



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior (Jaén)

Trabajo Fin de Máster

ANALIZADOR DE REDES CON MICROCONTROLADOR

Alumno/a: **García Aivar, Jose Miguel**

Tutor/a: Cano Ortega, Antonio
 Sánchez Sutil, Francisco José

Dpto.: Ingeniería Eléctrica

septiembre, 2019



Universidad de Jaén

Escuela Politécnica Superior de Jaén

Departamento de Ingeniería Eléctrica.

Don ANTONIO CANO ORTEGA, tutor del Proyecto y FRANCISCO JOSÉ SÁNCHEZ SUTIL cotutor del Proyecto Fin de Máster: ANALIZADOR DE REDES ELÉCTRICAS MEDIANTE MICROCONTROLADOR que presenta JOSE MIGUEL GARCÍA AIVAR, autoriza su presentación para defensa y evaluación en la Escuela Politécnica Superior de Jaén.

Jaén, SEPTIEMBRE de 2019

El alumno:

JOSE MIGUEL GARCÍA AIVAR

Los tutores:

CANO
ORTEGA
ANTONIO -
26009131H

Firmado
digitalmente por
CANO ORTEGA
ANTONIO -
26009131H
Fecha: 2019.09.05
10:01:00 +02'00'

SANCHEZ
SUTIL
FRANCISCO
JOSE -
26004797P

Firmado
digitalmente por
SANCHEZ SUTIL
FRANCISCO JOSE -
26004797P
Fecha: 2019.09.05
10:10:40 +02'00'

ANTONIO CANO ORTEGA

FRANCISCO JOSÉ SÁNCHEZ SUTIL

En primer lugar, me gustaría agradecer muy especialmente a mis dos tutores, por esa guía sin la cual este proyecto no hubiese sido posible. Destacar todo el trabajo que atesoran, día a día, sin hacer ruido, sin prisa, sin pausa...

No me olvido de todos aquellos que han estado junto a mi durante todo este tiempo, con un apoyo discreto, sosegado y tenaz que tanto reconforta. Hablo de mis amigos, familia y especialmente de mi pareja.

Índice

Índice	3
Tabla de ilustraciones	5
1 Introducción.....	9
2 Diseño del prototipo	11
2.1 Arduino Mega.....	13
2.2 Lolin D1 mini	14
2.3 Sensor de intensidad.....	15
2.3.1 Caracterización del sensor	16
2.4 Sensor tensión	17
2.5 Reloj RTC	18
2.6 Esquema de conexión.....	19
3 Presupuesto	24
4 Fundamento teórico	25
4.1 Datos básicos.....	26
4.1.1 Tensión	26
4.1.2 Intensidad	27
4.1.3 Potencia aparente S.....	28
4.1.4 Potencia real o útil P	29
4.1.5 Potencia reactiva Q	30
4.1.6 Factor de potencia, $\cos \phi$	30
4.2 Armónicos	32
4.2.1 Causas.....	33
4.2.2 Efectos.....	34
4.2.3 Parámetros de medida	35
4.2.4 Tasa de distorsión armónica THD	36
4.2.5 Obtención de armónicos	36
5 Firebase	40
6 Parámetros obtenidos.	42
6.1 Función de datos básicos.....	43
6.2 Función de FFT	44
7 Scripts.....	45
7.1 Diagrama de ejecución del código.....	45
7.2 Toma de datos	48

7.3	Acondicionamiento de datos	50
7.4	Cálculo de parámetros básicos	52
7.5	Cálculo de FFT	54
7.6	Envío de datos desde Arduino Mega a Lolin D1 Mini	58
7.6.1	Reloj RTC	61
7.7	Envío de datos desde Lolin D1 Mini a Firebase.....	63
7.8	Conexión de Lolin a Firebase.....	67
7.9	Descarga de datos desde Firebase a Excel	71
8	Pruebas.....	73
8.1	Ordenador portátil	74
	Valores de interés obtenidos	74
8.2	Frigorífico	77
	Valores de interés obtenidos	77
8.3	Tostador.....	80
	Valores de interés obtenidos	80
8.4	Microondas III.....	83
	Valores de interés obtenidos	83
8.5	Microondas III + Grill	86
	Valores de interés obtenidos	86
8.6	Microondas en modo descongelar.....	89
	Valores de interés obtenidos	89
8.7	Tira led 2 m	92
	Valores de interés obtenidos	92
8.8	Corta fiambres profesional	95
	Valores de interés obtenidos	95
8.9	Corta fiambres profesional+ carro en movimiento	98
	Valores de interés obtenidos	98
8.10	Sierra de cinta.....	101
	Valores de interés obtenidos	101
8.11	Picadora de carne en vacío.....	104
	Valores de interés obtenidos	104
8.12	Picadora de carne en carga	107
	Valores de interés obtenidos	107
8.13	Vitrina.....	110
	Valores de interés obtenidos	110

8.14	Sierra mano en vacío	113
	Valores de interés obtenidos	113
8.15	Sierra mano en carga.....	116
	Valores de interés obtenidos	116
8.16	Destruyector de papel.....	119
	Valores de interés obtenidos	119
8.17	Impresora.....	122
	Valores de interés obtenidos	122
9	Conclusiones.....	125
	Bibliografía	128

Tabla de ilustraciones

Ilustración 1	Disposición de elementos en el prototipo propuesto.....	12
Ilustración 2	Protoboard.	12
Ilustración 3	Arduino Mega.	13
Ilustración 4	D1 mini Lite	14
Ilustración 5	Sensor de intensidad.....	15
Ilustración 6	Sensor de tensión.	17
Ilustración 7	Reloj RTC DS3231.....	18
Ilustración 8	Arduino Mega (Arriba), Lolin D1 mini (abajo izquierda), Sensores de Intensidad ACS712.....	19
Ilustración 9	Reloj RTC DS3231 (arriba), sensor de tensión ZMPT201B (abajo).....	20
Ilustración 10	Esquema de conexión del dispositivo.....	21
Ilustración 11	Imagen prototipo vista superior (arriba) y lateral 1 a 45° (abajo).....	22
Ilustración 12	Prototipo visto desde 45 °.....	23
Ilustración 13	Prototipo lateral 2 a 45°.	23
Ilustración 14	Frontal a 45°.	23
Ilustración 15	Parte trasera a 45°.	23
Ilustración 16	Gráfica del muestreo de tensión.....	26
Ilustración 17	Triángulo de potencias.	29
Ilustración 18	representación de onda fundamental y armónicos.	32
Ilustración 19	Esquema inversor trifásico.	34
Ilustración 20	Diagrama de inversión de posiciones para FFT.....	37
Ilustración 21	Cálculos necesarios para la obtención de FFT.....	38
Ilustración 22	Diagrama de mariposa para calcular la FFT.....	38
Ilustración 23	Logo de Firebase Realtime Database.	40

Ilustración 24 Servicios gratuitos de Firebase.	40
Ilustración 25 Precios de Firebase	41
Ilustración 26 Ejemplo del muestreo que realiza de tensión e intensidad.	43
Ilustración 27 Ejemplo de datos FFT filtrada obtenida en el puerto serie.	44
Ilustración 28 Muestra de la señal FFT sin filtrar.	55
Ilustración 29 Señal FFT filtrada.....	55
Ilustración 30 Creación del proyecto en Firebase.	67
Ilustración 31 Pasos a seguir en la creación de un nuevo proyecto en Firebase	68
Ilustración 32 Secretos de la base de datos.	68
Ilustración 33 Enlace al cual serán subidos los datos.	69
Ilustración 34 Reglas en Firebase.	69
Ilustración 35 Captura de pantalla de Firebase para exportar ficheros.	71
Ilustración 36 Cargador de pc portátil.	74
Ilustración 37 Tensión e intensidad pc.....	74
Ilustración 38 Señal FFT de Intensidad sin filtrar de PC.	75
Ilustración 39 Señal FFT de intensidad filtrada de PC.	75
Ilustración 40 Señal de FFT de tensión sin filtrar PC.	76
Ilustración 41 Señal FFT de tensión filtrada PC.....	76
Ilustración 42 Frigorífico.	77
Ilustración 43 Grafica tensión e intensidad frigorífico.....	77
Ilustración 44 Señal FFT de Intensidad sin filtrar de frigorífico.....	78
Ilustración 45 Señal FFT de intensidad filtrada de frigorífico.	78
Ilustración 46 Señal de FFT de tensión sin filtrar frigorífico.	79
Ilustración 47 Señal FFT de tensión filtrada frigorífico.	79
Ilustración 48 Tostador.	80
Ilustración 49 Grafica tensión e intensidad tostador.	80
Ilustración 50 Señal FFT de Intensidad sin filtrar de tostador.	81
Ilustración 51 Señal FFT de intensidad filtrada de tostador.	81
Ilustración 52 Señal de FFT de tensión sin filtrar tostador.	82
Ilustración 53 Señal FFT de tensión filtrada tostador.....	82
Ilustración 54 Microondas.....	83
Ilustración 55 Tensión e intensidad de microondas a máxima potencia.....	83
Ilustración 56 Señal FFT de Intensidad sin filtrar de microondas máxima potencia.	84
Ilustración 57 Señal FFT filtrada de microondas máxima potencia.	84
Ilustración 58 Señal de FFT de tensión sin filtrar microondas máxima potencia.	85
Ilustración 59 Señal FFT de tensión filtrada microondas máxima potencia.....	85
Ilustración 60 Microondas.....	86
Ilustración 61 Grafica tensión e intensidad microondas + Grill.....	86
Ilustración 62 Señal FFT de Intensidad sin filtrar de Microondas Máxima potencia + Grill	87
Ilustración 63 Señal FFT filtrada de microondas máxima potencia + Grill.....	87
Ilustración 64 Señal de FFT de tensión sin filtrar Microondas Máxima potencia + Grill	88
Ilustración 65 Señal FFT de tensión filtrada microondas máxima potencia + Grill	88
Ilustración 66 Microondas.....	89
Ilustración 67 Gráfica tensión e intensidad de microondas descongelar.....	89
Ilustración 68 Señal FFT de Intensidad sin filtrar de Microondas descongelar.....	90
Ilustración 69 Señal FFT filtrada de Microondas descongelar.....	90
Ilustración 70 Señal de FFT de tensión sin filtrar microondas descongelar.....	91

Ilustración 71 Señal FFT de tensión filtrada microondas descongelar.	91
Ilustración 72 Tira de led.	92
Ilustración 73 Gráfica tensión e intensidad de tira led.	92
Ilustración 74 Señal FFT de Intensidad sin filtrar de tira de led.	93
Ilustración 75 Señal FFT filtrada de tira de led.	93
Ilustración 76 Señal de FFT de tensión sin filtrar tira de led.	94
Ilustración 77 Señal FFT de tensión filtrada tira de led.	94
Ilustración 78 Maquina corta fiambres.	95
Ilustración 79 Gráfica tensión e intensidad de corta fiambres.	95
Ilustración 80 Señal FFT de Intensidad sin filtrar de corta fiambres.	96
Ilustración 81 Señal FFT filtrada de corta fiambres.	96
Ilustración 82 Señal de FFT de tensión sin filtrar de corta fiambres.	97
Ilustración 83 Señal FFT de tensión filtrada corta fiambres.	97
Ilustración 84 Máquina corta fiambres.	98
Ilustración 85 Gráfica tensión e intensidad de corta fiambres + movimiento del carro.	98
Ilustración 86 Señal FFT de Intensidad sin filtrar de corta fiambres+ movimiento del carro.	99
Ilustración 87 Señal FFT filtrada de corta fiambres + movimiento del carro.	99
Ilustración 88 Señal de FFT de tensión sin filtrar de corta fiambres + movimiento del carro.	100
Ilustración 89 Señal FFT de tensión filtrada corta fiambres+ movimiento del carro.	100
Ilustración 90 Sierra de cinta.	101
Ilustración 91 Gráfica tensión e intensidad de sierra de cinta.	101
Ilustración 92 Señal FFT de Intensidad sin filtrar de sierra de cinta.	102
Ilustración 93 Señal FFT filtrada de sierra de cinta.	102
Ilustración 94 Señal de FFT de tensión sin filtrar de sierra de cinta.	103
Ilustración 95 Señal FFT de tensión filtrada sierra de cinta.	103
Ilustración 96 Picadora de carne.	104
Ilustración 97 Gráfica tensión e intensidad de picadora de carne en vacío.	104
Ilustración 98 Señal FFT de Intensidad sin filtrar de picadora de carne en vacío.	105
Ilustración 99 Señal FFT filtrada de picadora de carne en vacío.	105
Ilustración 100 Señal de FFT de tensión sin filtrar de picadora de carne en vacío.	106
Ilustración 101 Señal FFT de tensión filtrada picadora de carne en vacío.	106
Ilustración 102 picadora de carne.	107
Ilustración 103 Gráfica tensión e intensidad de picadora en carga.	107
Ilustración 104 Señal FFT de Intensidad sin filtrar de picadora en carga.	108
Ilustración 105 Señal FFT filtrada de picadora en carga.	108
Ilustración 106 Señal de FFT de tensión sin filtrar de picadora en carga.	109
Ilustración 107 Señal FFT de tensión filtrada picadora en carga.	109
Ilustración 108 Vitrina.	110
Ilustración 109 Gráfica tensión e intensidad de vitrina.	110
Ilustración 110 Señal FFT de Intensidad sin filtrar de vitrina.	111
Ilustración 111 Señal FFT filtrada de vitrina.	111
Ilustración 112 Señal de FFT de tensión sin filtrar de vitrina.	112
Ilustración 113 Señal FFT de tensión filtrada de vitrina.	112
Ilustración 114 sierra de mano-	113
Ilustración 115 Gráfica tensión e intensidad de sierra de mano en vacío.	113
Ilustración 116 Señal FFT de Intensidad sin filtrar de sierra de mano en vacío.	114

Ilustración 117 Señal FFT filtrada de sierra de mano en vacío.	114
Ilustración 118 Señal de FFT de tensión sin filtrar de sierra de mano en vacío.	115
Ilustración 119 Señal FFT de tensión filtrada de sierra de mano en vacío.	115
Ilustración 120 Sierra de mano.	116
Ilustración 121 Gráfica tensión e intensidad de sierra de mano en carga.	116
Ilustración 122 Señal FFT de Intensidad sin filtrar de sierra de mano en carga.	117
Ilustración 123 Señal FFT filtrada de sierra de mano en carga.	117
Ilustración 124 Señal de FFT de tensión sin filtrar de sierra de mano en carga.	118
Ilustración 125 Señal FFT de tensión filtrada de sierra de mano en carga.	118
Ilustración 126 Destructora de papel.	119
Ilustración 127 Gráfica tensión e intensidad de destructora.	119
Ilustración 128 Señal FFT de Intensidad sin filtrar de destructora.	120
Ilustración 129 Señal FFT filtrada de destructora.	120
Ilustración 130 Señal de FFT de tensión sin filtrar de destructora.	121
Ilustración 131 Señal FFT de tensión filtrada de destructora.	121
Ilustración 132 Impresora Brother.	122
Ilustración 133 Gráfica tensión e intensidad de impresora en carga.	122
Ilustración 134 Señal FFT de Intensidad sin filtrar de impresora.	123
Ilustración 135 Señal FFT filtrada de sierra de impresora.	123
Ilustración 136 Señal de FFT de tensión sin filtrar de impresora.	124
Ilustración 137 Señal FFT de tensión filtrada de impresora.	124

1 Introducción

El presente TFM tiene como objetivo el desarrollo de un Analizador de Redes, donde se pueda obtener parámetros de medidas eléctricas y armónicos de la red. El equipo de medida es de bajo coste y está diseñado para ser usado en tareas donde no sea requerida una alta precisión. Se ha diseñado un prototipo que permite almacenar datos durante un largo periodo de tiempo y preparado para su uso en entornos industriales o académicos donde el objetivo sea localizar datos de gran dimensión como motores, maquinaria pesada, maquinaria industrial... Así pues, es fundamental obtener una alta relación calidad precio ya que sin esta característica no sería viable su utilización.

Para ello, se basa en tecnologías abiertas como es el caso de Arduino y Firebase. Se selecciona trabajar en código abierto de Arduino puesto que es una tecnología madura, donde es fácil encontrar material de apoyo de manera accesible y fiable. Firebase es la plataforma de almacenamiento de datos de Google. Se escoge esta web por ser gratuita (si no se almacenan y envían una gran cantidad de datos como es nuestro caso) y por su sencillez para realizar la conexión y uso.

Este TFM surge de la necesidad de realizar análisis de redes eléctricas trifásicas en entornos variados y de forma remota. En la bibliografía revisada, el autor ha encontrado diferentes proyectos que realizan tareas similares como: medición de red monofásica, obtención de datos y subida a nube... pero no se ha detectado ninguno en el que se lleven a cabo todos mediante un único dispositivo. Es aquí, donde se propone integrar todos esos procesos en un solo dispositivo, de tal forma que este sea capaz de realizar las siguientes tareas por si mismo:

- Analizar redes trifásicas
- Realizar medidas eléctricas.
- Cálculo de FFT de tensión e intensidad realizada en Arduino
- Subida de datos a la nube (Firebase)

De este modo, se diseña un prototipo que sea capaz de realizar las medidas básicas de un sistema como son Tensión, Intensidad, S, P, Q, $\cos\phi$ y los armónicos tanto en tensión como en intensidad que pudieran estar presentes en la red.

Es esta última medida, la obtención de armónicos en tensión e intensidad, el parámetro fundamental sobre el que se ha estructurado el proyecto, puesto que solo lo ofrecen los equipos de alta cualificación profesionales. Normalmente, los dispositivos comerciales que son capaces de medir estos datos tienen un alto coste y no se pueden dejar sin vigilancia durante un largo periodo de tiempo, por lo que no resulta posible monitorizar puntos de la red de forma remota y económica.

Por tanto, se ha diseñado un dispositivo que permite llevar a cabo todas las prestaciones necesarias, desde el muestreo de datos hasta su volcado en la red. La mayor novedad que se presenta en este prototipo reside en el procesado de parámetros con Arduino Mega y no en PC, tal y como hasta ahora se venía resolviendo. Con este avance, es posible calcular la FFT (Fast Fourier Transform) con Arduino Mega, es decir, se obtiene los armónicos que hay presentes en la red sin necesidad de usar ningún otro elemento. De este modo, simplemente con Arduino Mega es posible desarrollar todo el proceso, excepto la transferencia de datos a la nube, debido a que este microcontrolador no posee módulo WIFI, lo que se solventa incorporando un Lolin D1 que actúa como pasarela entre Arduino Mega y la Nube.

En definitiva, el prototipo tiene un coste de menos de 30 € y ofrece datos fiables y útiles. Este dispositivo es válido en muchas situaciones donde no se requieran complejos dispositivos de medida, de gran precisión y de un alto coste, y sea suficiente con conocer lo que está sucediendo de forma general.

2 Diseño del prototipo

Como se ha mencionado anteriormente, este proyecto usa como tecnología de referencia Arduino. Esta decisión se toma como base ya que son los dispositivos que usa el departamento de Ingeniería eléctrica y por lo tanto hay un know how muy importante. Las principales ventajas que presenta Arduino son:

- Bajo coste.
- Fácil uso.
- Plataforma abierta.
- Alta flexibilidad.
- Gran variedad de placas y sensores.
- Hardware y software es ampliable (módulos).
- Código abierto.

Desventajas:

- Al no usar lenguaje ensamblador no se puede llegar al nivel de precisión de otros productos.
- No se puede integrar en un circuito integrado directamente.

En este caso concreto al no ser necesaria una gran precisión hace que Arduino sea una solución muy adecuada ya que aún a bajo coste con buenas prestaciones.

Los dispositivos usados son:

- Arduino Mega.
- Sensor de Intensidad 20 A.
- Sensor de Tensión.
- Lolin D1 mini.

De este modo, el prototipo propuesto tendría la siguiente disposición:

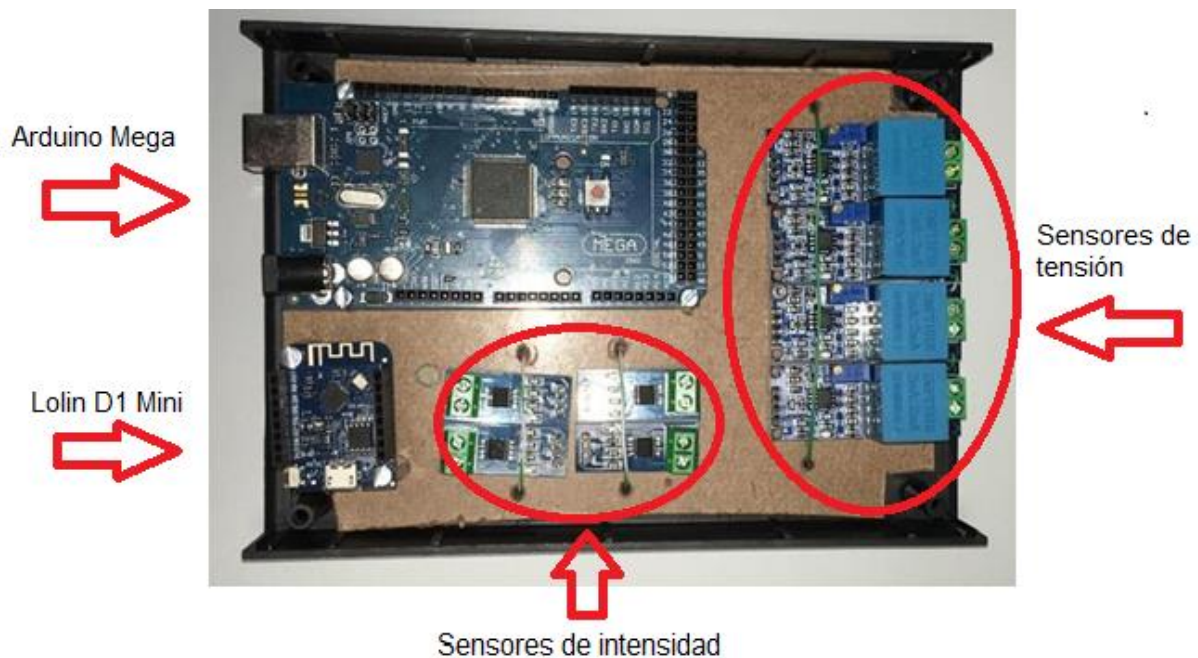


Ilustración 1 Disposición de elementos en el prototipo propuesto.

Como se puede ver en la imagen, en un lado están situados los dos Arduino y agrupados de cuatro en cuatro, se pueden identificar los sensores de tensión e intensidad. Para llevar a cabo la conexión, se usa una protoboard como la de la imagen.

Esta placa es necesaria exclusivamente para realizar las conexiones de Vcc (5V) y GND (0V) ya que Arduino Mega solo cuenta con 2 salidas Vcc y 3 GND. Como se puede observar, esto es claramente insuficiente para alimentar todos los dispositivos usados, puesto que cada uno cuenta con una toma de Vcc y GND.

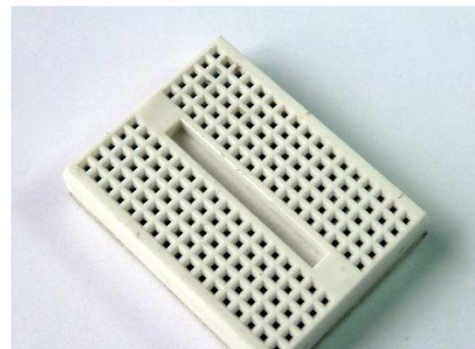


Ilustración 2 Protoboard.

2.1 Arduino Mega

Este proyecto se articula en torno al Arduino Mega, es decir, es el dispositivo Maestro del que dependen los demás. Esto se debe a que es el dispositivo que ofrece una mayor potencia de cálculo, unas mejores prestaciones y sobre todo gran capacidad de memoria dinámica.

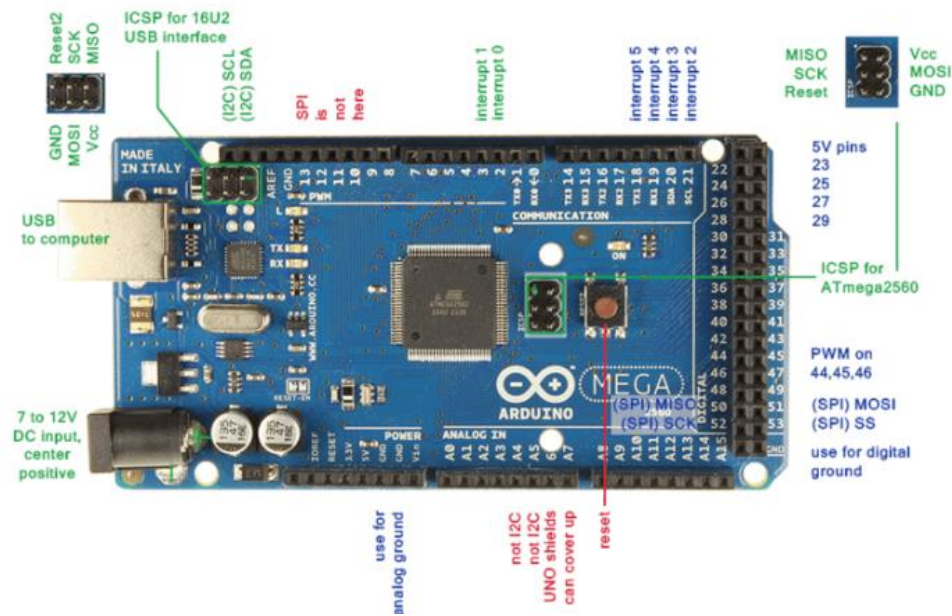


Ilustración 3 Arduino Mega.

Las características de este Arduino Mega son:

- Microcontrolador: ATmega2560.
- Voltaje Operativo: 5V.
- Voltaje de Entrada: 7-12V.
- Voltaje de Entrada(límites): 6-20V.
- Pines digitales de Entrada/Salida: 54 (de los cuales 15 proveen salida PWM).
- Pines análogos de entrada: 16.
- Corriente DC por cada Pin Entrada/Salida: 40 mA.
- Corriente DC entregada en el Pin 3.3V: 50 mA.
- Memoria Flash: 256 kB (8kB usados por el bootloader).
- SRAM: 8kB.
- EEPROM: 4kB.

- Clock Speed: 16 MHz.

De los datos anteriores hay que tener en cuenta especialmente las limitaciones que impone el ciclo de reloj (16MHz), para llevar a cabo el muestreo y la memoria flash ya que determina el número de variables internas que se pueden implementar.

2.2 Lolin D1 mini

Lolin D1 funciona como esclavo respecto de Mega y es el encargado de subir los datos a la nube. Para ello, se conectará con Firebase, la Cloud de Google.

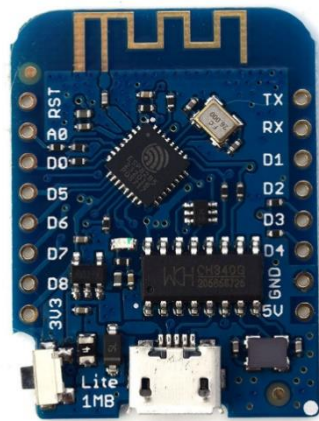


Ilustración 4 D1 mini Lite

Características:

- Microcontrolador: ATmega328.
- Voltaje Operativo: 5V.
- Voltaje de Entrada: 7-12V.
- Voltaje de Entrada(límites): 6-20V.
- Pines digitales de Entrada/Salida: 14 (de los cuales 6 proveen salida PWM).
- Pines análogos de entrada:1.
- Corriente DC por cada Pin Entrada/Salida: 40 mA.
- Corriente DC entregada en el Pin 3.3V: 50 mA.
- Memoria Flash: 32 kB.
- SRAM: 2kB.

- EEPROM: 1kB.
- Clock Speed: 160 MHz.

2.3 Sensor de intensidad

El sensor de intensidad usado es el ACS712, tiene como función medir la corriente que circula por los circuitos en cada instante. En concreto, se usan 4, tres miden las fases RST y otro para el neutro, de este modo los 4 hilos de un cable trifásico quedan controlados.

El funcionamiento del ACS712 se basa en el efecto Hall. La intensidad circula por un canal de conducción localizado cerca de la superficie del integrado. Al pasar la corriente por él, se genera un campo magnético que es detectado por el sensor Hall el cual lo transforma en tensión.

La salida del sensor, es una tensión proporcional a la corriente más un offset que, aunque no circule corriente por él proporciona una tensión, normalmente 2.5V. Una ventaja de este sensor es su alta independencia de la temperatura. El sensor viene calibrado de fábrica, aunque para una medición de precisión será necesario un ajuste de calibración.



Ilustración 5 Sensor de intensidad.

2.3.1 Caracterización del sensor.

Tal y como se ha comentado anteriormente, este sensor ofrece como salida una tensión proporcional a la intensidad que pasa por él. La tensión de salida presenta un offset de 2.5V de forma que Arduino puede medir tensiones positivas, más de 2.5V a la salida y tensiones negativas, menos de 2.5V a la salida

$$V = 2.5 + K \cdot I \quad I = (V - 2.5)/K$$

Ecuación 1 Caracterización del sensor de intensidad.

El factor de sensibilidad varía en función del rango de medida del sensor, ya que hay varios modelos. En referencia a esto, es necesario mencionar que los sensores de amplio rango no se detectan bien los valores bajos.

2.4 Sensor tensión

Para medir tensión se usa el ZMPT201B. Este sensor permite medir directamente tensiones de red AC sin necesidad de adaptar la señal a ADC de Arduino. Esto es una gran ventaja ya que permite ahorrar una gran cantidad de componentes y trabajo de montaje. Además, en el caso de sufrir una avería, simplemente habría que sustituirlo por uno nuevo, lo que es más cómodo que detectar que componente es el que se ha dañado.

La salida de este sensor es una señal comprendida entre 0 y 5 V, esta se envía al puerto Analógico de Arduino donde es medida. El voltaje de alimentación de este dispositivo es de 5V como norma general. La señal que ofrece a 0V AC es de 2.5 V DC, es decir, ofrece un offset de 1/2 de la tensión de alimentación. Por ejemplo, si se alimenta a 3.3V el offset sería 1.65V.

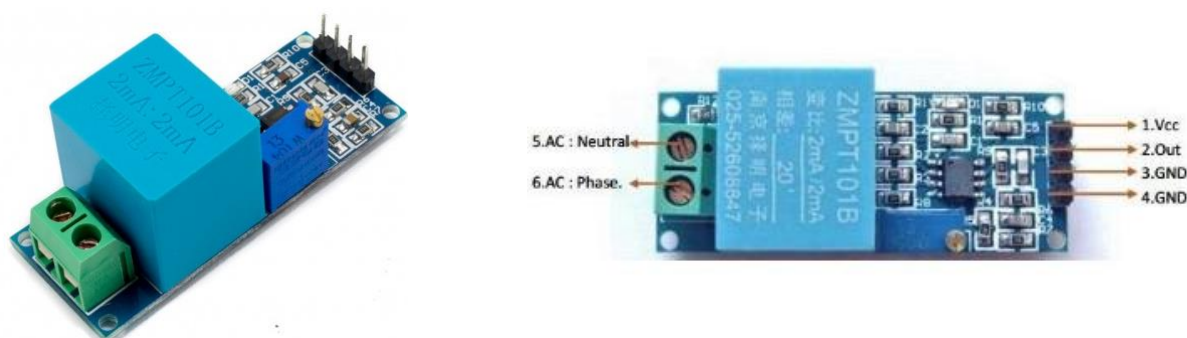


Ilustración 6 Sensor de tensión.

Propiedades¹ del transformador:

- Diferencia de fase <30° (a 50 ohm).
- Rango lineal: 0-3mA (a 50 ohm).
- Linealidad 1%.
- Precisión 0.2%.
- Aislamiento eléctrico hasta 3000V.

¹ Datos obtenidos de <https://naylorlampmechatronics.com/sensores-corriente-voltaje/393-transformador-de-voltaje-ac-zmpt101b.html> 25/03/19

2.5 Reloj RTC

En este proyecto es necesario usar un reloj para conocer la hora de cada medición. Para ello, se usa un reloj muy común en el sector Arduino, se emplea el RTC DS3231.

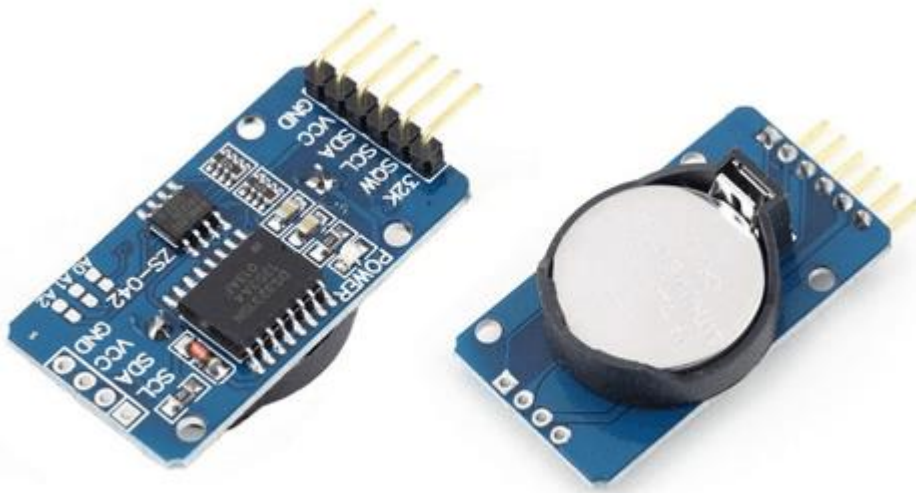


Ilustración 7 Reloj RTC DS3231.

El reloj RTC DS3231 incorpora medición y compensación de la temperatura, esto garantiza que haya una precisión de al menos 2ppm. Esto significa que este reloj comete un error máximo de 172ms/día, es decir, un segundo cada 6 días o 1-2 segundos mes en condiciones normales. Para este proyecto es una precisión más que adecuada, ya que simplemente es necesario tener un control aproximado sobre la hora de la ejecución y así localizar adecuadamente medida.

La conexión de este dispositivo es muy simple, solo hay que conectar:

- Vcc => 5V de Arduino Mega.
- GND => 0v o GND de Arduino Mega.
- SCL => SLC de Arduino Mega.
- SDA => SDA de Arduino Mega.

2.6 Esquema de conexión

En esta sección, se describen las conexiones mediante las cuales se ensambla este proyecto. Para ello se usa el programa informático Fritzing , el cual ya posee en sus bibliotecas elementos básicos como: Arduino Mega, Arduino Mini D1 y los medidores de Intensidad.

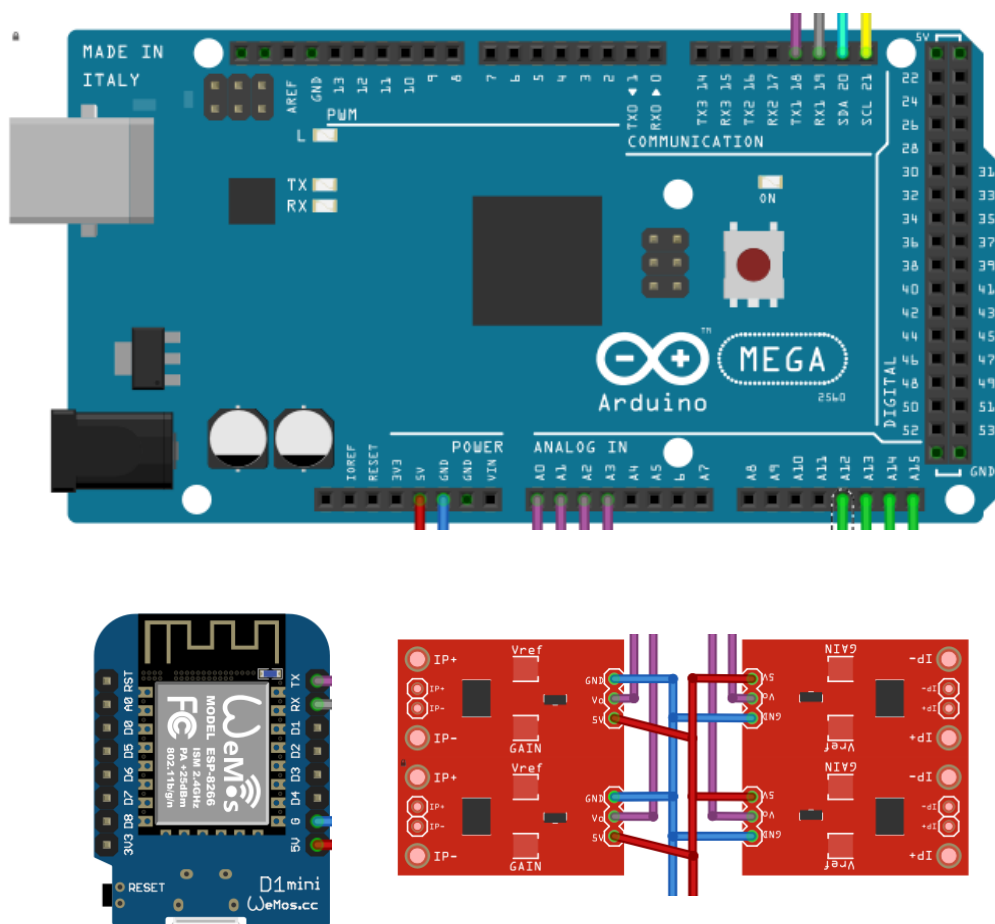


Ilustración 8 Arduino Mega (Arriba), Lolin D1 mini (abajo izquierda), Sensores de Intensidad ACS712

Sin embargo, el programa no tiene incluido el reloj RTC DS3231 ni el sensor de tensión ZMPT101B. Para insertar el reloj, basta con descargar la librería² de internet, concretamente en la web (github, s.f.) e incorporarla junto a las otras librerías. A pesar de ello, no ha sido posible encontrar el sensor de tensión. Con el objetivo de

²<https://github.com/e-radionicom/e-radionicom-Fritzing-Library-parts/blob/master/DS3231%20RTC.fzpz>

solventar este problema, se modifica un elemento ya existente de similares características para poder incorporarlo al esquemático.

En la siguiente imagen se puede observar el reloj RTC DS3231 y uno de los sensores de tensión.

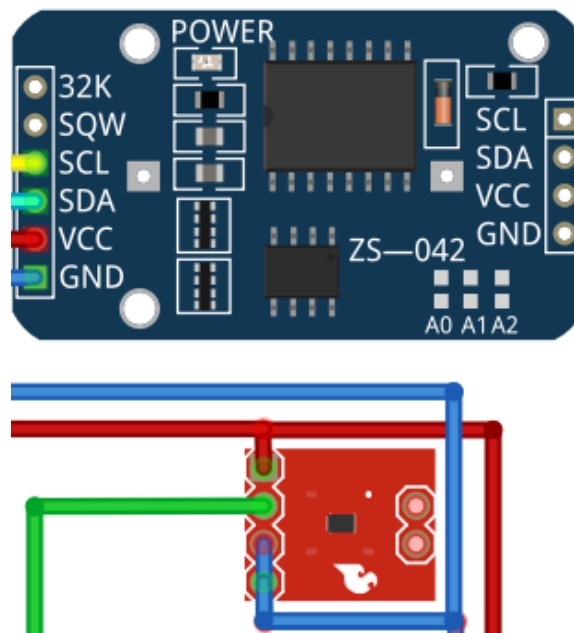


Ilustración 9 Reloj RTC DS3231 (arriba), sensor de tensión ZMPT201B (abajo)

Como se ha descrito anteriormente se recuerda que el proyecto está formado por:

- 1 Arduino Mega.
- 1 Arduino Mini D1.
- 4 sensores de intensidad ACS712.
- 4 sensores de tensión ZMPT201B.
- 1 reloj RTC DS3231.

Todos ellos se alimentan de forma común, siendo la fuente de potencia el Arduino Mega, tomando como referencias +5v y GND. Al tratarse de dispositivos de lectura, consumen poca energía y es suficiente con la potencia que suministra el Arduino Mega. En la ilustración todos los conectores de alimentación tienen los mismos colores:

- 5V rojo.
- GND azul.

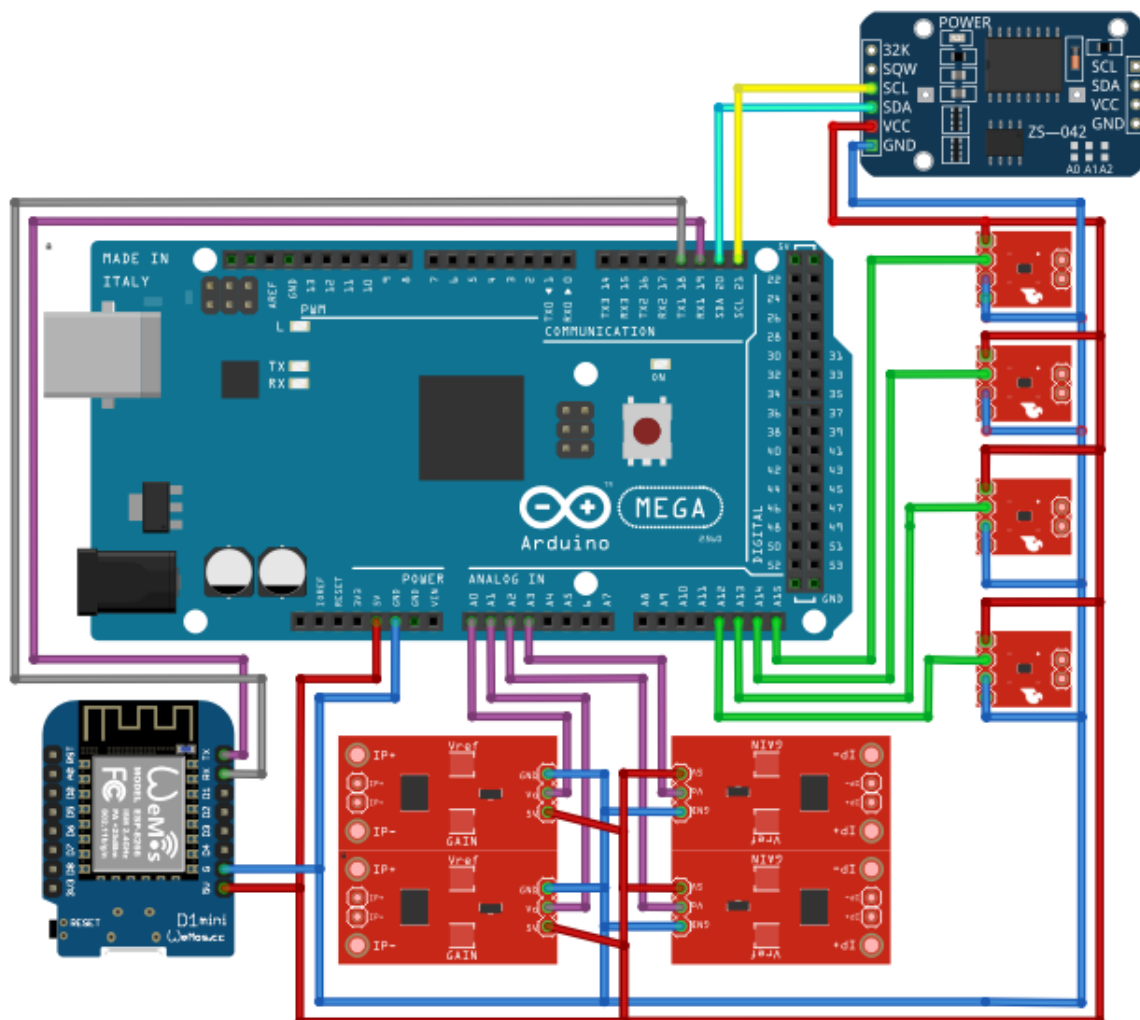


Ilustración 10 Esquema de conexión del dispositivo.

