

**DESARROLLO DE UNA GUÍA DE USUARIO PARA EQUIPOS DE MEDICIÓN  
PQUBE3 (PMU Y ANALYZER)**

**CRISTIAN FABIÁN FUENTES CASTELLANOS  
OSCAR JAVIER OVIEDO LARA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE  
TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA**

**2018**

**DESARROLLO DE UNA GUÍA DE USUARIO PARA EQUIPOS DE MEDICIÓN  
PQUBE3 (PMU Y ANALYZER)**

**CRISTIAN FABIÁN FUENTES CASTELLANOS  
OSCAR JAVIER OVIEDO LARA**

**Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Electricista**

**Director**

**GERMAN ALFONSO OSMA PINTO**

**Doctor en Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Gestión & Desarrollo**

**Codirector**

**JULIÁN OSWALDO FLÓREZ REYES**

**Magíster Ingeniería Electrónica**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE  
TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA**

**2018**

## DEDICATORIA

*A mi madre María Teresa Castellanos Ramírez por su apoyo incondicional*

*A mi hermano Carlos Augusto Fuentes Castellanos por su ejemplo y superación*

*A mi hermana Erika Paola Fuentes Castellanos por su orientación y compromiso*

*A Laura Shunt por su amor, comprensión y ternura*

**Cristian**

*A Dios por ser mi guía y por cada una de sus bendiciones, porque soy fiel testigo de su obra a lo largo de este proceso.*

*A mis padres Oscar Andrés Oviedo Lastre y Liliana Lara Lara por su dedicación y esfuerzo para ayudarme a salir adelante con este sueño que hoy ya es una realidad, infinitas gracias por nunca dejar de creer en mí, porque ese apoyo fue el impulso motivacional que me ayudó a nunca rendirme y cumplir cada una de mis metas.*

*A mis hermanas María Fernanda y Andrea Carolina por quererme, por todos los momentos y alegrías vividas, por preocuparse por mí en el camino hacia este logro.*

*A mis abuelas, tíos y primos, por su apoyo y cada consejo, esto me ayudó a culminar esta etapa de mi vida y sé que para todos ustedes es un gran logro.*

*A mis abuelos Agustín Oviedo Bravo y David Lara Espinosa que partieron de este mundo, pero sus recuerdos y enseñanzas siguen vigentes en mi corazón, quienes al lado del Señor siguen cuidando de mí.*

*A Nancy Patricia Rojas Ruiz por amarme y por su apoyo incondicional en los momentos que más lo necesitaba, gracias por acompañarme en este proceso que hoy terminamos juntos.*

*A los amigos que dejó este proceso, porque con ellos aprendí diariamente el valor de las cosas simples, ayudándome a crecer como persona.*

**Oscar**

## **AGRADECIMIENTOS**

Los más sinceros agradecimientos a todos los profesores de la escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones, por ayudar y ser referentes en la formación ética y profesional que hemos adquirido hasta el momento.

Un agradecimiento especial al Dr. German Alfonso Osma Pinto y al MSc. Julián Oswaldo Flórez Reyes, por su paciencia y apoyo durante el desarrollo de este proyecto.

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN .....	16
1. INFORMACIÓN DEL DISPOSITIVO DE MEDICIÓN PQUBE3 (PMU Y ANALYZER).....	20
1.1 MEDICIÓN DE CALIDAD DE LA ENERGÍA .....	20
1.2 ¿QUÉ ES UN DISPOSITIVO DE MEDICIÓN PQUBE3 ANALYZER? .....	21
1.3 ¿QUÉ ES UNA PMU?.....	22
1.4 ¿QUÉ ES UN MÓDULO DE ALIMENTACIÓN PM1 Y PM2?.....	25
1.5 ¿QUÉ ES UN MÓDULO DE ALIMENTACIÓN UPS? .....	26
1.6 ¿QUÉ ES UN ENVIROSENSOR? .....	26
2. INSTALACIÓN Y CONFIGURACIÓN DEL DISPOSITIVO DE MEDICIÓN PQUBE3 .....	28
2.1 INSTALACIÓN DEL PQUBE3.....	28
2.1.1 Desconexión de la red .....	28
2.1.2 Montaje adecuado y seguro del medidor PQube3 .....	29
2.1.3 Conexión del módulo de fuente de alimentación PM1 o PM2.....	30
2.1.4 Protección contra sobrecorriente y dispositivo de desconexión.....	30
2.1.5 Conexión del módulo UPS .....	32
2.1.6 Conexión del módulo de sincronización MS1 (opción GPS1) y del envirosensor (ENV2).....	32
2.2 CONFIGURACIÓN BÁSICA DEL MEDIDOR PQUBE3 .....	33
2.2.1 Configuración firmware .....	34
2.2.2 Configuración inicial.....	36
3. UTILIZACIÓN DEL DISPOSITIVO DE MEDICIÓN PQUBE3 .....	38
3.1 CONFIGURACIÓN VÍA PROGRAMACIÓN .....	38

3.1.1 PQube3 configurator 3.6.0.16 .....	39
3.1.2 microPMU configurator 3.6.0.3 .....	46
3.2 PROGRAMACIÓN POR VIA BLOC DE NOTAS.....	47
3.3 OBTENCIÓN DE MUESTRAS.....	50
3.3.1 Extracción de datos .....	51
3.3.2 Revisión de los datos obtenidos .....	53
4. ELABORACIÓN DE LA GUÍA DE USUARIO.....	54
4.1 REQUERIMIENTOS PARA LA UTILIZACIÓN DE LA GUÍA DE USUARIO.....	55
4.2 COMPONENTES DE LA GUÍA DE USUARIO.....	55
4.2.1 Contenido.....	56
4.2.2 Uso de los botones de navegación .....	61
5. CONCLUSIONES .....	62
6. OBSERVACIONES.....	64
BIBLIOGRAFÍA.....	66
ANEXOS .....	70

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. PQube3 Analyzer.....	22
Figura 2. PMU ( <i>Phasor Measurement Unit</i> ).....	23
Figura 3. Módulo de alimentación PM1/PM2. ....	25
Figura 4. Envirosensor.....	27
Figura 5. Caja tipo intemperie y carril DIN. ....	29
Figura 6. Conexión del módulo de alimentación PM1/PM2. ....	30
Figura 7. Protección contra sobrecorriente y dispositivo de desconexión.....	31
Figura 8. Conexión del módulo MS1 (opción GPS1) y envirosensor. ....	33
Figura 9. Proceso de configuración local del firmware del dispositivo de medición PQube3.....	35
Figura 10. Verificación de la actualización del firmware a través de la página web del dispositivo de medición PQube3.....	36
Figura 11. Interfaz del configurador PQube3 configurator 3.6.0.16. ....	39
Figura 12. Interfaz gráfica del configurador microPMU configurator 3.6.0.3. ....	46
Figura 13. Archivo ejecutable PQube3 Configurator 3.6.0.16.....	48
Figura 14. Barra de opciones del PQube3 configurator 3.6.0.16. ....	48
Figura 15. Carpeta de destino del archivo de configuración PQube3. ....	49
Figura 16. Editor bloc de notas para la configuración del dispositivo de medición PQube3.....	50
Figura 17. Portada de la guía de usuario para equipos de medición PQube3 (PMU y Analyzer).....	57
Figura 18. Panel de inicio de cada capítulo de la guía de usuario. ....	58
Figura 19. Diagrama de flujo utilizado para describir las características de un ítem de la guía de usuario. ....	59

Figura 20. Página web del dispositivo de medición PQube3, interfaz táctil del dispositivo, curvas de sensibilidad y conexión fase-neutro.....60

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Clasificación de puntos de medición.....	17
Tabla 2. Requisitos de exactitud para medidores y transformadores de medida...	18
Tabla 3. Cuadro comparativo entre el dispositivo de medición PQube3 Analyzer vs. PMU.....	24
Tabla 4. Funciones de los botones de navegación de la guía de usuario.....	61

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
ANEXO A. Guía de usuario para equipos de medición PQube3 (PMU y Analyzer).....	70
ANEXO B. Ejemplo de configuración del equipo de medición PQube3 utilizado para el proyecto “Estudio de la variación de parámetros de la calidad de energía eléctrica en la red de baja tensión del edificio de ingeniería eléctrica debido a la inyección de energía”.....	71
ANEXO C. Ejemplo de configuración del equipo de medición PQube3 utilizado para el proyecto “Determinación de parámetros de modelos para el estudio del comportamiento de cargas lumínicas del Edificio de Ingeniería Eléctrica ante variaciones de la amplitud y frecuencia de la tensión de alimentación” .....	80

## RESUMEN

**TÍTULO:** DESARROLLO DE UNA GUÍA DE USUARIO PARA EQUIPOS DE MEDICIÓN PQUBE3 (PMU Y ANALYZER) \*.

**AUTORES:** CRISTIAN FABIAN FUENTES CASTELLANOS \*\*.  
OSCAR JAVIER OVIEDO LARA \*\*.

**PALABRAS CLAVE:** calidad de la energía, dispositivo de medición PQube3, configuraciones específicas, didáctica, guía de usuario, configuradores.

### DESCRIPCIÓN:

La calidad de la energía eléctrica depende de cualquier suceso que afecte los estándares definidos por la reglamentación sobre la tensión, corriente y frecuencia, causados por perturbaciones, tales como: distorsión de la señal de tensión, distorsión de la señal de corriente, desbalances, sobretensiones transitorias y variaciones de frecuencia, ocasionadas por cargas no lineales o variantes en el tiempo, electrónica de potencia, fallas en la generación de energía, fallas en las líneas de distribución de energía o por generación distribuida a gran escala. Para determinar estas anomalías se debe contar con equipos que permitan realizar monitorización de los sistemas eléctricos dando una solución óptima y efectiva del problema. Por lo que, los medidores PQube3 se convierten en una herramienta útil, pues garantizan precisión en la medición y un alto nivel de confianza en los resultados

El presente trabajo de grado presenta el desarrollo de la guía de usuario para equipos de medición PQube3 (PMU y Analyzer), dispositivos encargados de monitorizar sistemas eléctricos, ayudando a resolver problemas que afectan la calidad de la energía. Esta guía reduce la curva de aprendizaje en el uso de estos dispositivos de medición, ofreciendo información de manera didáctica y detallada acerca de la configuración específica del dispositivo, obtención de muestras de las señales eléctricas y manejo de datos, facilitando el desarrollo de actividades de docencia, investigación y extensión en temáticas de mediciones eléctricas y calidad de la energía.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director: German Alfonso Osma Pinto, Doctor en Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Gestión & Desarrollo. Codirector: Julián Oswaldo Flórez Reyes, Magíster Ingeniería Electrónica

## ABSTRACT

**TITLE:** DEVELOPMENT OF A USER'S GUIDE FOR PQUBE3 MEASUREMENT EQUIPMENT (PMU AND ANALYZER) \*.

**AUTHORS:** CRISTIAN FABIAN FUENTES CASTELLANOS \*\*.  
OSCAR JAVIER OVIEDO LARA \*\*.

**KEYWORDS:** power quality, PQube3 measuring device, specific configurations didactics, user's guide, configurators.

### DESCRIPTION:

The power quality depends on any event that affects the standards defined by the regulation on voltage, current and frequency, caused by disturbances, such as: distortion of the voltage signal, distortion of the current signal, imbalances, transient overvoltages and frequency variations, caused by non-linear loads or variants in time, power electronics, failures in power generation, failures in power distribution lines or large-scale distributed generation. In order to determine these anomalies, it is necessary to have equipment that allows to monitor the electrical systems giving an optimal and effective solution to the problem. Therefore, the PQube3 meters became a useful tool, since it was selected in the measurement and a high level of confidence in the results.

The present final work degree presents the development of the user guide for PQube3 measuring equipment (PMU and Analyzer) that are devices in charge of monitoring electrical systems, helping to solve problems that affect the power quality. This guide reduces the learning curve in the use of these measuring devices, offering information in a didactic and detailed way about the specific configuration of the device, obtaining samples of electrical signals and data handling, facilitating the development of teaching activities, research and extension in topics of electrical measurements and energy quality.

---

\* Degree work

\*\* Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Electrical, Electronics and Telecommunications Engineering. Director: German Alfonso Osma Pinto, Doctor in Electrical Engineering, Electronics and Management & Development. Co-director: Julián Oswaldo Flórez Reyes, Master Electronic Engineering

## INTRODUCCIÓN

Las empresas generadoras y distribuidoras de energía eléctrica deben suplir la totalidad de la demanda de esta energía, garantizando la calidad de la misma. Según el estándar IEC 61000-4-30 se define la calidad de la energía como; *“características de la electricidad en un punto dado de la red de suministro de energía eléctrica, evaluadas con relación a un conjunto de parámetros técnicos de referencia”*; por otro lado, el estándar IEEE 1159/1995 lo define como *“una gran variedad de fenómenos electromagnéticos que caracterizan la tensión y la corriente en un instante dado y en un punto determinado de la red eléctrica”*<sup>1,2</sup>

En general, la calidad de la energía eléctrica depende de cualquier suceso que afecte los estándares definidos por la reglamentación sobre la tensión, corriente y frecuencia, causados por perturbaciones, tales como: distorsión de la señal de tensión, distorsión de la señal de corriente, desbalances, sobretensiones transitorias y variaciones de frecuencia, ocasionadas por cargas no lineales o variantes en el tiempo, electrónica de potencia, fallas en la generación de energía, fallas en las líneas de distribución de energía o por generación distribuida a gran escala. Para detectar dichas anomalías, industrias y compañías, trabajan de manera proactiva monitoreando continuamente la calidad de la energía eléctrica, para lo cual, se debe contar con herramientas adecuadas que permitan realizar estudios en la red y así lograr soluciones adecuadas a estos cambios en el sistema, previniendo consecuencias graves y costosas.<sup>3,4</sup>

---

<sup>1</sup> IEEE, IEEE Std 1159 - IEEE recommended practice for monitoring electric power quality, vol. 2009, no. June. 2009

<sup>2</sup> N. E. En, N. I. Iec, and N. Une-en, “Compatibilidad electromagnética (CEM) Parte 4-30: Técnicas de ensayo y de medida Métodos de medida de la calidad de suministro.” 2015.

<sup>3</sup> O. (Universidad de la C. Cervantes. Metodología de medición de calidad de energía eléctrica en base a normas nacionales e internacionales para la Universidad de la Costa. p. 102, 2014

<sup>4</sup> CREG. Comisión de Regulación de Energía y Gas, Resolución CREG 016 de 2007. p. 6, 2007

En Colombia, la medición de energía eléctrica depende del punto de conexión que se elija según los parámetros de consumo o transferencia de energía y carga instalada, mostradas en la Tabla 1. El punto de medición establecido por la CREG\* 038 de 2014 define la calidad del medidor que será instalado. La Tabla 2 muestra la exactitud de los medidores que deben ser instalados en estos puntos de conexión, debido que la confiabilidad del sistema de medición es proporcional a la importancia de la red eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional (SIN), por ejemplo, si la red se considera importante, la medición debe tener mayor grado de confiabilidad, esto dado a que una medición errónea puede generar altas pérdidas monetarias [8]. Por lo que, los medidores PQube3 se convierten en una herramienta útil, pues garantizan precisión en la medición y un alto nivel de confianza en los resultados<sup>5</sup>. Sin embargo, es importante que el personal encargado del manejo del dispositivo de medición PQube3 se encuentre capacitado para su correcto uso.

**Tabla 1. Clasificación de puntos de medición.**

Tipo de punto de medición	Consumo o transferencia de energía, C , [MWh-mes]	Capacidad instalada CI,[MVA]
1	$C \geq 15000$	$C \geq 30$
2	$15000 > C \geq 500$	$30 > C \geq 1$
3	$500 > C \geq 50$	$2 > C \geq 0.1$
4	$50 > C \geq 5$	$0.1 > C \geq 0.01$
5	$C < 5$	$C < 0.01$

Fuente: Tomado de CREG 038 de 2014.

\* CREG (Comisión de Regulación de Energía y Gas).

<sup>5</sup> Power Sensors Limited, PQube ® 3 Instruction Manual. 2015

**Tabla 2. Requisitos de exactitud para medidores y transformadores de medida.**

Tipo de punto de medición	Índice de clase para medidores de energía activa	Índice de clase para medidores de energía reactiva	Clase de exactitud para transformadores de corriente	Clase de exactitud para transformadores de tensión
1	0.2s	2	0.2s	0.2
2 y 3	0.5s	2	0.5s	0.5
4	1	2	0.5	0.5
5	1 o 2	2 o 3	--	--

Fuente: Tomado de CREG 038 de 2014.

El grupo de investigación GISEL \*\*, adscrito a la Escuela de Ingenierías Eléctrica Electrónica y de Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander, dirige el proyecto VIABILIDAD TÉCNICA DE LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS (FV) INTEGRADOS CON VEGETACIÓN COMO ESTRATEGIA DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA Y HORTICULTURA EN ENTORNOS URBANOS DE CLIMA CÁLIDO TROPICAL (Aprobado en la Convocatoria 745 de 2016 de COLCIENCIAS). Uno de los alcances de este proyecto macro es el desarrollo de una guía de usuarios para equipos de medición PQube3 (PMU y Analyzer).

Para ello, se desarrolló este trabajo de grado, cuyo objetivo principal fue crear una guía de configuración y adquisición de datos para equipos de medición PQube3 facilitando el desarrollo de actividades de docencia e investigación del grupo de investigación GISEL en temáticas de mediciones eléctricas y calidad de la energía eléctrica.

---

\*\* GISEL (Grupo de Investigación en Sistemas de Energía Eléctrica)

Se recopiló información sobre la instalación y configuración básica del dispositivo de medición PQube3 (manuales de usuario ofrecidos por el distribuidor PSL<sup>\*\*\*</sup> y software de configuración del dispositivo). Luego se documentaron los procedimientos para la obtención de muestras de señales eléctricas y configuración vía programación. Por último, se realizó una guía de usuario que permitirá configurar y manejar el dispositivo de medición PQube3 en menos tiempo, accediendo a la información que necesita de manera rápida y didáctica facilitando actividades de docencia, investigación y extensión.

En este documento se aprecia el desarrollo del trabajo mencionado en cuatro capítulos. El Capítulo 1 expone la información recopilada acerca del dispositivo de medición PQube3 y sus respectivos módulos generando un conocimiento previo para el avance en el proyecto.

El Capítulo 2 hace referencia a la correcta instalación y manipulación del dispositivo de medición PQube3, con los conocimientos adquiridos previamente.

El Capítulo 3 describe un resumen de las configuraciones y extracción de datos del dispositivo de medición PQube3, documentadas en las prácticas que se realizaron en el laboratorio de uso racional de la energía y energías renovables (AT205) y en el Piso 4 del Edificio de Ingeniería Eléctrica.

