



Proyecto Fin de Carrera

Desarrollo de un equipo de detección y evaluación de eventos en la tensión del suministro eléctrico

**(Development of an equipment of detection and
evaluation of power supply events)**

Para acceder al Título de
INGENIERO EN INFORMÁTICA

Autor: José Luis Argumosa Antón

Director: Julio Barros Guadalupe

Ponente: Rafael Menéndez de Llano Rozas

Septiembre – 2014

Agradecimientos

Resulta difícil resumir en unas pocas líneas el agradecimiento a todos los que han estado ahí durante estos cinco años. Como suele decirse, alguien se me quedará en el tintero, pero confío en que me disculpen.

Empezando por el final, he podido concluir este proyecto gracias a la inestimable colaboración del grupo de investigación de Instrumentación Electrónica de la Universidad de Cantabria. No hay palabras para describir la gratitud que siento hacia Julio, Ramón y Mati, los cuales me acogieron en la E.T.S. de Náutica con los brazos abiertos, hace ya 14 meses.

También agradezco la labor de tantos profesores que han pasado ya no sólo por mi vida universitaria, si no a otros tantos que llegaron antes y me ayudaron a crecer, tanto en conocimientos como en valores, los cuales me han hecho llegar hasta aquí.

Quiero acordarme aquí de mis compañeros de clase. Durante 3 años he tenido el honor de ser delegado de *un grupo cuya calidad técnica sólo es superada por su calidad humana* (eso dije en mi discurso de graduación, y naturalmente me reafirmo). Sucede algo maravilloso cuando las personas que se quedan después de clase a echarte una mano con lo que no entiendes son las mismas que siempre están disponibles para tomar una cerveza, para animarte cuando las cosas no salen y para celebrar los éxitos. Creo que nos aproximamos bastante a la definición de piña.

No me olvido de mis amigos de Torrelavega. Me siento realmente afortunado de haber mantenido su amistad durante estos años de universidad, y sólo deseo que dure por muchos más. Han demostrado una fidelidad que ha vencido al paso paso del tiempo. Es momento en el que muchos empiezan a cosechar sus primeros éxitos académicos y profesionales, y sólo me gustaría que supiesen que estoy realmente orgulloso de ellos.

Esto también va por mi familia en general, los que me inculcaron el valor del esfuerzo y siempre tuvieron un consejo y una palabra amable. Tanto para los que hoy me acompañan como para los que desgraciadamente ya sólo están en mis pensamientos. Gracias por creer en mí, ha sido un largo camino, pero ha merecido la pena.

Pero sin duda, si alguien merece mi total gratitud son mis padres, José Luis y María Cruz, pues supieron proporcionarme una educación que junto a la total confianza que siempre han depositado en mí, han hecho que hoy sea la persona que soy. Mis éxitos son suyos porque también hicieron tuyas mis inquietudes y problemas. Han sabido estar ahí en lo bueno y en lo no tan bueno y personalmente creo que nunca les estaré suficientemente agradecido.

A todos ellos, mi más sincero sentimiento de gratitud.



Resumen

El Proyecto Fin de Carrera plantea el desarrollo de un equipo empleando un sistema modular de adquisición de datos para la detección, evaluación y almacenamiento de eventos en la tensión del suministro eléctrico.

El equipo realizará la monitorización continua de la tensión del suministro eléctrico y permitirá la detección y evaluación de los siguientes eventos:

- Huecos de tensión y sobretensiones.
- Cambios rápidos de tensión (RVC).

El equipo a desarrollar realizará un almacenamiento de resultados además de ofrecer una interfaz de usuario para la monitorización continua de los aspectos mencionados de la calidad del suministro eléctrico.

Palabras clave: Power Quality, huecos de tensión, sobretensiones, cambios rápidos de tensión, LabVIEW, adquisición de datos.

Abstract

The final career project lays out the development of a technical equipment. It uses a modular system of data acquisition in order to detect, evaluate and store power supply events.

Said equipment will continuously monitorize the tension of the power supply and will allow the detection and evaluation of the following events:

- Voltage dips and swells
- Rapid voltage changes (RVC)

It will store the results as well as providing a user interface at the same time, allowing to control all of the above events.

Keywords: Power Quality, voltage dips, swells, rapid voltage changes, LabVIEW, data acquisition.