Como se puede contemplar todos los dispositivos usan como referencia de tensión +5V en rojo y como referencia de tierra GND en azul. Las conexiones de información, se han diseñado siguiendo un mismo orden, de modo que resulte más fácil interpretar la información que transmite cada conector. En todas las ocasiones, se conectan en el mismo orden en el que están situados los sensores. De este modo, los dispositivos de tensión se conectan a los pines analógicos A (15-11) y los de intensidad a A (0-3).

Arduino Mini D1 se conecta al puerto de Arduino Mega RX1 TX1.

El reloj RTC DS3132 se conecta a los puertos SCL y SDA.

En la conexión del bus de datos, se conecta el Puerto RX1 de Arduino Mega con el puerto TX de Lolin D1 mini y el puerto TX1 de Arduino Mega con el puerto RX de Lolin. Es decir, hay que conectar TX con RX y viceversa. Si se conectasen RX con RX y TX con TX ambos dispositivos leerían y escribirían por el mismo canal por lo que la comunicación serie no funcionaría.

Una vez que se lleva a cabo el cableado del proyecto:

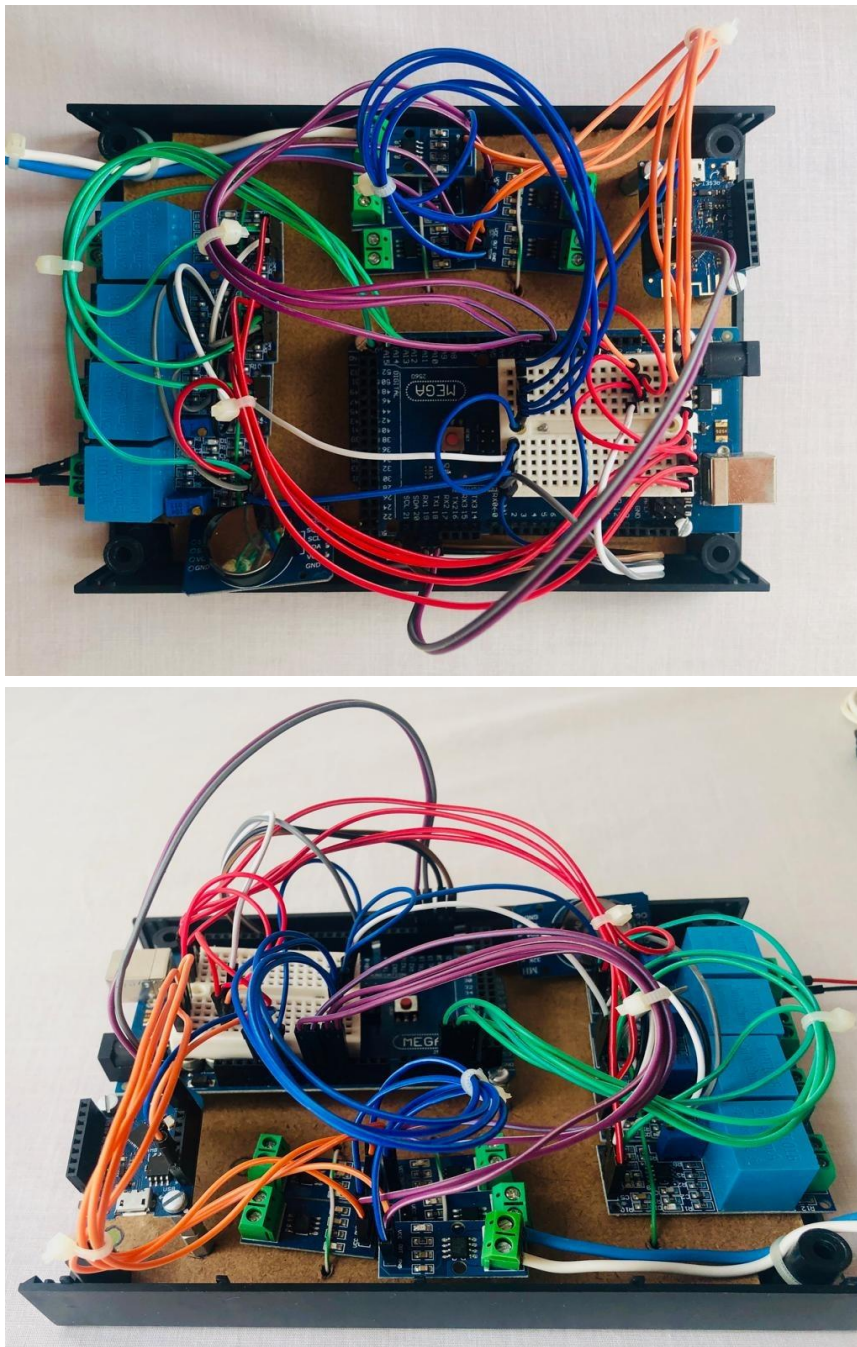


Ilustración 11 Imagen prototipo vista superior (arriba) y lateral 1 a 45° (abajo).

A continuación, se muestra el prototipo desde otros 4 ángulos diferentes:

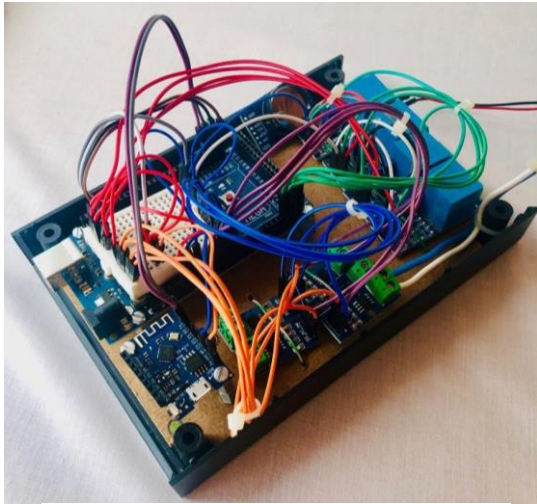


Ilustración 12 Prototipo visto desde 45 °.

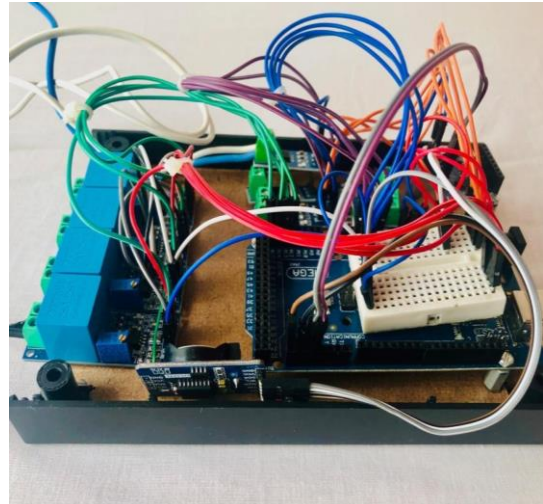


Ilustración 13 Prototipo lateral 2 a 45°.

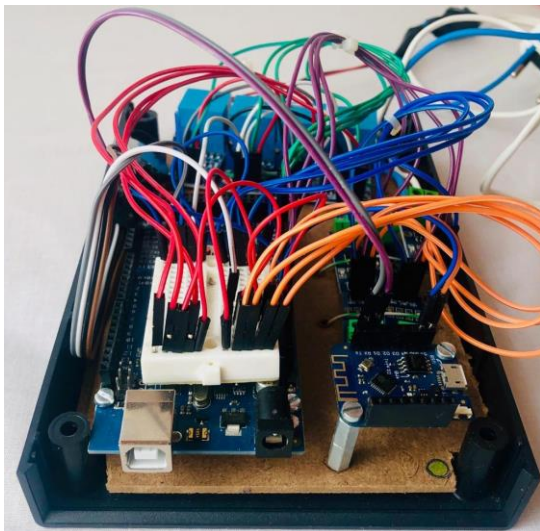


Ilustración 14 Frontal a 45°.

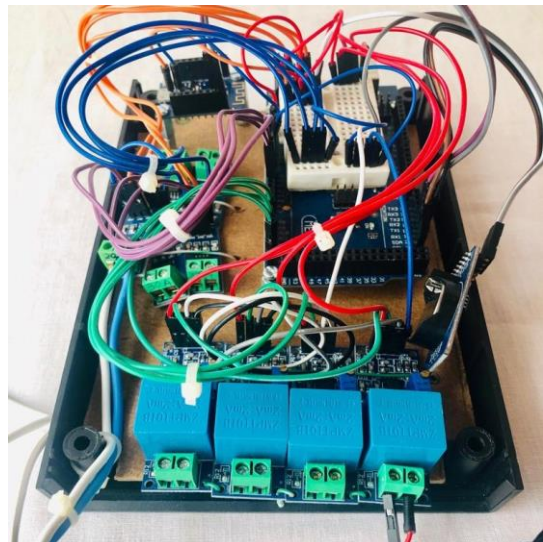


Ilustración 15 Parte trasera a 45°.

3 Presupuesto

El presupuesto ha sido un factor determinante en este TFM, un requisito fundamental para lograr un dispositivo de bajo coste. Para ello, se detalla en la siguiente tabla el coste de las piezas usadas. Se toma como referencia la web Aliexpress por ser su uso frecuente en estas aplicaciones.

Pieza	Precio	Número	Total
Arduino Mega	8 €	1	8€
Lolin D1	4 €	1	4€
Reloj RTC DS 3231	1.5€	1	1.5€
Sensor Intensidad ACS712	1.2€	4	4.8€
Sensor Tensión ZMPT101B	1€	4	4€
Cables conectores	1.8€	1	1.8€
Caja contenedora	4.5€	1	4.5€
Total			28.6€

Tabla 1 Presupuesto.

Como se puede observar, el prototipo se puede llevar a cabo por un coste inferior a 30 €. Esto permite lograr un medidor económico con el cual es posible monitorizar diferentes elementos al mismo tiempo.

Estos precios se han obtenido de la web Aliexpress, tomando los valores de venta de clientes finalistas. Si de este dispositivo se fabricasen una gran cantidad, sería posible obtener unos precios más ajustados pues los proveedores ofrecen descuentos si el pedido supera un determinado número de unidades. Es frecuente poder negociar con los suministradores a través de la web Alibaba. Esta última página digital es un portal donde se importan y exportan productos a mayor escala, usualmente con base logística en China.

4 Fundamento teórico

El objetivo de este TFM ha sido crear un analizador de redes eléctricas de bajo coste, capaz de ofrecer datos de forma fiable y eficaz. La información que ofrece este prototipo se puede dividir en dos bloques claramente diferenciados:

- Datos básicos:
 - Tensión.
 - Intensidad.
 - Potencia.
 - Factor de potencia.
- Armónicos
 - Armónicos de tensión.
 - Armónicos de intensidad.

4.1 Datos básicos

Se definen los datos básicos de un sistema eléctrico como, todos aquellos sin los cuales no sería posible conocer que está sucediendo en un determinado circuito en un momento dado. En este proyecto se toman como datos básicos:

- Intensidad.
- Tensión.

4.1.1 Tensión

La tensión eléctrica se puede definir como: *“la magnitud eléctrica que hace que la corriente que circula por un mismo conductor entre dos puntos tenga un valor u otro es la diferencia de potencial entre dos puntos, o tensión de un punto respecto a otro, o caída de potencial de un punto respecto a otro”* (F. AZNAR, 2012)

El ámbito de aplicación de este prototipo, son las redes eléctricas de baja tensión en corriente alterna, es decir, está diseñado para medir tensiones de 220V-380V, de otro modo, se pueden tomar datos de redes monofásicas y trifásicas.

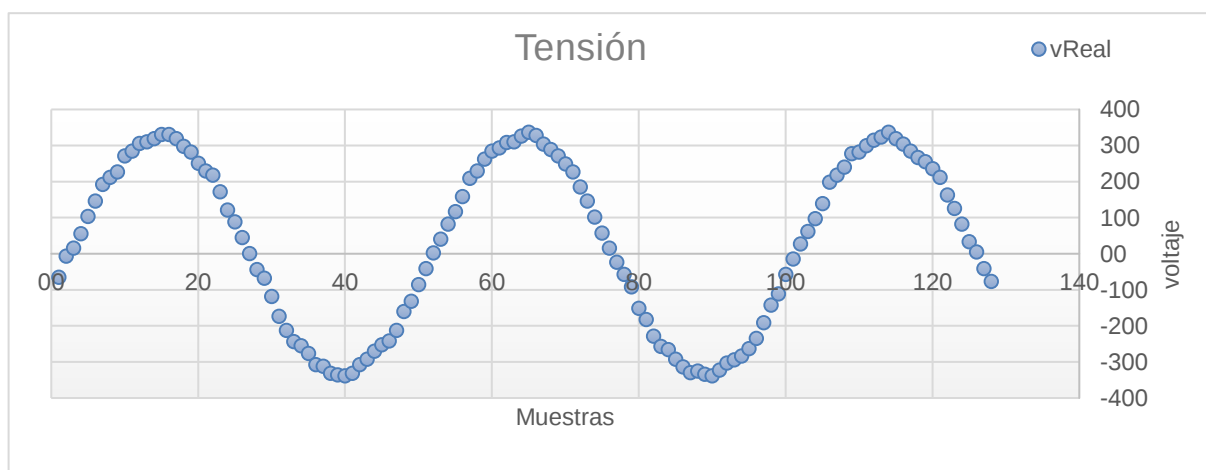


Ilustración 16 Gráfica del muestreo de tensión.

La señal se muestrea a una frecuencia de 5 kHz, es decir, Arduino Mega hace una lectura del valor del sensor 5000 veces por segundo. Esto supone que se toma una muestra cada 0.2 ms, lo que es lo mismo, cada 200 μ s. Pudiera parecer que es

un intervalo muy corto de tiempo, pero para Arduino Mega esto no supone ningún inconveniente, de hecho, sería posible tomar datos hasta 10kHz.

No obstante, esta medida no es útil si se presenta de este modo, hay que tratarla. Normalmente, la forma en la que se pueden encontrar la tensión, es en forma de Tensión RMS o valor eficaz. Se puede definir como: “valor que alcanzaría una corriente continua que produjera la misma potencia que dicha corriente alterna, si es aplicada sobre la misma resistencia eléctrica.”

La tensión RMS se calcula como:

$$TensionRMS = \sqrt{\frac{\sum_{0}^{N^{\circ} \text{ muestras}} tensión_i^2}{N^{\circ} \text{ muestras}}} (V)$$

Ecuación 2

Donde:

- N.º de muestras = muestras con las que vamos a calcular el valor.
- Tensión i = diferentes muestras de las que se compone nuestro conjunto.

4.1.2 Intensidad

Se puede definir la intensidad que circula por un conductor como: “*La cantidad de carga que pasa por un punto fijo del mismo por unidad de tiempo. Se expresa en coulomb/s o amperios A. Una corriente de 1 A, equivale a 6.24 10²⁴ cargas electrónicas elementales por segundo*” (PURCELL).

Respecto a la intensidad se repite el mismo proceso anterior. Además, en este caso, el sensor de intensidad ACS712 es capaz de medir la intensidad en ambos sentidos por lo que lo que se obtiene es una gráfica igual a la anterior en tensión. Nuevamente para esta variable calculamos la Intensidad eficaz o RMS

$$Intensidad_{RMS} = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{N^{\circ} \text{ muestras}} intensidad_i^2}{N^{\circ} \text{ muestras}}} (A)$$

Ecuación 3

- N.º de muestras = muestras con las que vamos a calcular el valor.
- Intensidad i = diferentes muestras de las que se compone nuestro conjunto.

4.1.3 Potencia aparente S

Una vez abordadas la intensidad y tensión llega el momento de ver los efectos que producen sobre una carga, tanto es así, que se define la potencia eléctrica consumida por una carga como: “el producto de la tensión por la intensidad en valor RMS que circula por una determinada carga” o cómo “la energía que disipa una maquina eléctrica cuando es atravesada por una corriente determinada”. La potencia aparente se mide en kilo Voltio-Amperios, kVA.

Como los valores de tensión e intensidad rms ya son conocidos, se puede observar cómo calcular la potencia aparente es un caso trivial, pues simplemente hay que multiplicar ambos valores.

$$S = Intensidad_{RMS} * Voltaje_{RMS} (kVA)$$

Ecuación 4

Este parámetro suele usarse en máquinas o equipos de gran potencia, pues es necesario saber cuál es la potencia que realmente se demanda para poder satisfacerla correctamente.

4.1.4 Potencia real o útil P

Tal y como se ha definido anteriormente, la potencia aparente es la potencia que se consume en la maquina o dispositivo, pero ello no quiere decir que sea la potencia que se aprovecha. De ahí, nace el termino de potencia útil, que se usa para hacer referencia a la potencia que realmente es usada y de la que se obtiene trabajo.

Con el fin de poder ver gráficamente la potencia, se presenta en la Ilustración 17 Triángulo de potencias., donde se puede observar la relación que existe entre las diferentes potencias.

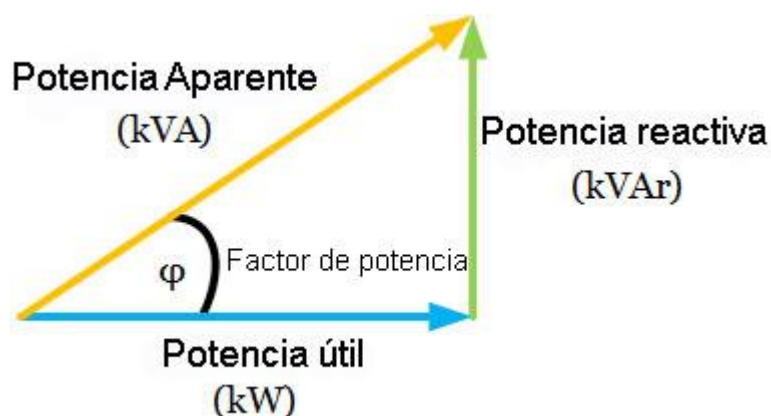


Ilustración 17 Triángulo de potencias.

Para calcular la potencia real hay que usar los valores instantáneos de tensión e intensidad ya que para calcular la potencia útil hay que multiplicar los valores en cada instante de tensión e intensidad.

$$P = \frac{\sum_0^{N^{\circ} \text{ muestras}} \text{tensión}_i \text{intensidad}_i}{N^{\circ} \text{ muestras}} (W)$$

Ecuación 5

Este valor es muy importante ya que permite comprobar la potencia útil que está consumiendo el dispositivo en cada momento. Es uno de los parámetros más usados, sobre todo en entornos no industriales y de baja potencia, como pueden ser hogares, oficinas, comercios... Se trata de un parámetro de uso común,

especialmente, permite seleccionar los dispositivos en función de su capacidad de carga real.

4.1.5 Potencia reactiva Q

La potencia reactiva Q es aquella que no se aprovecha por el sistema. En todos los sistemas que incluyen capacidades y bobinas se generan adelantos y atrasos en la intensidad. La energía reactiva es aquella que esta almacenada en las bobinas y condensadores pero que no hacen un efecto útil.

Para calcular la potencia reactiva es necesario usar el parámetro $\cos \varphi$ también conocido como factor de potencia.

$$Q = S * \sin \varphi \text{ (kVAr)}$$

Ecuación 6

Donde:

- S = potencia aparente (kVA).
- $\sin \varphi$ = factor de potencia.

A priori no se conoce el $\sin \varphi$, pero su obtención no es complicada, simplemente hay que expresarlo como:

$$\sin \varphi = \sqrt{1 - (\cos \varphi)^2}$$

Ecuación 7

Donde:

- $\sin \varphi$ = al seno del Angulo de desfase φ .
- $\cos \varphi$ = al factor de potencia de nuestro sistema.

4.1.6 Factor de potencia, $\cos \varphi$

Como se ha descrito anteriormente el factor de potencia es un parámetro que permite medir el desfase que sufre la onda de Intensidad frente a la onda de Tensión. Normalmente este desfase siempre es inductivo, es decir, la onda de Tensión esta adelantada respecto a la onda de Intensidad. Esto es debido, a que

normalmente los sistemas eléctricos se componen en gran medida por motores, los cuales al estar formados por bobinas, (que se oponen a la intensidad) generan el retraso que sufre la onda de intensidad respecto a la onda de tensión.

Este efecto se puede compensar con baterías de condensadores, ya que estos dispositivos adelantan la onda de intensidad (causan el efecto contrario al de las bobinas), aunque normalmente nunca se logra obtener un factor de potencia 1.

El factor de potencia se calcula como:

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

Ecuación 8

Donde:

- $\cos \varphi$ = factor de potencia.
- P = potencia activa.
- S = potencia aparente.

4.2 Armónicos

La norma UNE-EN-60150:1996 define la tensión armónica como “una tensión senoidal cuya frecuencia es múltiplo entero de la frecuencia fundamental de la tensión de alimentación en el sistema”

Mientras que, por otro lado, el matemático francés Fourier lo definió como: “cualquier señal periódica, por compleja que sea, se puede descomponer en una suma de señales senoidales cuya frecuencia es múltiplo de la frecuencia fundamental o de referencia”.

Es decir, las tensiones o corrientes armónicas son distorsiones o deformaciones de la señal fundamental pura. Lo que se pretende es poder medir esa distorsión en forma de armónicos fundamentales.

Los armónicos, son aquellas ondas cuya suma permite representar la onda final, normalmente, los armónicos que más influencia ejercen son los armónicos impares pues los pares se anulan con los neutros. Los armónicos que más afectan son aquellos que se sitúan en una frecuencia más cercana de la frecuencia de la onda fundamental.

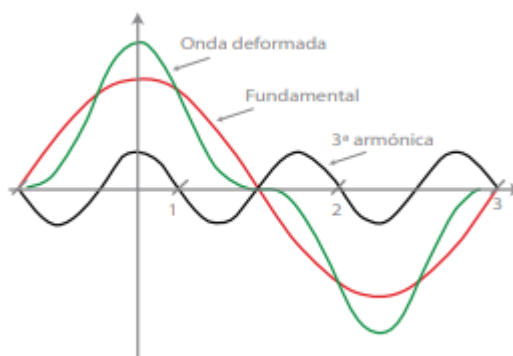


Ilustración 18 representación de onda fundamental y armónicos.

Es decir, los armónicos son aquellas ondas en las que se descompone la señal original. Como se puede ver en la Ilustración 18 representación de onda fundamental y armónicos. , la onda final es la suma de la onda Fundamental y el tercer armónico. Cuando se habla de armónico no se quiere decir que existan varias ondas

diferentes, es una sola. Al descomponer la onda final se obtiene la onda fundamental, es decir aquella que debería haber si no hubiese interferencias más la suma de los diferentes armónicos.

Es por ello, que es muy importante conocer cuál es el nivel de distorsión de la onda original y para ello el termino más común es el uso de los armónicos.

4.2.1 Causas

Prácticamente todas las cargas no lineales generan armónicos, debido a que generalmente, estos componentes incluyen núcleos magnéticos, es decir, incluyen transformadores y maquinas rotativas. Además, una fuente generadora de armónicos, son los dispositivos electrónicos ya que funcionan por periodos o ciclos, lo que hace que la corriente no sea lineal. Las cargas no lineales pueden ser:

- Iluminación no incandescente.
- La corriente de Inrush en los transformadores genera el segundo y cuarto armónico.
- Los controladores de frecuencia que se usan para controlar la velocidad de motores.
- Rectificadores de corriente, basados en diodos o tiristores para equipos de soldadura, cargadores de baterías, etc.
- Compensadores estáticos de potencia reactiva.
- Convertidores de AC a DC (inversores).

En general cualquier carga que funcione con energía DC genera armónicos, habitualmente, se debe a que al transformar la intensidad de AC a DC los transistores, al funcionar en ON-OFF y por lo tanto introducen distorsiones en la red.

Otros factores que pueden introducir cargas armónicas son:

- Equipos de soldadura eléctrica.
- Defectos de algunos componentes electrónicos.

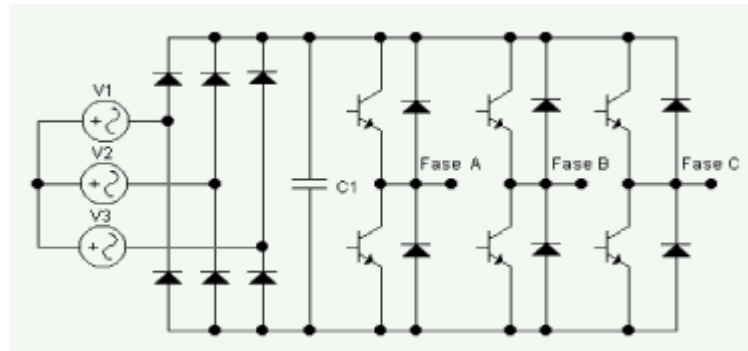


Ilustración 19 Esquema inversor trifásico.

En esta imagen se puede apreciar la gran cantidad de elementos electrónicos que componen un inversor trifásico donde cada uno de ellos funciona en modo ON-OFF de forma alterna.

4.2.2 Efectos

Los problemas que acarrearán las distorsiones armónicas son entre otros:

- Mayor potencia transportada y empeoramiento del factor de potencia.
- Disparo de Interruptores automáticos debidos a picos de intensidad.
- Sobrecargas en algunos equipos.
- Inestabilidad en el sistema de transporte eléctrico, perturbaciones en la red.
- Fallos en la batería debido al cambio de impedancia en los condensadores.
- Problemas de resonancia en sistema LC.
- Energía Reactiva.

4.2.3 Parámetros de medida

Los armónicos se clasifican en tres parámetros fundamentales:

- Orden.
- Frecuencia.
- Secuencia.

El orden se puede definir como la relación que hay entre la frecuencia del armónico y la frecuencia del fundamental

$$n = \frac{f_n}{f_{50}}$$

Ecuación 9 Orden de armónico.

En cuanto a frecuencia, se define el f_{50} como armónico fundamental, tiene su origen en la frecuencia de la red en España que es de 50Hz, es decir, el armónico fundamental se define como 50 Hz y como consecuencia, todos los demás son múltiplos de él.

1º armónico $1 \times 50\text{Hz} = 50\text{Hz}$

3º armónico $3 \times 50\text{Hz} = 150\text{Hz}$

5º armónico $5 \times 50\text{Hz} = 250\text{Hz}$

7º armónico $7 \times 50\text{Hz} = 350\text{Hz}$

Como se puede observar, solo se hace referencia a los armónicos de orden impar, esto se debe a que los armónicos de orden par no tienen ningún efecto objeto de estudio sobre la red y por lo tanto no son objetos de estudio.

En cuanto a la secuencia de los armónicos hay tres tipos que se pueden describir de dos formas como positiva, negativa o cero y otra clasificación que sería directa, inversa y homopolar.

Orden	Frecuencia	Secuencia
1	50	+
2	100	-
3	150	0
4	200	+
5	250	-
6	300	0
7	350	+
...	...	...
n	50n	...

Tabla 2 Secuencia de los armónicos.

4.2.4 Tasa de distorsión armónica THD

La tasa de distorsión armónica es un parámetro que permite medir la presencia de los armónicos en la red en tanto por ciento. De este modo el valor esta ponderado por lo que resulta más comprensible y la forma de calcularlo es la siguiente:

$$THD = \frac{\sqrt{I_3^2 + I_5^2 + \dots + I_n^2}}{I_1}$$

En esta fórmula se puede ver que el THD se calcula como la raíz de la suma de los armónicos al cuadrado dividido entre la intensidad de la fundamental.

4.2.5 Obtención de armónicos

Obtener los armónicos no es un proceso directo, es necesario usar la Transformada Rápida de Fourier o FFT (Fast Fourier Transform) como también se la conoce.

En primer lugar, es necesario muestrear la señal al doble de la frecuencia de la señal que pretende obtener información. Además, hay que tomar 2^n muestras, pues si no es de este modo, el algoritmo no es eficiente. Cuantas más muestras se tomen mayor será la precisión obtenida.

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)e^{-j2\pi k \frac{n}{N}}, \quad k = 0, \dots, N-1$$

Ecuación 10 cálculo de armónicos.

En este caso, se usa una librería de Arduino que implementa este complejo algoritmo.

La función recibe un vector de “n” puntos, que son 2,4,8,16 2ⁿ. Devuelve un vector de “n” puntos donde se puede ver el espectro de armónicos.

Esta función se puede optimizar empleando el algoritmo Radix-2 también conocido como algoritmo de mariposa. En primer lugar, lo que hay que hacer es reordenar los índices, usando la inversión de bits. De forma gráfica quedaría:

Una vez que se han reordenado los índices hay que calcular un parámetro para todos los nuevos índices impares. En este caso de ejemplo, habría que calcularlo para 8, 12, 10, 14, 9, 13, 11, 15. El cálculo se realizaría de la siguiente forma:

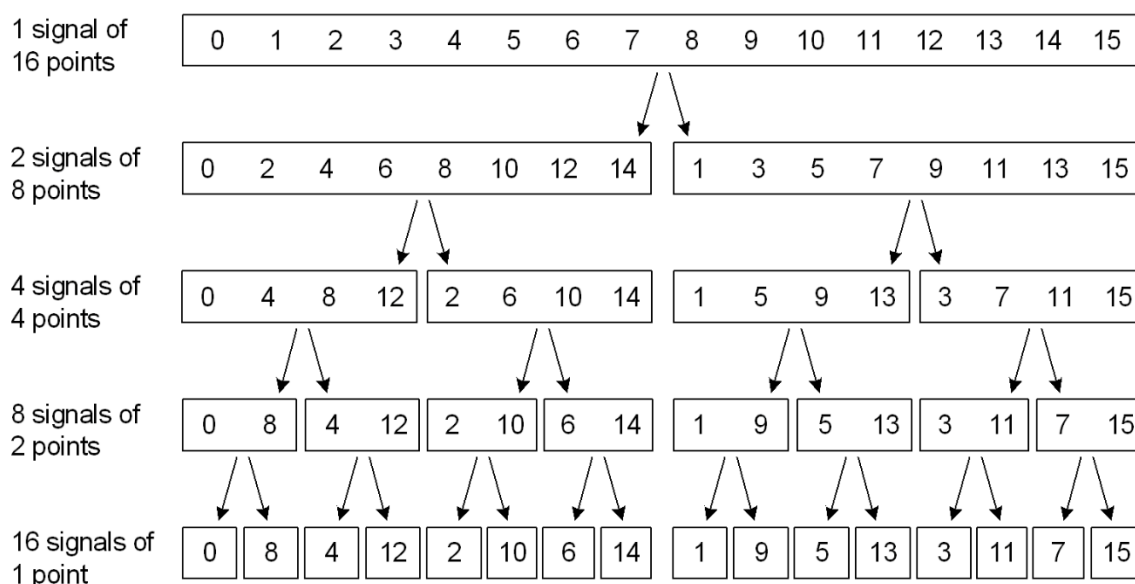


Ilustración 20 Diagrama de inversión de posiciones para FFT.

Una vez que se ha calculado este parámetro para todos los valores necesarios, se aplica el algoritmo de mariposa tal y como se ve en la siguiente imagen:

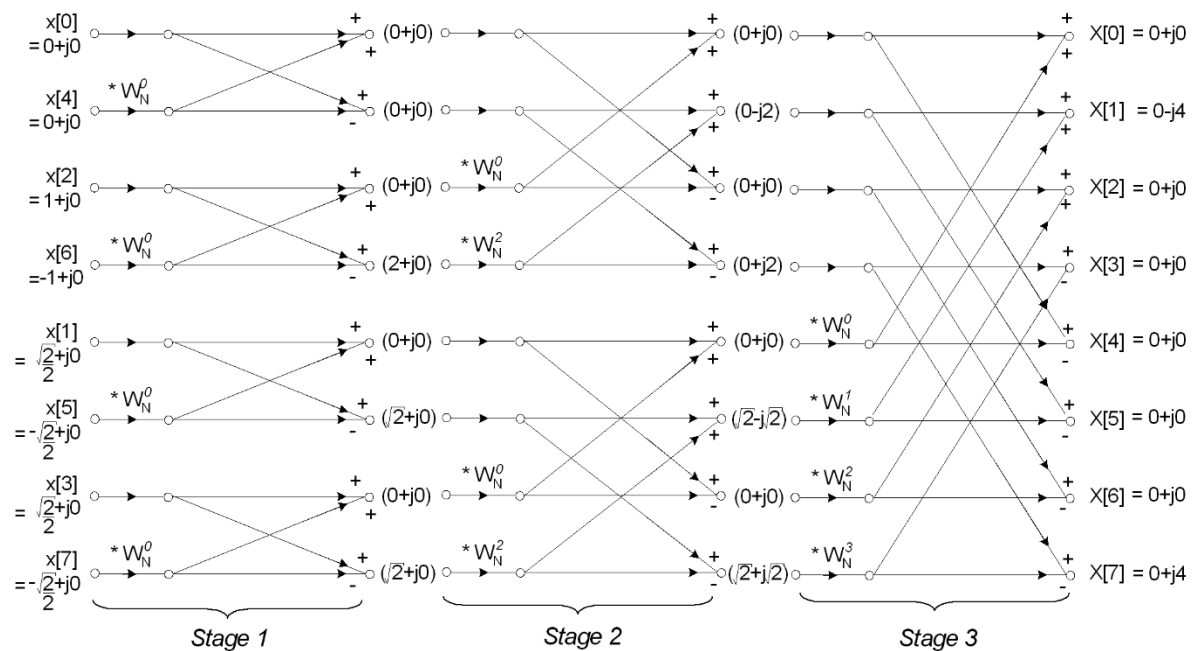


Ilustración 22 Diagrama de mariposa para calcular la FFT.

Exponential Weighting Factor: $W_N^R = e^{j(2\pi R/N)} = \cos(2\pi R/N) - j \sin(2\pi R/N)$

N : *Number of points in the FFT*

R : *Current WN Factor: depends on N, current FFT stage and separation of butterflies in that stage*

Ilustración 21 Cálculos necesarios para la obtención de FFT.

Por suerte, existen librerías para Arduino que calculan la FFT y ya poseen implementados estos algoritmos. Aun así, este es el modo en el que la librería usada calcula la Transformada Rápida de Fourier (Fast Fourier Transform, FFT).

De este modo, es muy importante respetar el modo de funcionamiento de este algoritmo, por ejemplo, solo admite introducirle valores de 2^n . Esto se debe a que es la forma óptima en la que calcula la FFT. Si se introdujese un solo valor de más (la librería no lo permite) se tardaría mucho más tiempo en calcularla.

5 Firebase

Otro de los aspectos fundamentales de este TFM es el uso de Firebase como almacenamiento de datos en la nube.



Ilustración 23 Logo de Firebase Realtime Database.

Firebase es “Una plataforma integral de desarrollo para dispositivos móviles”³. Inicialmente esta plataforma no está especialmente diseñada para usarla con Arduino, pero gracias a su gran flexibilidad se puede conectar prácticamente a cualquier dispositivo.

Este servicio de Google es gratuito si no se supera una cantidad de datos. Esto hace que haya que optimizar el código para no subir a red datos innecesarios. Si se entra en su web se puede calcular el coste que supondría usar sus servicios y cuál es el mínimo por el que se puede usar la web gratuitamente. (23/8/19)

 Realtime Database	GB stored	1 GB about 20 M chat messages	Free
	GB transferred	10 GB about 200 M chat messages	Free
 Cloud Firestore	GiB stored	1 GiB about 20 M chat messages	Free
	Document writes	600,000 writes number of times data is written	Free
	Document reads	1,500,000 reads number of times data is read	Free
	Document deletes	600,000 deletes number of times data is deleted	Free
Don't forget to factor in Egress costs! See Google Cloud pricing			

Ilustración 24 Servicios gratuitos de Firebase.

³ Definición de su propia web (<https://firebase.google.com/?hl=es-419>)

A continuación, se muestran los mismos servicios con coste para poder establecer una comparativa.

 Realtime Database	GB stored	100+ GB about 2,000 M chat messages	\$495+
	GB transferred	1,000+ GB about 20,000 M chat messages	\$990+
 Cloud Firestore	GiB stored	5,000+ GiB about 100,000 M chat messages	\$900+
	Document writes	5,000,000,000+ writes number of times data is written	\$8,999+
	Document reads	10,000,000,000+ reads number of times data is read	\$5,999+
	Document deletes	10,000,000,000+ deletes number of times data is deleted	\$2,000+
Don't forget to factor in Egress costs! See Google Cloud pricing			

Ilustración 25 Precios de Firebase

Como se puede ver en el caso de que fuese necesario estos serían los precios que habría que pagar para usar el Cloud de Google. Cabe destacar que son precios muy competitivos dentro del sector, aunque en nuestro caso se busca la aplicación gratuita al ser un dispositivo de bajo coste.

6 Parámetros obtenidos.

El objetivo de este TFM es obtener información de la red y del funcionamiento de los dispositivos. Para ello, como se ha venido explicando, se obtienen los datos y se suben a la red para poder consultarlos en cualquier momento y lugar.

Los parámetros que se pretende obtener se dividen en dos grandes grupos. Por un lado, está el análisis de parámetros básicos en valor absoluto como, por ejemplo: Intensidad, Tensión, Potencias... Por otro lado, está el análisis de armónicos de tensión e intensidad.

Debido a esto, nuestro programa se organiza en dos funciones que obtiene los siguientes parámetros:

6.1 Función de datos básicos

Esta función, retorna los datos más comunes que se usan en la ingeniería eléctrica, se podría decir, que es similar a un multímetro con la salvedad de que presenta algunas restricciones, por ejemplo, no es capaz de medir resistencias.

- Intensidad RMS.
- Tensión RMS.
- Potencia aparente S.
- Potencia real P.
- Potencia reactiva Q.
- Factor de potencia $\cos\phi$.

A la nube solo se suben estos parámetros ya que como se ha comentado anteriormente Firebase tiene un plan gratuito limitado, aun así, por el puerto serie es posible obtener también la gráfica de puntos de tensión e intensidad (además del resto de parámetros).

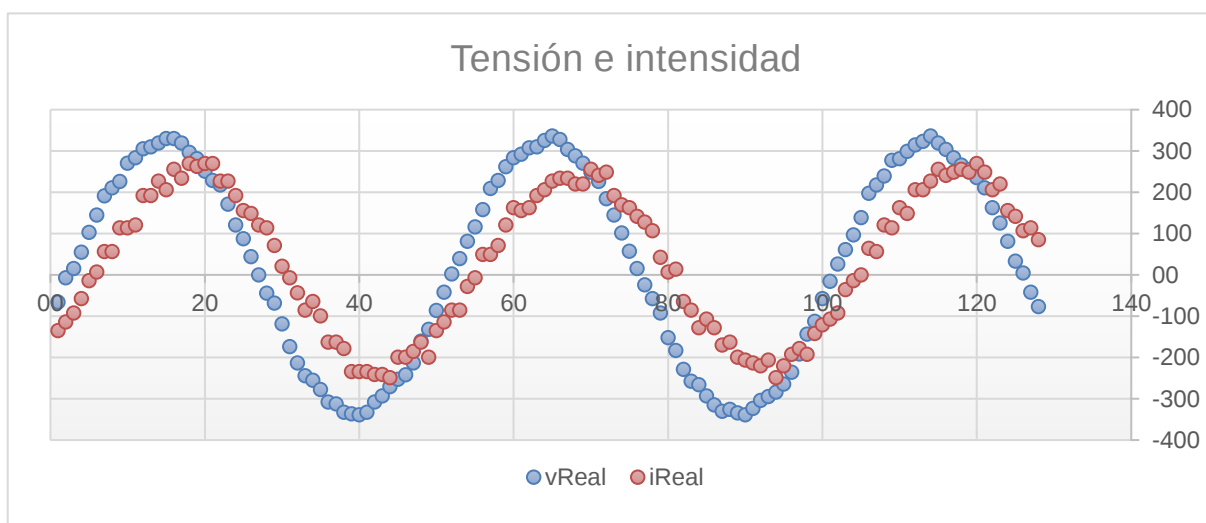


Ilustración 26 Ejemplo del muestreo que realiza de tensión e intensidad.

Esta función devuelve los valores por el puerto serie separados por punto y coma, con el objetivo de poder integrarlos en Excel cómodamente. Para tal efecto, se ha creado una plantilla en Excel donde simplemente pegando el texto que se envía por el puerto serie en la casilla A3 y pulsando en “separar datos en columnas”, es posible visualizar los datos que nos da Arduino de forma gráfica.

6.2 Función de FFT

En el caso de análisis de FFT lo que hace el programa es devolver un vector con los valores de la FFT tanto de intensidad como de tensión. Normalmente la FFT de tensión solo presenta el primer armónico y un poco del segundo debido a la gran calidad de la red.

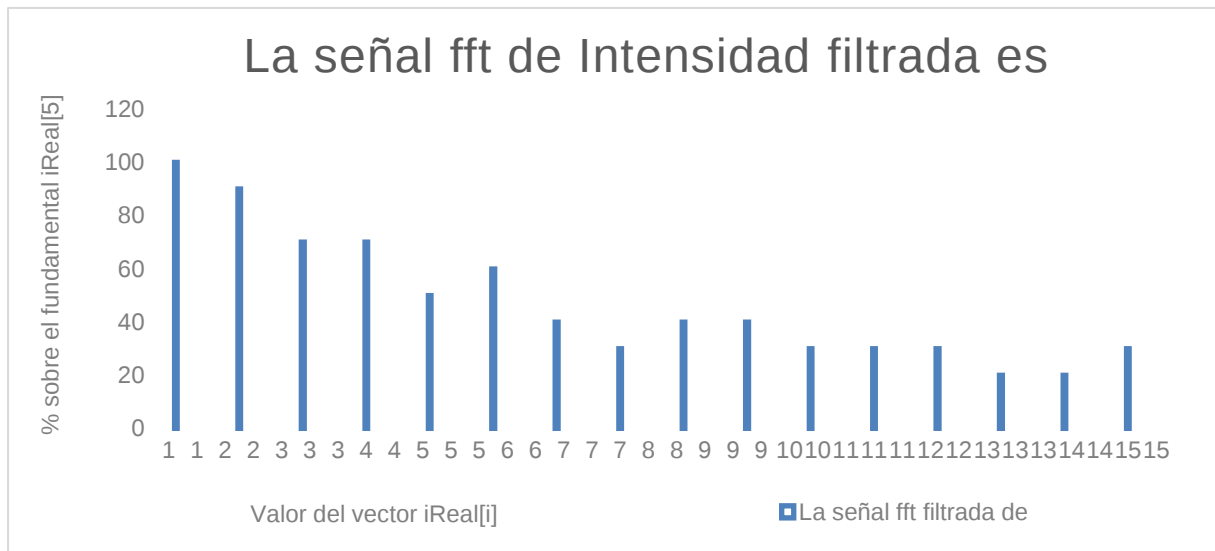


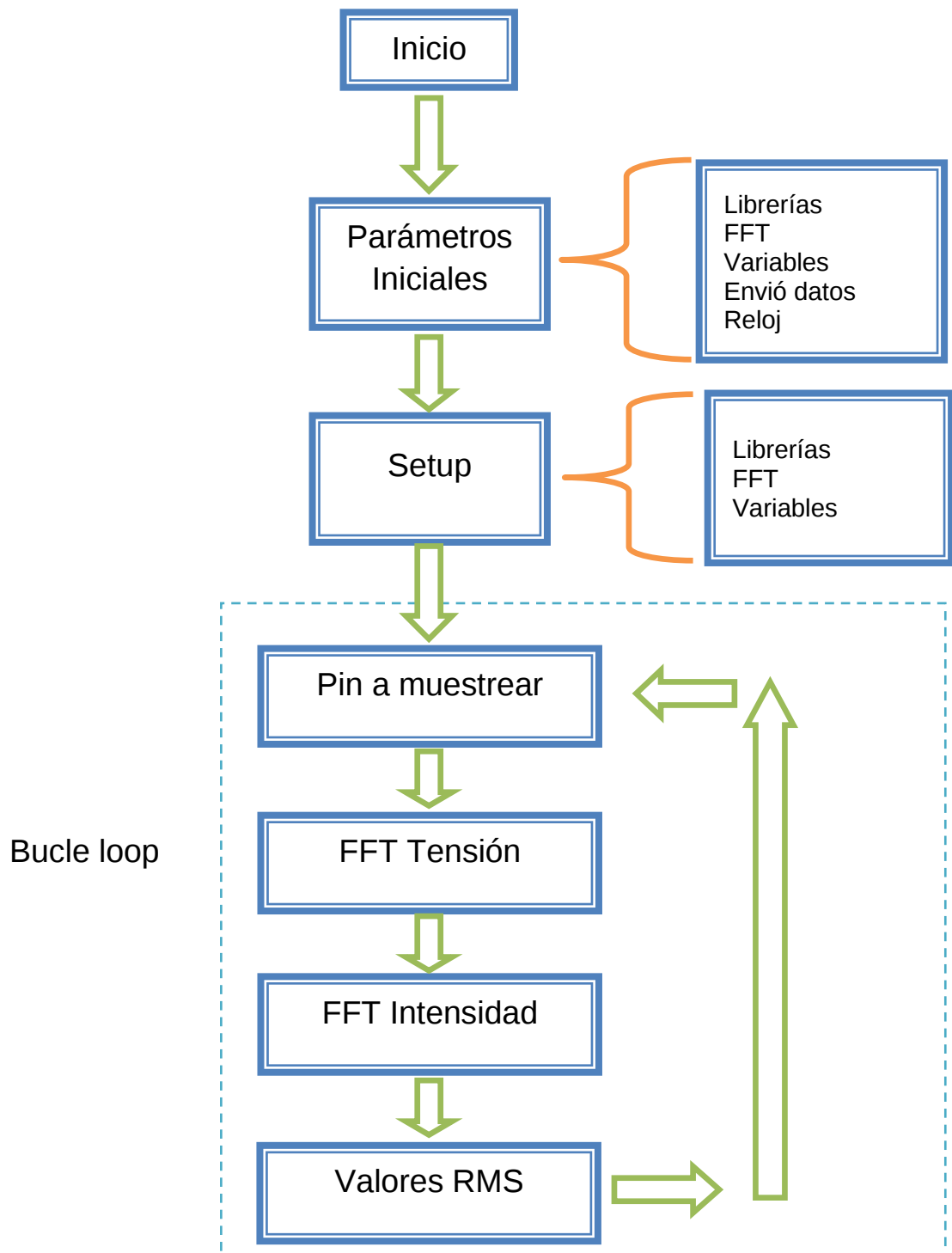
Ilustración 27 Ejemplo de datos FFT filtrada obtenida en el puerto serie.

