



**Universidad**  
Zaragoza

## Trabajo Fin de Grado

Puesta en marcha y medidas con el dispositivo de  
análisis de la calidad de la energía OpenZmeter

Autor

Pablo Tregón Esteban

Directores

Raúl Igual Catalán

Carlos Medrano Sánchez

Escuela Universitaria Politécnica de Teruel

2019



## RESUMEN

OpenZmeter es un dispositivo capaz de monitorizar el consumo total de energía y la calidad de la energía suministrada en tiempo real. Es un dispositivo de hardware libre de bajo coste. Su uso es de gran utilidad para poder visualizar y registrar la actividad eléctrica de los hogares.

En este proyecto se aborda la configuración de este dispositivo de hardware libre. Además, se utiliza para tomar medidas sobre diferentes cargas comunes en la vida cotidiana como son una bombilla, un fluorescente, un ordenador, un motor monofásico, una impresora 3D, un ventilador y un secador de pelo. Posteriormente se analizan críticamente los resultados obtenidos.

**Palabras clave:** consumo de energía; calidad de energía; tiempo real; hardware libre; OpenZmeter.

## ABSTRACT

OpenZmeter is a device to monitor energy consumption and power quality in real time. It is an open-hardware low-cost device. It is useful to visualize and record the electrical activity of common facilities.

This project addresses the configuration of this open hardware device. In addition, a set of measurements are carried out on different loads used in daily life such as a light bulb, a fluorescent, a computer, a single phase motor, a 3D printer, a fan, and a hair dryer. The results obtained are critically analyzed.

**Keywords:** energy consumption; power quality; real time; free hardware; OpenZmeter.



## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>Capítulo 1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1.    Contexto y justificación del trabajo .....	1
1.2.    Objetivos .....	1
<b>Capítulo 2. MATERIALES Y COMPONENTES .....</b>	<b>2</b>
2.1.    Origen de OpenZmeter .....	2
2.2.    ¿Qué es OpenZmeter? .....	3
2.3.    ¿Para qué sirve? .....	3
2.4.1.    Entradas de tensión y corriente .....	4
2.4.2.    Fuente de alimentación.....	4
2.4.3.    Batería .....	4
2.4.4.    Microcontrolador STM32 .....	4
2.4.5.    Gestión de la energía.....	5
2.4.6.    Acondicionamiento de señal.....	5
2.5.    Medidas eléctricas en tiempo real .....	6
2.5.1.    Valores eficaces de tensión y corriente .....	6
2.5.2.    Potencia activa, reactiva y aparente .....	8
2.5.3.    Factor de potencia.....	11
2.5.4.    Distorsión armónica total.....	12
2.5.5.    Energía activa y reactiva.....	13
2.5.6.    Frecuencia .....	13
2.6.    Conexiones .....	13
2.6.1.    Descripción del montaje de OpenZmeter .....	14
2.6.2.    Conexión mediante Bluetooth .....	15
2.6.3.    Conexión cliente Wifi .....	15
<b>Capítulo 3. ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE CARGAS .....</b>	<b>16</b>
3.1.    CARGA 1: BOMBILLA .....	16
3.2.    CARGA 2: FLUORESCENTE .....	20
3.3.    CARGA 3: ORDENADOR .....	25
3.4.    CARGA 4: MOTOR MONOFÁSICO.....	29
3.5.    CARGA 5: IMPRESORA 3D.....	33
3.6.    CARGA 6: VENTILADOR.....	38
3.7.    CARGA 7: SECADOR .....	43

<b>Capítulo 4. CONCLUSIONES .....</b>	<b>48</b>
<b>Capítulo 5. TRABAJO FUTURO .....</b>	<b>49</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>50</b>
<b>ANEXO 1: Ilustraciones del montaje de OpenZmeter. .....</b>	<b>I</b>
<b>ANEXO 2: Ilustraciones de las cargas utilizadas. .....</b>	<b>III</b>
<b>ANEXO 3: Tabla resumen de las medidas en todas las cargas tomadas con OpenZmeter. ...</b>	<b>VIII</b>

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1. OPENZMETER .....	2
ILUSTRACIÓN 2. DIAGRAMA DE BLOQUES DE HARDWARE .....	3
ILUSTRACIÓN 3. ONDAS DE VOLTAJE Y CORRIENTE .....	10
ILUSTRACIÓN 4. TRIÁNGULO DE POTENCIAS .....	12
ILUSTRACIÓN 5. CABLEADO DE OPENZMETER.....	14
ILUSTRACIÓN 6. REGISTRO PARA ENLAZAR OPENZMETER.....	15
ILUSTRACIÓN 7. FORMA DE ONDA DE VOLTAJE.....	16
ILUSTRACIÓN 8. FORMA DE ONDA DE CORRIENTE .....	17
ILUSTRACIÓN 9. VALOR EFICAZ DE LA CORRIENTE .....	17
ILUSTRACIÓN 10. GRÁFICA POTENCIA ACTIVA.....	18
ILUSTRACIÓN 11. GRÁFICA DE LA POTENCIA REACTIVA .....	18
ILUSTRACIÓN 12. PARÁMETROS DEL VOLTAJE.....	19
ILUSTRACIÓN 13. PARÁMETROS DE LA CORRIENTE.....	19
ILUSTRACIÓN 14. FASORES DE VOLTAJE Y CORRIENTE .....	20
ILUSTRACIÓN 15. FORMA DE ONDA DE CORRIENTE .....	21
ILUSTRACIÓN 16. VALOR EFICAZ DE LA CORRIENTE .....	21
ILUSTRACIÓN 17. GRÁFICA POTENCIA ACTIVA.....	22
ILUSTRACIÓN 18. GRÁFICA DE LA POTENCIA REACTIVA .....	23
ILUSTRACIÓN 19. PARÁMETROS DEL VOLTAJE.....	23
ILUSTRACIÓN 20. PARÁMETROS DE LA CORRIENTE .....	23
ILUSTRACIÓN 21. FASORES DE VOLTAJE Y CORRIENTE .....	24
ILUSTRACIÓN 22. FORMA DE ONDA DE CORRIENTE .....	25
ILUSTRACIÓN 23. VALOR EFICAZ DE LA CORRIENTE .....	25
ILUSTRACIÓN 24. GRÁFICA POTENCIA ACTIVA.....	26
ILUSTRACIÓN 25. GRÁFICA DE LA POTENCIA REACTIVA .....	27
ILUSTRACIÓN 26. PARÁMETROS DEL VOLTAJE.....	27
ILUSTRACIÓN 27. PARÁMETROS DE LA CORRIENTE.....	27
ILUSTRACIÓN 28. FASORES DE VOLTAJE Y CORRIENTE .....	28
ILUSTRACIÓN 29. FORMA DE ONDA DE CORRIENTE .....	29
ILUSTRACIÓN 30. VALOR EFICAZ DE LA CORRIENTE .....	29
ILUSTRACIÓN 31. GRÁFICA POTENCIA ACTIVA.....	30
ILUSTRACIÓN 32. GRÁFICA DE LA POTENCIA REACTIVA .....	31
ILUSTRACIÓN 33. PARÁMETROS DEL VOLTAJE.....	33
ILUSTRACIÓN 34. PARÁMETROS DE LA CORRIENTE.....	32

ILUSTRACIÓN 35. FASORES DE VOLTAJE Y CORRIENTE .....	33
ILUSTRACIÓN 36. FORMA DE ONDA DE CORRIENTE .....	33
ILUSTRACIÓN 37. VALOR EFICAZ DE LA CORRIENTE .....	34
ILUSTRACIÓN 38. GRÁFICA POTENCIA ACTIVA .....	35
ILUSTRACIÓN 39. GRÁFICA DE LA POTENCIA REACTIVA .....	36
ILUSTRACIÓN 40. PARÁMETROS DEL VOLTAJE .....	38
ILUSTRACIÓN 41. PARÁMETROS DE LA CORRIENTE .....	37
ILUSTRACIÓN 42. FASORES DE VOLTAJE Y CORRIENTE .....	38
ILUSTRACIÓN 43. FORMA DE ONDA DE CORRIENTE .....	38
ILUSTRACIÓN 44. VALOR EFICAZ DE LA CORRIENTE .....	39
ILUSTRACIÓN 45. GRÁFICA POTENCIA ACTIVA .....	40
ILUSTRACIÓN 46. GRÁFICA DE LA POTENCIA REACTIVA .....	41
ILUSTRACIÓN 47. PARÁMETROS DEL VOLTAJE .....	43
ILUSTRACIÓN 48. PARÁMETROS DE LA CORRIENTE .....	42
ILUSTRACIÓN 49. FASORES DE VOLTAJE Y CORRIENTE .....	42
ILUSTRACIÓN 50. FORMA DE ONDA DE CORRIENTE .....	43
ILUSTRACIÓN 51. VALOR EFICAZ DE LA CORRIENTE .....	44
ILUSTRACIÓN 52. GRÁFICA POTENCIA ACTIVA .....	45
ILUSTRACIÓN 53. GRÁFICA DE LA POTENCIA REACTIVA .....	46
ILUSTRACIÓN 54. PARÁMETROS DEL VOLTAJE .....	48
ILUSTRACIÓN 55. PARÁMETROS DE LA CORRIENTE .....	47
ILUSTRACIÓN 56. FASORES DE VOLTAJE Y CORRIENTE .....	48
ILUSTRACIÓN 57. INSTALACIÓN ELÉCTRICA SIMULANDO UN HOGAR .....	I
ILUSTRACIÓN 58. CABLEADO OPENZMETER (I) .....	I
ILUSTRACIÓN 59. CABLEADO OPENZMETER (II) .....	II
ILUSTRACIÓN 60. DISPOSITIVO OPENZMETER AL INICIARSE .....	II
ILUSTRACIÓN 61. BOMBILLA INCANDESCENTE .....	III
ILUSTRACIÓN 62. FLUORESCENTE .....	III
ILUSTRACIÓN 63. INFORMACIÓN TÉCNICA FLUORESCENTE .....	III
ILUSTRACIÓN 64. ORDENADOR .....	IV
ILUSTRACIÓN 65. INFORMACIÓN TÉCNICA ORDENADOR .....	IV
ILUSTRACIÓN 66. MOTOR MONOFÁSICO CON LAS CONEXIONES ELÉCTRICAS PARA SER CONECTADO A LA RED MONOFÁSICA DE 220V .....	V
ILUSTRACIÓN 67. INFORMACIÓN TÉCNICA MOTOR MONOFÁSICO .....	V
ILUSTRACIÓN 68. IMPRESORA 3D .....	VI
ILUSTRACIÓN 69. VENTILADOR .....	VI
ILUSTRACIÓN 70. INFORMACIÓN TÉCNICA VENTILADOR .....	VII
ILUSTRACIÓN 71. SECADOR .....	VII
ILUSTRACIÓN 72. INFORMACIÓN TÉCNICA SECADOR .....	VII
ILUSTRACIÓN 73. TABLA RESUMEN DE LAS MEDIDAS REALIZADAS PARA LAS DIFERENTES CARGAS CON OPENZMETER .....	VIII

# Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Contexto y justificación del trabajo

Actualmente está aumentando el número de dispositivos electrónicos en nuestros hogares y por ello, es muy importante controlar el consumo total de energía y la calidad de la energía suministrada. En la práctica, los usuarios no disponen de esa información en tiempo real ya que los dispositivos que la ofrecen son complejos de manejar para usuarios no especializados. En este TFG se va a utilizar el dispositivo OpenZmeter. Es un dispositivo de bajo coste y de hardware libre apropiado para monitorizar en tiempo real redes eléctricas domésticas o profesionales.

La finalidad del trabajo es realizar el proceso de puesta a punto del dispositivo OpenZmeter. Además, se usará para conocer las características de consumo y calidad de energía de diferentes cargas típicas. Este TFG contribuirá a dar a conocer este dispositivo de hardware libre que tiene el potencial de ayudar a los hogares en el ahorro económico en la factura de la luz. La información puede visualizarse en una tableta u ordenador de forma intuitiva gracias a su cuidada interfaz gráfica.

## 1.2. Objetivos

El objetivo principal del presente trabajo consistirá en utilizar el dispositivo OpenZmeter para realizar una serie de medidas sobre diferentes cargas utilizadas en nuestra vida cotidiana o en la propia Universidad y posteriormente analizar críticamente los resultados obtenidos.

Como objetivos más específicos se realizará la puesta a punto y montaje completo del dispositivo OpenZmeter en una instalación eléctrica. Por otro lado, se realizará la conexión Bluetooth entre OpenZmeter y un dispositivo electrónico de visualización (en nuestro caso una tableta). De este modo se accederá a la aplicación web en la que se visualizan todos los datos registrados y transmitidos por OpenZmeter.

## Capítulo 2. MATERIALES Y COMPONENTES

A continuación, se va a proceder a explicar los distintos componentes y funciones que realiza OpenZmeter. En primer lugar, se realizará una breve introducción del dispositivo. A continuación, se describirá su composición y las funciones para las que ha sido diseñado. Finalmente, se analizarán las diferentes conexiones que se pueden realizar con OpenZmeter.

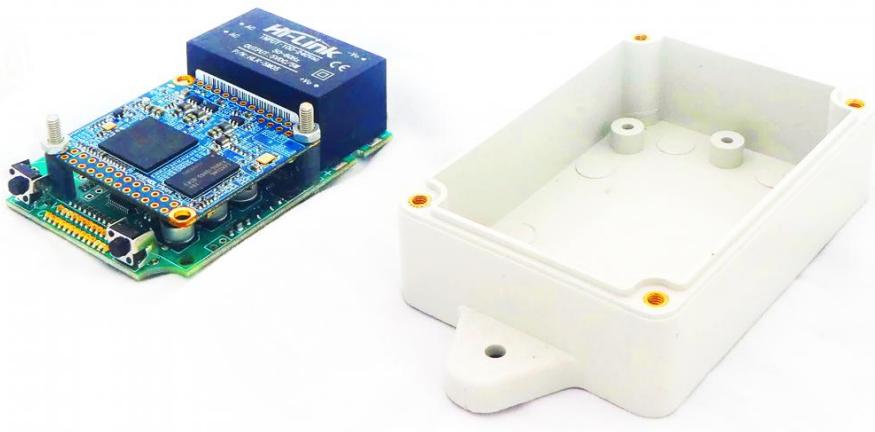


Ilustración 1. OpenZmeter (OpenZmeter, 2019)

### 2.1. Origen de OpenZmeter

El origen del proyecto se remonta al año 2010 donde un estudiante de ingeniería de la Universidad de Almería realizó un proyecto llamado zEnergy en su trabajo de fin de grado siendo el embrión de lo que es ahora OpenZmeter.

Años más tarde, se publicó un artículo científico en la Conferencia Internacional sobre Ingeniería de Potencia, Energía y Conducciones Eléctricas, un congreso de IEEE celebrado en Málaga (España).

Más tarde, una vez diseñada la interfaz y realizadas las pruebas necesarias con la placa BeagleBone Black (BBB), se comenzó con la fase de definición del hardware. En el año 2013, el proyecto se amplió gracias a la incorporación de nuevas personas, pero no fue hasta el año 2015 cuando el proyecto dio un gran salto con la colaboración de un estudiante de electrónica ya que empezaron los primeros diseños del escudo donde se insertaría la BBB.

Finalmente, gracias a los conocimientos y experiencia en microcontroladores, electrónica y código de bajo nivel de una nueva incorporación, se rediseño completamente el OpenZmeter. El sistema actual es capaz de realizar mediciones de tensión con una precisión del 0,1 % y de corriente del 1 % (OpenZmeter, OpenZmeter, 2019).

## 2.2. ¿Qué es OpenZmeter?

OpenZmeter (oZm) es un dispositivo innovador, de bajo coste y además cuenta con un sistema de código abierto que está diseñado para controlar el consumo total de energía y analizar la calidad de la energía en las redes eléctricas. (Zred 1. , 2019).

## 2.3. ¿Para qué sirve?

OpenZmeter, entre otras muchas cosas, es capaz de medir valores eficaces para la tensión y corriente, diferentes tipos de potencias, mediciones del consumo y generación de energía, distorsiones armónicas y frecuencias de la red. Lo que le caracteriza es su precisión, ya que puede medir voltajes y corrientes eficaces con una gran precisión y frecuencias de hasta 10 mHz. (Zred 1. , 2019).

## 2.4. Descripción del hardware

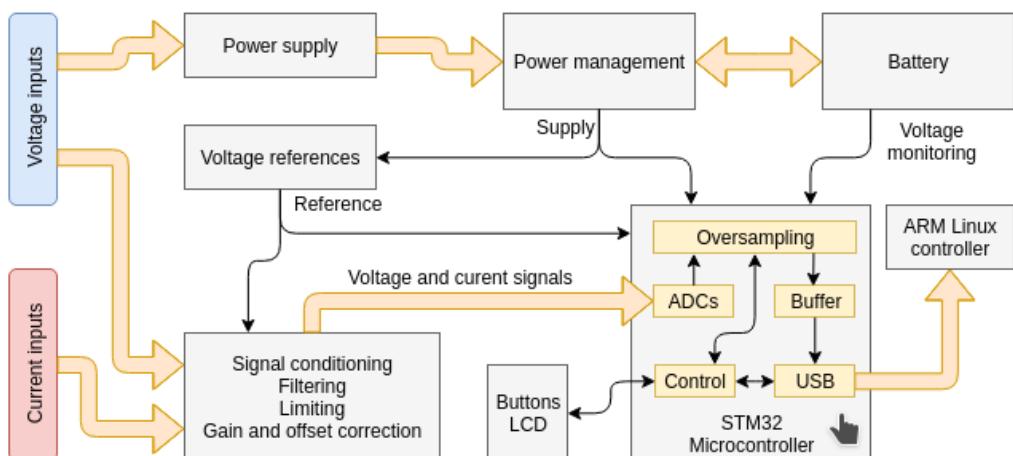


Ilustración 2. Diagrama de bloques de hardware (oZm, 2019).