Índice general

Capítulo 1 Introducción.....	1
1.1 La calidad de la energía eléctrica y los eventos en la señal de red	1
1.2 Objetivo del proyecto fin de carrera	3
1.3 Estructura de la memoria.....	3
Capítulo 2 Cambios rápidos de tensión, huecos de tensión y sobretensiones.....	5
2.1 Power Quality.....	5
2.2 Cambios rápidos de tensión	7
2.2.1 Definición	7
2.2.2 Causas y efectos	8
2.2.3 Situación actual de la normativa	9
2.2.4 Descripción detallada del algoritmo	9
2.3 Huecos y sobretensiones.....	10
2.3.1 Definición	10
2.3.2 Causas y efectos	10
2.3.3 Descripción detallada del algoritmo	11
Capítulo 3 Arquitectura del instrumento de medida	12
3.1 Introducción	12
3.2 Hardware del instrumento de medida	13
3.2.1 Sensor y circuito acondicionador de señal.....	14
3.2.2 Sistema de adquisición de datos.....	17
Capítulo 4 Proceso de desarrollo software	19
4.1 Introducción	19
4.2 Requisitos funcionales.....	19
4.3 Casos de uso.....	21
4.4 Requisitos no funcionales	23
4.5 Metodología de desarrollo.....	24
4.6 Diseño arquitectónico	24

Capítulo 5 Software del instrumento de medida.....	26
5.2 Plataforma y lenguaje de desarrollo de software	26
5.2 Panel frontal.....	27
5.3 Diagrama de bloques	29
5.3.1 Algoritmo de detección de cambios rápidos de tensión.....	32
5.3.2 Algoritmo de detección de huecos de tensión y sobretensiones	33
5.4 Estructura del software desarrollado.....	37
Capítulo 6 Pruebas de validación y resultados experimentales.....	39
6.1 Introducción	39
6.2 Evaluación del instrumento de medida	40
6.2.1 Señales de prueba	41
6.2.2 Generador de funciones.....	44
6.3 Monitorización de la red eléctrica	50
Capítulo 7 Presupuesto	52
Capítulo 8 Conclusiones	53
Capítulo 9 Referencias.....	55
Capítulo 10 Anexos.....	57
Hoja de especificaciones del transductor LEM LV-25P	57
Hoja de especificaciones del CompactDAQ NI 9172	59
Hoja de especificaciones de la tarjeta NI USB-9215	61

Índice de ilustraciones

Ilustración 1-1. Posiblemente, lo primero que asociamos con problemas en el suministro	2
Ilustración 2-1. Representación de la señal ideal del suministro eléctrico.....	5
Ilustración 2-2. Ejemplos de RVC's asociados con a) el arranque de un motor y b) con la conmutación de un banco de condensadores	8
Ilustración 2-3. Representación gráfica de un hueco de tensión.....	10
Ilustración 3-1. Ejemplo de instrumento virtual	12
Ilustración 3-2. Esquema básico de un sistema de adquisición de datos	13
Ilustración 3-3. Transductor LEM LV 25-P (a) y su diagrama de conexión (b)	15
Ilustración 3-4. CompactDAQ NI 9172 y tarjetas NI 9215A y NI 9401	17
Ilustración 4-1. Diagrama de casos de uso.....	21
Ilustración 4-2. Modelo incremental.....	24
Ilustración 4-3. Modelo de tres capas.....	25
Ilustración 5-1. Panel frontal y diagrama de bloques en LabVIEW	26
Ilustración 5-2. Panel frontal, pestaña Inicio	27
Ilustración 5-3. Panel frontal, pestaña Visor de Eventos	28
Ilustración 5-4. Panel frontal, pestaña Ajustes	29
Ilustración 5-5. Esquema del diagrama de bloques	30
Ilustración 5-6. Vista del lazo de inicialización.....	31
Ilustración 5-7. Vista del lazo de adquisición	32
Ilustración 5-8. Desarrollo del algoritmo de detección de cambios rápidos de tensión	34
Ilustración 5-9. Detalle de ficheros del instrumento	35
Ilustración 5-10. Vista del lazo de almacenamiento	36
Ilustración 5-11. Vista del lazo del visor.....	37
Ilustración 6-1. Generador HP 6841A	39
Ilustración 6-2. Fichero de valores de tensión en crudo	40
Ilustración 6-3. Bajada del 5% desde fichero	41
Ilustración 6-4. Subida del 5% desde fichero	41
Ilustración 6-5. Bajada del 5% durante 150 ms desde fichero.....	42
Ilustración 6-6. Bajada del 5% durante 1.1 s desde fichero	42
Ilustración 6-7. Hueco del 11% de 150 ms desde fichero	43
Ilustración 6-8. Hueco del 11% de 1.1 s de duración	43
Ilustración 6-9. Arranque de motor desde fichero	43
Ilustración 6-10. Interfaz del programa HP AC Source GUI.....	44
Ilustración 6-11. Detalle de la pantalla "Transient List Table"	45
Ilustración 6-12. Bajada del 5% desde el generador y forma de onda	45
Ilustración 6-13. Subida del 5% desde el generador y forma de onda	46
Ilustración 6-14. Bajada del 5% durante 150 ms desde el generador y forma de onda	47
Ilustración 6-15. Bajada del 5% durante 1.1 s desde el generador y forma de onda	47
Ilustración 6-16. Hueco del 11% de 150 ms desde el generador y forma de onda	48
Ilustración 6-17. Hueco del 11% de 1.1s desde el generador y forma de onda	49
Ilustración 6-18. Arranque de motor desde el generador y forma de onda.....	49
Ilustración 6-19. Cambio rápido de tensión captado por el instrumento.....	51