El Capítulo 4 presenta la guía de usuario<sup>\*</sup>, su contenido y requerimientos de utilización, ya que se necesitan conocimientos previos de mediciones eléctricas para lograr entender conceptos claves del dispositivo de medición PQube3. Además, se anexa un CD con el contenido detallado para la configuración avanzada del dispositivo de medición PQube3 *“Guía de usuario para equipos de medición PQube3 (PMU y Analyzer)”*.

---

<sup>\*\*\*</sup> PSL (Power Standards Lab)

<sup>\*</sup> El trabajo realizado se enfoca en el estudio de la calidad de la energía de los sistemas de eléctricos

## 1. INFORMACIÓN DEL DISPOSITIVO DE MEDICIÓN PQUBE3 (PMU Y ANALYZER)

Este capítulo aborda el concepto de medición de la calidad de la energía (Sección 1.1), y describe los módulos que hacen parte del dispositivo de medición PQube3 (Analyzer, PMU, módulo PM1, módulo de alimentación UPS, envirosensor, módulo MS1, antena GPS1) (Secciones 1.2, 1.3, 1.4, 1.5 y 1.6).

### 1.1 MEDICIÓN DE CALIDAD DE LA ENERGÍA

La calidad de la energía se define como cualquier suceso manifestado en desviaciones de tensión, corriente, o frecuencia que resultan en fallos o mala operación en un punto dado de un sistema de potencia.<sup>6,7</sup>

La medición de la calidad de la energía se realiza para evitar perturbaciones como:

**Huecos de tensión:** son caídas del valor eficaz de tensión (>10%) causadas por fallas en las líneas o encendido de cargas motrices.

**Sobretensiones:** son elevaciones de tensión (<10%) causadas por descompensación de las fases.

**Impulsos de tensión:** son elevados valores de tensión por tiempos mínimos y pueden ser causados por descargas atmosféricas, transitorios electromagnéticos debidos al encendido y apagado de cargas eléctricas.

---

<sup>6</sup> Eproteca, La Importancia de la Medición de la Calidad de Energía en la Red de Distribución Eléctrica, 2017. [Online]. Available: <http://www.eproteca.com/la-importancia-la-medicion-la-calidad-energia-la-red-distribucion-electrica/>

<sup>7</sup> MONTOYA, F. G.; MANZANO-AGUGLIARO, F.; LÓPEZ, J. G. and ALGUACIL, P. S. Técnicas De Investigación En Calidad Eléctrica: Ventajas E Inconvenientes, Dyna, vol. 79, no. 173, pp. 66–74, 2012.

**Interrupciones cortas:** son interrupciones (<1 minuto) o micro-cortes de energía causados por fallas en la línea de suministro que admiten reenganche.

**Variaciones del valor eficaz de la tensión:** son variaciones del valor eficaz de la tensión o inferiores al 10%, causadas por demandas de grandes cargas o bajo factor de potencia.

**Interrupciones largas:** son interrupciones (>1 minuto), condición en la que el valor eficaz de la tensión es inferior al 10% de la tensión nominal  $V_c$  con una duración mayor a 1 minuto. Pueden ser asociadas a factores como eventos o daños externos, climáticos o accidentes.

**Distorsión de las señales:** son deformaciones en las ondas de tensión y/o corriente, causada por dispositivos basados en electrónica de potencia, o también llamadas cargas no lineales.

## 1.2 ¿QUÉ ES UN DISPOSITIVO DE MEDICIÓN PQUBE3 ANALYZER?

Es un dispositivo de monitorización que registra el consumo de energía, perturbaciones en la calidad de potencia grabados en formas de onda y gráficos de valores eficaces (RMS), huecos de tensión, sobretensiones e interrupciones, sobre-frecuencia y bajo-frecuencia, THD\*\* de tensión, TDD\*\*\* actual y THD de corriente; voltaje y desequilibrio de corriente, VARs\* (fundamental y Budeanu), VARhr\*\*, componentes armónicas e interarmónicas de tensión y corriente, hasta la interarmónica 63. La Figura 1 muestra el dispositivo de medición PQube3 Analyzer, su módulo PM1, el dispositivo de desconexión y las protecciones contra sobrecorriente y sobretensión.<sup>8</sup>

---

\*\* TDD (Distorsión total de corriente demandada)

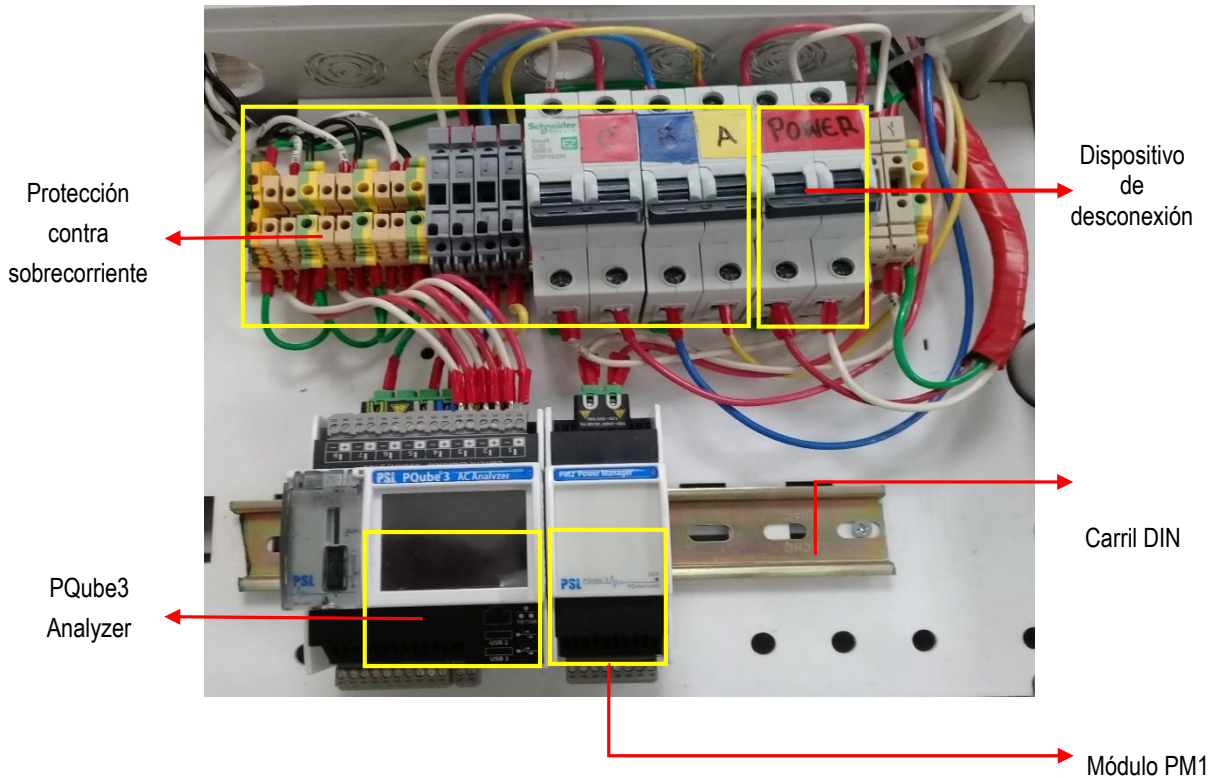
\*\*\* THD (Distorsión armónica total)

\* VAR (Volt-ampere reactivos)

\*\* VARhr (Volt-ampere reactivos hora)

<sup>8</sup> MONTOYA, MANZANO-AGUGLIARO, LÓPEZ, and ALGUACIL, Op. Cit.

**Figura 1. PQube3 Analyzer.**



Nota: Todos los componentes se encuentran ubicados en una caja tipo intemperie, cada componente se encuentra anclada a un carril o riel DIN\*\*\*.

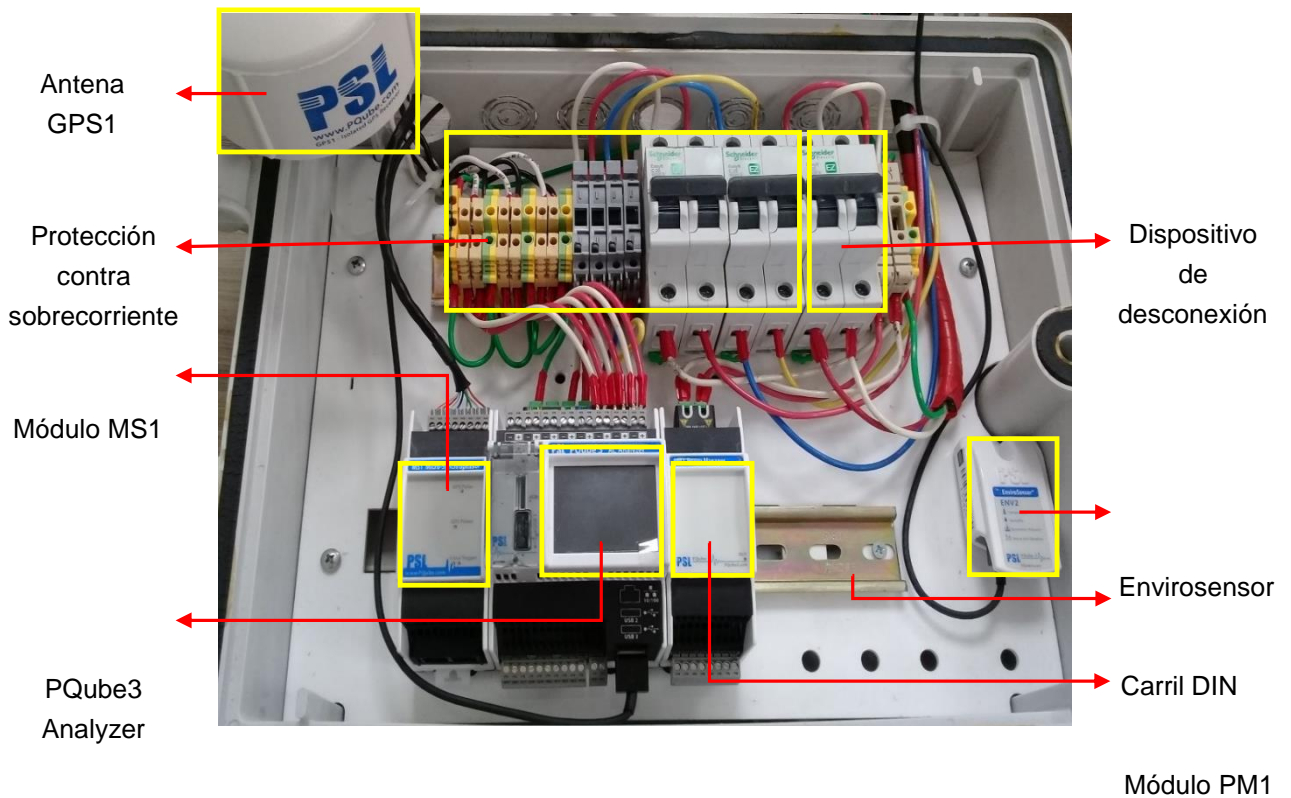
### 1.3 ¿QUÉ ES UNA PMU?

Los PMU (*Phasor Measurement Unit*) son dispositivos electrónicos inteligentes (IED), capaces de calcular la representación fasorial de la componente fundamental de una onda de tensión o de corriente, medir los valores de frecuencia, la sincronización con GPS y medir los desfases entre fasores de tensión o corriente ubicados en diferentes sitios de una red eléctrica. Los PMU transmiten las mediciones de los fasores con velocidades de hasta una vez por ciclo de la

\*\*\* Carril o riel DIN, barra metálica normalizada, utilizada para el montaje de elementos eléctricos y de protección

frecuencia de red (60 veces por segundo en un sistema de 60 Hz)<sup>9,10,11</sup>. La Figura 2 muestra el dispositivo de medición PQube3 Analyzer, el módulo PM1, el módulo MS1, la antena GPS1 el dispositivo de desconexión, el envirosensor y las protecciones contra sobrecorriente y sobretensión.

**Figura 2. PMU (Phasor Measurement Unit).**



Nota: Si se conecta el módulo MS1 y la antena GPS1 al dispositivo de medición PQube3 Analyzer, este funciona como una PMU. Estos módulos permiten una rápida sincronización de hora con un rango de precisión de 1 microsegundo.

Nota 2: Todos los componentes se encuentran ubicados en una caja tipo intemperie, cada componente se encuentra anclada a un carril DIN

<sup>9</sup> A. Power Sensors Ltd. microPMU Installation and User 's Manual. pp. 1–53, 2016.

<sup>10</sup> VEGA LÓPEZ, M. V. Unidad de medición fasorial (PMU), su desarrollo, aplicaciones y empleo en América Latina. Universidad de Costa Rica, 2009

<sup>11</sup> MAHMUD, S. High precision phase measurement using adaptive sampling. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 38, no. 5. pp. 954–960, 1989.

La Tabla 3 presenta un cuadro comparativo que resume las características y funciones relevantes entre el dispositivo de medición PQube3 Analyzer vs. PMU.

**Tabla 3. Cuadro comparativo entre el dispositivo de medición PQube3 Analyzer vs. PMU.**

<b>Analyzer</b>	<b>PMU</b>
Medición de tensión, corriente y frecuencia.	Medición de tensión, corriente y frecuencia.
Sincronización por NTP*, SNTP** o GPS***.	Sincronización por GPS.
Medición de flicker de tensión.	Medición de los desfases de tensión
Medición del consumo de energía y perturbaciones en la calidad de la potencia.	No aplica
Medición de huecos de tensión, sobretensiones e interrupciones, sobre frecuencia y bajo-frecuencia.	No aplica
THD de tensión y corriente.	No aplica
TDD actual.	No aplica
Armónicos de corriente e interarmónicas.	No aplica
VAR (fundamental y Budeanu).	No aplica
Grabaciones de forma de onda de 512 ciclos y 16 segundos de RMS cuando ocurre un evento.	Calcula la representación fasorial de la componente de una onda de tensión o corriente.
Para su funcionamiento como analizador se conectan PQube3 Analyzer, módulos PM1, UPS (este módulo es opcional), envirosensor y protecciones de sobrecorriente y sobretensión.	Para su funcionamiento como PMU se conectan PQube3 Analyzer, módulos PM1, UPS (este módulo es opcional), MS1, antena GPS1, envirosensor y protecciones de sobrecorriente y sobretensión.
Tiene servidor web y FTP incorporados.	Tiene servidor web y FTP incorporados.
Tiene protección contra firewall interno, servidor web y FTP.	Tiene protección contra firewall interno, servidor web y FTP.
Almacenamiento interno de 16 GB	La PMU se conecta a un concentrador de datos de fasores (PDC), para el almacenamiento y comparación de datos.

\* NTP (Protocolo de Tiempo de Red) protocolo de Internet para sincronizar los relojes de los sistemas informáticos [27]

\*\* SNTP (Protocolo Simple de Hora de Red) aplicación de mantenimiento de la hora que permite sincronizar el hardware en una red [27]

\*\*\* GPS (Sistema de Posicionamiento Global)

#### 1.4 ¿QUÉ ES UN MÓDULO DE ALIMENTACIÓN PM1 Y PM2?

Estos módulos tienen la función de un convertidor de corriente AC-DC desde 100 V-240 VAC hasta 120-300 VDC. Esto permite alimentar el dispositivo de medición PQube3 a tensiones de 24-48 VDC, el módulo de alimentación PM2 tiene una salida de 24 VDC para accesorios tales como routers, relés, sensores DC de Efecto Hall (hasta 100 W)<sup>12</sup>. La Figura 3 muestra el módulo PM1 conectado al lado derecho del dispositivo de medición PQube3.

**Figura 3. Módulo de alimentación PM1/PM2.**



---

<sup>12</sup> Power Sensors Limited, 2015. Op. Cit.

## 1.5 ¿QUÉ ES UN MÓDULO DE ALIMENTACIÓN UPS?

Este módulo proporciona energía de respaldo al medidor PQube3 y todos los dispositivos conectados al módulo de alimentación PM1 y PM2 en caso de pérdida total de alimentación del instrumento. El tiempo de energía de respaldo es del rango de 1-30 minutos<sup>13</sup>.

## 1.6 ¿QUÉ ES UN ENVIROSENSOR?

Este dispositivo permite medir la temperatura ambiente, la humedad relativa, la presión barométrica y la aceleración de 3 ejes (X, Y, Z)<sup>14</sup>. Las mediciones indicativas se muestran a continuación:

- Temperatura: -20 °C ~ +80°C (-4°F ~ +176°F)
- Humedad: 0% ~ 100% de HR (útil entre 20% ~80% de HR)
- Presión Barométrica: 0.001 hPa
- Aceleración: rangos  $\pm 2g$ ,  $\pm 4g$ ,  $\pm 8g$
- Eventos de choque mecánicos: detecta golpes accidentales en los equipos
- Disturbios sísmicos: registra aceleraciones previas y posteriores a terremotos
- Grabación de aceleración: 480 muestras a 32 aceleraciones por segundo.

La Figura 4 muestra una imagen del envirosensor.

---

<sup>13</sup> Ibid

<sup>14</sup> A. Power Sensors Ltd. Ambient temperature, humidity, barometric pressure and 3-axis acceleration. pp. 5–6, 2016

Figura 4. Envirosensor.



## 2. INSTALACIÓN Y CONFIGURACIÓN DEL DISPOSITIVO DE MEDICIÓN PQUBE3

Este capítulo realiza una descripción sobre la instalación de cada uno de los componentes que conforman el dispositivo de medición PQube3 (Sección 2.1) y describe una configuración básica sobre el medidor PQube3 (Sección 2.2).

### 2.1 INSTALACIÓN DEL PQUBE3

Para realizar la instalación del dispositivo de medición PQube3, se tienen las especificaciones ofrecidas por el manual del dispositivo, información técnica de la conexión, montaje de los módulos que se instalaron en este proyecto y estudios\* donde se utiliza el dispositivo de medición PQube3<sup>15</sup>.

**2.1.1 Desconexión de la red.** El medidor PQube3 debe ser instalado por personal calificado y autorizado para instalaciones eléctricas. Todas las conexiones o mantenimiento del equipo se deben realizar con la red de suministro de energía eléctrica desconectada, para evitar posibles daños del dispositivo o accidentes del encargado de su utilización<sup>16</sup>.

