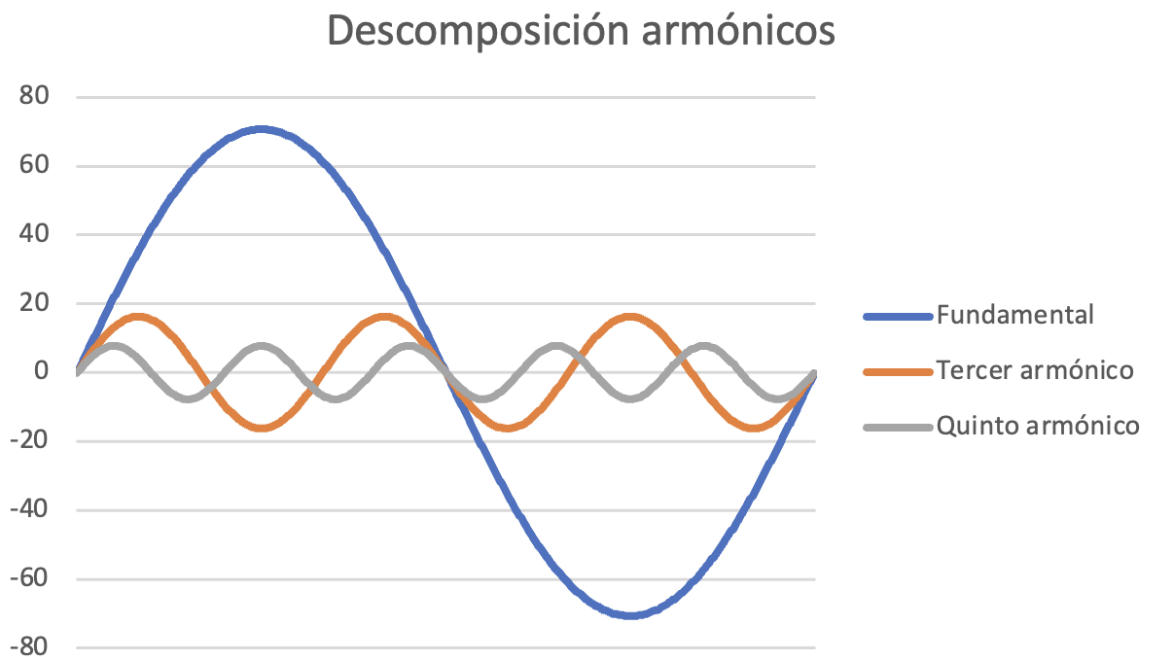


Figura 6.1. Gráfico de la onda fundamental y armónicos.

La presencia de armónicos en un sistema eléctrico genera, por tanto, una deformación de la onda de tensión o de corriente, lo que implica una distribución de energía eléctrica que podría provocar en los equipos un funcionamiento deficiente. Debido a como se puede apreciar la forma de onda resultante genera un gran cambio frente a la fundamental.

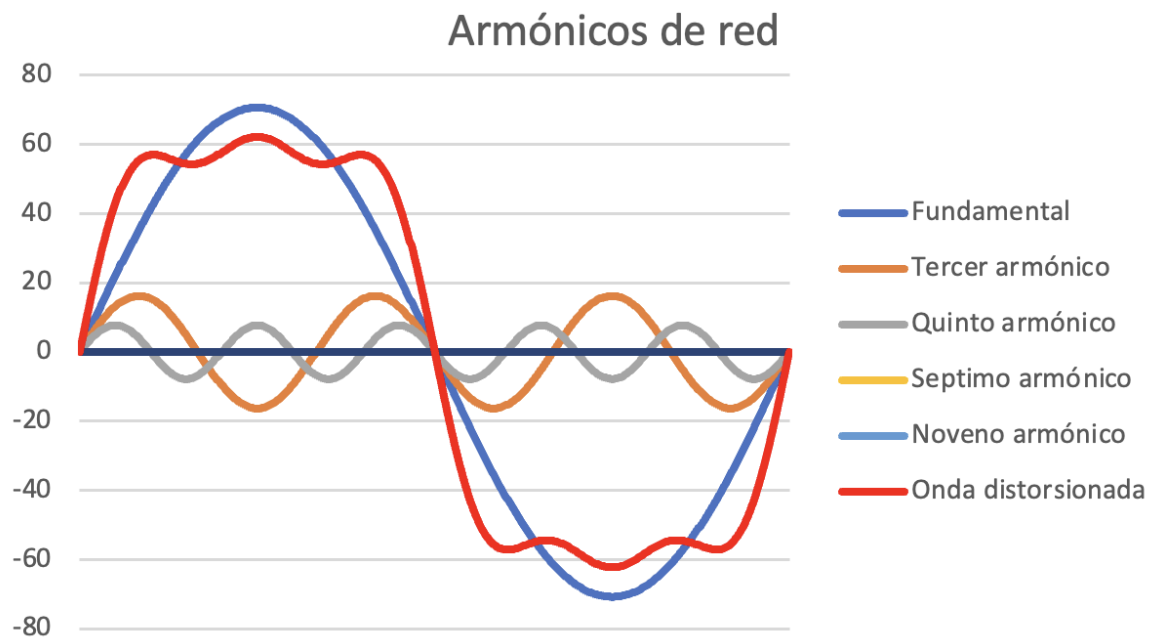


Figura 6.2. Gráfica de la distorsión de onda.

Por lo general, la distorsión de la forma de onda se debe a la presencia en el interior de los dispositivos, de impedancias no lineales o de tiempo variante o de puentes rectificadores cuyos dispositivos semiconductores conducen solo durante una fracción de todo el periodo, creando comportamientos discontinuos originando así la entrada de numerosos armónicos.

6.2 EFECTOS DE LOS ARMÓNICOS

- Sobrecargas

La presencia de armónicos en la red eléctrica puede producir un funcionamiento insólito de los equipos, como puede ser el generar sobrecargas en el conductor del neutro, provocar un aumento de las pérdidas en los transformadores, daños en el par de los motores, etc.

Los armónicos son el fenómeno que más daños causa a los condensadores de compensación, por lo que se sabe, la reactancia capacitiva es inversamente proporcional a la frecuencia; por tanto, la impedancia que se produce en los armónicos de tensión

disminuye al aumentar el orden de armónicos. Esto significa que los condensadores, al estar alimentados por una tensión inusual, pueden absorber una corriente con una magnitud que los podría dañar produciendo una disminución de su vida útil y fatiga en el dieléctrico.

- Resonancias

Se da un problema importante cuando la distorsión en línea alcanza unos valores elevados, generando así un peligro de resonancia entre el sistema de corrección (capacidad equivalente a los condensadores) y la inductancia equivalente de la red.

Se llega a presentar resonancia cuando la reactancia inductiva y la capacitiva igualan sus valores. Por eso se llama circuito resonante en serie cuando la inductancia y la capacidad estén conectadas en serie, mientras que será circuito resonante en paralelo siempre que la inductancia y la capacidad se encuentren situadas en paralelo. La resonancia solo tiene lugar a una frecuencia concreta, se llama con el nombre de frecuencia de resonancia. Se puede calcular a través de la siguiente fórmula y con ese resultado obtendríamos en que armónico se podría producir.

$$f_r = \frac{1}{2 * \pi * \sqrt{L * C}} = f * \sqrt{\frac{S_{cc}}{Q}} \quad (6.1)$$

En una misma red eléctrica nos podemos encontrar tanto con resonancia en paralelo como con resonancia en serie, además de tener lugar a la misma frecuencia de resonancia.

Si nos encontramos con un circuito resonante en serie que recibe alimentación de tensión alterna con una frecuencia próxima a la frecuencia de resonancia, puede darse el caso de una ampliación de corriente absorbida que genere perturbaciones, sobrecorriente, e incluso generar daños en los componentes de la red. Por el contrario, si un circuito resonante en paralelo recibe alimentación de armónicos de corriente de cargas de distorsión, podría tener lugar una sobretensión en el armónico de resonancia.

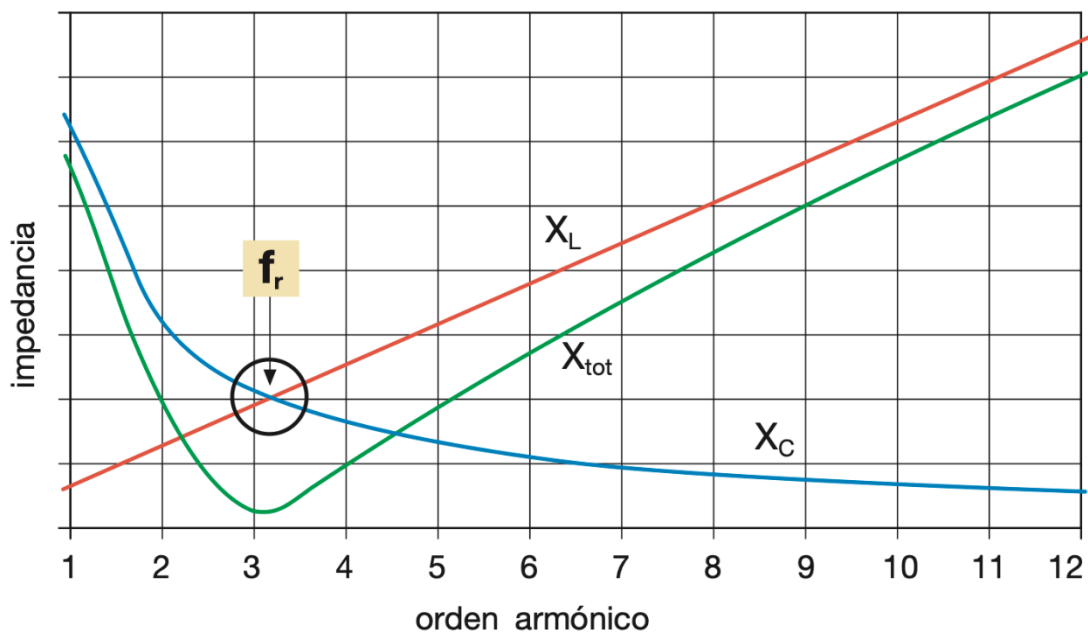


Figura 6.3. Comportamiento reactancia capacitiva.

En el anterior gráfico se puede observar el comportamiento de la reactancia capacitiva (decreciente con el orden de armónicos), la reactancia inductiva (creciente con el orden de armónicos) y la resistencia total en serie de la red, que como se puede ver alcanza el valor mínimo coincidiendo con el valor de resonancia (cuando la reactancia capacitiva es igual a la inductiva).

Precisamente al aumentar la distorsión entre la tensión y la impedancia a la frecuencia de resonancia, hace que la batería de condensadores absorba una mayor corriente armónica, produciendo así un mayor calentamiento de los condensadores, terminando por dañarlos con relativa rapidez en función de la severidad de la resonancia.[10]

Para evitar este fenómeno de resonancia y, por tanto, para que la vida útil del condensador no se vea reducida, es necesario que la red tenga una frecuencia de resonancia lo más dispar posible de la de los armónicos presentes.

6.3 SOLUCIONES

Se deben buscar soluciones para minimizar la presencia de armónicos en nuestras instalaciones, con el fin de lograr evitar disparos innecesarios en las protecciones y garantizar el buen funcionamiento de los equipos contribuirá a mantener continuidad en el servicio, esencial en toda actividad industrial, ahorros notables en el mantenimiento de los equipos y obtener una seguridad en las instalaciones eléctricas, ya que es una prioridad.

Los métodos para poder reducir los armónicos se pueden clasificar de manera genérica en tres apartados: filtros pasivos; transformadores de aislamiento; soluciones activas. Cada una de estas tendrá sus ventajas e inconvenientes, por lo que no hay una solución que por sí sola se pueda considerar la mejor, para ello, se debe realizar un estudio completo del problema.[11]

- Filtros pasivos

Los filtros pasivos son empleados para establecer un camino de baja impedancia para las corrientes armónicas de forma que estas, circulen por el filtro y no por la fuente de alimentación. El filtro puede diseñarse para un único armónico o para una banda de armónicos, depende de las exigencias del sistema.

La función de este filtro es la de igualar la frecuencia de resonancia total a la frecuencia del armónico que se desea eliminar. Este filtro se determina en cada caso en función del armónico concreto que necesita ser filtrado, es económico al tiempo que fácil de concretar y de poner en funcionamiento.

- Filtros activos

Los filtros pasivos solo son adecuados para las frecuencias armónicas para los que han sido diseñados, no obstante, hay instalaciones en las que el contenido de armónicos es impredecible y con cambios constantes como pueden suceder en instalaciones informáticas. Una solución adecuada para estas instalaciones podrían ser los filtros activos.

Estos son un dispositivo conectado en paralelo. Un transformador de intensidad mide el contenido de armónicos de la corriente de carga y controla un generador de corriente que produce una réplica exacta de los mismos de signo opuesto, que es enviada a la fuente de

alimentación en el ciclo siguiente. Como la corriente armónica es compensada por el filtro activo, sólo la corriente fundamental procede de la fuente de alimentación.

7 ARDUINO

Arduino es una plataforma de creación de electrónica de código abierto, la cual está basada en hardware y software libre, flexibles y de fácil uso para la creación de diferentes prototipos. Al ser open-hardware puede emplearse para realizar cualquier tipo de proyecto sin haber adquirido ninguna licencia.



Figura 7.1 Ilustración del logotipo de Arduino.

El hardware libre son los dispositivos cuyas especificaciones y diagramas son de uso público, de manera que cualquiera puede contradecirlos. Esto implica que, Arduino ofrece las bases para que cualquier persona o empresa pueda crear sus propias placas, pudiendo ser diferentes entre ellas, pero igualmente funcionales al partir de la misma base.

Mientras que el software libre son los programas informáticos cuyo código es accesible por cualquiera que quiera utilizarlo y modificarlos. Por eso Arduino ofrece la plataforma Arduino IDE,

que es un entorno de programación en el que cualquiera puede crear aplicaciones para las placas de Arduino y así poderle dar todo tipo de utilidades.

Este proyecto nació en 2003, cuando unos estudiantes del Instituto de Diseño Interactivo de Ivrea, Italia, con el fin de poder facilitar el acceso y distinto uso de la programación y electrónica. Fue creado para que los estudiantes tuviesen una alternativa más económica.

Este resultado fue Arduino, una placa con todos los elementos necesarios para poder conectar periféricos de entrada y salidas de un microcontrolador, y que puede ser programado en distintos sistemas operativos como Windows, macOS y Linux.

7.1 ARDUINO MEGA 2560

La Mega 2560 es una placa electrónica basada en el Atmega2560. Cuenta con 54 pines digitales de entrada / salida (de los cuales 15 se pueden utilizar como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (puertos serie de hardware), un oscilador de 16MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un conector ICSP, y un botón de reset. Contiene todo lo necesario para apoyar el microcontrolador; basta con conectarlo a un ordenador con un cable USB o a la corriente con un adaptador de CA a CC o una batería para empezar. La placa Mega 2560 es compatible con la mayoría de los shield para el Uno y las placas anteriores Duemilanove o Diecimila.

El Mega 2560 es una actualización de la Arduino Mega, al que sustituye. Esta placa es el hermano mayor del Arduino UNO y es ideal para proyectos más grandes, tales como controlar grandes cantidades de sensores en proyectos de domótica o control de robots.[12]

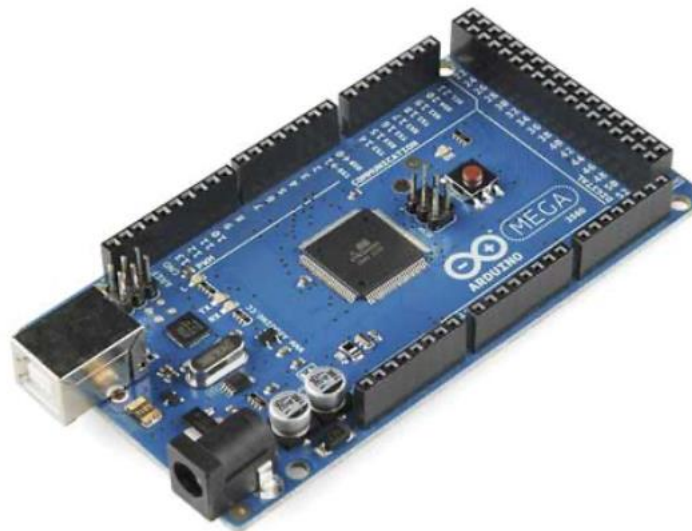


Figura 7.2 Arduino MEGA2560.

Características generales:

- Microcontrolador: ATmega2560
- Voltaje de operación: 5V
- Voltaje de entrada recomendado: 7-12 V

- Voltajes de entrada mínimo y máximo: 6-20 V
- Pines de E/S digital: 54 (de los cuales 15 son salida PWM)
- Pines de entrada analógica: 16
- Corriente CC por cada pin de 3.3V: 50 mA
- Memoria Flash: 256KB, de los cuales 8KB son usados por el gestor de arranque (bootloader)
- SRAM: 8 KB
- EEPROM: 4 KB
- Frecuencia de reloj: 16 MHz
- Longitud: 101,52 mm
- Ancho: 53,3 mm
- Peso: 37 g

7.1.1 COMPONENTES PRINCIPALES

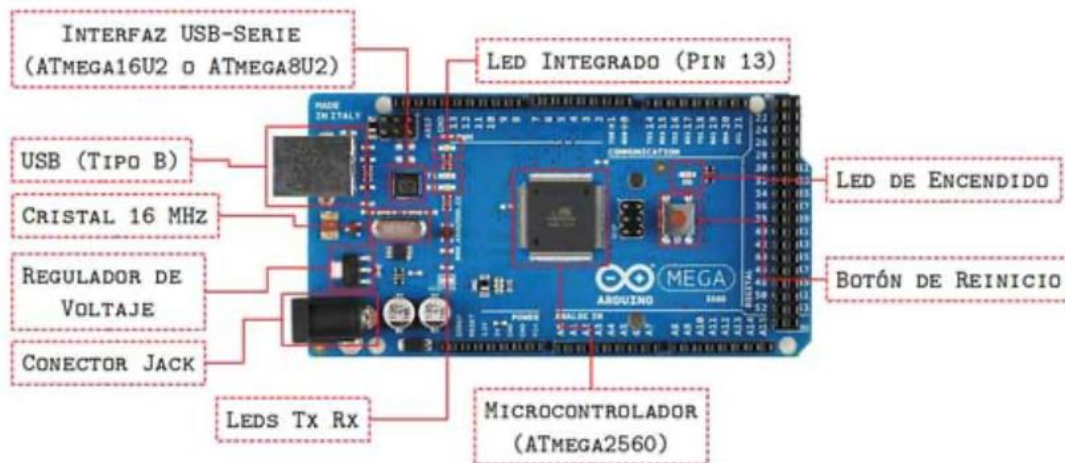


Figura 7.3 Componentes principales del Arduino MEGA2560.