Esto se debe a que normalmente la tensión al ser la red tan potente presenta muy pocas variaciones respecto de la onda fundamental, es decir, respecto a una onda seno perfecta de frecuencia 50 Hz.

7 Scripts

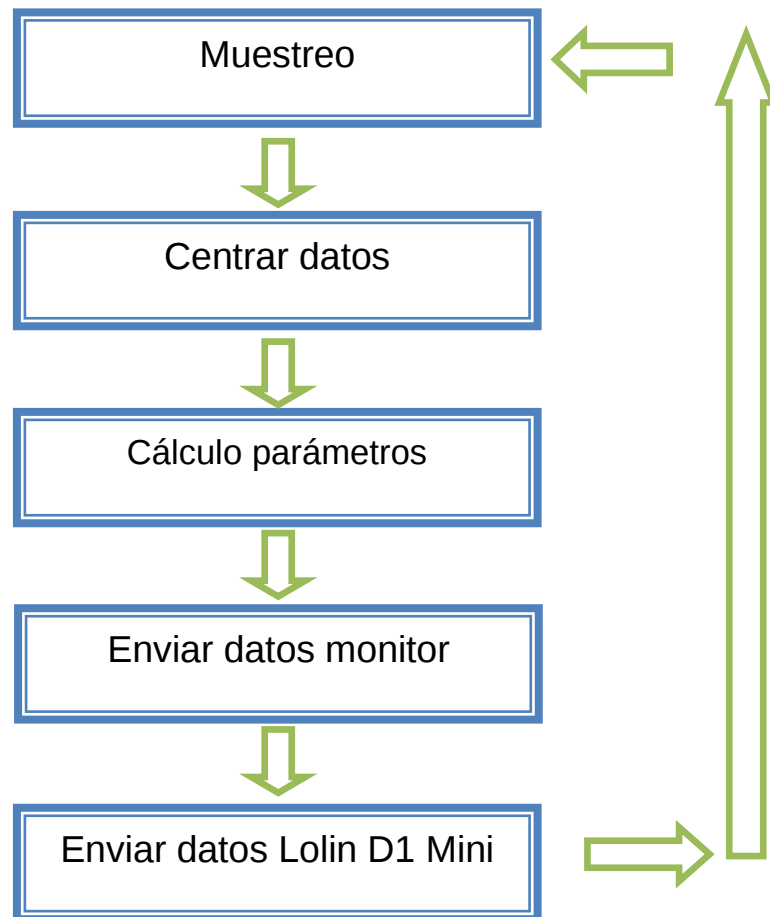
7.1 Diagrama de ejecución del código

El diagrama de flujo de este proyecto es muy simple. En primer lugar, mencionar que hay dos placas, Arduino Mega y Arduino Mini D1 lo que implica que hay dos códigos diferentes. Eso sí, ambos códigos están muy relacionados ya que uno envía datos a otro. Se comienza con el código de Arduino Mega:

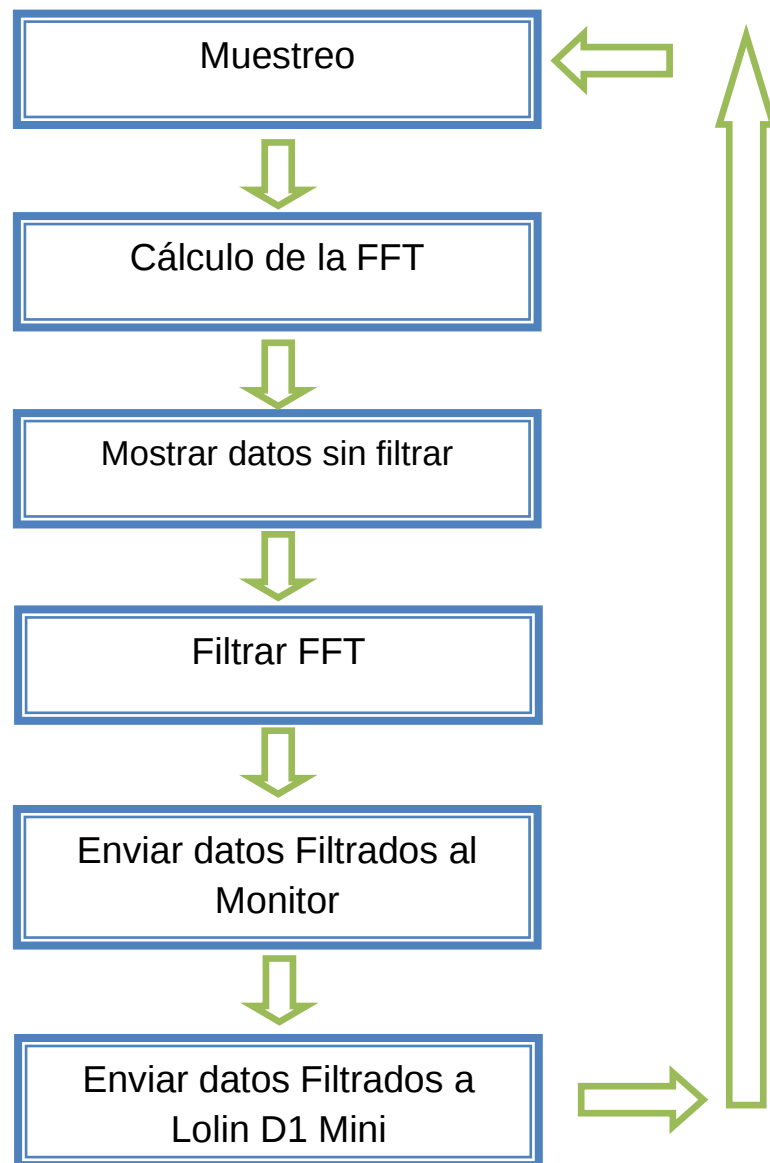


Una vez descrito el código principal de Arduino Mega se describen las funciones de calcular FFT y de obtener los valores RMS.

Código de función obtención valores RMS:



Código del cálculo y envío de datos en FFT:



7.2 Toma de datos

Todos los procesos de este TFM se basan en la toma de datos de la red eléctrica. Este programa muestrea a una frecuencia de 5000 Hz, es decir, 5000 veces por segundo. Para ello se usa el siguiente código:

```
#define SAMPLES 512          //Must be a power of 2

#define SAMPLING_FREQUENCY 5000 //Hz, must be less than 10000 due to ADC

unsigned int sampling_period_us;
unsigned long microseconds;
```

En primer lugar, se define el número de muestras y la frecuencia a la que se muestrea. En este caso concreto se muestrea a 5000Hz ya que con esa velocidad se obtienen una muestra muy fiable

Una vez definidos los parámetros se procede a la toma de datos por medio de los sensores. Para ello:

Este código lo que hace es crear tres vectores con 200 muestras cada una.

```
int muestras=200; //número de muestras que usamos para calcular los valores(RMS)
double vReal[muestras]; // Equivalente a samples (samples se usa en FFT)
double iReal[muestras]; // ahorro memoria
double pReal[muestras]; // se miden 4 ciclos de señal
// MEDICION DE TENSIÓN e INTENSIDAD
for(int i=0; i<muestras; i++){
    microseconds = micros(); //Overflows after around 70 minutes!
    vReal[i] = analogRead(pinT);
    iReal[i] = analogRead(pinI);
    while(micros() < (microseconds + sampling_period_us*2)){ } // while para hacer la
    medicion cada x tiempo }
```

Se toman solo 200 muestras en lugar de 512 ya que hay problemas de memoria al tener 3 variables. Esto se debe a que, aunque son variables locales, hay 3 vectores, mientras que para calcular la FFT solo es necesario usar 1 y otro vector de 0.

En cuanto se crean los vectores lo que se hace es un bucle for que mide el tiempo al inicio del bucle, toma datos con `AnalogRead ()` y espera hasta que el tiempo es el adecuado para iniciar una nueva toma de datos. La velocidad máxima a la que funciona este código correctamente es de 10kHz. Se toman datos con una frecuencia menor, es decir, un poco más separados ya que de este modo es posible medir un mayor número de ciclos. Si se muestrease a 10 kHz, solo quedarían disponibles de 2 ciclos.

7.3 Acondicionamiento de datos

Una vez que se han obtenido los datos, hay que procesarlos para poder trabajar correctamente con ellos. El principal problema que presentan estos sensores es que ofrecen un offset de salida. Para ello, la solución adoptada es crear una función que busque el nivel medio de la señal para luego restársela. Se usa este procedimiento ya que tanto la media de la señal de tensión e intensidad debe ser cero en corriente alterna. Si este dispositivo se usase en corriente continua (no está diseñado para eso), habría que eliminar esta parte del código ya que la media de la señal sería la tensión e intensidad RMS o eficaz.

```
// intensidad con sensor que mide los dos periodos

// se busca el valor máximo y mínimo de la señal y luego se hace una media
int minimol=1000; // creo el valor máximo
int maximol=-1000; //
int valormediol;

// recorro el vector para encontrar el valor mínimo
for(int i=0; i<muestras; i++){
    if(minimol>iReal[i]){
        minimol=iReal[i];
    }
    if(maximol<iReal[i]){
        maximol=iReal[i];
    }
}
valormediol=((maximol+minimol)/2);
```

Esto mismo se repite para el caso del vector de Tensión. Se busca el máximo y el mínimo de la señal y se calcula su media

Posteriormente lo que se hace es restarle al vector Intensidad el valor de medio, de esta forma la gráfica queda centrada como se ha visto en imágenes anteriores.

```
//desplazamiento de datos
for(int i=0; i<muestras; i++){
    vReal[i]=-2.2*(vReal[i]-valormedio);// multiplico por 2.61 para adaptarlo a 220Vr3 de
    la red
    iReal[i]=0.0665*(iReal[i]-valormedio);v// se multiplica por 0.0665 para adaptar
    pReal[i]=(vReal[i]*iReal[i]);
}
```

En este último código se muestra cómo se resta el valor medio de cada señal y además se multiplica por los coeficientes 2.61 y 0.0665. Estos coeficientes nos adaptan la salida del Arduino a los valores de tensión e intensidad. Es decir, en tensión se obtienen Voltios y en Intensidad Amperios. De esta forma ya es posible tratar los datos como reales.

Por último, lo que se hace es obtener la potencia real multiplicando ambos vectores. Esta operación es fundamental ya que gracias a ella se puede obtener el factor de potencia y la potencia reactiva.

7.4 Cálculo de parámetros básicos

Una vez que se tienen las tres ondas básicas:

- Tensión.
- Intensidad.
- Potencia.

Se realizan los siguientes cálculos:

```
double intensidadacumulada=0;
double tensionacumulada=0;
double potenciaacumulada=0;
double fi=0;
double Q=0;
double S=0;

// en primer lugar se eleva al cuadrado cada valor y se hace una sumatoria
for(int i=0; i<muestras; i++){
    intensidadacumulada=intensidadacumulada+pow(iReal[i],2);
    tensionacumulada=tensionacumulada+pow(vReal[i],2);
    potenciaacumulada=potenciaacumulada+pReal[i];
}

//una vez que se tienen los valores acumulados se dividen entre el número de muestras
// y se calcula su raíz cuadrada
intensidadRMS=sqrt(intensidadacumulada/muestras);
tensionRMS=sqrt(tensionacumulada/muestras);

// para estos valores solo hay que operar con los anteriores
potenciaRMS=potenciaacumulada/muestras;
S=tensionRMS*intensidadRMS;
fi=potenciaRMS/(tensionRMS*intensidadRMS);
Q=tensionRMS*intensidadRMS*(sqrt(1-fi));// hago uso de  $1=(\cos fi)^2+(\sin fi)^2$ 
```

Lo que se hace en este código es en primer lugar calcular los valores RMS según las ecuaciones

$$TensionRMS = \sqrt{\frac{\sum_{0}^{N^{\circ} \text{ muestras}} tensión_i^2}{N^{\circ} \text{ muestras}}} (V)$$

Ecuación 1 Caracterización del sensor de intensidad.

$$IntensidadRMS = \sqrt{\frac{\sum_{0}^{N^{\circ} \text{ muestras}} intensidad_i^2}{N^{\circ} \text{ muestras}}} (A)$$

Ecuación 2

Posteriormente se calcula la potencia según:

$$P = \frac{\sum_{0}^{N^{\circ} \text{ muestras}} tensión_i intensidad_i}{N^{\circ} \text{ muestras}} (W)$$

Ecuación 4

Una vez se han obtenido estos tres parámetros, el resto son simples multiplicaciones y divisiones:

$$S = IntensidadRMS * VoltajeRMS (KVA)$$

Ecuación 3

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

Ecuación 6

$$Q = S * \sin \varphi (kVAr)$$

Ecuación 8

De este modo están disponibles todos los parámetros.

7.5 Cálculo de FFT

Esta parte sin duda es la que más trabajo ha requerido.

```
double Real[SAMPLES];  
double Imag[SAMPLES];  
  
// MEDICION DE LA VARIABLE  
for(int i=0; i<SAMPLES; i++){  
    microseconds = micros(); //Overflows after around 70 minutes!  
    Real[i] = analogRead(pinFFT); // la variable es vReal pero no influye en la medida,  
    lo importante es el pin! es decir estamos haciendo intensidad  
    Imag[i] = 0;  
    while(micros() < (microseconds + sampling_period_us)){  
        }  
}  
  
// CALCULO DE LA FFT  
FFT.Windowing(Real, SAMPLES, FFT_WIN_TYP_RECTANGLE , FFT_FORWARD );  
FFT.Compute(Real, Imag, SAMPLES, FFT_FORWARD );  
FFT.ComplexToMagnitude(Real, Imag, SAMPLES);  
double peak = FFT.MajorPeak(Real, SAMPLES, SAMPLING_FREQUENCY);
```

En esta parte del código en primer lugar se lleva a cabo la medición de los datos tal y como se describe en el apartado anterior. Así, se crean dos vectores de 512 posiciones. En el vector Real [i] se almacenan los valores que se leen de los sensores, Imag[i] se almacenan solamente ceros. Este vector es una exigencia de la librería, sin él no funcionaría.

Posteriormente usando la librería FFT.h se logra transformar el vector $\text{Real}[i]$ en la FFT. Es decir, en ese vector se puede visualizar la FFT de la señal. Por descontado queda que se pierde la información de la señal.

Uno de los mayores problemas que presenta la FFT es que nos ofrece una gráfica, aunque muy visual muy poco útil para exportarla a ficheros numéricos. A continuación, se muestran dos graficas donde se puede ver la FFT antes y después de su filtrado.

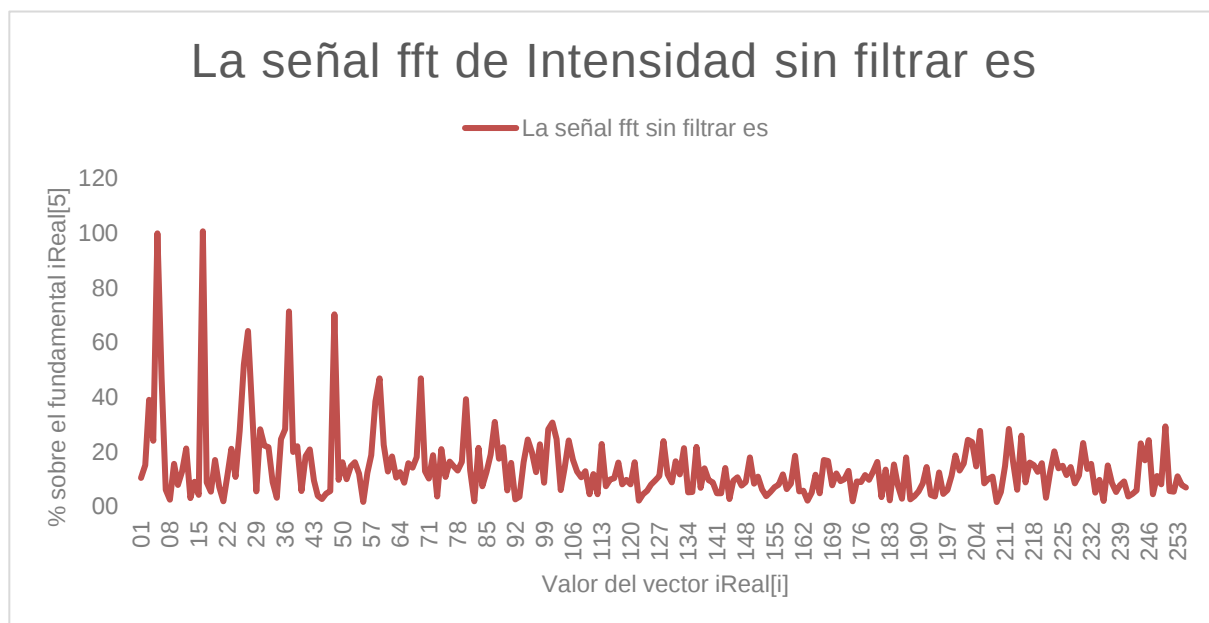


Ilustración 28 Muestra de la señal FFT sin filtrar.

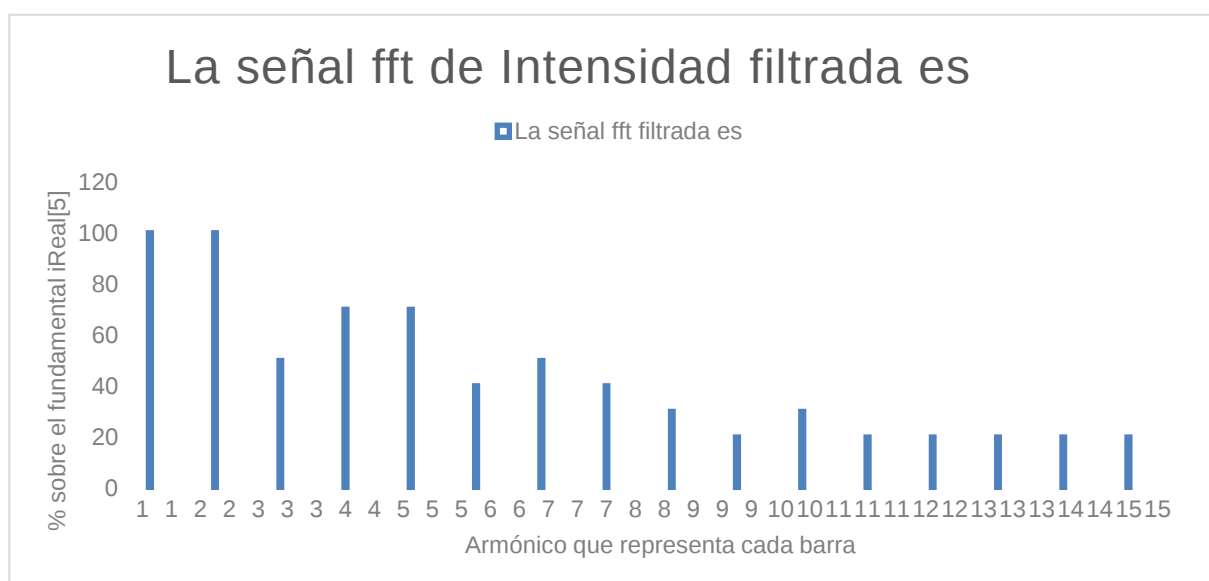


Ilustración 29 Señal FFT filtrada

Para lograr este filtrado, ha sido necesario crear una función específica que recorra todo el vector buscando los máximos relativos, que son los que representan

```
// FILTRAMOS LA FFT

double armonicos[30];

double comienzo=5;

for (int j=0; j<30; j++){ // relleno de ceros para que funcione
    armonicos[j]=0;
}

for (int j=0; j<30; j++){ // recorro el vector armonicos
    for (int i=comienzo; i<(SAMPLES/2); i++){ // recorro el vector largo con todas las
muestras
        if(1.4*armonicos[j]<(Real[i]/Real[5])){ //voy tomando los valores mayores con un
margen de un 40 %
            armonicos[j]=Real[i]/Real[5]; // valor uno
            comienzo=i+4; // sumo 4 para no tener mas datos del mismo pico
        }
    }
}
```

el armónico. A continuación, se muestra el script con el que se consigue.

Como se puede observar, lo que se hace es recorrer el vector en primer lugar con un For que llega hasta 30, se trata de recorrer el vector de los armónicos finales. Posteriormente para cada armónico existe un FOR que comienza cada vez en un punto más adelantado del vector Real[i] (FFT sin filtrar) y encuentra el punto más alto.

Para poder encontrar máximos locales, una vez que se detecta un nuevo máximo, este tiene que ser un 40% mayor que el anterior. Esto se hace para poder detectar máximos locales, ya que sino algunos se perdían con esta función.

7.6 Envío de datos desde Arduino Mega a Lolin D1 Mini

Para poder subir los datos desde nuestro dispositivo hasta Firebase, que es el objetivo final, es necesario usar como pasarela a Lolin D1 Mini. Para ello, se envía una cadena de caracteres separados por punto y coma usando el siguiente código:

- Para enviar los datos de valores RMS

```
String envio;  
  
    char envio2[100]; // ver longitud de la cadena para dimensionar esta variable  
  
    DateTime now = rtc.now(); // Meter datos tuyos  
  
    envio =String(now.day());  
    envio += ",";  
    envio += String(now.month());  
    envio += ",";  
    envio += String(now.year());  
    envio += ",";  
    envio += String(now.hour());  
    envio += ",";  
    envio += String(now.minute());  
    envio += ",";  
    envio += String(now.second());  
    envio += ",";  
    envio += String(tensionRMS);  
    envio += ",";  
    envio += String(intensidadRMS);  
    envio += ",";  
    envio += String(potenciaRMS);  
    envio += ",";  
    envio += String(S);  
    envio += ",";  
    envio += String(fi);  
    envio += ",";  
  
    for(int i=1; i<=100; i++) {envio2[i]=",";}  
  
    envio.toCharArray(envio2,91); // se envia el array completo  
  
    Serial3.write(envio2);  
  
    Serial.print(envio2);// para comprobar en monitor serie lo que se envia  
  
    Serial.println();
```

- Valores de la FFT

```
String envio;

char envio3[100]; // ver longitud de la cadena para dimensionar esta variable

DateTime now = rtc.now(); // Meter datos tuyos

envio =String(now.day());
envio += ",";
envio += String(now.month());
envio += ",";
envio += String(now.year());
envio += ",";
envio += String(now.hour());
envio += ",";
envio += String(now.minute());
envio += ",";
envio += String(now.second());
envio += ",";
for(int i=0; i<30; i++){ // es el mismo formato que enviarlo al puerto serie pero sin los
huecos en cero porque aqui no los necesito

envio += String(armonicos[i]*10,0);

envio += ",";

}

for(int i=1; i<=100; i++) {envio3[i]=",";} // comprobar logitud de esta cadena.
envio.toCharArray(envio3,91);

Serial3.write(envio3);

Serial.print(envio3);

Serial.println();
```

Como se puede ver ambos códigos comparten la misma estructura, es decir, envían los datos concatenados separados cada uno por “,”. La principal diferencia entre ambos es que mientras en primer caso se envían además de la fecha:

- Valores RMS => 5 parámetros
- FFT => 30 parámetros

7.6.1 Reloj RTC

La función del reloj RTC DS3231 es la de proporcionar la hora a la que se ha llevado a cabo la muestra.

Para ello, lo único que hay que hacer con el DS3231 es iniciarlo al comienzo del programa. Y hacer una llamada para almacenar la hora en cada instante. Los códigos que se usan son:

```
// Si se ha perdido la corriente, fijar fecha y hora
if (! rtc.begin()) {
  Serial.println("Couldn't find RTC");
  while (1);
}
if (!rtc.isrunning()) {
  // Fijar a fecha y hora de compilacion
  rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__)));

  Serial.print("Reloj no funciona");

  // Fijar a fecha y hora específica. En el ejemplo, 21 de Enero de 2016 a las 03:00:00
  //rtc.adjust(DateTime(2016, 1, 21, 3, 0, 0)); // en el caso de dejar otra hora por
  //cualquier motivo
}
else {Serial.println("Reloj funcionando");}

// Fijar a fecha y hora específica. En el ejemplo, 21 de Enero de 2016 a las 03:00:00
```

Una vez inicializado el reloj, simplemente hay pedir las horas y almacenarlas.

```
DateTime now = rtc.now(); // se actualizan los datos del reloj

envio =String(now.day());
```

Solo hay que sustituir day por month, year, hour, minuts, second.

7.7 Envío de datos desde Lolin D1 Mini a Firebase

Una vez que se han enviado los datos hay que recibirlos en Lolin Mini D1 (Lolin). Este, recibe una cadena de caracteres separados por punto y coma. Esto de este modo concreto no tiene mucha utilidad. Por ello, hay que introducir estos caracteres dentro de un Json para poder enviarlos correctamente a Firebase.

Para ello, lo primero que se hace es crear los dos Json.

```
DynamicJsonBuffer jsonBuffer;// para datos RMS

JsonObject& json = jsonBuffer.parseObject ("{\"dia\":0.0,\"mes\": 0.0,\"ano\":0.0,\"hora\":0.0,\"minuto\":0.0,\"segundo\":0.0,\"v\":0.00,\"i\":0.00,\"p\":0.00,\"s\":0.00,\"fi\":0.00}");

DynamicJsonBuffer jsonBuffer1;// para fft

JsonObject& json1 = jsonBuffer1.parseObject("{\"dia\":0.0,\"mes\":0.0,\"ano\":0.0,\"hora\":0.0,\"minuto\":0.0,\"segundo\":0.0,\"a1\":0.00,\"a2\":0.00,\"a3\":0.00,\"a4\":0.00,\"a5\":0.00,\"a6\":0.00,\"a7\":0.00,\"a8\":0.00,\"a9\":0.00,\"a10\":0.00,\"a11\":0.00,\"a12\":0.00,\"a13\":0.00,\"a14\":0.00,\"a15\":0.00,\"a16\":0.00,\"a17\":0.00,\"a18\":0.00,\"a19\":0.00,\"a20\":0.00,\"a21\":0.00,\"a22\":0.00,\"a23\":0.00,\"a24\":0.00,\"a25\":0.00,\"a26\":0.00,\"a27\":0.00,\"a28\":0.00,\"a29\":0.00,\"a30\":0.00}");
```

Como se puede apreciar ambos Json tienen la misma estructura. En ambos, se empieza almacenando los valores de fecha y posteriormente se introducen los parámetros con la información.

Para almacenar los valores enviados dentro de estos Json se crea un script que va introduciendo los valores en su lugar correspondiente. Para ello, es imprescindible que los datos se envíen en el orden en el que van a ser almacenados.


```
if (Serial.available()) { // AÑADIR CONDICION DE QUE SON DATOS DE RMS
  Serial.print("Serial aviable ");
  delay(100); //allows all serial sent to be received together
  while(Serial.available() && i<=90) {
    str[i++] = Serial.read();  }
  str[i++]='\0';
}else{
  Serial.println("Serial no disponible");
}
if(i>0) {
  String s1;
  i=0;
  s="";
  j=0;
  k=1;
  while (j<90) {
    s1 = str[j];
    if (s1 != ",") {s += s1;    }
    else {
      switch(k) {
        case 1:
          json["dia"]=s.toFloat();
          dia = s;
          dian = s.toInt();
          break;
        case 2:
          json["mes"]=s.toFloat();
          mes = s;
          mesn = s.toInt();
          break;
        case 3:
          json["ano"]=s.toFloat();
          ano = s;
          anon = s.toInt();
          break;
        case 4: json["hora"]=s.toFloat();
          break;
        case 5: json["minuto"]=s.toFloat();
          break;
        case 6: json["segundo"]=s.toFloat();
          break;
        case 7: json["v"]=s.toFloat();
          break;
        case 8: json["i"]=s.toFloat();
          break;
        case 9: json["p"]=s.toFloat();
          break;
        case 10: json["s"]=s.toFloat();
          break;}
      s="";
      k += 1;    }
    j += 1;  }
```

Una vez que los datos están dentro de cada Json subirlos a Firebase es una tarea muy sencilla, simplemente hay que usar el comando `Firebase.push()`.

```
if (dian>=1 && dian<=31 && mesn>=1 && mesn<=12 && anon>=2018 && anon<=2021) {  
    Firebase.push(fecha,json);  
    // handle error  
    if (Firebase.failed()) {  
        Serial.print("setting /message failed:");  
        Serial.println(Firebase.error());  
        //return;  
    }  
}  
for (int l=0; l<=99; l++) {str[l]=47;}  
unsigned long t1;  
t1 = millis();  
Serial.println(t1-t);  
if (t1-t<500) delay(500-(t1-t));  
else Serial.flush();
```

El resto del código sirve para comprobar que los datos que se están subiendo son correctos.

7.8 Conexión de Lolin a Firebase

La conexión de Lolin con Firebase no es un procedimiento demasiado difícil aun así hay que tener cuidado para hacerlo todo correctamente.

En primer lugar, lo que hay que hacer es instalar la librería que permite conectar Lolin con Firebase. En este caso se ha descargado de GitHub⁴.

La librería una vez instalada en IDE Arduino (el entorno de desarrollo de Arduino). Se incluye como:

```
#include <FirebaseArduino.h>
```

Una vez instalada la biblioteca FirebaseArduino.h es necesario crear el proyecto en Firebase con el cual hay que conectarse. Para ello se hace clic en “Agregar proyecto”

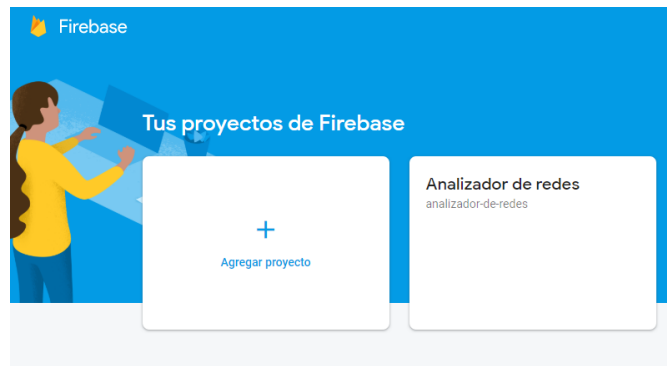


Ilustración 30 Creación del proyecto en Firebase.

⁴ La librería se descarga de <https://github.com/FirebaseExtended/firebase-arduino>

Solo hay que seguir los siguientes pasos:

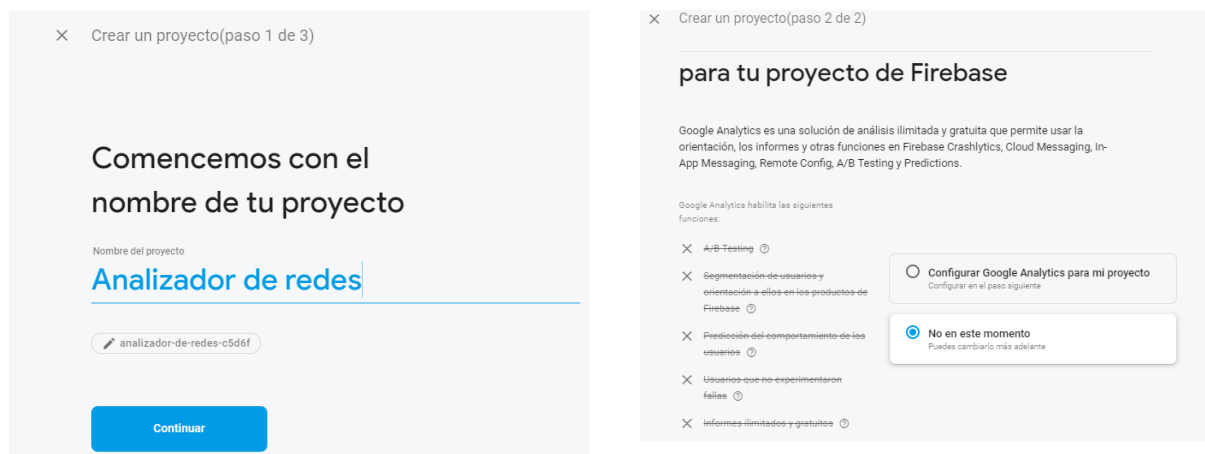


Ilustración 31 Pasos a seguir en la creación de un nuevo proyecto en Firebase

Una vez que se introduce el nombre del proyecto y se pide configurarlo más adelante solo quedan ajustar unos parámetros y tomar las claves para poder usarlo.

En primer lugar, hay que obtener el token. Este token es la clave secreta que es necesaria para poder subir los datos a nuestro proyecto.

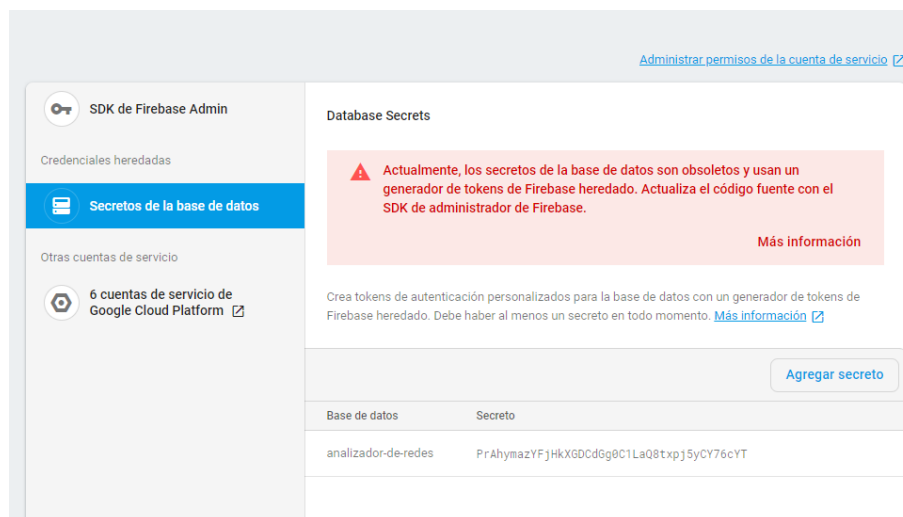


Ilustración 32 Secretos de la base de datos.

Para acceder es necesario:

- Ajustes (símbolo del engranaje)
 - Configuración de proyecto
 - Cuentas de servicio

- Secretos de la base datos

Una vez que se accede a esta pestaña se copia el token y se guarda ya que hay que usarlo más adelante.

El siguiente paso es seleccionar la dirección a la que hay que subir los datos, para ello:

- Menú
 - Database
 - RealTime Database
 - Se copia el enlace que aparece en la imagen

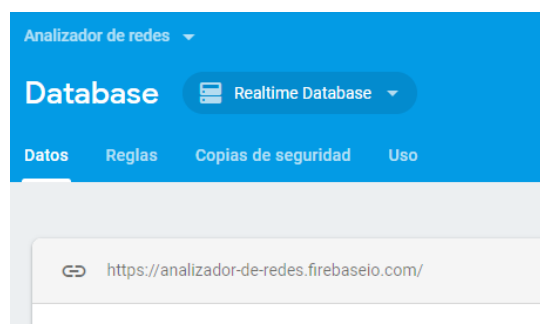


Ilustración 33 Enlace al cual serán subidos los datos.

La última acción que se realiza en Firebase es la de cambiar las reglas del sistema. Para ello se hace clic en “Reglas” (Ilustración 33 Enlace al cual serán subidos los datos.) y se cambia escritura y lectura de false => true.

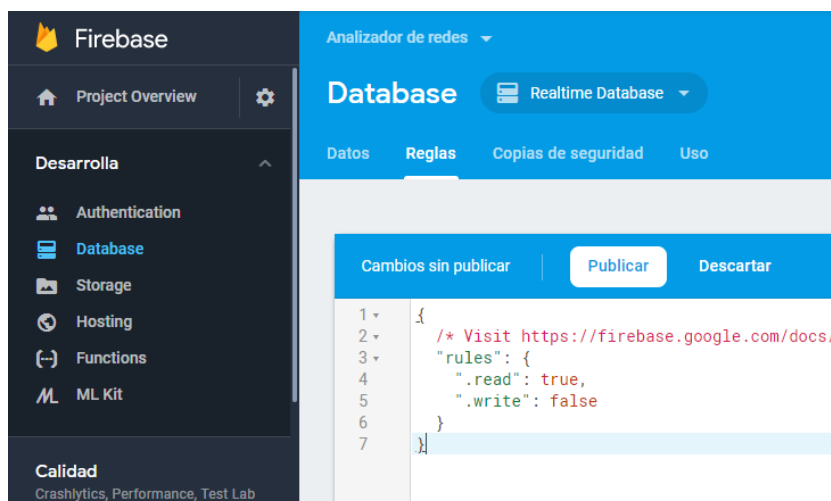


Ilustración 34 Reglas en Firebase.

Una vez que se ha configurado la plataforma Firebase ahora es necesario darle toda esta información a Arduino para que sea capaz de comunicarse.

En Lolin D1 Mini hay que introducir los parámetros de la siguiente forma:

```
#define FIREBASE_HOST "analizador-de-redes.firebaseio.com"

#define FIREBASE_AUTH "PrAhymazYFjHkXGDCdGg0C1LaQ8txpj5yCY76cYT"


#define WIFI_SSID "josemi"

#define WIFI_PASSWORD "arduino1234"
```

En primer lugar, se le definen los parámetros Firebase_Host y Firebase_Auth. Estos son los parámetros que se obtienen de Firebase que vienen a ser el usuario y contraseña de nuestro proyecto.

En segundo lugar, hay que proporcionarle a Lolin D1 Mini la red wifi a la cual hay que conectarse. En este caso concreto se crea una red wifi local con el PC, similar a la que se emplea con un móvil compartiendo datos. Si se estableciese en un lugar físico se puede conectar a cualquier red wifi.

7.9 Descarga de datos desde Firebase a Excel

Una vez que se envían los datos a la nube, estos quedan almacenados en ella. El problema reside en que no se trata de ficheros fáciles de consultar, esto se debe a que hay que moverse por una serie de directorios y es poco intuitivo.

Para ello, la solución adoptada implica descargarse el archivo en formato Json. Esto es fácil de realizar ya que simplemente hay que hacer clic en el símbolo que contiene los tres puntos verticales y posteriormente en “Exportar Json”.