La Ilustración 2 representa un diagrama de bloques del hardware de OpenZmeter. A continuación, en los apartados siguientes, se explica detalladamente dicho diagrama.

#### **2.4.1. Entradas de tensión y corriente**

En primer lugar, la entrada de voltaje (Lin, Nin) puede admitir hasta 265 Vca y se encuentra protegida contra sobretensiones, de modo que, en caso de que existiera un aumento repentino que superase los límites permisibles, no se dañaría el dispositivo. La protección se logra gracias a un varistor que reduce de una forma brusca la resistencia entre los terminales al aparecer una tensión superior y, en consecuencia, el fusible reacciona.

La entrada de corriente fluye a través del propio OpenZmeter, atravesando un sensor de efecto Hall que se encuentra integrado en la placa (Infineon TLI4970). La corriente máxima permitida por el sensor es de 50 A. Además, para facilitar el montaje y reducir las pérdidas, la PCB tiene grandes PADs (OpenZmeter Z. , 2019).

#### **2.4.2. Fuente de alimentación**

En cuanto a la fuente de alimentación, OpenZmeter se alimenta directamente de la corriente que circula por el cuadro eléctrico del hogar. Es necesario adaptar el voltaje a un nivel apropiado y para ello, se utiliza un modulo convertidor de corriente alterna a corriente continua que proporciona un valor de salida estable de 5 V para una entrada de línea universal de entre 85 a 265 V (OpenZmeter Z. , 2019)

#### **2.4.3. Batería**

OpenZmeter requiere de una batería interna que permanezca activa aunque la fuente de alimentación genere la suficiente energía para el funcionamiento del dispositivo.

La batería proporciona un valor de tensión de entre 3,5 y 4,2 V, con la electrónica necesaria internamente para que no se produzca sobrecarga y descarga acelerada.

Además la PCB dispone de un controlador de carga para que la batería pueda almacenar energía mientras se encuentra conectada a la red eléctrica (OpenZmeter Z. , 2019)

#### **2.4.4. Microcontrolador STM32**

El Microcontrolador utilizado es el STM32 de 32 bits que está basado en el procesador ARM Cortex M. Dicho microcontrolador está diseñado para ofrecer un alto rendimiento, un procesamiento de señales digitales, operaciones de bajo voltaje y bajo consumo de energía (Digikey, 2019).

El microcontrolador, en primer lugar, se encarga de recibir las señales de voltaje y corriente en los tres canales y, seguidamente, convertirlas de señales analógicas a digitales (ADC) a una velocidad de 16 kHz como máximo por canal y con una precisión de 16 bits. Dichas señales antes de ser convertidas han sufrido un acondicionamiento y una corrección en la ganancia y el offset.

El microcontrolador tiene una gran flexibilidad a la hora de capturar, lo que permite utilizar un solo canal y obtener un muestreo de 16 kHz. También puede secuenciar los tres canales pero para ello tiene que realizar un sobremuestreo, es decir, un muestreo de la señal a una frecuencia de muestreo más alta.

#### **2.4.5. Gestión de la energía**

OpenZmeter necesita, como anteriormente se ha nombrado, 5 V para poder alimentar todos los componentes. Por tanto, al tener la fuente de alimentación que entregar 5 V y una batería que ofrece entre 3,5 y 4,2 V, es necesario realizar una última conversión para que aumente el voltaje y obtener así el valor nominal de 5 V.

Para realizar este paso es necesario un convertidor de refuerzo de CC a CC y para ello se usa el MCP1642, con el diseño ofrecido por el fabricante.

La selección de las entradas, incluyendo la batería o fuente de alimentación externa, se va a realizar mediante un transistor MOSFET y un diodo cuya finalidad es conectar la batería a la entrada de dicho convertidor cuando no exista suficiente voltaje en su entrada.

Partiendo de la señal de 5 V, se van a derivar dos ramas de 3,3 V cada una para así poder alimentar el microcontrolador STM32. También será necesario alimentar los componentes electrónicos, analógicos y digitales.

Se va a utilizar para la parte digital un controlador lineal (MCP1700) y para la salida analógica un filtro LC (OpenZmeter Z. , 2019).

#### **2.4.6. Acondicionamiento de señal**

La información del canal de voltaje se obtiene a través de un amplificador de aislamiento que necesita una señal de entrada de aproximadamente 200 mV para convertirla en una señal de salida diferencial de aproximadamente 2,5 V.

Para que dicho amplificador obtenga la señal de entrada, se utiliza un divisor resistivo de fase a neutro en el que se reduce el voltaje a los 200 mV demandados por el

amplificador de aislamiento. Además, el divisor incorpora un filtro RC con la finalidad de atenuar frecuencias superiores a unos 16 kHz.

El amplificador de aislamiento incorpora un modulador cuyo objetivo es convertir el voltaje de entrada en un tren de pulsos que posteriormente se transmite a un convertidor para obtener una señal de salida internamente de 2,5 V aproximadamente.

Finalmente, la señal de salida del amplificador se transmite a los tres canales del microcontrolador STM32 a una velocidad máxima de 16 kHz por canal y con una precisión de 16 bits (OpenZmeter Z. , 2019).

## 2.5. Medidas eléctricas en tiempo real

En este apartado abordaremos las diferentes mediciones eléctricas que es capaz de capturar el sistema OpenZmeter en una red eléctrica. De todas ellas, destacamos las más importantes y fundamentales como son el voltaje y corriente eficaz, las potencias, el factor de potencia, la distorsión armónica, las energías y la frecuencia.

Por otro lado, se pueden medir también los parámetros más avanzados siguiendo unos estándares nacionales e internacionales de calidad de la energía y medición de energía como son IEC 61000-4-30 y EN 50160.

### 2.5.1. Valores eficaces de tensión y corriente

Denominamos **valor eficaz** al valor cuadrático medio de una magnitud eléctrica. El concepto de valor eficaz, se utiliza sobre todo para estudiar las formas de onda periódicas, aunque es aplicable a todas formas de onda, ya sean constantes o no. Suele denominarse con el extranjerismo RMS (Root Mean Square) (Wikipedia, 2019).

La obtención precisa del voltaje y la corriente permite calcular los parámetros más importantes del sistema eléctrico. El error a la hora de medir el voltaje es inferior a 0,1 %.

**Valor de voltaje eficaz:**

$$U_{RMS} = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N U_n^2}{N}}$$

Dónde:

$U_{RMS}$  es el valor del voltaje eficaz.

N es el número total de muestras consideradas.

$U_n$  es la n-enésima muestra actual.

En el caso de la existencia de señales sinusoidales, el valor eficaz se puede expresar de la siguiente forma:

$$U_{RMS} = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}}$$

Donde:

$U_{RMS}$  es el valor del voltaje eficaz.

$U_{max}$  es la amplitud de la sinusoidal de la tensión.

**Valor de la corriente eficaz:**

$$I_{RMS} = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N I_n^2}{N}}$$

Dónde:

$I_{RMS}$  es el valor de la corriente eficaz.

N es el número total de muestras consideradas.

$I_n$  es la n-enésima muestra actual.

En el caso de la existencia de señales sinusoidales, el valor eficaz se puede expresar de la siguiente forma:

$$I_{RMS} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}}$$

Donde:

$I_{RMS}$  es el valor de la corriente eficaz.

$I_{max}$  es la amplitud de la sinusoidal de la corriente

(Zred 2. , 2019)

### 2.5.2. Potencia activa, reactiva y aparente

A continuación, presentamos las expresiones matemáticas para calcular las potencias activa, reactiva y aparente en sus diferentes variantes.

#### Potencia activa

El consumo de energía activa se define como la tasa de uso de la energía por unidad de tiempo necesaria para producir un trabajo en un sistema eléctrico. Su valor es el producto entre voltaje y corriente en sistemas de corriente continua:

$$P = U * I$$

Por otro lado, en los sistemas de corriente alterna, la potencia activa es el valor medio de realizar el producto entre las ondas de voltaje y de corriente o lo que es lo mismo, el producto entre el voltaje, la corriente y el coseno del ángulo de desfase entre la tensión y la corriente.

$$P = \overline{p(t)} = \overline{u(t) * i(t)} = U * I * \cos \varphi$$

Finalmente, en el caso de que nos encontremos con sistemas discretos o digitales, la expresión es la siguiente:

$$P = \frac{\sum_{n=1}^N U_n * I_n}{N}$$

Donde:

$P$  es el valor de la potencia activa.

$U_n$  es la n-enésima muestra de voltaje.

$I_n$  es la n-enésima muestra de corriente.

N es el número total de muestras consideradas.

### Potencia activa fundamental

En el caso de existir armónicos, la potencia activa es la suma de las contribuciones armónicas:

$$P = P_1 + P_h$$

Donde:

$P_1$  es la potencia activa fundamental ( $P_1 = U_1 * I_1 * \cos \varphi$ )

$P_h$  es la potencia activa armónica.

### Potencia reactiva

La potencia reactiva puede definirse como un flujo de energía necesario para poder crear, en un estado estable, campos eléctricos en los condensadores y campos magnéticos en los inductores. Por eso, una resistencia al no generar ningún campo magnético ni eléctrico, nunca generará ni demandará potencia reactiva.

La fórmula de la potencia reactiva es la siguiente:

$$Q = U * I * \sin \varphi$$

Donde:

$Q$  es el valor de la potencia reactiva. Además, su valor es positivo en el caso de que la carga sea inductiva, y negativo si la carga es capacitiva.

$\varphi$  es el ángulo de desfase entre la tensión y la intensidad para una frecuencia fundamental dada.

### Potencia reactiva fundamental

En el caso de existir armónicos, la potencia reactiva que deberá considerarse derivará de los componentes fundamentales tanto del voltaje como de la corriente.

$$Q = Q_1 + Q_h$$

Donde:

$Q_1$  es la potencia reactiva fundamental ( $Q_1 = U_1 * I_1 * \sin \varphi$ )

$Q_h$  es la potencia reactiva armónica.

Un dato importante que se debe tener en cuenta es que el valor puede ser positivo o negativo según varíe el consumo de la energía o generación de la energía.

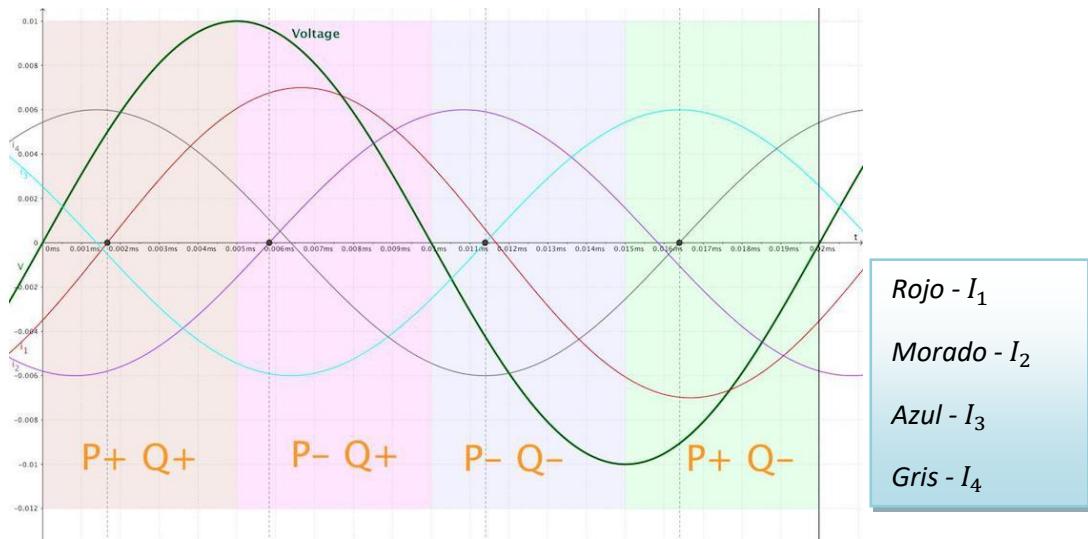


Ilustración 3. Ondas de voltaje y corriente (Zred 1. , 2019).

En la Ilustración 3 se pueden observar cuatro ondas diferentes. La línea de color verde representa el voltaje y las otras cuatro ondas representan diferentes valores posibles para la corriente. También encontramos cuatro regiones de diferente color que indican los diferentes posibles valores tanto para la potencia activa (P) como para la reactiva (Q).

### Potencia aparente

La potencia aparente es un concepto que deriva del producto de los fasores del voltaje y corriente en un plano complejo.

$$\vec{S} = \vec{U} * \vec{I} = P + jQ$$

Donde  $j$  es una unidad imaginaria que tiene como valor  $\sqrt{-1}$

Finalmente, según lo nombrado anteriormente, la potencia aparente se define como:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = U_{RMS} * I_{RMS}$$

Donde:

S es el valor de la potencia aparente. Este valor siempre es positivo.

P es el valor de la potencia activa.

Q es el valor de la potencia reactiva.

### Potencia aparente fundamental

La potencia aparente también puede tener presencia de armónicos, en consecuencia, pasará exactamente lo mismo que sucede con la potencia activa y reactiva fundamental.

$$S_1 = U_1 * I_1 = \sqrt{P_1^2 + Q_1^2}$$

Finalmente según lo anterior, la potencia aparente total se expresa como:

$$S = \sqrt{S_1^2 + S_N^2}$$

Donde:

$S_N$  es la llamada potencia no fundamental.

(Technica, 2019)

### 2.5.3. Factor de potencia

El factor de potencia (f.d.p.) se define como la relación entre la potencia activa, P, y la potencia aparente, S. Sirve para mostrar una medida de la capacidad de una carga de absorber potencia activa.

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

Si el factor de potencia o  $\cos \varphi$  es igual a 1 quiere decir que la potencia reactiva es nula y por lo tanto la potencia activa y aparente son similares. Sin embargo, si el factor de potencia es inferior a 1 significa que la potencia reactiva ya no es nula y la potencia activa y aparente ya no tienen valores iguales.

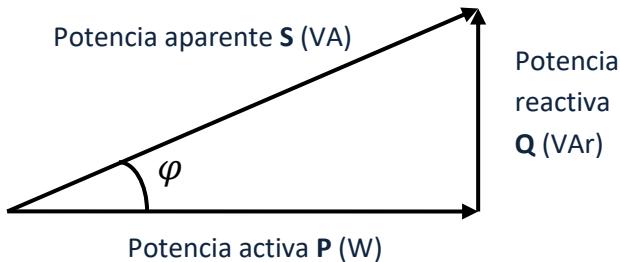


Ilustración 4. Triángulo de potencias.

Comparando los dos casos anteriores, podemos concluir que si tenemos un f.d.p. menor de 1, existe una mayor pérdida y calentamiento en los cables y se producen mayores caídas de tensión. Si tuviéramos un f.d.p. muy alejado del valor 1, sería necesaria una compensación de la energía reactiva para evitar ineficiencias como son penalizaciones en la factura eléctrica, sobrecargas o caídas de tensión (Imergia, 2019).

#### 2.5.4. Distorsión armónica total

La distorsión armónica total, también llamada THD, proporciona una medida de todo el contenido armónico espectral de la señal. Este concepto suele utilizarse sobre todo para la evaluación de la onda de corriente y voltaje.

Las distorsiones armónicas totales para el voltaje y corriente son las siguientes:

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{50} V_n^2}}{V_1}$$

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{50} I_n^2}}{I_1}$$

Donde  $V_n$  e  $I_n$  son los valores eficaces de tensión y corriente respectivamente del armónico  $n$  y donde  $V_1$  e  $I_1$  son los valores eficaces de tensión y corriente fundamentales respectivamente (Zred 2. , 2019).

### **2.5.5. Energía activa y reactiva**

#### **Energía activa**

La medición de la energía activa es una de las tareas de las que se va a encargar OpenZmeter, respetando lo establecido en las normas IEC 62052 – 11 e IEC 62053 – 21.

La energía activa consiste en el efecto útil que realizan los receptores eléctricos cuando transforman la energía eléctrica en trabajo mecánico y en calor. Se mide en kWh y los receptores que consumen únicamente dicha energía activa son lámparas incandescentes, aparatos de calefacción, etc (Iberdrola, 2019).

#### **Energía reactiva**

OpenZmeter también se encarga de medir la energía reactiva que se produce en nuestra instalación eléctrica. Esta energía se debe a receptores tales como transformadores, motores, reactancias, etc. Estos equipos al ser en general inductivos, absorben y vierten energía para poder crear campos eléctricos y magnéticos. Esto provoca un consumo suplementario que no se puede aprovechar ya que esta energía no produce ningún rendimiento útil. Sin embargo, en la factura de energía, si supera un cierto margen, sí que se cuenta con ella, lo que puede conllevar a que se incremente notablemente (Iberdrola, 2019).

### **2.5.6. Frecuencia**

La medición de la frecuencia con OpenZmeter se lleva a cabo mediante un algoritmo de cruce por cero. Con dicho algoritmo podemos obtener la suficiente precisión para un error inferior a 10 mHz, cumpliendo con el estándar IEC 61000 - 4 - 30.