- Microcontrolador ATmega2560

Como se ha comentado, el ATmega2560 es el cerebro del instrumento que se está describiendo, el Arduino MEGA2560. Como se puede observar el microcontrolador se encuentra en el centro de la placa del Arduino, debido a que es la pieza fundamental a

la que se encuentran conectados prácticamente todos los pines como se puede observar a continuación:

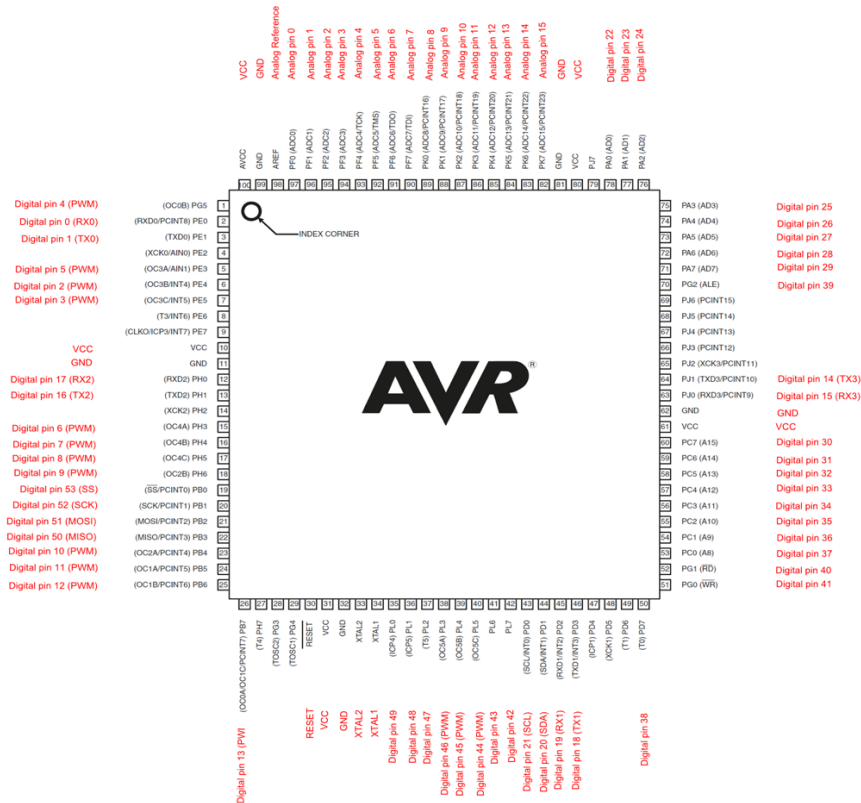


Figura 7.4 Mapeado de pines del microcontrolador ATmega2560.

Las características más importantes del elemento son:

- 256 kB de memoria FLASH (espacio disponible para almacenar el programa o sketch)
- 8 kB de memoria SRAM (donde se crean las variables declaradas en el programa)
- 4 kB de memoria EEPROM (permite almacenar los datos, aunque se reinicie o haya un fallo en la alimentación)
- Frecuencia de CPU Máxima: 16 MHz
- Voltaje de operación máximo: 6.0 V (lo recomendable es no pasar de 5 V)

- Conector USB

Al igual que su hermano pequeño el Arduino UNO, el Arduino MEGA2560 cuenta con un conector USB tipo B que puede ser utilizado para las siguientes dos funciones:

- Alimentar la placa utilizando los 5 V que son proporcionados por el ordenador.
- Para cargar un sketch al microcontrolador utilizando la interfaz USB-Serie.

- Conector Jack

Es un conector de centro positivo. Su función es alimentar la placa cuando no este conectada al ordenador o se utilice una alimentación superior a los 5 V.

La alimentación que se debe aplicar en este conector debe estar entre los 7 y 12 voltios. Esto se debe al regulador de voltaje empleado que explicaremos a continuación

- Reguladores de Voltaje

Son los encargados de garantizar que el Arduino reciba un voltaje adecuado para el resto de los componentes del sistema. Este Arduino Mega2560 contará con dos reguladores de voltaje.

El regulador LD1117S50 es el principal y el encargado de garantizar la alimentación del microcontrolador y de los pines +5V presentes en los cabezales de la placa. Esta, toma un voltaje desde el conector Jack o el pin VIN y ofrece una salida de 5V.

Es capaz de ofrecer hasta 800 mA de corriente. También, cuenta con una protección ante corto circuito y sobrecalentamiento, que lo hacen un componente robusto y virtualmente muy difícil de dañar.

Además, cuenta con un LP2985-33DBVR. Este es un regulador de voltaje que ofrece una salida de 3.3 voltios y está conectada al pin 3.3 V. Su principal función es alimentar componentes externos que requieren alimentación particular.

Es elemento puede ofrecer una corriente máxima de 150 mA (se recomienda no exceder de los 50 mA), por ello hay que tener sumo cuidado con él dado que, no está pensado para grandes consumos.

- Interfaz USB-Serie

Es el encargado de establecer un puente en entre el ordenador y el microcontrolador ATmega2560 para permitir la programación de este último. Este Arduino a diferencia de otras placas, utiliza un microcontrolador ATmega8U2 o ATmega16U2 para realizar esta función.

La presencia de este microcontrolador extra ofrece una ventaja importante. Este se podría usar como un microcontrolador completamente funcional y no solo como un conversor USB-serial. Esto podría permitir usar ambos microcontroladores en la misma placa.

- Cristal oscilador

Es un componente que genera variaciones de voltaje a una frecuencia muy precisa, en este caso 16MHz. Este es utilizado por ATmega2560; es un oscilador de cuarzo para generar las correspondientes señales de reloj.

Se conecta a los correspondientes pines XTAL1 y XTAL2 de los microcontroladores, que internamente están conectados a un circuito especial llamado oscilador. Este circuito toma variaciones de voltaje para generar una onda cuadrada a su misma frecuencia.

Esta onda cuadrada es llamada señal de reloj, como se nombró anteriormente, y determina que tan rápido el microcontrolador ejecutará las operaciones que hemos programado. De este modo se utiliza un cristal de 10MHz, el microcontrolador realizará 10 millones de instrucciones por segundo. En este caso el cristal generará variaciones a una frecuencia de 16MHz por ser la máxima admisible por el microcontrolador.

- Leds

La placa cuenta con 4 Leds:

- **LED ON:** Este LED se enciende cuando la placa es alimentada, por lo tanto, indica si la placa está siendo alimentada correctamente.
 - **LED Tx:** Está conectado al pin TX (1) y pestañea cuando el Arduino transmite información al monitor serie. Esto permite comprobar de forma simple si la placa está realmente transmitiendo información.
 - **LED Rx:** Está conectado al pin RX (0) y pestañea cuando la placa recibe información del monitor serie. De este modo se puede comprobar si realmente se está efectuando la comunicación.
 - **LED Integrado:** Este LED está conectado al pin digital 13 y es denotado como **LED_BUILTIN**. Para encenderlo/apagarlo es necesario poner este pin con un estado alto (HIGH)/bajo (LOW).
-
- Botón de reinicio
- Este botón permite que se reinicie el sistema. Esto significa que todo código que se ha programado será ejecutado nuevamente, tal y como si el sistema se hubiese conectado a la corriente por primera vez.[13]

7.1.2 PINES DEL ARDUINO

Este modelo de Arduino cuenta con un total de 54 pines para entradas y salidas digitales, mientras que 16 pines son para entradas y salidas analógicas. Para poder suministrar energía tanto al Arduino como a los dispositivos conectados con Arduino Mega 2560, hay 9 pines, incluidos en estos los pines para proporcionar la señal de referencia para dispositivos analógicos y digitales. Para el apartado de la comunicación, este contará con los pines SCL y SDA, sin embargo, también podemos usar los pines 21 y 20 para SCL y SDA.[14]

- PINES DE ALIMENTACIÓN

El Arduino Mega 2560 incorpora 10 pines para operar los dispositivos conectados, en los que hay tres pines para tierra, un pin para 5 voltios, un pin para 2,2 voltios y dos pines para proporcionar el voltaje de referencia para dispositivos analógicos y digitales.

Contamos con un pin para reiniciar el Arduino. Sin embargo, también tenemos un botón reset en el tablero.

Para conectar la placa de Arduino a la corriente se dispone de un puerto USB y un conector. El puerto USB se puede utilizar para conectar la placa y a la vez cargar el código de Arduino. El conector previsto para el suministro es utilizado solo cuando el Arduino tiene que funcionar de forma independiente.[14] En la siguiente imagen se aprecia lo explicado:

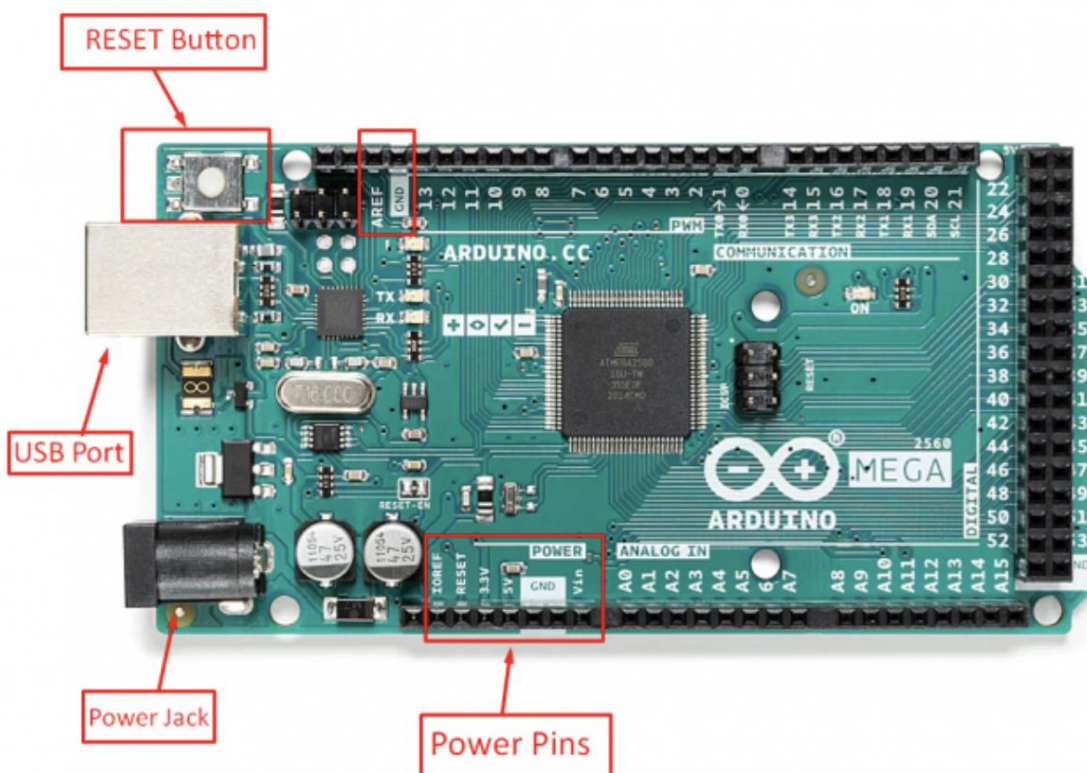


Figura 7.5. Pines de alimentación.

- PINES ANALÓGICOS

Dicho instrumento cuenta con 16 pines analógicos provistos, que son utilizados para conectar los dispositivos analógicos y establecen una resolución de 0 a 1024. Esto significa que los valores se encontrarán situados en ese rango y en términos de voltaje el valor 1024

coincidirá con la máxima entrada de 5 voltios. Se adjunta una figura donde se muestra la ubicación de los pines analógicos:

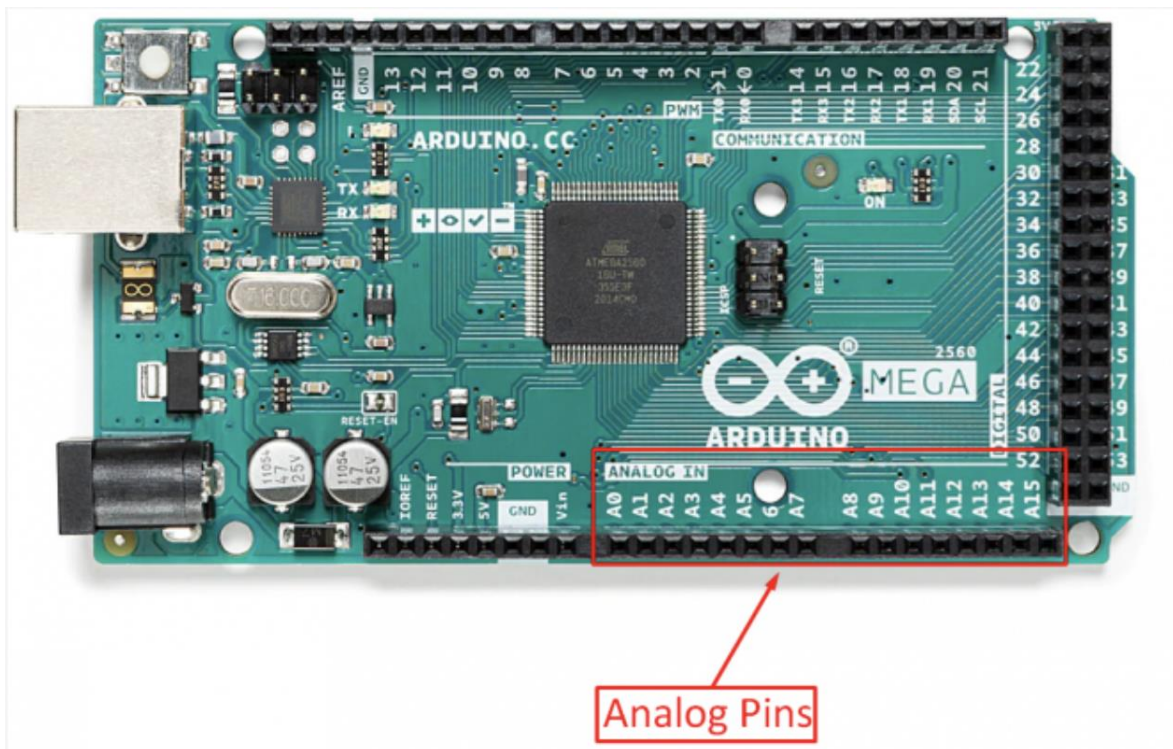


Figura 7.6. Pines analógicos.

- PINES DIGITALES

Para poder conectar los pines digitales con el Arduino se cuentan con 54 pines en los que el 0 (RX0) y 1 (TX0) son para transmitir y recibir datos. Como son entradas digitales los datos estarán en forma de binaria. De igual forma, se pueden usar los pines del 2 al 13 de la placa, ya que estos pines están dedicados PWM y el ciclo de trabajo del pulso es de 0 a 255 (0V - 255V).

Se cuenta con dos pines dedicados, junto al pin AREF, que se pueden usar para la línea de datos y el reloj de los dispositivos I2C. Igualmente, se pueden usar los pines 20 y 21 como SDA (el pin es la línea de datos para el dispositivo conector) y SCL (el pin del reloj del dispositivo conector) para dispositivos que utilizan los protocolos de comunicación I2C y TWI.[14]

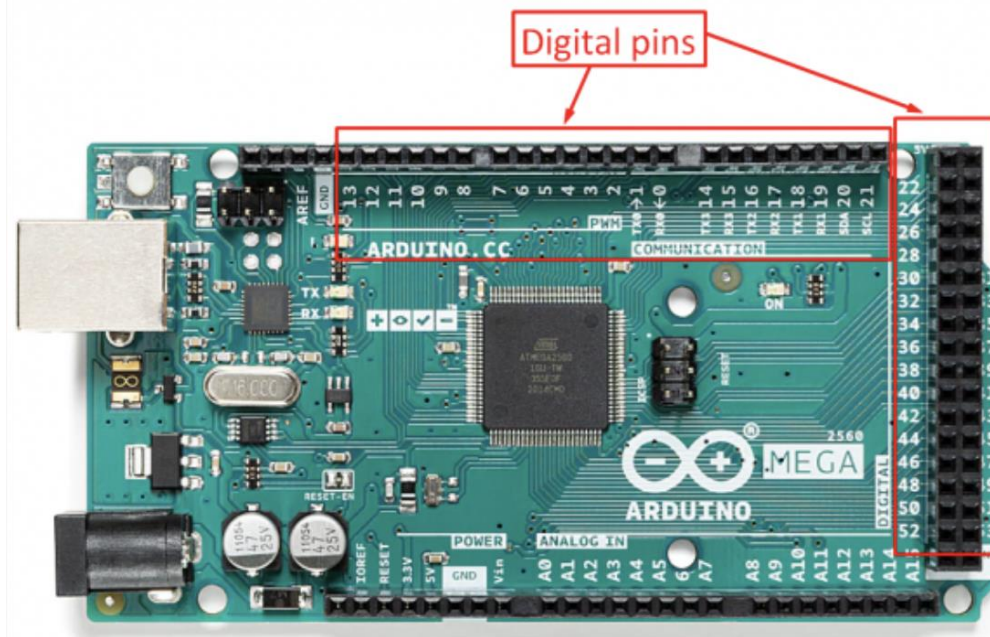


Figura 7.7. Pines digitales.

7.2 FUNCIONES BÁSICAS DE PROGRAMACIÓN

La programación de Arduino consta de una estructura básica, simple y la ejecución se divide en dos partes:

- `Setup()`: Esta constituye la preparación del programa. En esta función se incluye la declaración de las diferentes variables que se utilizarán; y se trata de una función que se ejecuta en el mismo programa. Es ejecutada una vez y se emplea para configurar el `pinMode` (si un determinado pin digital es de entrada o salida) e inicializar la comunicación en serie.
- `Loop()`: Incluye el código que va a ser ejecutado continuamente.

El sistema Arduino está basado en la programación en C y este puede soportar todas las funciones estándar de C y algunas de C++.

8 DISEÑO DEL COMPENSADOR AUTOMÁTICO.

En este proyecto se implantará el desarrollo de un sistema capaz de reducir la potencia reactiva de la red eléctrica de forma automática.

Este diseño fue realizado con dos softwares diferentes, como son Matlab y Arduino. En el software de Matlab, un programa de cálculo matemático, se desarrolla una maqueta de lo que se quiere implementar posteriormente en Arduino donde se realizará diseño aproximado a la realidad.

8.1 MATLAB

Este es un sistema de computación y desarrollo de aplicaciones totalmente integrado orientado para llevar a cabo proyectos en donde se encuentren implicados elevados cálculos matemáticos y la visualización gráfica. Ofrece un entorno de desarrollo integrado (IDE) con un lenguaje de programación propio. Este lenguaje es interpretado, y puede ejecutarse tanto en el entorno interactivo, como a través de un archivo de script (archivos *.m).

8.1.1 SOFTWARE

- Generación de las ondas.

Lo primero que se necesita es la generación de las ondas, tanto de tensión como de intensidad. Para ello se utiliza la fórmula de una onda sinusoidal, vista en el marco teórico. Como es una representación, los valores del desfase se introducen como variables fijas, en este caso se encuentra la tensión 20° respecto a la intensidad.

```

desfaseTension=0;
desfaseIntensidad=desfaseTension-(pi/9);

t=0:0.001:0.1;
V=Av*sin(2*pi*50*t+desfaseTension);
I=Ai*sin(2*pi*50*t+desfaseIntensidad);

hold on
plot(t,V);
plot(t,I);
hold off

```

A través de la función Plot, generamos una gráfica con las ondas de tensión e intensidad.

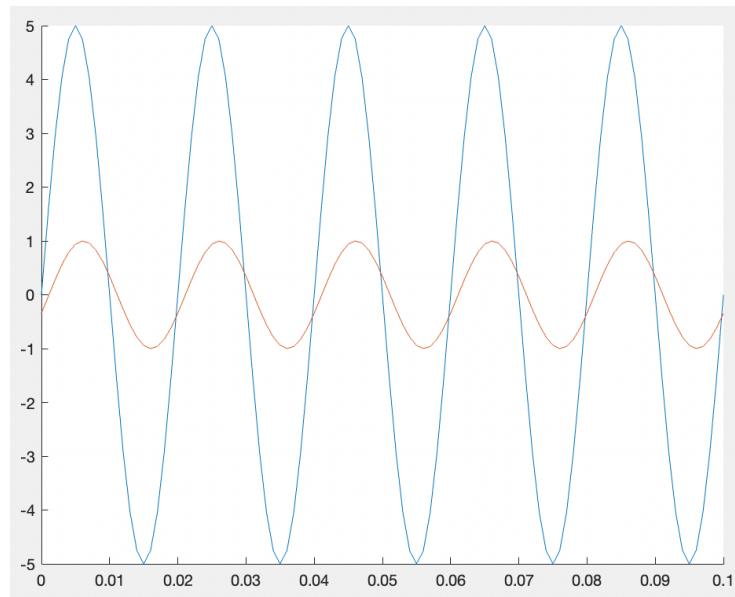


Figura 8.1. Ondas de tensión e intensidad.