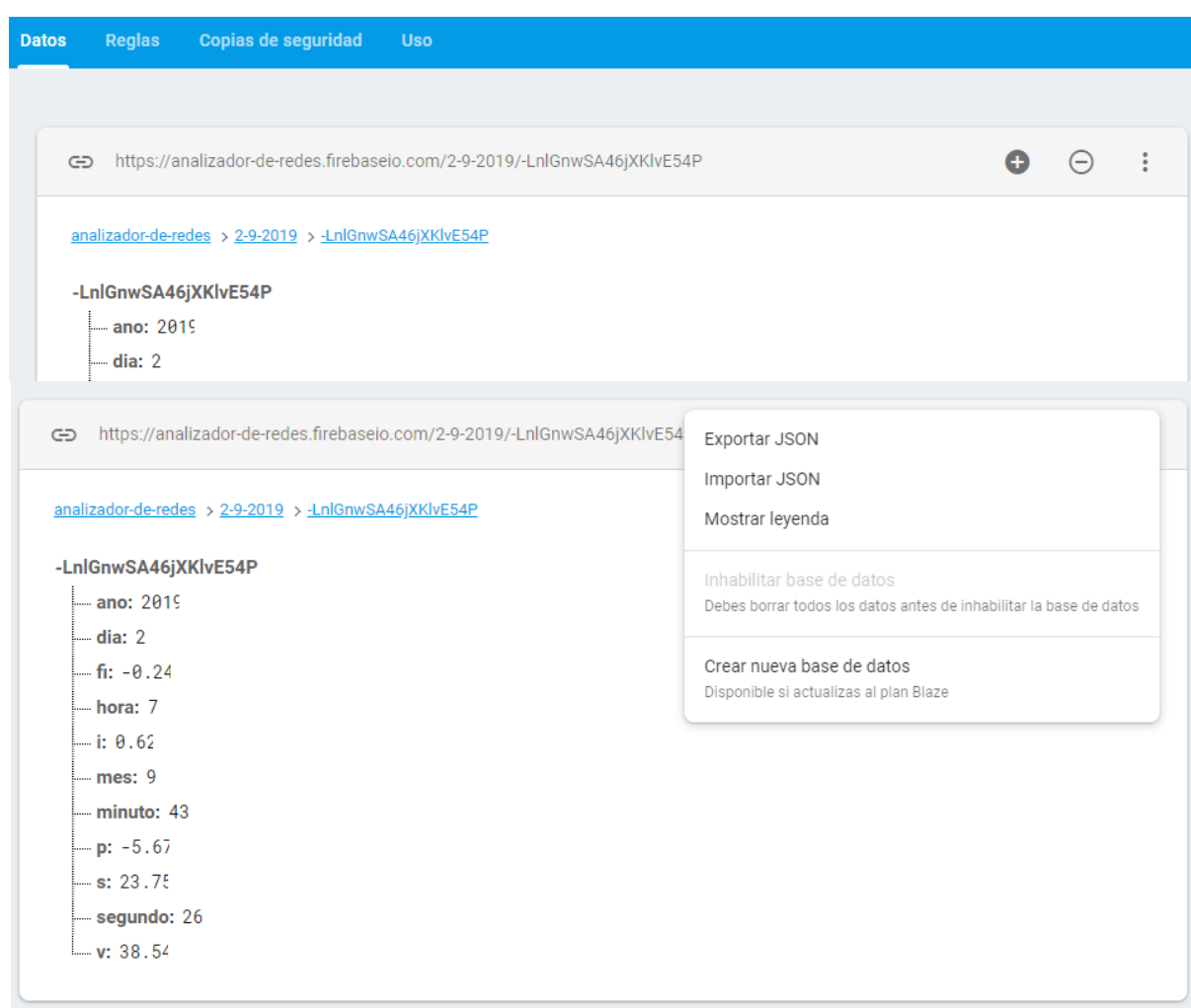


Ilustración 35 Captura de pantalla de Firebase para exportar ficheros.

```

import json; import math
from pprint import pprint
json_data=open('proto3-31de3-6-7-2018-export.json')
data = json.load(json_data)
j=0;
encontrado=False;
for i in data:
    j=j+1;
    if data[i]['dia']>0 and data[i]['dia']<32 and data[i]['mes']>0 and data[i]['mes']<13 and
data[i]['ano']>2000 and not encontrado:
        fecha2=str(data[i]['dia'])+'/'+str(data[i]['mes'])+'/'+str(data[i]['ano']);
        fecha2=fecha2.replace('/', '-');
        print(fecha2);
        encontrado=True;
csv=open(fecha2+'.csv','w');
csv.write('Fecha;Hora;Tensión(V);Intensidad(A);F.Potencia;P.Activa(W);P.Reactiva(VAr);P.Aparen
te(VA);Tiempo(s)+'\n');
j=0
segundosant=0;
for i in data:
    j=j+1;
    print(j)
    fecha1=str(data[i]['dia'])+'/'+str(data[i]['mes'])+'/'+str(data[i]['ano']);
    hora1=str(data[i]['hora'])+':'+str(data[i]['minuto'])+':'+str(data[i]['segundo']);
    v=str(data[i]['v'])
    v=v.replace('.', ',')
    i1=str(data[i]['i'])
    i1=i1.replace('.', ',')
    p=str(data[i]['p'])
    p=p.replace('.', ',')
    s=str(data[i]['s'])
    s=s.replace('.', ',')
    fi=str(data[i]['fi'])
    fi=fi.replace('.', ',')
    p1=data[i]['p']
    s1=data[i]['s']
    q=(s1**2-p1**2)**0.5
    q1=str(q)
    q1=q1.replace('.', ',')
    segundos=data[i]['hora']*3600+data[i]['minuto']*60+data[i]['segundo'];
    if segundos==segundosant:
        segundos=segundos+0.5;
    seg=str(segundos);
    seg=seg.replace('.', ',');
    segundosant=segundos;
    punto= '.' in fecha1;
    if data[i]['dia']>0 and data[i]['dia']<32 and data[i]['mes']>0 and data[i]['mes']<13 and
data[i]['ano']>2000 and not punto:
        fecha1=str(data[i]['dia'])+ '-' +str(data[i]['mes'])+ '-' +str(data[i]['ano']);
        if fecha2!=fecha1:
            csv.close;
            fecha2=fecha1;
            fecha2=fecha2.replace('/', '-');
            csv=open(fecha2+'.csv','w');
csv.write('Fecha;Hora;Tensión(V);Intensidad(A);F.Potencia;P.Activa(W);P.Reactiva(VAr);P.Aparen
te(VA);Tiempo(s)+'\n');
        fecha1=str(data[i]['dia'])+'/'+str(data[i]['mes'])+'/'+str(data[i]['ano']);
        csv.write(fecha1+';'+hora1+';'+v+';'+i1+';'+fi+';'+p+';'+q1+';'+s+';'+seg+';'+'\n');
json_data.close();
csv.close();

```

8 Pruebas

En este capítulo se adjuntan los datos obtenidos al tomar medidas con este dispositivo.

En primer lugar, se presentan los datos técnicos del dispositivo que se está midiendo, es decir, se dan los datos que hay en la placa de características de cada elemento. Estos datos sirven para poder conocer el dispositivo que se mide y así poder hacer una valoración más adecuada de la lectura de los datos.

Posteriormente, en una tabla, se pueden observar los valores RMS. Como el prototipo mide 4 ciclos de onda y esto puede generar datos poco fiables en valores RMS, se realizan 3 mediciones de cada dispositivo, de este modo, se espera poder compensar cualquier posible error que se produzca durante la medición.

A continuación, se presentan los datos de los armónicos tanto de tensión como de intensidad. En ambos casos se muestra la FFT, tanto filtrada como sin filtrar para comprobar que el dispositivo ofrece datos válidos y no se distorsionan los valores de los armónicos al ser filtrarlos.

Para finalizar, hay un pequeño cuadro de observaciones donde se incluye cualquier incidencia acaecida durante el proceso así como un pequeño comentario crítico donde se comentan los resultados obtenidos.

8.1 Ordenador portátil

Datos del dispositivo

Fabricante	HP	
Modelo	PPP009D	
Consumo	65	W
Voltaje	230	V
Frecuencia	50	Hz
Monofásico	SI	
Trifásico	NO	
Intensidad Max	1.7	A
Voltaje de salida	19.5	V



Ilustración 36 Cargador de pc portátil.

Valores de interés obtenidos

Muestra	V rms (V)	I rms (A)	S (kVA)	P (W)	Cos ϕ	Q (kVAr)
1	230.38	0.86	21.24	198.7	0.11	187.78
2	232.68	0.14	9.63	31.84	0.3	26.59
3	233.13	0.2	14.12	46	0.31	38.3

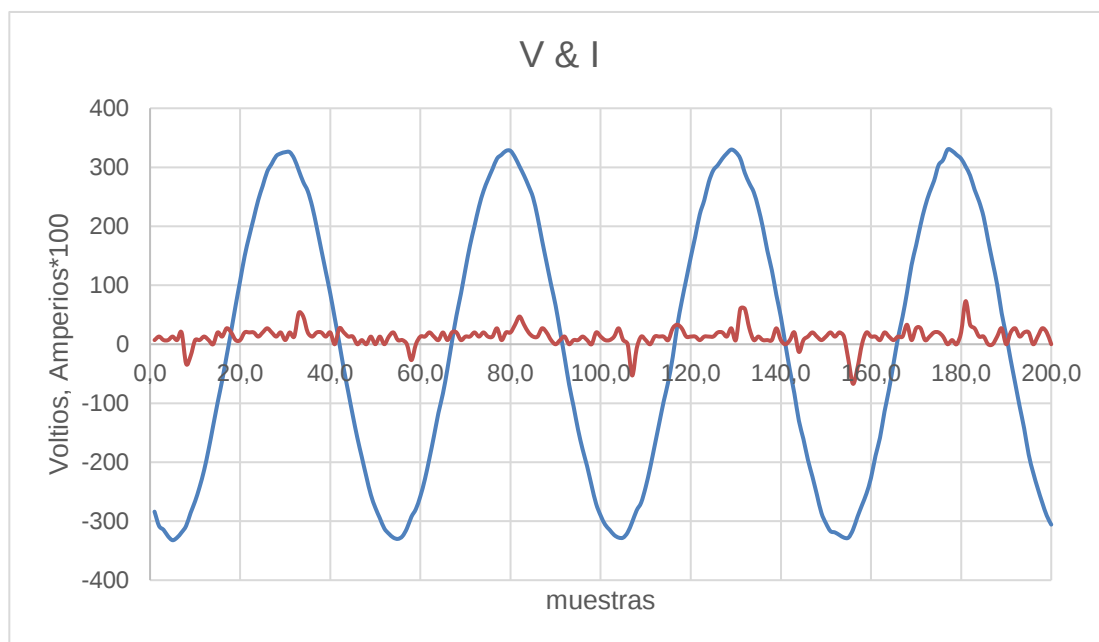


Ilustración 37 Tensión e intensidad pc.

Multiplicador intensidad

100

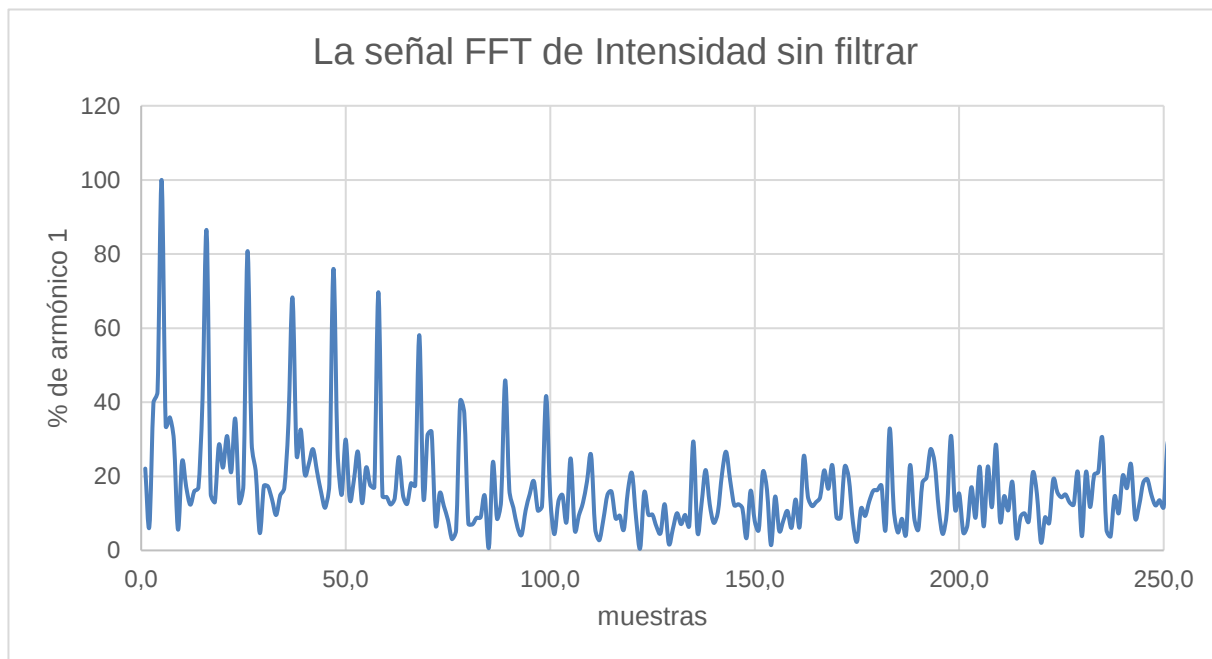


Ilustración 38 Señal FFT de Intensidad sin filtrar de PC.

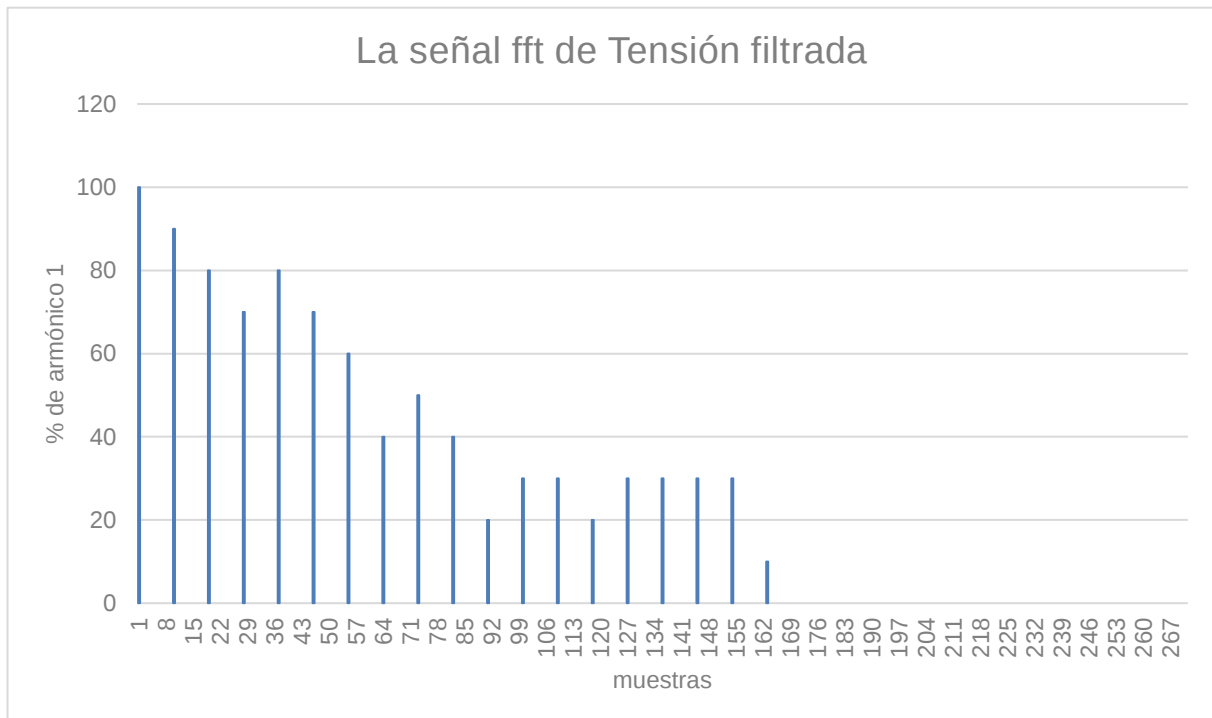


Ilustración 39 Señal FFT de intensidad filtrada de PC.

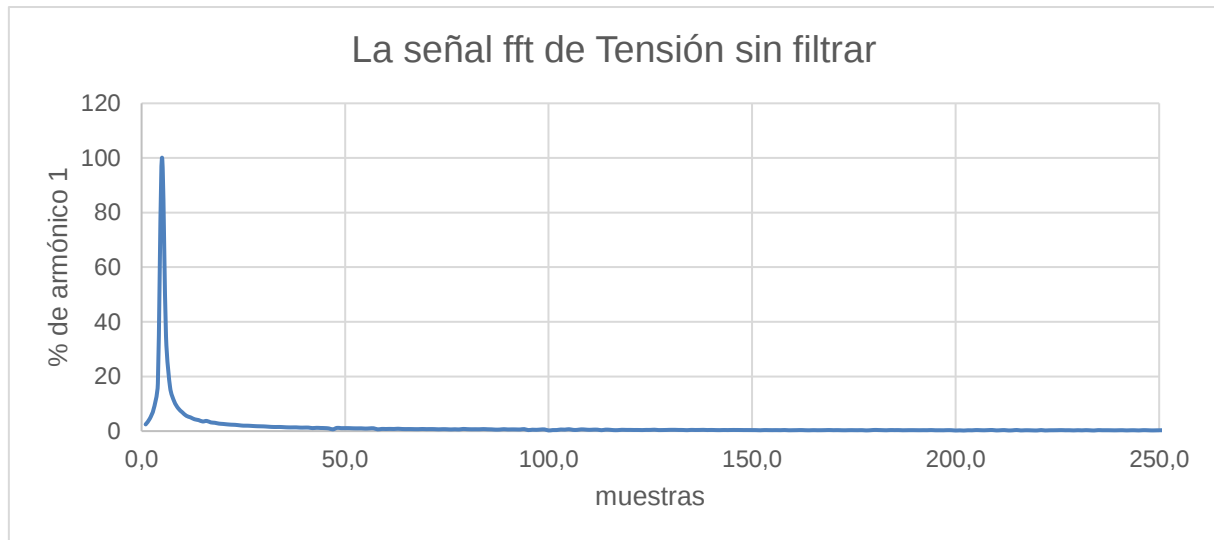


Ilustración 40 Señal de FFT de tensión sin filtrar PC.

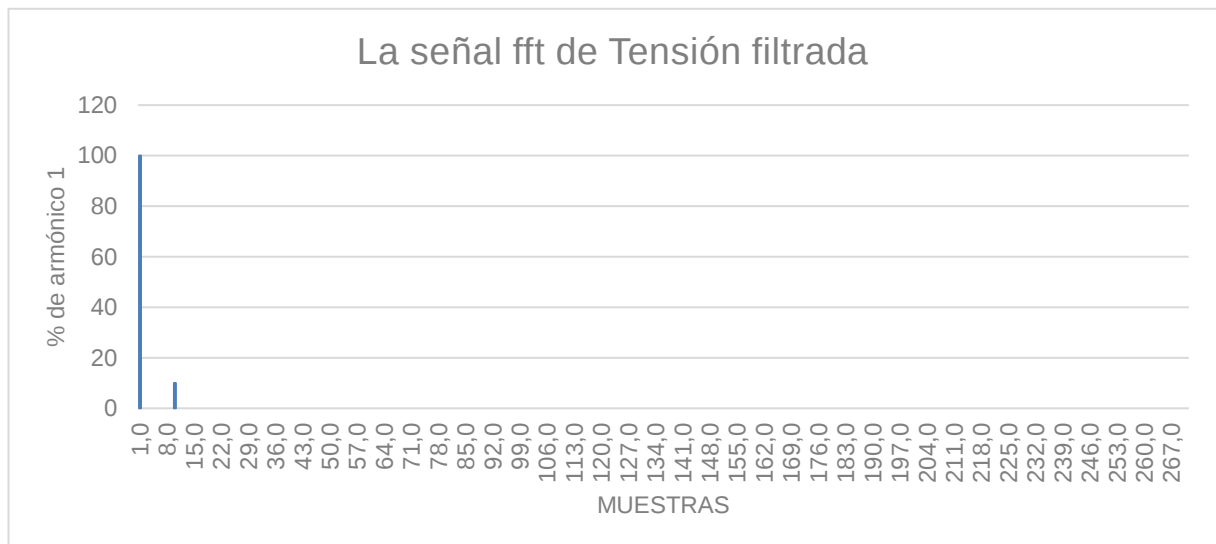


Ilustración 41 Señal FFT de tensión filtrada PC.

Observaciones:

En este caso, como el pc consume muy poca energía, la Intensidad es muy pequeña. Esto conlleva a que el sensor de intensidad ofrezca valores muy dispersos.

Otro aspecto a destacar es la gran cantidad de armónicos que ofrece esta señal. Esto se debe a que al tratarse de un dispositivo electrónico solo toma energía en la parte alta del ciclo (cuando los diodos rectificadores conducen).

8.2 Frigorífico

Datos del dispositivo

Fabricante	LG	
Modelo	GR-L2076EXE	
Consumo	260	W
Voltaje	230-240	V
Frecuencia	50	Hz
Monofásico	SI	
Trifásico		
Intensidad Max	0.78	A
Voltaje de salida		V



Ilustración 42 Frigorífico.

Valores de interés obtenidos

Muestra	V rms (V)	I rms (A)	S (kVA)	P (W)	Cos ϕ	Q (kVAr)
1	229.04	1.07	129.43	244.26	0.53	187.78
2	229.01	1.06	126.59	242.96	0.52	26.59
3	229.65	1.04	123.32	238.61	0.52	38.3



Ilustración 43 Grafica tensión e intensidad frigorífico.

Multiplicador intensidad

100

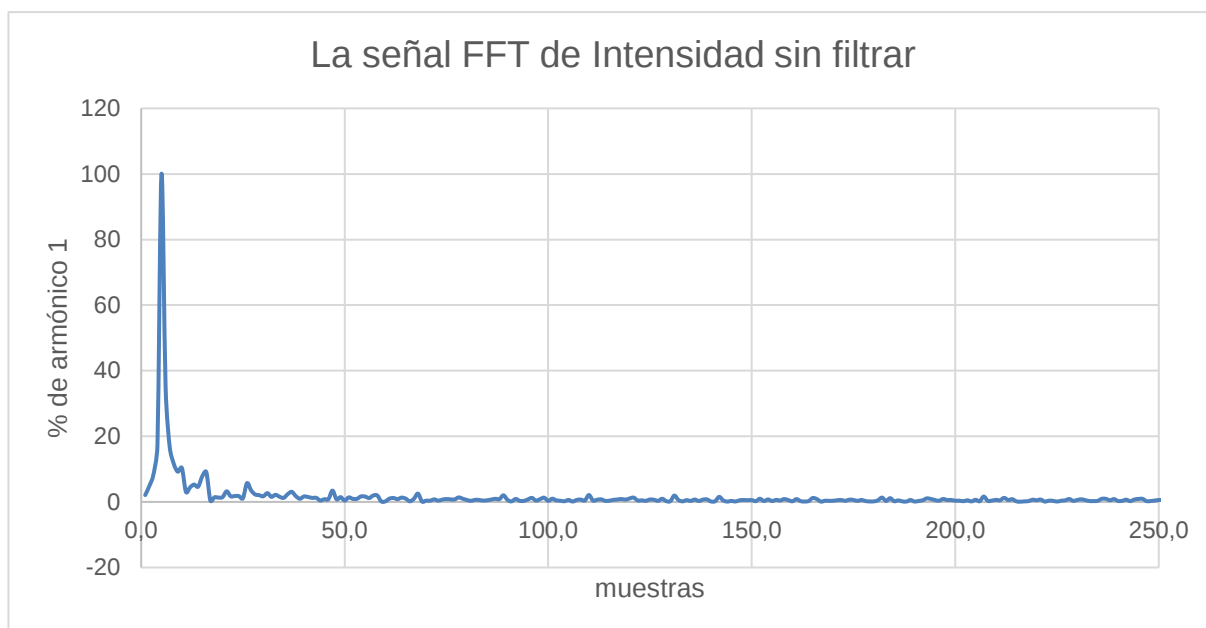


Ilustración 44 Señal FFT de Intensidad sin filtrar de frigorífico.

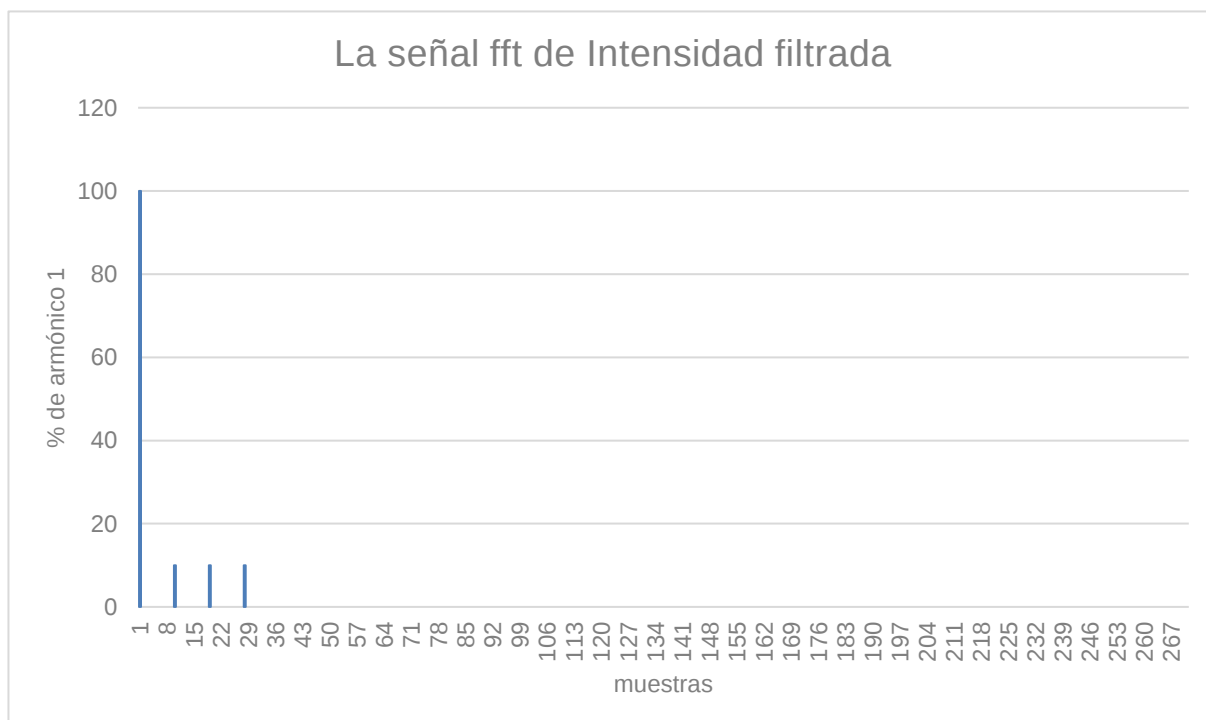


Ilustración 45 Señal FFT de intensidad filtrada de frigorífico.

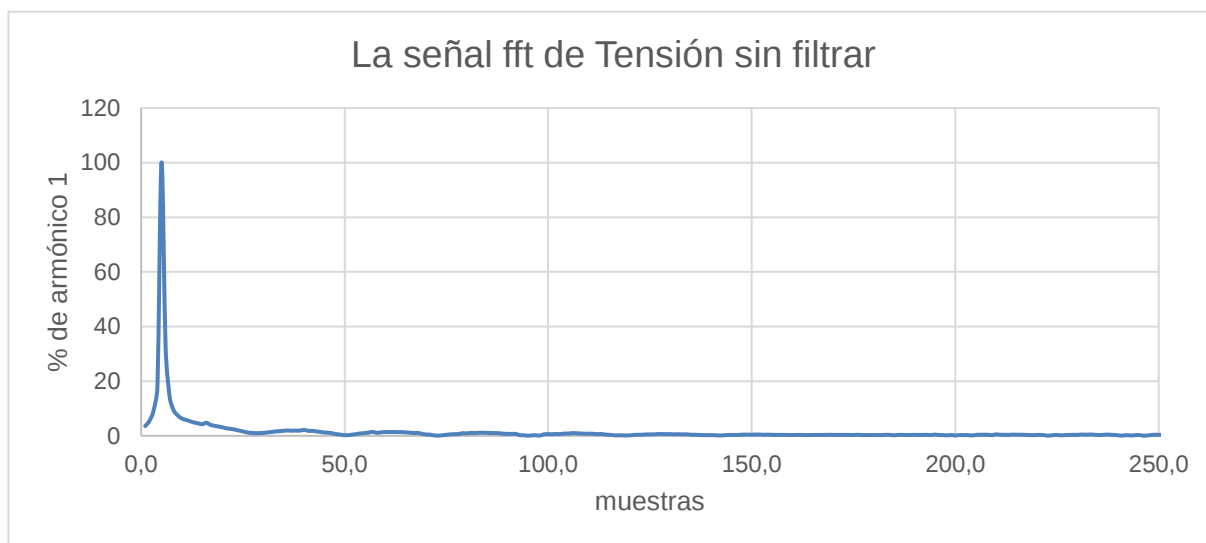


Ilustración 46 Señal de FFT de tensión sin filtrar frigorífico.

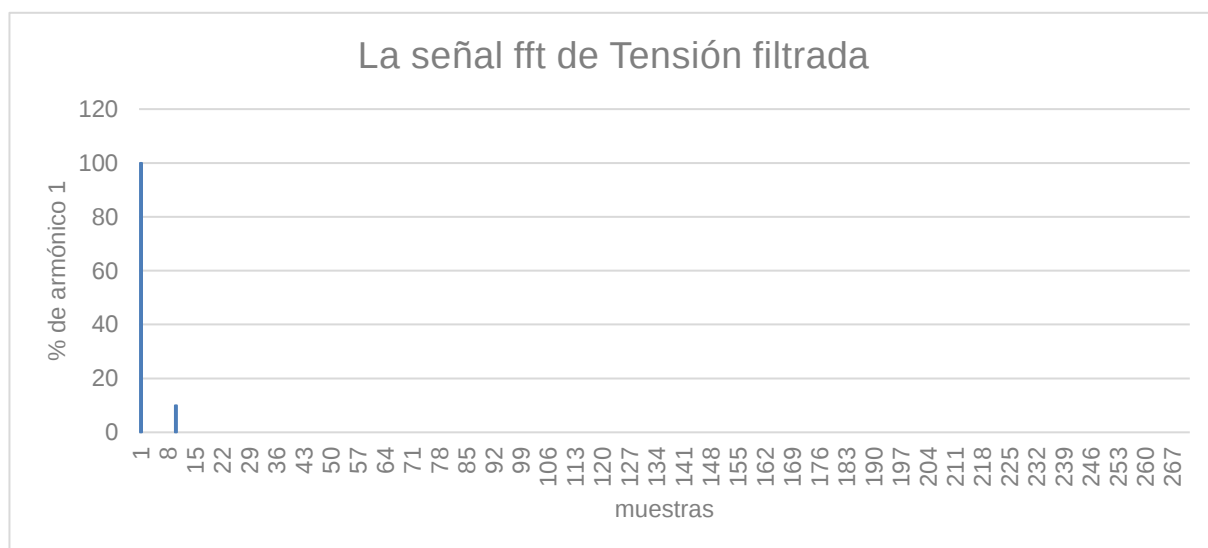


Ilustración 47 Señal FFT de tensión filtrada frigorífico.

Observaciones:

Los datos obtenidos corresponden con un frigorífico común de hogar. En esta medida se puede observar como la intensidad está claramente retrasada frente a la tensión y se obtiene un cos y de casi 0'5. Aun así, este dispositivo no introduce alteraciones importantes en la onda por lo que apenas se introduce el segundo armónico.

8.3 Tostador

Datos del dispositivo

Fabricante	Taurus	
Modelo		
Consumo	1100	W
Voltaje	230	V
Frecuencia	50	Hz
Monofásico	Si	
Trifásico	No	
Intensidad Max		A
Voltaje de salida	-	V



Ilustración 48 Tostador.

Valores de interés obtenidos

Muestra	V rms (V)	I rms (A)	S (kVA)	P (W)	Cos φ	Q (kVAR)
1	229.11	5.15	1060.13	1179.67	0.9	375.53
2	237.35	5.15	1030.43	1222.22	0.84	484.15
3	229.55	5.17	1066.27	1186.34	0.9	377.41



Ilustración 49 Grafica tensión e intensidad tostador.

Multiplicador intensidad

100

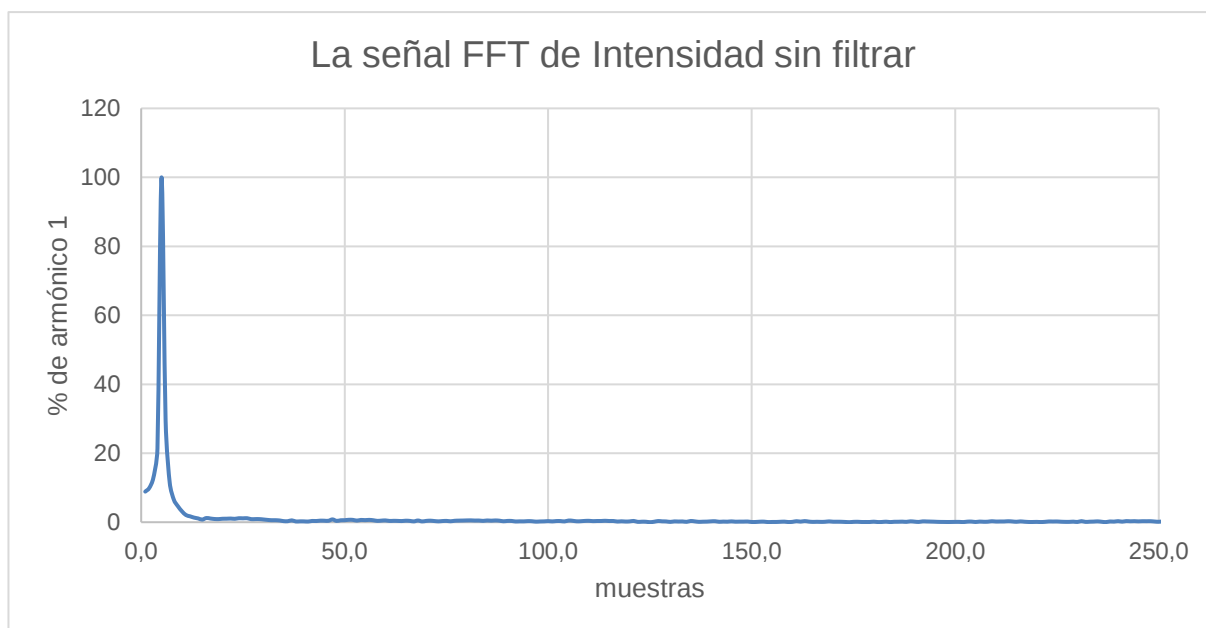


Ilustración 50 Señal FFT de Intensidad sin filtrar de tostador.

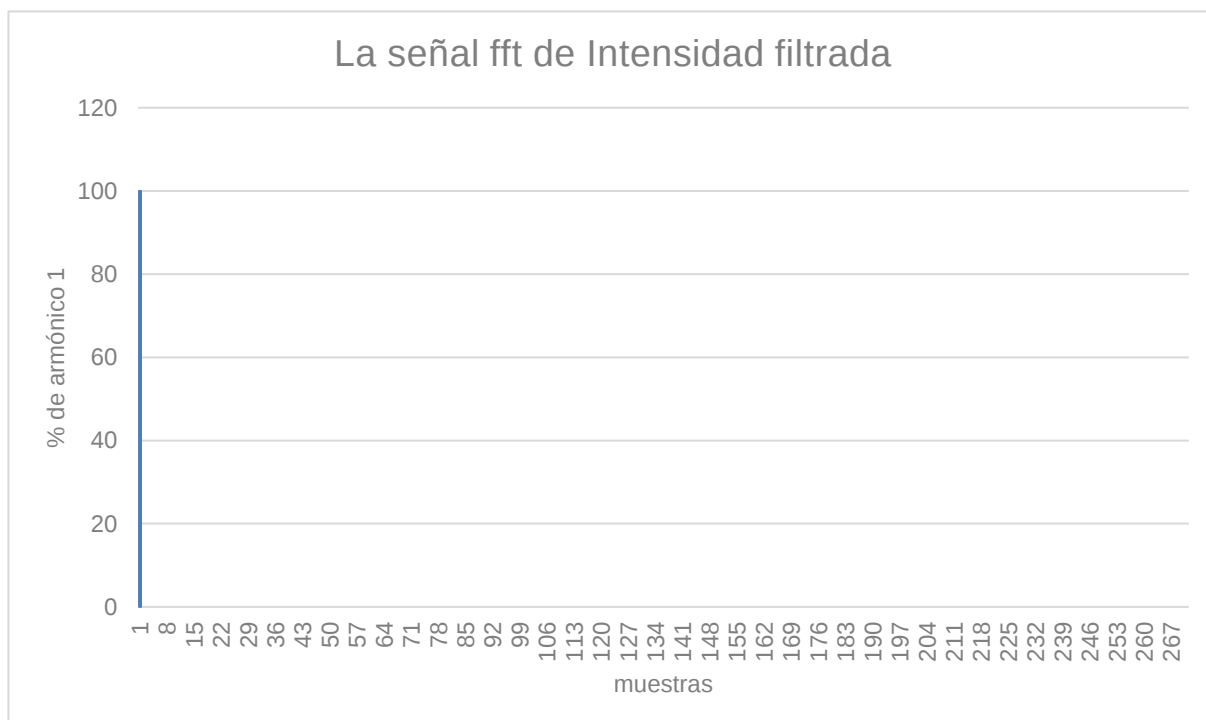
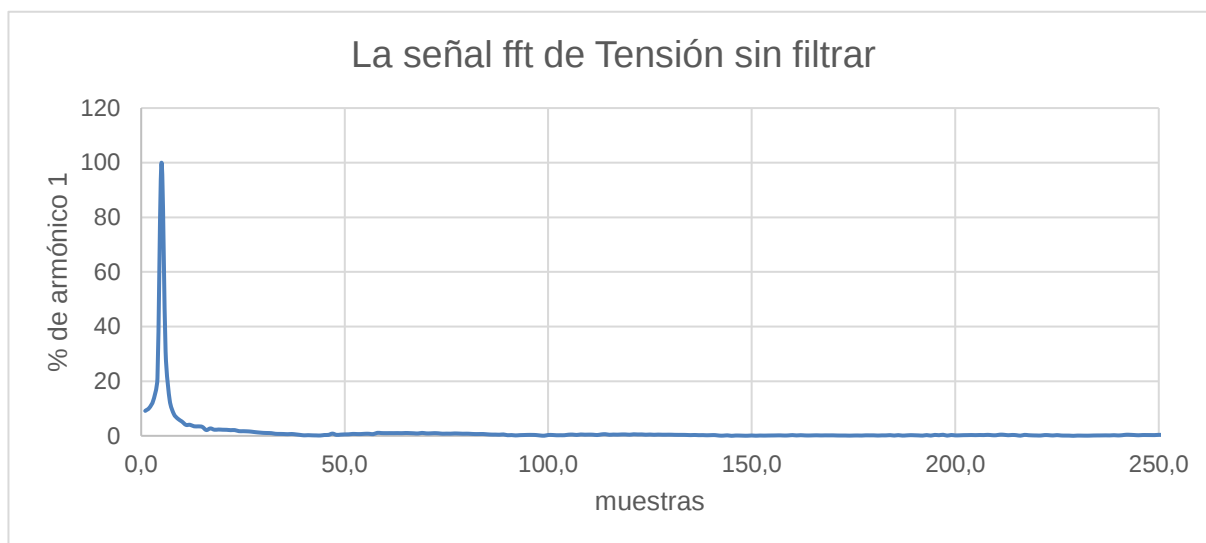
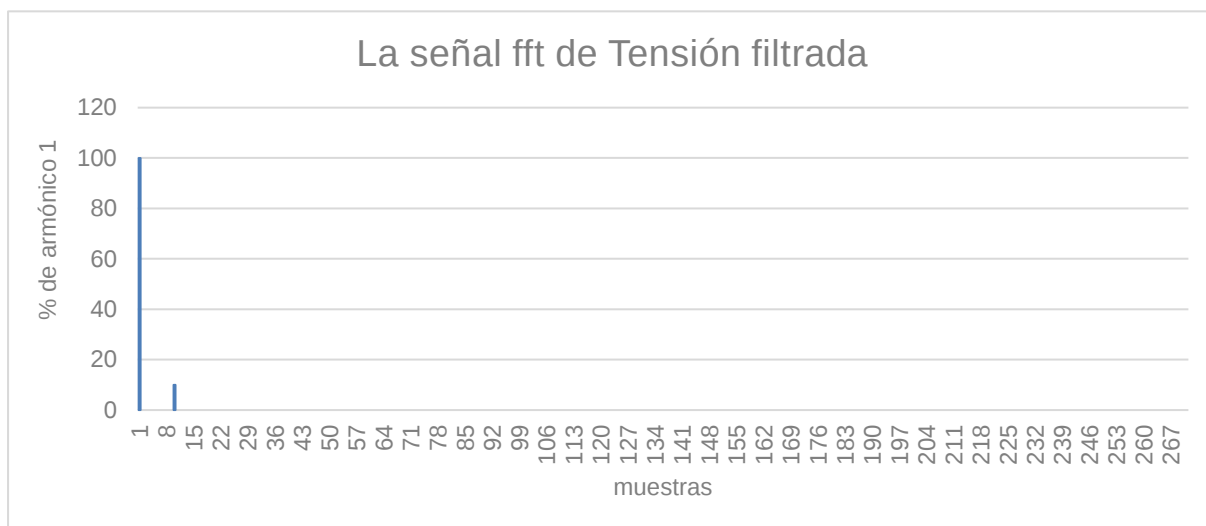


Ilustración 51 Señal FFT de intensidad filtrada de tostador.

**Ilustración 52 Señal de FFT de tensión sin filtrar tostador.****Ilustración 53 Señal FFT de tensión filtrada tostador.**

Observaciones:

Los datos obtenidos corresponden a un tostador de uso doméstico. Se puede destacar que este dispositivo es muy parecido a una carga lineal y se asemeja enormemente al comportamiento de una resistencia.

8.4 Microondas III

Datos del dispositivo

Fabricante	DAEWOO	
Modelo	KOG 8755	
Consumo	1400	W
Voltaje	230	V
Frecuencia	50	Hz
Monofásico	SI	
Trifásico	NO	
Intensidad Max		A
Voltaje de salida		V



Ilustración 54 Microondas.

Valores de interés obtenidos

Muestra	V rms (V)	I rms (A)	S (kVA)	P (W)	Cos ϕ	Q (kVAr)
1	226.03	7.64	1399.19	1726.63	0.81	751.91
2	226.03	7.64	1399.19	1726.63	0.81	751.91
3	222.25	7.63	1365.57	1694.83	0.81	747.01

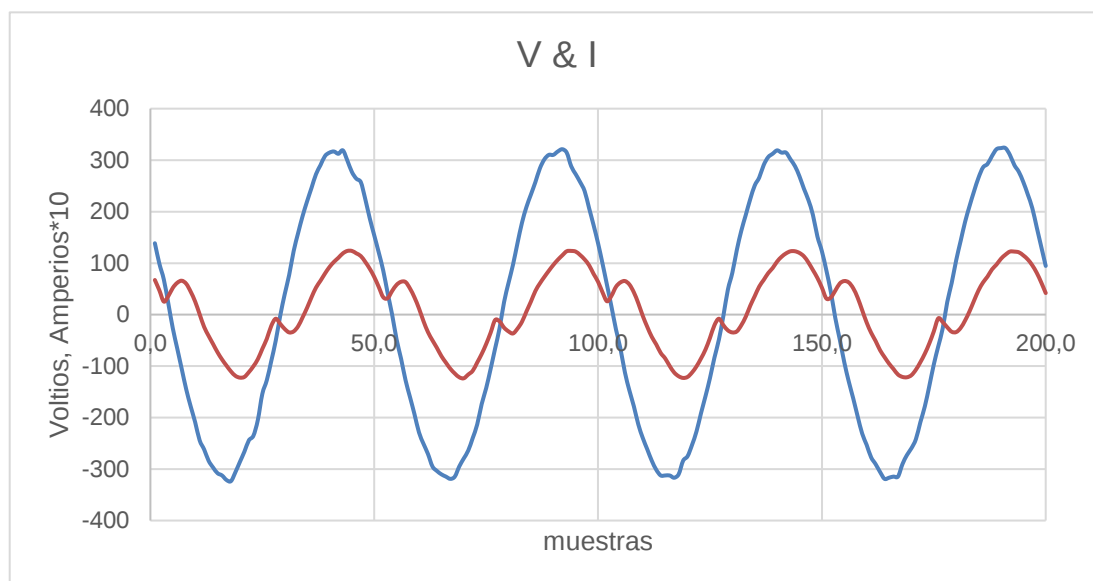


Ilustración 55 Tensión e intensidad de microondas a máxima potencia.