---

\* Railway and MetroRail-Finding and solving AC and DC power problems, High frequency power quality, Micro-Synchrophasors for Distribution systems, Under Frequency throughout the entire US western grid: PQube3's capture every detail, Micro synchrophasor-Based intrusion detection in automated distribution systems: Towards critical infrastructure security

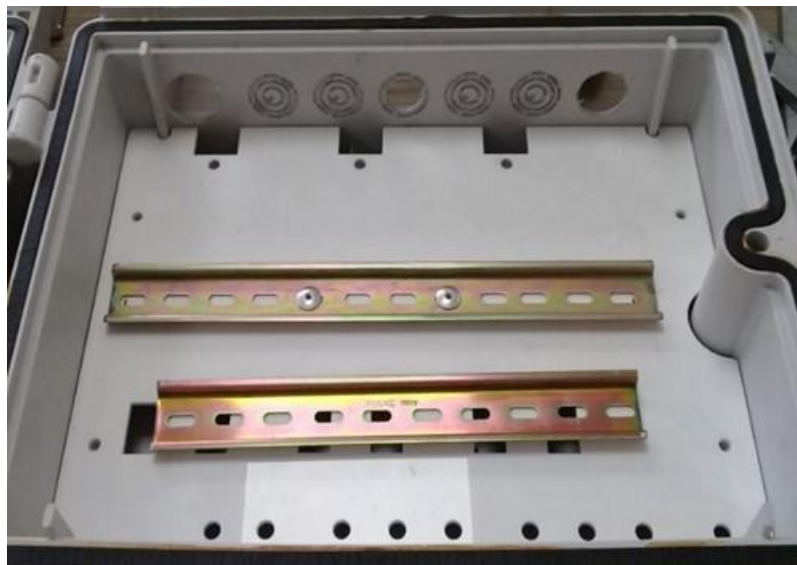
<sup>15</sup> Power Sensors Limited, 2015. Op. Cit.

<sup>16</sup> Ibid.

**2.1.2 Montaje adecuado y seguro del medidor PQube3.** El medidor PQube3 y sus módulos opcionales, están diseñados para ser montados de manera fija o portable. Al realizar un montaje del dispositivo de manera portable se obtendrá mayor flexibilidad para estudios de campo<sup>17</sup>. Por otro lado, al realizar un montaje del medidor PQube3 de manera fija se debe tener en cuenta el espacio en el tablero de distribución o instalarlo en una caja tipo intemperie<sup>18</sup>.

Los PQube3 están diseñados para ser montados en un carril DIN que permita sostener el dispositivo de manera segura y práctica para futuros cambios en su instalación<sup>19</sup>. La Figura 5 muestra la caja tipo intemperie y en ella el carril DIN empleado para el montaje del dispositivo de medición PQube3 y sus respectivos módulos, utilizados por el grupo GISEL para los estudios de calidad de la energía realizados en la Escuela de Ingenierías Eléctrica Electrónica y Telecomunicaciones.

**Figura 5. Caja tipo intemperie y carril DIN.**



<sup>17</sup> A. Power Sensors Ltd. PQube3 Portable. pp. 2–5, 2016.

<sup>18</sup> A. Power Sensors Ltd. Pre-wired rugged pole-mount. United States, pp. 1–4, 2016

<sup>19</sup> Power Sensors Limited, 2015. Op. Cit.

**2.1.3 Conexión del módulo de fuente de alimentación PM1 o PM2.** Este módulo se encaja en la parte derecha del medidor PQube3 como muestra la Figura 6. Este adaptador de tensión según sus características, es ideal para la instalación del PQube3 donde se encuentren tensiones de 100~200 VAC y frecuencias de 50/60/400 Hz. Por otro lado, si existen fuentes de 24 ~ 48 V de CC o 24 VCA, solo se conecta el dispositivo a la fuente de alimentación.<sup>20</sup>

**Figura 6. Conexión del módulo de alimentación PM1/PM2.**



**2.1.4 Protección contra sobrecorriente y dispositivo de desconexión.** El dispositivo de medición PQube3 se debe proteger contra sobrecorrientes que puedan presentarse en el sistema. Estas protecciones se instalan de acuerdo al número de entradas de tensión o corriente que posee el medidor PQube3 con la red de suministro de energía eléctrica <sup>21</sup>. Normalmente, se utilizan protecciones como fusibles o interruptores de corriente (breaker) como muestra la Figura 7, esto se hace necesario para proteger el dispositivo de medición PQube3.

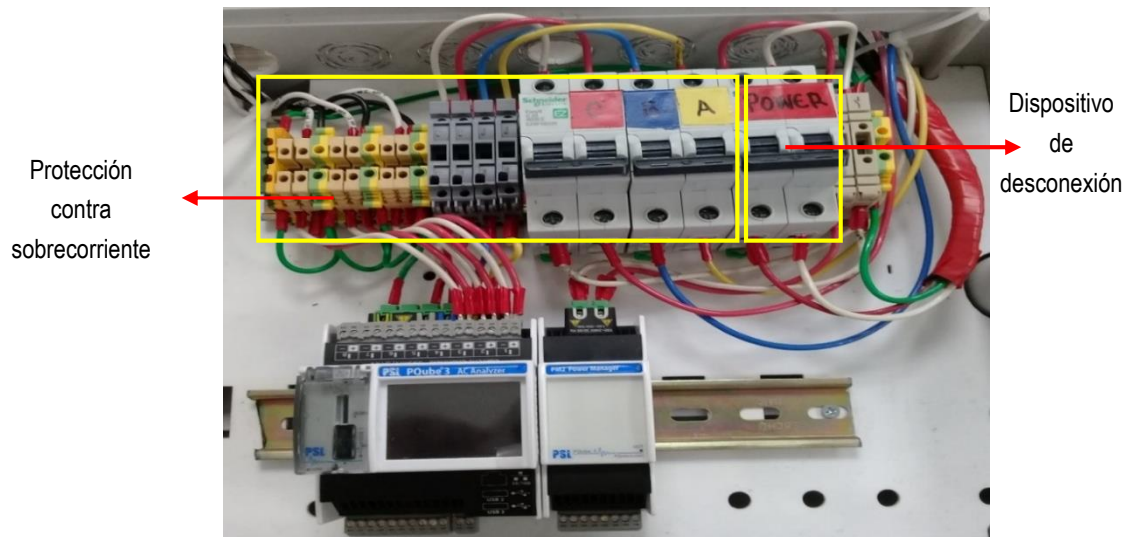
<sup>20</sup> Ibid.

<sup>21</sup> Siemens Industry, "Circuit breakers." pp. 19–28, 2011

Las características de los elementos de protección deben ser seleccionadas de manera correcta, esto con el fin de prevenir un daño en el dispositivo. Se utilizan fusibles de 1 A hasta 10 A o un interruptor de corriente de 10 A o 30 A.

Para la alimentación del dispositivo se debe instalar un dispositivo de apertura que permita al operador desconectar el medidor PQube3 ante cualquier evento<sup>22</sup>. El dispositivo de desconexión debe estar instalado cerca del medidor PQube3, a poca distancia del operador de manera que permita una fácil operación. Este dispositivo no debe desconectar la conexión al sistema de puesta a tierra del medidor PQube3 y sus módulos.

**Figura 7. Protección contra sobrecorriente y dispositivo de desconexión.**



<sup>22</sup> Power Sensors Limited, 2015. Op. Cit.

**2.1.5 Conexión del módulo UPS.** El modulo UPS se conecta en la parte derecha del medidor PQube3; al utilizar un módulo de alimentación PM1 o PM2, el modulo UPS se conecta en la parte derecha de este módulo.

Este módulo es el más externo al lado derecho del PQube3. Por defecto, suministra energía al equipo de medición durante 3 minutos, este valor es configurado tomando valores de 1 a 30 minutos. A medida que la batería de iones de litio dentro del módulo envejece su capacidad disminuirá. Dependiendo de las condiciones y requisitos de operación, es necesario reemplazar el modulo UPS cada 3 o 5 años o 500 ciclos, o lo que ocurra primero.<sup>23</sup>

**2.1.6 Conexión del módulo de sincronización MS1 (opción GPS1) y del envirosensor (ENV2).** El módulo MS1 se conecta en el lado izquierdo del medidor PQube3. Este módulo de sincronización MS1 se conecta con el receptor GPS para proporcionar al PQube3 una sincronización entre los dispositivos. La interconexión del módulo MS1 y el dispositivo GPS se realiza a través de un cable especial de 8 pines en el módulo MS1 y una conexión RJ45 en el receptor GPS como se muestra en la Figura 8. El conector RJ45 del GPS no debe conectarse a un conmutador de red o enrutador debido a que puede dañar su equipo.<sup>24</sup>.

Las sondas ENV2 se conectan a través de un cable USB en las ranuras USB-2 y USB-3 del medidor PQube3. Se conectan hasta dos sondas al medidor PQube3. Si es necesario la sonda es conectada a la ranura frontal USB-1, pero limita la extracción de datos a través del puerto USB mientras la sonda ocupe este puerto.<sup>25</sup>

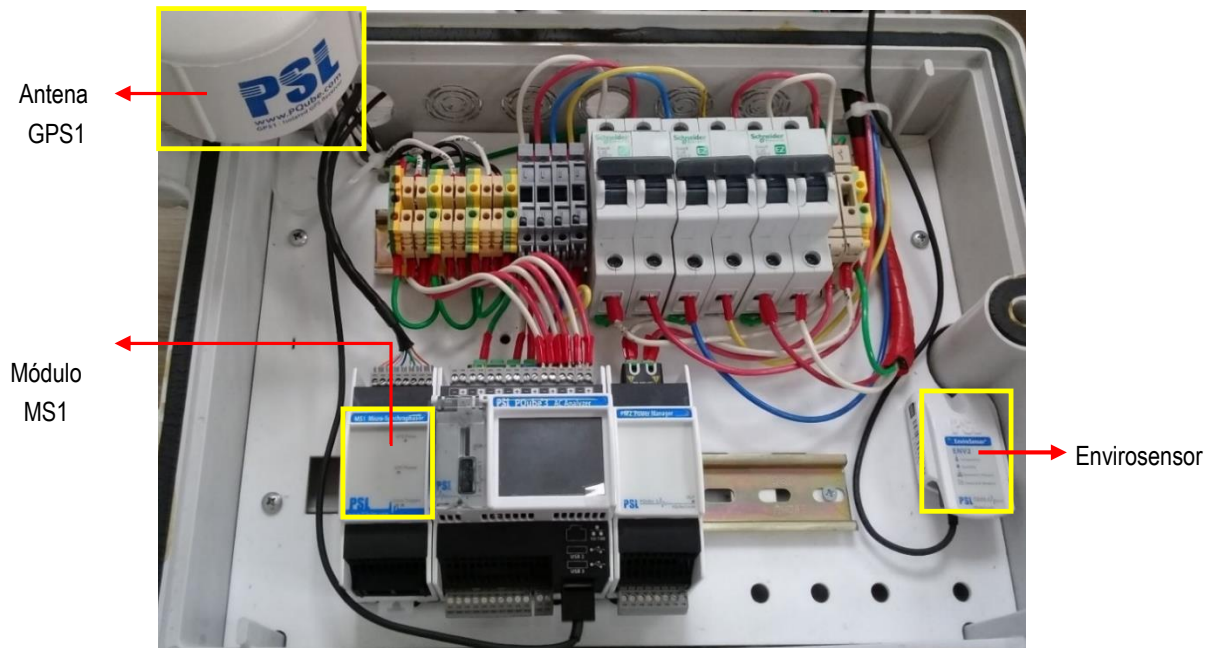
---

<sup>23</sup> Power Sensors Limited, 2015. Op. Cit.

<sup>24</sup> Ibid

<sup>25</sup> Ibid

**Figura 8. Conexión del módulo MS1 (opción GPS1) y envirosensor.**



## **2.2 CONFIGURACIÓN BÁSICA DEL MEDIDOR PQUBE3**

Para la realizar una configuración básica del dispositivo de medición PQube3 se tomó como referencia el manual instructivo de PSL. Este manual instructivo ofrece información práctica sobre una configuración básica (configuración de idioma, hora y verificación del dispositivo) que permite al usuario tener un primer acercamiento con el dispositivo de medición.<sup>26</sup>

---

<sup>26</sup> Ibid

**2.2.1 Configuración firmware.** El firmware del dispositivo de medición PQube3 es el soporte lógico que se instala para controlar los circuitos electrónicos del medidor, así como cualquier sistema operativo. El firmware necesita ser actualizado por el usuario<sup>27,28</sup>. Para realizar la actualización del firmware del dispositivo de medición PQube3 existen dos maneras:

- Configuración local

La configuración local se realiza por medio de la USB o el microSD, los requisitos que se deben tener en cuenta son los siguientes:

- Formatear la memoria en un formato FAT32
- El dispositivo utilizado (USB o microSD) solo debe contener el archivo de actualización.

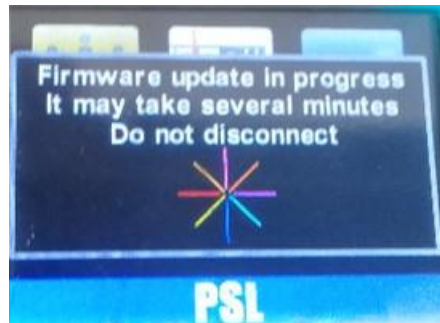
Luego de copiar el archivo **Updates.tar** en la unidad flash, se inserta el dispositivo en el medidor PQube3, el proceso de actualización iniciará instantáneamente reiniciando el dispositivo de medición como muestra la Figura 9; finalmente, el dispositivo de medición tendrá su sistema lógico actualizado y listo para su uso. El usuario verifica que la actualización se realizó de manera correcta por medio de la interfaz táctil del dispositivo de medición PQube3. Las actualizaciones del firmware son ofrecidas por PSL en la página principal en un archivo comprimido.

---

<sup>27</sup> A. Power Sensors Ltd. PQube3 firmware 3.6.3. 2018.

<sup>28</sup> A. Power Sensors Ltd. How to update firmware. 2018

**Figura 9. Proceso de configuración local del firmware del dispositivo de medición PQube3.**



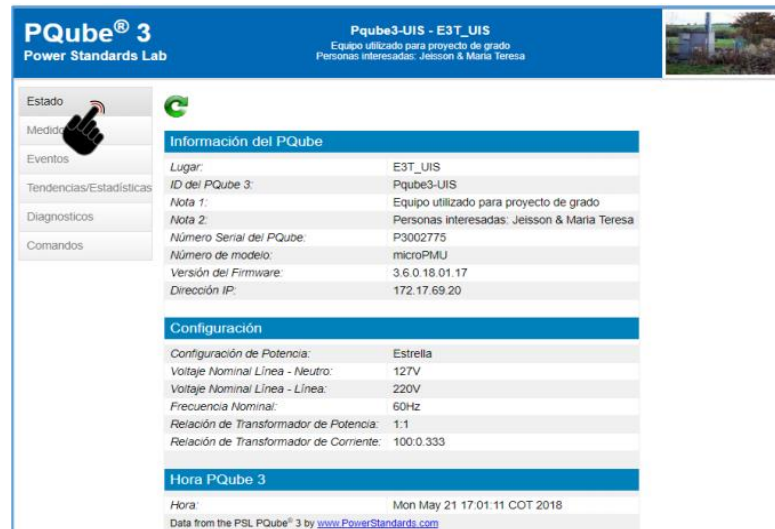
- Configuración vía web

Si la actualización se realiza por medio de la página web del dispositivo, se debe tener en cuenta la velocidad a la cual se suben los archivos por medio de la red; esto con el fin de evitar archivos cuyo tamaño influya en el tiempo de actualización del dispositivo. PSL ofrece un paso a paso para entender de manera correcta como enviar el archivo.

- Ingresar a la página web del dispositivo
- Dirigirse a la opción comandos.
- En la casilla de actualizar el firmware se selecciona la casilla examinar para cargar el archivo de actualización.
- Enviar el archivo al dispositivo.

Para verificar si el firmware del dispositivo quedó actualizado, el usuario selecciona la casilla **Estado**, ubicada en la página web del dispositivo de medición PQube3 como muestra la Figura 10, allí observa si la versión del firmware se instaló satisfactoriamente.

**Figura 10. Verificación de la actualización del firmware a través de la página web del dispositivo de medición PQube3.**



Nota: A pesar que el navegador indica que el archivo fue enviado, se tarda aproximadamente unos 15 minutos en reiniciar y actualizar, este tiempo puede variar dependiendo de la velocidad de conexión.

**2.2.2 Configuración inicial.** Luego de actualizar el firmware del dispositivo, se realizó por medio de la interfaz táctil del dispositivo de medición configuraciones básicas como idioma, hora/fecha, que permiten un buen desarrollo inicial del dispositivo de medición PQube3.<sup>29</sup>

- Configuración de idioma

Al iniciar el dispositivo se deberá configurar el idioma seleccionado de manera que el usuario entienda de manera fácil, los controles en la navegación táctil y así poder realizar las diferentes búsquedas en este.<sup>30</sup>

<sup>29</sup> Power Sensors Limited, 2015. Op. Cit.

<sup>30</sup> Ibid.

- Configuración hora/fecha

La configuración de hora/fecha se realiza de manera manual al iniciar el dispositivo por parte del usuario; si el dispositivo tiene conexión a Internet puede utilizarse para sincronizarse por medio de SNTP y NTP. Además, se puede sincronizar el dispositivo vía GPS si los módulos MS1 y GPS1 están conectados<sup>31</sup>.

- Comprobar que el dispositivo este configurado correctamente

Los parámetros que el usuario debe comprobar son la alimentación del dispositivo y las lecturas por parte del medidor; es importante verificar que la tensión y la frecuencia nominal estén correctos debido a que los eventos que se registran están configurados como un porcentaje de estos valores.

Si se han introducido PTs y CTs se debe comprobar que los valores de tensión, corriente, potencia y factor de potencia sean apropiados. Los vectores también deben ser comprobados por parte del usuario, para un sistema equilibrado deberán estar de la siguiente manera; L1 a 0°, L2 a -120° y L3 a 120°.<sup>32</sup>

---

<sup>31</sup> Ibid.

<sup>32</sup> Ibid.

### 3. UTILIZACIÓN DEL DISPOSITIVO DE MEDICIÓN PQUBE3

Este capítulo describe la configuración vía programación del dispositivo de medición PQube3, exponiendo cada uno de las secciones que ofrecen los configuradores “*PQube3 configurator 3.6.0.16*” y “*microPMU configurator 3.6.0.3*” (Sección 3.1), luego se explica el uso del editor de texto “bloc de notas” como herramienta para realizar la programación del dispositivo de medición (Sección 3.2) y se realiza una explicación sobre la obtención de muestras que se obtienen con el dispositivo de medición PQube3 (Sección 3.3).

#### 3.1 CONFIGURACIÓN VÍA PROGRAMACIÓN

La configuración de la herramienta se realiza por medio de un software de programación ***PQube3 configurator*** suministrado por PSL.<sup>33</sup> Esta plataforma ofrece un acceso rápido al usuario para desarrollar las configuraciones del dispositivo de medición PQube3.