Se realiza con una frecuencia de 50 Hz, intentando conseguir una máxima similitud con la realidad. Esto genera un tiempo de 0,02 segundos por onda. En la gráfica mostrada se aprecia con claridad.

- Lectura de datos

Los valores de ambas ondas se leen a través de un bucle for. Una vez leídos los valores son almacenados en los vectores, valoresTensión y valoresIntensidad.

```

valoresTension=(1:n);
valoresIntensidad=(1:n);

for i=1:n
    valor=Av*sin(2*pi*50*i*0.002+desfaseTension);
    valoresTension(i)=valor;
end
for i=1:n
    valor=Ai*sin(2*pi*50*i*0.002+desfaseIntensidad);
    valoresIntensidad(i)=valor;
end

```

Teniendo todos los valores de la onda en los vectores, se calcula el instante de tiempo que cada una de las ondas traspasa el eje x con la realización de un bucle for. Se establece como condición que un valor sea menor que cero y el siguiente sea mayor/igual que cero, o viceversa, revisando así todos los valores guardados en los vectores tanto para la intensidad como para la tensión. De esta forma y haciendo una interpolación de los valores se consigue el instante más aproximado posible en el que la onda cruza el eje x.

Tanto los tiempos de la onda de tensión como los de la onda de intensidad, son almacenados en unos nuevos vectores creados, nombrados por tiemposCeroTensión/intensidad.

```

for i=1:(n-1)
    if ((valoresTension(i)<0 && valoresTension(i+1)>=0) || (valoresTension(i)>0 && valoresTension(i+1)<=0))
        tiempo=(i+1)*0.002;
        if(valoresTension(i+1)~=0)
            y=valoresTension(i);
            x=i*0.002;
            y1=valoresTension(i+1);
            x1=(i+1)*0.002;
            b=0;
            tiempo=x-(((x-x1)*(y-b))/(y-y1));
        end
        tiemposCeroTension(contador)=tiempo;
        contador=contador+1;
    end
end

for i=1:(n-1)
    if ((valoresIntensidad(i)<0 && valoresIntensidad(i+1)>=0) || (valoresIntensidad(i)>0 && valoresIntensidad(i+1)<=0))
        tiempo=(i+1)*0.002;
        if(valoresIntensidad(i+1)~=0)
            y=valoresIntensidad(i);
            x=i*0.002;
            y1=valoresIntensidad(i+1);
            x1=(i+1)*0.002;
            b=0;
            tiempo=x-(((x-x1)*(y-b))/(y-y1));
        end
        tiemposCeroIntensidad(contador)=tiempo;
        contador=contador+1;
    end
end

```

Para llegar a saber el desfase que hay entre ambas ondas, se calcula la diferencia de tiempo que hay entre el paso por cero de la tensión y el paso por cero de la intensidad. Esto se realiza con todas las diferencias de los pasos por cero, ya que, al hacer la interpolación no van a ser siempre el mismo valor. Una vez que se calcula un vector con todos los valores calculamos la media para más aproximación.

```

for i=1:100
    tiemposDesfase(i)=tiemposCeroTension(i)-tiemposCeroIntensidad(i);
    suma=suma+tiemposDesfase(i);
end
media=suma/100;

```

Con la diferencia de tiempo entre la onda de tensión y la de intensidad, con una simple relación entre grados y tiempos, se puede obtener el ángulo de desfase generado y con ello el $\cos\varphi$.

Calculamos los valores que se necesitan para conseguir llegar a lo que realmente nos interesa, que no es menos que la capacidad de los condensadores que necesitaríamos introducir para disminuir el $\cos\varphi$ en este caso, un valor ideal como es la unidad.

```
ampIntensidad=suma/20;
pAparente=Av*76*ampIntensidad*100;
pReactiva=pAparente*sin(phi);
pActiva=pAparente*cos(phi);
impedancia=pAparente/(ampIntensidad*100)^2;
reactancia=impedancia*sin(phi);
capacidad=1/(reactancia*2*pi*50);
```

Se necesitan mostrar en pantalla los resultados obtenidos, por lo que todas las variables que necesitemos imprimir lo realizaremos con la función `disp(variable)`; Esto serían los resultados para el ángulo utilizado de 20 grados:

```
ampIntensidad=suma/20;
pAparente = Av*76*ampIntensidad*54,63;
pReactiva=pAparente*sin(phi);
pActiva=pAparente*cos(phi);
capacidad=pReactiva/(((Av*76)^2)*2*pi*50);
```

```
0.34792rad
19.93Grados
0.94cosphi
1.0008A
19305.384 + 7001.6217VA (20535.836-0.34792)
7001.6217VAr
0.00015434F
```

8.2 ARDUINO

En este apartado, se muestra el desarrollo de la maqueta diseñada, una maqueta que se cree que es posible de medir ondas desfasadas de tensión e intensidad reales, siempre y cuando este adecuada la señal a la entrada que permite Arduino.

8.2.1 SOFTWARE

Un programa es un conjunto concreto de instrucciones que tienen como objetivo obtener un resultado, mediante instrucciones, agrupadas y ordenadas de forma adecuada.

El software de Arduino es un IDE (entorno de desarrollo integrado o Integrated Development Enviroment). Se está hablando de un programa informático comprendido por un conjunto de herramientas de programación.

El IDE de Arduino es un entorno de programación definido como un programa de aplicación; consta de editor de código, depurador, compilador y constructor de interfaz gráfica, además incorpora las herramientas necesarias para cargar el programa previamente compilado en la memoria flash que forma parte del hardware.

Las principales misiones que puede realizar el IDE de Arduino entre otras serán las de creación y modificación de proyectos con un desarrollo de software, implementación y compilación del código fuente y la ejecución y depuración del programa desarrollado.

Los IDE se caracterizan por entornos de programación sencillos. Se podrá observar que todos los IDE presentan una apariencia similar lo que lleva a una mejor adaptación de los desarrolladores a la hora de utilizarlos. En el caso de Arduino, necesitaremos un IDE que nos permita escribir y editar nuestro programa, que se llamara sketch.

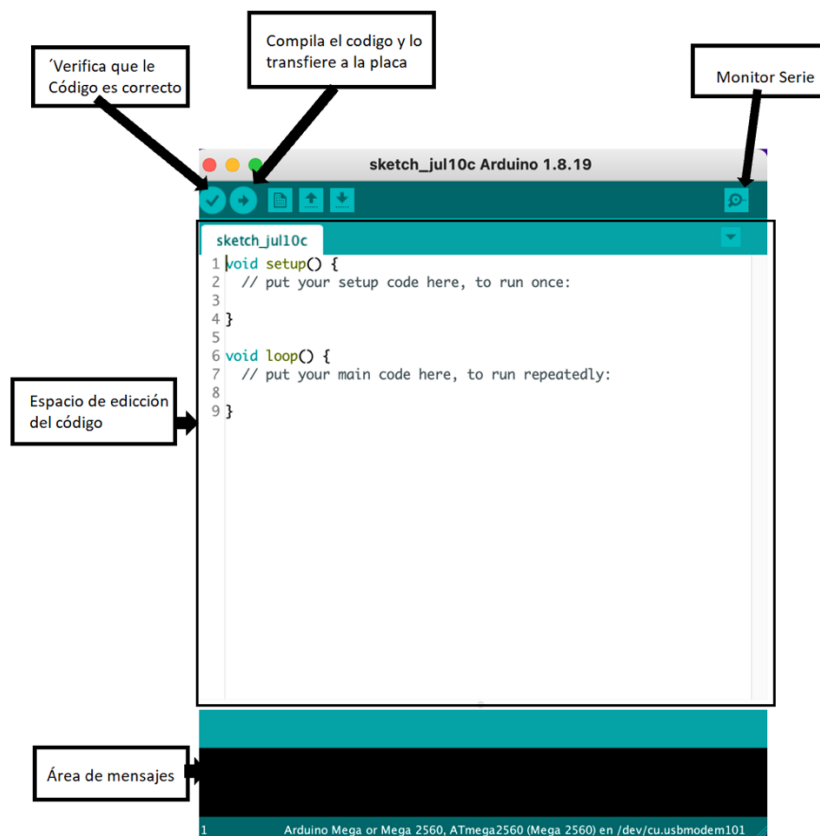


Figura 8.2. Estructura del IDE de Arduino.

El espacio de edición es donde se escribirá el código del software. Otra sección importante es el área de mensajes, en donde el compilador le informa al usuario de posibles errores en el código.

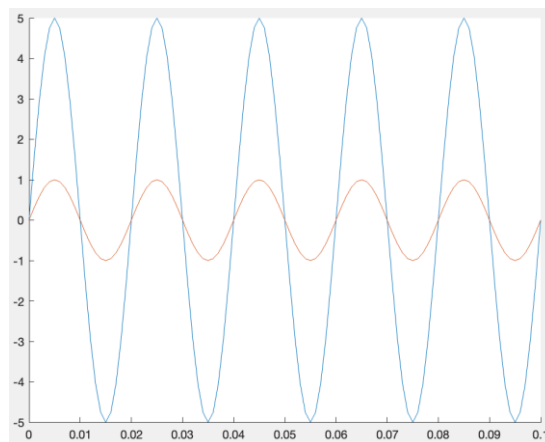
Para desarrollar los sketches se debe instalar en el ordenador el IDE que nos proporcione el proyecto de Arduino.

8.2.2 METODOLOGÍA DE MEDICIÓN

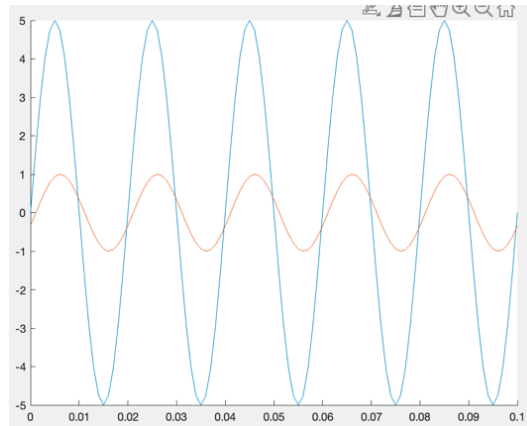
El factor de potencia es la relación que existe entre la potencia activa utilizada en el sistema y la potencia aparente obtenida de las líneas de alimentación. En termino general es el desfase que hay de la tensión respecto de la intensidad.

De este modo se analizan las formas de onda de la tensión y la intensidad, que pueden ser representadas gráficamente por medio de dos sinusoides.

Para un circuito completamente con carga resistiva nos encontramos que las ondas no tienen ángulo de desfase:



Mientras que para un circuito con carga inductiva que es lo que sucede en la mayoría de las industrias nos encontramos que la intensidad esta retrasada respecto de la tensión.



Estas dos ondas se van a generar a través de una simulación con el sonido y de ellas se van a sacar los datos necesarios para así poder corregir el factor de potencia.

8.2.2.1 GENERACIÓN Y TRANSMISOR DE ONDAS

Debido a la imposibilidad de poder desarrollar el proyecto en un laboratorio, se ha desarrollado una similitud a la realidad, ondas con cierto desfase. Estas ondas se han generado a través del programa Audacity, es un editor de música.

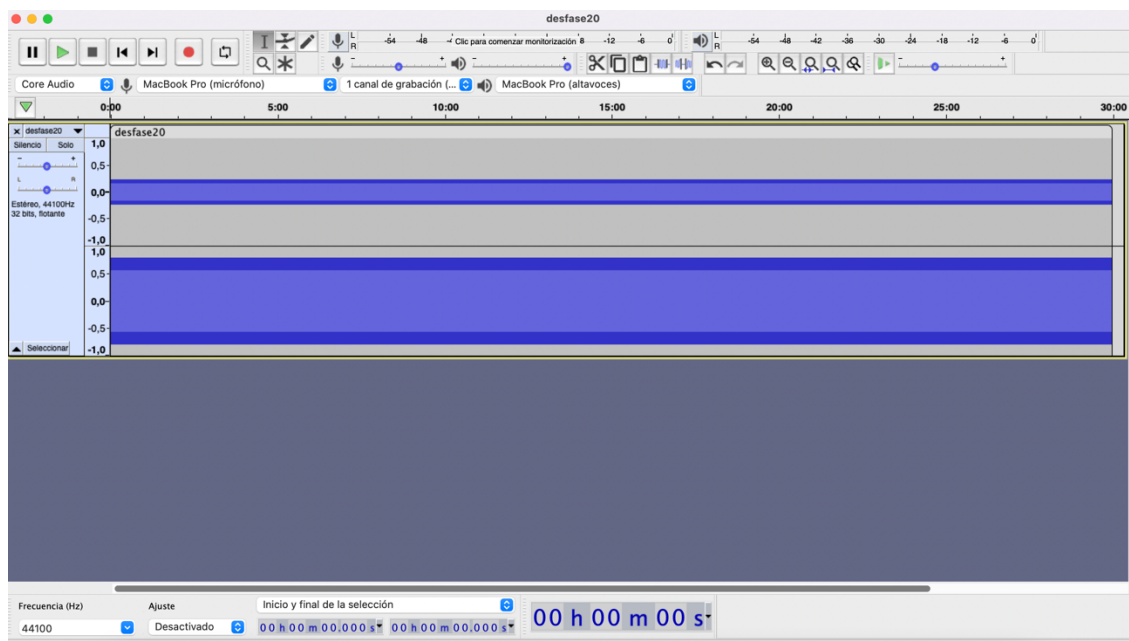


Figura 8.3. Interfaz del Audacity

Se han realizado diferentes archivos de sonido con diferentes grados de desfase entre las ondas, entonces por la salida del auricular L, se ha generado la simulación de la onda de tensión con un voltaje de entorno a 1,156V. No se ha podido aumentar más el volumen

para generar más amplitud (Arduino como máximo podrían entrar 5 V), ya que distorsionaba la onda. La onda simulada de intensidad llegaba a un valor máximo entorno a 0,335V. Se han creado con una frecuencia de 50 Hz.

El instrumento utilizado para realizar la unión del voltaje originado por el sonido de la salida de auriculares y el Arduino es el siguiente:



Figura 8.4. Transmisor de señal del ordenador al Arduino.

8.2.2.2 LECTURA DE LOS VALORES

Este ha sido el proceso más costoso de todo el estudio, debido a la dificultad que acarrea hacer una lectura dinámica en Arduino a ondas con frecuencia alta como son los 50Hz.

Primeramente, se ha utilizado la lectura normal que conllevaba al comando básico, que es `analogRead()`, pero se vio que este era demasiado lento leyendo los valores (realizaba a la vez muchas otras funciones), los valores que mostraba cuando generaba la simulación de la onda en pantalla era juntar valores diferentes ondas (cuando leía un valor y volvía a hacer el proceso para leer el siguiente valor había pasado varias ondas). Esto se debe a que una señal analógica puede tomar cualquier valor en un determinado intervalo entre positivo y negativo. Por ejemplo, estas señales obtienen valores entre 0V y 5V, como pueden ser 1,5V

3,83V y 4,24V, o cualquier otro valor con decimales que se encuentren en el rango. Debido a esto las entradas analógicas tienden a ser más lenta que las digitales.

Entonces lo que se hizo fue introducir los valores por las entradas analógicas, pero realizando la medición en el ADC, de tal forma que esto lo que crea es una medición codificada de un valor digital con un numero N de Bits.

El método escogido establece unos niveles dividiendo el valor del voltaje máximo a alcanzar que son 5V entre los 1024 niveles que tiene. Por lo que cada 0,0049 constaría de cada nivel en el eje Y (seria la amplitud de la onda). Mientras que en el eje X (Lecturas realizadas). Se ha conseguido hacer 4000 lecturas de valores por onda, pero se ha considerado que eran demasiado, puesto que al ser tan seguidas salían muchos valores en el mismo nivel para los valores que definen el eje Y, generaba una forma de onda muy desajustada. Por lo tanto, se decido que se coje un valor cada 32 valores leídos, desechando así el resto. Esto hace que finalmente se han utilizado 125 valores por onda, contando que realizamos la lectura de 1000 muestras conseguimos leer 8 ondas, con un tiempo por lectura aproximado a 0,00016 segundo. Es tiempo más que suficiente, el tiempo de la onda es de 0,02 segundo.

Aun con la reducción de lecturas se decide hacer una normalización de la onda, puesto que todavía sigue saliendo algún escalón en la onda que la hace algo defectuosa. Son demasiadas lecturas en poco tiempo y alguna vez sobre todo cuando llega a valores muy similares como es el valor pico se producen varios valores en el mismo nivel. Porque no llegan al siguiente escalón en ese tiempo de medición.

A continuación, se muestra un ejemplo de cómo se verían las ondas por el serial plotter de Arduino:

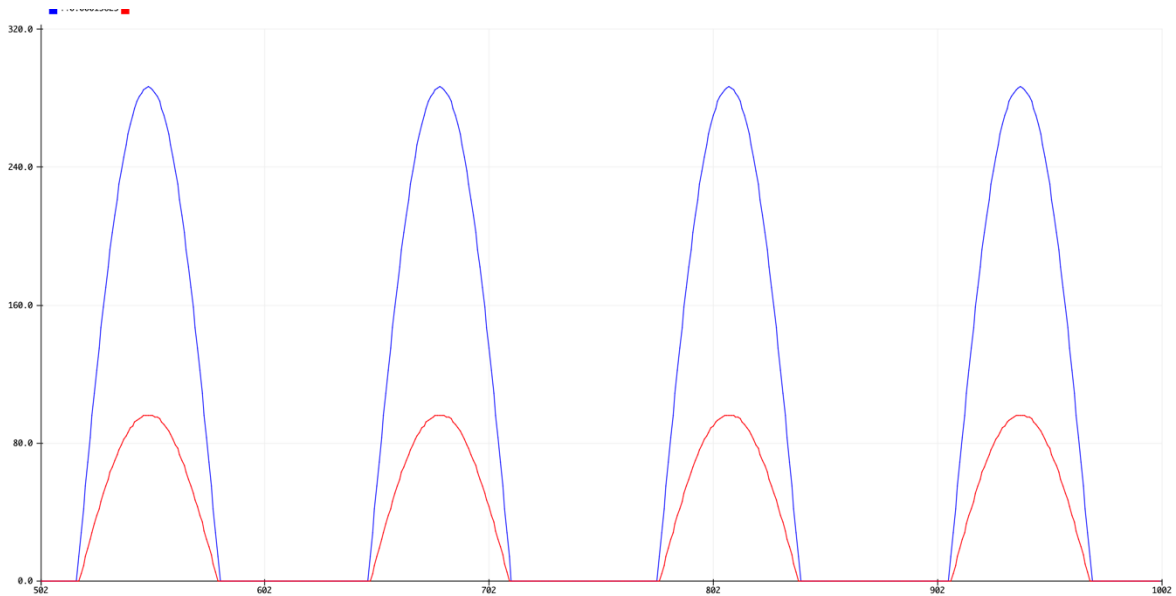


Figura 8.5. Ondas con desfase 0° .