Índice de tablas

Tabla 2-1. Principales perturbaciones de la señal de suministro eléctrico	6
Tabla 3-1. Características principales del transformador de medida LEM LV 25-P	15
Tabla 3-2. Características principales de la tarjeta de adquisición NI 9215 A	18
Tabla 3-3. Características principales del computador empleado	18
Tabla 4-1. Clasificación de requisitos funcionales.....	19
Tabla 4-2. Requisitos funcionales.....	20
Tabla 4-3. Caso de uso "adquisición desde tarjeta"	21
Tabla 4-4. Caso de uso "lectura de fichero"	22
Tabla 4-5. Caso de uso "simulación"	22
Tabla 4-6. Requisitos no funcionales.....	23
Tabla 6-1. Batería de pruebas de validación	40
Tabla 6-2. Relación de eventos detectados	50
Tabla 7-1. Relación de componentes.	52

Capítulo 1 Introducción

1.1 La calidad de la energía eléctrica y los eventos en la señal de red

La electricidad, tal y como la conocemos, es una forma de energía extraordinariamente flexible y adaptable. El hecho de que puede ser convertida en casi cualquier otra forma de energía empleando dispositivos electrónicos, mecánicos, audiovisuales, etc. hace que sea la materia prima idónea para gran cantidad de nuestros procesos productivos, y en definitiva, para nuestra actual forma de vida.

El suministro eléctrico a los equipos receptores de la red produce corrientes eléctricas proporcionales a la demanda de los usuarios. Al circular estas corrientes por los conductores de la red eléctrica, se generan caídas de tensión que han de ser paliadas por la central de suministro. Debido a que la demanda de cada usuario está constantemente variando, parece razonable que la tensión de la red también varíe continuamente.

La electricidad llega al cliente a través del sistema de producción, transporte y distribución. Estos elementos son susceptibles de sufrir daños o averías por esfuerzos eléctricos, mecánicos o químicos, debido a factores externos tales como las condiciones meteorológicas extremas, el desgaste, la obsolescencia o las actividades humanas y animales (ilustración 1-1).

Asimismo, nos enfrentamos a un difícil problema, pues por la propia naturaleza de la electricidad, ésta se degrada con su uso. La inmensa cantidad de receptores (especialmente en el ámbito industrial, como los grandes motores eléctricos, hornos de arco, etc...) que se conectan a la red generan perturbaciones las cuales se transportan a través de la misma, degrada severamente la calidad del suministro proporcionado [1].

Estos problemas son por tanto inevitables y consecuencia de la propia utilización de la energía eléctrica, por lo que su eliminación completa resulta imposible. Por tanto, los receptores se tienen que diseñar para funcionar correctamente tolerando un cierto nivel de perturbaciones y además, no tienen que producir ellos mismos perturbaciones intolerables para cualquier otro equipo conectado a la red de distribución.

Si bien por parte del usuario doméstico aún no existe una preocupación real por la calidad del suministro eléctrico, es cierto que en el ámbito industrial está ampliamente extendida esa inquietud, la cual se debe a los perniciosos efectos de reducción de la vida útil de los equipos así como de su adecuado funcionamiento.