Multiplicador intensidad

10

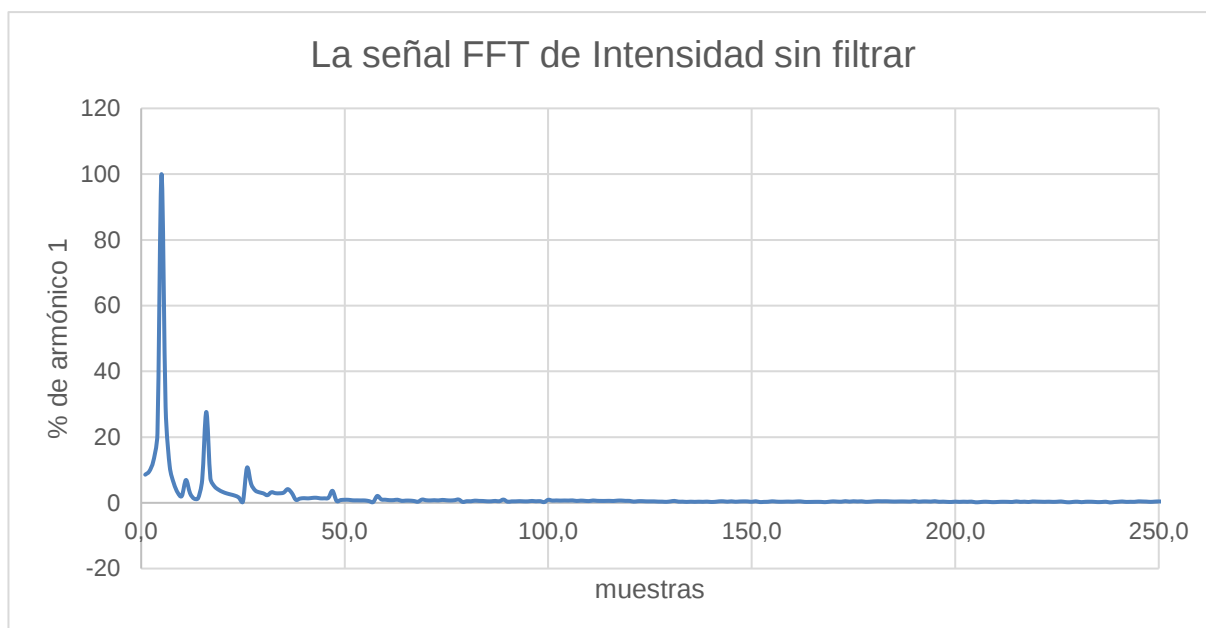


Ilustración 56 Señal FFT de Intensidad sin filtrar de microondas máxima potencia.

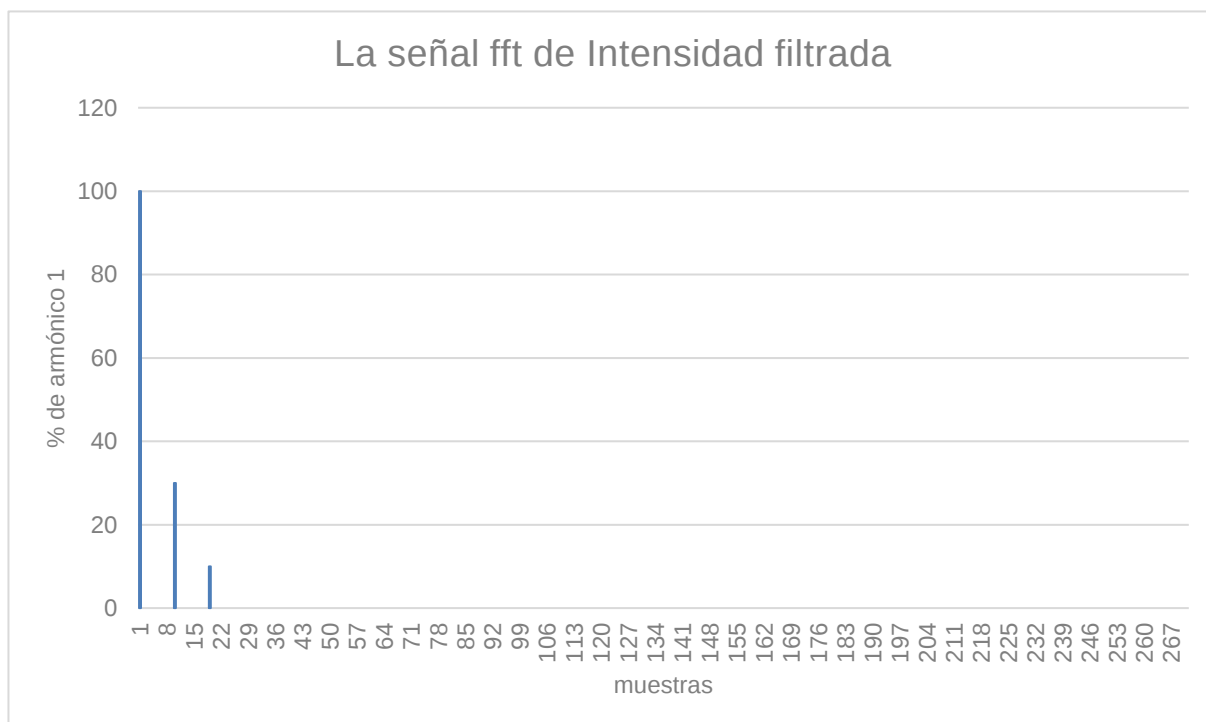


Ilustración 57 Señal FFT filtrada de microondas máxima potencia.

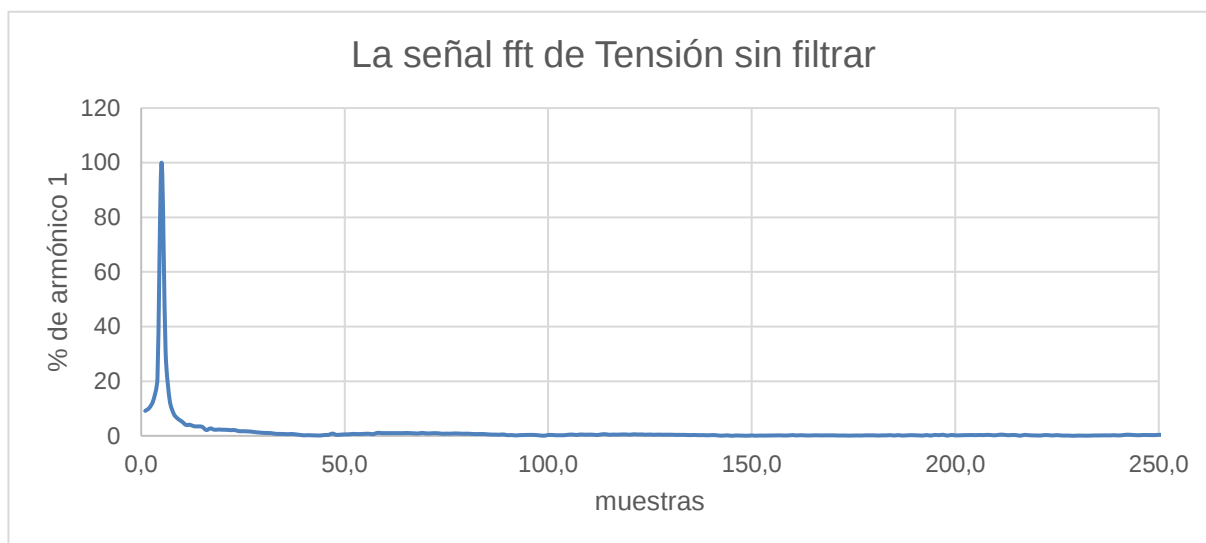


Ilustración 58 Señal de FFT de tensión sin filtrar microondas máxima potencia.

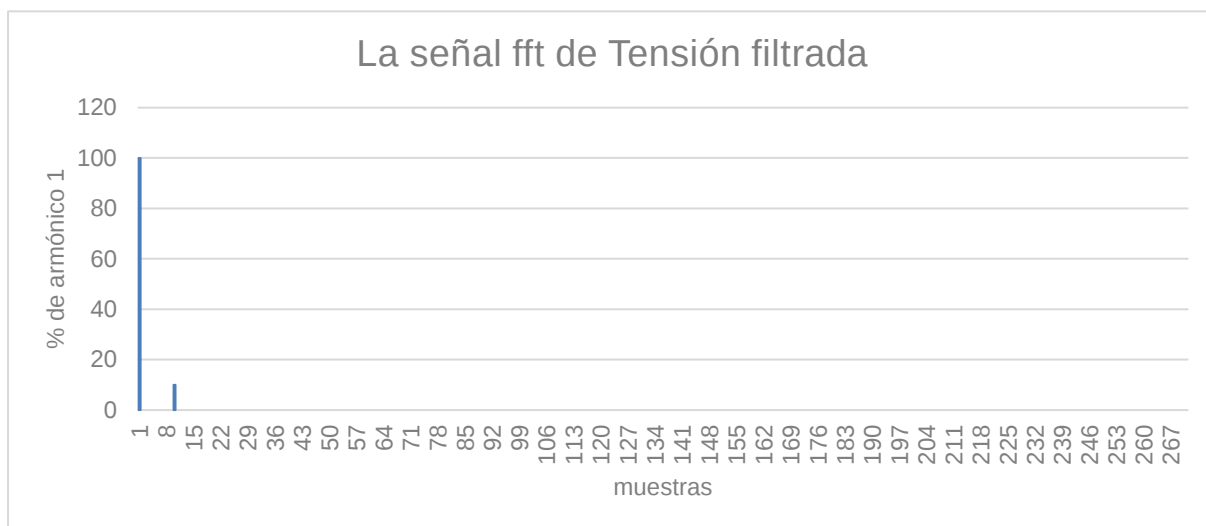


Ilustración 59 Señal FFT de tensión filtrada microondas máxima potencia.

Observaciones:

Los datos obtenidos reflejan un microondas funcionando a máxima potencia. Se puede comprobar a simple vista como se deforma la onda de intensidad. Al realizar la FFT de intensidad, se puede ver como toman importancia el segundo y tercer armónico como consecuencia de esa deformación en la onda.

8.5 Microondas III + Grill

Datos del dispositivo

Fabricante	DAEWOO	
Modelo	KOG 8755	
Consumo	2500	W
Voltaje	230	V
Frecuencia	50	Hz
Monofásico	SI	
Trifásico	NO	
Intensidad Max		A
Voltaje de salida		V



Ilustración 60 Microondas.

Valores de interés obtenidos

Muestra	V rms (V)	I rms (A)	S (kVA)	P (W)	Cos ϕ	Q (kVAr)
1	230.59	7.1	838.83	1636.63	0.51	1142.67
2	225.32	12.15	2406.46	2737.5	0.88	951.97
3	264.02	5.37	1098.93	1418.84	0.77	673.73



Ilustración 61 Grafica tensión e intensidad microondas + Grill.

Multiplicador intensidad

100

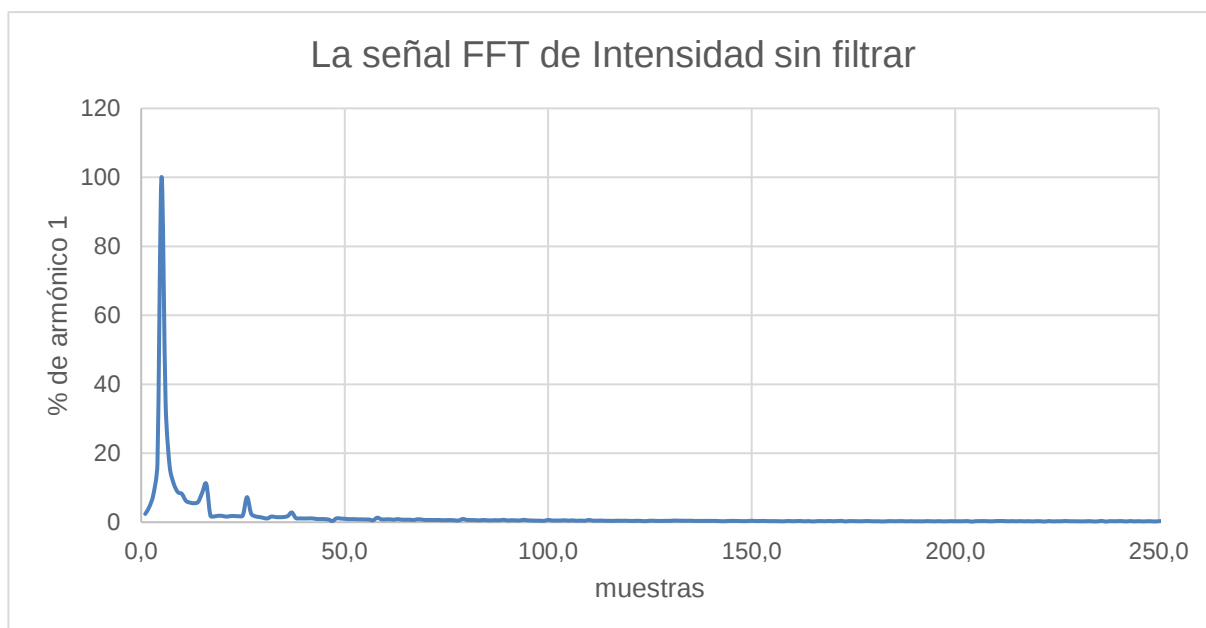


Ilustración 62 Señal FFT de Intensidad sin filtrar de Microondas Máxima potencia + Grill

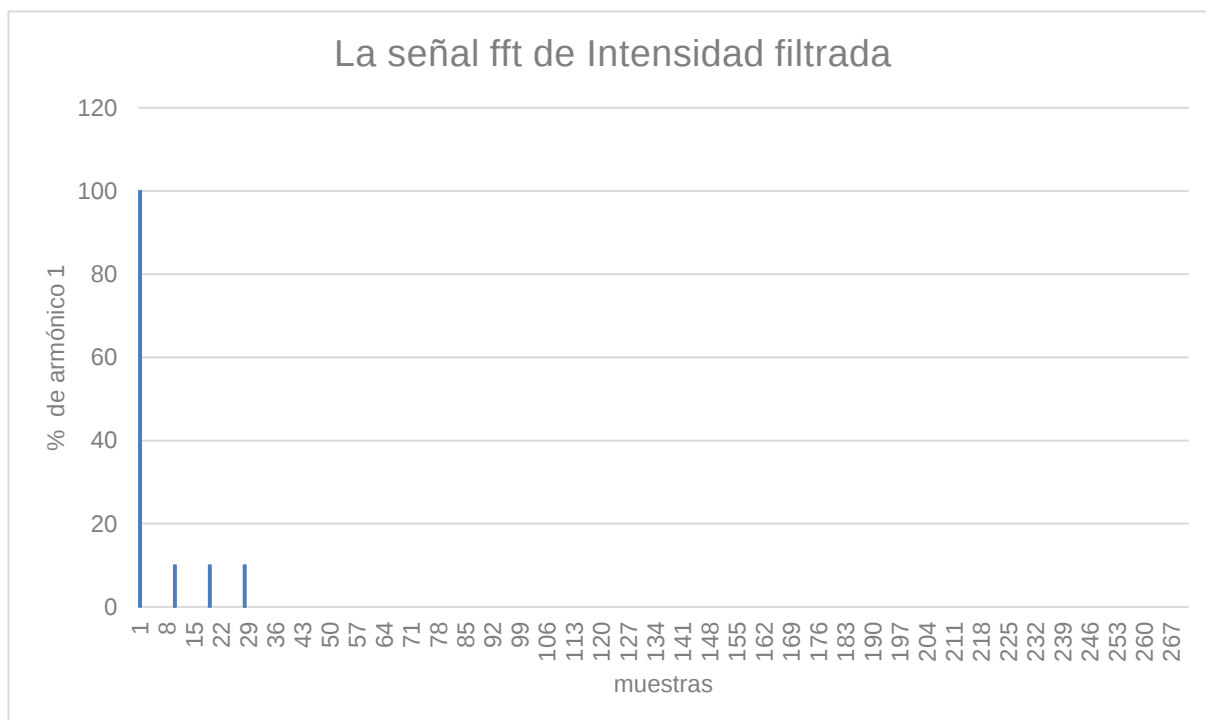


Ilustración 63 Señal FFT filtrada de microondas máxima potencia + Grill.

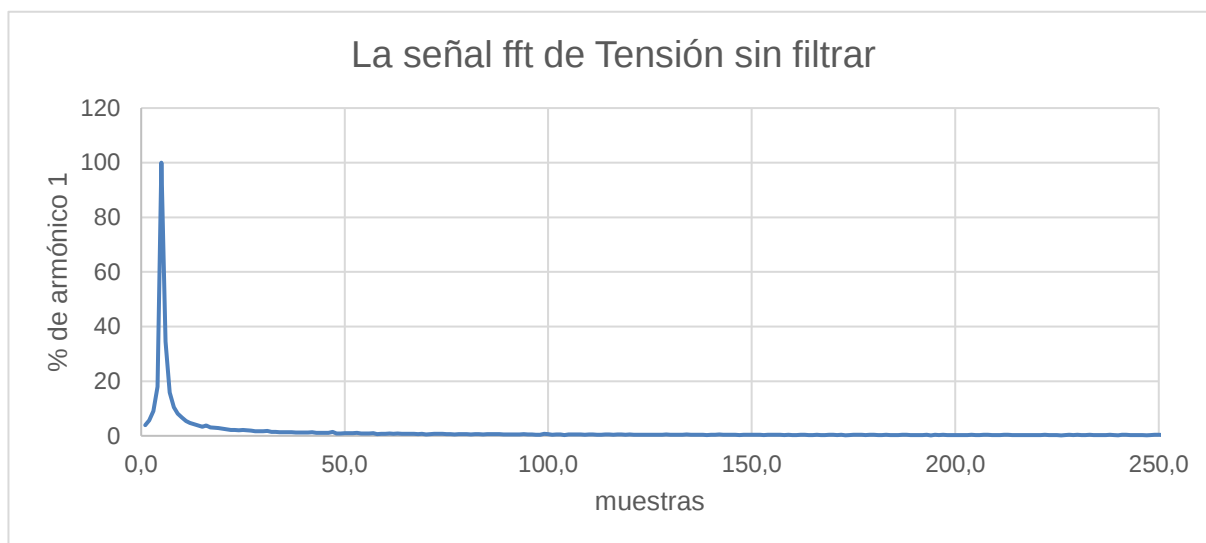


Ilustración 64 Señal de FFT de tensión sin filtrar Microondas Máxima potencia + Grill

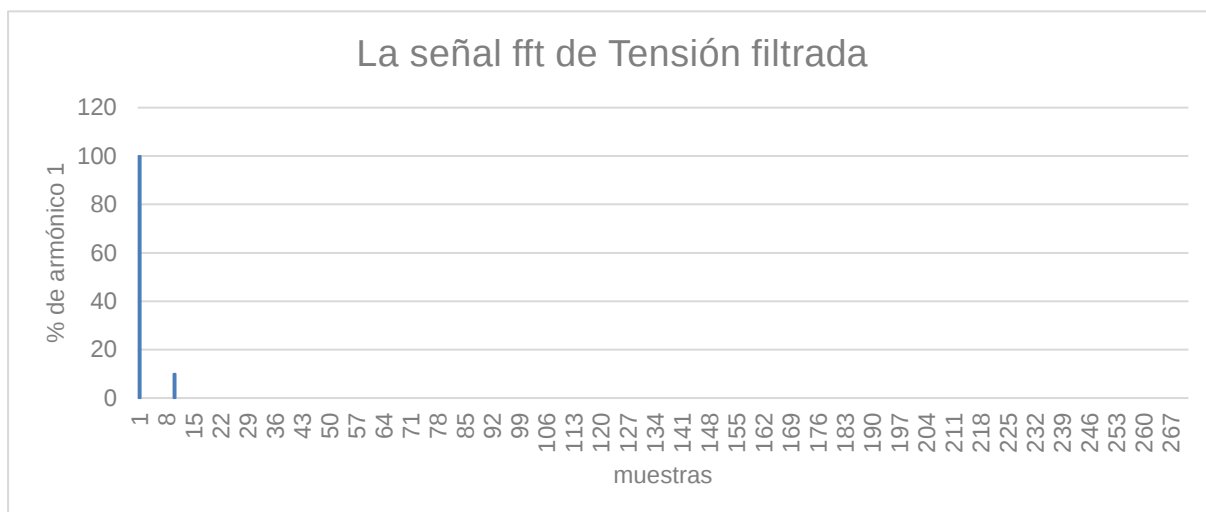


Ilustración 65 Señal FFT de tensión filtrada microondas máxima potencia + Grill

Observaciones:

Medición del microondas funcionando a máxima potencia más la función Grill. En este caso hay mucha diferencia entre unas mediciones y otras. Observando las gráficas de cada uno de ellas, se llega a la conclusión de que esta variación no se debe a un mal funcionamiento del dispositivo, sino a que durante su uso consume potencias diferentes.

8.6 Microondas en modo descongelar

Datos del dispositivo

Fabricante	DAEWOO	
Modelo	KOG 8755	
Consumo	1400	W
Voltaje	230	V
Frecuencia	50	Hz
Monofásico	SI	
Trifásico	NO	
Intensidad Max		A
Voltaje de salida		V



Ilustración 66 Microondas.

Valores de interés obtenidos

Muestra	V rms (V)	I rms (A)	S (kVA)	P (W)	Cos ϕ	Q (kVAr)
1	232.26	0.3	30.87	70.72	0.44	53.09
2	231.78	0.3	32.21	68.6	0.47	49.97
3	231.13	0.28	27.24	65.49	0.42	50.05

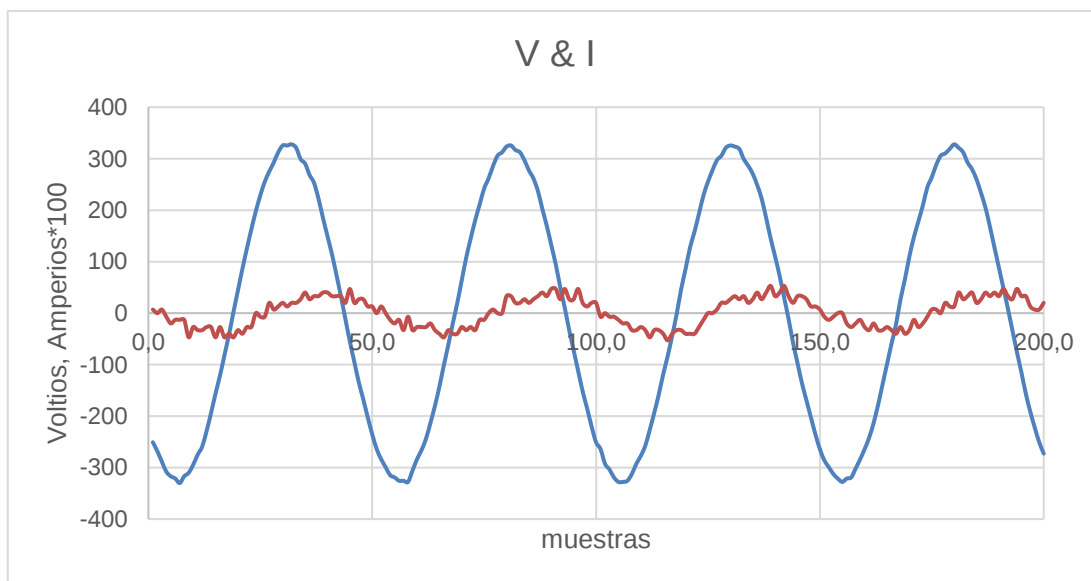


Ilustración 67 Gráfica tensión e intensidad de microondas descongelar.

Multiplicador intensidad

100

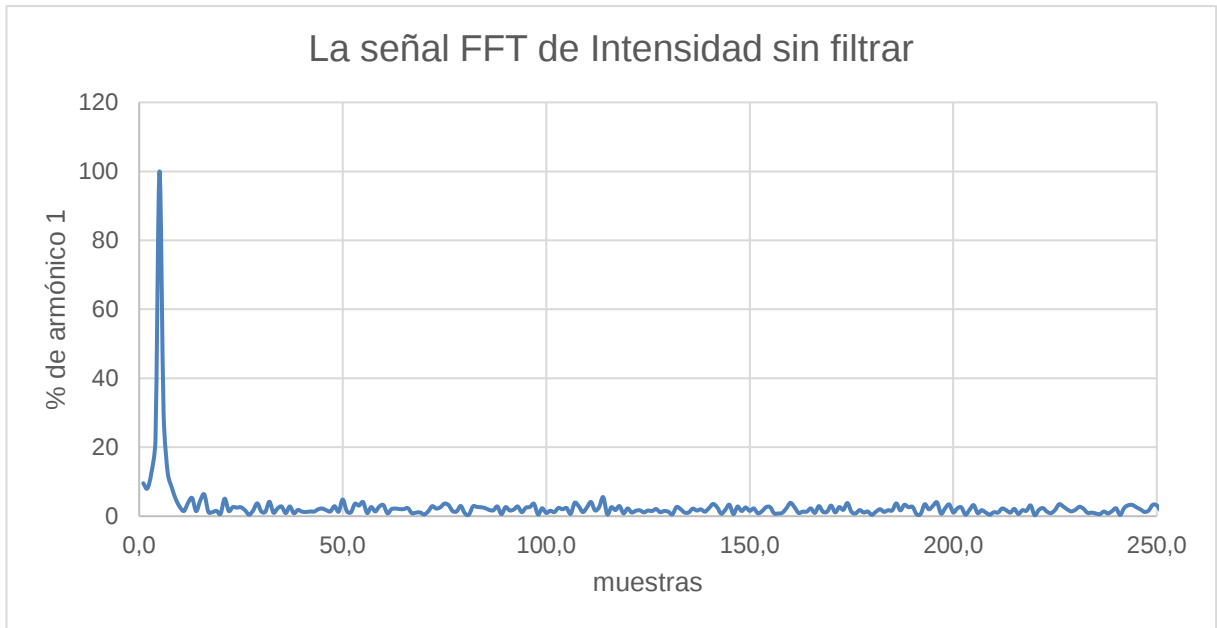


Ilustración 68 Señal FFT de Intensidad sin filtrar de Microondas descongelar.

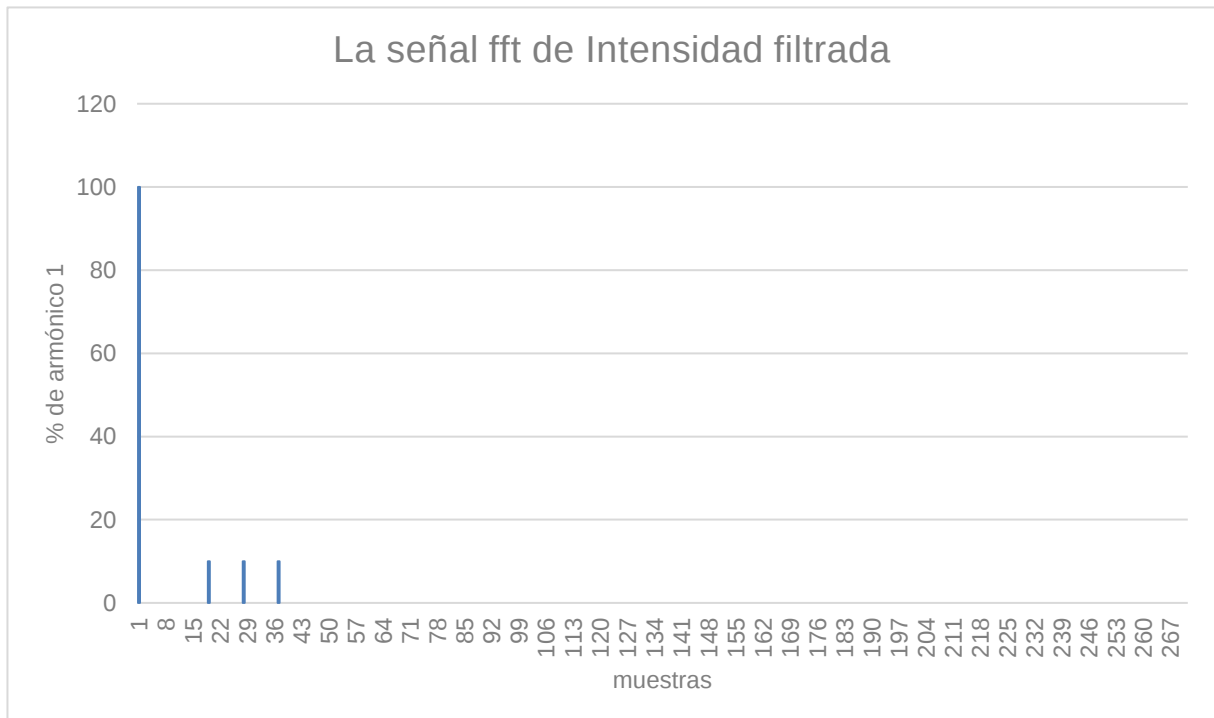


Ilustración 69 Señal FFT filtrada de Microondas descongelar.

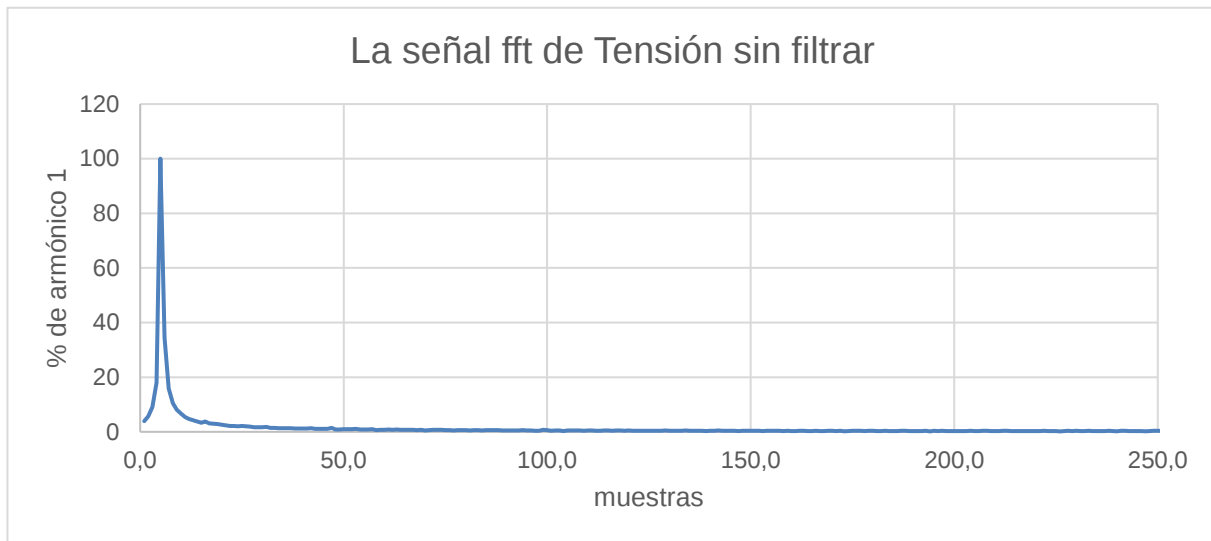


Ilustración 70 Señal de FFT de tensión sin filtrar microondas descongelar.

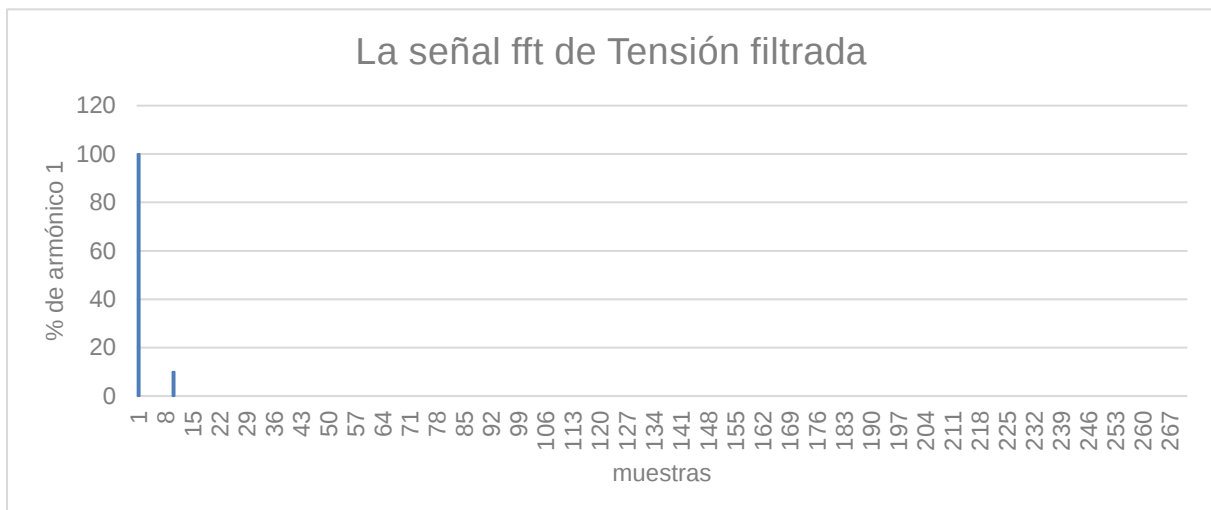


Ilustración 71 Señal FFT de tensión filtrada microondas descongelar.

Observaciones:

Los datos reflejan un microondas funcionando en modo descongelar. Los datos son muy estables y no presentan una clara distorsión de la onda por lo que no hay armónicos presentes en la medida.

8.7 Tira led 2 m

Datos del dispositivo

Fabricante	Chino	
Modelo	-	
Consumo	20	W
Voltaje	230	V
Frecuencia	50	Hz
Monofásico	SI	
Trifásico		
Intensidad Max		A
Voltaje de salida	19	V



Ilustración 72 Tira de led.

Valores de interés obtenidos

Muestra	V rms (V)	I rms (A)	S (kVA)	P (W)	Cos ϕ	Q (kVAR)
1	231.45	0.11	12.03	25.03	0.48	18.04
2	230.52	0.15	11.67	33.93	0.34	27.49
3	232.6	0.11	9.18	25.46	0.36	20.36

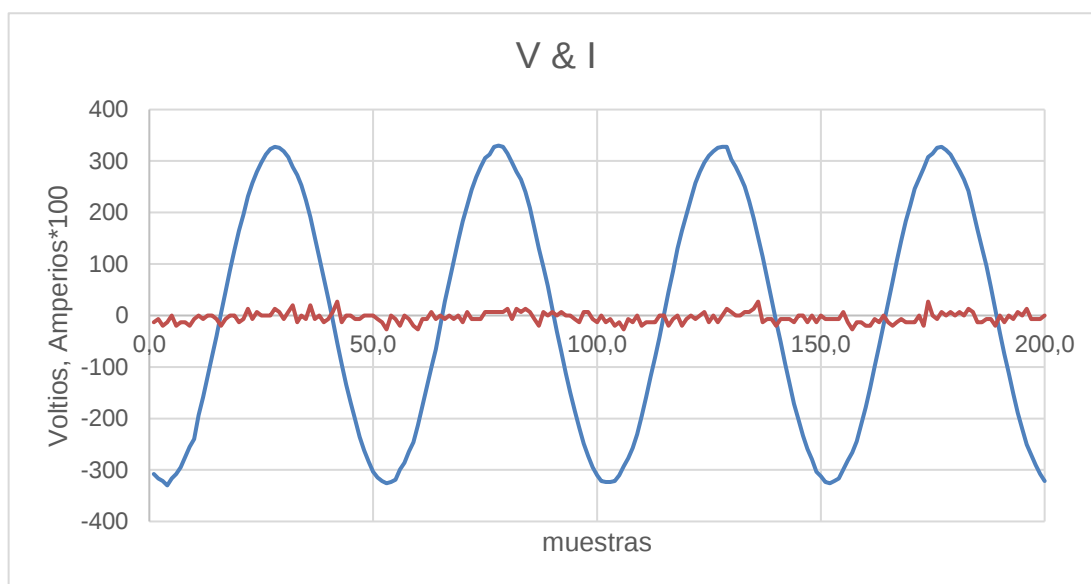


Ilustración 73 Gráfica tensión e intensidad de tira led.

Multiplicador intensidad

100

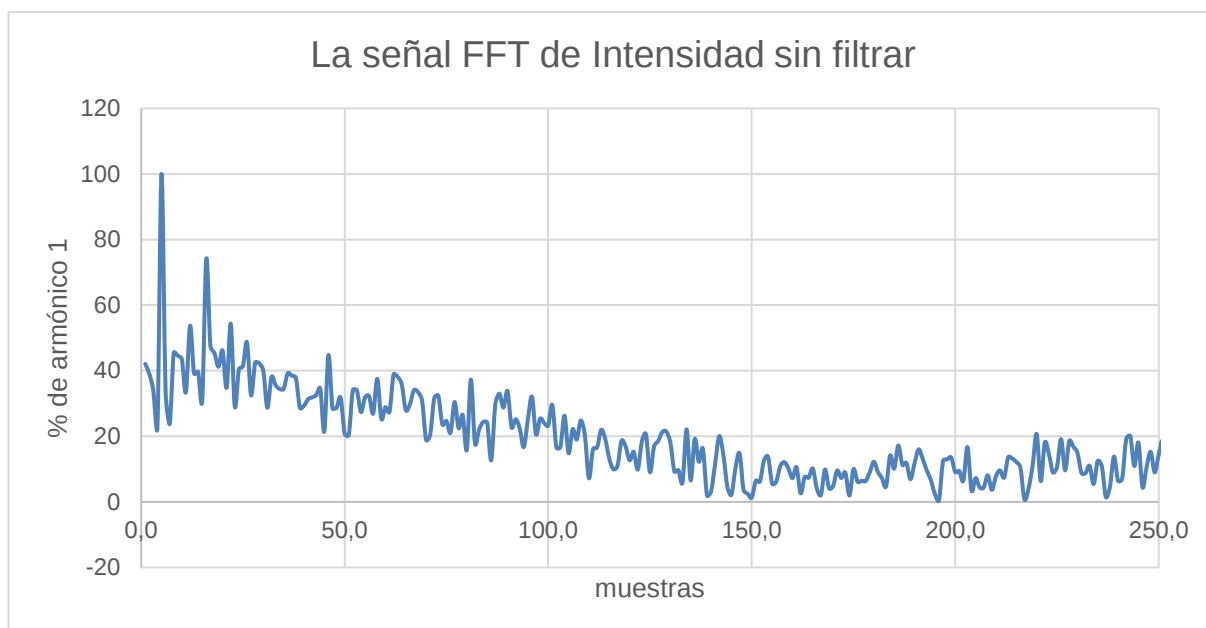


Ilustración 74 Señal FFT de Intensidad sin filtrar de tira de led.

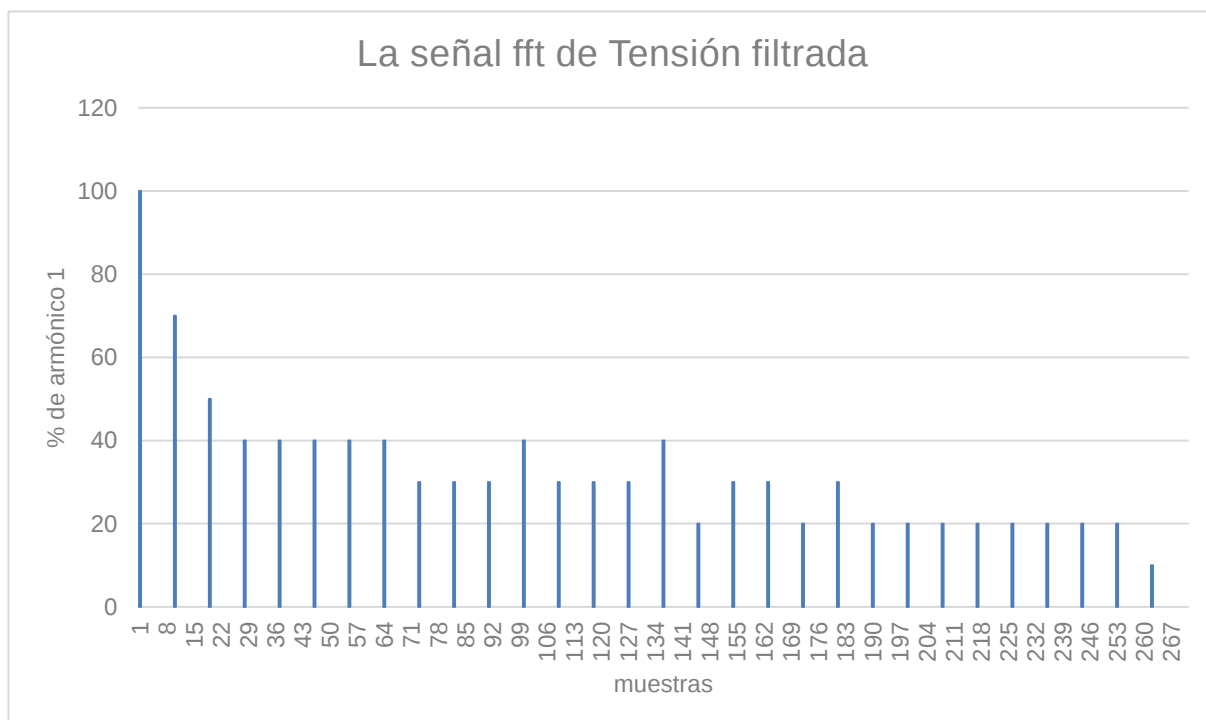


Ilustración 75 Señal FFT filtrada de tira de led.

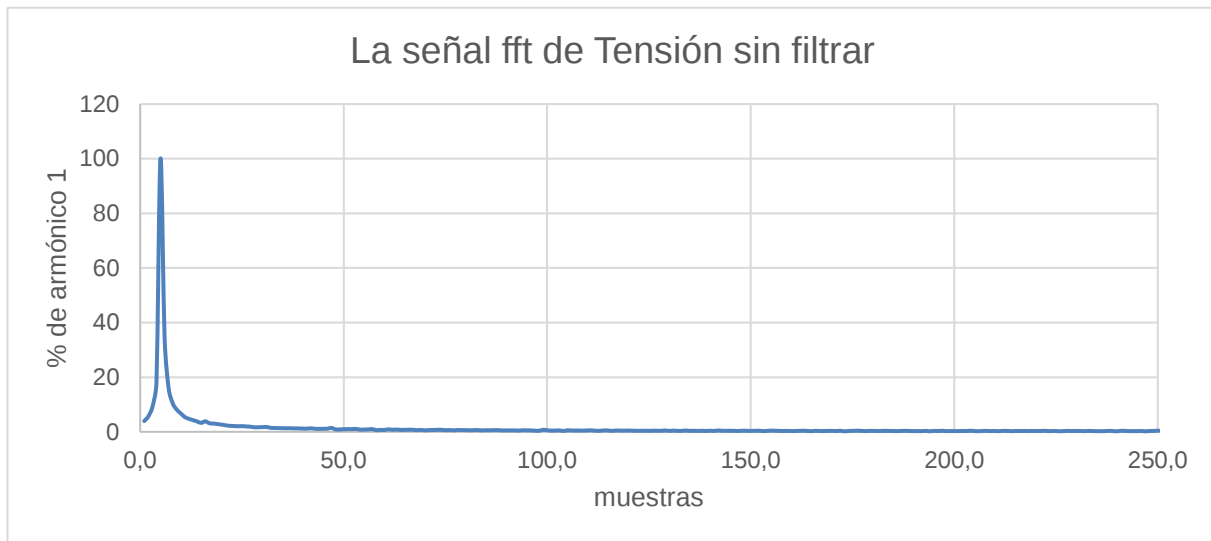


Ilustración 76 Señal de FFT de tensión sin filtrar tira de led.