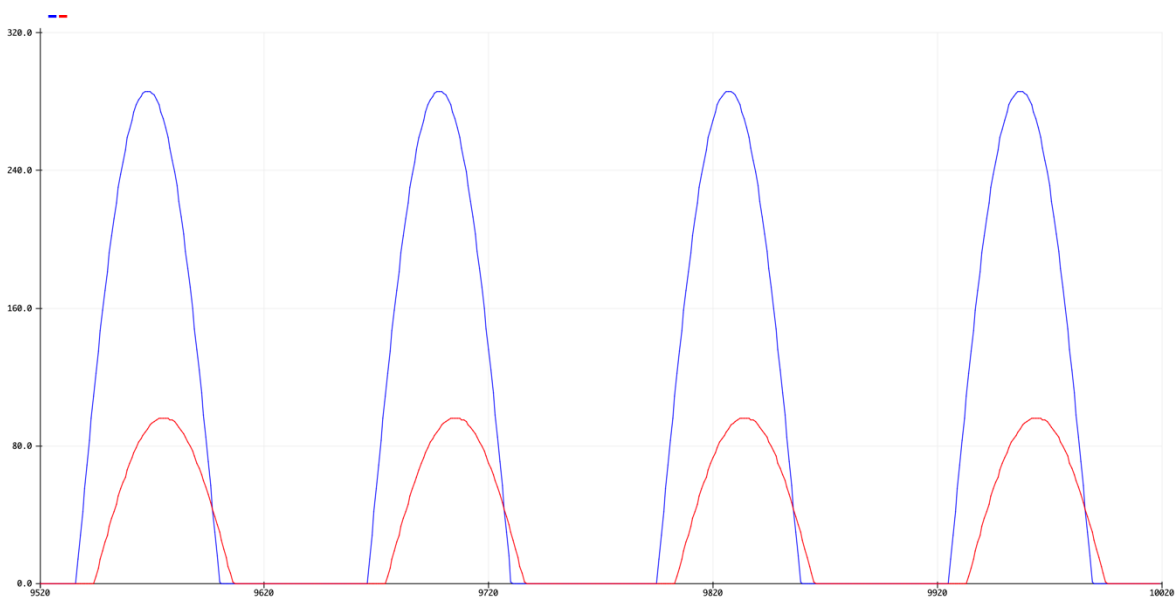


Figura 8.6. Ondas con desfase 20° .

Se aprecia en la ilustración que el Arduino no hace la onda completa, debido a que, no toma valores negativos. Con esa forma de onda nos sería suficiente para saber el factor de potencia. La onda Azul es la Tensión mientras que la roja es la intensidad que se encuentra adelantada respecto de la tensión.

Se comprueba que la onda mostrada por Arduino es correcta con un osciloscopio, se muestra una ilustración de como sería la onda real:

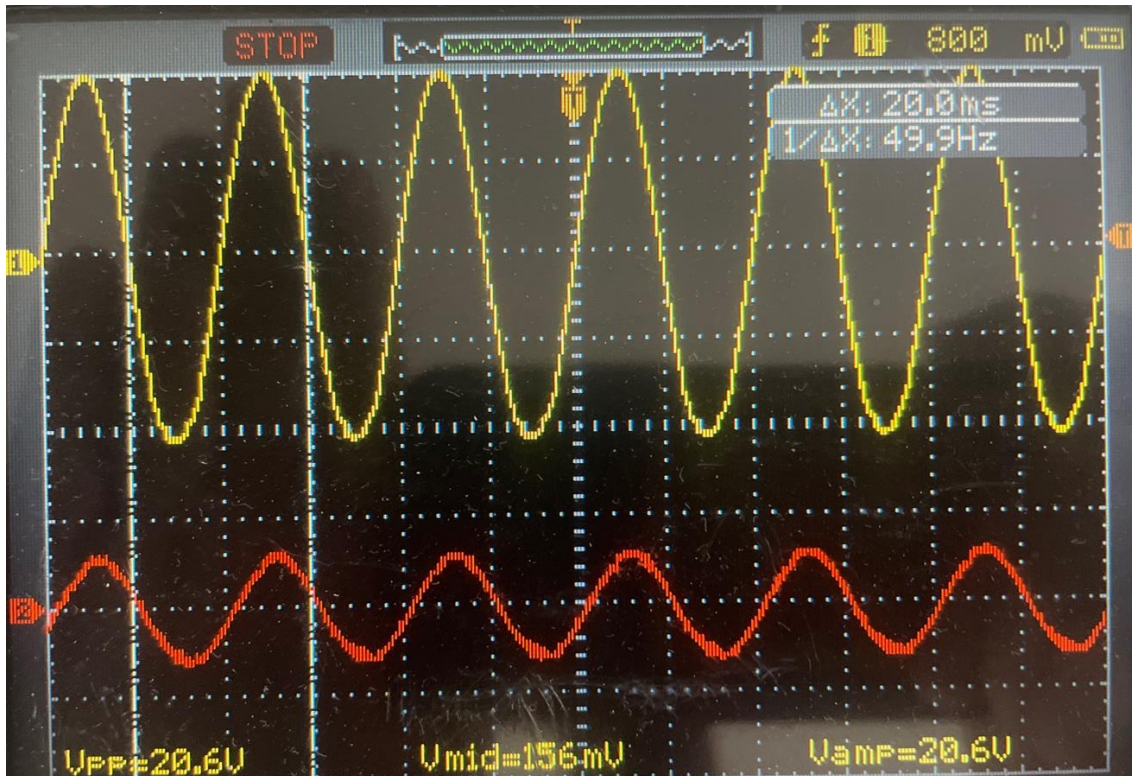


Figura 8.7. Ondas en osciloscopio.

8.2.2.3 CÁLCULO DEL FACTOR DE POTENCIA

Una vez que se ha conseguido leer todos los valores de las ondas de tensión e intensidad, se procede a conseguir el ángulo de desfase que hay entre ellas.

En este controlador automático se realiza una medición de 8 ondas como se explicó en el apartado anterior y para ello tomamos 1000 valores. El proceso para conseguir el $\cos\varphi$ es el siguiente.

Se capturan los valores del eje X en el cambio de 0 a un valor, no tenemos valores negativos.

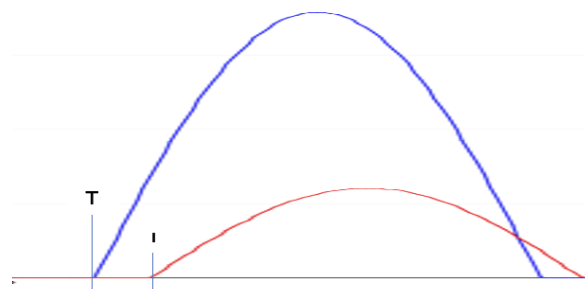


Figura 8.8. Cálculo del factor de potencia.

Se contabilizan 8 cambios en la onda de tensión y otros 8 en la onda de intensidad, los cuales serán almacenados en dos vectores diferentes. Una vez obtenido la posición donde la onda realiza el cambio, lo que se hace es restar la posición del primer cambio del vector de tensión respecto al primer cambio del vector de intensidad, así se consigue las posiciones que hay de diferencia en el intervalo de las dos ondas

Como tenemos 8 ondas lo realizamos en todas ya que, alguna vez nos dará alguna posición de más o de menos. Con ellas hacemos la suma y la media para sacar un rango de posiciones más exacto.

Sabiendo que el tiempo entre posiciones es aproximado a 0,00016 segundo y multiplicado por la media de posiciones, conseguimos el tiempo que hay de desfase entre ambas ondas.

Teniendo estos datos y con la sabiduría de que media onda son 0.01 segundos y π radianes, se puede deducir el ángulo de desfase que hay entre la onda de tensión e intensidad.

$$\varphi = \frac{\text{tiempo} * \pi}{0,01} \quad [\text{Rad}] \quad (8.1)$$

8.3 PANTALLA DE MEDIDAS

Este componente es utilizado para mostrar los datos obtenidos a los usuarios de las mediciones, y así poder visualizar los datos más relevantes.

El modo de conexión del elemento con el Arduino es el siguiente; se utilizan los pines digitales del 7 al 3 y a mayores la Vcc a 3,3V, el GND y el Light.

Este display cuenta con una Luz de color azul, si el pin light está conectado a masa esa luz es nula, mientras que, si está conectado a voltaje si aparece, por ello se ha implementado un potenciómetro para generar más o menos intensidad.

Se muestra un pequeño esquema orientativo para su conexión:

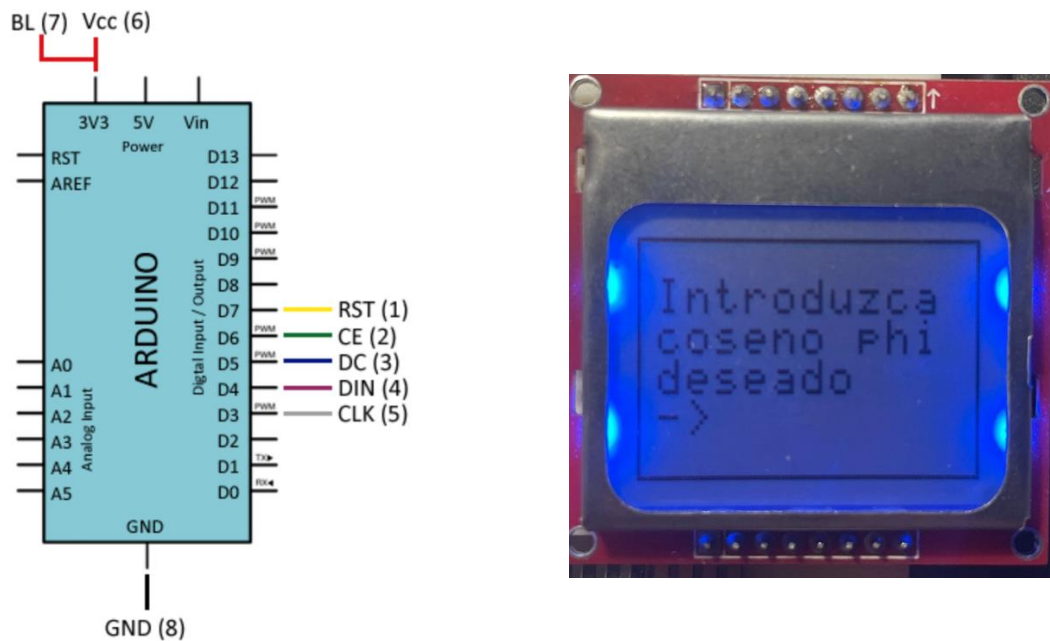


Figura 8.9. Esquema de conexión y pantalla.

8.4 TECLADO

Es un dispositivo que agrupa varios pulsadores y permite controlarlos empleando un número de conductores inferior al que necesitaríamos al usarlos de forma individual. Se utiliza para introducir valores al Arduino.

Se agrupan los pulsadores en filas y columnas formando una matriz, disposición que da lugar a su nombre. Es frecuente una disposición rectangular pura de 4x4 columnas, aunque otras disposiciones son igualmente posibles.

Se emplea en este proyecto para pedir al usuario el factor de potencia mínimo que aceptaría.

La configuración del teclado es la siguiente, en los pines de la izquierda van conectados a las filas de la matriz, mientras que los cuatro pines siguientes van conectados a la columna.

Para leer todas las teclas tendremos que hacer un barrido por filas. En primer lugar, ponemos todas las filas a 5V, y definimos todas las columnas como entradas con resistencia de pull-up.[15]

Progresivamente ponemos una fila a 0V, y leemos las entradas de la columna. Una vez realizada la lectura volvemos a ponerla a 5V, pasamos a la siguiente fila, y volvemos a realizar el progreso hasta recorrer todas las filas.

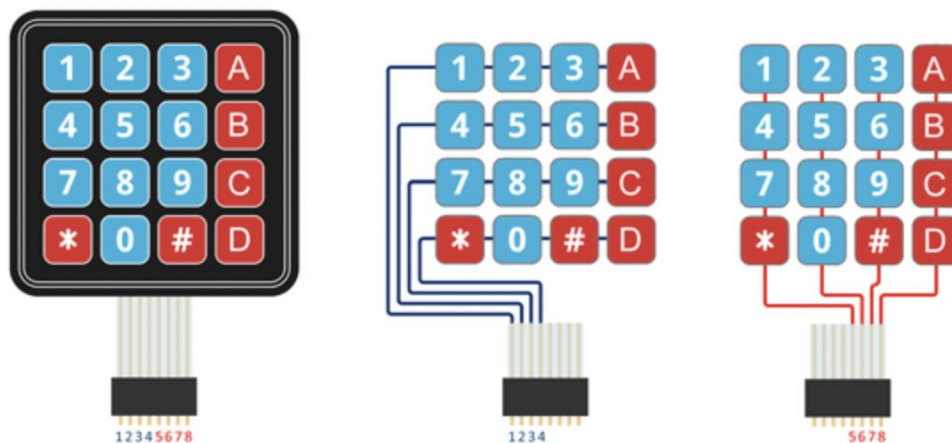


Figura 8.10. Teclado para Arduino.

Las entradas utilizadas en este proyecto a Arduino son del 22 al 36 en los pines digitales, siguiendo el orden de la imagen.

8.5 CONDENSADORES

Puesto que el estudio es una simulación, contamos con unos leds que se encienden cuando entraría el condensador o condensadores correspondientes para disminuir la potencia reactiva.

Entonces, se han utilizado 6 condensadores para ocupar el máximo rango posibles de potencia reactiva, así conseguir siempre que se llegue al valor más próximo de la unidad en el factor de potencia. Se conseguirá la capacidad necesaria para reducir el factor de potencia a la unidad con la siguiente fórmula:

$$C = \frac{Q_R}{U^2 * 2\pi * f} \quad [\mu F] \quad (8.2)$$

Las capacidades de los condensadores, para llegar hasta el valor conseguido en la ecuación anterior, utilizados son de los siguientes valores. Se muestra la potencia reactiva que sería capaz de reducir cada vez que entrase en contacto cada uno de ellos:

CONDENSADORES	1	2	3	4	5	6
Capacidad (uF)	22	44	66	88	220	440
Q (Var)	1000	2000	3000	4000	10000	20000
Salidas Arduino	14	15	16	17	18	19

Tabla 8.1 Tabla de capacitores.

Como podemos ver, el compensador está diseñado para reducir un máximo de potencia reactiva de 40.000 VAR.

En la tercera columna de la tabla, se muestran las entradas digitales utilizadas en el Arduino para sacar la señal.

Entonces, cada vez que necesite uno o varios condensadores se encenderán los necesarios para conseguir que el factor de potencia sea 1 o próximo a uno, siempre sin llegar a sobre pasar la potencia reactiva que tiene que reducir.

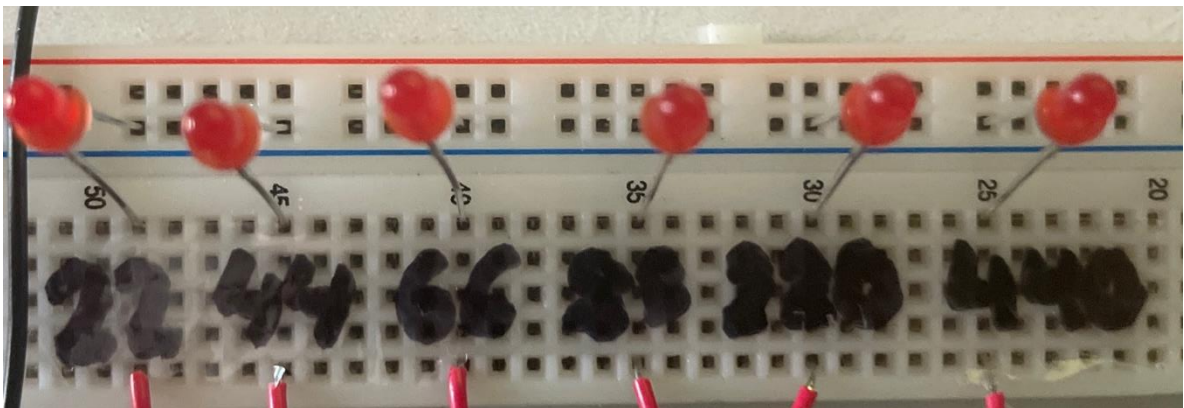


Figura 8.11. Simulación de condensadores.

El valor de los condensadores utilizados se imprimirá por pantalla digital.

8.6 PRUEBA DEL COMPENSADOR AUTOMÁTICO

En este apartado, se presenta lo que es el montaje compuesto del compensador automático. La interconexión entre los diferentes dispositivos nombrados anteriormente en un espacio lo más reducido posible. Este será el aspecto que presentará finalmente el compensador de potencia reactiva:

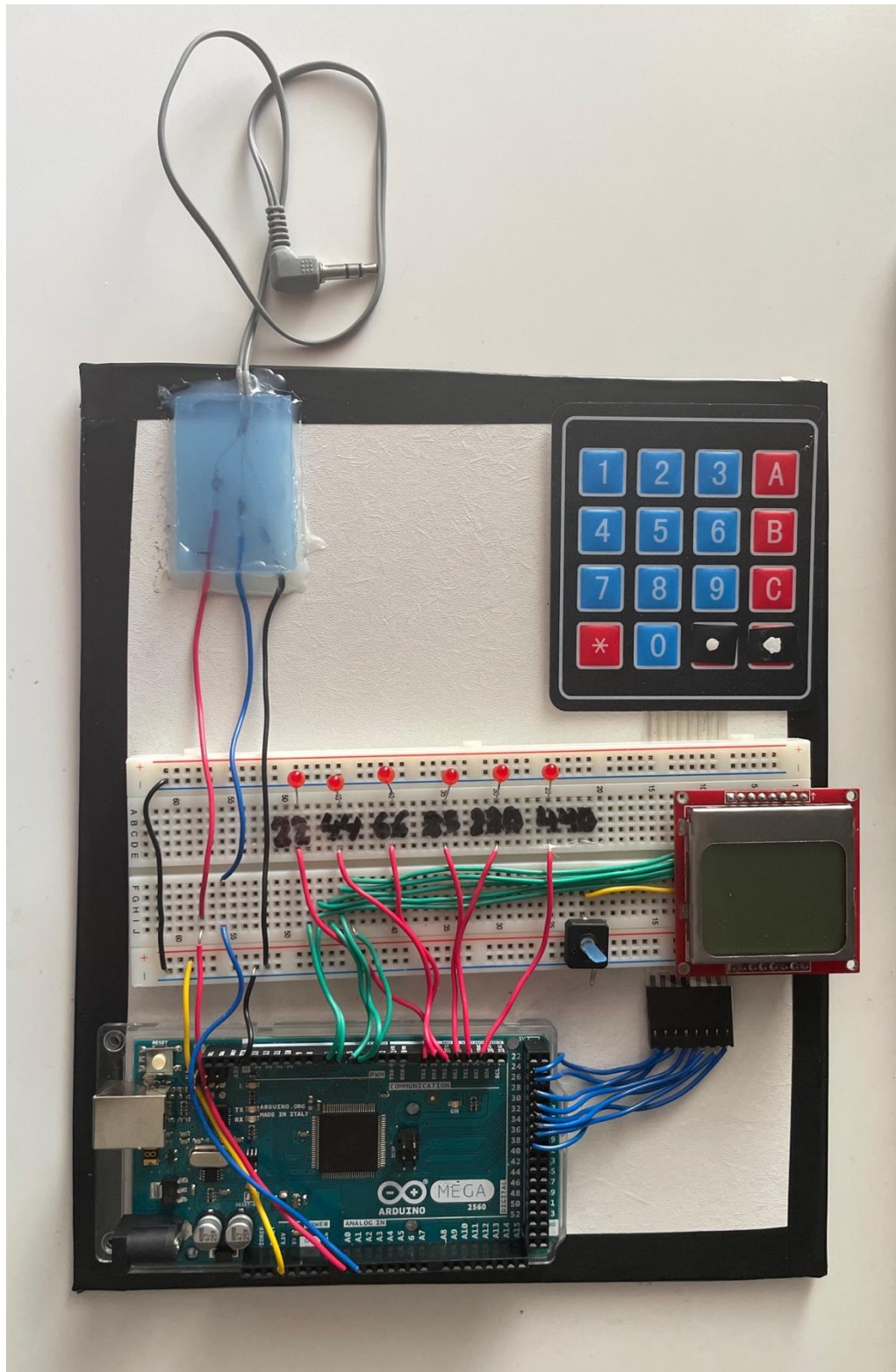


Figura 8.12. Controlador automático.