Actualmente, existen varias técnicas en su implementación como el filtrado digital cuya finalidad es disminuir lo máximo posible el ruido de la señal y la presencia de interarmónicos (Technica, 2019).

## **2.6. Conexiones**

En este apartado, en primer lugar, se va a realizar una descripción del proceso de montaje y funcionamiento de OpenZmeter. Posteriormente, se va a abordar la configuración del dispositivo mediante Bluetooth o Wifi y todos los pasos a seguir para conseguir conectar de manera correcta con OpenZmeter.

### 2.6.1. Descripción del montaje de OpenZmeter

En primer lugar, para la realización del montaje de OpenZmeter es necesario tener acceso a la instalación eléctrica de un hogar o instalación que se quiera monitorizar. En este caso, el montaje se lleva a cabo en el sótano de la Universidad donde se dispone de una instalación eléctrica simulando un hogar, previamente montada y conectada.

A continuación, se procede a la conexión de OpenZmeter en el cuadro eléctrico de prueba. El dispositivo dispone de cuatro terminales que será necesario conectar (2 de fase y 2 de neutro) para que el dispositivo se encuentre en serie con las protecciones del cuadro, como se muestra en la Ilustración 5. Más imágenes del montaje se proporcionan en el Anexo 1.

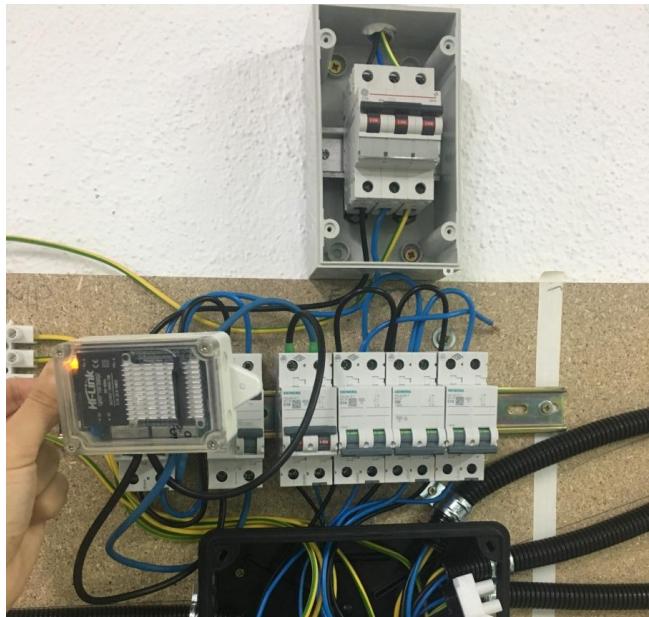


Ilustración 5. Cableado de OpenZmeter.

Una vez realizado correctamente el montaje y comprobado que todo se encuentra en perfecto estado, se procederá a activar el flujo de energía eléctrica para encender el dispositivo.

Finalmente, si todo ha funcionado correctamente y el dispositivo está encendido, se podrá proceder a la conexión de una tableta u ordenador a OpenZmeter mediante Bluetooth. Este proceso se encuentra descrito en el siguiente apartado.

### 2.6.2. Conexión mediante Bluetooth

OpenZmeter está diseñado con un chip que, gracias a él, es posible la conexión mediante Bluetooth o Wifi. De este modo se puede acceder a una interfaz para visualizar el resultado de la monitorización en tiempo real.

Para la configuración inicial mediante Bluetooth es necesario seguir una serie de sencillos pasos:

- 1) En primer lugar, tenemos que encender el Bluetooth en nuestro dispositivo electrónico (móvil, tablet, ordenador) y una vez que aparezca la red de OpenZmeter emparejarlo.
- 2) A continuación, una vez emparejados, tenemos que ir a nuestro navegador e introducir el enlace <http://10.0.0.1> que nos conducirá a la plataforma web de OpenZmeter.
- 3) Finalmente nos aparecerá un registro, como se muestra en la Ilustración 6, en el que tendremos que iniciar sesión introduciendo la contraseña predeterminada *admin* y entraremos a la plataforma web de OpenZmeter.

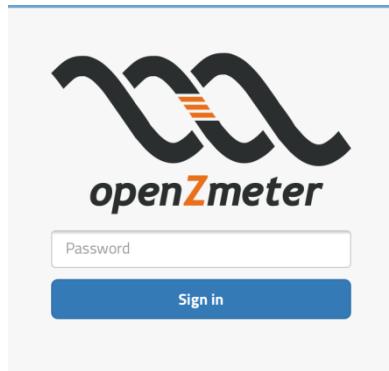


Ilustración 6. Registro para enlazar OpenZmeter.

### 2.6.3. Conexión cliente Wifi

En caso de desear tener conexión a Internet, hay que seguir una serie de pasos sencillos. Una vez iniciada sesión a través del navegador web, tendremos que ir a la pestaña *Settings* en el menú de la izquierda y buscar la red Wifi a la que deseemos conectarnos. Finalmente, tras unos segundos, estaremos conectados a nuestra red. En caso de que ésta no aparezca, tendremos que introducir las credenciales de la red.

## Capítulo 3. ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE CARGAS

A continuación, se va a proceder a explicar las diferentes mediciones obtenidas con el dispositivo. Se exponen las medidas más relevantes obtenidas de cada carga y después se realiza un análisis crítico de cada una de ellas.

### 3.1. CARGA 1: BOMBILLA

A continuación, se muestran las medidas tomadas con OpenZmeter para una bombilla incandescente. Se realiza también un análisis crítico de las mismas. En el Anexo 2 se incluyen imágenes de la bombilla utilizada.

#### Medidas y análisis crítico.

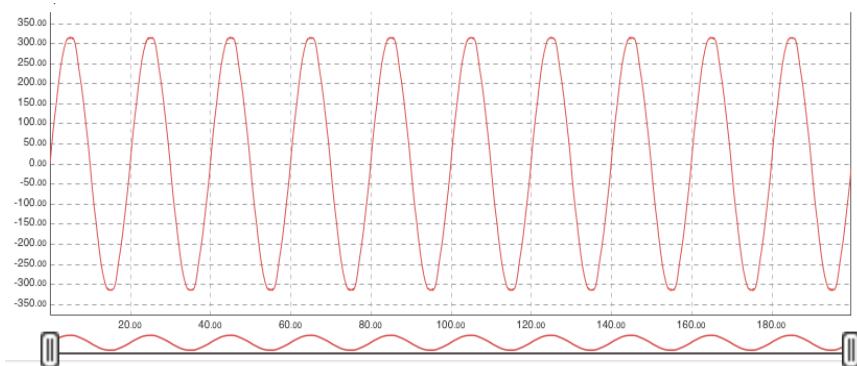


Ilustración 7. Forma de onda de voltaje. Unidades del eje horizontal: Tiempo (ms). Unidades del eje vertical: Tensión (V).

En la Ilustración 7 se muestra la onda del voltaje y observamos que la magnitud de esta varía sinusoidalmente. Fijándonos en los ciclos que realiza podemos decir que es una onda periódica y sus valores de tensión máximos y mínimos son de 325 V y -325 V respectivamente. Estos valores se encuentran dentro de los márgenes admisibles para la distribución monofásica según lo estipulado en el Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre del sector eléctrico.

Esta onda se conoce con el nombre de onda alterna sinusoidal y es la más común ya que es la que todos tenemos en nuestros hogares.

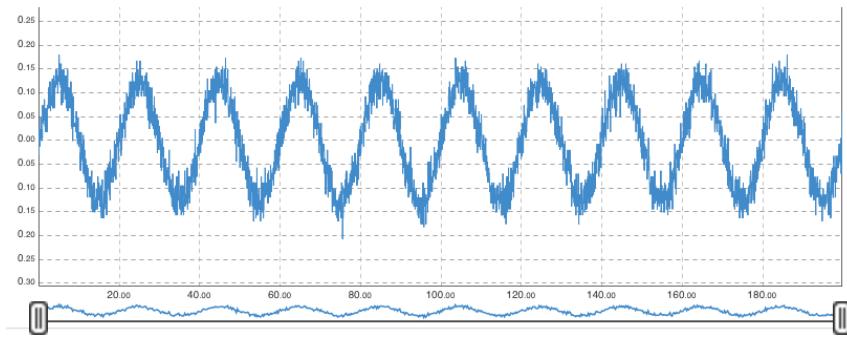


Ilustración 8. Forma de onda de corriente. Unidades del eje horizontal: Tiempo (ms). Unidades del eje vertical: Corriente (A).

En la Ilustración 8 se muestra la corriente que circula por la carga y observamos que es una onda sinusoidal, como la onda del voltaje en la Ilustración 7.

Comparando las dos ilustraciones anteriores, podemos observar que la onda de corriente es mucho más ruidosa que la onda del voltaje ya que habitualmente la onda de corriente se distorsiona mucho más que la onda de voltaje.

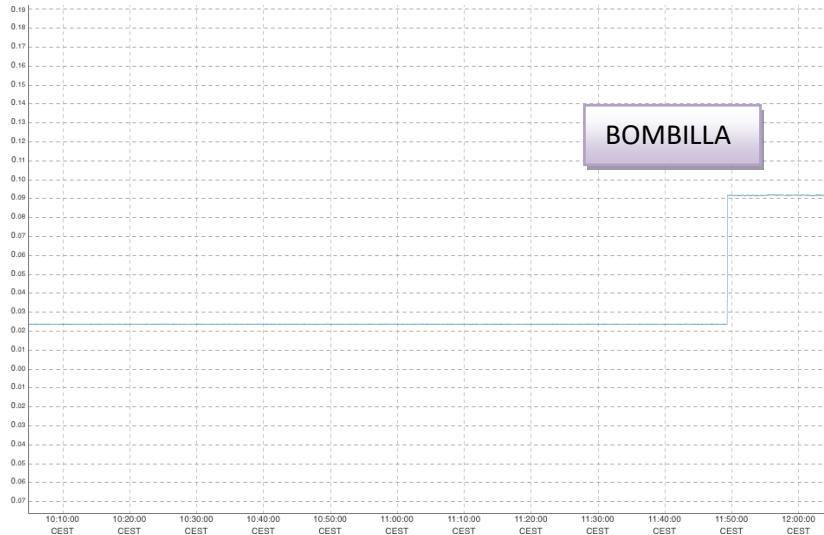


Ilustración 9. Valor eficaz de la corriente. Unidades del eje horizontal: Tiempo. Unidades del eje vertical: Corriente (A).

En la Ilustración 9 se puede observar el cambio de la corriente cuando se enciende la bombilla. La corriente que circula tiene un valor eficaz constante de aproximadamente 0,09 A. Este es un valor de intensidad muy pequeño ya que es una carga que consume muy poca potencia.

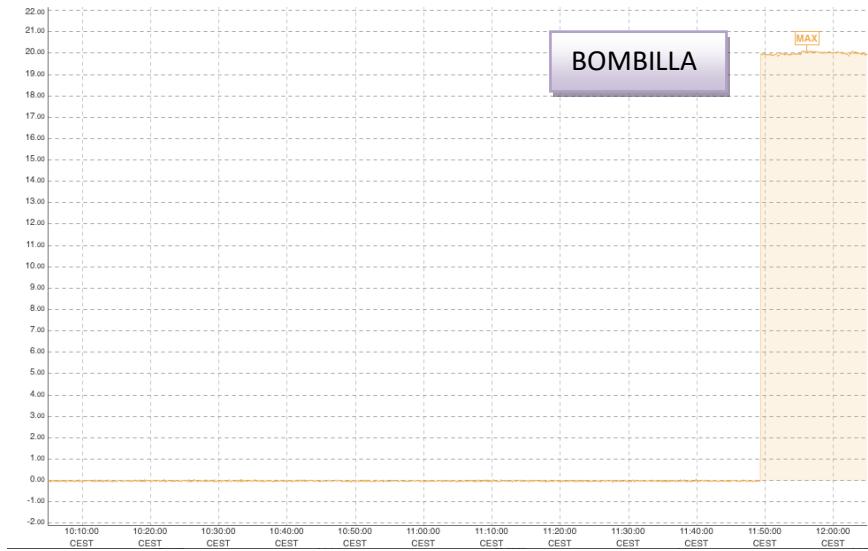


Ilustración 10. Gráfica potencia activa. Unidades del eje horizontal: Tiempo. Unidades del eje vertical: Potencia activa (W).

Esta gráfica representa la potencia activa (P) de la bombilla, en la que se puede observar su consumo de aproximadamente unos 20 W. Esta potencia se consume en cuanto se activa el interruptor.

Cabe destacar en esta grafica el valor de su potencia ya que es relativamente bajo debido a su composición y en comparación con las cargas que posteriormente se procederá a analizar.

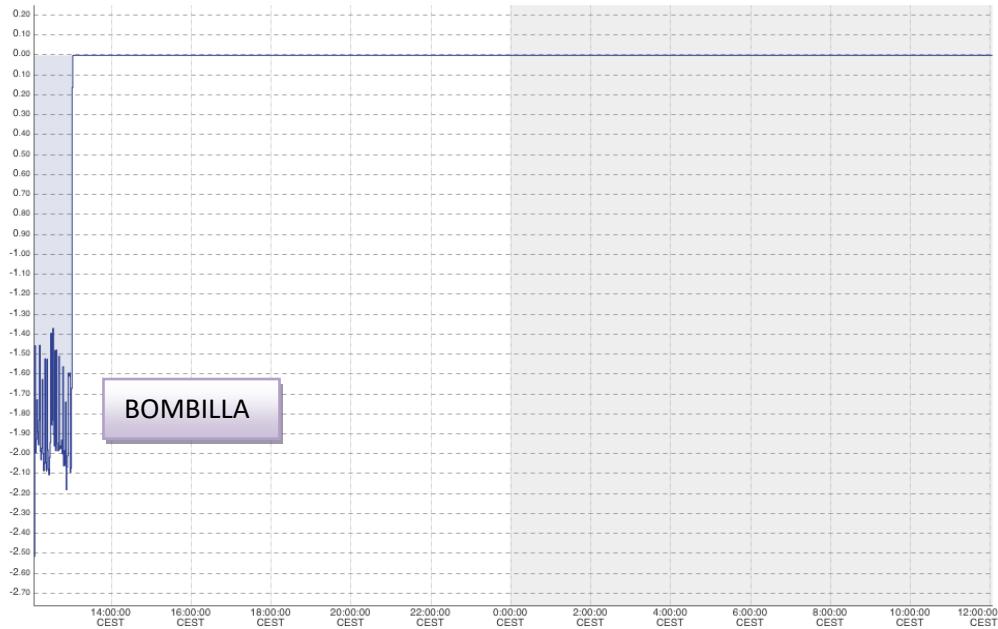


Ilustración 11. Gráfica de la potencia reactiva. Unidades del eje horizontal: Tiempo. Unidades del eje vertical: Potencia reactiva (VAr).

En la gráfica de la potencia reactiva, observando en el eje de ordenadas a las 11:30 de la mañana, no aparece ningún cambio drástico de potencia sino que se mantiene nula ya que la bombilla al ser una carga resistiva y no genera ningún campo magnético ni eléctrico, nunca va a generar ni demandar potencia reactiva.

Fijándonos en los valores de las dos ilustraciones, 10 y 11, de la potencia activa (P) y la potencia reactiva (Q) respectivamente, podemos concluir que la potencia aparente (S) es la misma que la potencia activa ya que la potencia reactiva es nula y en consecuencia el factor de potencia o  $\cos(\phi)$  debería ser igual a 1. Por tanto, la corriente que circula por los cables es la necesaria para la potencia útil, que es la demandada en la instalación.

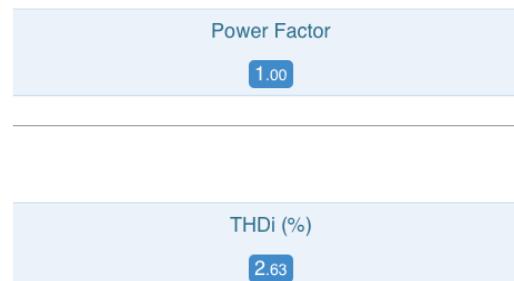
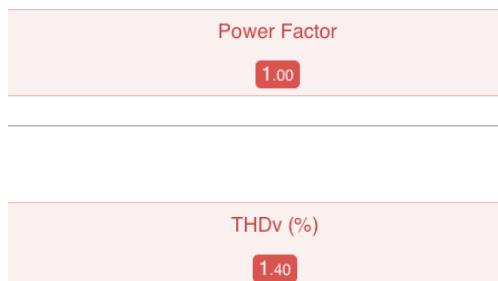


Ilustración 12. Parámetros del voltaje.

Ilustración 13. Parámetros de la corriente.

En cuanto al factor de potencia en esta carga tenemos:

1. El factor de potencia que es el porcentaje de energía aprovechada por la bombilla, y en este caso tiene un valor unidad.
2. PHI que es el ángulo entre la potencia activa (P) y la potencia aparente (S), o desfase entre tensión y corriente. En este caso tiene un valor nulo ya que como hemos visto en la Ilustración 11 no teníamos potencia reactiva y en consecuencia, si no existe potencia reactiva el ángulo PHI es 0.

Los parámetros de calidad de energía en el voltaje y la corriente que encontramos son:

3. El THDv es el porcentaje de distorsión armónica total en el voltaje, es decir, una medida de cuánto la bombilla está distorsionando la forma de onda del voltaje convencional. En este caso obtenemos un valor de 1,40 % lo que significa que la bombilla distorsiona la onda sinusoidal del voltaje en ese porcentaje, siendo un valor pequeño.