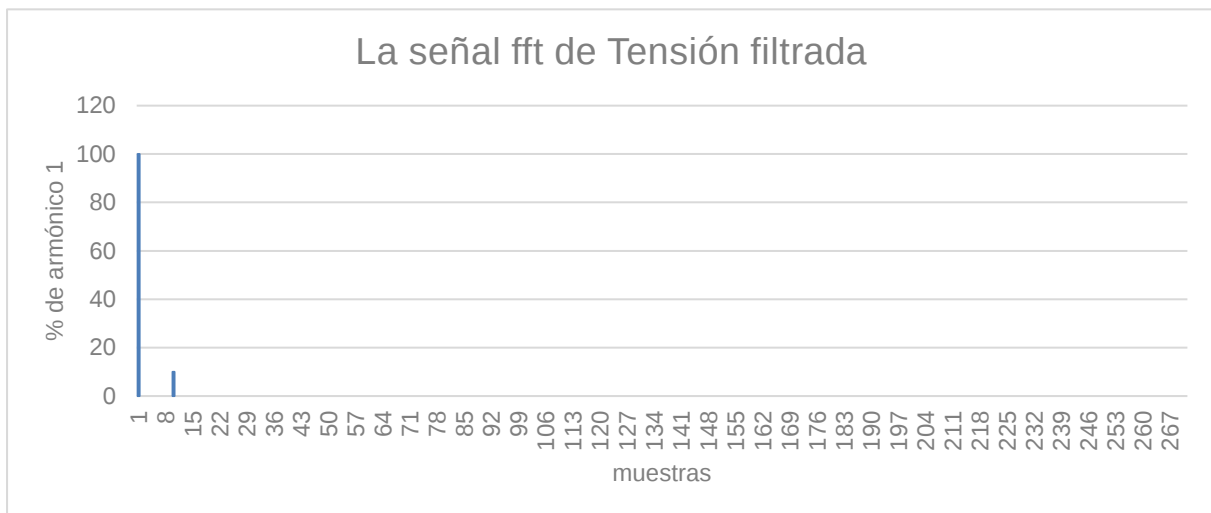


Ilustración 77 Señal FFT de tensión filtrada tira de led.

Observaciones:

Este dispositivo consume muy poca intensidad por lo que no es posible medir con precisión ningún parámetro.

8.8 Corta fiambres profesional

Datos del dispositivo

Fabricante	OMAS	
Modelo	CX MATIC 35E	
Consumo	450	W
Voltaje	230	V
Frecuencia	50	Hz
Monofásico	SI	
Trifásico		
Intensidad Max		A
Voltaje de salida		V



Ilustración 78 Maquina corta fiambres.

Valores de interés obtenidos

Muestra	V rms (V)	I rms (A)	S (kVA)	P (W)	Cos ϕ	Q (kVar)
1	220.44	1.26	147.62	277.45	0.53	189.79
2	222.11	1.25	145.19	277.05	0.52	191.13
3	220.2	1.24	137.67	272.66	0.5	191.85

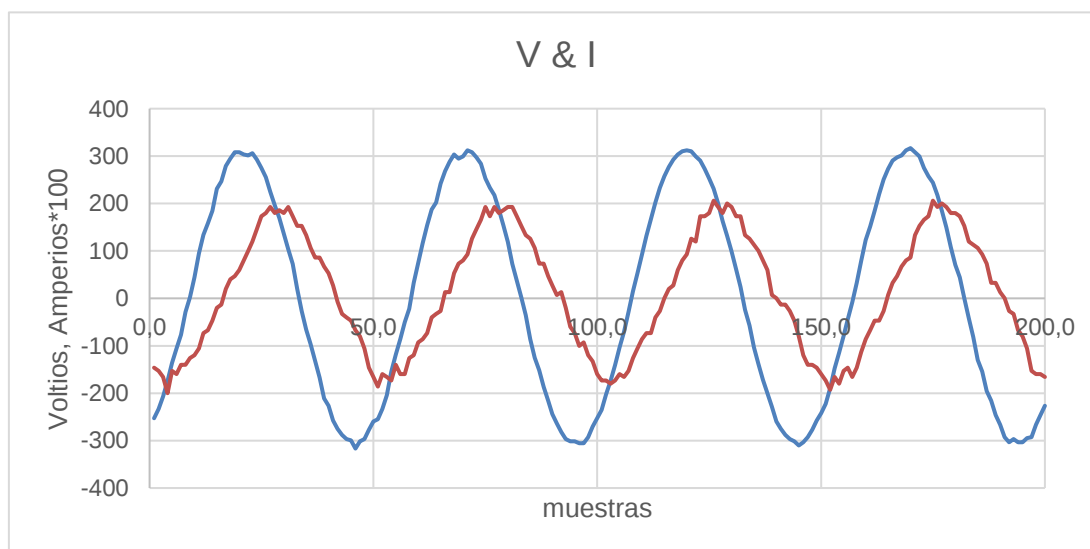


Ilustración 79 Gráfica tensión e intensidad de corta fiambres.

Multiplicador intensidad

100

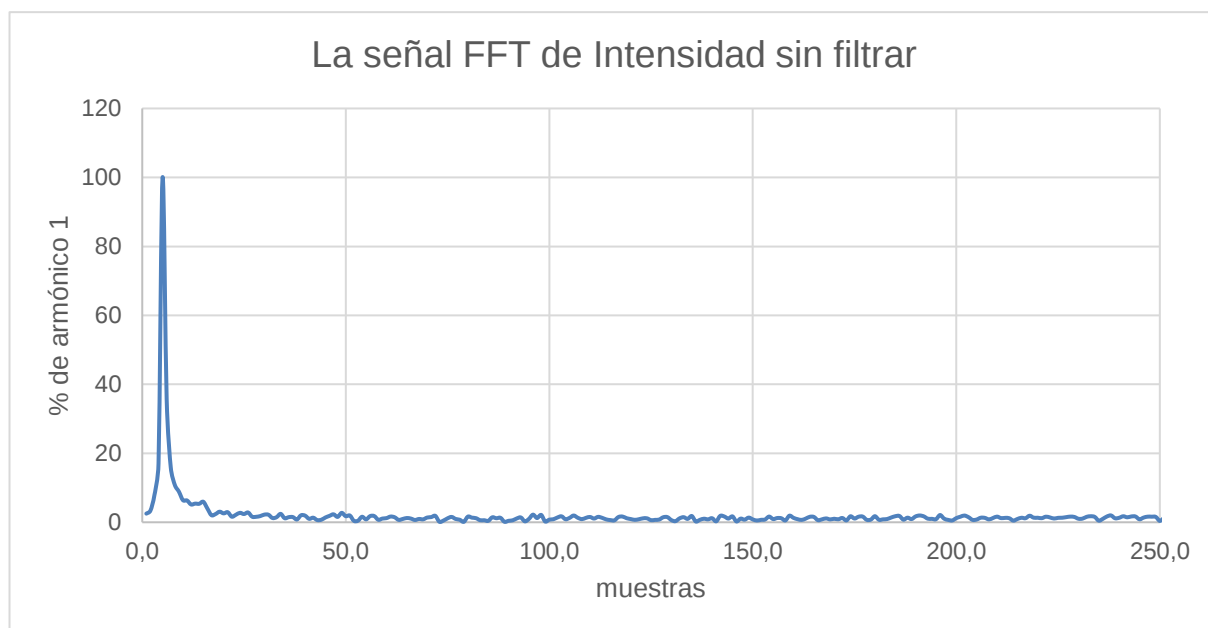


Ilustración 80 Señal FFT de Intensidad sin filtrar de corta fiambres.

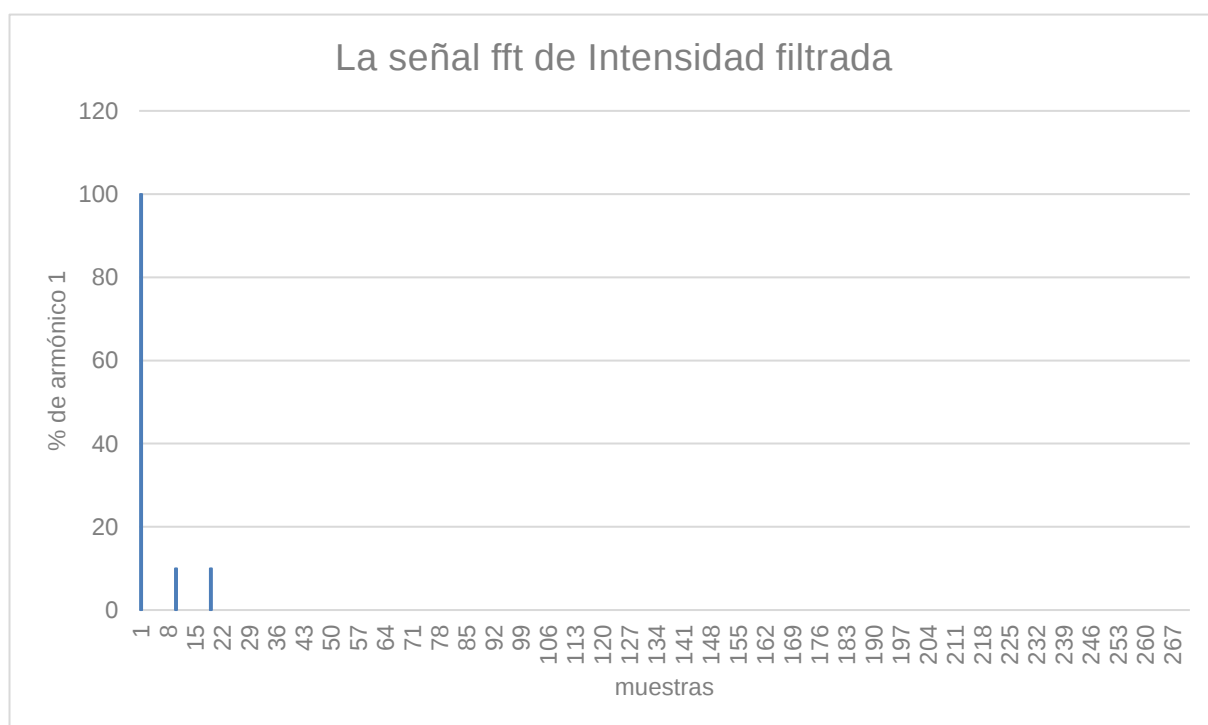


Ilustración 81 Señal FFT filtrada de corta fiambres.

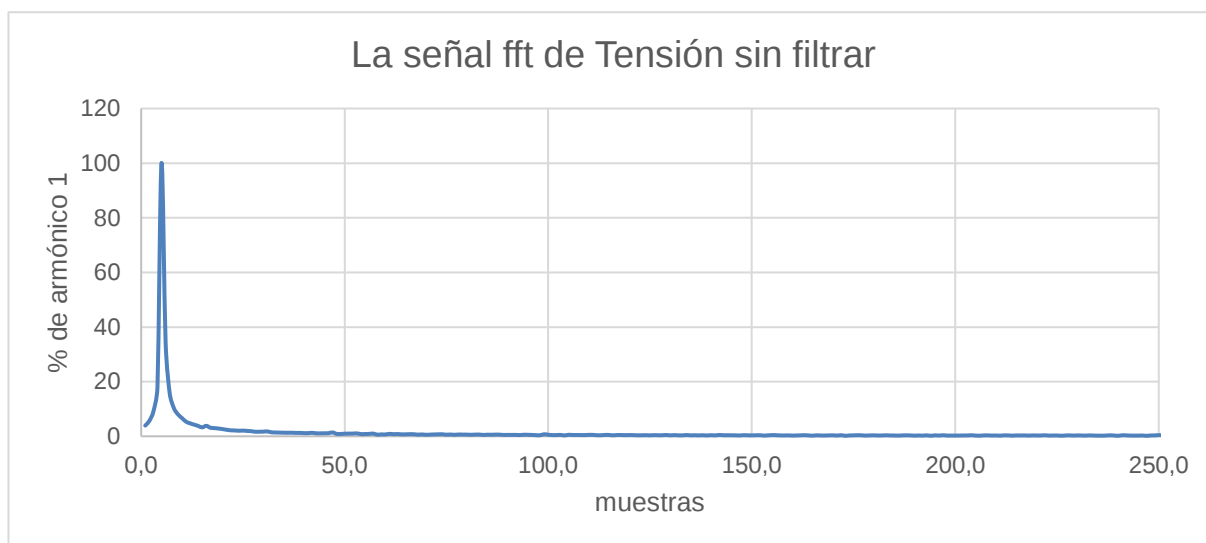


Ilustración 82 Señal de FFT de tensión sin filtrar de corta fiambres.

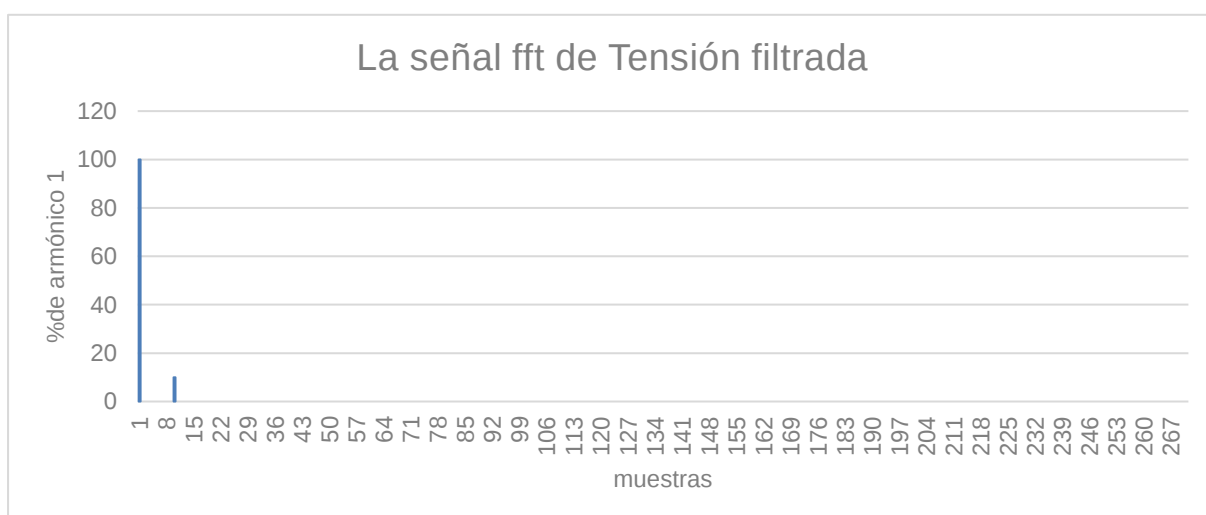


Ilustración 83 Señal FFT de tensión filtrada corta fiambres.

Observaciones:

Los datos presentados corresponden con una corta fiambres funcionando en vacío. Esta medición se realiza así problemas de seguridad, ha resultado inviable introducir una carga lineal y mantener una seguridad adecuada. Los datos obtenidos son similares a los de cualquier motor funcionando en vacío, es decir, retraso en la intensidad pero sin presencia dominante de armónicos.

8.9 Corta fiambres profesional+ carro en movimiento

Datos del dispositivo

Fabricante	OMAS	
Modelo	CX MATIC 35E	
Consumo	450	W
Voltaje	230	V
Frecuencia	50	Hz
Monofásico	SI	
Trifásico		
Intensidad Max		A
Voltaje de salida		V



Ilustración 84 Máquina corta fiambres.

Valores de interés obtenidos

Muestra	V rms (V)	I rms (A)	S (kVA)	P (W)	Cos ϕ	Q (kVAr)
1	217.94	2.26	225.98	491.86	0.46	361.63
2	219.83	2.25	225.33	495.63	0.45	366.02
3	221.03	2.45	280.58	541.51	0.52	375.89

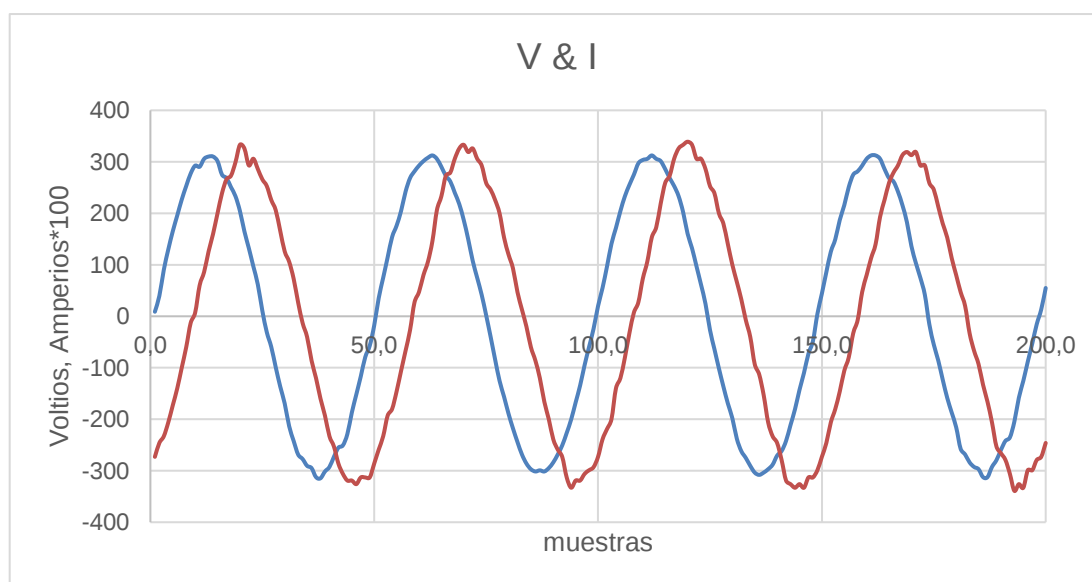


Ilustración 85 Gráfica tensión e intensidad de corta fiambres + movimiento del carro.

Multiplicador intensidad

100

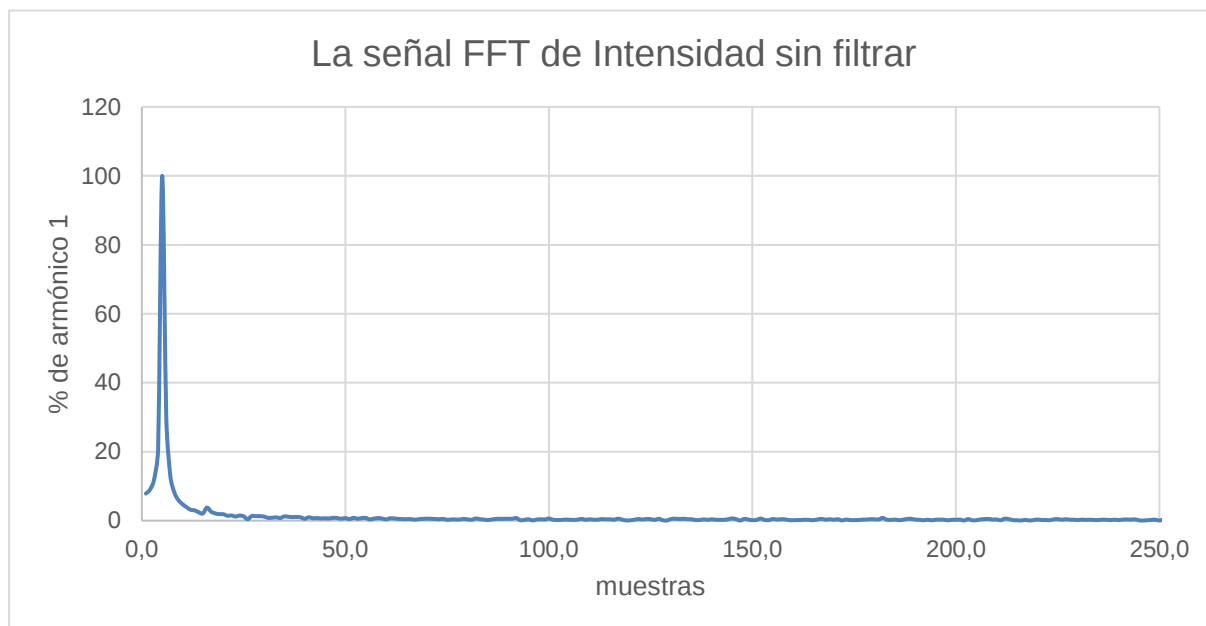


Ilustración 86 Señal FFT de Intensidad sin filtrar de corta fiambres+ movimiento del carro.

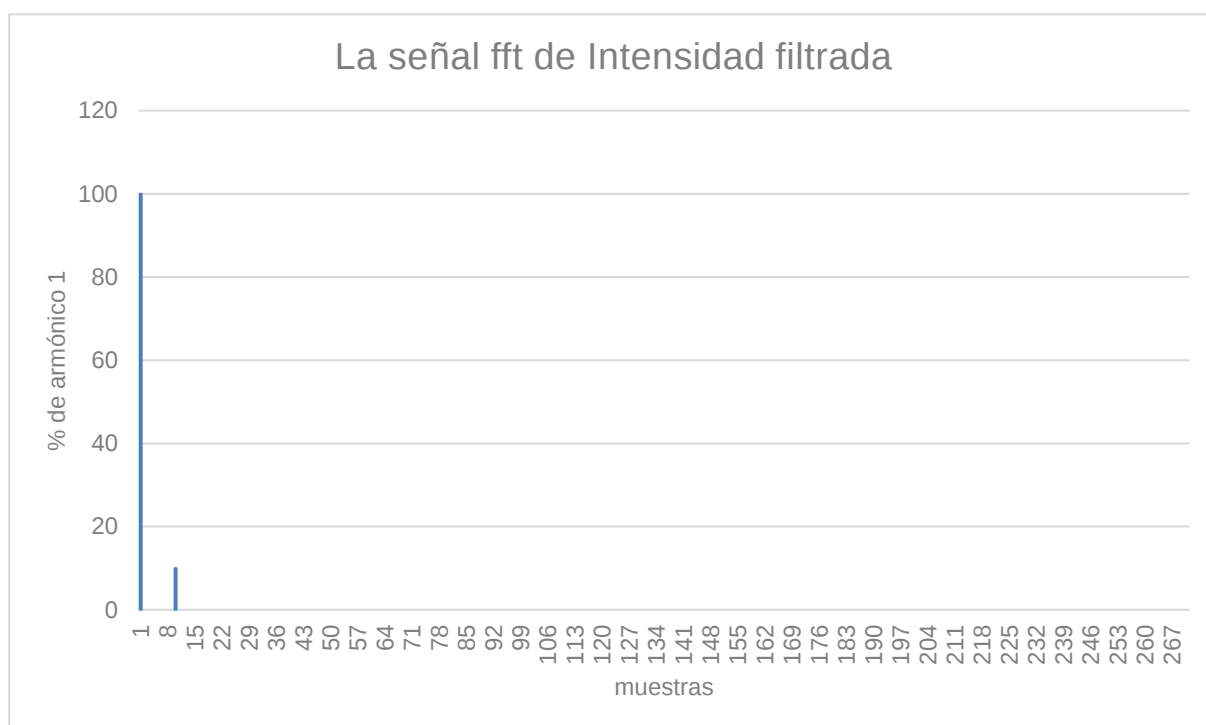


Ilustración 87 Señal FFT filtrada de corta fiambres + movimiento del carro.

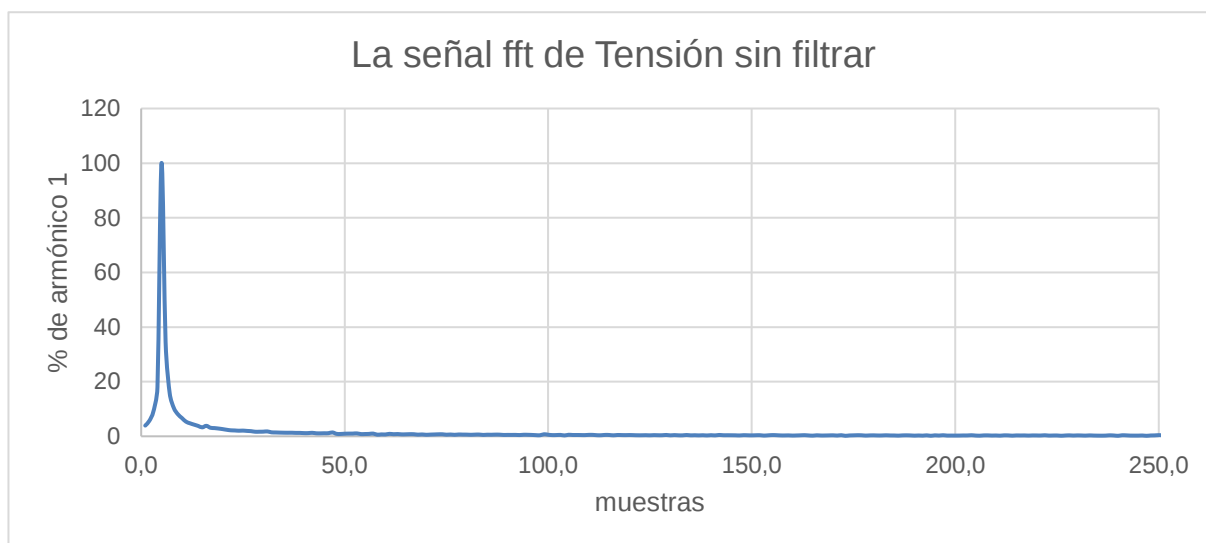


Ilustración 88 Señal de FFT de tensión sin filtrar de corta fiambres + movimiento del carro.

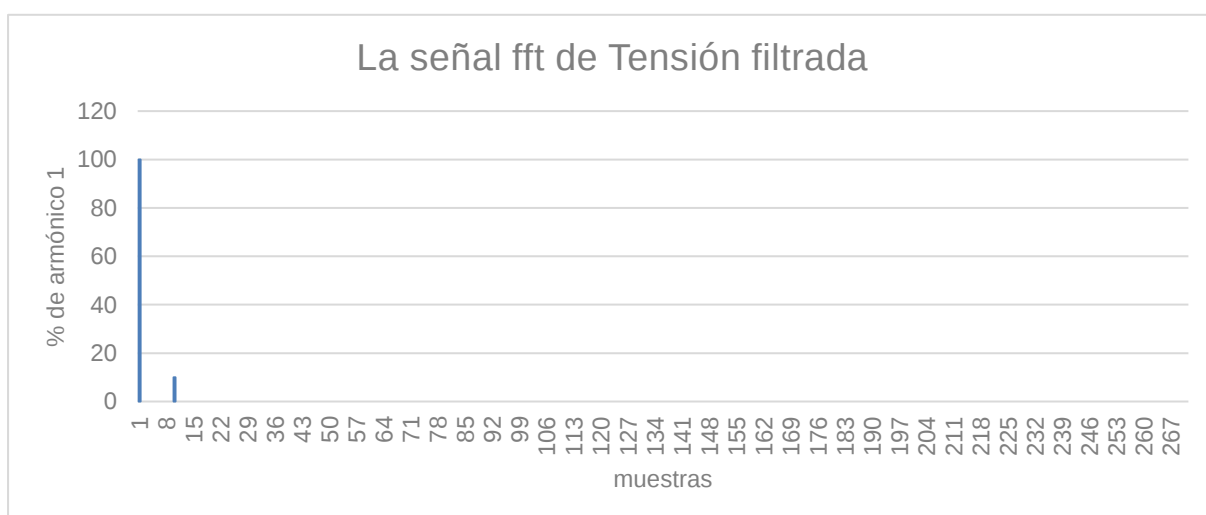


Ilustración 89 Señal FFT de tensión filtrada corta fiambres+ movimiento del carro.

Observaciones:

Las características de las señales que se obtienen son diferentes ya que además de hacer girar la cuchilla de corte, esta máquina mueve automáticamente el carrito. Se trata de una máquina de corte semiautomático. Esta medida es muy similar a la obtenida cuando la maquina funcionaba en vacío con la salvedad de que en esta ocasión se consume más intensidad.

8.10 Sierra de cinta

Datos del dispositivo

Fabricante	MAINCA	
Modelo	BM 2000	
Consumo	1100	W
Voltaje	230	V
Frecuencia	50	Hz
Monofásico	SI	
Trifásico		
Intensidad Max		A
Voltaje de salida		V



Ilustración 90 Sierra de cinta.

Valores de interés obtenidos

Muestra	V rms (V)	I rms (A)	S (kVA)	P (W)	Cos ϕ	Q (kVar)
1	218.04	3.1	268.75	676.45	0.4	525.15
2	220.13	3.06	260.89	673.22	0.39	526.87
3	237.02	3.07	267.82	727.52	0.37	578.31



Ilustración 91 Gráfica tensión e intensidad de sierra de cinta.

Multiplicador intensidad

100

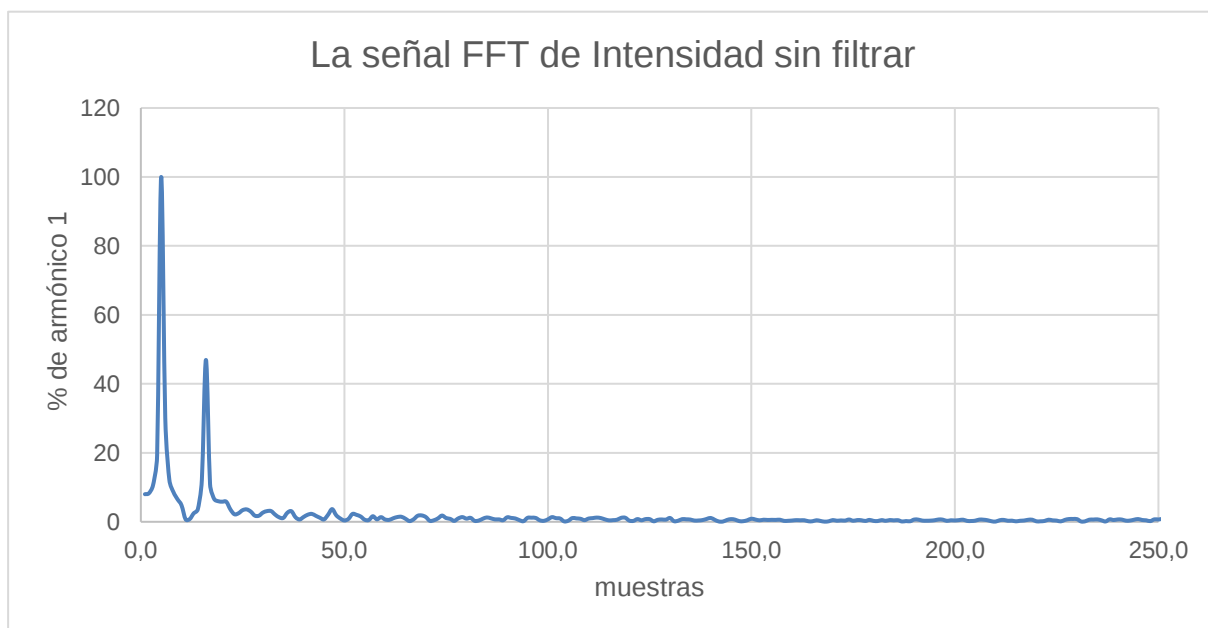


Ilustración 92 Señal FFT de Intensidad sin filtrar de sierra de cinta.

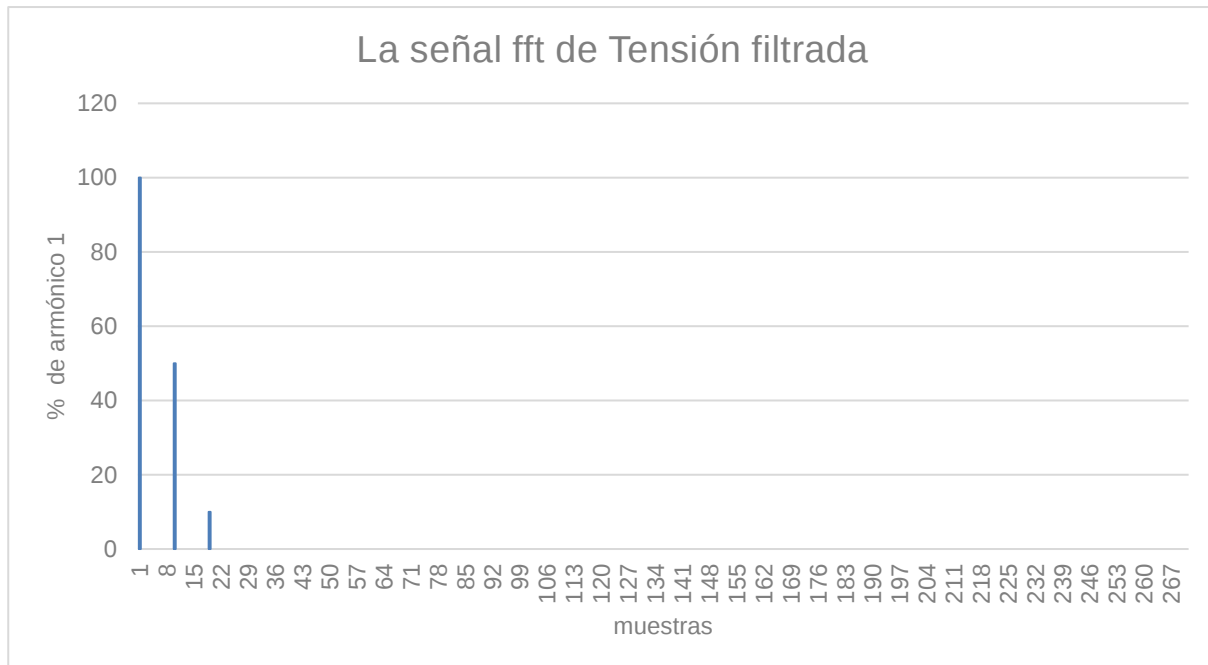


Ilustración 93 Señal FFT filtrada de sierra de cinta.

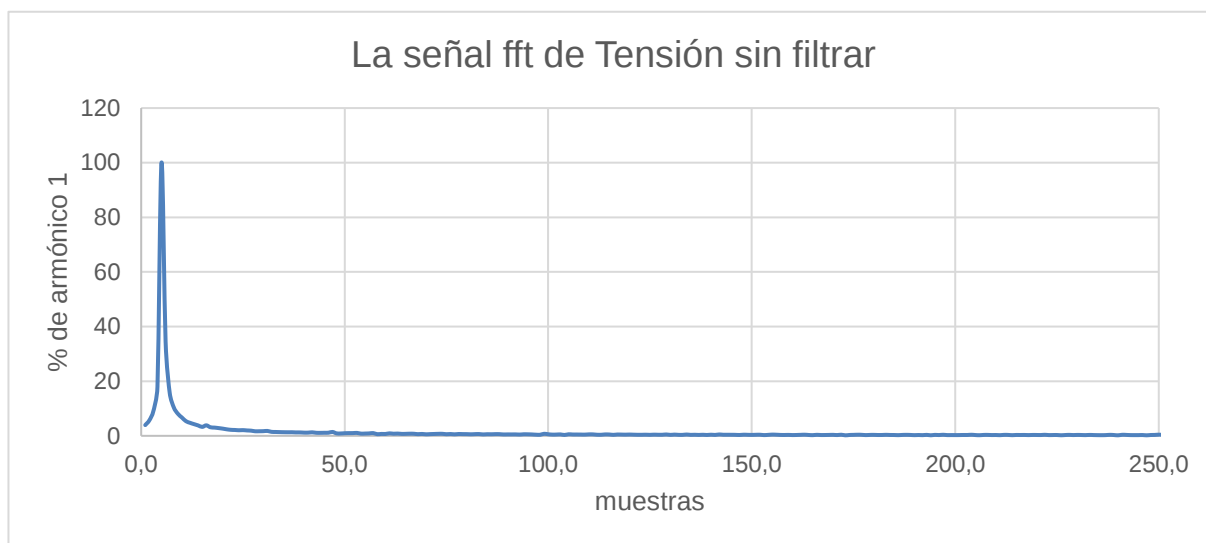


Ilustración 94 Señal de FFT de tensión sin filtrar de sierra de cinta.

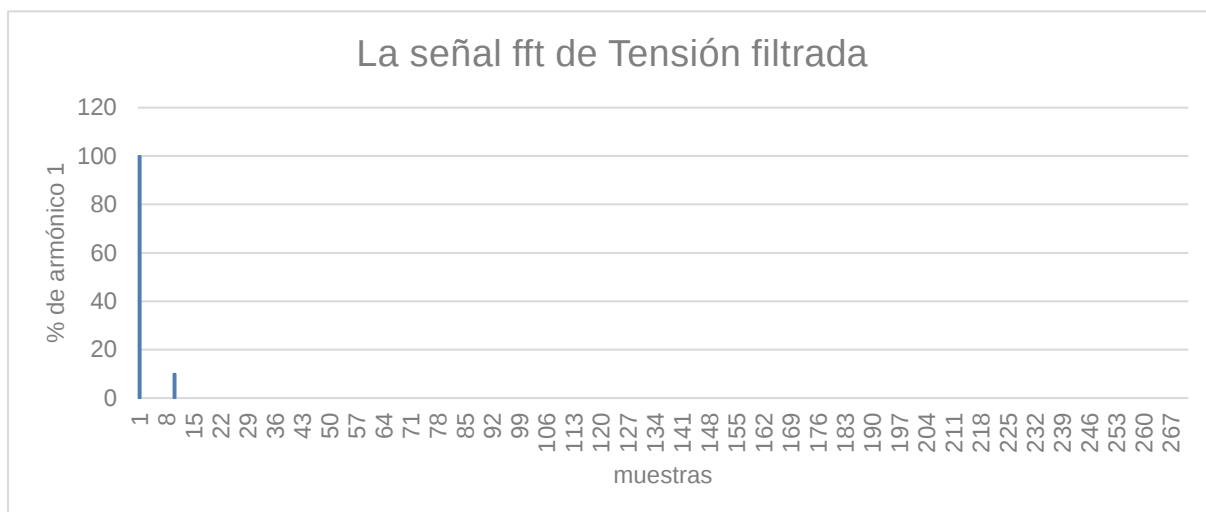


Ilustración 95 Señal FFT de tensión filtrada sierra de cinta

Observaciones:

Esta máquina no se ha podido medir en carga, por problemas de seguridad. Es necesario destacar que se introduce un armónico de cierta magnitud en la red. Mas concretamente el segundo armónico que llega a ser el 50% de la frecuencia fundamental.

8.11 Picadora de carne en vacío

Datos del dispositivo

Fabricante		
Modelo	TC-22	
Consumo	1200	W
Voltaje	230	V
Frecuencia	50	Hz
Monofásico	SI	
Trifásico		
Intensidad Max		A
Voltaje de salida		V



Ilustración 96 Picadora de carne.

Valores de interés obtenidos

Muestra	V rms (V)	I rms (A)	S (kVA)	P (W)	Cos ϕ	Q (kVAR)
1	218.04	3.1	268.75	676.45	0.4	525.15
2	220.13	3.06	260.89	673.22	0.39	526.87
3	237.02	3.07	267.82	727.52	0.37	578.31

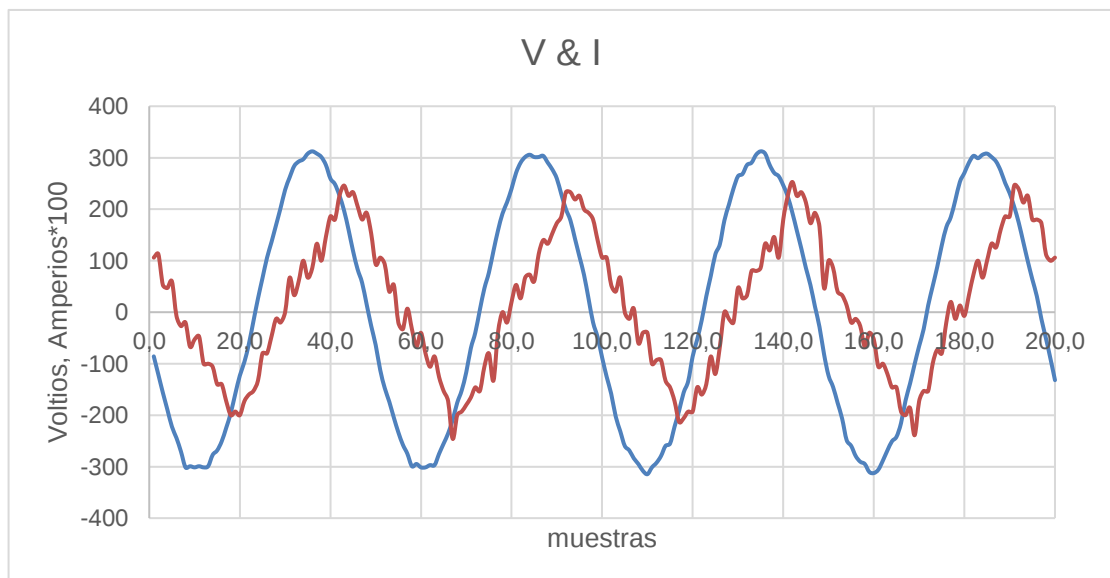


Ilustración 97 Gráfica tensión e intensidad de picadora de carne en vacío.

Multiplicador intensidad

100

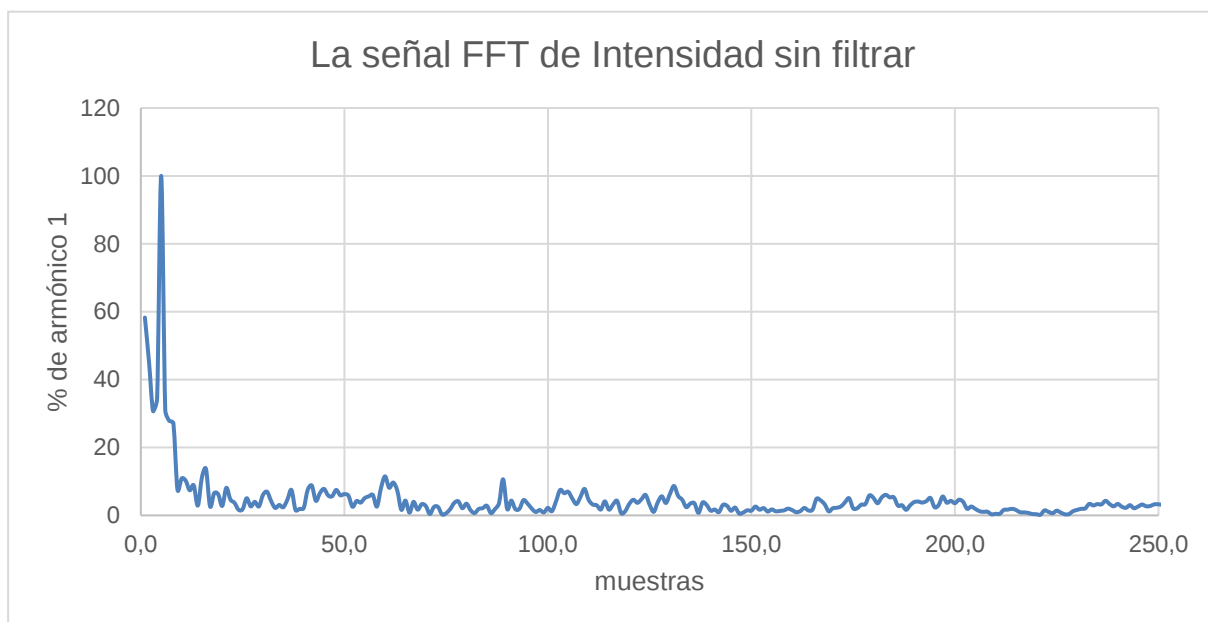


Ilustración 98 Señal FFT de Intensidad sin filtrar de picadora de carne en vacío.