Se mostrará un ejemplo con una onda desfasada 20 grados para ver las similitudes que mantiene con el desarrollo de la maqueta en Matlab. Los parámetros del monitor seres se adjuntarán a en un Anexo.

Alberto Martínez Fernández

Primeramente, la pantalla nos solicitará que introduzcamos el coseno de phi al que como mínimo debemos llegar, si es posible superarlo lo va a superar. Se introduce 0,97 y pulsamos asterisco para avanzar.

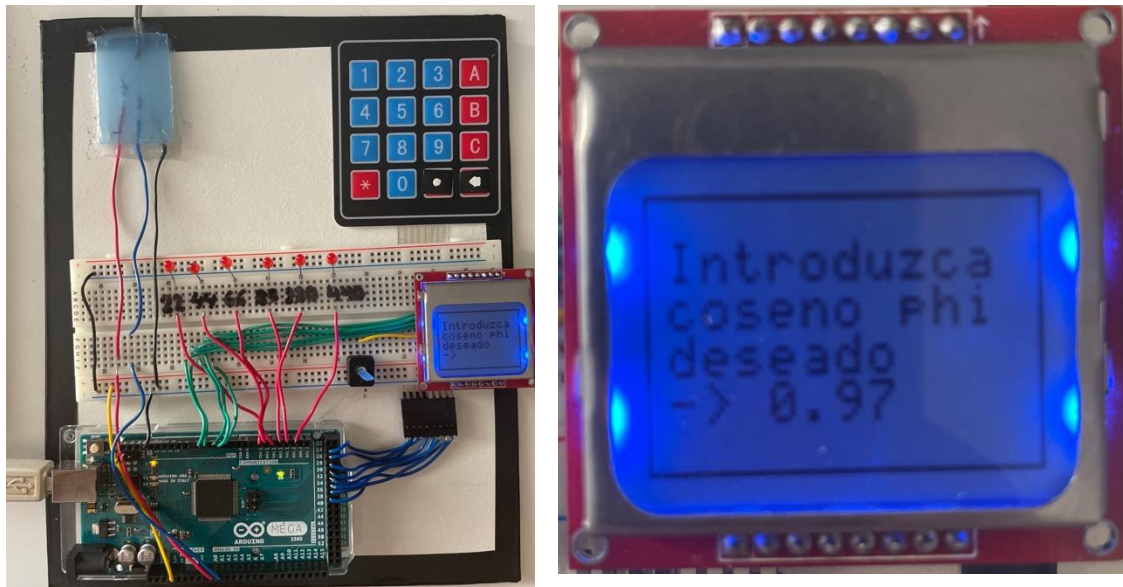


Figura 8.13 Estado inicial.

Mientras captura los datos de las ondas, en pantalla muestra un mensaje "****Capturando datos****", con una duración de 2 segundos.

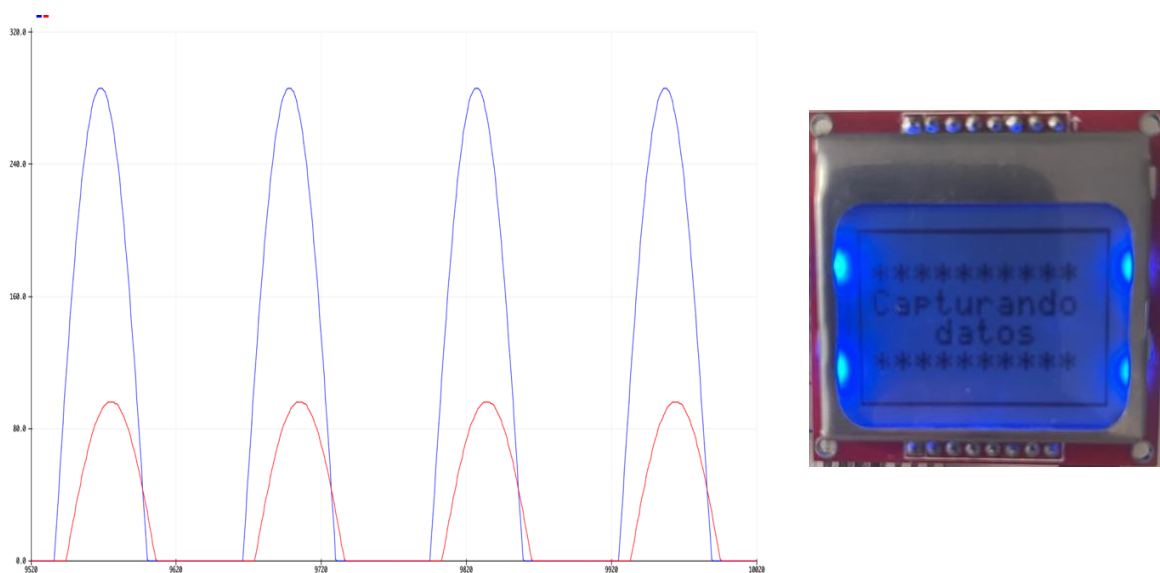


Figura 8.14. Ondas lectura de datos.

Una vez capturados los datos y realizado el proceso adecuado para la obtención del factor de potencia se muestran por pantalla los siguientes datos:

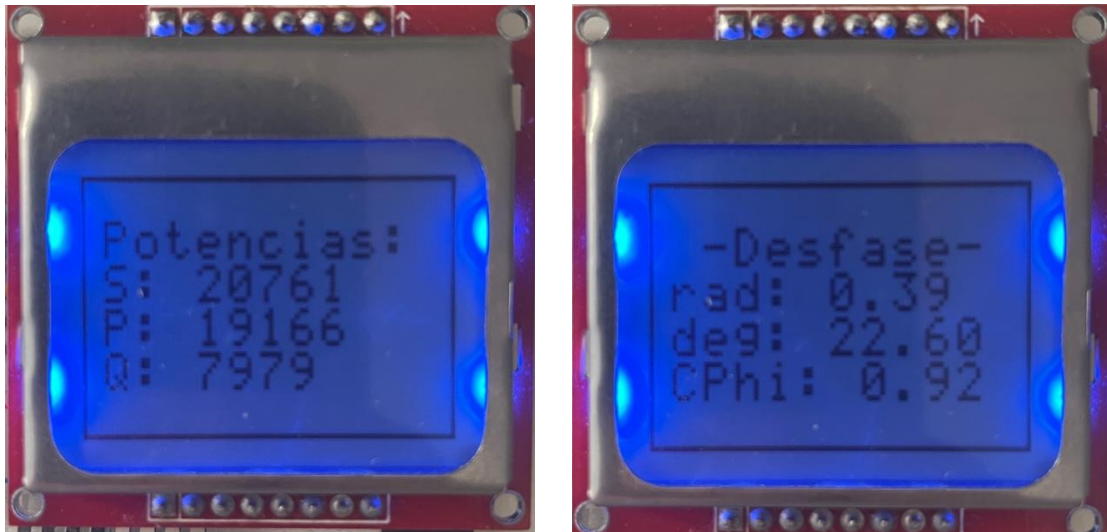


Figura 8.15. Potencias por pantalla. Ángulo de desfase y factor de potencia

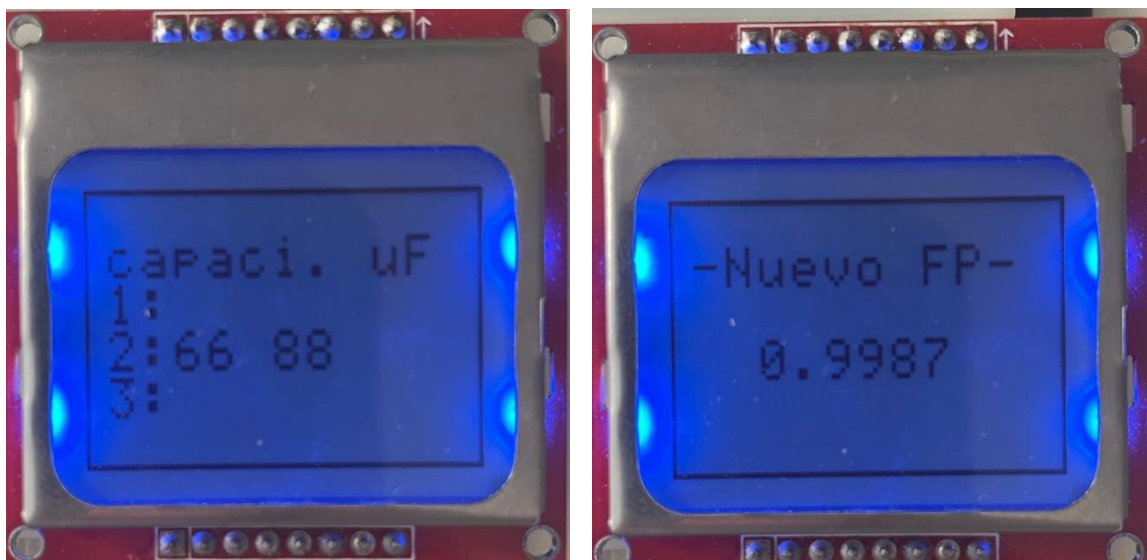


Figura 8.16. Condensadores activados. Factor de potencia corregido.

Para finalizar se muestra una imagen donde se aprecia que los leds que se encienden son los mismo que se muestran en pantalla, el de la posición 3 y la 4 con una capacidad de 66 y 88 μF respectivamente. Y los datos más relevantes del monitor serial.

17:50:51.087 -> Valores Tensión e intensidad
 17:50:51.087 -> 54.63
 17:50:51.087 -> 380.00

17:50:51.087 -> Capacidad necesaria:
17:50:51.087 -> 0.00017589
17:50:51.087 -> 0 0 1 1 0 0
17:50:51.087 -> Potencias:
17:50:51.344 -> S: 20761
17:50:51.344 -> P: 19166
17:50:51.344 -> Q: 7979
17:50:54.375 -> -Desfase-
17:50:54.602 -> rad: 0.39
17:50:54.602 -> deg: 22.60
17:50:54.602 -> CPhi: 0.92
17:50:57.636 -> capaci. uF
17:50:57.858 -> 1:
17:50:57.858 -> 2:66 88
17:50:57.858 -> 3:
17:50:59.869 -> -Nuevo FP-
17:51:00.092 ->
17:51:00.155 -> 0.9987

En el anexo del monitor serial se recogen todos los datos que obtiene el Arduino.

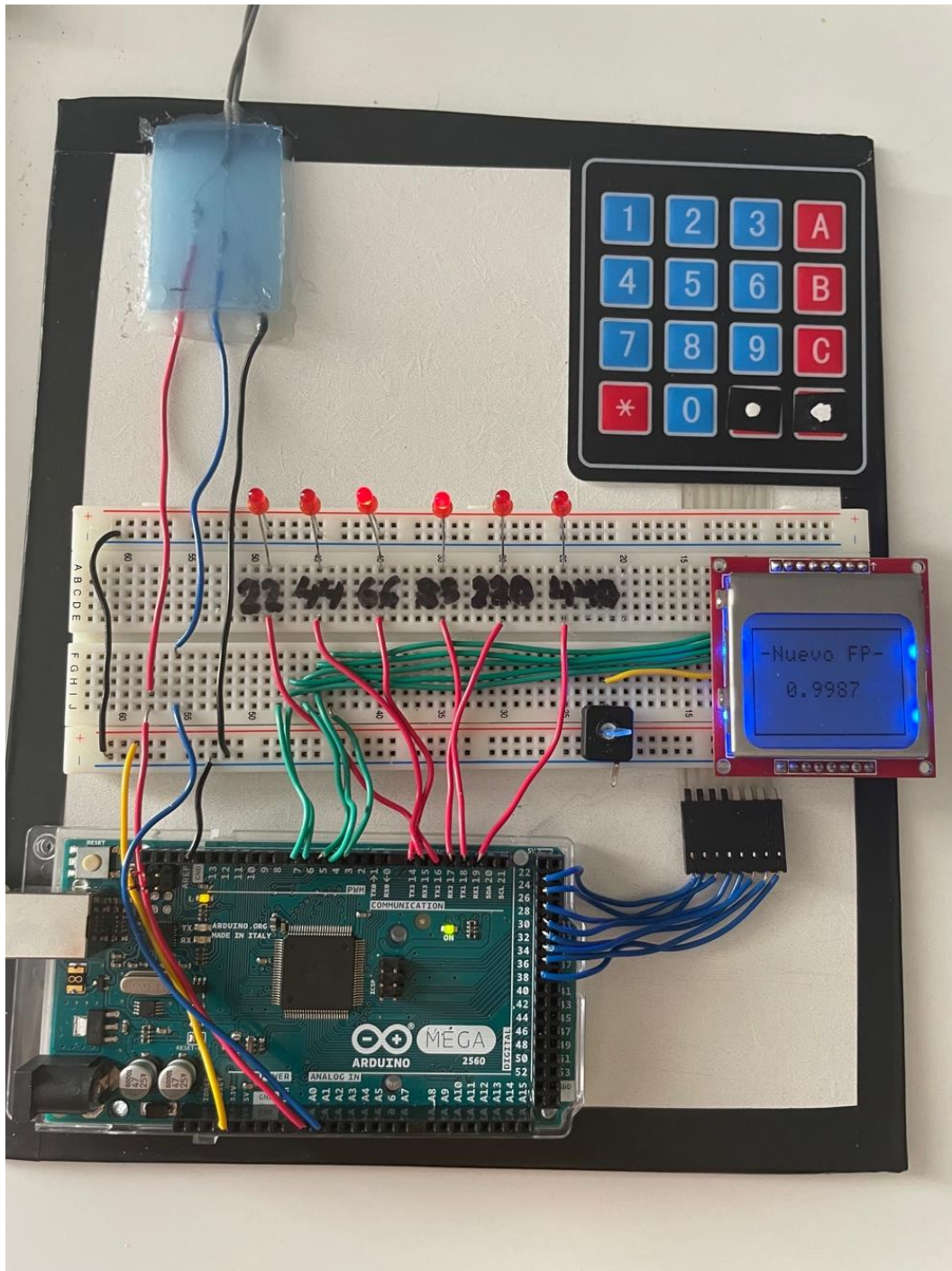


Figura 8.17. Resultado final

El Arduino repite el programa compilado cada un ciclo de 10 segundo, para comprobar si el desfase ha cambiado y corregirlo el factor de potencia nuevamente.

9 CONCLUSIONES

En este estudio, una de las cosas que se ha aprendido es la importancia que tiene tanto para las empresas industriales y las suministradoras de energía eléctrica, una buena corrección del factor de potencia. Puesto que no llegar a una buena corrección puede generar grandes pérdidas de potencia y pérdidas económicas.

Todas las empresas industriales deberían contar con reguladores de energía reactiva, normalmente estas realizan una compensación global, aunque aguas abajo puede generarse energía reactiva. La tecnología ha avanzado mucho en poco tiempo y nos encontramos con equipos que realizan la compensación automática de potencia trifásica prácticamente perfecta y mostrar por pantalla los diferentes parámetros que es capaz de medir.

Gracias a este estudio, se ha llegado a la conclusión, que es posible realizar la compensación de potencia reactiva a través de un dispositivo llamado Arduino. En el hemos sido capaces de realizar las mediciones oportunas en ondas de frecuencia 50Hz, imprimiendo por la pantalla los valores importantes. Como se ha podido comprobar, los valores que se han conseguido mostrar de Arduino son bastante próximos a los obtenidos en Matlab, un programa matemático con generación de dos ondas ideales. Por supuesto, se ha llegado a detectar los condensadores que serían necesarios activar para llevar el factor de potencia a la unidad.

Para finalizar, esto es una maqueta lo más realista posibles, pero queda abierta la posibilidad de que, en un futuro, se pueda conectar a la red eléctrica y comprobar que funciona de forma real.

REFERENCIAS

BIBLIOGRÁFICAS

- [1] D. B. Vasconcellos y V. L. Martínez, «Evolución y desarrollo de los dispositivos compensadores de potencia reactiva», *Ingeniería Energética*, vol. 26, n.º 2, Art. n.º 2, 2005.
- [2] Antonio Pastor Gutiérrez, Angel Pérez Coyto, Jesus Ortega Jimenez, y Valentin M. Parra Prieto, *TEORIA DE CIRCUITOS*, Séptima edición. Madrid: IMPRESA, 1991.
- [3] Jesus Fraile Mora, *Circuitos Eléctricos*. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, S.A., 2012.
- [4] «CORRECCIÓN_FACTOR_POTENCIA.pdf». Accedido: 24 de agosto de 2021. [En línea]. Disponible en: https://lifasa.com/pdf/CORRECCI%C3%93N_FACTOR_POTENCIA.pdf
- [5] «1TXA007107G0701_CT8.pdf». Accedido: 11 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: https://library.e.abb.com/public/897462d590876b5fc125791a003bd1e0/1TXA007107G0701_CT8.pdf
- [6] «BOE-A-2020-1066.pdf». Accedido: 24 de agosto de 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.boe.es/boe/dias/2020/01/24/pdfs/BOE-A-2020-1066.pdf>
- [7] «029001.pdf». Accedido: 12 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: https://www.acta.es/medios/articulos/ciencias_y_tecnologia/029001.pdf
- [8] «jn004a00_whitepaper-armonics_.pdf». Accedido: 25 de abril de 2022. [En línea]. Disponible en: https://www.salicru.com/files/pagina/72/278/jn004a00_whitepaper-armonics_.pdf
- [9] «1TXA007107G0701_CT8.pdf». Accedido: 25 de abril de 2022. [En línea]. Disponible en: https://library.e.abb.com/public/897462d590876b5fc125791a003bd1e0/1TXA007107G0701_CT8.pdf
- [10] «Resonancia eléctrica, batería de condensadores y armónicos», *Francesc Fornieles*, 21 de octubre de 2017. <https://fornieles.es/perturbaciones-electricas/resonancia-electrica-bateria-condensadores-y-armonicos/> (accedido 27 de abril de 2022).
- [11] «reducir-armonicos.pdf». Accedido: 28 de abril de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://www.olfer.com/media/faq/reducir-armonicos.pdf>
- [12] «Arduino Mega 2560 Rev3», *Arduino Online Shop*. <https://store.arduino.cc/products/arduino-mega-2560-rev3> (accedido 25 de agosto de 2021).
- [13] «Arduino Mega 2560 el hermano mayor de Arduino UNO».