4. El THDi es el porcentaje de distorsión armónica total en la corriente. En este caso obtenemos un valor de 2,63 % lo que significa que la bombilla distorsiona más la onda sinusoidal de la corriente que la del voltaje, como se muestra en la Ilustración 8.

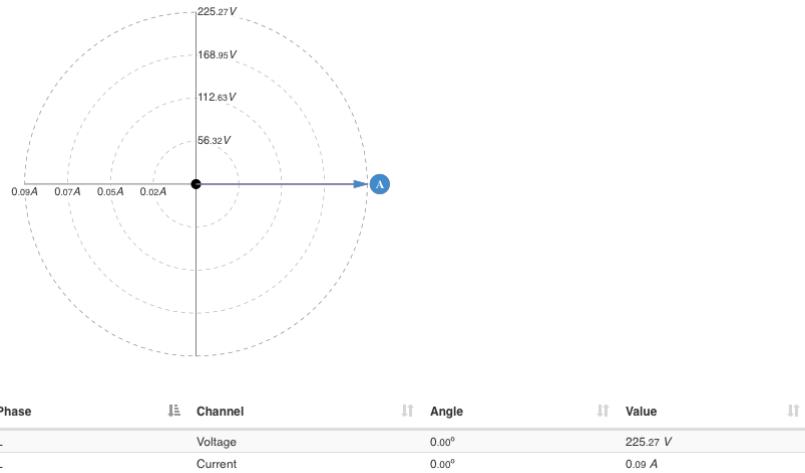


Ilustración 14. Fasores de voltaje y corriente

En la Ilustración 14 observamos el ángulo de fase del voltaje y la corriente que coinciden los dos valores a 0°. Esto se debe a que la bombilla, al tener sólo carga resistiva y no tener ningún tipo de carga magnética o eléctrica, no desfase en ningún momento el voltaje y la corriente.

### 3.2. CARGA 2: FLUORESCENTE

En esta sección se muestran las medidas tomadas con OpenZmeter para una luminaria tipo fluorescente. Se realiza también un análisis crítico de las mismas. En el Anexo 2 se incluyen imágenes del fluorescente.

### Medidas y análisis crítico.

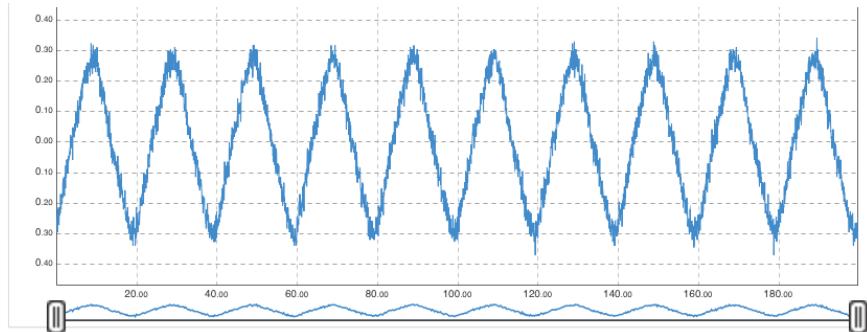


Ilustración 15. Forma de onda de corriente. Unidades del eje horizontal: Tiempo (ms). Unidades del eje vertical: Corriente (A).

En la Ilustración 15 se muestra la corriente que circula por la carga y observamos que es una onda sinusoidal, como la onda de corriente en la carga 1 (bombilla), pero con un poco de forma triangular. En este caso, la onda de corriente del fluorescente es menos ruidosa que la onda de corriente de la bombilla.

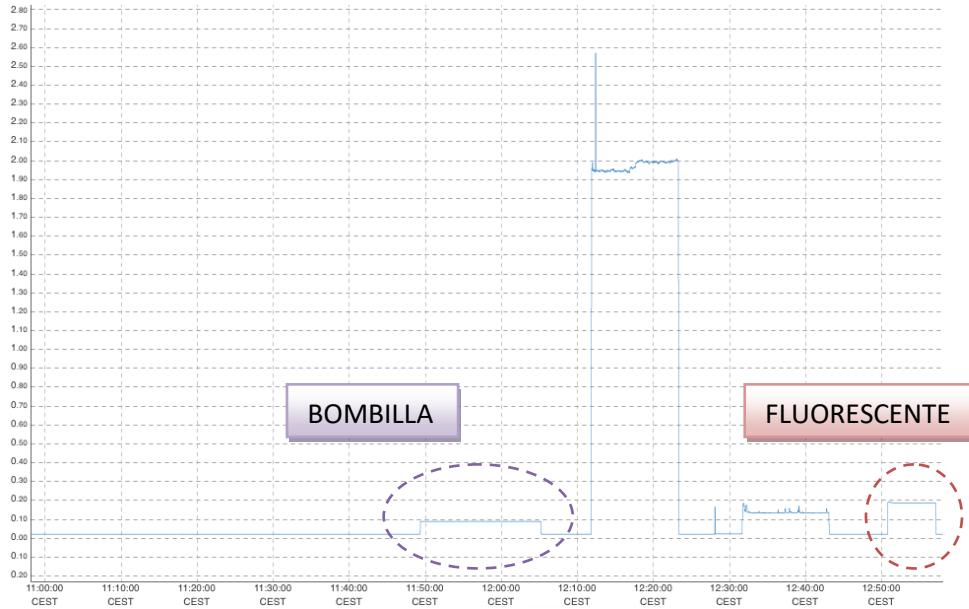


Ilustración 16. Valor eficaz de la corriente. Unidades del eje horizontal: Tiempo. Unidades del eje vertical: Corriente (A).

En la Ilustración 16 se pueden observar cuatro cambios de corriente debidos a diferentes pruebas con cargas. En este caso, nos centraremos en el fluorescente.

La corriente que circula por el fluorescente tiene un valor eficaz constante de casi 0,19 A. Comparando este valor con la bombilla, observamos que el valor de corriente que circula por el fluorescente es 0,10 A mayor que el valor de corriente que circula por la bombilla. Es destacable que el fluorescente no dispone de ningún condensador en paralelo para minimizar el consumo de energía reactiva.

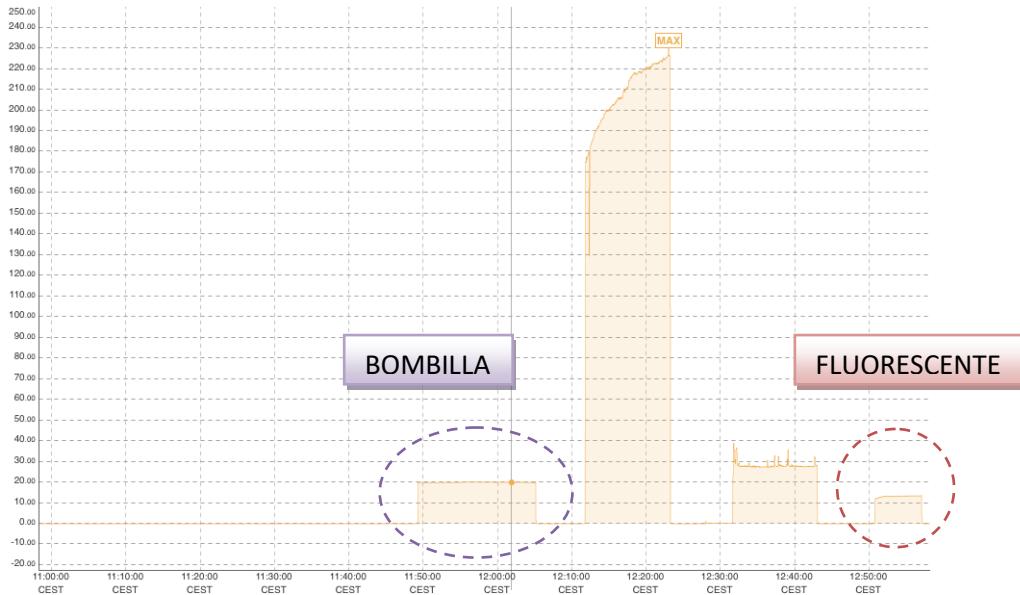


Ilustración 17. Gráfica potencia activa. Unidades del eje horizontal: Tiempo. Unidades del eje vertical: Potencia activa (W).

La gráfica 17 representa la potencia activa (P) de cuatro cargas. Nos centramos en el fluorescente. Fijándonos en su potencia activa, observamos que su consumo es de aproximadamente unos 13 W. Esta potencia se consume en cuanto activas el interruptor.

En esta gráfica encontramos una diferencia entre el fluorescente y la bombilla anteriormente analizada, y es que el fluorescente consume menos potencia activa que la bombilla.

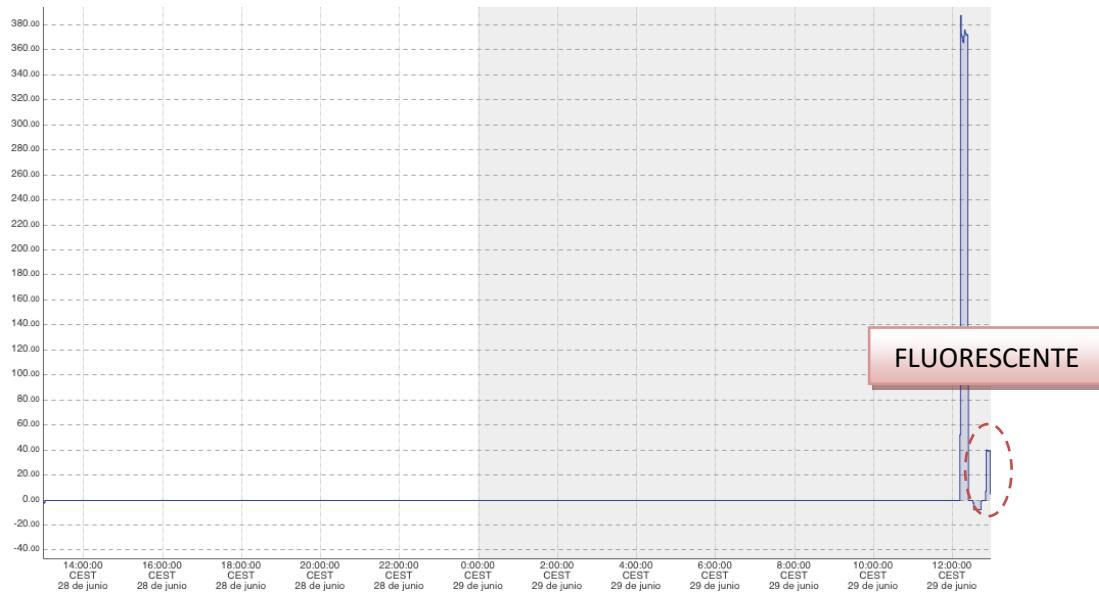


Ilustración 18. Gráfica de la potencia reactiva. Unidades del eje horizontal: Tiempo. Unidades del eje vertical: Potencia reactiva (Var).

En la gráfica de la potencia reactiva (Ilustración 18), observamos que el fluorescente consume aproximadamente 40 VAr de potencia reactiva. Esto se debe a que el fluorescente, debido a su composición, no es solamente un elemento resistivo como la bombilla incandescente anterior, sino que genera un campo magnético debido a que está constituido por una bobina de alambre de cobre esmaltado.

Fijándonos en los valores de las Ilustraciones 17 y 18 (Potencia activa (P) y Potencia reactiva (Q)) podemos estimar que el valor aproximado de la potencia aparente (S) es:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{13^2 + 40^2} = 42,06 \text{ VA}$$

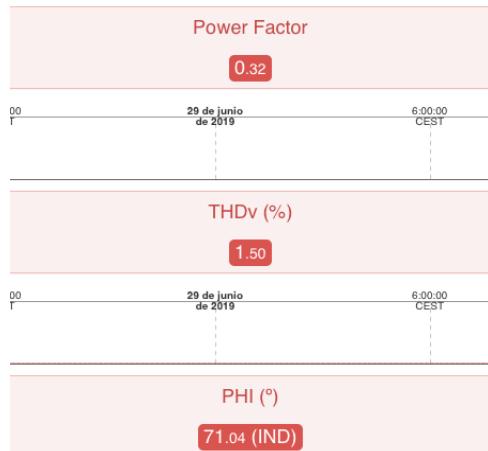


Ilustración 19. Parámetros del voltaje.



Ilustración 20. Parámetros de la corriente.

En la Ilustración 19 se pueden observar los parámetros del voltaje y en la Ilustración 20 los parámetros de la corriente en el fluorescente

En este caso, existe un factor de potencia de 0,32 ya que la potencia aparente no es nula. Como el f.d.p. menor que 1, la corriente que circula es mayor que la necesaria para la potencia útil demandada por la instalación.

En cuanto al THDv, o distorsión armónica total en el voltaje, el fluorescente distorsiona la onda del voltaje un 1,50 % y la onda de intensidad un 8,35 %, lo que significa que en la onda de corriente existe una mayor distorsión que en la de voltaje.

Comparando la distorsión armónica total del fluorescente con la distorsión armónica total de la bombilla, podemos afirmar que el THDv es muy similar, pero el THDi sufre un cambio significativo ya que en la bombilla tiene un valor inferior y en el fluorescente asciende a 8,35 %.

Finalmente encontramos el PHI o ángulo entre la potencia activa (P) y la potencia aparente (S) que tiene un valor de 71° ya que al existir una potencia reactiva considerable, el desfase entre la tensión y la corriente está alejado de 0° y, en consecuencia, el factor de potencia no es bueno. Para mejorarlo se podría añadir un condensador en paralelo con el fluorescente, ya que en el experimento realizado la carga carecía de él.

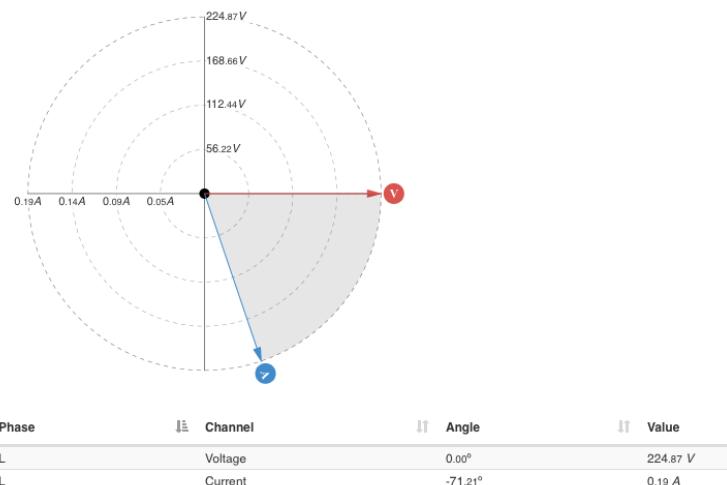


Ilustración 21. Fasores de voltaje y corriente.

En la Ilustración 21 observamos el ángulo de desfase entre el voltaje y la corriente. La corriente está desfasada -71° aproximadamente. Esto se debe a que el fluorescente, a diferencia de la bombilla, incluye elementos inductivos y, por tanto, genera campos magnéticos que repercuten en el desfase de la corriente.

### 3.3. CARGA 3: ORDENADOR

A continuación, se muestran las medidas tomadas con OpenZmeter para un ordenador portátil realizando tareas básicas. Se realiza también un análisis crítico de las mismas. En el Anexo 2 se incluyen imágenes del ordenador.

#### Medidas y análisis crítico.

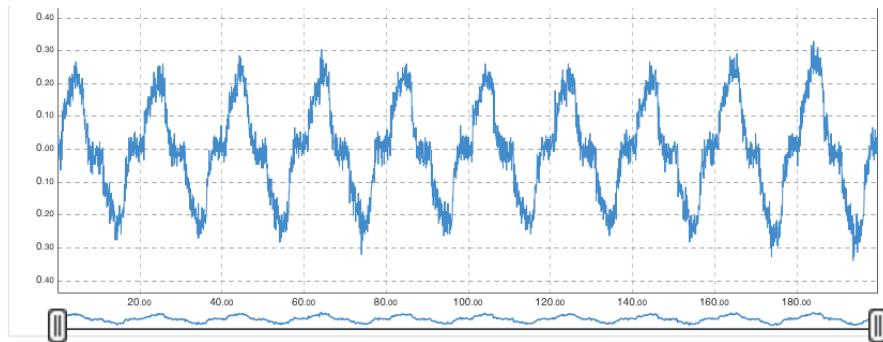


Ilustración 22. Forma de onda de corriente. Unidades del eje horizontal: Tiempo (ms). Unidades del eje vertical: Corriente (A).

En la Ilustración 22 se muestra la corriente que circula por la carga. Observamos que tiene una forma parecida a una onda sinusoidal como en las cargas anteriores, aunque con un ruido significativo a la altura de los 0 A aproximadamente.