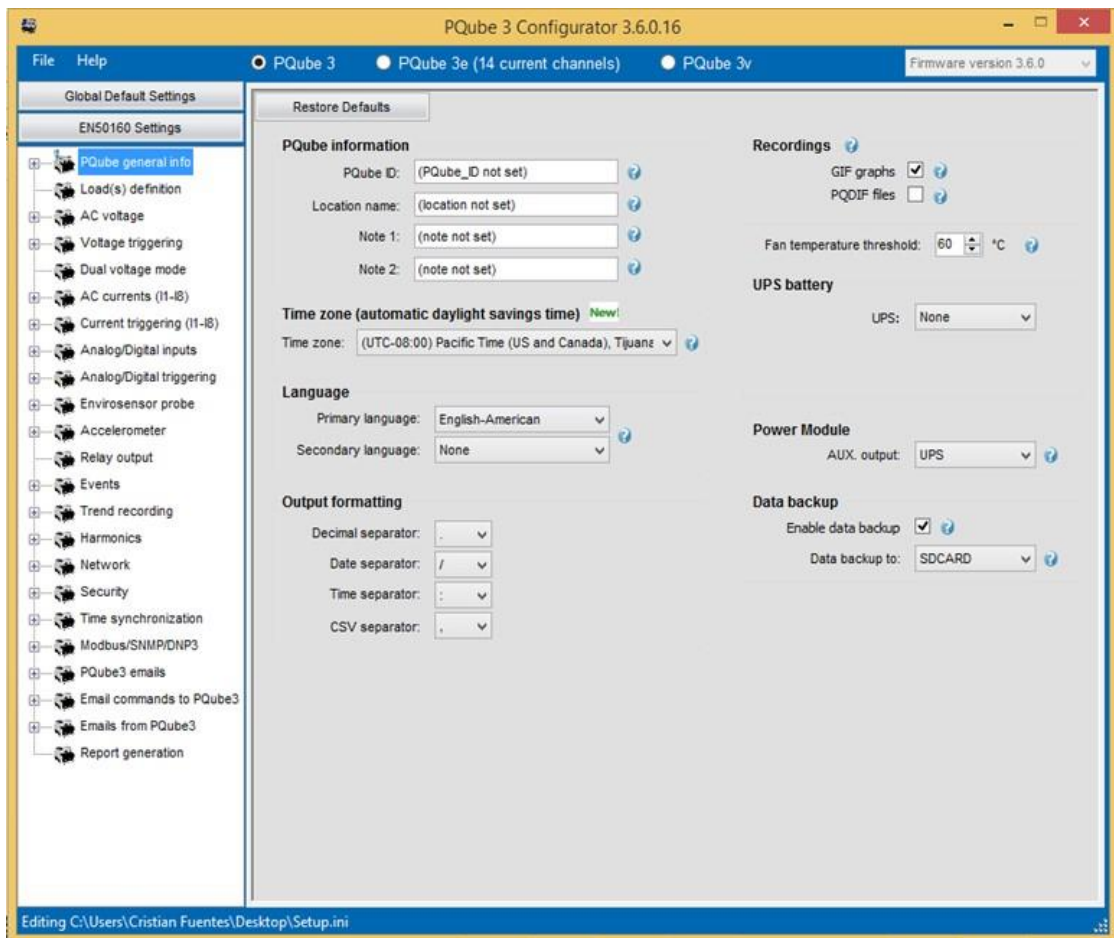
Antes de realizar las respectivas configuraciones del dispositivo es necesario asegurarse que el firmware instalado en el dispositivo sea el último entregado por el distribuidor PSL. Esto se debe a que, si existe un nuevo software del configurador y el firmware esta desactualizado, el dispositivo no reconocerá algunas acciones que se le asignen a la hora de ejecutar la medición, en el capítulo anterior se mencionan los métodos para actualizar y verificar que el firmware instalado sea el correcto.

---

<sup>33</sup> Ibid.

**3.1.1 PQube3 configurator 3.6.0.16.** El *PQube3 configurator* es una herramienta suministrada por PSL para realizar configuraciones en el dispositivo de medición PQube3 de manera fácil y rápida gracias a su interfaz gráfica, como se muestra en la Figura 11<sup>34,35</sup>. La “*Guía de usuario para equipos de medición PQube3 (PMU y Analyzer)*” (Anexo A), explica como modificar cada ítem para realizar configuraciones que permitan realizar estudios en la red de suministro de energía eléctrica.

**Figura 11. Interfaz del configurador PQube3 configurator 3.6.0.16.**



<sup>34</sup> Ibid.

<sup>35</sup> A. Power Sensors Ltd. PQube 3 Specifications. pp. 1–8, 2018

A continuación, se realiza una descripción de cada sección que contiene el configurador *PQube3 configurator 3.6.0.16*:

- Información del PQube3

Establece parámetros únicos al medidor, debido a que permite un fácil reconocimiento al registrar los datos, estos parámetros se configuran en la sección ***PQube general information***. En esta sección se pueden realizar configuraciones como: nombre del dispositivo, lugar de instalación, zona horaria, lenguaje, grabaciones, temperatura, batería UPS, módulo de potencia, respaldo de datos, conexión de la carga y formatos de salida del dispositivo de medición PQube3.<sup>36</sup>

- Voltaje AC

Configura las tensiones que se encuentran en el sistema eléctrico 120/208 [V], 127/220 [V], 133/230 [V], 220/380 [V], 230/400 [V], 240/415 [V]. Además, permite la obtención de datos de tensión fase-fase y fase-neutro del sistema, la selección de la relación de transformación del transformador de potencial, la configuración de opciones avanzadas como: la selección de tensiones desbalanceadas, normas para el cálculo de desbalances de tensión, dato de las componentes armónicas, datos de la distorsión armónica total de la tensión, datos de las fluctuaciones de tensión, corrección de las conexiones a la red y selección del sistema de medida (horario o anti-horario); los ítems deben ser configurados por el usuario respecto a la necesidad del estudio que se desea realizar en la red de suministro de energía eléctrica.<sup>37,38</sup>

---

<sup>36</sup> Power Sensors Limited, 2015. Op. Cit.

<sup>37</sup> N. E. En, N. I. Iec, and N. Une-en, “Compatibilidad electromagnética (CEM) Parte 4-30: Técnicas de ensayo y de medida Métodos de medida de la calidad de suministro.” 2015

<sup>38</sup> N. E. En, N. I. Iec, and N. Une-en, “Compatibilidad electromagnética (CEM) Parte 4-15: Técnicas de ensayo y de medida Medidor de flicker Especificaciones funcionales y de diseño.” p. 48, 2012

- Activación de tensión

Controla los diferentes umbrales en los que serán activados los registros de eventos en la tensión, los valores establecidos en esta sección se dan porcentualmente; los porcentajes descritos en estos umbrales serán medidos respecto a los valores nominales de la red. Es importante configurar de manera correcta los umbrales deseados por el usuario, esto con el fin de evitar selecciones erróneas que puedan afectar los resultados que se desean obtener.<sup>39, 40, 41</sup>

- Corriente AC

Selecciona y configura el tipo de transformador que se desea instalar (CT o flexible). Para realizar las diferentes mediciones en el sistema, el usuario puede seleccionar el modelo dependiendo de la corriente y la tensión donde se va a instalar el dispositivo de medición PQube3.<sup>42</sup>

Si el usuario requiere más canales de medición en su sistema, diferente a los establecidos para el cálculo de corrientes de fase, corrientes de neutro y corriente de tierra, puede utilizar los canales auxiliares que tiene el dispositivo de medición PQube3 para realizar estos cálculos.<sup>43</sup>

- Activación de corriente

Asigna a las líneas umbrales donde serán activados distintos registros de eventos de corriente en cada una de las líneas establecidas, estos umbrales serán definidos por el usuario. Se debe tener en cuenta la identificación de la línea de fase, tierra y neutro, para caracterizar de manera adecuada los eventos que se presentan en la

---

<sup>39</sup> N. E. En, N. I. Iec, and N. Une-en, “Compatibilidad electromagnética (CEM) Parte 4-30. Op. Cit.

<sup>40</sup> C. A. (Universidad del atlantico) Juan Carlos. Calidad de la energia electrica, Upme-Colciencias, p. 22, 2014

<sup>41</sup> CREG. Resolución CREG 016 de 2007. p. 6, 2007. Op. Cit.

<sup>42</sup> UNSER, K. A torrodial D.C beam current transformer with high resolution, pp. 1–8, 1981

<sup>43</sup> Power Sensors Limited, 2015. Op. Cit.

red. Además, se debe verificar que las líneas utilizadas no estén en uso por parte de los ítems anteriormente configurados.<sup>44, 45, 46</sup>

- Entradas analógicas y digitales

Activa y configura las entradas analógicas y digitales del dispositivo de medición PQube3 permitiendo realizar un estudio de las diferentes señales de tensión, corriente y potencia en DC o AC según corresponda.<sup>47</sup>.

- Activación de canales analógicos y digitales

Modifica los eventos que registran los canales analógicos, digitales, voltajes AC y corrientes AC. El control de estos eventos se realiza por medio de umbrales definidos por el usuario, si no es necesario el uso de estos datos se tiene la opción de mantenerlos deshabilitados.

- Sonda ambiental

Realiza el registro de las condiciones ambientales en las que se encuentra el dispositivo de medición PQube3. La configuración de esta sección se realiza cuando se presentan datos incoherentes por cambios ambientales en el lugar donde se encuentre instalado el dispositivo de medición PQube3. Estos cambios ambientales pueden ser provocados por altas y bajas temperaturas y humedad.<sup>48</sup>

- Acelerómetro

Permite el registro de movimientos externos que sufre el dispositivo de medición PQube3. Estos movimientos pueden ser provocados por sismos y choques

---

<sup>44</sup> IEEE, Op. Cit.

<sup>45</sup> N. E. En, N. I. Iec, and N. Une-en, “Compatibilidad electromagnética (CEM) Parte 4-30. Op. Cit.

<sup>46</sup> CREG. Resolución CREG 016 de 2007. p. 6, 2007. Op. Cit.

<sup>47</sup> A. Power Sensors Ltd. pp. 1–8, 2018. Op. Cit.

<sup>48</sup> A. Power Sensors Ltd. pp. 5–6, 2016. Op. Cit.

mecánicos que se pueden presentar en lugar donde se encuentre instalado el dispositivo de medición PQube3<sup>49</sup>.

- Eventos

Controla y modifica el número de muestras por ciclo que el usuario necesita para realizar un estudio satisfactorio en la red de suministro de energía eléctrica.<sup>50, 51</sup>

- Registro de tendencias

Configura los umbrales de la zona de interés mostrada por el dispositivo de medición PQube3. El usuario registra datos entre ciertos valores porcentuales<sup>52, 53, 54</sup>. La configuración de las tendencias y el tipo de medición que será utilizada se establece en los anteriores ítems. Las tendencias se pueden extraer del dispositivo de medición PQube3 de manera diaria, semanal o mensual. El usuario debe seleccionar la frecuencia a la cual desea realizar la extracción de los datos de tendencias, esto depende de las necesidades de la monitorización.<sup>55</sup>

- Armónicos

Permite generar una gráfica del espectro de componentes armónicas de tensión y de corriente del sistema donde se encuentre instalado el dispositivo de medición PQube3.<sup>56</sup>

---

<sup>49</sup> Ibid.

<sup>50</sup> O. (Universidad de la C. Cervantes. Metodología de medición de calidad de energía eléctrica en base a normas nacionales e internacionales para la Universidad de la Costa. p. 102, 2014

<sup>51</sup> C. A. (Universidad del atlantico) Juan Carlos. p. 22, 2014. Op. Cit.

<sup>52</sup> O. (Universidad de la C. Cervantes. p. 102, 2014. Op. Cit.

<sup>53</sup> C. A. (Universidad del atlantico) Juan Carlos. p. 22, 2014. Op. Cit.

<sup>54</sup> CREG. Resolución CREG 016 de 2007. p. 6, 2007. Op. Cit.

<sup>55</sup> Power Sensors Limited, 2015. Op. Cit.

<sup>56</sup> ROJAS CUBIDES, H. E.; RIVAS TRUJILLO, E. and JARAMILLO MATTA, A. A. Aspectos técnicos y normativos para el monitoreo y medición de armónicos, Ingeniería, vol. 19, no. 2, pp. 6–11, 2014

- Red

Este protocolo de comunicación conecta el dispositivo de medición PQube3 a través de páginas web<sup>57</sup>. Esto permite al usuario enviar los registros a cualquier lugar del mundo. Para establecer la conexión del dispositivo de medición PQube3 con la web se debe configurar la dirección IP y las puertas de acceso necesarias para la transferencia de datos.<sup>58, 59</sup>.

- Seguridad

Protege al dispositivo de medición PQube3 contra ataques cibernéticos, acceso a páginas web de forma segura y transferencia de archivos seguros.<sup>60</sup>

- Tiempo de sincronización

Ajusta el reloj del dispositivo de medición PQube3 por medio de protocolos NTP y SNTP. Esto permite realizar mediciones en la red con mayor precisión, brindando al usuario una mayor confiabilidad en la toma de muestras del sistema.<sup>61</sup>

- MODBUS/SNMP/DNP3

Configura la plataforma modbus del dispositivo de medición PQube3. El usuario observa en tiempo real los eventos que suceden en la red. Los protocolos de comunicación MODBUS se pueden definir como el SCADA del dispositivo de medición PQube3.<sup>62</sup>. Los protocolos utilizados para la configuración de la comunicación dispositivo-hombre son SNMP\*\* y DNP3\*\*\*.

---

<sup>57</sup> Power Sensors Limited, 2015. Op. Cit.

<sup>58</sup> Teldat. Router Teldat- protocolo DHCP, Protocolo HTTP. p. 4, 2007

<sup>59</sup> Transition Network, Static IP Routing ( SIR ) User Guide. 2013

<sup>60</sup> Power Sensors Limited, 2015. Op. Cit.

<sup>61</sup> Spectracom, Technical Note : Differences Between NTP and SNTP, vol. 33, no. 0. p. 1, 2011

<sup>62</sup> A. Power Sensors Ltd. PQube3 Modbus interface PQube 3 Modbus Interface Reference manual PQube. pp. 1-46, 2016.

\*\* SNMP (Protocolo Simple de Administración de Red) es un protocolo que facilita el intercambio de información de administración entre los dispositivos de red [35].

\*\*\* DNP3 (Protocolo de Red Distribuida) es un protocolo de comunicaciones entre dispositivos inteligentes (IED) [36]

- Email PQube3

Crea un correo PQube3 por medio del configurador. Esto permite identificar al dispositivo de medición PQube3 por medio de protocolos email con el fin de realizar envíos de configuraciones o enviar a otros correos con los registros de datos obtenidos. Si se desea utilizar otro correo electrónico, el usuario puede seleccionar proveedores (Gmail u otros).

Luego de seleccionar o crear el correo que se desee utilizar, se realizan las configuraciones con el tipo de correo escogido. Como recomendación, no se debe seleccionar un correo personal, de ser así la bandeja de entrada será eliminada al realizar el procesamiento de comandos de email.

- Comando de email para PQube3

Configura los correos que aceptará el dispositivo de medición PQube3. Esto permite mantener una comunicación con el usuario y modificar parámetros del dispositivo de medición PQube3 como: configuración, generar instantáneas, generar tendencias diarias.

- Email de PQube3

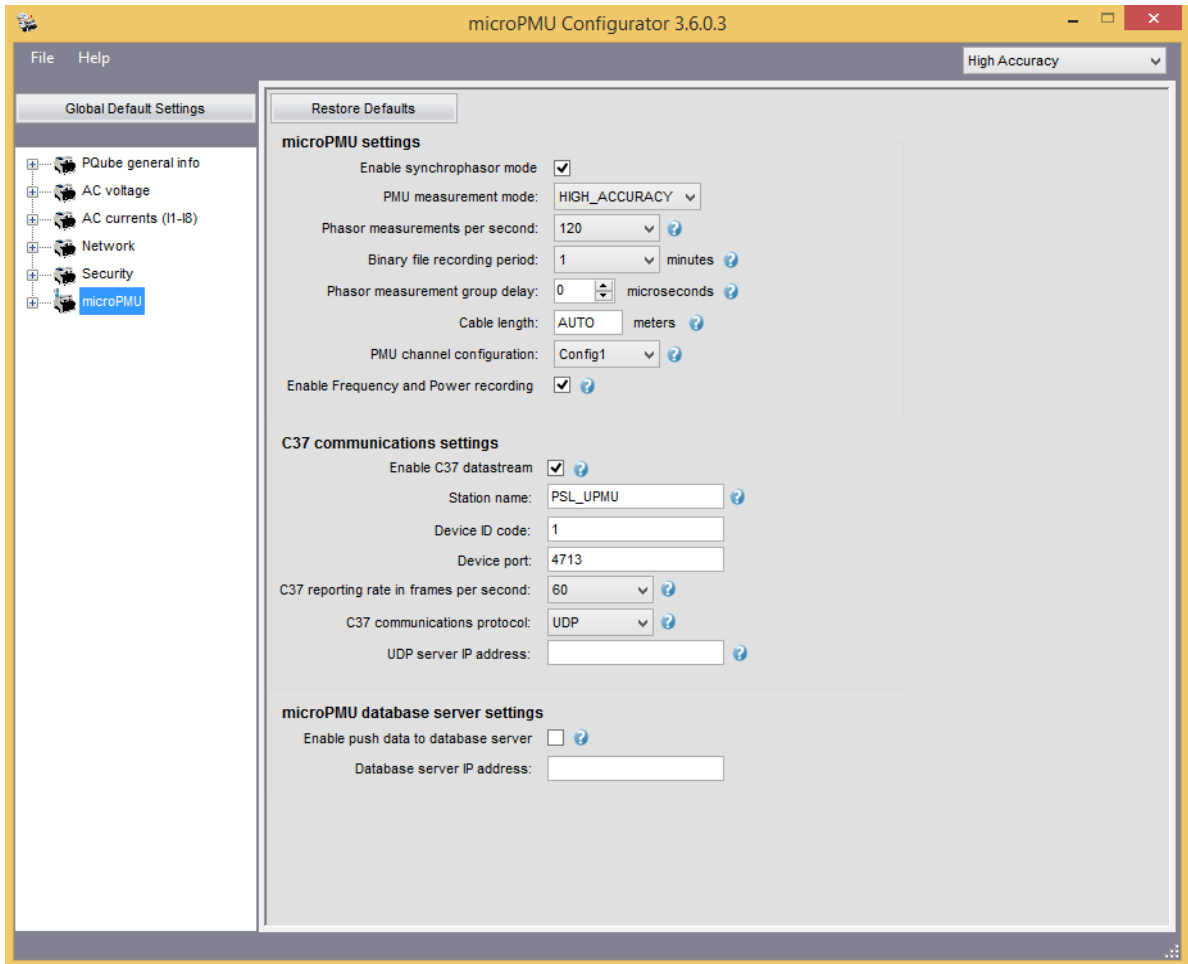
Configura los datos que desea recibir por parte del dispositivo de medición PQube3 al correo seleccionado anteriormente. Permitiendo controlar las notificaciones diarias en el correo. Esta configuración obtiene datos en cualquier lugar del mundo.<sup>63</sup>.