ILUSTRACIÓN 1-1. POSIBLEMENTE, LO PRIMERO QUE ASOCIAMOS CON PROBLEMAS EN EL SUMINISTRO

La complejidad de los actuales procesos productivos en los países industrializados demanda cada vez más una energía de “primera calidad” que no siempre se recibe de la red eléctrica. A los popularmente conocidos cortes en el suministro y sobretensiones, se unen una serie de “nuevas” perturbaciones (“nuevas” pues se están descubriendo, realmente siempre han estado ahí) que precisan ser detectadas y evitadas para garantizar la calidad de dicho suministro eléctrico.

Por todo esto, desde diversos organismos nacionales e internacionales (tales como IEEE, CENELEC, AENOR, etc...) se lleva largo tiempo trabajando identificando estas perturbaciones, desarrollando métodos para cuantificarlas con precisión y buscando la manera de paliarlas en la mayor medida posible, todo ello en pos de poder ofrecer la calidad de suministro eléctrico demandada por la sociedad actual.

Con las investigaciones publicadas por estas organizaciones, se elabora la legislación en materia de calidad del suministro eléctrico. En nuestro país, la referencia en el sector es AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación), la cual es el ente dedicado al desarrollo de la normalización y certificación en todos los sectores industriales y de servicios, así como la responsable en España del desarrollo y difusión de las normas UNE.

Es responsabilidad del consumidor exigir un suministro eléctrico de calidad y sin interrupciones que cumpla las especificaciones de la normativa vigente, con lo que protegerá y prolongará la vida útil de sus aparatos electrónicos.

1.2 Objetivo del proyecto fin de carrera

Como hemos visto, nuestra red de suministro eléctrico no está exenta de perturbaciones que afectan a la calidad de dicho suministro. También conocemos los métodos definidos para cuantificar esas perturbaciones, así como la normativa vigente que establece los límites aceptables de las mismas.

El objetivo de este proyecto no es otro que emplear los conocimientos adquiridos en el plan de estudios para desarrollar un instrumento virtual capaz de medir una serie de parámetros representativos de la onda del suministro eléctrico, que de acuerdo a la normativa vigente sirvan para identificar estas perturbaciones.

Asimismo, aprovechando la herramienta, se ha realizado un análisis de la calidad del suministro en el entorno urbano, con lo que se han cubierto dos objetivos:

- Por una parte, demostrar la robustez, fiabilidad y autonomía del instrumento, trabajando ininterrumpidamente durante varios días.
- Por otra parte, elaborar un informe acerca de la calidad del suministro en el entorno urbano, comprobando que esté dentro de los límites permitidos por la ley.

Por último, se presentará un presupuesto para la creación de un prototipo del sistema completo.

1.3 Estructura de la memoria

El presente capítulo 1 consiste en una introducción que busca encuadrar el proyecto dentro de un área de conocimiento y presentar las motivaciones del mismo.

El capítulo 2 constituye una descripción de las perturbaciones que pretendemos medir y evaluar, en este caso los cambios rápidos de tensión, los huecos de tensión y las sobretensiones así como una breve introducción al *Power Quality*.

El capítulo 3 trata acerca del instrumento de medida desarrollado, desde el hardware empleado al software diseñado para completar el sistema, abarcando el proceso de desarrollo de este último.

En el capítulo 4 muestra el proceso de desarrollo software, desde la especificación de requisitos a las distintas fases realizadas hasta lograr la implementación del sistema.

El capítulo 5 presenta el software empleado para el desarrollo del instrumento, así como se ha realizado la implementación del mismo, incluyendo los algoritmos de detección y medida.

El capítulo 6 muestra los resultados de las pruebas realizadas con el sistema tanto de validación del mismo como las realizadas sobre la red eléctrica.

En el capítulo 7 encontraremos una estimación del coste de desarrollar un prototipo funcional del sistema.

Finalmente, en el capítulo 8 exponemos las conclusiones derivadas del proyecto, en el 9 la bibliografía y referencias empleadas y en el 10 los anexos, consistentes en las hojas de especificaciones de algunos de los componentes empleados.

Capítulo 2 Cambios rápidos de tensión, huecos de tensión y sobretensiones

2.1 Power Quality

Power Quality (traducido como “calidad del suministro eléctrico”) es un término general sin una definición precisa que considera la disponibilidad del suministro de energía junto con las características de las señales de tensión y corriente mediante las cuales se distribuye dicha energía.