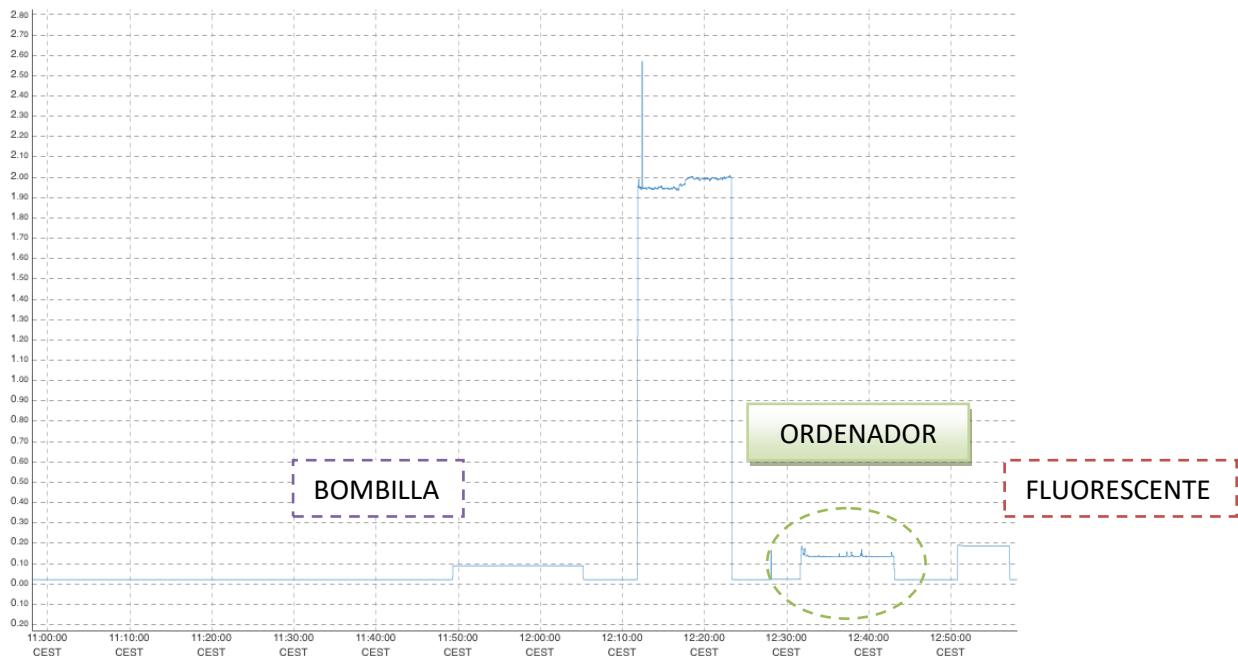


Ilustración 23. Valor eficaz de la corriente. Unidades del eje horizontal: Tiempo. Unidades del eje vertical: Corriente (A).

En la Ilustración 23, centrandonos en el ordenador, se puede observar que la corriente que circula por la carga tiene como valor eficaz, aproximadamente, 0,14 A. A diferencia de las dos cargas anteriores, existen pequeños picos de corriente en determinados momentos.

Comparando el valor eficaz de corriente del ordenador con los valores de la bombilla y el fluorescente, observamos que el valor eficaz del ordenador se encuentra entre los valores de las otras dos cargas, es decir, entre 0,09 A (bombilla) y 0,19 A (fluorescente).

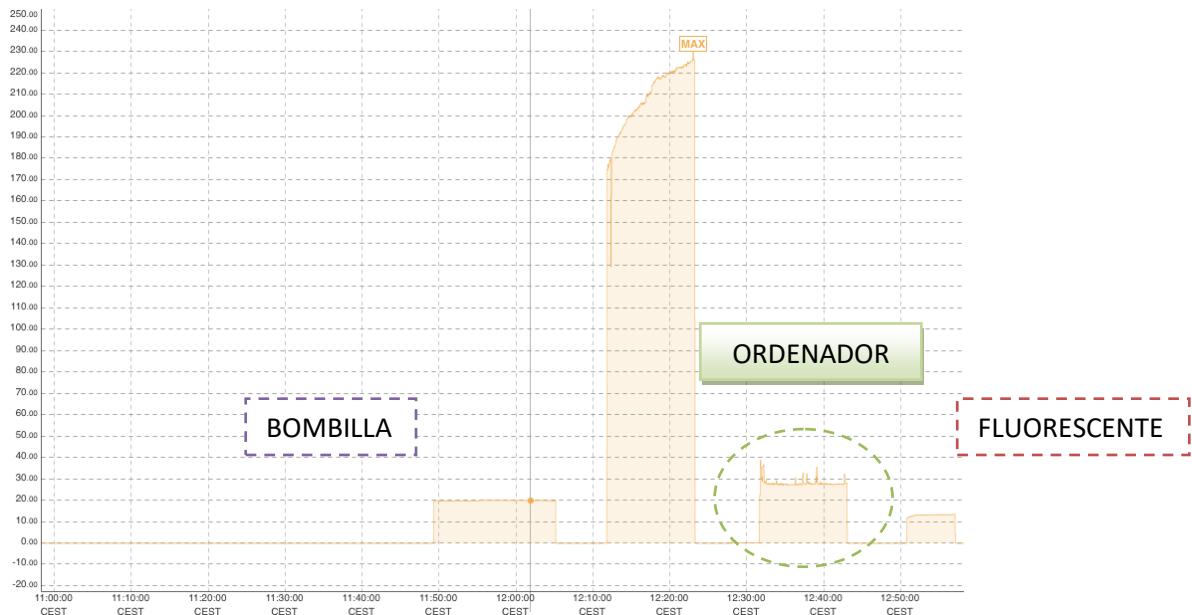


Ilustración 24. Gráfica potencia activa. Unidades del eje horizontal: Tiempo. Unidades del eje vertical: Potencia activa (W).

La gráfica 24 representa la potencia activa (P). Nos centraremos principalmente en la potencia activa del ordenador. Observamos que su valor es de aproximadamente 28 W. Sin embargo, a diferencia de las cargas anteriores, existen una serie de picos de potencia activa.

Si comparamos la potencia activa del ordenador con las potencias activas de las dos cargas anteriores (Ilustración 24), observamos que el ordenador es el que más potencia consume, llegando a duplicar la potencia activa del fluorescente.

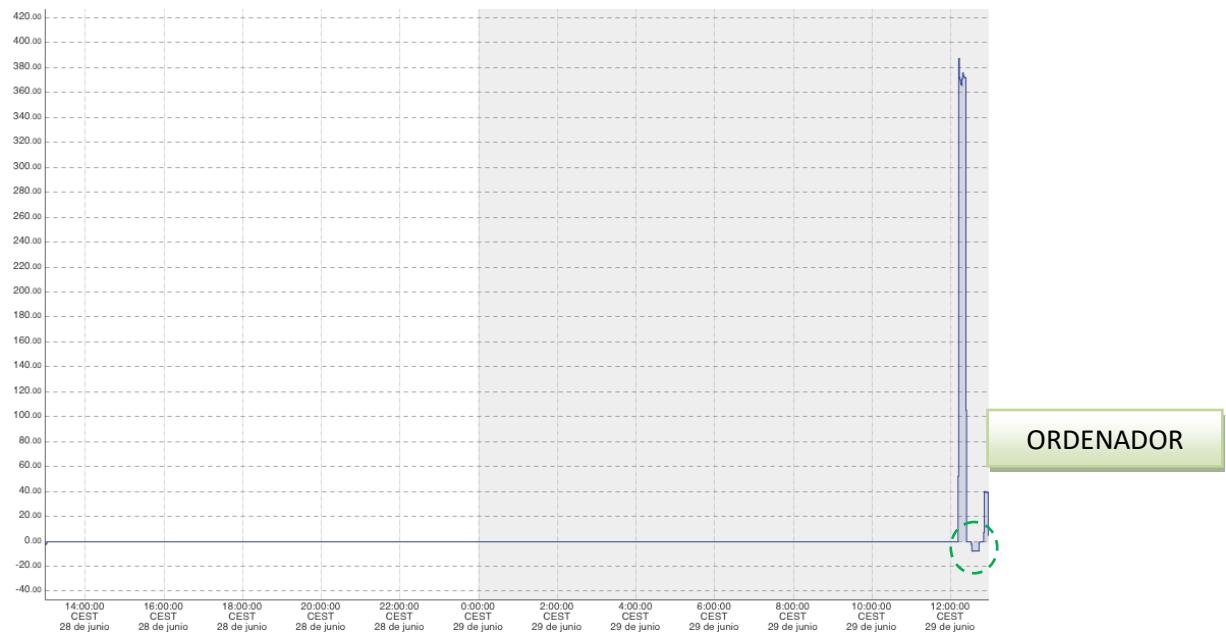


Ilustración 25. Gráfica de la potencia reactiva. Unidades del eje horizontal: Tiempo. Unidades del eje vertical: Potencia reactiva (VAr).

En la gráfica de la potencia reactiva, observamos que el ordenador consume aproximadamente -9 VAr. Este valor negativo es debido a la presencia de condensadores en el interior del ordenador, lo que significa que el ordenador suministra potencia reactiva.

Fijándonos en los valores de las Ilustraciones 14 y 25 (Potencia activa (P) y Potencia reactiva (Q)) podemos estimar que el valor aproximado de la potencia aparente (S) es:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{28^2 + (-9)^2} = 29,41 \text{ VA}$$

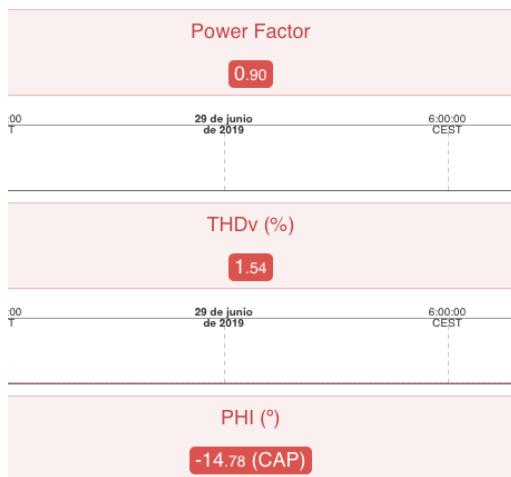


Ilustración 26. Parámetros del voltaje.

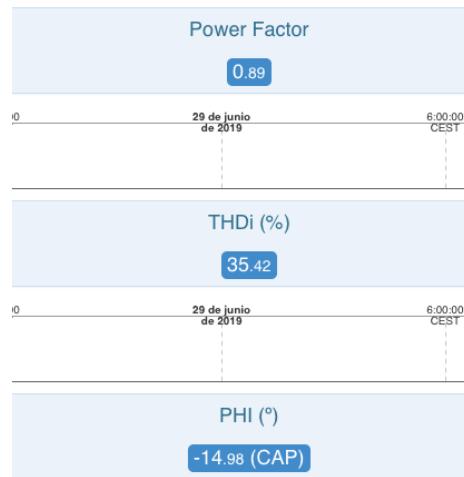


Ilustración 27. Parámetros de la corriente

En este caso existe un factor de potencia de 0,90 (Ilustraciones 26 y 27) ya que la potencia reactiva no es nula.

En cuanto a la distorsión armónica total en el voltaje, el ordenador distorsiona la onda del voltaje un 1,54 % y en la onda de la intensidad distorsiona un 35,42 %, un valor elevado.

Comparando la distorsión armónica total del ordenador con la distorsión armónica total de las cargas anteriores, podemos afirmar que el THDv no sufre grandes distorsiones. Sin embargo, el THDi ha aumentado bastante ya que se produce un mayor ruido como hemos observado en la forma de onda de la corriente en la Ilustración 27.

Finalmente, encontramos el ángulo de desfase PHI, que en este caso tiene un valor de  $-15^\circ$  aproximadamente. El ángulo tiene un valor negativo debido a que el ordenador es una carga capacitativa.

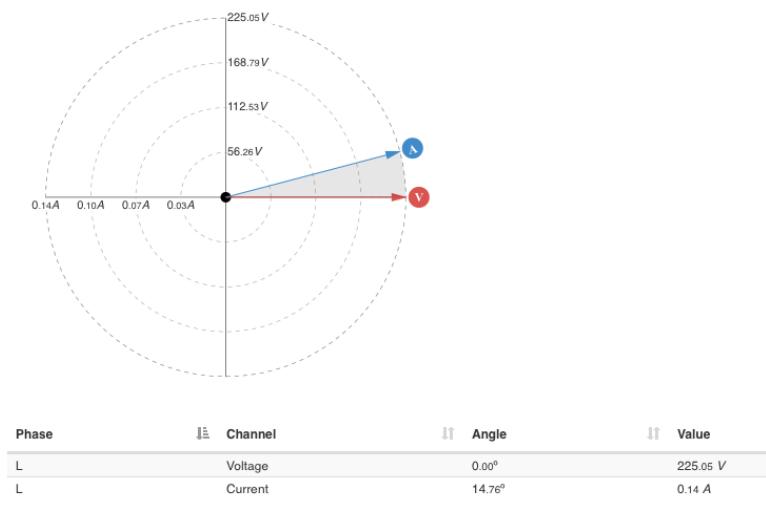


Ilustración 28. Fasores de voltaje y corriente.

En la Ilustración 28 observamos el ángulo de fase entre el voltaje y la corriente. En este caso, la corriente está adelantada  $15^\circ$  aproximadamente. Esto se debe a que el ordenador, está compuesto por cargas capacitivas y por lo tanto genera un campo eléctrico que repercute en el retraso de la tensión. Podemos observar que la corriente está adelantada con respecto a la tensión (comportamiento habitual en cargas capacitivas).

### 3.4. CARGA 4: MOTOR MONOFÁSICO

A continuación, se muestran las medidas tomadas con OpenZmeter para un motor monofásico trabajando en vacío. Se realiza también un análisis crítico de las mismas. En el Anexo 2 se incluyen imágenes del motor y su placa de características.

#### Medidas y análisis crítico.

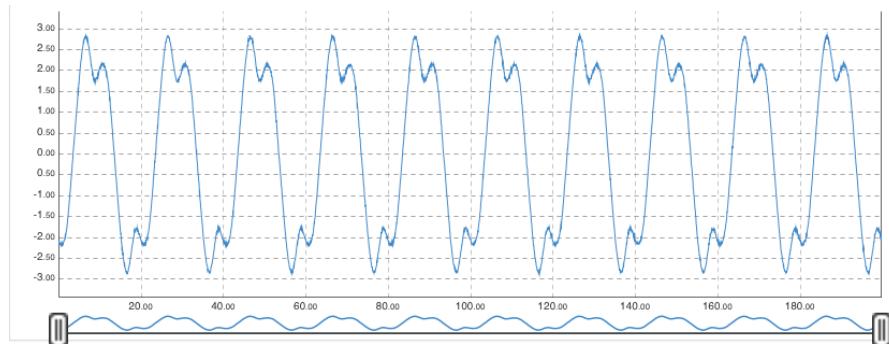


Ilustración 29. Forma de onda de corriente. Unidades del eje horizontal: Tiempo (ms). Unidades del eje vertical: Corriente (A).

En la Ilustración 29 se muestra la corriente que circula por un motor monofásico funcionando en vacío y observamos que, en este caso, la forma de la onda ha cambiado en comparación con las formas de onda de las cargas anteriores. Se produce una variación de la onda en los valores máximos y mínimos de la onda de corriente y no se produce un ruido tan significativo.

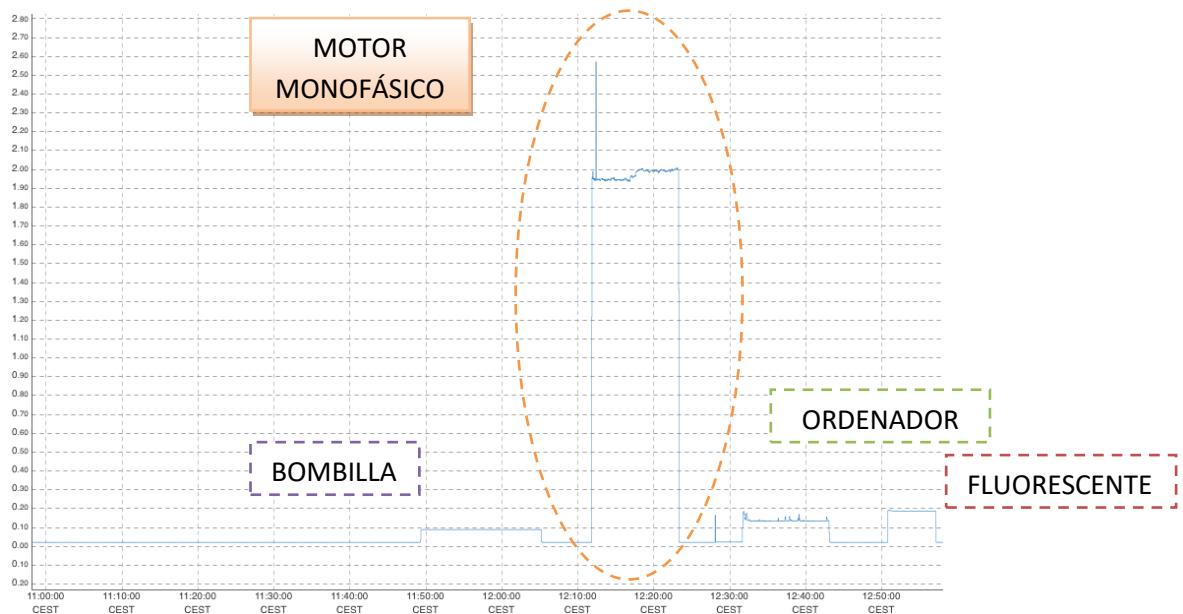


Ilustración 30. Valor eficaz de la corriente. Unidades del eje horizontal: Tiempo. Unidades del eje vertical: Corriente (A).