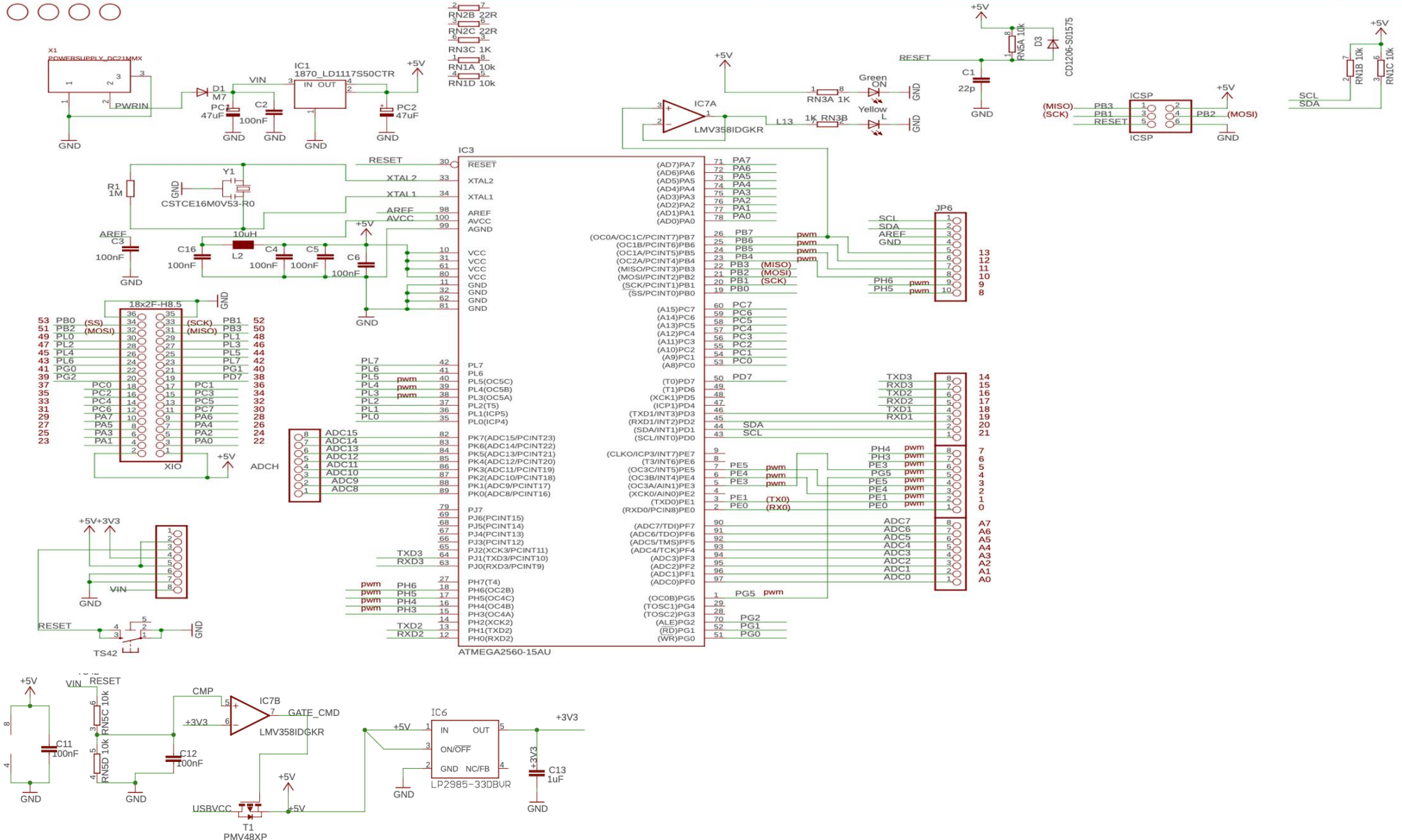
<https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/arduino-mega-2560/> (accedido 20 de agosto de 2021).

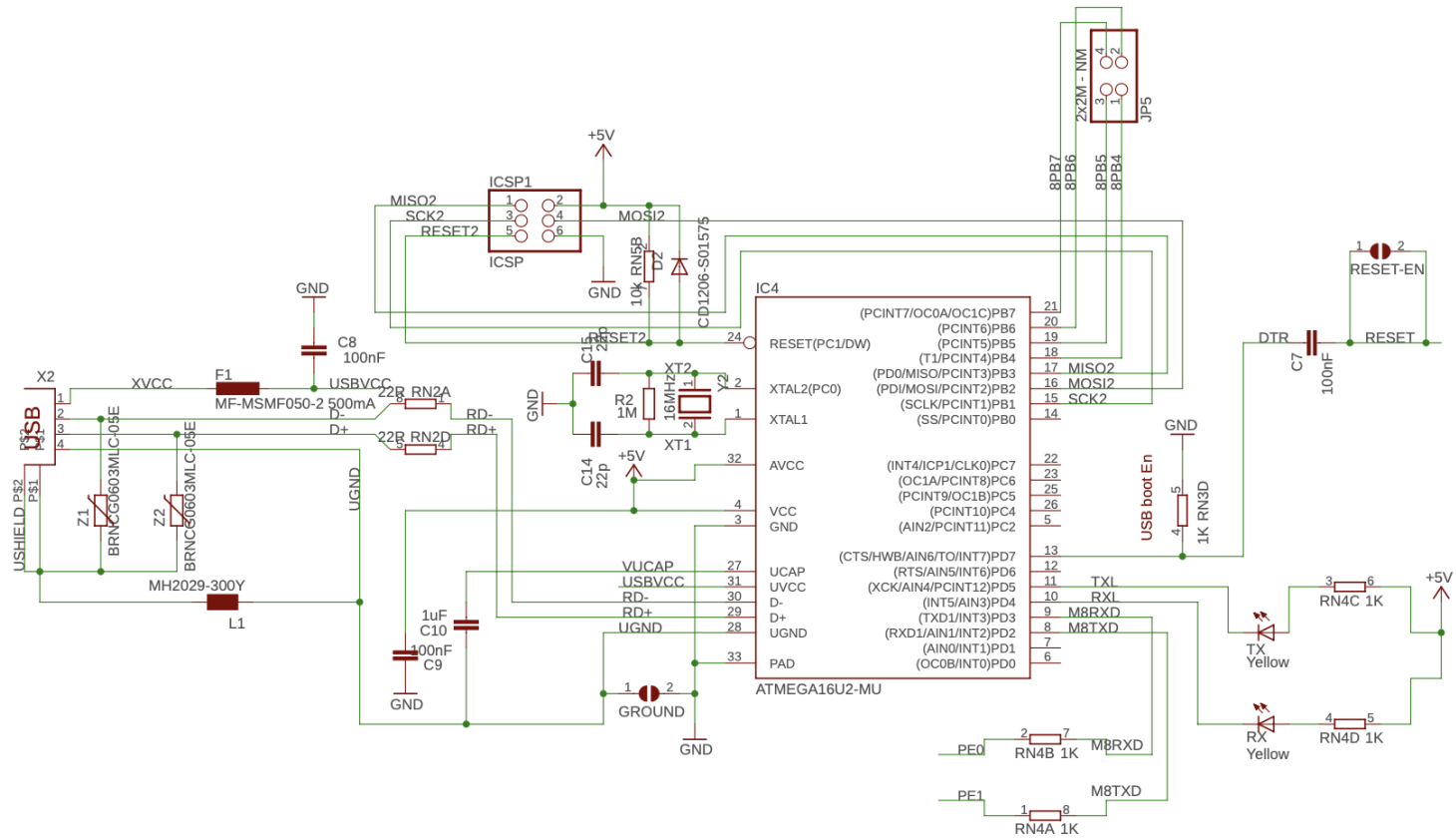
[14] «Introducción a Arduino Mega 2560». <https://ciksiti.com/es/chapters/11168-introduction-to-arduino-mega-2560> (accedido 13 de junio de 2022).

[15] «Usar un teclado matricial con Arduino», *Luis Llamas*. <https://www.luisllamas.es/arduino-teclado-matricial/> (accedido 9 de julio de 2022).

ANEXOS

ANEXO I- ESQUEMA UNIFILAR DE ARDUINO MEGA 2560





ANEXO II - CÓDIGO PROGRAMADO EN MATLAB

```
format long
desfaseTension=0;%desfase inicial tension introducido por nosotros
desfaseIntensidad=desfaseTension - (pi/9);% desfase inicial introducido
por nosotros
Av=5;
Ai=1;
%Se generan las ondas de intensidad y de tensi√≥n
t=0:0.001:0.1;
V=Av*sin(2*pi*50*t+desfaseTension);
I=Ai*sin(2*pi*50*t+desfaseIntensidad);
%toma de datos de la onda
n=10*50;%numero de intervalos/onda por el numero de ondas
valoresTension=(1:n);%vector que guarda los valores de tension
valoresIntensidad=(1:n);
tiemposCeroTension=(1:100);%vector que guarda el tiempo de paso por cero
de la tensi√≥n
tiemposCeroIntensidad=(1:100);
suma=0;%suma de todas las diferencias de tiempo entre tension e
intensidad
media=0;
phi=0;
cosphi=0;
%lectura de los datos
for i=1:n
    valor=Av*sin(2*pi*50*1*i*0.002+desfaseTension);
    valoresTension(i)=valor;
end
for i=1:n
    valor=Ai*sin(2*pi*50*1*i*0.002+desfaseIntensidad);
    valoresIntensidad(i)=valor;
end
contador=1;
for i=1:(n-1)
    if ((valoresTension(i)<0 && valoresTension(i+1)>=0) ||
(valoresTension(i)>0 && valoresTension(i+1)<=0))
        tiempo=(i+1)*0.002;
        if(valoresTension(i+1)~=0)
            y=valoresTension(i);
            x=i*0.002;
            y1=valoresTension(i+1);
            x1=(i+1)*0.002;
            b=0;
            tiempo=x-((x-x1)*(y-b))/(y-y1);
        end
        tiemposCeroTension(contador)=tiempo;
        contador=contador+1;
    end
end

end

disp("*****
*****");
contador=1;
for i=1:(n-1)
```

```

    if ((valoresIntensidad(i)<0 && valoresIntensidad(i+1)>=0) ||
(valoresIntensidad(i)>0 && valoresIntensidad(i+1)<=0))
        tiempo=(i+1)*0.002;
        if(valoresIntensidad(i+1)~=0)
            y=valoresIntensidad(i);
            x=i*0.002;
            y1=valoresIntensidad(i+1);
            x1=(i+1)*0.002;
            b=0;
            tiempo=x-((x-x1)*(y-b)/(y-y1));

        end

        tiemposCeroIntensidad(contador)=tiempo;
        contador=contador+1;
    end

end

tiemposDesfase=(1:100);
for i=1:100
    tiemposDesfase(i)=tiemposCeroTension(i)-tiemposCeroIntensidad(i);
    suma=suma+tiemposDesfase(i);

end

media=suma/100;
phi=(media*pi/0.01);%para pasar segundos a grados 180 equivale a pi que
son 0,01 segundos.
cosphi=round(cos(phi),2);
suma=0;
for i=1:5:100
    ampIntensidad=valoresIntensidad(i)/sin(2*pi*50*i*0.002+phi);
    suma=suma+ampIntensidad;

end

ampIntensidad=suma/20;
pAparente=Av*76*ampIntensidad*54,63;
pReactiva=pAparente*sin(phi);
pActiva=pAparente*cos(phi);
capacidad=pReactiva/((Av*76)^2)*2*pi*50);
%Se imprimen las ondas en pantalla
hold on
plot(t,V);
plot(t,I);
hold off
disp(media);
disp(phi+"rad");
disp(round(phi*180/pi,2)+"Grados");
disp(cosphi+"cosphi");
disp(ampIntensidad+"A");
disp(pActiva +" + " +pReactiva+"VA ("+pAparente+"-"+phi+" "));
disp(pReactiva+"VAr");
disp(capacidad+"F");

```

Resultado:

```

0.34792rad
19.93Grados
0.94cosphi
1.0008A
19305.384 + 7001.6217VA (20535.836-0.34792)
7001.6217VAr
0.00015434F

```

ANEXO III - DATOS CAPTADOS EN LA PRUEBA POR EL MONITOR SERIE DE ARDUINO

17:50:28.322 -> Introduzca
17:50:28.537 -> coseno phi
17:50:28.570 -> deseado
17:50:28.570 -> ->
17:50:37.332 -> -----0-----
17:50:37.831 -> 0
17:50:37.831 -> 0
17:50:37.831 -> -> 0
17:50:40.434 -> -----.
17:50:40.938 -> .
17:50:40.938 -> 0.
17:50:40.938 -> -> 0.
17:50:41.650 -> -----9-----
17:50:42.127 -> 9
17:50:42.127 -> 0.9
17:50:42.127 -> -> 0.9
17:50:42.664 -> -----7-----
17:50:43.165 -> 7
17:50:43.165 -> 0.97
17:50:43.165 -> -> 0.97
17:50:47.431 -> -----*-----
17:50:47.911 -> *
17:50:47.911 -> *****
17:50:48.160 -> Capturando
17:50:48.160 -> datos
17:50:48.160 -> *****
17:50:48.521 -> 0.00015696
17:50:48.594 -> 0.00015696
17:50:48.666 -> 0----->24 0
17:50:48.666 -> 1----->48 0
17:50:48.666 -> 2----->62 0
17:50:48.666 -> 3----->71 0
17:50:48.666 -> 4----->96 0
17:50:48.666 -> 5----->120 0
17:50:48.666 -> 6----->127 0
17:50:48.701 -> 7----->143 0
17:50:48.701 -> 8----->163 5
17:50:48.701 -> 9----->192 11
17:50:48.701 -> 10----->195 16
17:50:48.701 -> 11----->224 21
17:50:48.701 -> 12----->240 27
17:50:48.701 -> 13----->248 32
17:50:48.701 -> 14----->255 37
17:50:48.701 -> 15----->255 43
17:50:48.701 -> 16----->287 48
17:50:48.701 -> 17----->304 53
17:50:48.701 -> 18----->312 57

17:50:48.701 -> 19----->312 62
17:50:48.701 -> 20----->312 66
17:50:48.701 -> 21----->312 71
17:50:48.701 -> 22----->312 75
17:50:48.701 -> 23----->312 79
17:50:48.701 -> 24----->312 83
17:50:48.701 -> 25----->312 86
17:50:48.701 -> 26----->312 90
17:50:48.701 -> 27----->312 93
17:50:48.701 -> 28----->312 96
17:50:48.701 -> 29----->312 99
17:50:48.701 -> 30----->312 101
17:50:48.701 -> 31----->312 103
17:50:48.701 -> 32----->312 105
17:50:48.701 -> 33----->304 107
17:50:48.701 -> 34----->304 108
17:50:48.701 -> 35----->304 109
17:50:48.701 -> 36----->312 110
17:50:48.701 -> 37----->304 111
17:50:48.701 -> 38----->304 111
17:50:48.701 -> 39----->304 111
17:50:48.701 -> 40----->304 111
17:50:48.701 -> 41----->304 111
17:50:48.701 -> 42----->304 110
17:50:48.701 -> 43----->304 109
17:50:48.701 -> 44----->304 108
17:50:48.701 -> 45----->287 106
17:50:48.701 -> 46----->286 105
17:50:48.701 -> 47----->255 103
17:50:48.701 -> 48----->255 100
17:50:48.701 -> 49----->248 98
17:50:48.701 -> 50----->225 95
17:50:48.701 -> 51----->224 92
17:50:48.701 -> 52----->192 89
17:50:48.701 -> 53----->192 85
17:50:48.701 -> 54----->159 82
17:50:48.701 -> 55----->143 78
17:50:48.701 -> 56----->127 74
17:50:48.701 -> 57----->112 70
17:50:48.701 -> 58----->96 65
17:50:48.701 -> 59----->63 61
17:50:48.701 -> 60----->56 56
17:50:48.701 -> 61----->31 51
17:50:48.701 -> 62----->15 46
17:50:48.701 -> 63----->0 41
17:50:48.701 -> 64----->0 36
17:50:48.701 -> 65----->0 31
17:50:48.701 -> 66----->0 25
17:50:48.701 -> 67----->0 20

17:50:48.701 -> 68----->0 14
17:50:48.701 -> 69----->0 9
17:50:48.701 -> 70----->0 0
17:50:48.701 -> 71----->0 0
17:50:48.701 -> 72----->0 0
17:50:48.701 -> 73----->0 0
17:50:48.701 -> 74----->0 0
17:50:48.701 -> 75----->0 0
17:50:48.701 -> 76----->0 0
17:50:48.701 -> 77----->0 0
17:50:48.701 -> 78----->0 0
17:50:48.701 -> 79----->0 0
17:50:48.701 -> 80----->0 0
17:50:48.701 -> 81----->0 0
17:50:48.701 -> 82----->0 0
17:50:48.701 -> 83----->0 0
17:50:48.701 -> 84----->0 0
17:50:48.701 -> 85----->0 0
17:50:48.701 -> 86----->0 0
17:50:48.701 -> 87----->0 0
17:50:48.701 -> 88----->0 0
17:50:48.701 -> 89----->0 0
17:50:48.701 -> 90----->0 0
17:50:48.701 -> 91----->0 0
17:50:48.701 -> 92----->0 0
17:50:48.701 -> 93----->0 0
17:50:48.701 -> 94----->0 0
17:50:48.701 -> 95----->0 0
17:50:48.701 -> 96----->0 0
17:50:48.701 -> 97----->0 0
17:50:48.701 -> 98----->0 0
17:50:48.701 -> 99----->0 0
17:50:48.701 -> 100----->0 0
17:50:48.745 -> 101----->0 0
17:50:48.745 -> 102----->0 0
17:50:48.745 -> 103----->0 0
17:50:48.745 -> 104----->0 0
17:50:48.745 -> 105----->0 0
17:50:48.745 -> 106----->0 0
17:50:48.745 -> 107----->0 0
17:50:48.745 -> 108----->0 0
17:50:48.745 -> 109----->0 0
17:50:48.745 -> 110----->0 0
17:50:48.745 -> 111----->0 0
17:50:48.745 -> 112----->0 0
17:50:48.745 -> 113----->0 0
17:50:48.745 -> 114----->0 0
17:50:48.745 -> 115----->0 0
17:50:48.745 -> 116----->0 0

17:50:48.745 -> 117----->0 0
17:50:48.745 -> 118----->0 0
17:50:48.745 -> 119----->0 0
17:50:48.745 -> 120----->0 0
17:50:48.745 -> 121----->0 0
17:50:48.745 -> 122----->0 0
17:50:48.745 -> 123----->0 0
17:50:48.745 -> 124----->0 0
17:50:48.745 -> 125----->0 0
17:50:48.745 -> 126----->0 0
17:50:48.745 -> 127----->0 0
17:50:48.745 -> 128----->15 0
17:50:48.745 -> 129----->30 0
17:50:48.745 -> 130----->45 0
17:50:48.745 -> 131----->61 0
17:50:48.745 -> 132----->76 0
17:50:48.745 -> 133----->90 0
17:50:48.745 -> 134----->105 0
17:50:48.745 -> 135----->119 0
17:50:48.745 -> 136----->133 5
17:50:48.745 -> 137----->147 11
17:50:48.745 -> 138----->161 16
17:50:48.745 -> 139----->174 21
17:50:48.745 -> 140----->186 27
17:50:48.745 -> 141----->198 32
17:50:48.745 -> 142----->210 37
17:50:48.745 -> 143----->221 43
17:50:48.745 -> 144----->231 48
17:50:48.745 -> 145----->241 53
17:50:48.745 -> 146----->251 57
17:50:48.745 -> 147----->260 62
17:50:48.745 -> 148----->268 66
17:50:48.745 -> 149----->275 71
17:50:48.745 -> 150----->282 75
17:50:48.745 -> 151----->288 79
17:50:48.745 -> 152----->294 83
17:50:48.745 -> 153----->299 86
17:50:48.745 -> 154----->303 90
17:50:48.745 -> 155----->306 93
17:50:48.745 -> 156----->308 96
17:50:48.745 -> 157----->310 99
17:50:48.745 -> 158----->311 101
17:50:48.745 -> 159----->311 103
17:50:48.745 -> 160----->311 105
17:50:48.745 -> 161----->310 107
17:50:48.745 -> 162----->308 108
17:50:48.745 -> 163----->305 109
17:50:48.745 -> 164----->302 110
17:50:48.745 -> 165----->297 111