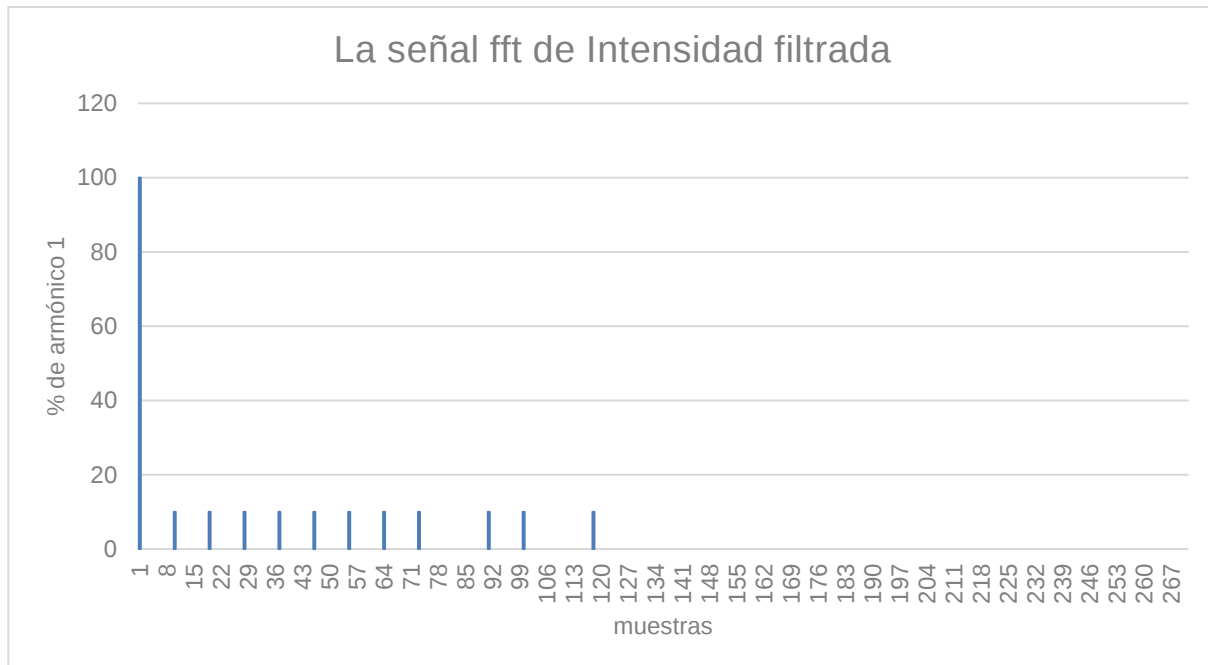


Ilustración 99 Señal FFT filtrada de picadora de carne en vacío.

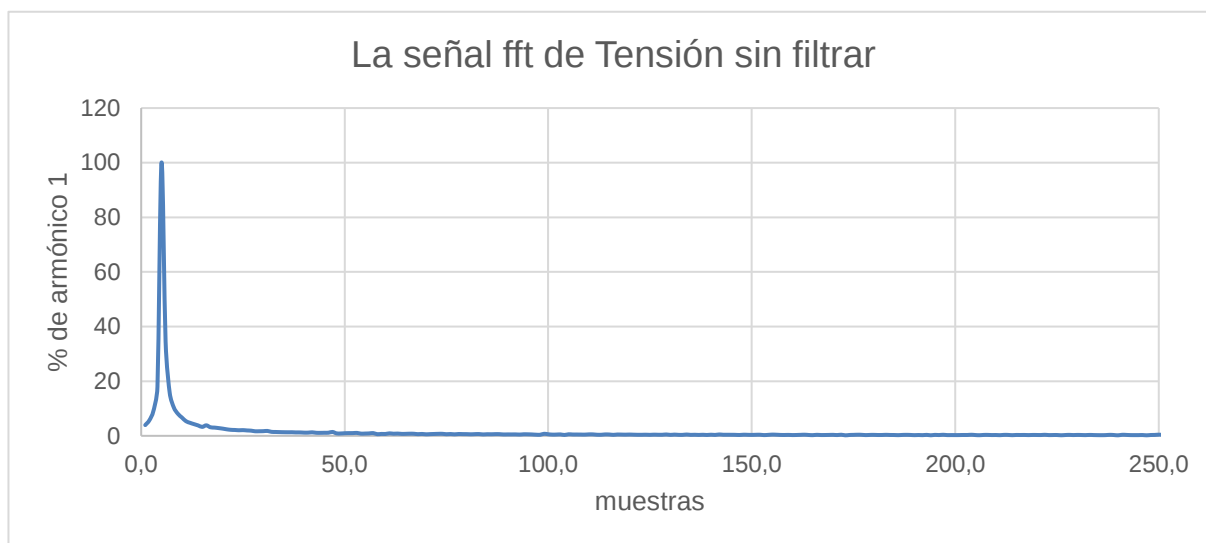


Ilustración 100 Señal de FFT de tensión sin filtrar de picadora de carne en vacío.

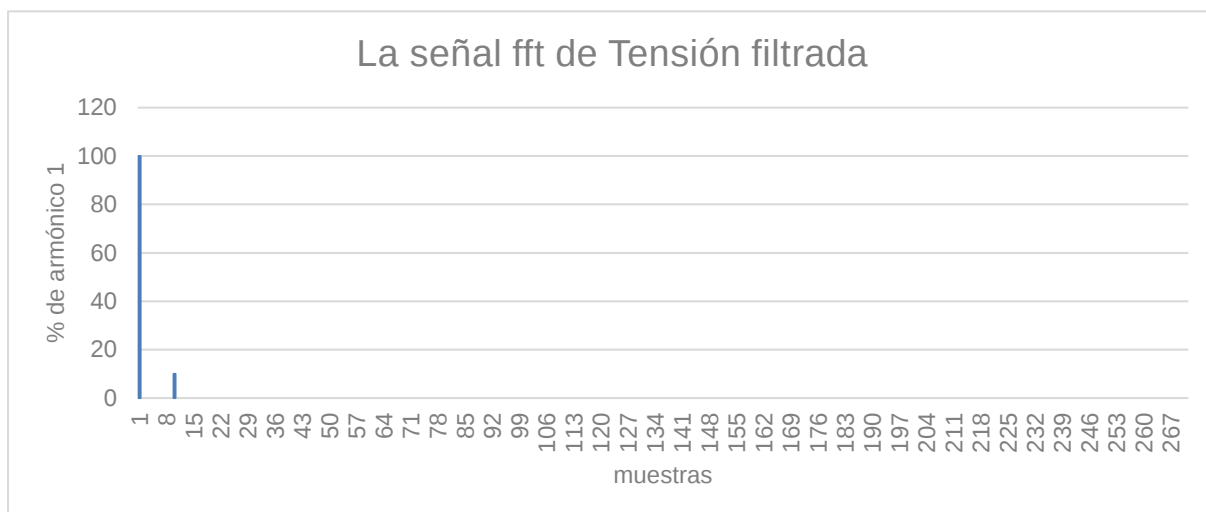


Ilustración 101 Señal FFT de tensión filtrada picadora de carne en vacío.

Observaciones:

Este análisis se lleva a cabo con la máquina girando en vacío. Esta máquina presenta unas irregularidades en la intensidad que pueden ser debidas a su propio mecanismo interno donde puede tener zonas con mayor o menor fricción. Esto hace que la salida de FFT presente valores bajos a altas frecuencias.

8.12 Picadora de carne en carga

Datos del dispositivo

Fabricante		
Modelo	TC-22	
Consumo	1200	W
Voltaje	230	V
Frecuencia	50	Hz
Monofásico	SI	
Trifásico		
Intensidad Max		A
Voltaje de salida		V



Ilustración 102 picadora de carne.

Valores de interés obtenidos

Muestra	V rms (V)	I rms (A)	S (kVA)	P (W)	Cos ϕ	Q (kVAR)
1	217.93	4.63	728.82	1009.73	0.72	532.58
2	217.64	3.34	578.83	726.51	0.8	327.56
3	220.84	1.95	314.46	429.77	0.73	222.61

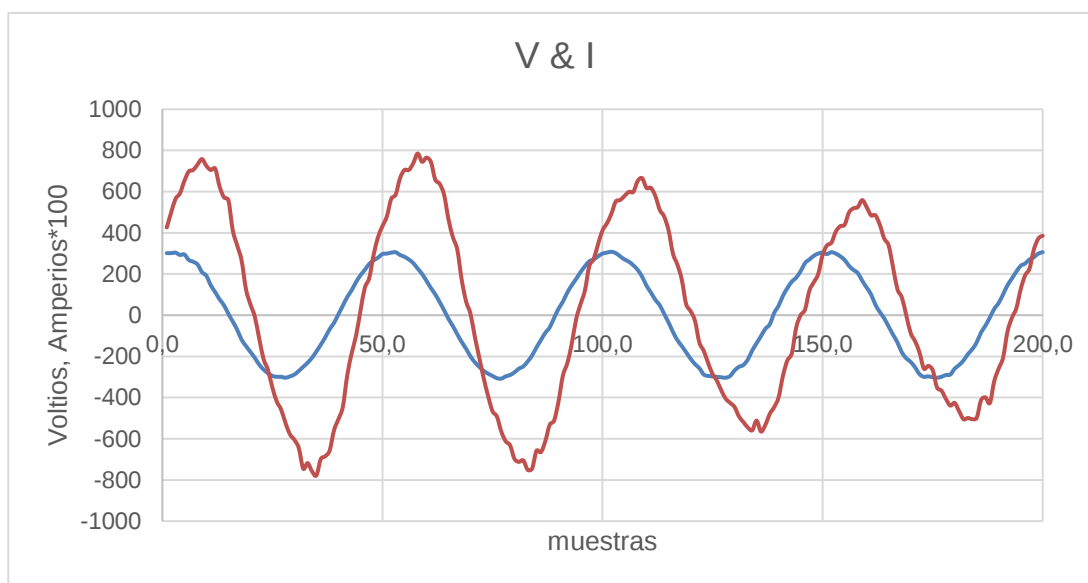


Ilustración 103 Gráfica tensión e intensidad de picadora en carga.

Multiplicador intensidad

100

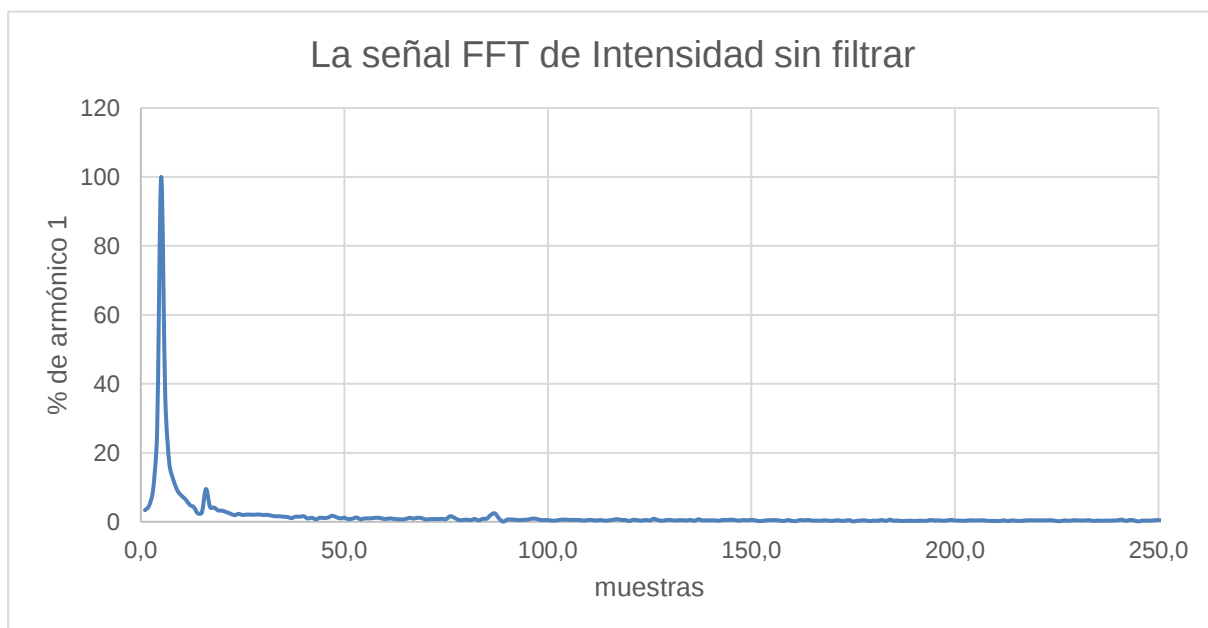


Ilustración 104 Señal FFT de Intensidad sin filtrar de picadora en carga.

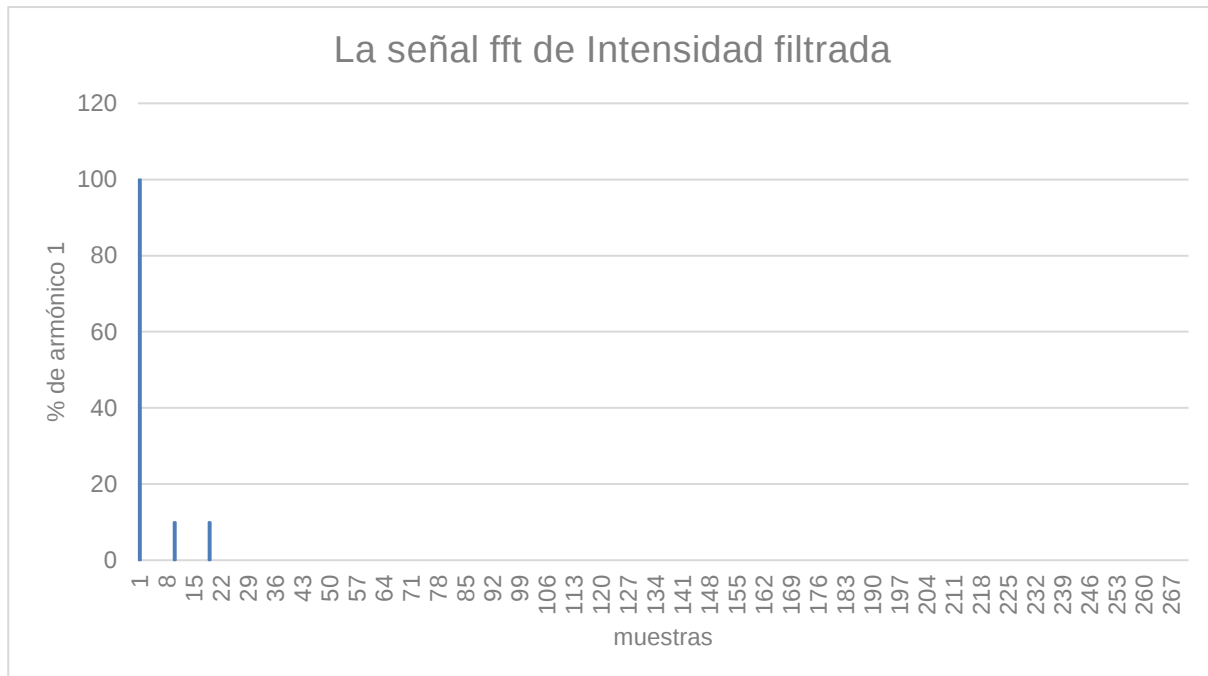


Ilustración 105 Señal FFT filtrada de picadora en carga.

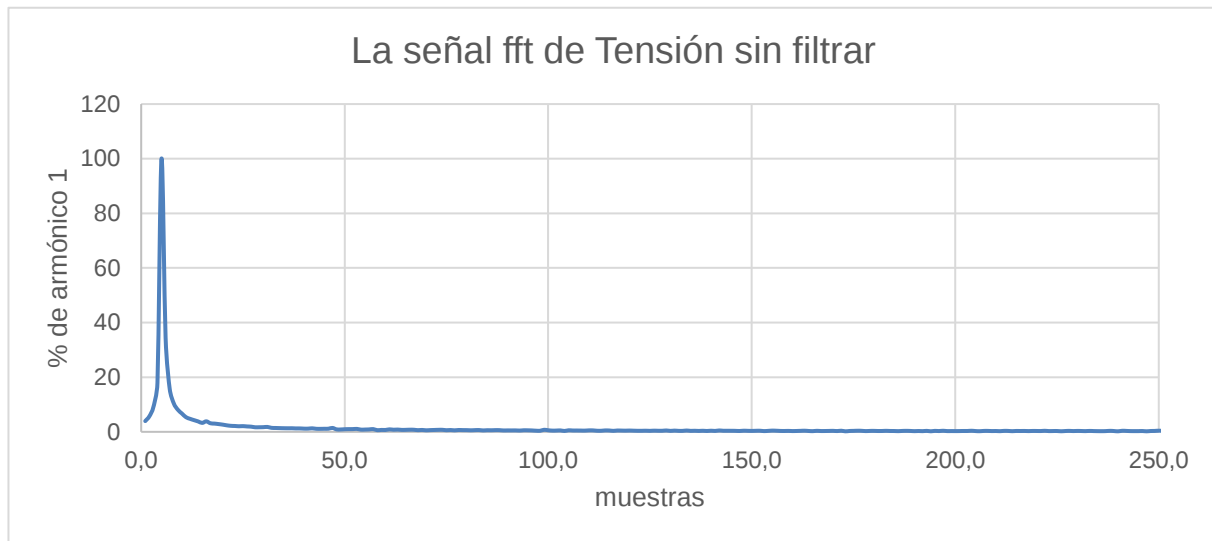


Ilustración 106 Señal de FFT de tensión sin filtrar de picadora en carga.

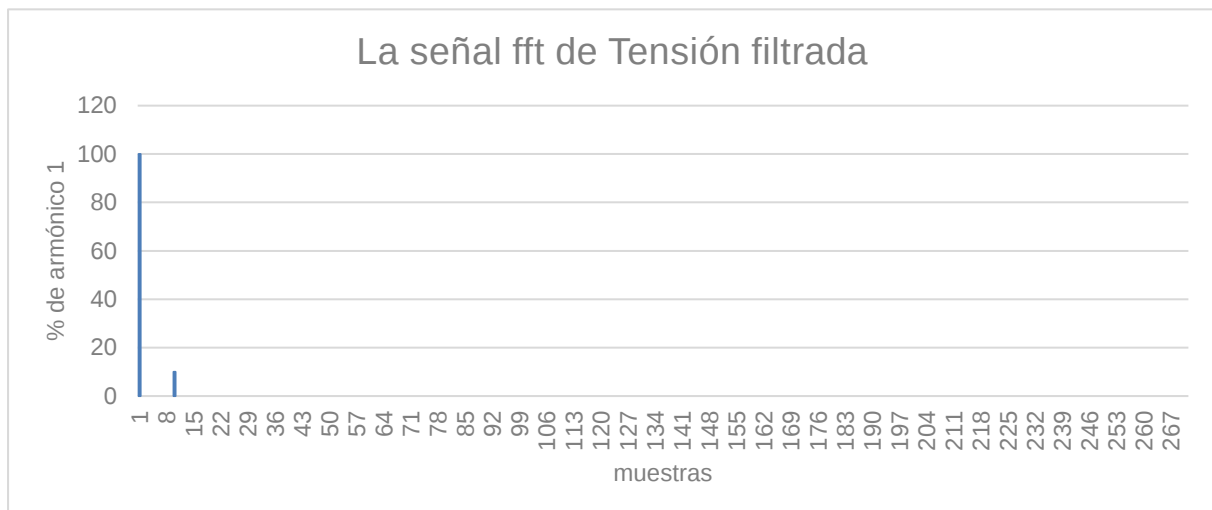


Ilustración 107 Señal FFT de tensión filtrada picadora en carga.

Observaciones:

Este análisis se lleva a cabo con la máquina mientras picaba carne, es decir, en carga. Se ha seleccionado esta imagen de tensión e intensidad ya que en ella se puede ver cómo afecta el transitorio de pasar de funcionar a máxima carga, es decir, a máxima potencia, a un estado de carga nominal. No se destaca ningún otro parámetro pues es muy similar a su funcionamiento en vacío con la salvedad de que consume mas energía.

8.13 Vitrina

Datos del dispositivo

Fabricante		
Modelo		
Consumo	No conocido	W
Voltaje	230	V
Frecuencia	50	Hz
Monofásico	SI	
Trifásico		
Intensidad Max		A
Voltaje de salida		V



Ilustración 108 Vitrina.

Valores de interés obtenidos

Muestra	V rms (V)	I rms (A)	S (kVA)	P (W)	Cos ϕ	Q (kVar)
1	222.22	2	41.48	443.97	0.09	422.72
2	224.67	2.01	39.44	450.89	0.09	430.72
3	222.33	2.04	52.5	454.46	0.12	427.4

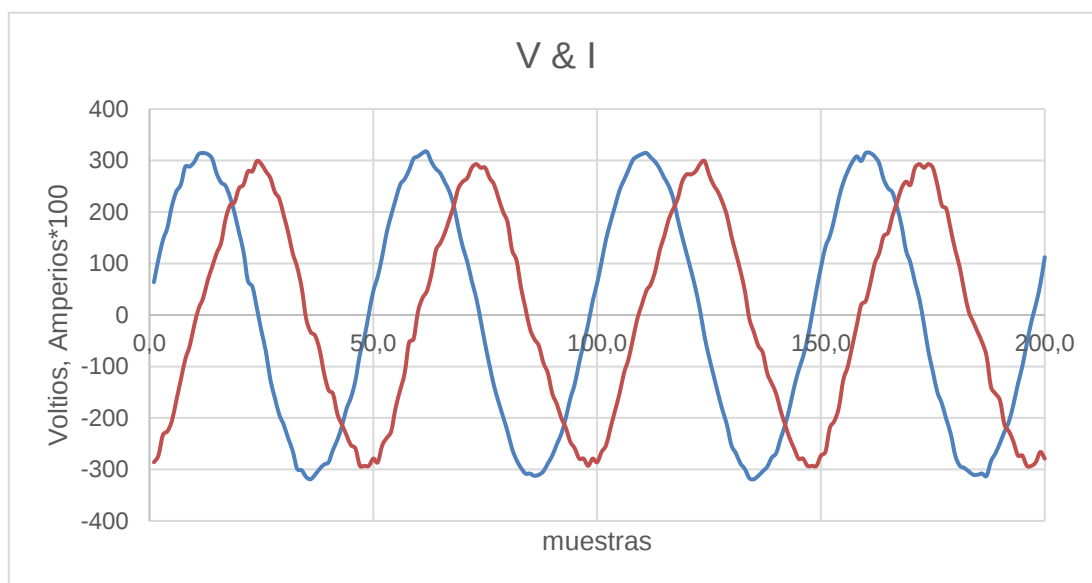


Ilustración 109 Gráfica tensión e intensidad de vitrina.

Multiplicador intensidad

100

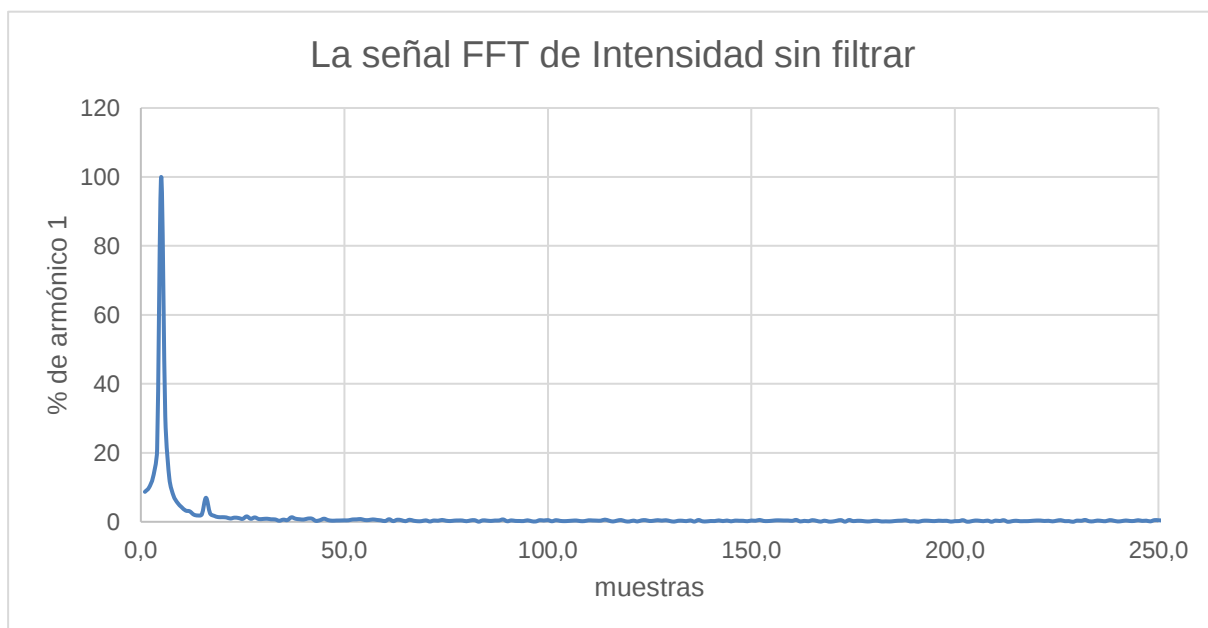


Ilustración 110 Señal FFT de Intensidad sin filtrar de vitrina.

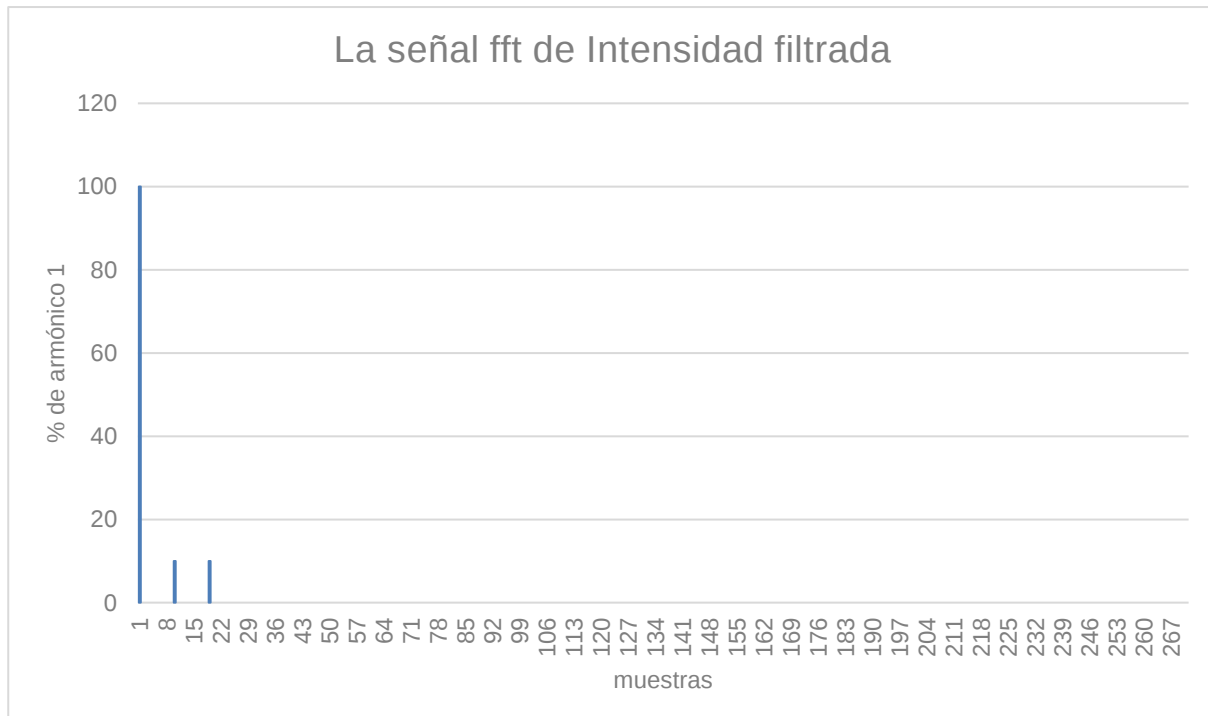


Ilustración 111 Señal FFT filtrada de vitrina.

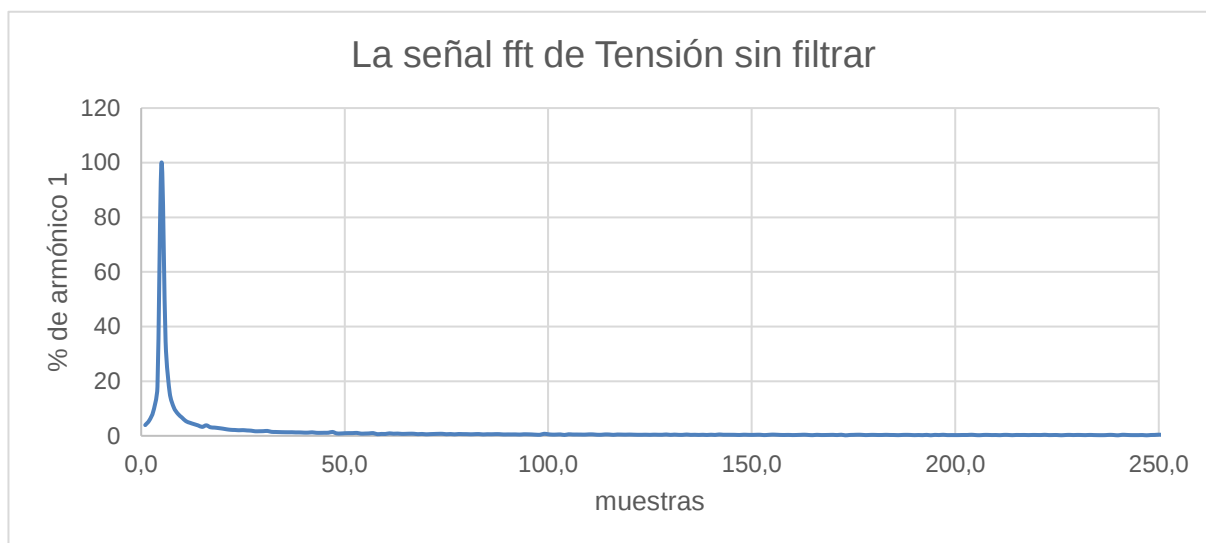


Ilustración 112 Señal de FFT de tensión sin filtrar de vitrina.

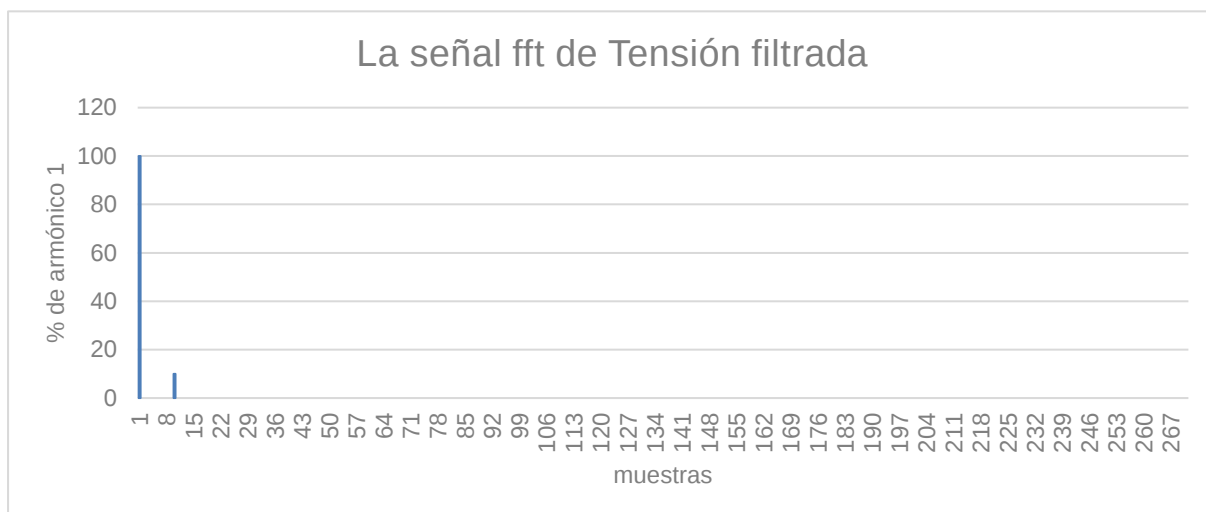


Ilustración 113 Señal FFT de tensión filtrada de vitrina.

Observaciones:

De este motor frigorífico no está disponible la placa de características. Se debe a que se encuentra sobre un falso techo al que no se tiene acceso. En cuanto a los datos obtenidos mencionar que solo se aprecia el segundo armónico de intensidad llega al 10%, en cuanto a lo demás, no hay ningún aspecto reseñable.

8.14 Sierra mano en vacío

Datos del dispositivo

Fabricante	WICK	
Modelo	SM-185-E	
Consumo	1300	W
Voltaje	230	V
Frecuencia	50	Hz
Monofásico	SI	
Trifásico		
Intensidad Max	6	A
Voltaje de salida		V



Ilustración 114 sierra de mano-

Valores de interés obtenidos

Muestra	V rms (V)	I rms (A)	S (kVA)	P (W)	Cos ϕ	Q (kVAr)
1	220.2	1.68	288.31	370.21	0.78	174.13
2	217.58	1.72	289.32	374.99	0.77	179.24
3	222.75	1.63	281.39	362.53	0.78	171.51

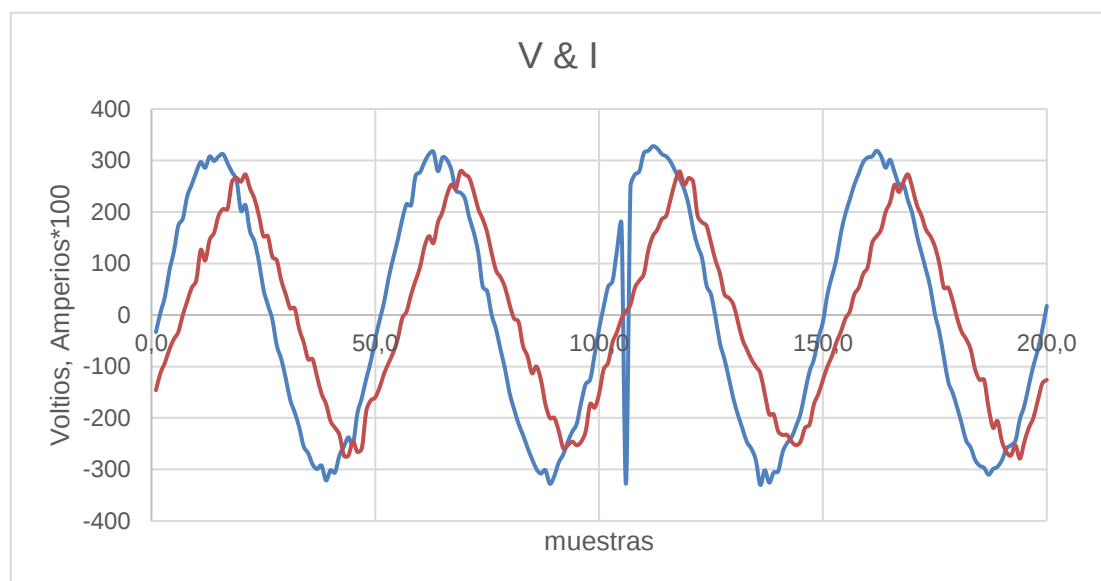


Ilustración 115 Gráfica tensión e intensidad de sierra de mano en vacío.

Multiplicador intensidad

100

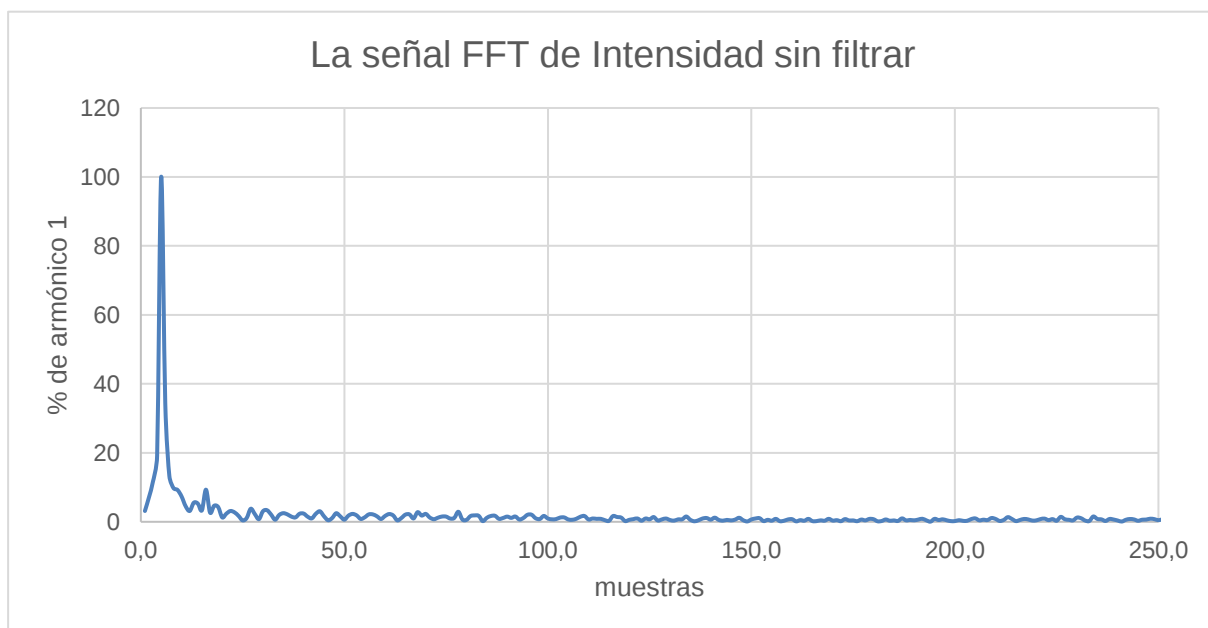


Ilustración 116 Señal FFT de Intensidad sin filtrar de sierra de mano en vacío.

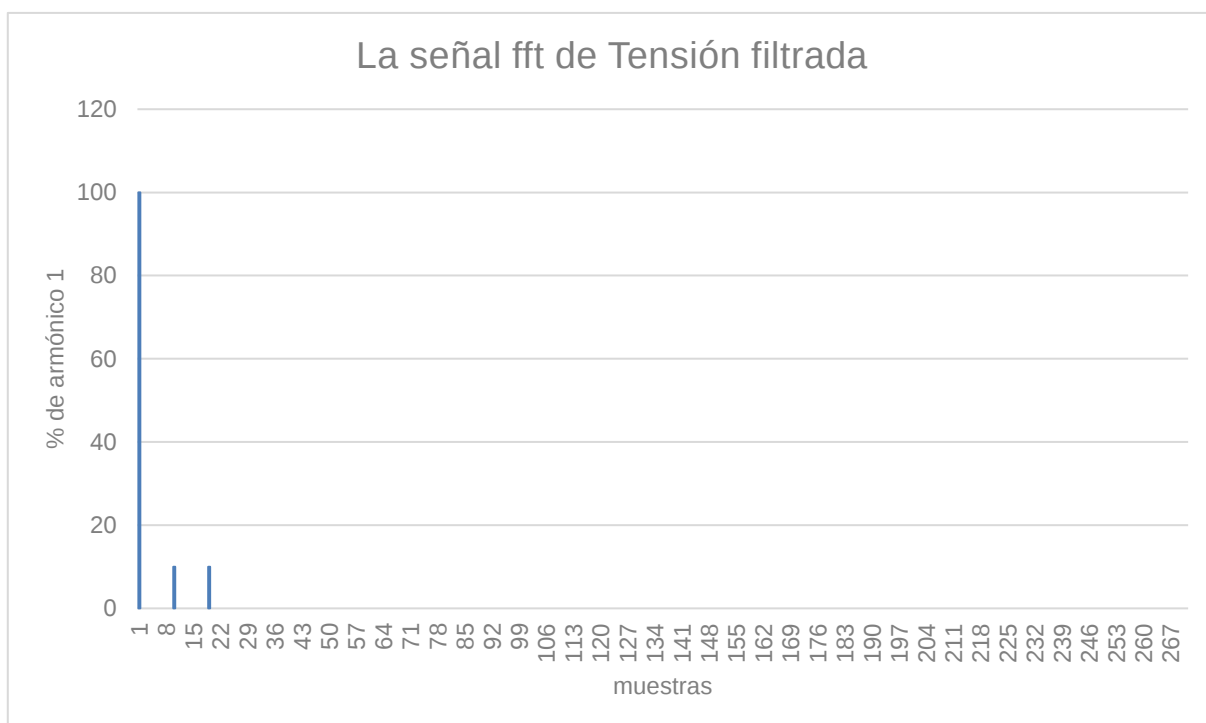


Ilustración 117 Señal FFT filtrada de sierra de mano en vacío.

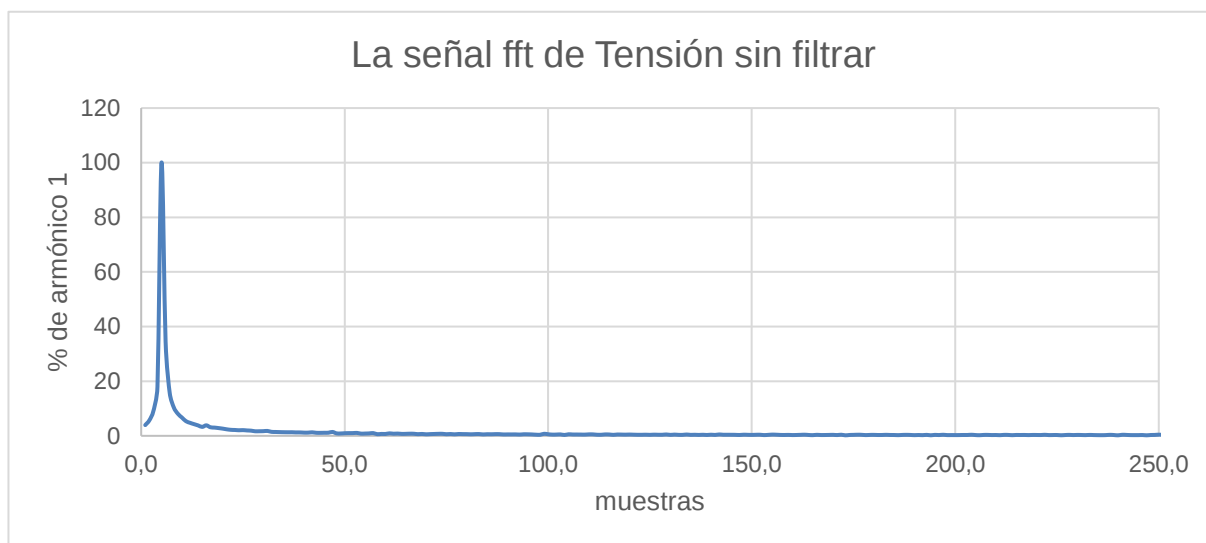


Ilustración 118 Señal de FFT de tensión sin filtrar de sierra de mano en vacío.

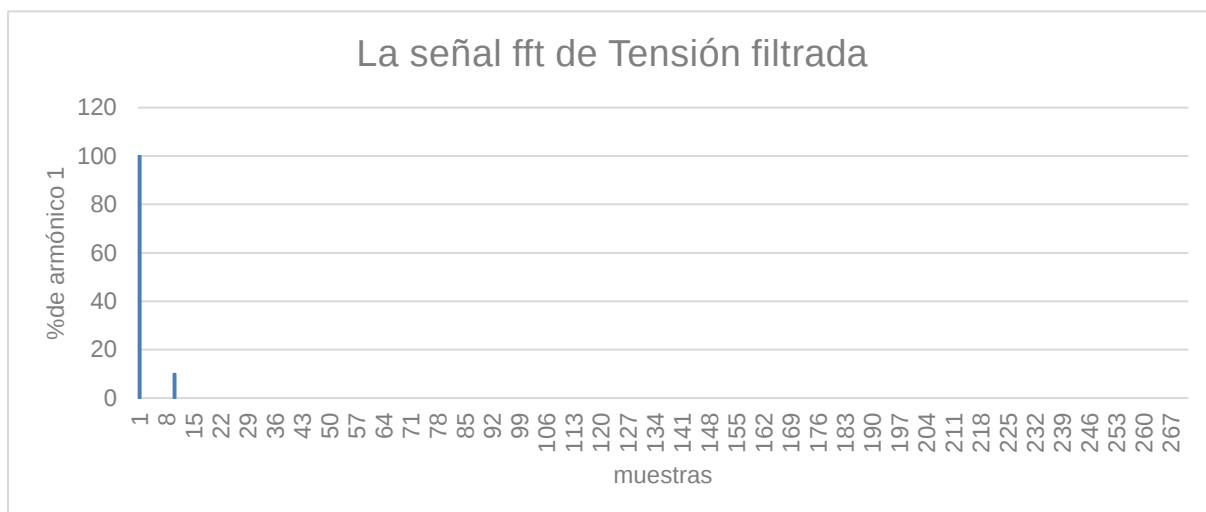


Ilustración 119 Señal FFT de tensión filtrada de sierra de mano en vacío.