En la Ilustración 30, centrándonos en el motor monofásico, se puede observar que la corriente que circula por él como valor eficaz aproximadamente 1,95 A. Este valor se mantiene constante hasta la mitad de la medición ya que a partir de ahí aumenta a 2 A. Si lo comparamos con las cargas anteriores, el motor monofásico no tiene un valor eficaz constante durante su funcionando.

Existe un pico que destaca notablemente al principio de la medición y se debe a un fallo mientras estaba funcionando ya que por la propia vibración del motor monofásico se salió un conector, pero al instante se conectó y se volvió a la normalidad.

Comparando los valores eficaces de las cuatro cargas observamos principalmente que, por el motor monofásico, circula 20 veces más corriente que por las demás cargas. Este resultado es lógico ya que la potencia del motor es muy superior a la del resto de cargas (potencia nominal de la placa de 515 W).

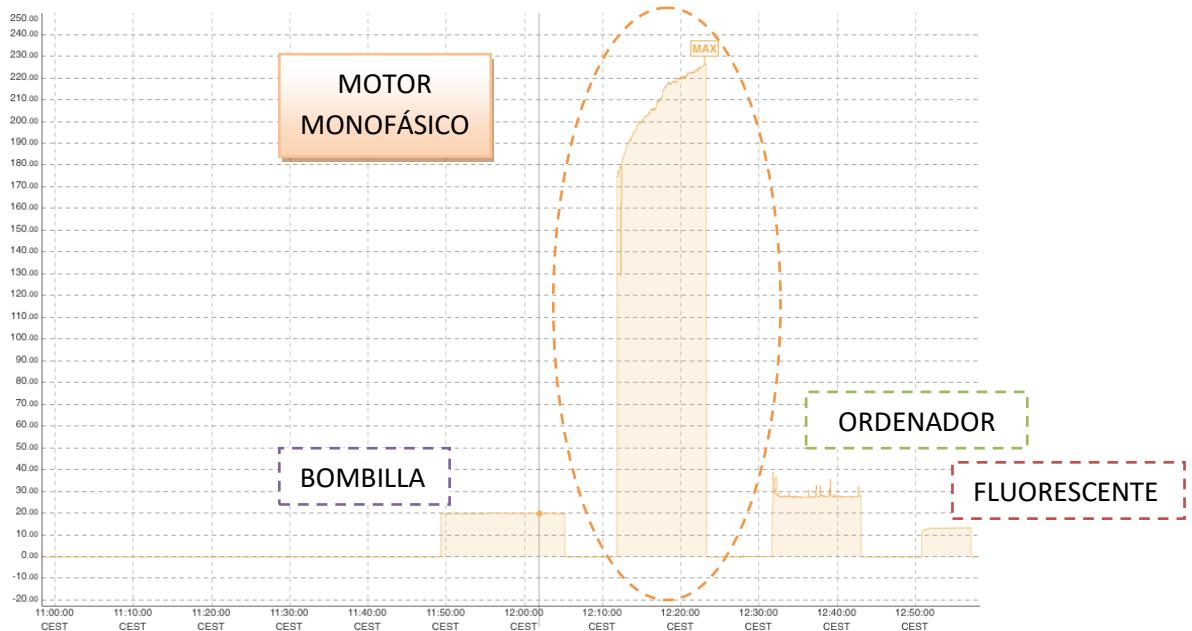


Ilustración 31. Gráfica potencia activa. Unidades del eje horizontal: Tiempo. Unidades del eje vertical: Potencia activa (W).

Fijándonos en la potencia activa del motor monofásico (Ilustración 31), observamos que, al activar el interruptor, se consume una potencia activa de aproximadamente 180 W. Con el paso del tiempo va aumentando hasta llegar a un valor máximo de 225 W.

Este aumento de la potencia activa se debe a que el motor, que está compuesto por una bobina principal y una bobina de arranque, es incapaz de producir movimiento únicamente creando el campo magnético con la bobina principal, por lo que es necesario otro campo magnético giratorio que creará la bobina de arranque. Por tanto,

al producir movimiento la bobina de arranque y comenzar a funcionar la bobina principal, la potencia activa va aumentando.

Si comparamos la potencia activa del motor monofásico con las potencias activas de las otras tres cargas, observamos claramente que el motor monofásico consume más de 7 veces la potencia del resto de cargas.

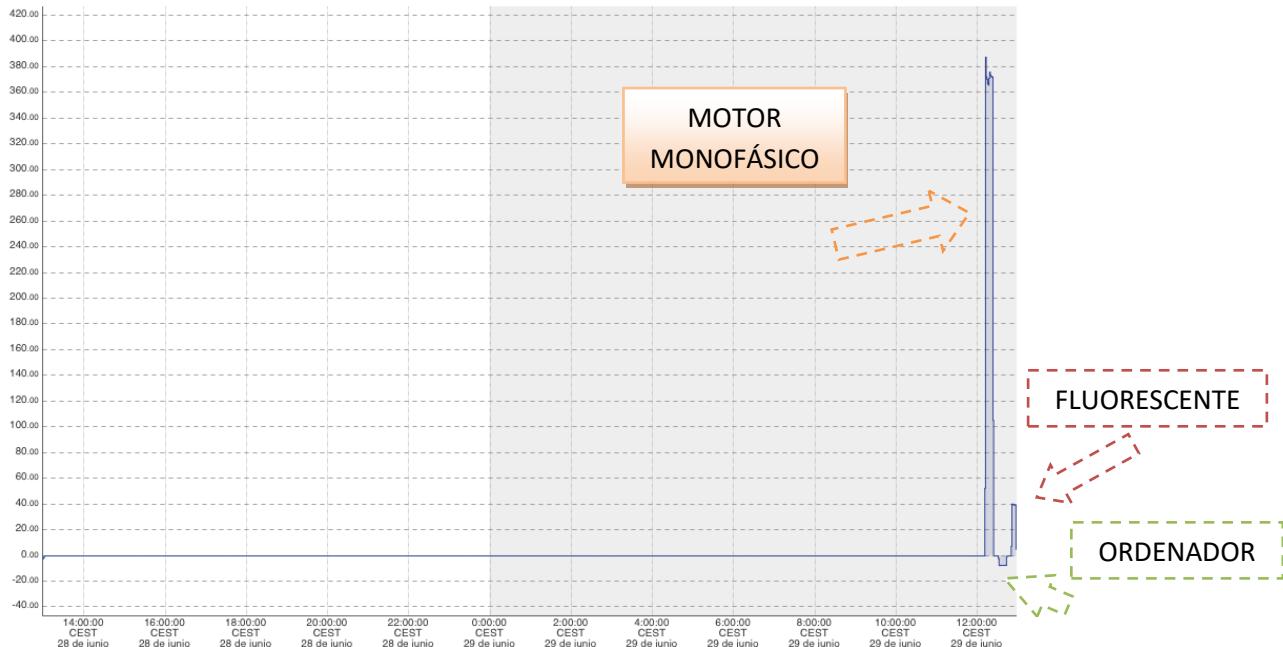


Ilustración 32. Gráfica de la potencia reactiva. Unidades del eje horizontal: Tiempo. Unidades del eje vertical: Potencia reactiva (Var).

En la gráfica de la potencia reactiva (Ilustración 32), observamos que el motor monofásico consume 370 VAr de potencia reactiva aproximadamente. Este valor es considerablemente alto en comparación con las cargas anteriores ya que el motor monofásico está compuesto de dos bobinas y un condensador. Al generarse los campos magnéticos que producen las bobinas van a demandar un valor positivo bastante alto de potencia reactiva.

La potencia reactiva en el motor monofásico no es constante ya que tiene algún pico de potencia, como podemos observar, a diferencia del ordenador y el fluorescente.

Fijándonos en los valores de las dos ilustraciones 31 y 32 (Potencia activa y Potencia reactiva) podemos concluir que el valor de la potencia aparente ( $S$ ) no va a ser constante porque la potencia activa varía notablemente, por eso la potencia aparente será distinta al arrancar y parar el motor. Consideraremos la potencia reactiva como constante para realizar los cálculos con el objetivo de proporcionar un valor aproximado de la potencia aparente. Obviamos el primer pico que alcanza los 385 VAr

y nos quedamos con el valor estacionario de 370 Var. Calculamos la potencia aparente S para los dos valores extremos de P.

$$S_{inicial} = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{180^2 + 370^2} = 411,46 \text{ VA}$$

$$S_{final} = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{225^2 + 370^2} = 433,04 \text{ VA}$$



Ilustración 33. Parámetros del voltaje.



Ilustración 34. Parámetros de la corriente

Este motor funcionado en vacío tiene un factor de potencia de 0,46. Este resultado es lógico ya que la potencia reactiva no es nula. Al ser el f.d.p. menor que 1 significa que la corriente que circula por la línea es mayor que la necesaria para la potencia útil demandada por la instalación.

En cuanto a la distorsión armónica total en el voltaje, el motor monofásico distorsiona la onda del voltaje un 1,49 % y la onda de la intensidad se distorsiona un 26,49 %.

Si comparamos el motor monofásico con el ordenador, ya que es el que más distorsión armónica total ha tenido hasta el momento, observamos que la THDv es similar ya que sólo existe una diferencia de decimales. Sin embargo, la THDi ha disminuido ya que en el motor se ha reducido el ruido en la onda de corriente.

Finalmente, encontramos el PHI o ángulo entre la potencia activa (P) y la potencia aparente (S), que en esta carga tiene un valor de 61° aproximadamente.

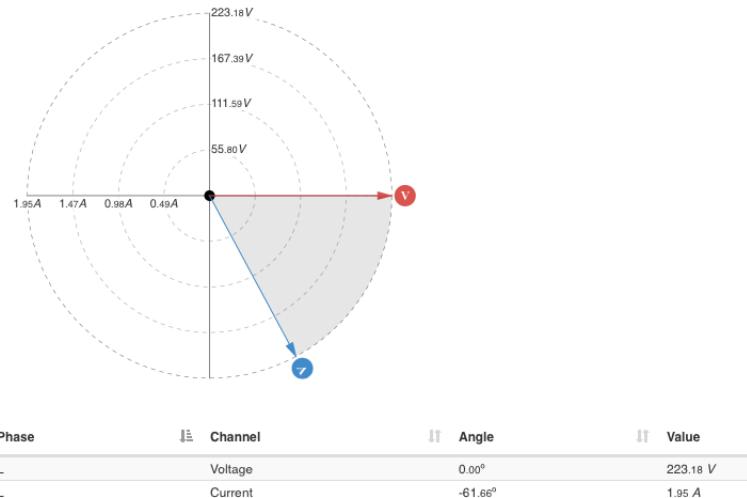


Ilustración 35. Fasores de voltaje y corriente.

En la Ilustración 35 visualizamos el ángulo de fase entre el voltaje y la corriente. En el motor monofásico trabajando en vacío la corriente se encuentra desfasada  $-60^\circ$  aproximadamente. Esto se debe a que los bobinados del motor desfasan la corriente con respecto a la tensión de la línea.

### 3.5. CARGA 5: IMPRESORA 3D

En esta sección, se muestran las medidas tomadas con OpenZmeter para una impresora 3D imprimiendo una pieza en condiciones estándar de impresión con filamento PLA. Se realiza también un análisis crítico de las mismas. En el Anexo 2 se incluyen imágenes de la impresora.

#### Medidas y análisis crítico.

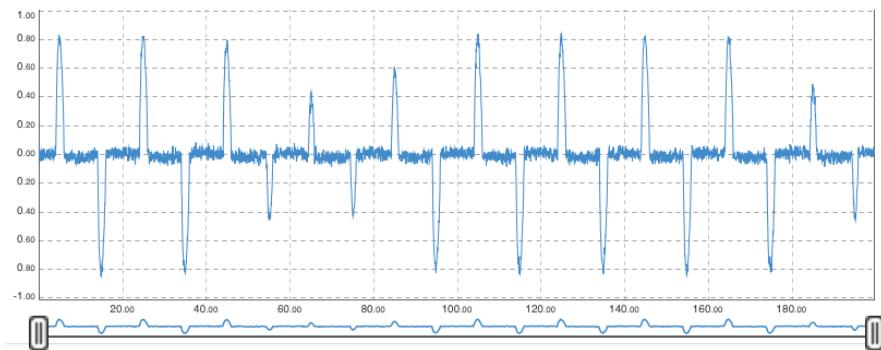


Ilustración 36. Forma de onda de corriente. Unidades del eje horizontal: Tiempo (ms). Unidades del eje vertical: Corriente (A).

En la Ilustración 36, se puede observar la forma de la onda de corriente de una impresora 3D. La forma de la onda ya no es sinusoidal y es totalmente diferente a las formas de onda que hemos visto en las anteriores cargas.

La forma de la onda de corriente consiste en una serie de pulsos alternados positiva y negativamente siendo el valor máximo y mínimo de 0,8 A. Cuando no se origina ningún pulso, observamos que se produce ruido entorno a los 0 A. No todos los pulsos son iguales ya que en algunos casos vemos como se producen pulsos de menor intensidad debido a que la impresora 3D no demanda tanta corriente para la función que realiza.

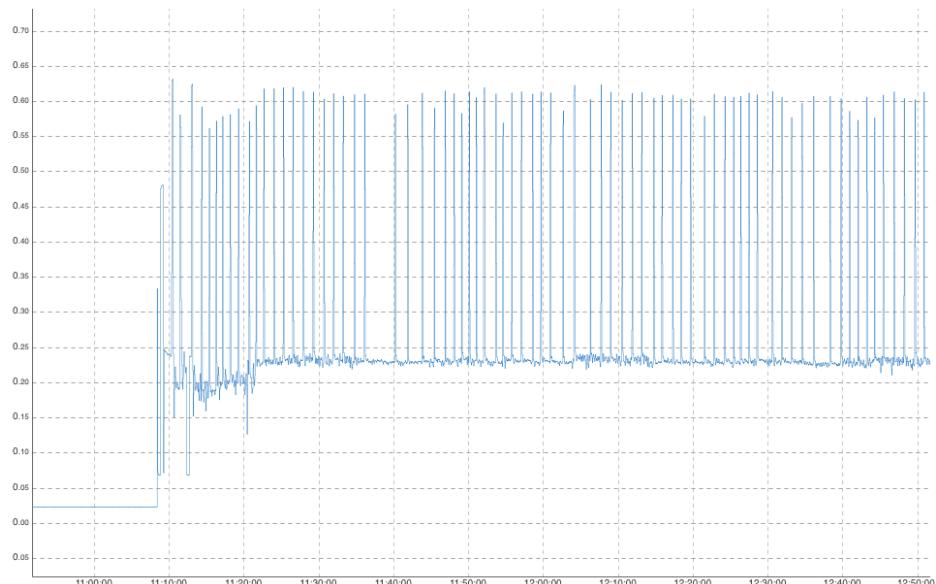


Ilustración 37. Valor eficaz de la corriente. Unidades del eje horizontal: Tiempo. Unidades del eje vertical: Corriente (A).

En la Ilustración 37, si la examinamos detalladamente, podemos observar el valor eficaz en cada momento de la corriente que circula por la impresora 3D. El valor eficaz de la corriente no es constante, pero si hacemos una media de todos los valores eficaz de pico vemos como oscilan alrededor de los 0,6 A.

La impresora 3D es una carga que, una vez encendida y lanzado el programa para imprimir la pieza deseada, necesita un tiempo previo para alcanzar la temperatura de extrusión. Por eso, el valor eficaz de la corriente es diferente al principio de la Ilustración, hasta que comienza la impresión.

Si comparamos los valores eficaces con las cargas anteriores, vemos que la impresora 3D tiene un mayor valor eficaz que el ordenador, bombilla y fluorescente ya que demanda mayor corriente, pero se encuentra muy por debajo del valor eficaz de corriente del motor (2 A).

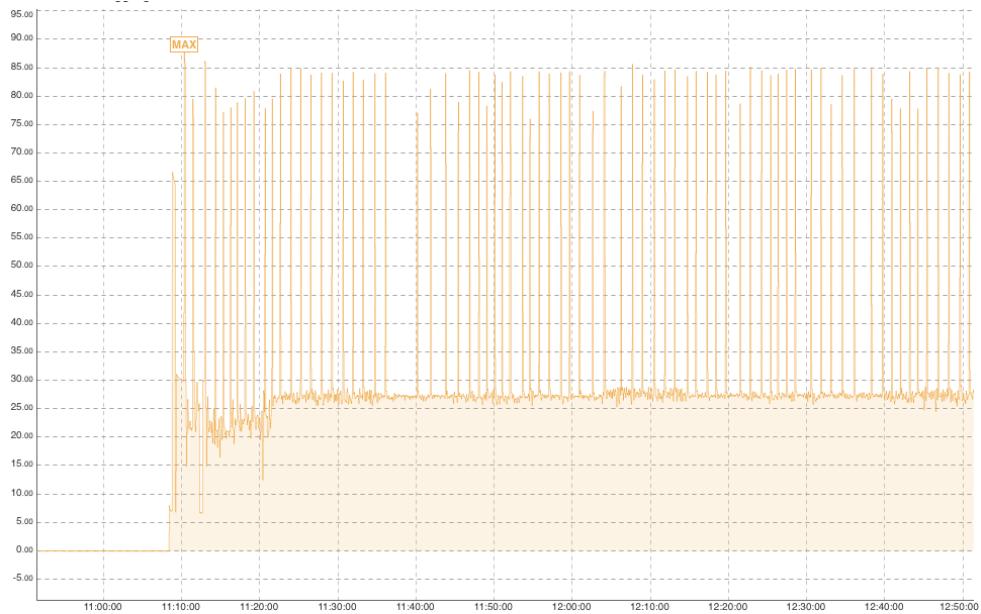


Ilustración 38. Gráfica potencia activa. Unidades del eje horizontal: Tiempo. Unidades del eje vertical: Potencia activa (W).