---

<sup>63</sup> GEORGE SAMPLE, S. C. EN50160 Reporte de Conformidad: 'Características del Voltaje en los terminales de la red de Voltaje del Usuario: Límites y Valores.' 2011

**3.1.2 microPMU configurator 3.6.0.3.** El *microPMU configurator* es una herramienta suministrada por PSL para realizar medidas sincrofasoriales en el sistema de distribución<sup>64</sup>. La Figura 12 muestra la interfaz gráfica del configurador.

**Figura 12. Interfaz gráfica del configurador microPMU configurator 3.6.0.3.**



<sup>64</sup> A. Power Sensors Ltd. pp. 1–53, 2016. Op. Cit.

Para la configuración de la microPMU se tienen en cuenta algunas secciones\* mencionadas anteriormente. Además, se debe configurar el ítem “*microPMU*”, que permite establecer la medida sincrofasorial del sistema donde se va a instalar el dispositivo.

Nota: La configuración del ítem “*microPMU*” se describe de manera detallada en la “*Guía de usuario para equipos de medición PQube3 (PMU y Analyzer)*”.

### **3.2 PROGRAMACIÓN POR VIA BLOC DE NOTAS**

El dispositivo de medición PQube3 tiene la opción ser programado sin utilizar el “*PQube3 configurator 3.6.0.16 o microPMU configurator 3.6.0.3*” suministrado por PSL<sup>65</sup>. Este procedimiento es realizado por el usuario utilizando el editor bloc de notas. Los ítems configurados son iguales a los encontrados en el configurador. Además, se accede con más facilidad a valores que por medio del configurador se ven restringidos al programar (como el ingreso de valor de tensión de flicker) y que con ayuda de este tipo de programación son más accesibles para el programador. A continuación, se describe el proceso para ingresar al archivo de configuración por medio del editor bloc de notas:


- Ingresar al configurador “*PQube3 configurator 3.6.0.16 o microPMU configurator 3.6.0.3*”, como se muestra en la Figura 13.

---

\* Información general del PQube3, voltaje AC, corriente AC, entradas analógicas y digitales, red y seguridad

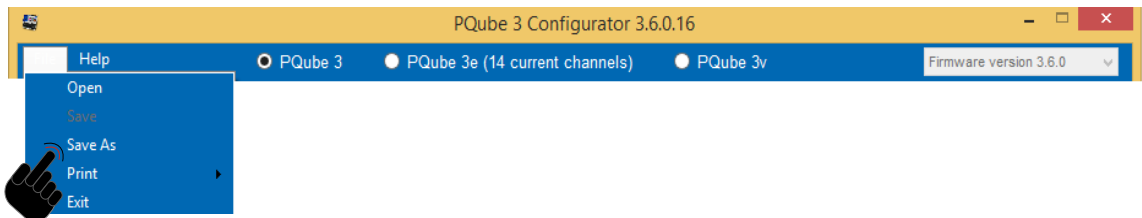
<sup>65</sup> Power Sensors Limited, 2015. Op. Cit.

**Figura 13. Archivo ejecutable PQube3 Configurator 3.6.0.16.**

Nombre	Fecha de modifica...	Tipo	Tamaño
 PQube 3 Configurator_3_6_0_16	07/03/2018 4:16 p....	Aplicación	3.996 KB

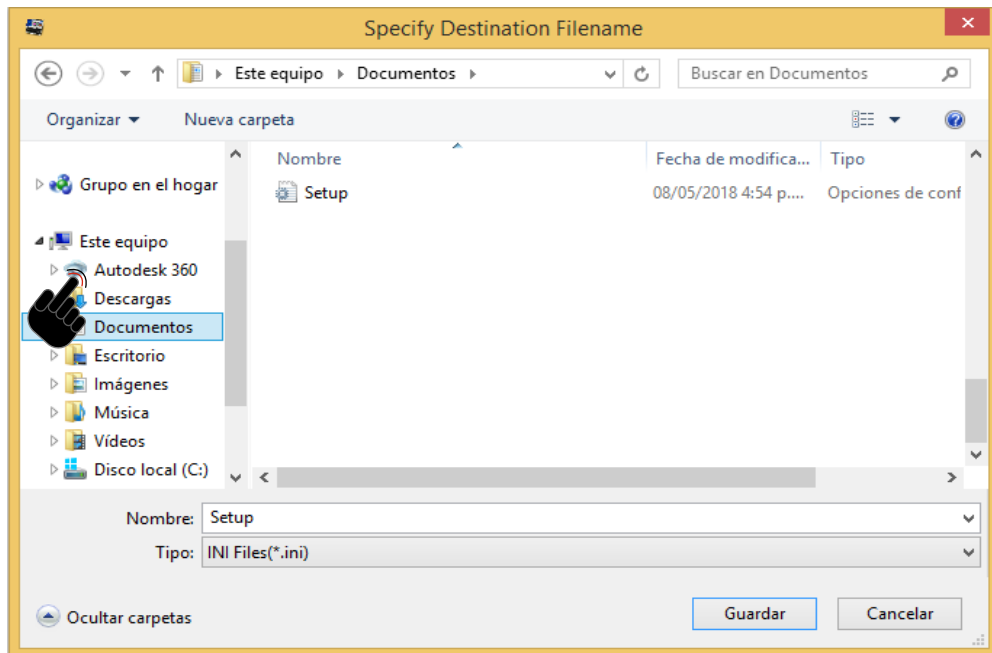
- Dirigirse a la opción archivo (*file*) y seleccionar guardar como (*Save As*), como se muestra en la Figura 14.

**Figura 14. Barra de opciones del PQube3 configurator 3.6.0.16.**



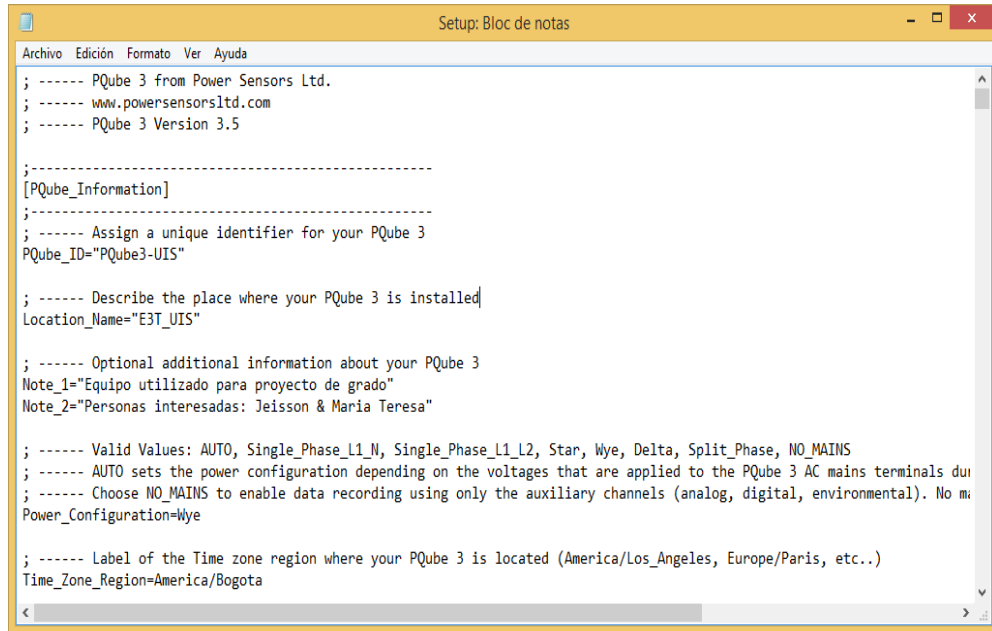
- Seleccionar la carpeta donde será guardado el archivo de configuración del dispositivo de medición PQube3. El archivo debe ser guardado por el usuario con el nombre setup y tipo INI Files(\*.ini), como se muestra en la Figura 15.

**Figura 15. Carpeta de destino del archivo de configuración PQube3.**



- Una vez guardado el archivo de configuración, el usuario puede acceder a éste por medio del editor bloc de notas y realizar las configuraciones descritas en el ítem anterior. La Figura 16 muestra el editor bloc de notas para la configuración del dispositivo de medición PQube3.

**Figura 16. Editor bloc de notas para la configuración del dispositivo de medición PQube3.**



```
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
; ----- PQube 3 from Power Sensors Ltd.
; ----- www.powersensors1td.com
; ----- PQube 3 Version 3.5

;-----
[PQube_Information]
;-----
; ----- Assign a unique identifier for your PQube 3
PQube_ID="PQube3-UIS"

; ----- Describe the place where your PQube 3 is installed
Location_Name="E3T_UIS"

; ----- Optional additional information about your PQube 3
Note_1="Equipo utilizado para proyecto de grado"
Note_2="Personas interesadas: Jeisson & Maria Teresa"

; ----- Valid Values: AUTO, Single_Phase_L1_N, Single_Phase_L1_L2, Star, Wye, Delta, Split_Phase, NO_MAINS
; ----- AUTO sets the power configuration depending on the voltages that are applied to the PQube 3 AC mains terminals dur
; ----- Choose NO_MAINS to enable data recording using only the auxiliary channels (analog, digital, environmental). No m
Power_Configuration=Wye

; ----- Label of the Time zone region where your PQube 3 is located (America/Los_Angeles, Europe/Paris, etc..)
Time_Zone_Region=America/Bogota
```

Nota: Para realizar la configuración de la microPMU por medio del editor bloc de notas se siguen los pasos anteriores, pero utilizando el configurador “*microPMU configurator 3.6.0.3*”.

### 3.3 OBTENCIÓN DE MUESTRAS

El dispositivo de medición PQube3 tiene un rango de adquisición de datos muy amplio ofreciendo al usuario mayor confiabilidad al registrar datos, la cantidad de muestras por ciclo que obtiene el dispositivo de medición PQube3 lo hace una herramienta útil para monitorizar los sistemas eléctricos y realizar análisis de posibles problemas<sup>66</sup>.

---

<sup>66</sup> Ibid.

El dispositivo entrega datos que el usuario puede descargar por medio de una USB o un microSD. Además, los datos registrados por el dispositivo de medición PQube3 están agrupados en carpetas, permitiendo al usuario seleccionar los datos necesarios para realizar su respectivo análisis de un sistema eléctrico<sup>67</sup>.

La obtención de muestras depende exclusivamente del usuario y de la configuración que este le haya asignado al dispositivo de medición PQube3. Por esta razón, se debe tener un conocimiento básico acerca de medición de sistemas eléctricos y seleccionar convenientemente los datos que se deben obtener para realizar un análisis adecuado de la red eléctrica.<sup>68</sup>

**3.3.1 Extracción de datos.** Los datos del dispositivo de medición son descargados mediante una USB, un microSD, un correo electrónico o vía web. El uso de las opciones de descarga depende del ambiente de trabajo donde se realice la monitorización con el dispositivo de medición PQube3, teniendo en cuenta que cada modo de transferencia de datos es diferente. La descarga de datos por cualquier medio no modifica los valores medidos y las carpetas entregadas por el dispositivo<sup>69</sup>

A continuación, se describen las opciones de descarga de datos del dispositivo de medición PQube3:

- Extracción de datos vía web

La extracción de datos vía web se realiza por medio de la página web del dispositivo de medición PQube3. El Capítulo 13 de la *“Guía de usuario para equipos de medición PQube3 (PMU y Analyzer)”* explica la configuración de la descarga de datos por medio de la página web del medidor; allí se describen parámetros de

---

<sup>67</sup> Ibid.

<sup>68</sup> Ibid

<sup>69</sup> Ibid

comunicación como la IP y puertos de acceso del dispositivo de medición PQube3 estableciendo una conexión eficiente entre el dispositivo y el usuario<sup>70</sup>.

- Extracción de datos por USB

Descargar datos vía USB, es la manera más fácil de extraer los datos del dispositivo de medición PQube3. Este procedimiento no necesita del configurador, simplemente el usuario debe conocer la interfaz gráfica del dispositivo y la extracción se realizará automáticamente. Uno de los inconvenientes presentados por este tipo de descarga de datos es el desgaste físico del puerto USB asignado para esta tarea, por lo tanto, es recomendable realizar la descarga de datos a través de una microSD.<sup>71</sup>

El Capítulo 22 de la “*Guía de usuario para equipos de medición PQube3 (PMU y Analyzer)*” describe un procedimiento para descarga los datos de manera fácil y eficiente.

- Extracción de datos por correo electrónico

La configuración del correo electrónico se convierte en la manera más difícil de extraer los datos del dispositivo. Esto permite la asignación de un único router al dispositivo para mantener la conexión a internet de manera continua y así recibir los correos provenientes del dispositivo de medición PQube3. Si la configuración se hace de manera correcta, el usuario podrá extraer datos desde cualquier lugar del mundo sin tener que encontrarse en el lugar donde se está ubicado el medidor PQube3.

---

<sup>70</sup> Ibid

<sup>71</sup> Ibid

**3.3.2 Revisión de los datos obtenidos.** El registro de datos realizados por el dispositivo de medición PQube3 es extenso, debido a que el dispositivo realiza mediciones de toda la red en general; por esta razón, el usuario debe conocer la configuración del dispositivo y la monitorización realizada en la red para facilitar la búsqueda de los datos medidos por el dispositivo de medición PQube3 en las carpetas descargadas.

Nota: Ver Anexo B y Anexo C para ejemplos de aplicación de la configuración del dispositivo de medición PQube3.

## 4. ELABORACIÓN DE LA GUÍA DE USUARIO

La “*Guía de usuario para equipos de medición PQube3 (PMU y Analyzer)*” está compuesta por 23 capítulos clasificados de la siguiente manera: 19 capítulos que presentan la explicación de cada uno de las secciones que del “*PQube3 configurator 3.6.0.16*” para realizar las configuraciones de monitorización, diagnóstico o verificación de la red de energía eléctrica. El Capítulo 20 es dedicado a la configuración de la microPMU, cuyas secciones son similares a los del PQube3 Analyzer a excepción del análisis de los sincrofasores. Los capítulos del 21, 22 y 23 son dedicados al manejo del dispositivo; comunicación entre el PC y el dispositivo de medición PQube3, descarga de datos e información y manejo de los datos obtenidos por el dispositivo de medición PQube3.

El archivo incluye video-tutoriales que ofrecen al usuario una experiencia didáctica acerca del manejo del dispositivo de medición PQube3.

La elaboración de la “*Guía de usuario para equipos de medición PQube3 (PMU y Analyzer)*” se realizó utilizando herramientas como: *Microsoft Word* que permite la estructuración del documento y todo su contenido, *Microsoft Visio* cuya función principal es la edición de los diagramas de flujo útil para el buen entendimiento de la información, *Open Broadcaster Software(OBS Studio)* software gratuito que permitió la grabación de los video tutoriales y *Windows Movie Maker* donde se realizó la respectiva edición de los videos de la guía.

Este capítulo describe los requerimientos para la utilización de la “*Guía de usuario para equipos de medición PQube3 (PMU y Analyzer)*” (Sección 4.1) y los componentes que tiene la guía de usuario como: contenido y botones de navegación (Sección 4.2).

#### **4.1 REQUERIMIENTOS PARA LA UTILIZACIÓN DE LA GUÍA DE USUARIO**

La siguiente guía es una herramienta para el apoyo de estudiantes y docentes de la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones en el área de calidad de la energía eléctrica.

Para la utilización de la *“Guía de usuario para equipos de medición PQube3 (PMU y Analyzer)”* se requiere de: conocimientos previos sobre mediciones eléctricas, instalación de dispositivos y calidad de la energía eléctrica. Además, es necesario tener los software suministrado por PSL *“PQube3 configurator 3.6.0.16”* y *“microPMU configurator 3.6.0.3”* para realizar las configuraciones del dispositivo de medición PQube3.

#### **4.2 COMPONENTES DE LA GUÍA DE USUARIO**

La *“Guía de usuario para equipos de medición PQube3 (PMU y Analyzer)”* se presenta al usuario como una herramienta didáctica cuya función es reducir el tiempo en la curva de aprendizaje acerca del dispositivo de medición PQube3. Los componentes de la guía de usuario permiten un manejo eficiente para la configuración del dispositivo de medición PQube3.

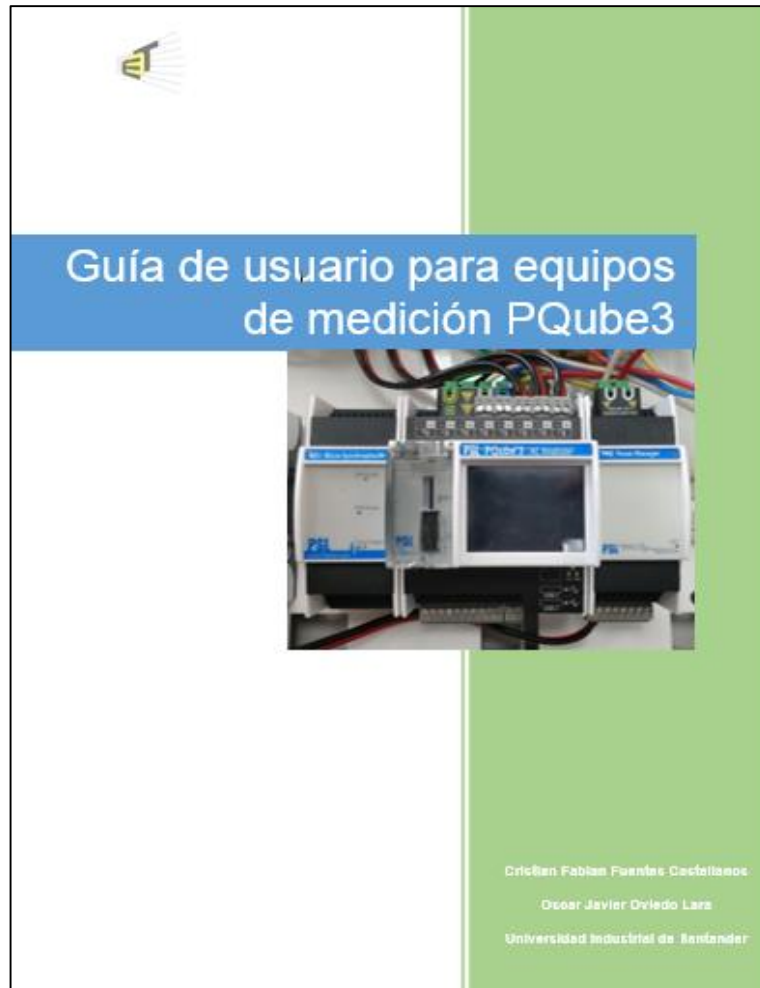
**4.2.1 Contenido.** La “*Guía de usuario para equipos de medición PQube3 (PMU y Analyzer)*” es una herramienta que expone de manera didáctica el manejo del dispositivo de medición PQube3, por medio de diagramas de flujo, imágenes y descripciones detalladas de cada ítem del configurador “*PQube3 configurator*”, “*microPMU configurator*”, comunicación PC-PQube3, descarga de datos, información y manejo de los datos obtenidos por el medidor PQube3, permitiendo al usuario un aprendizaje más fácil y rápido.