Observaciones:

Estos datos se corresponden con la sierra de mano girando en vacío a máxima potencia. En las medidas se puede ver como falla el medidor de tensión y muestra una variación brusca que no sucede en la realidad. En este caso no es muy significativa, ya que se encuentra dentro del rango de tensiones y un solo valor prácticamente no se nota en los valores finales.

8.15 Sierra mano en carga

Datos del dispositivo

Fabricante	WICK	
Modelo	SM-185-E	
Consumo	1300	W
Voltaje	230	V
Frecuencia	50	Hz
Monofásico	SI	
Trifásico		
Intensidad Max	6	A
Voltaje de salida		V



Ilustración 120 Sierra de mano.

Valores de interés obtenidos

Muestra	V rms (V)	I rms (A)	S (kVA)	P (W)	Cos ϕ	Q (kVar)
1	213.58	4.01	588.6	856.9	0.69	479.49
2	215.87	3.39	516.81	730.91	0.71	395.59
3	212.32	4.21	614.39	893.47	0.69	499.35

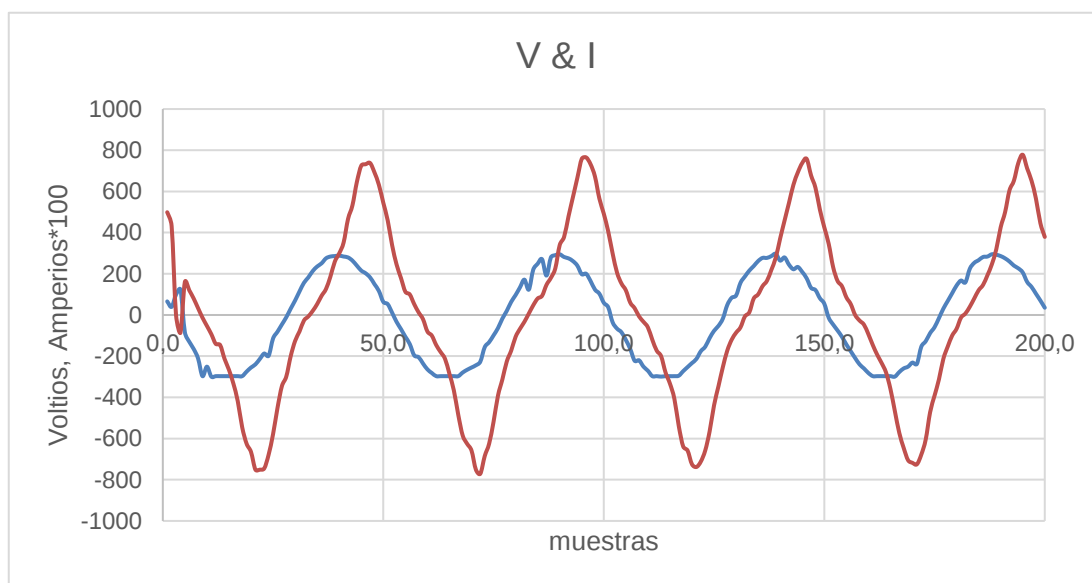


Ilustración 121 Gráfica tensión e intensidad de sierra de mano en carga.

Multiplicador intensidad

100

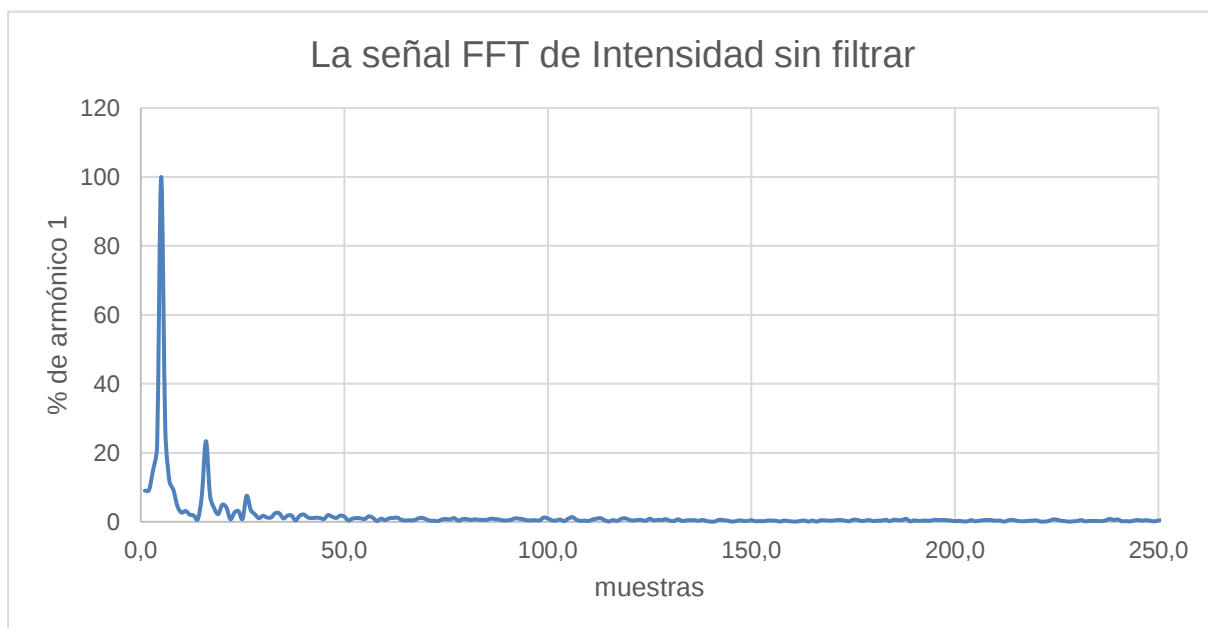


Ilustración 122 Señal FFT de Intensidad sin filtrar de sierra de mano en carga.

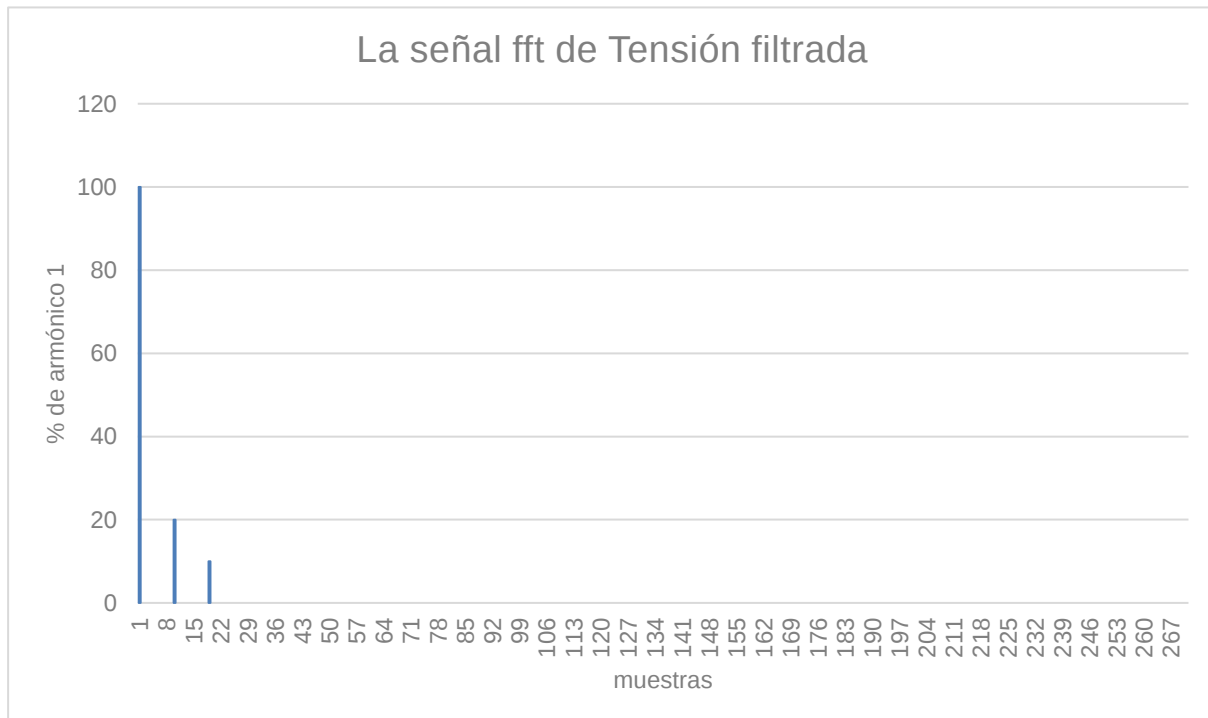


Ilustración 123 Señal FFT filtrada de sierra de mano en carga.

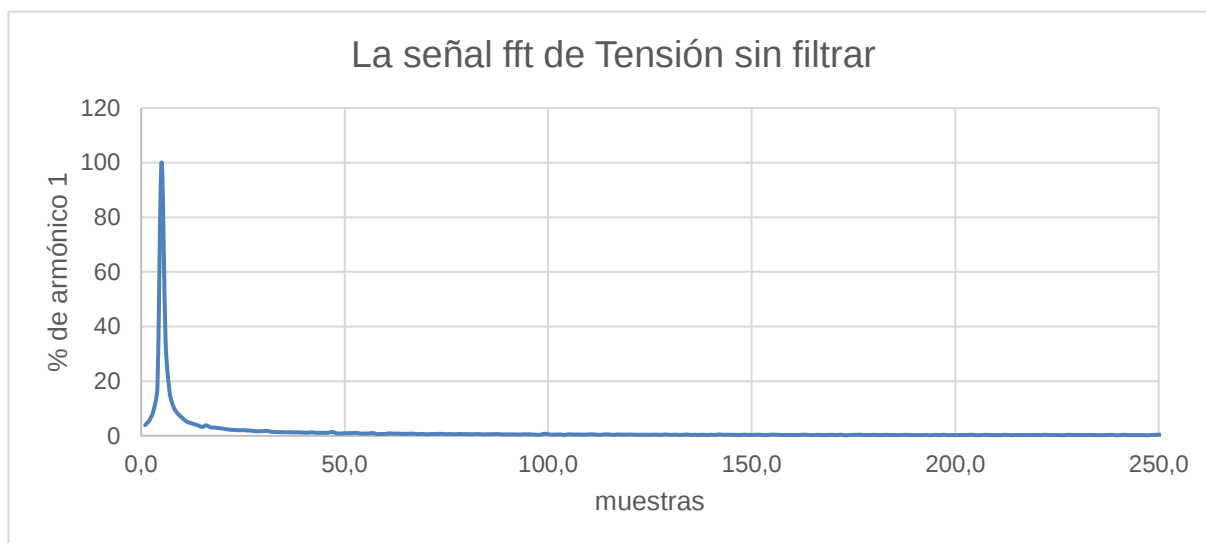


Ilustración 124 Señal de FFT de tensión sin filtrar de sierra de mano en carga.

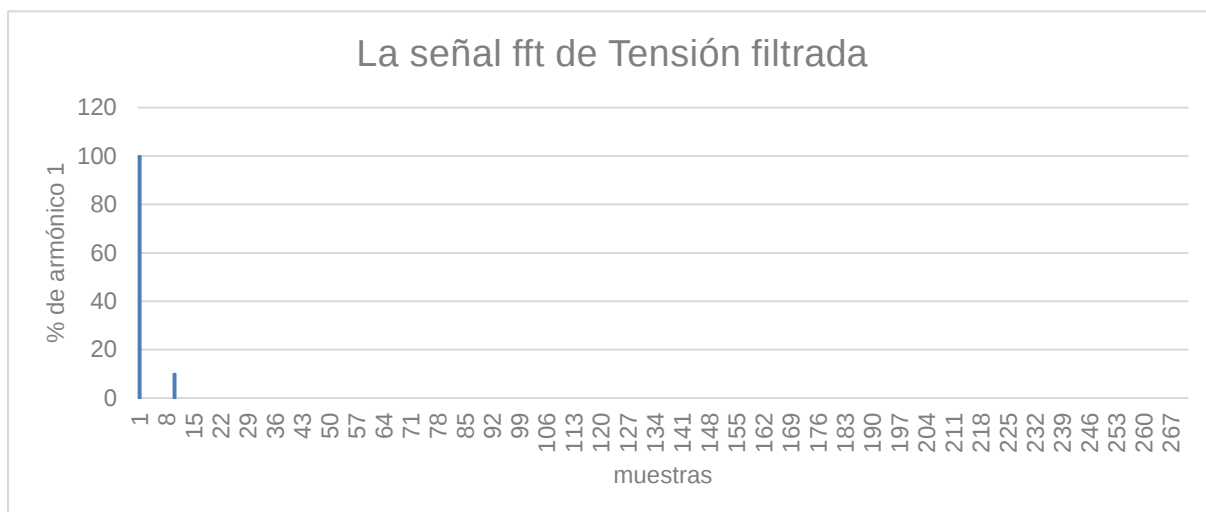


Ilustración 125 Señal FFT de tensión filtrada de sierra de mano en carga.

Observaciones:

Los datos obtenidos se corresponden con la sierra de mano mientras se usaba cortando hueso de lomo de vaca. Al tratarse de un elemento muy heterogéneo, como es el lomo de vaca, hace que la segunda de las tres muestras sea inferior a las otras dos. Además, se puede comprobar cómo se introducen armónicos al usarse a plena carga.

8.16 Destructora de papel

Datos del dispositivo

Fabricante		
Modelo		
Consumo	-	W
Voltaje	230	V
Frecuencia	50	Hz
Monofásico	SI	
Trifásico		
Intensidad Max		A
Voltaje de salida		V



Ilustración 126 Destructora de papel.

Valores de interés obtenidos

Muestra	V rms (V)	I rms (A)	S (kVA)	P (W)	Cos ϕ	Q (kVar)
1	219.12	0.62	104.74	135.52	0.77	64.59
2	217.79	0.67	113.22	145.7	0.78	68.79
3	217.26	1.48	93.93	322.25	0.29	271.25

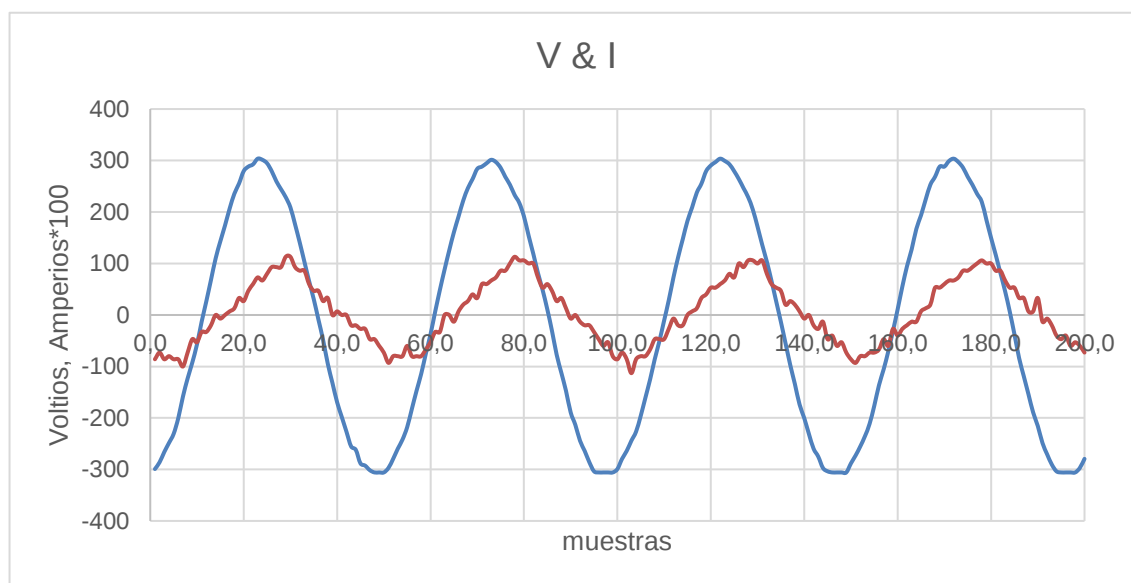


Ilustración 127 Gráfica tensión e intensidad de destructora.

Multiplicador intensidad

100

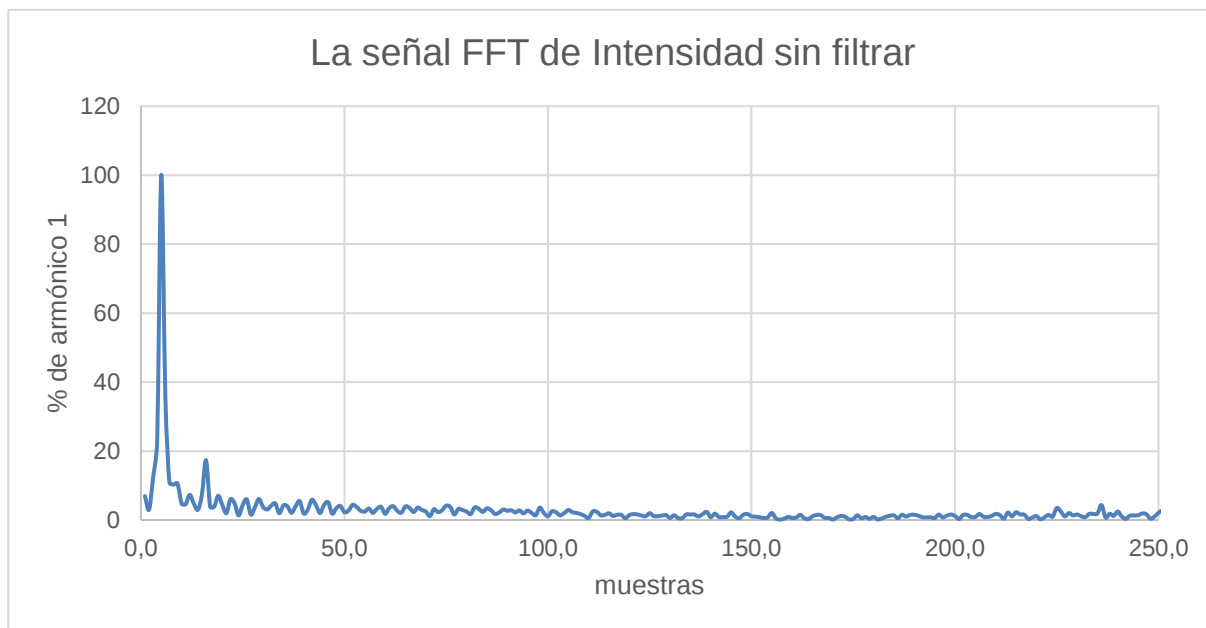


Ilustración 128 Señal FFT de Intensidad sin filtrar de destructora.

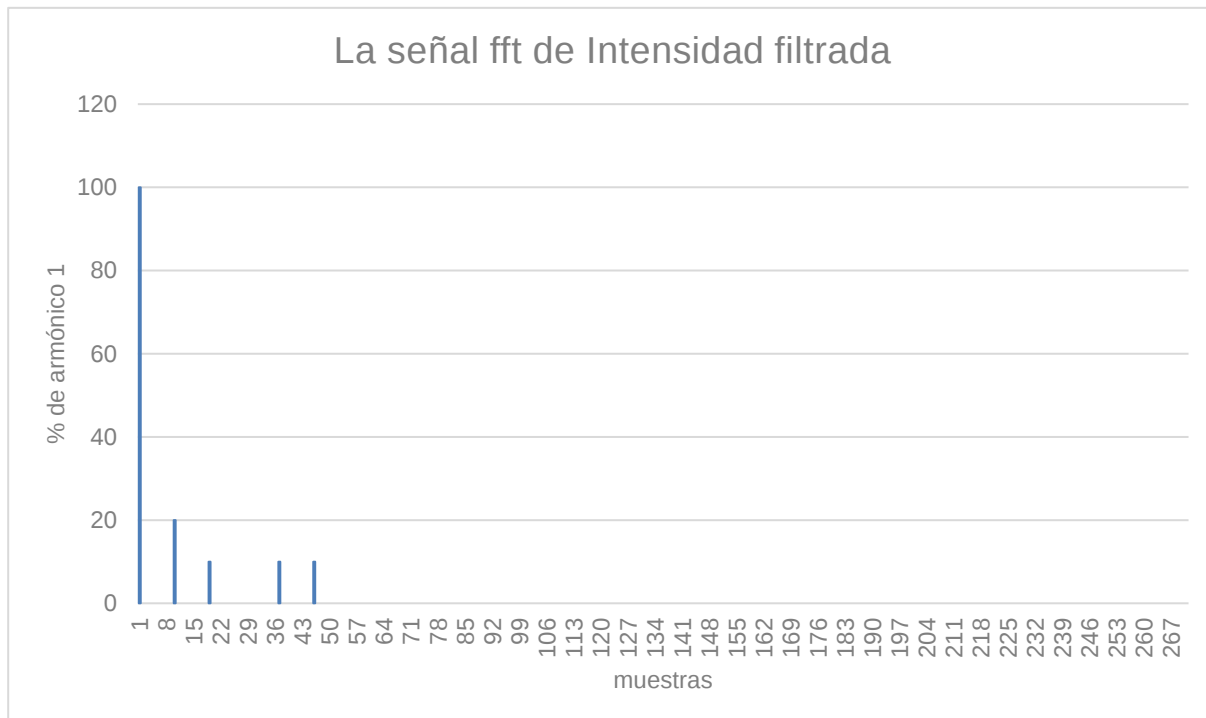


Ilustración 129 Señal FFT filtrada de destructora.

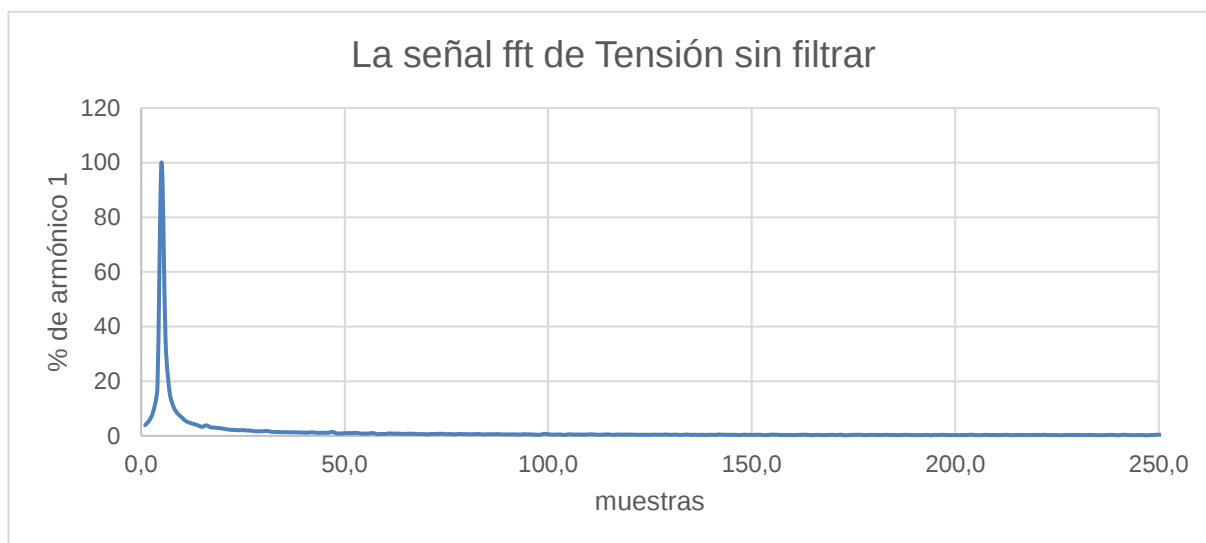


Ilustración 130 Señal de FFT de tensión sin filtrar de destructora.

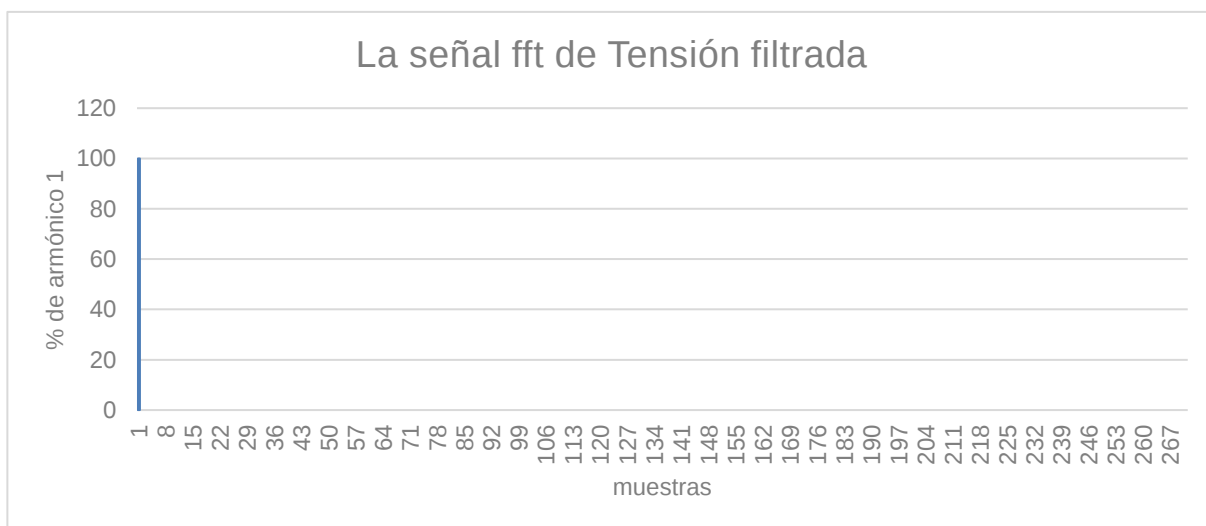
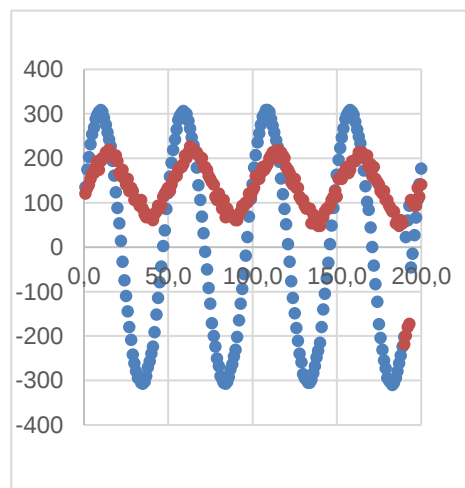


Ilustración 131 Señal FFT de tensión filtrada de destructora.

Observaciones:

Los datos obtenidos se corresponden con la destructora en carga. Para ello, se alimenta con un folio constantemente.

En este caso, en la hoja de datos, concretamente hoja "Destructor (3)", se puede ver como hay dos valores que claramente son datos erróneos del sensor, lo que da lugar a una lectura incorrecta de datos. Esto se debe a que el código buscaba máximos y mínimos para centrar la función y no reconoce que esos valores no son reales.



8.17 Impresora

Datos del dispositivo

Fabricante	BROTHER	
Modelo		
Consumo		W
Voltaje	230	V
Frecuencia	50	Hz
Monofásico	SI	
Trifásico		
Intensidad Max		A
Voltaje de salida		V



Ilustración 132 Impresora Brother.

Valores de interés obtenidos

Muestra	V rms (V)	I rms (A)	S (kVA)	P (W)	Cos ϕ	Q (kVar)
1	214.92	4.06	638.88	873.29	0.73	452.45
2	217.18	2.84	348.93	616.38	0.57	406.02
3	241.38	3.09	387.45	745.66	0.52	516.83



Ilustración 133 Gráfica tensión e intensidad de impresora en carga.

Multiplicador intensidad

100

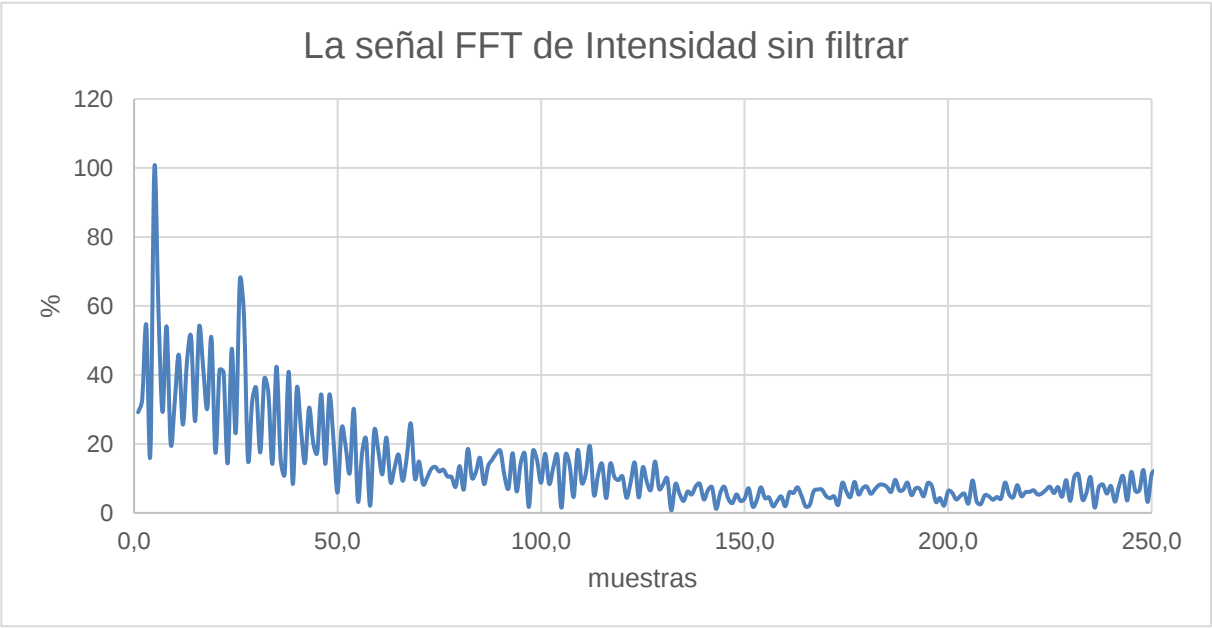


Ilustración 134 Señal FFT de Intensidad sin filtrar de impresora.

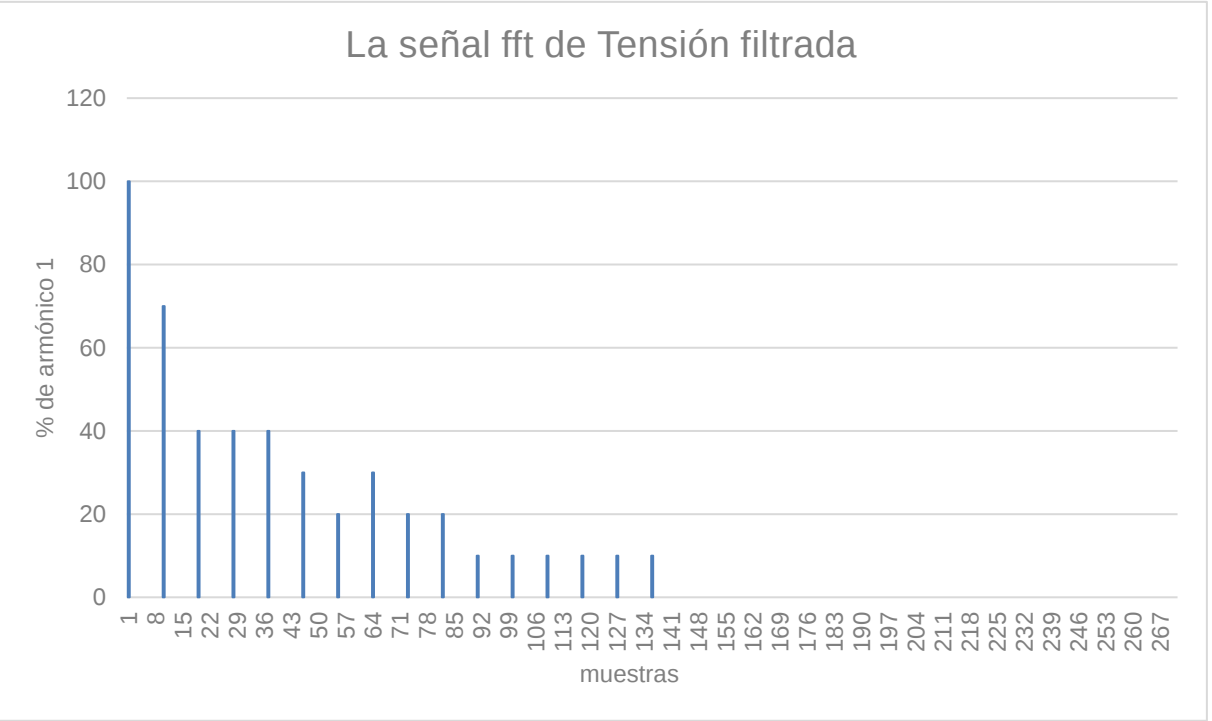


Ilustración 135 Señal FFT filtrada de sierra de impresora.

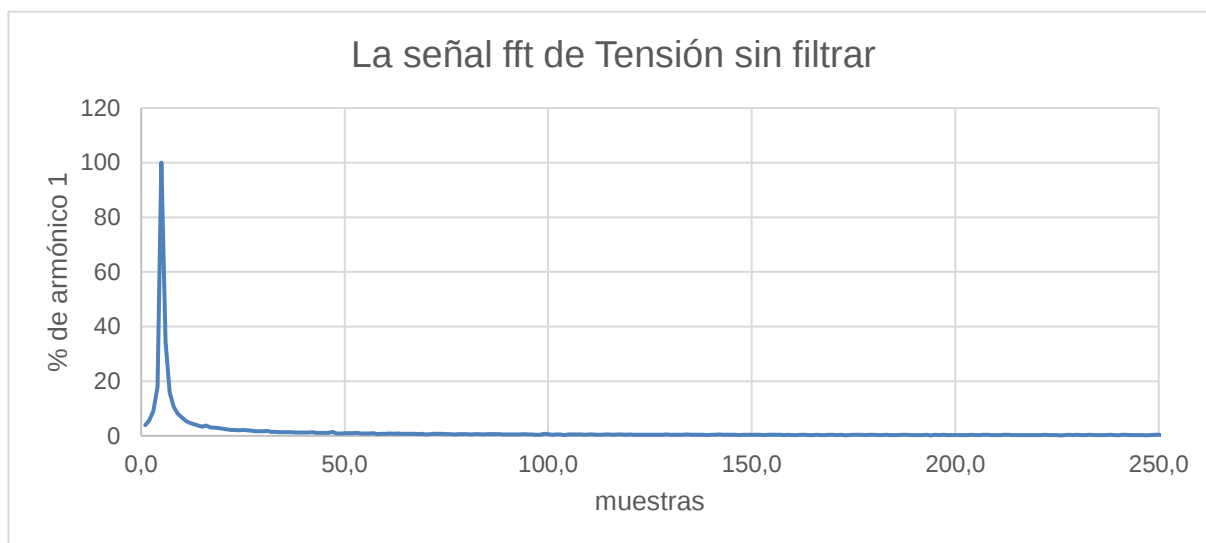


Ilustración 136 Señal de FFT de tensión sin filtrar de impresora.

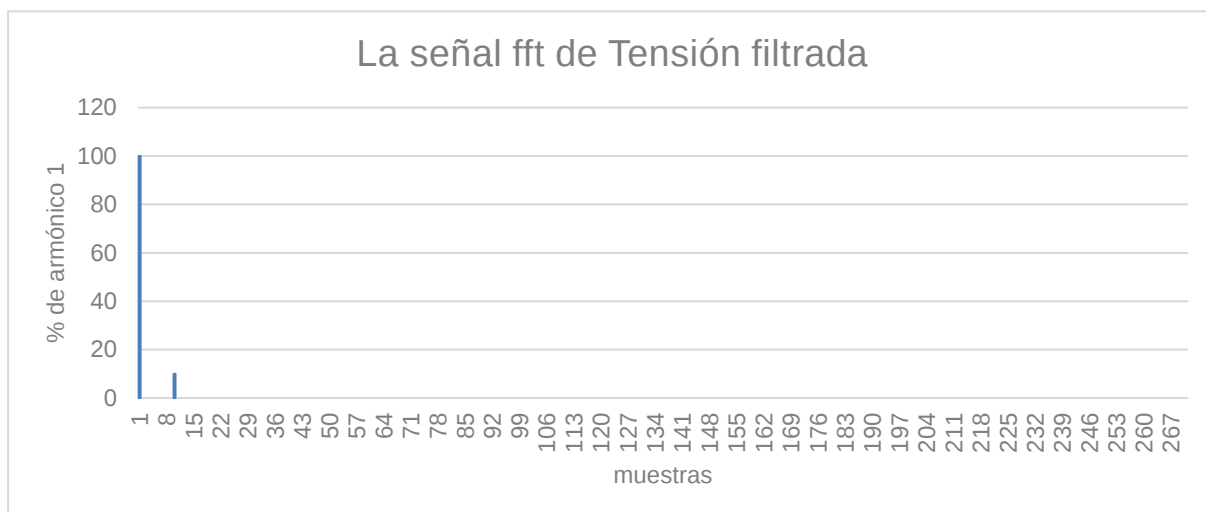


Ilustración 137 Señal FFT de tensión filtrada de impresora.

Observaciones:

Los datos obtenidos en esta medición se llevan a cabo imprimiendo a doble cara. Es interesante observar como la impresora consume electricidad durante un ciclo, descansa medio y vuelve a consumir otro ciclo. Este es un claro ejemplo de cómo se pueden introducir armónicos en un sistema.

9 Conclusiones

El objeto de este TFM ha consistido en el diseño, montaje y ensayo de un dispositivo de bajo coste, que permite analizar la red trifásica de forma remota con el empleo de la tecnología de código libre de Arduino.

Al usar la tecnología de Arduino es posible beneficiarse de las dos mayores virtudes que ofrecen este tipo de microcontroladores, el código abierto y su precio económico. En primer lugar, hay que destacar la gran cantidad de información presente en la web, lo que permite un desarrollo rápido y eficaz. En segundo lugar, referencia al bajo coste que presentan estos dispositivos siempre y cuando se adquieran directamente desde los países de fabricación, principalmente China.

Por tanto, se considera que el prototipo propuesto cumple con las especificaciones marcadas al inicio del proyecto:

- Separación eléctrica con transformadores en la medida de tensión e intensidad.
- Medición de valores eléctricos de una red trifásica:
 - I_{rms}
 - V_{rms}
 - S
 - P
 - Q
 - $\cos \varphi$
- Cálculo de armónicos:
 - Tensión
 - Intensidad
- Volcado y almacenamiento de datos en la nube.

Una vez diseñado y construido es testado de forma empírica en el laboratorio, contrastando los datos con el Fluke del departamento. Posteriormente, han sido analizados 17 dispositivos diferentes, en los cuales, se ha buscado la mayor variedad posible y se han medido desde electrodomésticos del hogar hasta maquinaria industrial. Gracias a la alta variedad de productos, es posible obtener la suficiente información del funcionamiento de nuestro prototipo y poder comprobar su buen funcionamiento.

La principal limitación presentada en este prototipo reside en su rango de medida. Al estar diseñado para detectar una intensidad máxima de 20A, (4600/8000W, 230/400V) no es capaz de medir adecuadamente los dispositivos de pequeño consumo. Como ejemplo se ha medido, una bombilla led y no era posible obtener medidas adecuadas.

En línea con lo anterior, otro aspecto a destacar reside en la fiabilidad de los sensores usados ya que en algunas ocasiones introducen valores erróneos, lo que da lugar a resultados no válidos.

De este modo, los posibles aspectos a mejorar son:

- **Instalar sensores de intensidad con diferentes rangos de medida:** Es decir, instalar 4 sensores para cada rango de medida y seleccionar aquellos con los que se quiere medir. De este modo, se consigue una mayor precisión en función del elemento que se este midiendo en cada ocasión.
- **Sensores de mayor precisión:** Los sensores usados en este proyecto son de bajo coste, esto implica que no poseen una alta precisión. Si se desea analizar una aplicación con mayor detalle solamente hay que sustituirlos por otros que estén dotados de más resolución.
- **Software de detección de errores en la medida:** Uno de los principales problemas que presenta este dispositivo es que no es posible reconocer si el sensor envía un dato erróneo. Si se implementase un software de eliminacion de datos inexactos, se evitarían lecturas falsas.
- **Pantalla táctil que permita seleccionar los valores a medir:** En el diseño del prototipo propuesto, se conservan libres la mayoría de los pines de Arduino Mega, con el propósito de añadir una pantalla táctil. Con ella sería posible seleccionar el modo de funcionamiento y ver de forma gráfica los datos in situ sin necesidad de consultar la información obtenida en la red o en el PC.
- **Creación de una App que permita controlar de forma remota el dispositivo:** Esta alternativa es una variante a la implementación de la

pantalla táctil, donde se sustituye la pantalla por la App. Igualmente se controlaría el dispositivo y se visualizarían los datos.

Bibliografía

ADEL S. SEDRA, C. S. (2016). *MICROELECTRONIC CIRCUITS*.

Aliexpress. (s.f.). *Aliexpress*. Obtenido de Aliexpress.com

DIMITRIS G. MANOLAKIS, J. G. (s.f.). *Tratamiento digital de señales*.

F. AZNAR, A. E. (2012). *ELECTROTECNIA BÁSICA PARA INGENIEROS*. GRANADA: UNIVERSIDAD DE GRANADA.

Firebase, L. (s.f.). *GitHub*. Obtenido de <https://github.com/FirebaseExtended/firebase-arduino>

fritzing. (s.f.). *fritzing*. Obtenido de <https://fritzing.org/home/>

gesternova. (25 de 4 de 2019). Obtenido de <https://gesternova.com/los-armonicos-causas-consecuencias-y-soluciones/>

github. (s.f.). *GitHub*. Obtenido de GitHub: github.com

<http://www.sc.ehu.es>. (27 de 4 de 2019). Obtenido de http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica3/datos/fourier/fourier_1.html

ingenieros.e. (25 de 4 de 2019). Obtenido de http://ingenieros.es/files/proyectos/Armonicos_en_sistemas_electricos.pdf

llamas, L. (27 de 8 de 2019). *Luis llamas, uso del reloj RTC*. Obtenido de <https://www.luisllamas.es/reloj-y-calendario-en-arduino-con-los-rtc-ds1307-y-ds3231/>

Luis llamas. (25 de 3 de 2019). Obtenido de luis llamas sensor intensidad : <https://www.luisllamas.es/arduino-intensidad-consumo-electrico-ac712/>

MORA, J. F. (s.f.). *CIRCUITOS ELECTRICOS*.

PURCELL, E. M. (s.f.). *BERKELEY PHYSICS COURSE VOLUMEN 2*.

RASHID, M. H. (s.f.). *ELECTRONICA DE POTENCIA*.

riptutotioa.com . (s.f.). Obtenido de <https://riptutorial.com/es/algorithm/example/27088/radix-2-fft>

www.rtrenergia.es. (24 de 4 de 2019). Obtenido de http://www.rtrenergia.es/downloads/armonicos_2012.pdf