En la Ilustración 38 observamos la potencia activa que consume la impresora 3D en cada momento. La gráfica de la potencia activa no es constante al igual que la de la corriente. Si hacemos una media de todos los valores de potencia activa vemos que oscilan alrededor de los 85 W, teniendo un máximo valor de 87 W en el inicio del proceso de impresión.

Como hemos explicado anteriormente, la impresora 3D antes de comenzar la impresión consume menos potencia activa que durante el proceso y tiene un valor de 65 W aproximadamente.

Si realizamos una comparación de la impresora 3D con las anteriores cargas, esta consume cuatro veces más que el ordenador, la bombilla y el fluorescente aproximadamente, pero mucho menos que el motor en vacío ya que su potencia activa llegaba hasta los 225 W.



**Ilustración 39. Gráfica de la potencia reactiva. Unidades del eje horizontal: Tiempo. Unidades del eje vertical: Potencia reactiva (VAr).**

En esta gráfica observamos la potencia reactiva que consume la impresora 3D cuyo valor no es constante ya que en cada instante de tiempo consume un valor de potencia reactiva. Encontramos valores que oscilan desde los -2,95 VAr hasta los -1,95 VAr aproximadamente.

Dichos valores se encuentran por debajo de 0 VAr debido a la existencia de elementos capacitivos en la composición de la impresora, que son los responsables de suministrar esa potencia.

Este valor es considerablemente bajo en comparación con las anteriores cargas ya que es la carga con menor valor de potencia reactiva de entre todas las que consumen algo.

Fijándonos en los valores de la potencia activa (P) y la potencia reactiva (Q) de las ilustraciones 38 y 39, está claro que el valor de la potencia aparente (S) no es constante. Si queremos obtener un valor aproximado de potencia aparente en los picos tomamos -2,20 VAr de potencia reactiva y 85 W de potencia activa.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{85^2 + (-2,20)^2} = 85,03 \text{ VA}$$

Observamos que la potencia activa y aparente son potencias prácticamente similares debido a que la potencia reactiva tiene un valor muy pequeño.

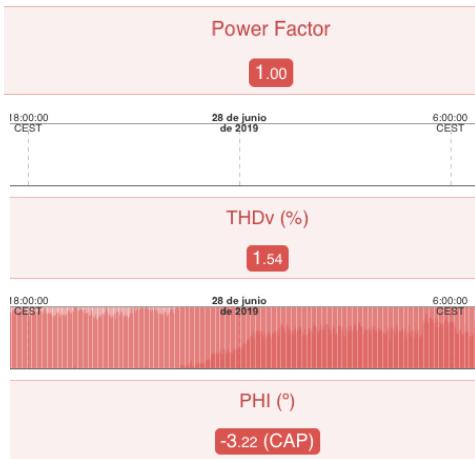


Ilustración 40. Parámetros del voltaje.



Ilustración 41. Parámetros de la corriente

En la impresora 3D encontramos un factor de potencia de 0,54 en el voltaje y 0,63 en la corriente. Estos valores no coinciden debido al continuo cambio de los valores de potencia activa y en consecuencia, el ángulo PHI también variará constantemente ya que  $\cos \varphi = \frac{P}{S}$  y, si varía la potencia activa (P), entonces también variará el valor de PHI.

En cuanto a la distorsión armónica total en el voltaje, la impresora 3D distorsiona la onda del voltaje un 1,54 % y la onda de la intensidad un 119,80 %, por lo que en la onda de corriente existe una mayor distorsión que en la de voltaje, como es lógico.

Si examinamos todas cargas y las comparamos, vemos que la impresora 3D tiene un valor de THDv similar a todas las anteriores, sin embargo, tiene el mayor valor de distorsión armónica total de la corriente. De todas las cargas analizadas hasta ahora, la impresora 3D es la menos lineal.

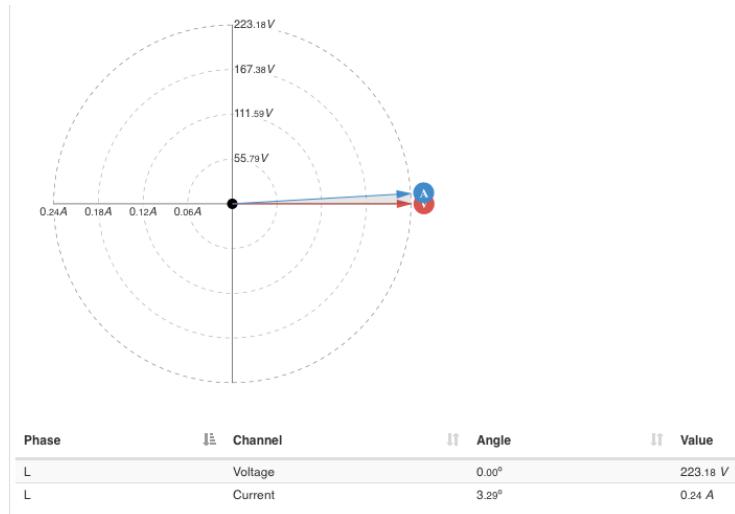


Ilustración 42. Fasores de voltaje y corriente.

La Ilustración 42 representa el ángulo de desfase entre el voltaje y la corriente. La impresora 3D adelanta la corriente  $3.29^\circ$  respecto al voltaje al ser un componente óhmico-capacitivo.

### 3.6. CARGA 6: VENTILADOR

En esta sección, se muestran las medidas tomadas con OpenZmeter para un ventilador. Se realiza también un análisis crítico de las mismas. En el Anexo 2 se incluyen imágenes del aparato.

#### Medidas y análisis crítico.

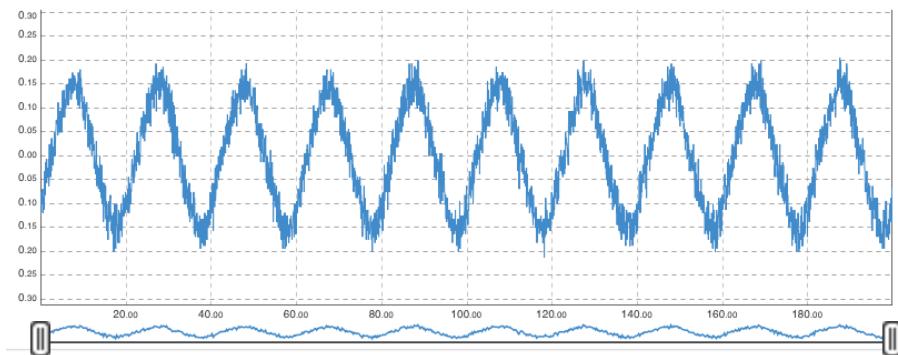


Ilustración 43. Forma de onda de corriente. Unidades del eje horizontal: Tiempo (ms). Unidades del eje vertical: Corriente (A).

En la Ilustración 43 se muestra la forma de la onda de corriente que circula por el ventilador y observamos que es una onda sinusoidal con ruido. Si comparamos con las anteriores cargas, esta onda se asemeja a la forma de onda de corriente de la bombilla.



Ilustración 44. Valor eficaz de la corriente. Unidades del eje horizontal: Tiempo. Unidades del eje vertical: Corriente (A).

En la Ilustración 44, podemos observar el valor eficaz de la corriente que circula por el ventilador dentro del contorno de la flecha. El valor eficaz, una vez encendemos el ventilador, aumenta hasta alcanzar la velocidad máxima de las aspas y nos da un valor de 0,15 A de corriente. Podemos apreciar un pico de corriente en el arranque. A continuación, una vez que alcanza esa velocidad y se queda manteniendo la misma velocidad de giro, disminuye ligeramente el valor eficaz hasta 0,12 A. Posteriormente, tras unos minutos, desciende ligeramente el valor a 0,11 A, manteniéndose constante. Podemos concluir que el ventilador demanda más corriente al iniciarse y arrancar el motor que cuando trabaja en régimen estacionario.

Si comparamos los valores eficaces con las cargas anteriores, vemos que el ventilador tiene valores eficaces parecidos a cargas como la bombilla y el fluorescente, encontrándose por debajo del resto de cargas.

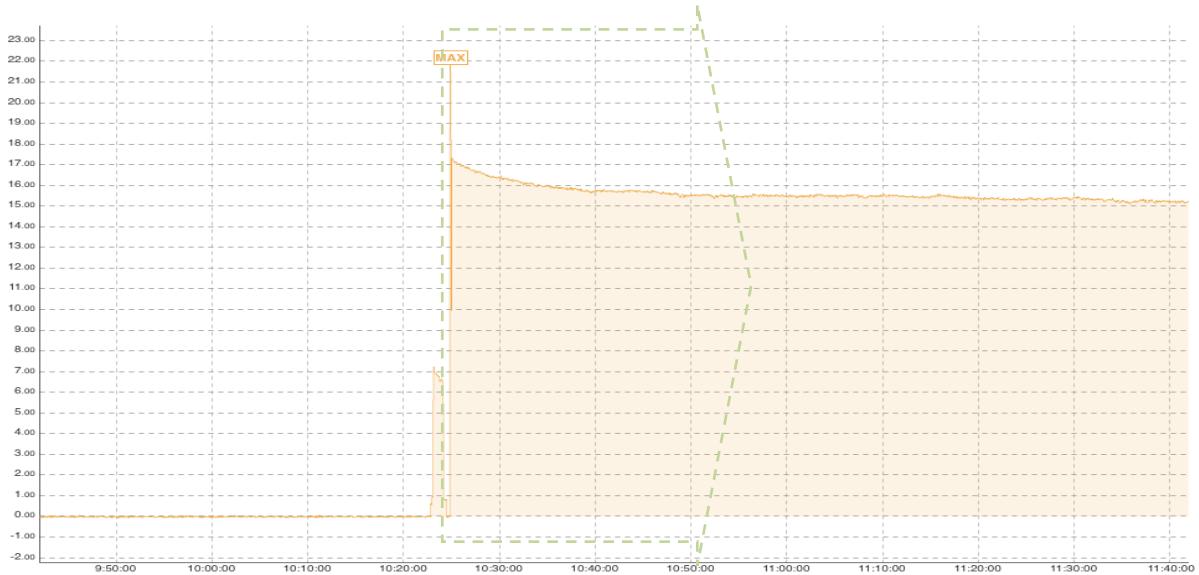


Ilustración 45. Gráfica potencia activa. Unidades del eje horizontal: Tiempo. Unidades del eje vertical: Potencia activa (W).

En la Ilustración 45 observamos la gráfica de la potencia activa que consume el ventilador dentro del contorno de la flecha.

La potencia activa al encender el ventilador, aumenta hasta alcanzar la velocidad máxima de las aspas, consumiendo entorno a 17 W. Podemos apreciar también un pico en el arranque. A continuación, una vez que se alcanza la velocidad de funcionamiento, la potencia comienza a disminuir ligeramente ya que el arranque es más exigente que el funcionamiento estacionario. Finalmente disminuye hasta mantenerse constante consumiendo 15,5 W de potencia activa.

Si realizamos una comparación del ventilador con las cargas anteriores, concluimos que el ventilador es la segunda carga que menos potencia activa consume, siendo la primera, el fluorescente.

Si comparamos el ventilador con el motor monofásico, vemos que tienen comportamientos opuestos, ya que desde el encendido del motor al alcance de la velocidad de giro, la potencia activa aumenta.



Ilustración 46. Gráfica de la potencia reactiva. Unidades del eje horizontal: Tiempo. Unidades del eje vertical: Potencia reactiva (VAr).

En la Ilustración 46 observamos la potencia reactiva que consume el ventilador. En este caso ocurre lo mismo que con la potencia activa de la Ilustración anterior, es decir, el valor de la potencia reactiva disminuye a medida que la velocidad de giro se estabiliza.

El valor de la potencia reactiva en el ventilador tiene un valor máximo de 20 VAr aproximadamente. El valor en régimen estacionario es de 17 VAr. Podemos concluir que del transitorio inicial al estacionario final hay un descenso potencia reactiva de 3 VAr aproximadamente.

A partir de los valores de potencia activa (P) y potencia reactiva (Q) de las ilustraciones 45 y 46, podemos estimar el valor de la potencia aparente (S) en el régimen estacionario:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{15,5^2 + 17^2} = 23 \text{ VA}$$

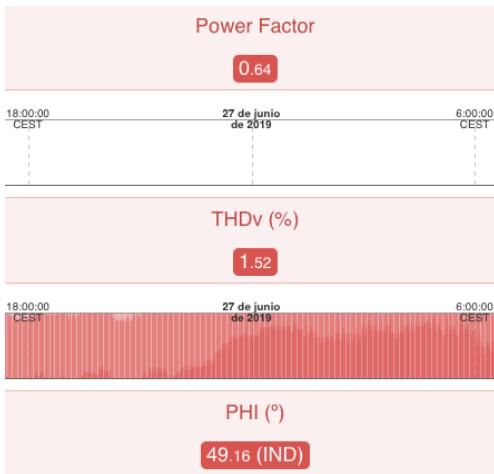


Ilustración 47. Parámetros del voltaje.

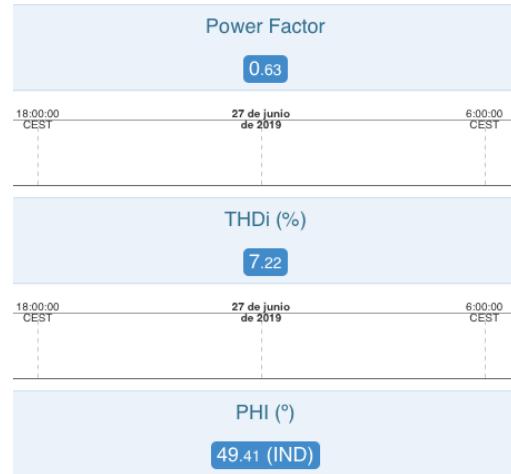


Ilustración 48. Parámetros de la corriente.

En el ventilador tenemos un factor de potencia de 0,64, al igual que el ángulo PHI que tiene un valor de 49° aproximadamente.

En cuanto a la distorsión armónica total en el voltaje, el ventilador distorsiona la onda del voltaje un 1,52 % y la onda de intensidad se distorsiona un 7,22 %, por lo que, como es habitual, en la onda de corriente existe una mayor distorsión que en la de voltaje.

Examinando todas las cargas, llegamos a la conclusión de que el ventilador tiene poca distorsión armónica en la corriente en comparación con las demás cargas ya que en ellas existen valores superiores de THDi. Sin embargo, la THDv es similar al valor de todas las cargas.

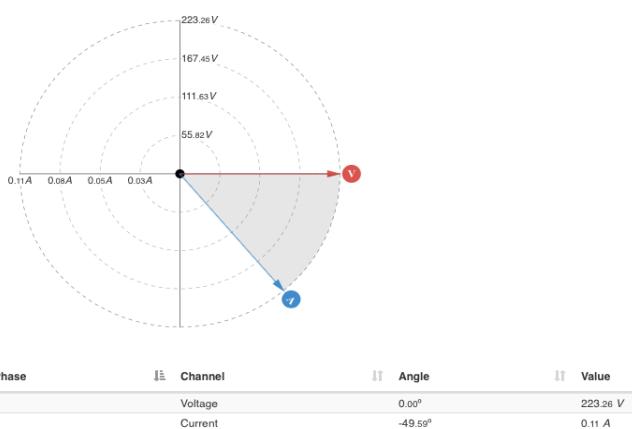


Ilustración 49. Fasores de voltaje y corriente.

En la Ilustración 49 se muestra el ángulo de fase entre el voltaje y la corriente. En este caso el ventilador desfase la corriente -49° frente al voltaje debido al motor interno

que hace girar las aspas. Al ser este valor negativo y estar la corriente retrasada respecto del voltaje podemos afirmar que el ventilador es una carga óhmico-inductiva.

### 3.7. CARGA 7: SECADOR

A continuación, se muestran las medidas tomadas con OpenZmeter para un secador de pelo funcionando a diferentes velocidades y temperaturas. Se realiza también un análisis crítico de las mismas. En el Anexo 2 se incluyen imágenes del secador.

#### Medidas y análisis crítico.

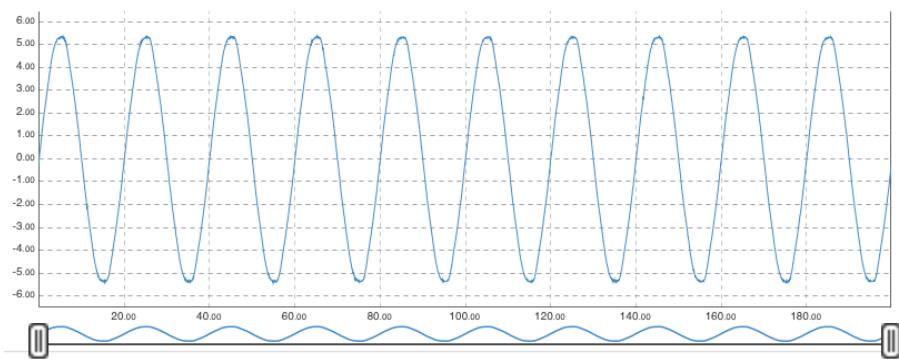


Ilustración 50. Forma de onda de corriente. Unidades del eje horizontal: Tiempo. Unidades del eje vertical: Corriente (A).