Tal y como hemos visto, la energía eléctrica se suministra desde los productores a los usuarios a través de la red de distribución mediante una onda de tensión, la cual está caracterizada por cuatro parámetros básicos [2]:

- Amplitud
- Frecuencia
- Forma
- Simetría

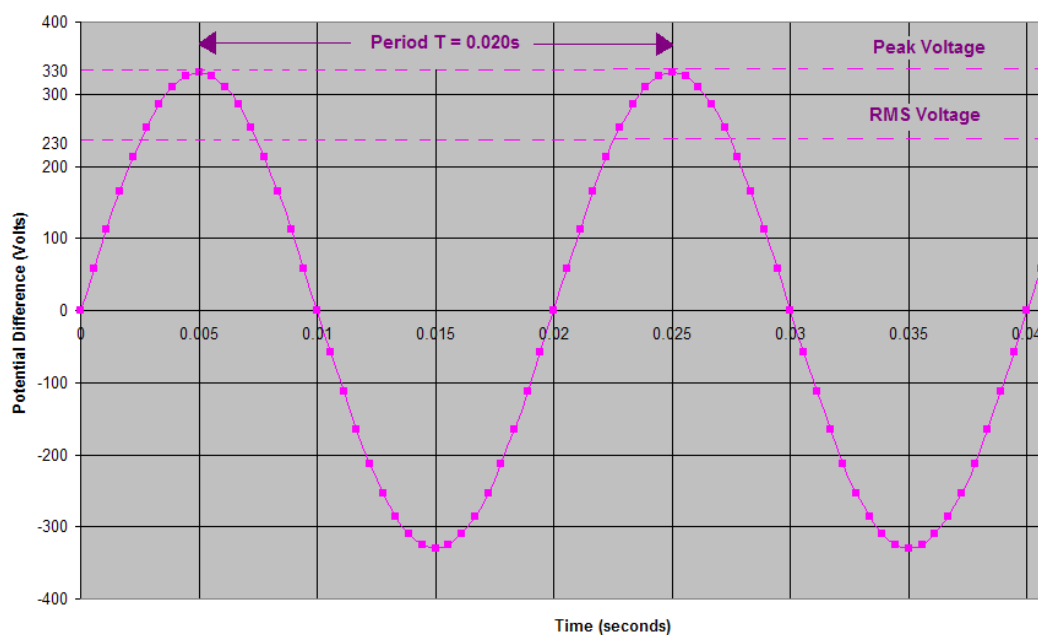


ILUSTRACIÓN 2-1. REPRESENTACIÓN DE LA SEÑAL IDEAL DEL SUMINISTRO ELÉCTRICO

Cualquier desviación de los parámetros que caracterizan a la forma de onda ideal (una señal sinusoidal que en Europa ha de proporcionar un valor eficaz de 230 V y una frecuencia de 50 Hz, ilustración 2-1) se puede considerar como una degradación de la calidad de la energía suministrada. Cada perturbación afecta de manera diferente a estos parámetros.

Las principales perturbaciones que se estudian son las siguientes (tabla 2-1):

Perturbación	Descripción breve
Distorsión armónica	Deformaciones producidas en las redes de alimentación a los usuarios en la onda sinusoidal prácticamente pura que generan las centrales eléctricas.
Huecos de tensión	Caídas de tensión repentinas por debajo de un límite establecido que se recuperan al cabo de un tiempo determinado.
Sobretensiones	Ídem que los huecos de tensión, pero en este caso con subidas de tensión.
Perturbaciones transitorias	Variaciones bruscas del valor instantáneo de la amplitud de la señal de suministro.
Cambios rápidos de tensión (RVC's)	Variación de tensión entre dos estados estacionarios de muy breve duración.

TABLA 2-1. PRINCIPALES PERTURBACIONES DE LA SEÑAL DE SUMINISTRO ELÉCTRICO

En la realización de este proyecto, se ha desarrollado un instrumento de detección y medida de tres de estas perturbaciones que pasan a detallarse a continuación: cambios rápidos de tensión (RVC's), huecos de tensión y sobretensiones.

El motivo de esta decisión fue simplemente el hecho de que por una parte, los huecos y las sobretensiones son un fenómeno de sobra conocido en este ámbito y sus límites están ampliamente legislados.

Por otra parte, actualmente los cambios rápidos de tensión son unas perturbaciones que están en proceso de regularización y en este momento los organismos internacionales anteriormente mencionados están estableciendo la normativa que regularizará su método de medida, así como posteriormente los umbrales máximos admisibles.