La guía de usuario contiene material visual, los cuales se especifican a continuación:

- Portada

La Figura 17 representa la presentación de la guía de usuario, allí se puede observar una primera imagen del dispositivo de medición PQube3, el título de la guía de usuario y nombres de los autores.

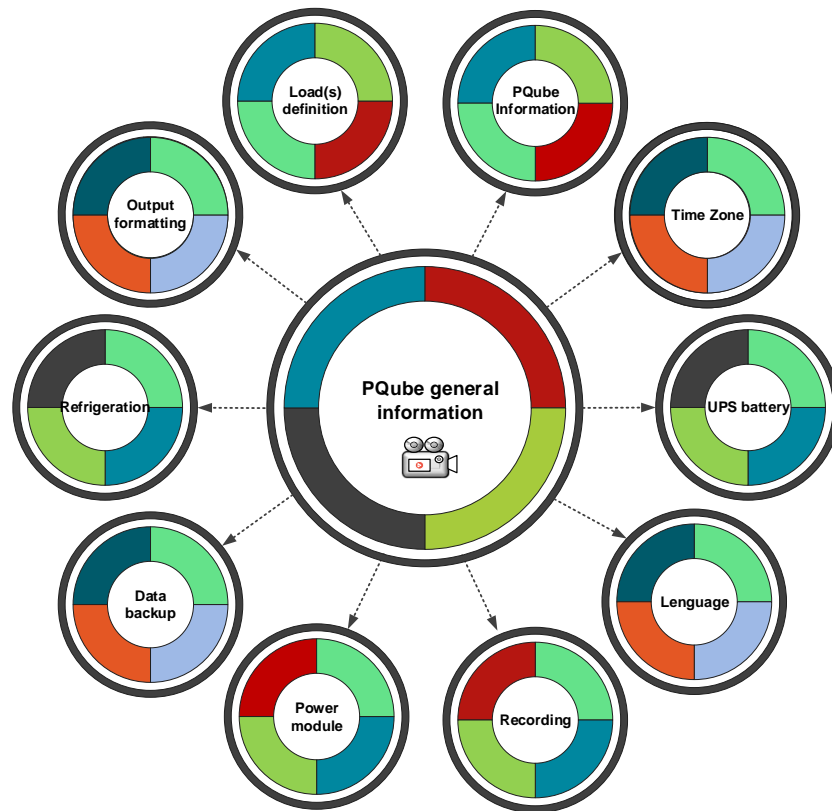
**Figura 17. Portada de la guía de usuario para equipos de medición PQube3 (PMU y Analyzer).**



- Panel de inicio

La Figura 18 representa el panel de inicio de cada capítulo. Esto permite al usuario desplazarse con mayor facilidad por cada ítem, utilizando hipervínculos para acceder rápidamente a la información requerida para la configuración.

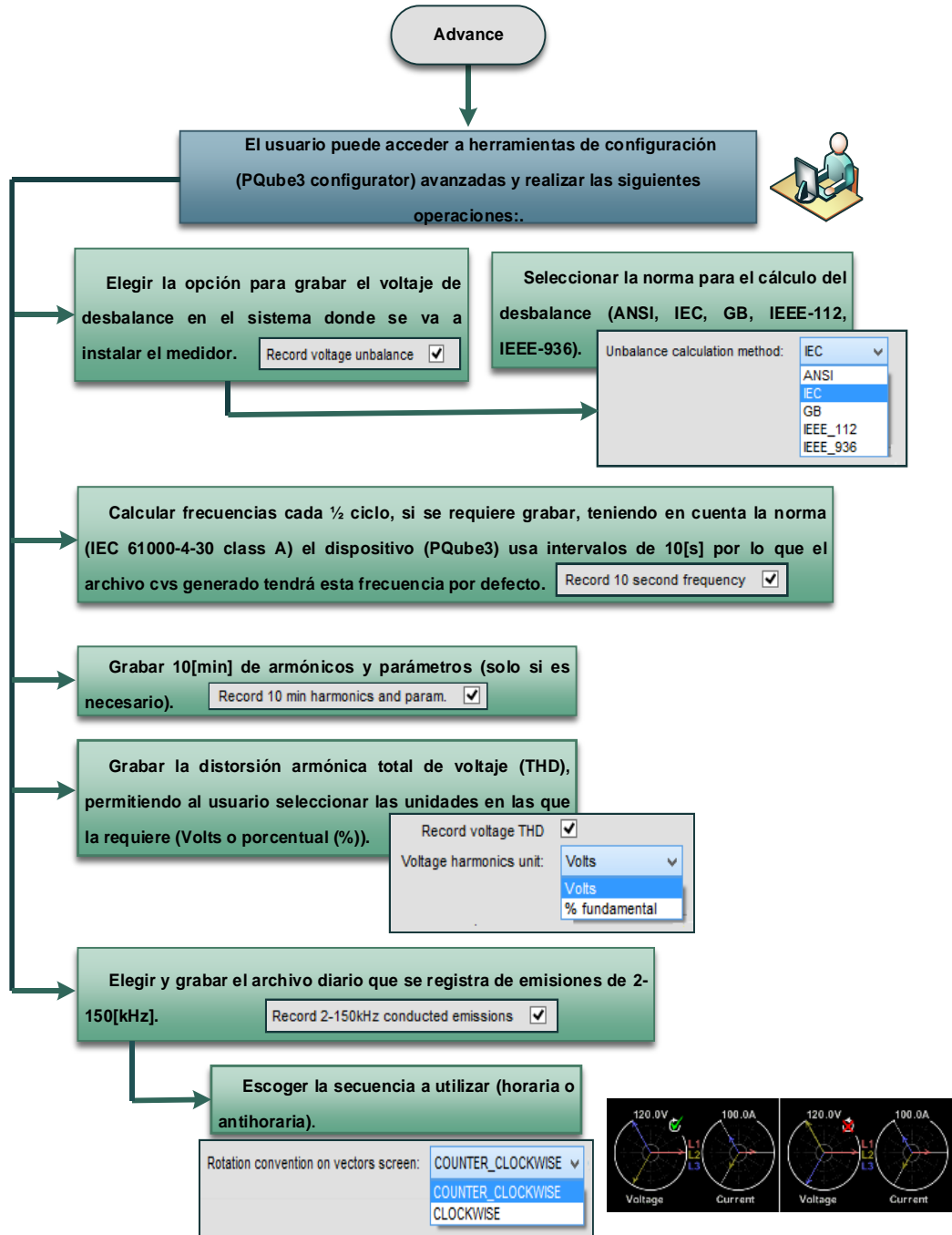
Figura 18. Panel de inicio de cada capítulo de la guía de usuario.



- Diagramas de flujo

La Figura 19 muestra un diagrama de flujo utilizado “Guía de usuario para equipos de medición PQube3 (PMU y Analyzer)”. Estos diagramas de flujo permiten un mejor entendimiento de los ítems presentados en cada capítulo.

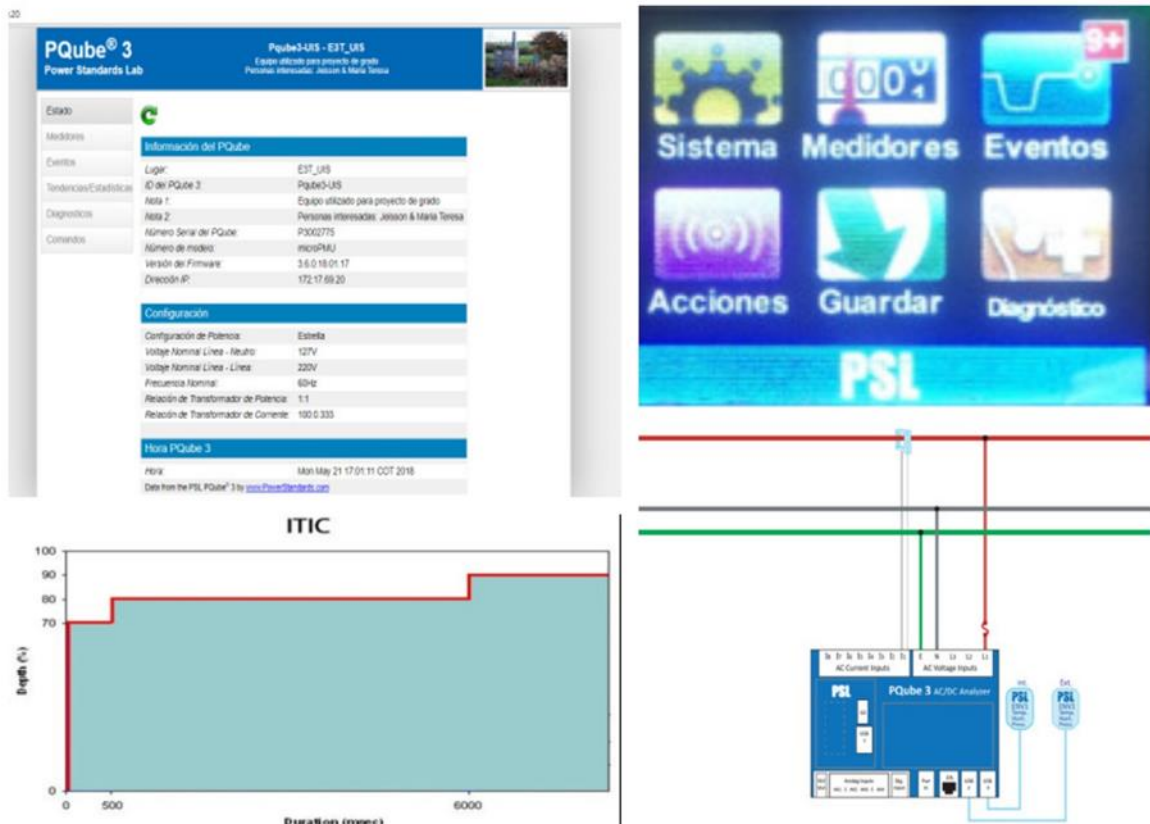
Figura 19. Diagrama de flujo utilizado para describir las características de un ítem de la guía de usuario.



- Imágenes

La importancia de las imágenes en los capítulos de la “*Guía de usuario para equipos de medición PQube3 (PMU y Analyzer)*” se basa en el entendimiento de las acciones que se realizan al configurar el dispositivo y ofrecer gráficos de manera rápida para el usuario. La Figura 20 muestra algunas de las imágenes utilizadas en la guía “*Guía de usuario para equipos de medición PQube3 (PMU y Analyzer)*” como la página web del dispositivo e interfaz táctil del dispositivo de medición, curvas de sensibilidad y conexión fase-neutro del dispositivo.



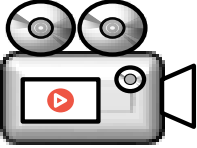
**Figura 20. Página web del dispositivo de medición PQube3, interfaz táctil del dispositivo, curvas de sensibilidad y conexión fase-neutro.**



Fuente: Tomada de "PQube3 Instruction Manual-Revisión 1.9".

**4.2.2 Uso de los botones de navegación.** Para facilitar la navegación por la guía de usuario entre el inicio y los ítems se configuraron un conjunto de botones, cuya función es ofrecer una experiencia didáctica al realizar las configuraciones del dispositivo de medición PQube3. La Tabla 4 explica las características de cada botón de navegación:

**Tabla 4. Funciones de los botones de navegación de la guía de usuario.**

Botón	Figura	Características
Regreso panel de inicio		Este botón permite el regreso desde cada ítem al panel de inicio de cada capítulo.
Regreso imágenes		Este botón permite el regreso desde las gráficas de conexión o las curvas de sensibilidad al ítem del capítulo.
Video explicativo		Este botón permite acceder a un video detallado que complementa la parte teórica de cada capítulo de configuración del dispositivo de medición PQube3

## 5. CONCLUSIONES

Para concluir este trabajo de grado *“Desarrollo de una guía de usuario para equipos de medición PQube3 (PMU y Analyzer)”*, este capítulo se dedicará a mostrar las *conclusiones* y observaciones obtenidas a lo largo del trabajo en este proyecto.

- Las conclusiones del presente trabajo de grado muestran los beneficios obtenidos por el desarrollo de la guía de usuario acerca de la configuración del dispositivo de medición PQube3:
- La *“Guía de usuario para equipos de medición PQube3 (PMU y Analyzer)”* no reemplaza el *“PQube3 Instruction Manual - Revisión 1.9”* ofrecido por PSL, únicamente complementa la información ofrecida por el proveedor, exponiéndola de forma fácil y didáctica para reducir el tiempo en la curva de aprendizaje del usuario en la configuración del equipo.
- Para sistemas complejos las configuraciones asignadas en el PQube3 son tipo avanzadas, donde el nivel de desarrollo es mayor, debido a que la información se encuentra dispersa, el usuario limita su tiempo en el desarrollo de las actividades, la *“Guía de usuario para equipos de medición PQube3 (PMU y Analyzer)”* contiene información presentada de forma didáctica y de fácil acceso para realizar configuraciones específicas en el menor tiempo posible.
- Es posible encontrar algunas similitudes en el contenido del *“microPMU configurator 3.6.0.3”* y del *“PQube3 configurator 3.6.0.16”*, se debe aclarar que en general, dicho contenido es diferente, dado que son utilizados para distintos estudios, razón por la que el usuario debe planificar el tipo de actividad que realizará, ya sea de diagnóstico, análisis o verificación, para seleccionar de manera correcta el dispositivo a utilizar.

- El método de extracción de datos del dispositivo de medición PQube3 es flexible, se puede ajustar según las herramientas de conexión que disponga el usuario. Sin embargo, resulta mejor extraer dichos datos, por medio del puerto USB o microSD, ya que dichas conexiones por su robustez, permiten seguridad y agilidad en el proceso de transferencia.

La “*Guía de usuario para equipos de medición PQube3 (PMU y Analyzer)*” recopila información acerca de la configuración y extracción de datos, mencionadas en el Capítulo 2 de este documento, lo que facilita el aprendizaje del funcionamiento de los dispositivos de medición PQube3 para actividades de análisis, diagnóstico y verificación de sistemas eléctricos.

## 6. OBSERVACIONES

Una vez concluido el trabajo de grado se propone tener en cuenta las siguientes observaciones para el manejo de la *“Guía de usuario para equipos de medición PQube3 (PMU y Analyzer)”*:

Los ítems de la *“Guía de usuario para equipos de medición PQube3 (PMU y Analyzer)”* se ajustaron de acuerdo a la última actualización de los softwares *“PQube3 configurator 3.6.0.16”* y *“microPMU configurator 3.6.0.3”*, lo que permite tener acceso a las últimas configuraciones sugeridas por el proveedor (PSL). La guía podrá ser configurada posteriormente de acuerdo a las actualizaciones que ofrece el proveedor. Sin embargo, la actualización del configurador no afecta el uso de la guía de usuario, ya que las funciones que se explican en esta seguirán operando de la misma manera.

Si llegan a existir dudas o inconvenientes en la instalación del dispositivo de medición PQube3 se debe remitir al *“PQube3 Instruction Manual - Revisión 1.9”* ofrecido por PSL y no a la *“Guía de usuario para equipos de medición PQube3 (PMU y Analyzer)”*, ya que esta explica la configuración del software y no la instalación física del dispositivo.

La guía de usuario es una herramienta que reduce el tiempo en la curva de aprendizaje para la configuración del dispositivo de medición PQube3. Para utilizar adecuadamente la guía de usuario es necesario tener conocimientos previos acerca de mediciones eléctricas, esquemas eléctricos y normativas que rigen en el sitio donde se está realizando el estudio.

Los accesorios a utilizar, no deben ser exclusivos de PSL, pues existe la opción de usar elementos más económicos y fáciles de adquirir, que cumplan las mismas especificaciones. Se sugiere la implementación de portafusiles y aparatos de protección del dispositivo de medición.

## BIBLIOGRAFÍA

A torrodial D.C beam current transformer with high resolution, pp. 1–8, 1981.

ALSTOM, Manual del Protocolo DNP3. p. 44, 2011

CREG. Comisión de Regulación de Energía y Gas, Resolución CREG 017 de 2005, Comisión de Regulación de Energía y Gas, vol. CREG-017. p. 22, 2005.

\_\_\_\_\_. Comisión de Regulación de Energía y Gas, Resolución CREG 016 de 2007. p. 6, 2007.

\_\_\_\_\_. Comisión de Regulación de Energía y Gas, Resolución CREG 038 de 2014, Comision de Regulacion de Energia y Gas. p. 65, 2014.

\_\_\_\_\_. Comisión de Regulación de Energía y Gas, Resolución CREG 069 de 2004. p. 25, 2004.

EPROTECA. La Importancia de la Medición de la Calidad de Energía en la Red de Distribución Eléctrica, 2017. [Online]. Available: <http://www.eproteca.com/la-importancia-la-medicion-la-calidad-energia-la-red-distribucion-electrica/>.

ERLANG, T. M. Simple Network Management Protocol (SNMP). 2018.

GEORGE SAMPLE, S. C. EN50160 Reporte de Conformidad: 'Características del Voltaje en los terminales de la red de Voltaje del Usuario: Limites y Valores.' 2011.

IEEE Std 1159 - IEEE recommended practice for monitoring electric power quality, vol. 2009, no. June. 2009.

KNOCKAERT, Jos. High Frequency Power Quality, no. June, pp. 1–37, 2016.

MAHMUD, Shahrom. High precision phase measurement using adaptive sampling. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 38, no. 5. pp. 954–960, 1989.

MOLERA, Jaime; REAGAN, Michele. Micro Synchrophasor-Based Intrusion Detection in Automated Distribution Systems: Towards Critical Infrastructure Security, IEEE Internet Comput., no. september 1, pp. 1–10, 2016.

MONTOYA GIL, Francisco; MANZANO-AGUGLIARO, Francisco; GÓMEZ-LÓPEZ, Julio. Técnicas De Investigación En Calidad Eléctrica: Ventajas E Inconvenientes, Dyna, vol. 79, no. 173, pp. 66–74, 2012.