En la Ilustración 50 se muestra la forma de la onda de corriente que circula por el secador. Observamos que, aparentemente, es una onda sinusoidal perfecta. Además, no detectamos existencia de ruido a simple vista. Si realizamos una comparación con las cargas anteriores, cuya forma de onda de corriente también era sinusoidal, vemos que el secador tiene la forma de onda de corriente más " limpia" en cuanto a ruido.

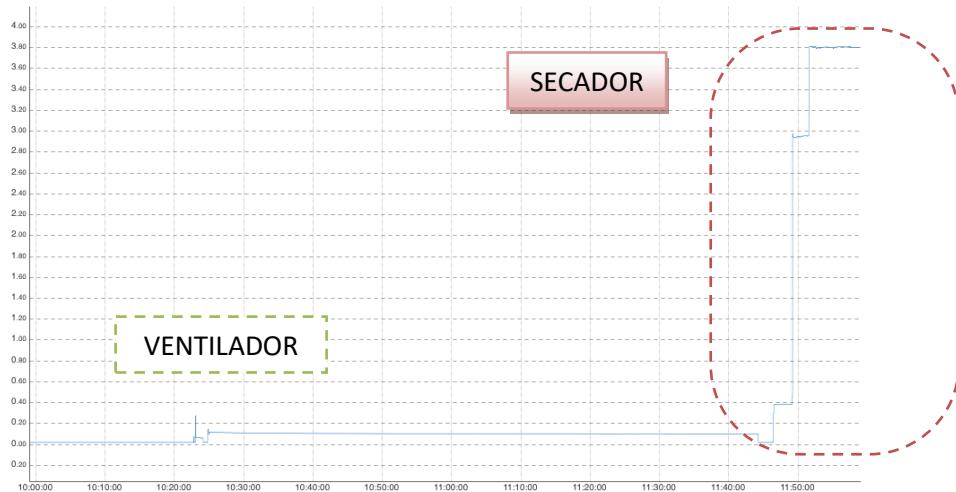


Ilustración 51. Valor eficaz de la corriente. Unidades del eje horizontal: Tiempo. Unidades del eje vertical: Corriente (A).

En la Ilustración 51, observamos el valor eficaz de la corriente que circula por el secador.

El secador se compone de dos botones, el primero para regular la temperatura de salida en tres posiciones distintas (frío, medio, caliente) y el segundo para ajustar la velocidad de salida del aire en dos posiciones diferentes (media y alta). En este caso, realizamos tres medidas variando las posiciones de los dos botones del secador.

En la primera medida tenemos el botón de temperatura en frío y velocidad media, obteniendo un valor eficaz de corriente de 0,40 A. La segunda medida la realizamos a temperatura media y velocidad alta, obteniendo un valor eficaz de 2,95 A. Finalmente, la última medida la realizamos a temperatura alta y velocidad alta, obteniendo un valor eficaz de 3,80 A.

Como es lógico a medida que aumenta la temperatura y la velocidad del secador, también aumenta el valor de la corriente demandada por el mismo.

Por otro lado, en comparación con las cargas anteriores y tomando la corriente del secador para las mayores velocidades y temperaturas, vemos que supera a todos los valores eficaces de corriente de las cargas anteriores. La carga que más se acerca a este valor eficaz es la del motor monofásico. Esto nos da una idea de lo exigente que puede llegar a ser un secador trabajando en las condiciones más desfavorables.

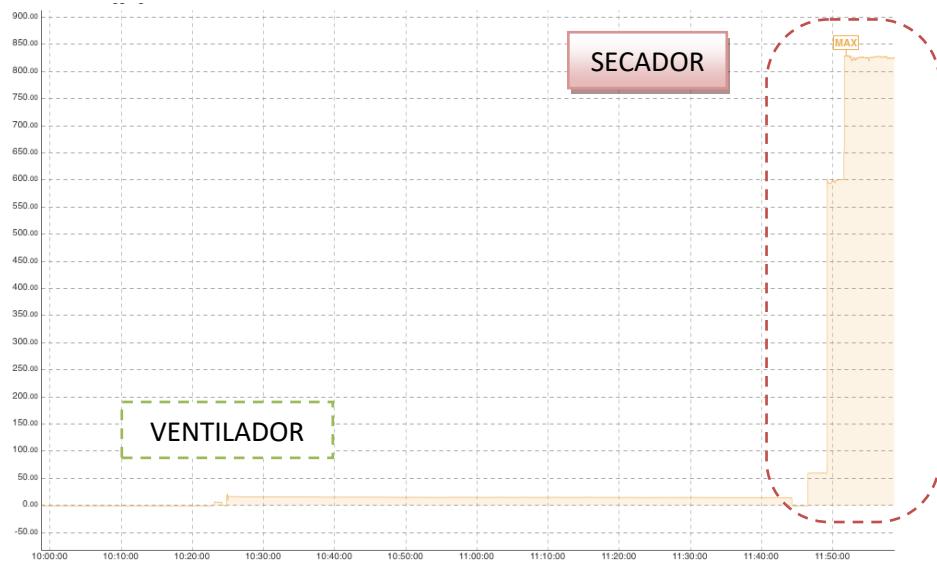


Ilustración 52. Gráfica potencia activa. Unidades del eje horizontal: Tiempo. Unidades del eje vertical: Potencia activa (W).

En la Ilustración 52 observamos la gráfica de la potencia activa que consume el secador. Encontramos tres valores distintos de potencia activa correspondientes a las tres posiciones del secador en la Ilustración 51. Para la primera configuración obtenemos un valor de potencia activa de 60 W aproximadamente. La segunda configuración (temperatura media y velocidad alta) da un valor de 600 W. Finalmente, la última configuración (temperatura alta y velocidad alta) proporciona un valor máximo de potencia activa de 825 W aproximadamente.

Si realizamos una comparación con las cargas anteriores, cogiendo el valor de potencia activa mayor, vemos que el secador supera todos los valores de potencia de todas las cargas. La carga más cercana que encontramos a este valor es el motor monofásico en vacío cuyo valor de potencia activa es de 225 W.

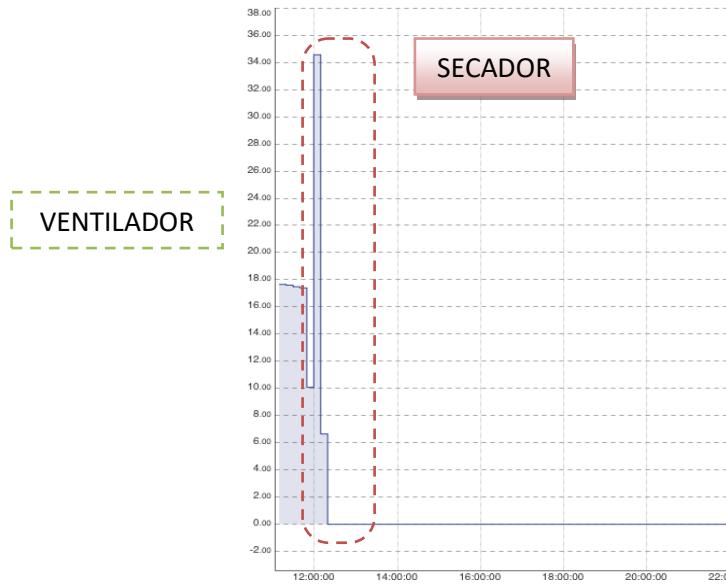


Ilustración 53. Gráfica de la potencia reactiva. Unidades del eje horizontal: Tiempo. Unidades del eje vertical: Potencia reactiva (VAr).

En la Ilustración 53 observamos la potencia reactiva que consume el secador. En este caso, la potencia reactiva alcanza un valor de 34,5 VAr en el instante que encendemos el secador y se mantiene constante en dicho valor.

Si comparamos el valor de la potencia reactiva con el valor de las cargas anteriores observamos que 34,5 VAr es un valor de potencia reactiva elevado. Las cargas que superan al secador en potencia reactiva son el fluorescente (40 VAr) y el motor monofásico en vacío (370 VAr). Sin embargo, las cargas restantes se encuentran con valores de potencia reactiva inferiores.

A partir de los valores de potencia activa (P) y potencia reactiva (Q) de las ilustraciones 52 y 53, podemos calcular el valor de la potencia aparente (S) cogiendo como valor de potencia activa el más desfavorable (825 W) y de potencia reactiva el valor constante (34,5 VAr). De este modo calculamos la potencia aparente para temperatura y velocidad máxima.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{825^2 + 34,5^2} = 825,72 \text{ VA}$$

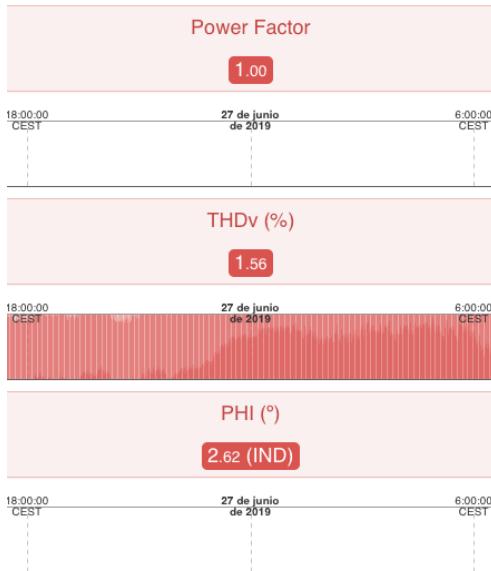


Ilustración 54. Parámetros del voltaje.



Ilustración 55. Parámetros de la corriente.

En el secador tenemos un factor de potencia de 1 debido a que la potencia activa (P) es mucho mayor que la potencia reactiva (Q). Dicho de otro modo, los valores de P y S (potencia aparente) son muy similares. Por tanto, fijándonos que el valor del ángulo PHI es de 2,62°, obtenemos que el f.d.p. es de 0,999, que si lo redondeamos obtenemos el factor de potencia unidad que indica OpenZmeter (Ilustraciones 54 y 55).

En cuanto a la distorsión armónica total en el voltaje, el secador distorsiona la onda del voltaje un 1,56 % y la onda de intensidad se distorsiona un 1,46 %, por lo que, a diferencia de otras cargas, en la onda de corriente no existe mayor distorsión que en la de voltaje.

Examinando todas las cargas, llegamos a la conclusión de que el secador tiene la distorsión armónica en la corriente más pequeña en comparación con las demás cargas. Sin embargo, la THDv es similar al valor de todas las cargas.

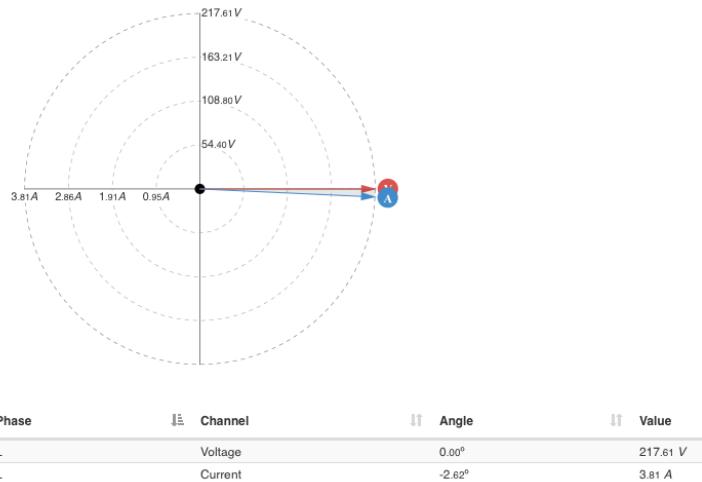


Ilustración 56. Fasores de voltaje y corriente.

En la Ilustración 56 se muestra el ángulo de fase entre el voltaje y la corriente. En este caso el secador desfasa la corriente  $-2,62^\circ$  frente al voltaje debido al motor interno que hace impulsar el aire al exterior. Al ser este valor negativo y estar la corriente retrasada respecto del voltaje podemos afirmar que el ventilador es una carga óhmico-inductiva con una parte inductiva muy pequeña.

## Capítulo 4. CONCLUSIONES

Para finalizar, es adecuado realizar una pequeña reflexión sobre el proyecto realizado.

Se ha conseguido, tal y como se pretendía, alcanzar los objetivos propuestos: la configuración de OpenZmeter, la medición de diversas cargas y su posterior análisis crítico, favoreciendo una mayor comprensión de la distribución del consumo energético de dichas cargas.

A parte de lo anterior, se considera importante realizar una valoración sobre las mediciones tomadas por OpenZmeter. En el Anexo 3 se incluye una tabla resumen de todas ellas. Observando las siete cargas analizadas, concluimos que la carga que más potencia activa consume es el secador y la carga que menos el fluorescente. Sin embargo, la carga con mayor demanda de potencia reactiva es el motor monofásico y la que menos la bombilla. Este resultado es lógico ya que los motores trabajando en vacío tienen un factor de potencia muy bajo. Si trabajara en carga su factor de potencia mejoraría acercándose al recogido en su placa de características (Anexo 2). En cuanto a los valores de distorsión armónica en el voltaje (THDv) vemos que se encuentran por debajo del límite del 5 %, cumpliendo lo establecido en las recomendaciones y estándares en la materia (Technica, 2019) y (AFQevo, 2019).

Fijándonos en la distorsión armónica de la corriente, la carga que más distorsiona es la impresora 3D.

Cabe mencionar que en la medición de las cargas surgieron varios problemas. El más destacable es que al dejar sin alimentación a OpenZmeter durante un cierto tiempo se descargaba su batería interna. Al volver a utilizarlo, se reiniciaba en la fecha inicial y, si se medía a las mismas horas, se sobrescribían las medidas.

Otro problema surgido durante la realización del proyecto fue la conexión mediante Bluetooth con OpenZmeter. En algunos dispositivos no permitía conectarse aunque se pudiera enlazar correctamente.

Para concluir, desde mi punto de vista, este proyecto ha sido provechoso y entretenido ya que me ha permitido aprender sobre el comportamiento de las distintas cargas y, sobretodo, emplear los conocimientos adquiridos en la titulación.

## Capítulo 5. TRABAJO FUTURO

En este apartado se pretende dar indicaciones sobre trabajos futuros con el dispositivo OpenZmeter.

OpenZmeter se puede instalar en hogares. Gracias a este dispositivo podemos estar informados en todo momento del estado de nuestros aparatos pudiendo realizar un seguimiento del factor de potencia o de la corriente consumida para conocer, por ejemplo, si estamos sobre pasando los límites de potencia reactiva. Esto resulta especialmente interesante para industrias o grandes consumidores de energía. Desde el punto de los entornos domésticos, sería interesante colocar OpenZmeter en diferentes hogares para comparar curvas de consumo típicas de diferentes unidades familiares, ubicaciones, épocas del año, niveles socioeconómicos, tipos de viviendas, etc. Futuros Trabajos Fin de Grado podrían ir en esta línea.

OpenZmeter resulta ventajoso para aumentar, el ahorro energético. Gracias al dispositivo, podremos observar en todo momento el consumo total del hogar y compararlo con el precio de la electricidad. Es posible reflexionar y analizar críticamente en qué momentos del día es más beneficioso activar cargas que consuman potencias elevadas, reduciendo así el gasto mensual. Futuros Trabajos Fin de Grado podrían ir en esta línea.

## Bibliografía

AFQevo. (02 de 09 de 2019). Artículo técnico. Armónicos. Obtenido de [http://docs.circutor.com/docs/CIR\\_Article\\_AFQevo\\_SP.pdf](http://docs.circutor.com/docs/CIR_Article_AFQevo_SP.pdf)

Digikey. (20 de 07 de 2019). Digikey. Obtenido de <https://www.digikey.es/es/product-highlight/s/stmicoelectronics/stm32-kits>

Iberdrola. (22 de 08 de 2019). Iberdrola S.A. Obtenido de <http://ayuda.clientes.iberdrola.es/pregunta-frecuente/que-es-la-energia-activa-la-energia-reactiva-y-el-factor-de-potencia/>

Imergia, I. d. (22 de 08 de 2019). Imergia. Factor de potencia. Obtenido de <http://www.imergia.es/eficiencia-energetica/que-es-el-factor-de-potencia>

OpenZmeter, Z. (19 de 07 de 2019). Hardware monofásico. Obtenido de <https://gitlab.com/zredalmeria/openZmeter/wikis/Single-phase-Hardware>

OpenZmeter. (16 de 07 de 2019). OpenZmeter. Obtenido de <https://openzmeter.com/blog/>

OpenZmeter. (10 de 08 de 2019). Openzmeter.com. Obtenido de <https://openzmeter.com/>

oZm, Z. (20 de 08 de 2019). Gitlab.com. Obtenido de <https://gitlab.com/zredalmeria/openZmeter/wikis/Single-phase-Hardware>

Technica, S. e. (20 de 08 de 2019). Medición de variables eléctricas utilizando señales digitalizadas. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4844853.pdf>

Wikipedia. (20 de 07 de 2019). Valor eficaz. Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Valor\\_eficaz](https://es.wikipedia.org/wiki/Valor_eficaz)

Zred, 1. (16 de 07 de 2019). Gitlab. Obtenido de <https://gitlab.com/zredalmeria/openZmeter/wikis/home>

Zred, 2. (20 de 07 de 2019). Medidas Eléctricas. Obtenido de <https://gitlab.com/zredalmeria/openZmeter/wikis/Electric-measurements>