17:50:48.745 -> 166----->292 111
17:50:48.745 -> 167----->287 111
17:50:48.745 -> 168----->280 111
17:50:48.745 -> 169----->273 111
17:50:48.745 -> 170----->266 110
17:50:48.745 -> 171----->257 109
17:50:48.745 -> 172----->248 108
17:50:48.745 -> 173----->239 106
17:50:48.745 -> 174----->228 105
17:50:48.745 -> 175----->218 103
17:50:48.745 -> 176----->206 100
17:50:48.745 -> 177----->195 98
17:50:48.745 -> 178----->183 95
17:50:48.745 -> 179----->170 92
17:50:48.745 -> 180----->157 89
17:50:48.745 -> 181----->143 85
17:50:48.745 -> 182----->129 82
17:50:48.745 -> 183----->115 78
17:50:48.745 -> 184----->101 74
17:50:48.745 -> 185----->86 70
17:50:48.745 -> 186----->71 65
17:50:48.745 -> 187----->56 61
17:50:48.745 -> 188----->41 56
17:50:48.745 -> 189----->26 51
17:50:48.745 -> 190----->10 46
17:50:48.745 -> 191----->-4 41
17:50:48.745 -> 192----->0 36
17:50:48.745 -> 193----->0 31
17:50:48.745 -> 194----->0 25
17:50:48.745 -> 195----->0 20
17:50:48.745 -> 196----->0 14
17:50:48.745 -> 197----->0 9
17:50:48.745 -> 198----->0 0
17:50:48.745 -> 199----->0 0
17:50:48.745 -> 200----->0 0
17:50:48.745 -> 201----->0 0
17:50:48.745 -> 202----->0 0
17:50:48.745 -> 203----->0 0
17:50:48.745 -> 204----->0 0
17:50:48.745 -> 205----->0 0
17:50:48.776 -> 206----->0 0
17:50:48.776 -> 207----->0 0
17:50:48.776 -> 208----->0 0
17:50:48.776 -> 209----->0 0
17:50:48.776 -> 210----->0 0
17:50:48.776 -> 211----->0 0
17:50:48.776 -> 212----->0 0
17:50:48.776 -> 213----->0 0
17:50:48.776 -> 214----->0 0

17:50:48.776 -> 215----->0 0
17:50:48.776 -> 216----->0 0
17:50:48.776 -> 217----->0 0
17:50:48.776 -> 218----->0 0
17:50:48.776 -> 219----->0 0
17:50:48.776 -> 220----->0 0
17:50:48.776 -> 221----->0 0
17:50:48.776 -> 222----->0 0
17:50:48.776 -> 223----->0 0
17:50:48.776 -> 224----->0 0
17:50:48.776 -> 225----->0 0
17:50:48.776 -> 226----->0 0
17:50:48.776 -> 227----->0 0
17:50:48.776 -> 228----->0 0
17:50:48.776 -> 229----->0 0
17:50:48.776 -> 230----->0 0
17:50:48.776 -> 231----->0 0
17:50:48.776 -> 232----->0 0
17:50:48.776 -> 233----->0 0
17:50:48.776 -> 234----->0 0
17:50:48.776 -> 235----->0 0
17:50:48.776 -> 236----->0 0
17:50:48.776 -> 237----->0 0
17:50:48.776 -> 238----->0 0
17:50:48.776 -> 239----->0 0
17:50:48.776 -> 240----->0 0
17:50:48.776 -> 241----->0 0
17:50:48.776 -> 242----->0 0
17:50:48.776 -> 243----->0 0
17:50:48.776 -> 244----->0 0
17:50:48.776 -> 245----->0 0
17:50:48.776 -> 246----->0 0
17:50:48.776 -> 247----->0 0
17:50:48.776 -> 248----->0 0
17:50:48.776 -> 249----->0 0
17:50:48.776 -> 250----->0 0
17:50:48.776 -> 251----->0 0
17:50:48.776 -> 252----->0 0
17:50:48.776 -> 253----->0 0
17:50:48.776 -> 254----->0 0
17:50:48.776 -> 255----->0 0
17:50:48.776 -> 256----->0 0
17:50:48.776 -> 257----->15 0
17:50:48.776 -> 258----->30 0
17:50:48.776 -> 259----->45 0
17:50:48.776 -> 260----->61 0
17:50:48.776 -> 261----->76 0
17:50:48.776 -> 262----->90 0
17:50:48.776 -> 263----->105 0

17:50:48.776 -> 264----->119 0
17:50:48.776 -> 265----->133 5
17:50:48.776 -> 266----->147 11
17:50:48.776 -> 267----->161 16
17:50:48.776 -> 268----->174 21
17:50:48.776 -> 269----->186 27
17:50:48.776 -> 270----->198 32
17:50:48.776 -> 271----->210 37
17:50:48.776 -> 272----->221 43
17:50:48.776 -> 273----->231 48
17:50:48.776 -> 274----->241 53
17:50:48.776 -> 275----->251 57
17:50:48.776 -> 276----->260 62
17:50:48.776 -> 277----->268 66
17:50:48.776 -> 278----->275 71
17:50:48.776 -> 279----->282 75
17:50:48.776 -> 280----->288 79
17:50:48.776 -> 281----->294 83
17:50:48.776 -> 282----->299 86
17:50:48.776 -> 283----->303 90
17:50:48.776 -> 284----->306 93
17:50:48.776 -> 285----->308 96
17:50:48.776 -> 286----->310 99
17:50:48.776 -> 287----->311 101
17:50:48.776 -> 288----->311 103
17:50:48.776 -> 289----->311 105
17:50:48.810 -> 290----->310 107
17:50:48.810 -> 291----->308 108
17:50:48.810 -> 292----->305 109
17:50:48.810 -> 293----->302 110
17:50:48.810 -> 294----->297 111
17:50:48.810 -> 295----->292 111
17:50:48.810 -> 296----->287 111
17:50:48.810 -> 297----->280 111
17:50:48.810 -> 298----->273 111
17:50:48.810 -> 299----->266 110
17:50:48.810 -> 300----->257 109
17:50:48.810 -> 301----->248 108
17:50:48.810 -> 302----->239 106
17:50:48.810 -> 303----->228 105
17:50:48.810 -> 304----->218 103
17:50:48.810 -> 305----->206 100
17:50:48.810 -> 306----->195 98
17:50:48.810 -> 307----->183 95
17:50:48.810 -> 308----->170 92
17:50:48.810 -> 309----->157 89
17:50:48.810 -> 310----->143 85
17:50:48.810 -> 311----->129 82
17:50:48.810 -> 312----->115 78

17:50:48.810 -> 313----->101 74
17:50:48.810 -> 314----->86 70
17:50:48.810 -> 315----->71 65
17:50:48.810 -> 316----->56 61
17:50:48.810 -> 317----->41 56
17:50:48.810 -> 318----->26 51
17:50:48.810 -> 319----->10 46
17:50:48.810 -> 320----->-4 41
17:50:48.810 -> 321----->0 36
17:50:48.810 -> 322----->0 31
17:50:48.810 -> 323----->0 25
17:50:48.810 -> 324----->0 20
17:50:48.810 -> 325----->0 14
17:50:48.810 -> 326----->0 9
17:50:48.810 -> 327----->0 0
17:50:48.810 -> 328----->0 0
17:50:48.810 -> 329----->0 0
17:50:48.810 -> 330----->0 0
17:50:48.810 -> 331----->0 0
17:50:48.810 -> 332----->0 0
17:50:48.810 -> 333----->0 0
17:50:48.810 -> 334----->0 0
17:50:48.810 -> 335----->0 0
17:50:48.810 -> 336----->0 0
17:50:48.810 -> 337----->0 0
17:50:48.810 -> 338----->0 0
17:50:48.810 -> 339----->0 0
17:50:48.810 -> 340----->0 0
17:50:48.810 -> 341----->0 0
17:50:48.810 -> 342----->0 0
17:50:48.810 -> 343----->0 0
17:50:48.810 -> 344----->0 0
17:50:48.810 -> 345----->0 0
17:50:48.810 -> 346----->0 0
17:50:48.810 -> 347----->0 0
17:50:48.810 -> 348----->0 0
17:50:48.810 -> 349----->0 0
17:50:48.810 -> 350----->0 0
17:50:48.810 -> 351----->0 0
17:50:48.810 -> 352----->0 0
17:50:48.810 -> 353----->0 0
17:50:48.810 -> 354----->0 0
17:50:48.810 -> 355----->0 0
17:50:48.810 -> 356----->0 0
17:50:48.810 -> 357----->0 0
17:50:48.810 -> 358----->0 0
17:50:48.810 -> 359----->0 0
17:50:48.810 -> 360----->0 0
17:50:48.810 -> 361----->0 0

17:50:48.810 -> 362----->0 0
17:50:48.810 -> 363----->0 0
17:50:48.810 -> 364----->0 0
17:50:48.810 -> 365----->0 0
17:50:48.810 -> 366----->0 0
17:50:48.810 -> 367----->0 0
17:50:48.810 -> 368----->0 0
17:50:48.810 -> 369----->0 0
17:50:48.810 -> 370----->0 0
17:50:48.810 -> 371----->0 0
17:50:48.810 -> 372----->0 0
17:50:48.810 -> 373----->0 0
17:50:48.843 -> 374----->0 0
17:50:48.843 -> 375----->0 0
17:50:48.843 -> 376----->0 0
17:50:48.843 -> 377----->0 0
17:50:48.843 -> 378----->0 0
17:50:48.843 -> 379----->0 0
17:50:48.843 -> 380----->0 0
17:50:48.843 -> 381----->0 0
17:50:48.843 -> 382----->0 0
17:50:48.843 -> 383----->0 0
17:50:48.843 -> 384----->0 0
17:50:48.843 -> 385----->0 0
17:50:48.843 -> 386----->15 0
17:50:48.843 -> 387----->30 0
17:50:48.843 -> 388----->45 0
17:50:48.843 -> 389----->61 0
17:50:48.843 -> 390----->76 0
17:50:48.843 -> 391----->90 0
17:50:48.843 -> 392----->105 0
17:50:48.843 -> 393----->119 0
17:50:48.843 -> 394----->133 5
17:50:48.843 -> 395----->147 11
17:50:48.843 -> 396----->161 16
17:50:48.843 -> 397----->174 21
17:50:48.843 -> 398----->186 27
17:50:48.843 -> 399----->198 32
17:50:48.843 -> 400----->210 37
17:50:48.843 -> 401----->221 43
17:50:48.843 -> 402----->231 48
17:50:48.843 -> 403----->241 53
17:50:48.843 -> 404----->251 57
17:50:48.843 -> 405----->260 62
17:50:48.843 -> 406----->268 66
17:50:48.843 -> 407----->275 71
17:50:48.843 -> 408----->282 75
17:50:48.843 -> 409----->288 79
17:50:48.843 -> 410----->294 83

17:50:48.843 -> 411----->299 86
17:50:48.843 -> 412----->303 90
17:50:48.843 -> 413----->306 93
17:50:48.843 -> 414----->308 96
17:50:48.843 -> 415----->310 99
17:50:48.843 -> 416----->311 101
17:50:48.843 -> 417----->311 103
17:50:48.843 -> 418----->311 105
17:50:48.843 -> 419----->310 107
17:50:48.843 -> 420----->308 108
17:50:48.843 -> 421----->305 109
17:50:48.843 -> 422----->302 110
17:50:48.843 -> 423----->297 111
17:50:48.843 -> 424----->292 111
17:50:48.843 -> 425----->287 111
17:50:48.843 -> 426----->280 111
17:50:48.843 -> 427----->273 111
17:50:48.843 -> 428----->266 110
17:50:48.843 -> 429----->257 109
17:50:48.843 -> 430----->248 108
17:50:48.843 -> 431----->239 106
17:50:48.843 -> 432----->228 105
17:50:48.843 -> 433----->218 103
17:50:48.843 -> 434----->206 100
17:50:48.843 -> 435----->195 98
17:50:48.843 -> 436----->183 95
17:50:48.843 -> 437----->170 92
17:50:48.843 -> 438----->157 89
17:50:48.843 -> 439----->143 85
17:50:48.843 -> 440----->129 82
17:50:48.843 -> 441----->115 78
17:50:48.843 -> 442----->101 74
17:50:48.843 -> 443----->86 70
17:50:48.843 -> 444----->71 65
17:50:48.843 -> 445----->56 61
17:50:48.843 -> 446----->41 56
17:50:48.843 -> 447----->26 51
17:50:48.843 -> 448----->10 46
17:50:48.843 -> 449----->0 41
17:50:48.843 -> 450----->0 36
17:50:48.877 -> 451----->0 31
17:50:48.877 -> 452----->0 25
17:50:48.877 -> 453----->0 20
17:50:48.877 -> 454----->0 14
17:50:48.877 -> 455----->0 0
17:50:48.877 -> 456----->0 0
17:50:48.877 -> 457----->0 0
17:50:48.877 -> 458----->0 0
17:50:48.877 -> 459----->0 0

17:50:48.877 -> 460----->0 0
17:50:48.877 -> 461----->0 0
17:50:48.877 -> 462----->0 0
17:50:48.877 -> 463----->0 0
17:50:48.877 -> 464----->0 0
17:50:48.877 -> 465----->0 0
17:50:48.877 -> 466----->0 0
17:50:48.877 -> 467----->0 0
17:50:48.877 -> 468----->0 0
17:50:48.877 -> 469----->0 0
17:50:48.877 -> 470----->0 0
17:50:48.877 -> 471----->0 0
17:50:48.877 -> 472----->0 0
17:50:48.877 -> 473----->0 0
17:50:48.877 -> 474----->0 0
17:50:48.877 -> 475----->0 0
17:50:48.877 -> 476----->0 0
17:50:48.877 -> 477----->0 0
17:50:48.877 -> 478----->0 0
17:50:48.877 -> 479----->0 0
17:50:48.877 -> 480----->0 0
17:50:48.877 -> 481----->0 0
17:50:48.877 -> 482----->0 0
17:50:48.877 -> 483----->0 0
17:50:48.877 -> 484----->0 0
17:50:48.877 -> 485----->0 0
17:50:48.877 -> 486----->0 0
17:50:48.877 -> 487----->0 0
17:50:48.877 -> 488----->0 0
17:50:48.877 -> 489----->0 0
17:50:48.877 -> 490----->0 0
17:50:48.877 -> 491----->0 0
17:50:48.877 -> 492----->0 0
17:50:48.877 -> 493----->0 0
17:50:48.877 -> 494----->0 0
17:50:48.877 -> 495----->0 0
17:50:48.877 -> 496----->0 0
17:50:48.877 -> 497----->0 0
17:50:48.877 -> 498----->0 0
17:50:48.877 -> 499----->0 0
17:50:48.877 -> 500----->0 0
17:50:48.877 -> 501----->0 0
17:50:48.877 -> 502----->0 0
17:50:48.877 -> 503----->0 0
17:50:48.877 -> 504----->0 0
17:50:48.877 -> 505----->0 0
17:50:48.877 -> 506----->0 0
17:50:48.877 -> 507----->0 0
17:50:48.877 -> 508----->0 0

17:50:48.877 -> 509----->0 0
17:50:48.877 -> 510----->0 0
17:50:48.877 -> 511----->0 0
17:50:48.877 -> 512----->0 0
17:50:48.877 -> 513----->0 0
17:50:48.877 -> 514----->15 0
17:50:48.877 -> 515----->30 0
17:50:48.877 -> 516----->45 0
17:50:48.877 -> 517----->61 0
17:50:48.877 -> 518----->76 0
17:50:48.877 -> 519----->90 0
17:50:48.877 -> 520----->105 0
17:50:48.877 -> 521----->119 0
17:50:48.877 -> 522----->133 5
17:50:48.877 -> 523----->147 11
17:50:48.877 -> 524----->161 16
17:50:48.877 -> 525----->174 21
17:50:48.877 -> 526----->186 27
17:50:48.877 -> 527----->198 32
17:50:48.877 -> 528----->210 37
17:50:48.877 -> 529----->221 43
17:50:48.877 -> 530----->231 48
17:50:48.877 -> 531----->241 53
17:50:48.877 -> 532----->251 57
17:50:48.877 -> 533----->260 62
17:50:48.877 -> 534----->268 66
17:50:48.877 -> 535----->275 71
17:50:48.877 -> 536----->282 75
17:50:48.877 -> 537----->288 79
17:50:48.877 -> 538----->294 83
17:50:48.877 -> 539----->299 86
17:50:48.911 -> 540----->303 90
17:50:48.911 -> 541----->306 93
17:50:48.911 -> 542----->308 96
17:50:48.911 -> 543----->310 99
17:50:48.911 -> 544----->311 101
17:50:48.911 -> 545----->311 103
17:50:48.911 -> 546----->311 105
17:50:48.911 -> 547----->310 107
17:50:48.911 -> 548----->308 108
17:50:48.911 -> 549----->305 109
17:50:48.911 -> 550----->302 110
17:50:48.911 -> 551----->297 111
17:50:48.911 -> 552----->292 111
17:50:48.911 -> 553----->287 111
17:50:48.911 -> 554----->280 111
17:50:48.911 -> 555----->273 111
17:50:48.911 -> 556----->266 110
17:50:48.911 -> 557----->257 109

17:50:48.911 -> 558----->248 108
17:50:48.911 -> 559----->239 106
17:50:48.911 -> 560----->228 105
17:50:48.911 -> 561----->218 103
17:50:48.911 -> 562----->206 100
17:50:48.911 -> 563----->195 98
17:50:48.911 -> 564----->183 95
17:50:48.911 -> 565----->170 92
17:50:48.911 -> 566----->157 89
17:50:48.911 -> 567----->143 85
17:50:48.911 -> 568----->129 82
17:50:48.911 -> 569----->115 78
17:50:48.911 -> 570----->101 74
17:50:48.911 -> 571----->86 70
17:50:48.911 -> 572----->71 65
17:50:48.911 -> 573----->56 61
17:50:48.911 -> 574----->41 56
17:50:48.911 -> 575----->26 51
17:50:48.911 -> 576----->10 46
17:50:48.911 -> 577----->-4 41
17:50:48.911 -> 578----->0 36
17:50:48.911 -> 579----->0 31
17:50:48.911 -> 580----->0 25
17:50:48.911 -> 581----->0 20
17:50:48.911 -> 582----->0 14
17:50:48.911 -> 583----->0 9
17:50:48.911 -> 584----->0 0
17:50:48.911 -> 585----->0 0
17:50:48.911 -> 586----->0 0
17:50:48.911 -> 587----->0 0
17:50:48.911 -> 588----->0 0
17:50:48.911 -> 589----->0 0
17:50:48.911 -> 590----->0 0
17:50:48.911 -> 591----->0 0
17:50:48.911 -> 592----->0 0
17:50:48.911 -> 593----->0 0
17:50:48.911 -> 594----->0 0
17:50:48.911 -> 595----->0 0
17:50:48.911 -> 596----->0 0
17:50:48.911 -> 597----->0 0
17:50:48.911 -> 598----->0 0
17:50:48.911 -> 599----->0 0
17:50:48.911 -> 600----->0 0
17:50:48.911 -> 601----->0 0
17:50:48.911 -> 602----->0 0
17:50:48.911 -> 603----->0 0
17:50:48.911 -> 604----->0 0
17:50:48.911 -> 605----->0 0
17:50:48.911 -> 606----->0 0