NTC-IEC61000-4-30. “Compatibilidad electromagnética (CEM) Parte 4-30: Técnicas de ensayo y de medida Métodos de medida de la calidad de suministro.” 2015.

\_\_\_\_\_. “Compatibilidad electromagnética (CEM) Parte 4-15: Técnicas de ensayo y de medida Medidor de flicker Especificaciones funcionales y de diseño.” p. 48, 2012.

POWER SENSORS LIMITED. PQube ® 3 Instruction Manual. 2015.

\_\_\_\_\_. PQube3 firmware 3.6.3. 2018.

\_\_\_\_\_. Ambient temperature, humidity, barometric pressure and 3-axis acceleration. pp. 5–6, 2016.

\_\_\_\_\_. How to update firmware. 2018.

\_\_\_\_\_. microPMU Installation and User ' s Manual. pp. 1–53, 2016.

\_\_\_\_\_. PQube 3 Specifications. pp. 1–8, 2018.

\_\_\_\_\_. PQube3 Modbus interface PQube 3 Modbus Interface Reference manual PQube. pp. 1–46, 2016.

\_\_\_\_\_. PQube3 Portable. pp. 2–5, 2016.

\_\_\_\_\_. Pre-wired rugged pole-mount. United States, pp. 1–4, 2016.

\_\_\_\_\_. Railway and MetroRail - Finding and solving AC and DC power problems. pp. 1–3, 2017.

\_\_\_\_\_. Under Frequency Throughout the Entire US Western Grid: PQube 3's Capture Every Detail. pp. 1–2, 2016.

ROJAS CUBIDES, Herbert Enrique; RIVAS TRUJILLO, Edwin and JARAMILLO MATTA, Adolfo Andrés. Aspectos técnicos y normativos para el monitoreo y medición de armónicos, Ingeniería, vol. 19, no. 2, pp. 6–11, 2014.

SIEMENS INDUSTRY. "Circuit breakers." pp. 19–28, 2011.

SPECTRACOM. Technical Note : Differences Between NTP and SNTP, vol. 33, no. 0. p. 1, 2011.

TEL DAT. Router Teldat- protocolo DHCP, Protocolo HTTP. p. 4, 2007.

TRANSITION NETWORK. Static IP Routing ( SIR ) User Guide. 2013.

UNIVERSIDAD DE CERVANTES. Metodología de medición de calidad de energía eléctrica en base a normas nacionales e internacionales para la Universidad de la Costa. p. 102, 2014.

UNIVERSIDAD DEL ATLANTICO. Juan Carlos. Calidad de la energia electrica, Upme-Colciencias, p. 22, 2014.

UNSER, K.

VEGA LÓPEZ, Myriam. Unidad de medición fasorial (PMU), su desarrollo, aplicaciones y empleo en América Latina. Universidad de Costa Rica, 2009.

VON MEIER, Alexandra. Micro-Synchrophasors for Distribution Systems. 2014.

## **ANEXOS**

### **ANEXO A. Guía de usuario para equipos de medición PQube3 (PMU y Analyzer)**

Este anexo presenta la herramienta digital que se encuentra en el CD adjunto “*Guía de usuario para equipos de medición PQube3 (PMU y Analyzer)*”. En este documento el usuario podrá acceder a toda la información necesaria para la configuración del dispositivo de medición PQube3.

**ANEXO B. Ejemplo de configuración del equipo de medición PQube3  
utilizado para el proyecto “Estudio de la variación de parámetros de la  
calidad de energía eléctrica en la red de baja tensión del edificio de  
ingeniería eléctrica debido a la inyección de energía”**

Este anexo presenta un ejemplo aplicativo sobre la configuración, carga de datos vía web, descarga de datos por medio de microSD e información obtenida por el equipo de medición PQube3.

**Indicadores para la configuración del dispositivo de medición PQube3.**

Para realizar la configuración del dispositivo de medición PQube3 para el proyecto *“Estudio de la variación de parámetros de la calidad de energía eléctrica en la red de baja tensión del edificio de ingeniería eléctrica debido a la inyección de energía de un sistema fotovoltaico”*, se consideraron los siguientes indicadores de medición mostrados en la Tabla B.1:

Tabla B.1. Indicadores utilizados para la configuración del dispositivo de medición PQube3 en el proyecto *“Estudio de la variación de parámetros de la calidad de energía eléctrica en la red de baja tensión del edificio de ingeniería eléctrica debido a la inyección de energía de un sistema fotovoltaico”*.

<b>Sección</b>	<b>Configuración del dispositivo PQube3</b>
Información general del PQube3 (definición de cargas)	Grabación de gráficos: Activado
	Batería UPS: Desactivado
	Módulo de potencia: Desactivado
	Copia de seguridad: SDCARD
	Tipo de carga: Monofásicas
Voltaje AC	Conexión: Estrella
	Tensión de fase: 127 V
	Tensión de línea: 220 V
	Frecuencia: 60 Hz
	Grabación de flicker: Activado

Sección	Configuración del dispositivo PQube3		
	Frecuencia de flicker: 60Hz		
	Grabación de los canales fase-fase: Activado		
	Grabación de los canales fase-neutro: Activado		
	Relación del transformador de potencial: 1:1		
	Avanzado	Registro de desbalance de tensión: Activado	
		Método para el cálculo de desbalance: IEC	
		Registro de frecuencia por 10 segundos: Activado	
		Grabación de armónicos y parámetros por 10 minutos: Activado	
		Grabación de voltaje THD: Activado	
		Unidad del voltaje armónico: %fundamental	
Activación de voltaje	Eventos fase-neutro	Hundimiento de tensión: 90%	
		Elevación de tensión: 110%	
		Límite de interrupción: 10%	
		Eventos de histéresis: 2%	
	Eventos fase-fase	Hundimiento de tensión: 90%	
		Elevación de tensión: 110%	
		Límite de tensión: 10%	
		Eventos de histéresis: 2%	
	Eventos de frecuencia	Baja frecuencia: 99,6666%	
		Sobre frecuencia: 100,3333%	
		Eventos de histéresis: 0,20%	
	Eventos de cambio de forma de onda	Activado	
		Límite de voltaje nominal : 5%	
		Límite de duración del ciclo: 5%	
	Eventos fase-neutro RVC	Activado	
		Límite de RVC: 5%	
		Eventos de histéresis: 2%	
	Eventos fase-fase RVC	Activado	
		Límite de RVC: 5%	
		Eventos de histéresis: 2%	
Corriente AC	Relación de transformación CT's: 100:0,333		
	Distorsión armónica de corriente: TDD		

Sección	Configuración del dispositivo PQube3	
	Corriente para el cálculo de la TDD: Auto*	
	Potencia y energía	Intervalo de demanda máxima: 10 minutos
		Registro de medición de energía: Activado
		Intervalo de medición de energía: 10 minutos
Eventos	Grabaciones de eventos	Muestras registradas por ciclo: 512
		Capturar el final del evento: Activado
		Grabación del evento RMS: Urms1
Registro de tendencias	Ajustes de tendencias	Habilitar tendencias diarias: Activado
		Habilitar tendencias semanales: Activado
		Habilitar tendencias de fases individuales: Activado
	Escala para gráficos de tendencias y registro estadísticos	Voltaje (%nominal). Min:90% Máx:110%
		Frecuencia (%nominal). Min:95% Máx:110%
		Temperatura: 0 °C -50 °C
		Humedad: 0%-100%
		Presión: 950 hPa-1050 hPa
		Vector de aceleración: 0 m/s <sup>2</sup> - 50 m/s <sup>2</sup>
Armónicos	Habilitar armónicos instantáneos: Activado	
Seguridad	Protección interna firewall: Activada	
Tiempo de sincronización	Ajustes SNTP	Habilitar SNTP: Activado Servidor SNTP: 2.pool.ntp.org Intervalo de actualización del SNTP: 1 hora

\*por defecto se emplea la corriente del primario del CT (100 A) como la  $I_{m\acute{a}x}$ .

### **Carga del archivo de configuración al dispositivo de medición PQube3.**

Una vez realizada la configuración requerida en el software *PQube3 configurator*, se debe cargar el archivo que define la operación del equipo. Para cargar el archivo de configuración se empleó la página web del dispositivo de medición PQube3. A continuación, se describe el proceso ejecutado.

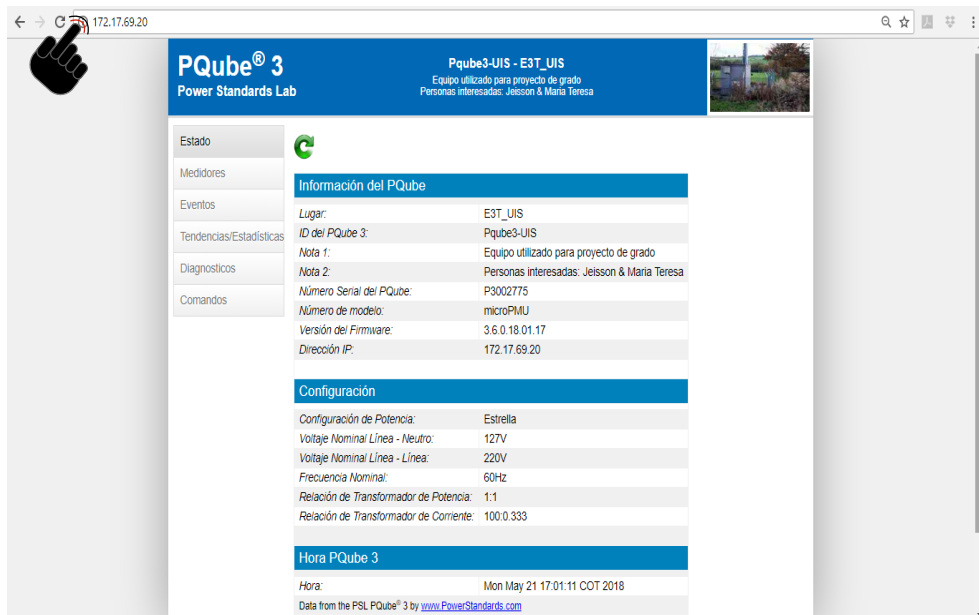
- Guardar el archivo de configuración con nombre *setup* y tipo *INI Files(\*.ini)*.
- Buscar la dirección IP del dispositivo de medición PQube3. La Figura B.1 muestra el procedimiento para encontrar la IP desde la pantalla táctil del dispositivo.

Figura B.1. Descripción grafica del procedimiento para encontrar la dirección IP del dispositivo de medición PQube3.



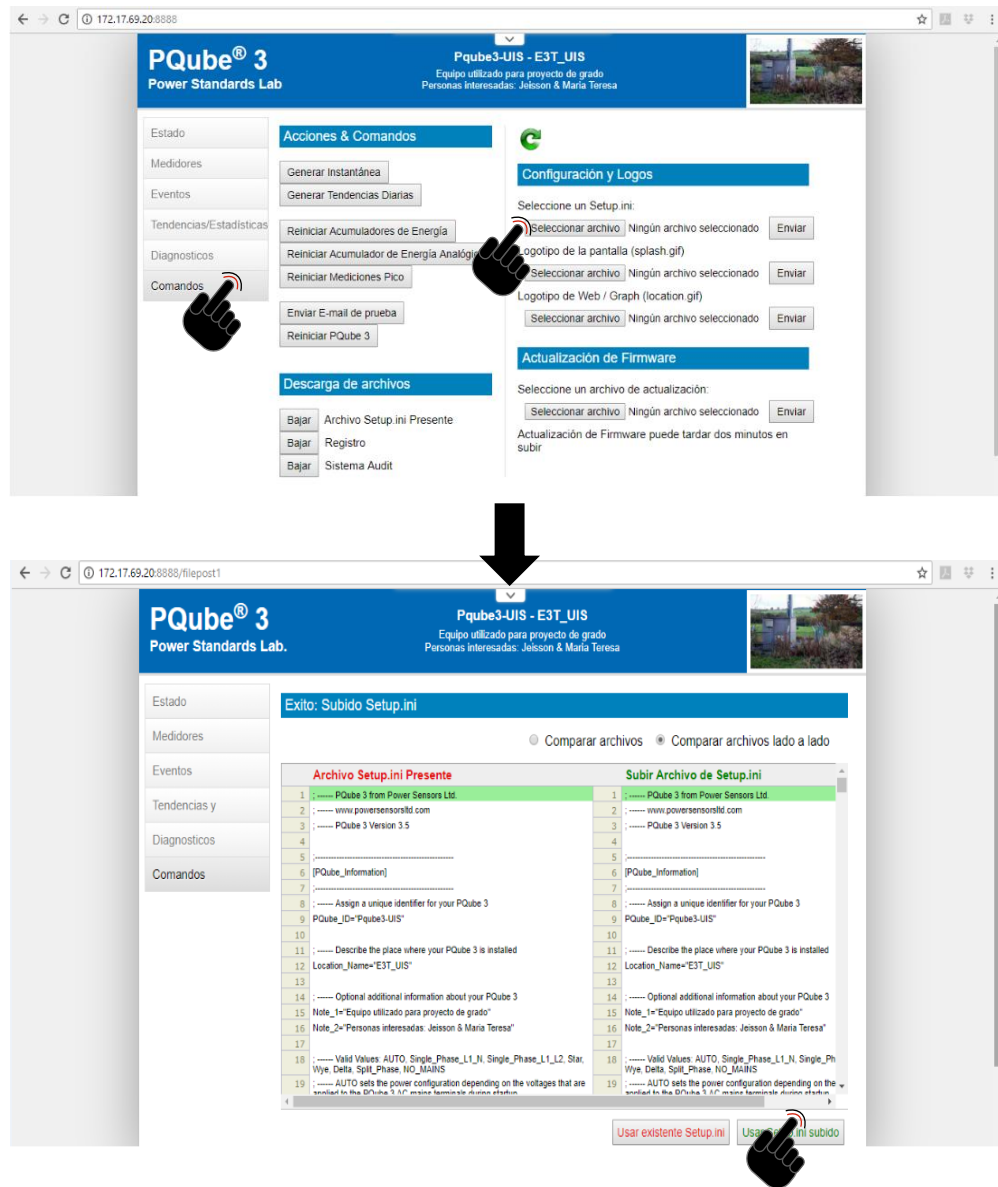
- Ingresar la dirección IP en el navegador de su PC, para acceder a la página web del dispositivo de medición PQube3. La Figura B.2 muestra la página web del dispositivo de medición PQube3.

Figura B.2. Página web del dispositivo de medición PQube3.



- Una vez ingresada la IP del dispositivo, se selecciona la opción “Comandos-actualización y logos-seleccionar archivo-usar setup.ini subido”. La Figura B.3 muestra el procedimiento actualizar el archivo de configuración.

Figura B.3. Descripción grafica del procedimiento para cargar el archivo de configuración del dispositivo de medición PQube3 desde la página web.

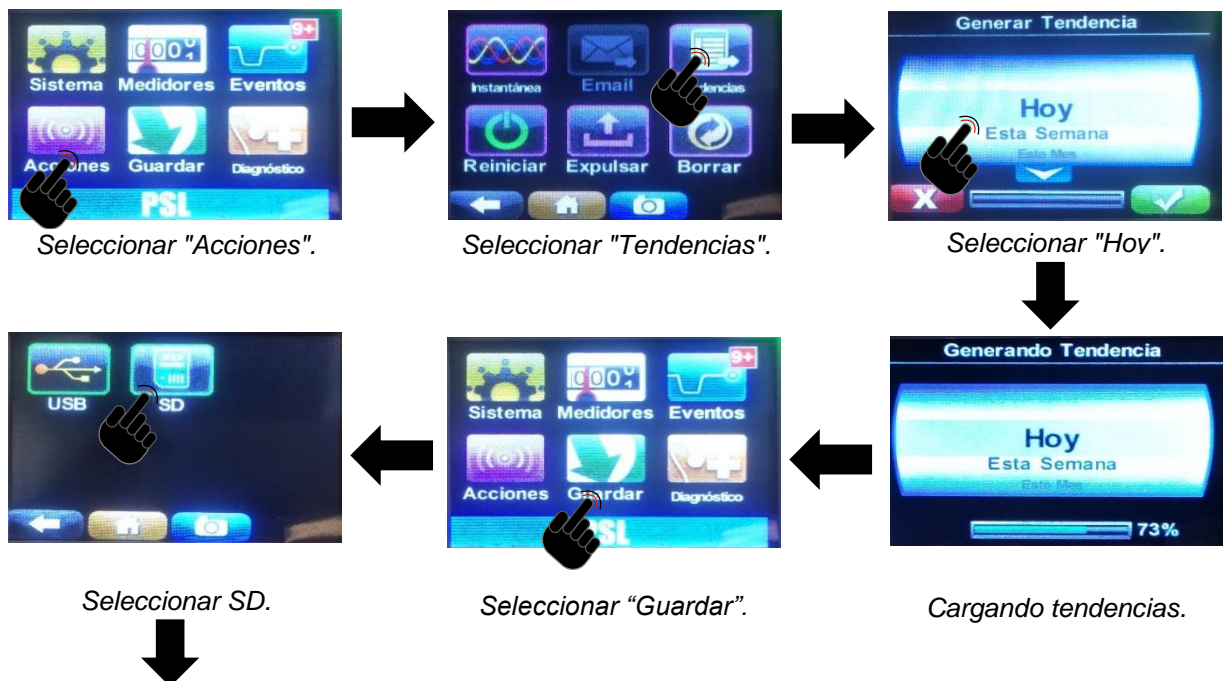


## Descarga de datos

Para realizar la descarga de los datos del dispositivo de medición PQube3, se realiza el siguiente procedimiento:

- Seleccionar la opción “*Acciones*” del menú principal de la pantalla táctil.
- Seleccionar la opción “*Tendencias*” del menú secundario de la pantalla táctil.
- Seleccionar la opción “*Hoy*” para generar la tendencia. Esta opción permite la descarga de todos los datos hasta el día que se realiza esta.
- Esperar hasta que la descarga de los datos se complete al 100%.
- Una vez completado el 100% de la descarga de los datos, seleccionar la opción “*Guardar*” del menú principal y seleccionar la opción “*SD*”.
- Seleccionar la opción “*Hoy*” para copiar los eventos y tendencias en la SD.
- Una vez completada la transferencia de los datos se procede a extraer la SD del dispositivo de medición PQube3 y copiar los datos en la PC.
- Insertar nuevamente la SD al dispositivo de medición PQube3 para nuevo uso.

La Figura B.4 Muestra el procedimiento para la descarga de los datos del dispositivo de medición PQube3 empleando la pantalla táctil.



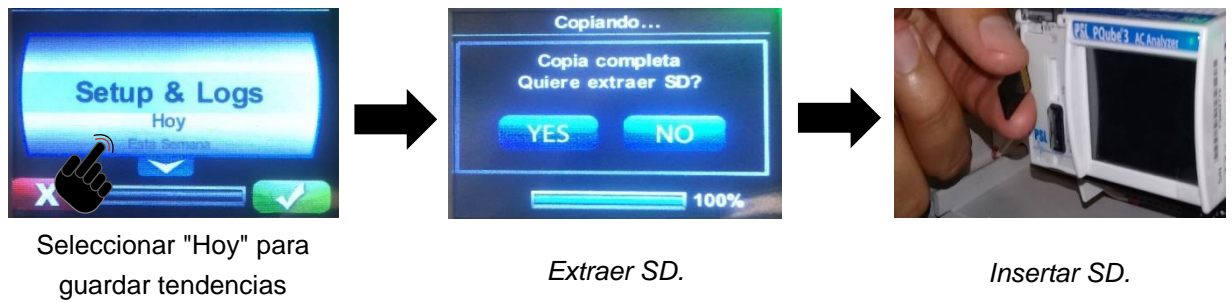


Figura B.4. Descripción grafica del procedimiento para extraer los datos del dispositivo de medición PQube3.

### Información obtenida

La información obtenida por el dispositivo de medición PQube3 se clasifica por días del mes; dentro de cada día se encuentra la información organizada en carpetas como se muestra en la Figura B.5.

La carpeta **“Trends Stats”** contiene los archivos de tendencias y en las carpetas **“Waveshape Change”** se encuentra almacenado los eventos que el equipo de medición PQube3 monitorizó durante el día

Figura B.5. Datos organizados por día del mes- Dispositivo de medición PQube3.

Nombre	Nombre	Fecha de modifica...	Tipo
Day_19	2018-02-20_Trends-Stats	20/02/2018 5:04 p....	Carpeta de archivos
Day_20	T_06-04-30-883_Waveshape_Change	20/02/2018 5:04 p....	Carpeta de archivos
	T_06-27-00-215_Waveshape_Change	20/02/2018 5:04 p....	Carpeta de archivos
	T_08-56-17-757_Waveshape_Change	20/02/2018 5:04 p....	Carpeta de archivos
	T_12-56-18-329_Waveshape_Change	20/02/2018 5:04 p....	Carpeta de archivos
	T_14-35-31-267_Waveshape_Change	20/02/2018 5:04 p....	Carpeta de archivos
	T_16-52-11-325_Waveshape_Change	20/02/2018 5:04 p....	Carpeta de archivos

La información sobre los indicadores empleados para desarrollar el proyecto “*Estudio de la variación de parámetros de la calidad de energía eléctrica en la red de baja tensión del edificio de ingeniería eléctrica debido a la inyección de energía de un sistema fotovoltaico*” se encontró dentro de la carpeta “**Trends\_Stats**”; específicamente, en las hojas de cálculo con reporte cada 10 minutos (“**10Min\_ClassA**”) y de mediciones de potencia y energía (“**Power\_Energy**”) mostradas en la Figura B.6.

Figura B.6. Hojas de cálculo de los datos obtenidos por el dispositivo de medición PQube3.

Nombre	Nombre	Fecha de modifica...	Tipo	Tamaño
Graphs	P3002775_2018-02-20_2Hr_ClassA	20/02/2018 5:01 p....	Archivo de valores...	87 KB
PQDIF	P3002775_2018-02-20_2kHz_9kHz	20/02/2018 5:01 p....	Archivo de valores...	1.726 KB
Spreadsheets	P3002775_2018-02-20_2kHz_150kHz	20/02/2018 5:01 p....	Archivo de valores...	3.623 KB
Summaries	P3002775_2018-02-20_10Min_ClassA	20/02/2018 5:01 p....	Archivo de valores...	882 KB
FilesList	P3002775_2018-02-20_10Sec_Frequency_...	20/02/2018 5:01 p....	Archivo de valores...	222 KB
	P3002775_2018-02-20_Power_Energy	20/02/2018 5:01 p....	Archivo de valores...	64 KB
	P3002775_2018-02-20_Statistics	20/02/2018 5:01 p....	Archivo de valores...	46 KB
	P3002775_2018-02-20_Trends	20/02/2018 5:01 p....	Archivo de valores...	1.601 KB

La Figura B.7 muestra un fragmento de la hoja de cálculo “**10Min\_ClassA**” generada por el medidor para el día 20 de febrero de 2018.

Figura B.7. Hoja de cálculo obtenida por el dispositivo de medición PQube3.

Time	L1-N (V)	L2-N (V)	L3-N (V)	L1 (A)	L2 (A)	L3 (A)	L1 Harmonic H1 (V)	L1 Harmonic H2 (V)	L1 Harmonic H3 (V)
20/02/2018 0:10	132.957.077	133.261.536	132.377.884	0.103643	0.595830	0.273711	132.866.333	0.028803	0.150046
20/02/2018 0:20	132.965.088	133.295.151	132.410.049	0.103520	0.598195	0.274565	132.872.589	0.032116	0.145949
20/02/2018 0:30	133.060.120	133.320.007	132.442.596	0.103668	0.598125	0.274513	132.964.722	0.031258	0.159964
20/02/2018 0:40	133.080.933	133.329.376	132.467.697	0.104396	0.599684	0.274184	132.985.016	0.034104	0.148462
20/02/2018 0:50	133.125.153	133.440.338	132.540.726	0.104794	0.599111	0.276789	133.027.893	0.030399	0.181582
20/02/2018 1:00	133.131.714	133.461.716	132.511.261	0.105955	0.599732	0.273081	133.032.440	0.031647	0.166507
20/02/2018 1:10	133.026.215	133.323.547	132.438.583	0.105254	0.600311	0.274790	132.925.522	0.030875	0.148148
20/02/2018 1:20	133.205.826	133.545.288	132.626.602	0.104620	0.601648	0.272807	133.102.753	0.029481	0.145731
20/02/2018 1:30	133.288.971	133.615.067	132.689.209	0.105438	0.601470	0.276637	133.184.967	0.030826	0.136699
20/02/2018 1:40	133.383.209	133.679.855	132.776.031	0.104720	0.600954	0.276887	133.277.725	0.027073	0.136765
20/02/2018 1:50	133.473.450	133.797.745	132.881.516	0.105646	0.601276	0.277832	133.367.889	0.030974	0.167481
20/02/2018 2:00	133.495.255	133.816.879	132.902.817	0.107933	0.602281	0.279813	133.388.992	0.033577	0.172106
20/02/2018 2:10	133.451.447	133.795.380	132.881.226	0.107642	0.602589	0.277899	133.343.750	0.032472	0.147002
20/02/2018 2:20	133.357.834	133.689.224	132.781.265	0.108173	0.602931	0.278030	133.254.150	0.033490	0.169237
20/02/2018 2:30	133.405.212	133.676.147	132.768.402	0.106271	0.602789	0.278139	133.301.147	0.029469	0.161493
20/02/2018 2:40	133.470.505	133.777.054	132.876.144	0.106978	0.603300	0.277512	133.364.029	0.030686	0.135362
20/02/2018 2:50	133.566.696	133.875.397	132.978.470	0.107326	0.603390	0.277252	133.458.618	0.027897	0.136608
20/02/2018 3:00	133.518.021	133.836.212	132.948.715	0.105996	0.603965	0.277128	133.409.851	0.030580	0.135093
20/02/2018 3:10	133.607.330	133.918.350	133.033.035	0.106085	0.603304	0.276144	133.499.161	0.031876	0.151147

**ANEXO C. Ejemplo de configuración del equipo de medición PQube3 utilizado para el proyecto “Determinación de parámetros de modelos para el estudio del comportamiento de cargas lumínicas del Edificio de Ingeniería Eléctrica ante variaciones de la amplitud y frecuencia de la tensión de alimentación”**

Este anexo presenta un ejemplo aplicativo sobre la configuración, carga de datos por medio de USB, descarga de datos por medio de microSD e información obtenida por el equipo de medición PQube3.

**Indicadores para la configuración del dispositivo de medición PQube3.**

Para realizar la configuración del dispositivo de medición PQube3 para el proyecto *“Determinación de parámetros de modelos para el estudio del comportamiento de cargas lumínicas del Edificio de Ingeniería Eléctrica ante variaciones de la amplitud y frecuencia de la tensión de alimentación”*, se consideraron los siguientes indicadores de medición mostrados en la Tabla C.1:

Tabla C.1. Indicadores utilizados para la configuración del dispositivo de medición PQube3 en el proyecto *“Determinación de parámetros de modelos para el estudio del comportamiento de cargas lumínicas del Edificio de Ingeniería Eléctrica ante variaciones de la amplitud y frecuencia de la tensión de alimentación”*.

Sección	Configuración del dispositivo PQube3
Información general del PQube3 (definición de cargas)	Grabación de gráficos: Activado
	Batería UPS: Desactivado
	Módulo de potencia: Activado
	Copia de seguridad: SDCARD
	Tipo de carga: Monofásica
Voltaje AC	Conexión: línea-neutro
	Tensión de fase: 120 V
	Tensión de línea: 208 V

Sección	Configuración del dispositivo PQube3		
	Frecuencia: 60 Hz		
	Grabación de flicker: Desactivado		
	Grabación de los canales fase-fase: Activado		
	Grabación de los canales fase-neutro: Activado		
	Relación del transformador de potencial: 1:1		
	Avanzado	Registro de desbalance de tensión: Desactivado	
		Método para el cálculo de desbalance: IEC	
		Registro de frecuencia por 10 segundos: Desactivado	
		Grabación de armónicos y parámetros por 10 minutos: Desactivado	
		Grabación de voltaje THD: Desactivado	
		Unidad del voltaje armónico: %fundamental	
Corriente AC	Relación de transformación CT's: 5:0,333		
	Distorsión armónica de corriente: Desactivada		
	Corriente para el cálculo de la TDD: Desactivado		
	Potencia y energía	Intervalo de demanda máxima: 3 minutos	
		Registro de medición de energía: Desactivado	
		Intervalo de medición de energía: 3 minutos	
Eventos	Grabaciones de eventos	Muestras registradas por ciclo: 128	
		Capturar el final del evento: Desactivado	
		Grabación del evento RMS: Urms1	
Registro de tendencias	Ajustes de tendencias	Habilitar tendencias diarias: Desactivado	
		Habilitar tendencias semanales: Desactivado	
		Habilitar tendencias de fases individuales: Desactivado	
	Escala para gráficos de tendencias y registro estadísticos	Voltaje (%nominal). Min:99,9% Máx:100,1%	
		Frecuencia (%nominal). Min:99,9% Máx:100,1%	
		Corriente: 0 A- 2 A	
		Neutro: 0 A- 0,01 A	
		Temperatura: 0 °C -50 °C	
		Humedad: 0%-100%	
		Presión: 950 hPa-1050 hPa	
Vector de aceleración: 0 m/s <sup>2</sup> - 50 m/s <sup>2</sup>			
Armónicos	Habilitar armónicos instantáneos: Activado		

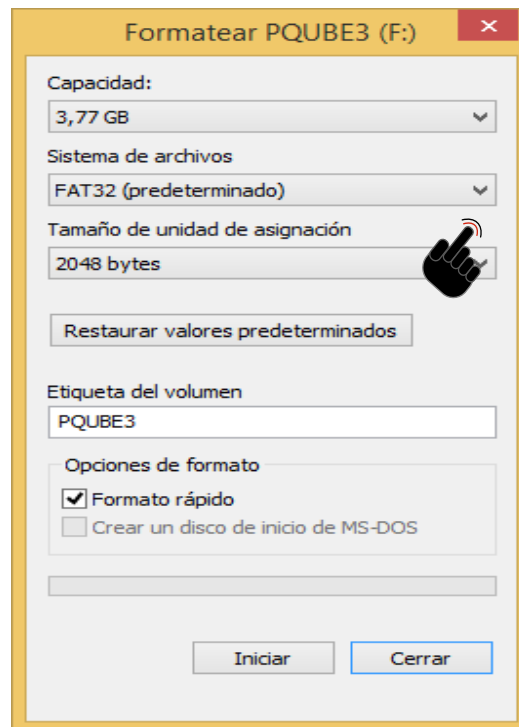
Sección	Configuración del dispositivo PQube3	
Seguridad	Protección interna firewall: Activada	
Tiempo de sincronización	Ajustes NTP	Habilitar NTP: Activado Servidor NTP: north-america.pool.ntp.org Intervalo de actualización del NTP: 1 hora
	Ajustes SNTP	Habilitar SNTP: Activado Servidor SNTP: 2.pool.ntp.org Intervalo de actualización del SNTP: 1 hora

### **Carga del archivo de configuración al dispositivo de medición PQube3.**

Una vez realizada la configuración requerida en el software *PQube3 configurator*, se debe cargar el archivo que define la operación del equipo. Para cargar el archivo de configuración se empleó un dispositivo USB. A continuación, se describe el proceso ejecutado.

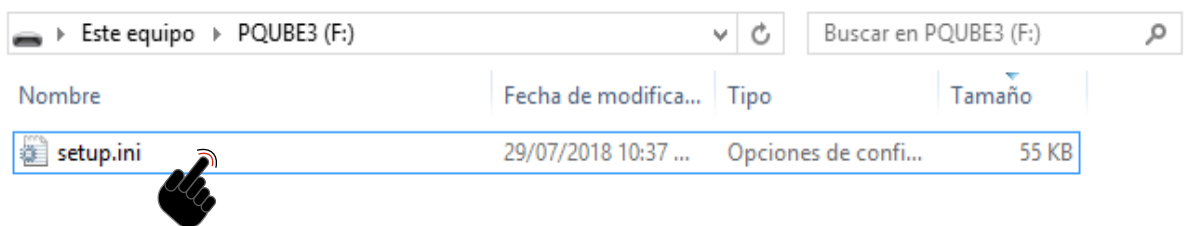
- Guardar el archivo de configuración con nombre *setup* y tipo *INI Files(\*.ini)*.
- Formatear el dispositivo USB con formato FAT32 como muestra en la Figura C.1.

Figura C.1. Formatear unidad USB.



- Una vez formateado el dispositivo USB, se debe guardar el archivo de configuración en éste. El dispositivo USB solo debe contener éste archivo como muestra en la Figura C.2.

Figura C.2. Ruta de acceso de la USB para ingresar al archivo de configuración del PQube3.



- Introducir el dispositivo USB al equipo de medición PQube3, éste muestra en su pantalla táctil la opción para cargar la configuración, se presiona “aceptar” y la configuración queda actualizada.

### Descarga de datos

El procedimiento realizado para descargar los datos del dispositivo de medición PQube3 es mencionado en la Figura B.4 del Anexo B.

### Información obtenida

La información obtenida por el dispositivo de medición PQube3, se clasifica por días del mes; dentro de cada día se encuentra la información organizada en carpetas como se muestra en la Figura C.3.

La carpeta “*Snapshots*” contiene los archivos de formas de onda instantáneas monitorizadas durante el día por el dispositivo de medición PQube3.

Figura C.3. Carpetas organizadas con los datos obtenidos por el dispositivo de medición PQube3.

Nombre	Nombre	Fecha de modifica...	Tipo	Tamaño
Day_01	T_17-03-42-656_Snapshot	01/02/2018 5:50 p...	Carpeta de archivos	
Day_02	T_17-09-24-654_Snapshot	01/02/2018 5:50 p...	Carpeta de archivos	
Day_05	T_17-13-45-153_Snapshot	01/02/2018 5:50 p...	Carpeta de archivos	
Day_07	T_17-32-44-875_Snapshot	01/02/2018 5:50 p...	Carpeta de archivos	
Day_08	T_17-38-54-876_Snapshot	01/02/2018 5:50 p...	Carpeta de archivos	
Day_09	T_17-42-40-876_Snapshot	01/02/2018 5:50 p...	Carpeta de archivos	
Day_12	T_17-45-40-373_Snapshot	01/02/2018 5:50 p...	Carpeta de archivos	
Day_13	T_17-47-54-377_Snapshot	01/02/2018 5:50 p...	Carpeta de archivos	
Day_14				
Day_15				

La información sobre los indicadores empleados para desarrollar el “*Determinación de parámetros de modelos para el estudio del comportamiento de cargas lumínicas del Edificio de Ingeniería Eléctrica ante variaciones de la amplitud y frecuencia de la tensión de alimentación*” se encontró dentro de la carpeta “**snapshots**”; específicamente, en las hojas de cálculo “**snapshots waveform**” mostradas en la Figura C.4.

Figura C.4. Hojas de cálculo de los snapshots obtenidos por el dispositivo de medición PQube3.

Nombre	Nombre	Fecha de modifica...	Tipo	Tamaño
Graphs	P3002458_2018-02-01_T_17-03-42-656_Snapshot_Harmonic	01/02/2018 5:50 p...	Archivo de valores...	6 KB
PQDIF	P3002458_2018-02-01_T_17-03-42-656_Snapshot_RMS	01/02/2018 5:50 p...	Archivo de valores...	134 KB
Spreadsheets	P3002458_2018-02-01_T_17-03-42-656_Snapshot_Waveform	01/02/2018 5:50 p...	Archivo de valores...	401 KB
Summaries				
event_processed				
FilesList				

La Figura C.5 muestra un fragmento de la hoja de cálculo “**snapshots waveform**” generada por el medidor para el día 1 de febrero de 2018.

Figura C.5. Hoja de cálculo de los snapshots waveform obtenida por el dispositivo de medición PQube3.

PQube Waveform										
Location_Name	Bucaramanga									
PQube_ID	AC Analyzer - UIS									
Note_1	Proyecto Grado AL									
Note_2	Prueba 0.0									
Power_Configuration	Single Phase L1-N									
Nominal Line-to-Neutral Voltage	120V									
Event_Type	Snapshot									
Trigger_Date	01/02/2018									
Trigger_Time	T 18:52:15.341 COT									
Trigger_Sample_Number	513									
Samples_Per_Cycle	128									
Microseconds_Per_Sample	130.206									
Milliseconds	N-E (V)	L1-N (V)	L2-N (V)	L3-N (V)	L1-L2 (V)	L2-L3 (V)	L3-L1 (V)	L1 Amp (A)	L2 Amp (A)	L3 Amp (A)
-66.67	2.67	0.597	0.175	-0.070	0.421	0.246	-0.667	0.015	0.002	0.002
-66.54	1.40	7.721	0.807	-0.070	6.914	0.877	-7.791	0.016	0.002	0.001
-66.41	0.07	14.354	1.544	0.035	12.810	1.509	-14.319	0.019	0.002	0.002
-66.27	-1.16	21.443	2.351	0.105	19.092	2.246	-21.338	0.033	0.002	0.002
-66.14	-2.21	28.357	2.913	-0.070	25.444	2.983	-28.427	0.036	0.002	0.002
-66.01	-3.30	34.920	3.650	-0.105	31.270	3.755	-35.025	0.046	0.002	0.002