17:50:48.911 -> 607----->0 0
17:50:48.911 -> 608----->0 0
17:50:48.911 -> 609----->0 0
17:50:48.911 -> 610----->0 0
17:50:48.911 -> 611----->0 0
17:50:48.911 -> 612----->0 0
17:50:48.911 -> 613----->0 0
17:50:48.911 -> 614----->0 0
17:50:48.911 -> 615----->0 0
17:50:48.911 -> 616----->0 0
17:50:48.911 -> 617----->0 0
17:50:48.911 -> 618----->0 0
17:50:48.911 -> 619----->0 0
17:50:48.911 -> 620----->0 0
17:50:48.911 -> 621----->0 0
17:50:48.911 -> 622----->0 0
17:50:48.911 -> 623----->0 0
17:50:48.911 -> 624----->0 0
17:50:48.911 -> 625----->0 0
17:50:48.911 -> 626----->0 0
17:50:48.949 -> 627----->0 0
17:50:48.949 -> 628----->0 0
17:50:48.949 -> 629----->0 0
17:50:48.949 -> 630----->0 0
17:50:48.949 -> 631----->0 0
17:50:48.949 -> 632----->0 0
17:50:48.949 -> 633----->0 0
17:50:48.949 -> 634----->0 0
17:50:48.949 -> 635----->0 0
17:50:48.949 -> 636----->0 0
17:50:48.949 -> 637----->0 0
17:50:48.949 -> 638----->0 0
17:50:48.949 -> 639----->0 0
17:50:48.949 -> 640----->0 0
17:50:48.949 -> 641----->0 0
17:50:48.949 -> 642----->0 0
17:50:48.949 -> 643----->15 0
17:50:48.949 -> 644----->30 0
17:50:48.949 -> 645----->45 0
17:50:48.949 -> 646----->61 0
17:50:48.949 -> 647----->76 0
17:50:48.949 -> 648----->90 0
17:50:48.949 -> 649----->105 0
17:50:48.949 -> 650----->119 0
17:50:48.949 -> 651----->133 5
17:50:48.949 -> 652----->147 11
17:50:48.949 -> 653----->161 16
17:50:48.949 -> 654----->174 21
17:50:48.949 -> 655----->186 27

17:50:48.949 -> 656----->198 32
17:50:48.949 -> 657----->210 37
17:50:48.949 -> 658----->221 43
17:50:48.949 -> 659----->231 48
17:50:48.949 -> 660----->241 53
17:50:48.949 -> 661----->251 57
17:50:48.949 -> 662----->260 62
17:50:48.949 -> 663----->268 66
17:50:48.949 -> 664----->275 71
17:50:48.949 -> 665----->282 75
17:50:48.949 -> 666----->288 79
17:50:48.949 -> 667----->294 83
17:50:48.949 -> 668----->299 86
17:50:48.949 -> 669----->303 90
17:50:48.949 -> 670----->306 93
17:50:48.949 -> 671----->308 96
17:50:48.949 -> 672----->310 99
17:50:48.949 -> 673----->311 101
17:50:48.949 -> 674----->311 103
17:50:48.949 -> 675----->311 105
17:50:48.949 -> 676----->310 107
17:50:48.949 -> 677----->308 108
17:50:48.949 -> 678----->305 109
17:50:48.949 -> 679----->302 110
17:50:48.949 -> 680----->297 111
17:50:48.949 -> 681----->292 111
17:50:48.949 -> 682----->287 111
17:50:48.949 -> 683----->280 111
17:50:48.949 -> 684----->273 111
17:50:48.949 -> 685----->266 110
17:50:48.949 -> 686----->257 109
17:50:48.949 -> 687----->248 108
17:50:48.949 -> 688----->239 106
17:50:48.949 -> 689----->228 105
17:50:48.949 -> 690----->218 103
17:50:48.949 -> 691----->206 100
17:50:48.949 -> 692----->195 98
17:50:48.949 -> 693----->183 95
17:50:48.949 -> 694----->170 92
17:50:48.949 -> 695----->157 89
17:50:48.949 -> 696----->143 85
17:50:48.949 -> 697----->129 82
17:50:48.949 -> 698----->115 78
17:50:48.949 -> 699----->101 74
17:50:48.949 -> 700----->86 70
17:50:48.949 -> 701----->71 65
17:50:48.949 -> 702----->56 61
17:50:48.949 -> 703----->41 56
17:50:48.949 -> 704----->26 51

17:50:48.949 -> 705----->10 46
17:50:48.949 -> 706----->-4 41
17:50:48.949 -> 707----->0 36
17:50:48.949 -> 708----->0 31
17:50:48.949 -> 709----->0 25
17:50:48.949 -> 710----->0 20
17:50:48.987 -> 711----->0 14
17:50:48.987 -> 712----->0 9
17:50:48.987 -> 713----->0 0
17:50:48.987 -> 714----->0 0
17:50:48.987 -> 715----->0 0
17:50:48.987 -> 716----->0 0
17:50:48.987 -> 717----->0 0
17:50:48.987 -> 718----->0 0
17:50:48.987 -> 719----->0 0
17:50:48.987 -> 720----->0 0
17:50:48.987 -> 721----->0 0
17:50:48.987 -> 722----->0 0
17:50:48.987 -> 723----->0 0
17:50:48.987 -> 724----->0 0
17:50:48.987 -> 725----->0 0
17:50:48.987 -> 726----->0 0
17:50:48.987 -> 727----->0 0
17:50:48.987 -> 728----->0 0
17:50:48.987 -> 729----->0 0
17:50:48.987 -> 730----->0 0
17:50:48.987 -> 731----->0 0
17:50:48.987 -> 732----->0 0
17:50:48.987 -> 733----->0 0
17:50:48.987 -> 734----->0 0
17:50:48.987 -> 735----->0 0
17:50:48.987 -> 736----->0 0
17:50:48.987 -> 737----->0 0
17:50:48.987 -> 738----->0 0
17:50:48.987 -> 739----->0 0
17:50:48.987 -> 740----->0 0
17:50:48.987 -> 741----->0 0
17:50:48.987 -> 742----->0 0
17:50:48.987 -> 743----->0 0
17:50:48.987 -> 744----->0 0
17:50:48.987 -> 745----->0 0
17:50:48.987 -> 746----->0 0
17:50:48.987 -> 747----->0 0
17:50:48.987 -> 748----->0 0
17:50:48.987 -> 749----->0 0
17:50:48.987 -> 750----->0 0
17:50:48.987 -> 751----->0 0
17:50:48.987 -> 752----->0 0
17:50:48.987 -> 753----->0 0

17:50:48.987 -> 754----->0 0
17:50:48.987 -> 755----->0 0
17:50:48.987 -> 756----->0 0
17:50:48.987 -> 757----->0 0
17:50:48.987 -> 758----->0 0
17:50:48.987 -> 759----->0 0
17:50:48.987 -> 760----->0 0
17:50:48.987 -> 761----->0 0
17:50:48.987 -> 762----->0 0
17:50:48.987 -> 763----->0 0
17:50:48.987 -> 764----->0 0
17:50:48.987 -> 765----->0 0
17:50:48.987 -> 766----->0 0
17:50:48.987 -> 767----->0 0
17:50:48.987 -> 768----->0 0
17:50:48.987 -> 769----->0 0
17:50:48.987 -> 770----->0 0
17:50:48.987 -> 771----->0 0
17:50:48.987 -> 772----->15 0
17:50:48.987 -> 773----->30 0
17:50:48.987 -> 774----->45 0
17:50:48.987 -> 775----->61 0
17:50:48.987 -> 776----->76 0
17:50:48.987 -> 777----->90 0
17:50:48.987 -> 778----->105 0
17:50:48.987 -> 779----->119 0
17:50:48.987 -> 780----->133 5
17:50:48.987 -> 781----->147 11
17:50:48.987 -> 782----->161 16
17:50:48.987 -> 783----->174 21
17:50:48.987 -> 784----->186 27
17:50:48.987 -> 785----->198 32
17:50:48.987 -> 786----->210 37
17:50:48.987 -> 787----->221 43
17:50:48.987 -> 788----->231 48
17:50:48.987 -> 789----->241 53
17:50:48.987 -> 790----->251 57
17:50:48.987 -> 791----->260 62
17:50:48.987 -> 792----->268 66
17:50:48.987 -> 793----->275 71
17:50:48.987 -> 794----->282 75
17:50:48.987 -> 795----->288 79
17:50:48.987 -> 796----->294 83
17:50:48.987 -> 797----->299 86
17:50:48.987 -> 798----->303 90
17:50:48.987 -> 799----->306 93
17:50:48.987 -> 800----->308 96
17:50:48.987 -> 801----->310 99
17:50:48.987 -> 802----->311 101

17:50:48.987 -> 803----->311 103
17:50:48.987 -> 804----->311 105
17:50:48.987 -> 805----->310 107
17:50:48.987 -> 806----->308 108
17:50:48.987 -> 807----->305 109
17:50:48.987 -> 808----->302 110
17:50:48.987 -> 809----->297 111
17:50:48.987 -> 810----->292 111
17:50:49.025 -> 811----->287 111
17:50:49.025 -> 812----->280 111
17:50:49.025 -> 813----->273 111
17:50:49.025 -> 814----->266 110
17:50:49.025 -> 815----->257 109
17:50:49.025 -> 816----->248 108
17:50:49.025 -> 817----->239 106
17:50:49.025 -> 818----->228 105
17:50:49.025 -> 819----->218 103
17:50:49.025 -> 820----->206 100
17:50:49.025 -> 821----->195 98
17:50:49.025 -> 822----->183 95
17:50:49.025 -> 823----->170 92
17:50:49.025 -> 824----->157 89
17:50:49.025 -> 825----->143 85
17:50:49.025 -> 826----->129 82
17:50:49.025 -> 827----->115 78
17:50:49.025 -> 828----->101 74
17:50:49.025 -> 829----->86 70
17:50:49.025 -> 830----->71 65
17:50:49.025 -> 831----->56 61
17:50:49.025 -> 832----->41 56
17:50:49.025 -> 833----->26 51
17:50:49.025 -> 834----->10 46
17:50:49.025 -> 835----->-4 41
17:50:49.025 -> 836----->0 36
17:50:49.025 -> 837----->0 31
17:50:49.025 -> 838----->0 25
17:50:49.025 -> 839----->0 20
17:50:49.025 -> 840----->0 14
17:50:49.025 -> 841----->0 9
17:50:49.025 -> 842----->0 0
17:50:49.025 -> 843----->0 0
17:50:49.025 -> 844----->0 0
17:50:49.025 -> 845----->0 0
17:50:49.025 -> 846----->0 0
17:50:49.025 -> 847----->0 0
17:50:49.025 -> 848----->0 0
17:50:49.025 -> 849----->0 0
17:50:49.025 -> 850----->0 0
17:50:49.025 -> 851----->0 0

17:50:49.025 -> 852----->0 0
17:50:49.025 -> 853----->0 0
17:50:49.025 -> 854----->0 0
17:50:49.025 -> 855----->0 0
17:50:49.025 -> 856----->0 0
17:50:49.025 -> 857----->0 0
17:50:49.025 -> 858----->0 0
17:50:49.025 -> 859----->0 0
17:50:49.025 -> 860----->0 0
17:50:49.025 -> 861----->0 0
17:50:49.025 -> 862----->0 0
17:50:49.025 -> 863----->0 0
17:50:49.025 -> 864----->0 0
17:50:49.025 -> 865----->0 0
17:50:49.025 -> 866----->0 0
17:50:49.025 -> 867----->0 0
17:50:49.025 -> 868----->0 0
17:50:49.025 -> 869----->0 0
17:50:49.025 -> 870----->0 0
17:50:49.025 -> 871----->0 0
17:50:49.025 -> 872----->0 0
17:50:49.025 -> 873----->0 0
17:50:49.025 -> 874----->0 0
17:50:49.025 -> 875----->0 0
17:50:49.025 -> 876----->0 0
17:50:49.025 -> 877----->0 0
17:50:49.025 -> 878----->0 0
17:50:49.025 -> 879----->0 0
17:50:49.025 -> 880----->0 0
17:50:49.025 -> 881----->0 0
17:50:49.025 -> 882----->0 0
17:50:49.025 -> 883----->0 0
17:50:49.025 -> 884----->0 0
17:50:49.025 -> 885----->0 0
17:50:49.025 -> 886----->0 0
17:50:49.025 -> 887----->0 0
17:50:49.025 -> 888----->0 0
17:50:49.025 -> 889----->0 0
17:50:49.025 -> 890----->0 0
17:50:49.025 -> 891----->0 0
17:50:49.025 -> 892----->0 0
17:50:49.025 -> 893----->0 0
17:50:49.025 -> 894----->0 0
17:50:49.025 -> 895----->0 0
17:50:49.025 -> 896----->0 0
17:50:49.025 -> 897----->0 0
17:50:49.025 -> 898----->0 0
17:50:49.025 -> 899----->0 0
17:50:49.025 -> 900----->0 0

17:50:49.025 -> 901----->15 0
17:50:49.025 -> 902----->30 0
17:50:49.025 -> 903----->45 0
17:50:49.025 -> 904----->61 0
17:50:49.025 -> 905----->76 0
17:50:49.025 -> 906----->90 0
17:50:49.025 -> 907----->105 0
17:50:49.025 -> 908----->119 0
17:50:49.063 -> 909----->133 5
17:50:49.063 -> 910----->147 11
17:50:49.063 -> 911----->161 16
17:50:49.063 -> 912----->174 21
17:50:49.063 -> 913----->186 27
17:50:49.063 -> 914----->198 32
17:50:49.063 -> 915----->210 37
17:50:49.063 -> 916----->221 43
17:50:49.063 -> 917----->231 48
17:50:49.063 -> 918----->241 53
17:50:49.063 -> 919----->251 57
17:50:49.063 -> 920----->260 62
17:50:49.063 -> 921----->268 66
17:50:49.063 -> 922----->275 71
17:50:49.063 -> 923----->282 75
17:50:49.063 -> 924----->288 79
17:50:49.063 -> 925----->294 83
17:50:49.063 -> 926----->299 86
17:50:49.063 -> 927----->303 90
17:50:49.063 -> 928----->306 93
17:50:49.063 -> 929----->308 96
17:50:49.063 -> 930----->310 99
17:50:49.063 -> 931----->311 101
17:50:49.063 -> 932----->311 103
17:50:49.063 -> 933----->311 105
17:50:49.063 -> 934----->310 107
17:50:49.063 -> 935----->308 108
17:50:49.063 -> 936----->305 109
17:50:49.063 -> 937----->302 110
17:50:49.063 -> 938----->297 111
17:50:49.063 -> 939----->292 111
17:50:49.063 -> 940----->287 111
17:50:49.063 -> 941----->280 111
17:50:49.063 -> 942----->273 111
17:50:49.063 -> 943----->266 110
17:50:49.063 -> 944----->257 109
17:50:49.063 -> 945----->248 108
17:50:49.063 -> 946----->239 106
17:50:49.063 -> 947----->228 105
17:50:49.063 -> 948----->218 103
17:50:49.063 -> 949----->206 100

17:50:49.063 -> 950----->195 98
17:50:49.063 -> 951----->183 95
17:50:49.063 -> 952----->170 92
17:50:49.063 -> 953----->157 89
17:50:49.063 -> 954----->143 85
17:50:49.063 -> 955----->129 82
17:50:49.063 -> 956----->115 78
17:50:49.063 -> 957----->101 74
17:50:49.063 -> 958----->86 70
17:50:49.063 -> 959----->71 65
17:50:49.063 -> 960----->56 61
17:50:49.063 -> 961----->41 56
17:50:49.063 -> 962----->26 51
17:50:49.063 -> 963----->10 46
17:50:49.063 -> 964----->0 41
17:50:49.063 -> 965----->0 36
17:50:49.063 -> 966----->0 31
17:50:49.063 -> 967----->0 25
17:50:49.063 -> 968----->0 20
17:50:49.063 -> 969----->0 14
17:50:49.063 -> 970----->0 9
17:50:49.063 -> 971----->0 0
17:50:49.063 -> 972----->0 0
17:50:49.063 -> 973----->0 0
17:50:49.063 -> 974----->0 0
17:50:49.063 -> 975----->0 0
17:50:49.063 -> 976----->0 0
17:50:49.063 -> 977----->0 0
17:50:49.063 -> 978----->0 0
17:50:49.063 -> 979----->0 0
17:50:49.063 -> 980----->0 0
17:50:49.063 -> 981----->0 0
17:50:49.063 -> 982----->0 0
17:50:49.063 -> 983----->0 0
17:50:49.063 -> 984----->0 0
17:50:49.063 -> 985----->0 0
17:50:49.063 -> 986----->0 0
17:50:49.063 -> 987----->0 0
17:50:49.063 -> 988----->0 0
17:50:49.063 -> 989----->0 0
17:50:49.063 -> 990----->0 0
17:50:49.063 -> 991----->0 0
17:50:49.063 -> 992----->0 0
17:50:49.063 -> 993----->0 0
17:50:49.063 -> 994----->0 0
17:50:49.063 -> 995----->0 0
17:50:49.063 -> 996----->0 0
17:50:49.063 -> 997----->0 0
17:50:49.063 -> 998----->0 0

17:50:49.063 -> 999----->0 0
 17:50:49.101 -> -----
 17:50:49.101 -> 128
 17:50:49.101 -> 257
 17:50:49.101 -> 386
 17:50:49.101 -> 514
 17:50:49.101 -> 643
 17:50:49.101 -> 772
 17:50:49.101 -> 901
 17:50:49.101 -> -----
 17:50:49.101 -> 136
 17:50:49.101 -> 265
 17:50:49.101 -> 394
 17:50:49.101 -> 522
 17:50:49.101 -> 651
 17:50:49.101 -> 780
 17:50:49.101 -> 909
 17:50:49.101 -> 128
 17:50:49.101 -> 0 ---- 136-128=8
 17:50:49.101 -> 1 ---- 265-257=8
 17:50:49.101 -> 2 ---- 394-386=8
 17:50:49.101 -> 3 ---- 522-514=8
 17:50:49.101 -> 4 ---- 651-643=8
 17:50:49.101 -> 5 ---- 780-772=8
 17:50:49.101 -> 6 ---- 909-901=8
 17:50:49.101 -> -----
 17:50:49.101 -> 8
 17:50:49.101 -> 8
 17:50:49.101 -> 8
 17:50:49.101 -> 8
 17:50:49.101 -> 8
 17:50:49.101 -> 8
 17:50:49.101 -> 8
 17:50:49.101 -> 8
 17:50:49.101 -> 0.00015696
 17:50:49.101 -> 56.00
 17:50:49.101 -> tiempo desfase 0.00125567
 17:50:49.101 -> 8.00 **** 0.39447999
 17:50:51.087 -> 0.97
 17:50:51.087 -> Valores Tensión e intensidad
 17:50:51.087 -> 54.63
 17:50:51.087 -> 380.00
 17:50:51.087 -> Capacidad necesaria:
 17:50:51.087 -> 0.00017589
 17:50:51.087 -> 0 0 1 1 0 0
 17:50:51.087 -> Potencias:
 17:50:51.344 -> S: 20761
 17:50:51.344 -> P: 19166
 17:50:51.344 -> Q: 7979
 17:50:54.375 -> -Desfase-

17:50:54.602 -> rad: 0.39
17:50:54.602 -> deg: 22.60
17:50:54.602 -> CPhi: 0.92
17:50:57.636 -> capaci. uF
17:50:57.858 -> 1:
17:50:57.858 -> 2:66 88
17:50:57.858 -> 3:
17:50:59.869 -> -Nuevo FP-
17:51:00.092 ->
17:51:00.155 -> 0.9987
17:51:00.155 ->