Para esto, desde la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) se está trabajando en la tercera edición de la norma IEC 61000-4-30, la cual es una guía de los métodos de medida en *Power Quality* [3].

2.2 Cambios rápidos de tensión

2.2.1 Definición

Los cambios rápidos de tensión (conocidos también por sus siglas en inglés, RVC, de “*Rapid Voltage Changes*”) son un tipo de perturbación que se está estudiando en la actualidad en el contexto de los grupos de trabajo de la IEC y del IEEE.

Básicamente, un RVC consiste en una variación rápida del valor de voltaje r.m.s. entre dos estados estacionarios sin que esta variación sobrepase los límites de un hueco de tensión o una sobretensión. Una vez que se ha definido un estado estable (esto es, la tensión se mantiene continuamente dentro de unos umbrales definidos con respecto a la media del anterior segundo) consideramos que se ha producido un RVC cuando la tensión sube o baja hasta un valor fuera del umbral.

Los RVC's, aun estando dentro de los límites de tolerancia de la operación normal de la tensión en la red eléctrica, se consideran como un tipo de perturbación que tiene que controlar para asegurar el correcto funcionamiento de la red y de los equipos conectados a ella y asimismo para evitar su efecto en el flícker.

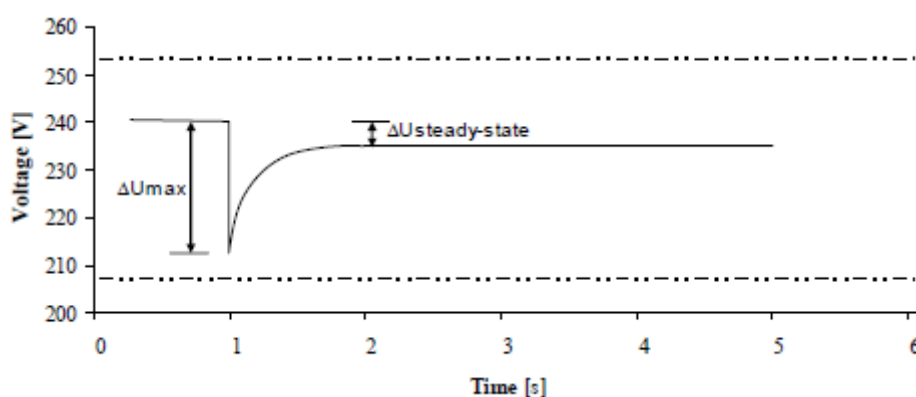
Al contrario que otras perturbaciones en la calidad de la energía eléctrica, la normativa internacional no especifica un método concreto para la detección y análisis de estos eventos. La edición 2 del estándar de medida de la calidad del suministro eléctrico IEC 61000-4-30, actualmente en vigor, solamente define el fenómeno pero no una metodología para su medida [3]. En la edición 3 de este estándar, a publicar el próximo año 2015, si se incluye un método preciso de medida).

Por otra parte, el estándar IEC 61000-4-15, define como estudiar un evento similar, lo que denomina la característica de una variación de tensión en la medida del flícker [4]. La ausencia de un método estandarizado de medida no asegura que se obtengan los mismos resultados cuando se emplean instrumentos de medida de distintos fabricantes.

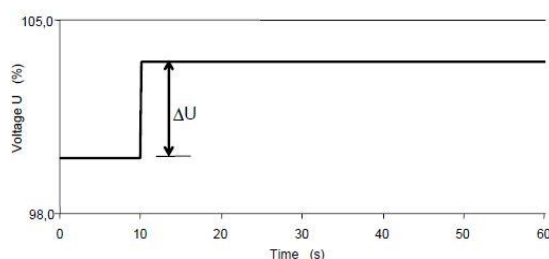
En la actualidad no hay muchos estudios publicados sobre las características de este tipo de perturbación en distintas redes eléctricas ni su efecto sobre el flícker [5] [6] [7]. Con el creciente aumento de las fuentes de energía renovable se espera cada vez un mayor número de estos cambios de tensión, la mayoría de ellos produciendo sobretensiones en la red, por lo que su estudio y documentación va a ser cada vez más necesario

2.2.2 Causas y efectos

Los RVC's se pueden producir por operaciones de conmutación, como arranque de motores, conexión-desconexión de bancos de condensadores o por operaciones de conmutación en transformadores, por variaciones repentinas de carga o por variaciones de potencia en fuentes de energías renovables, como plantas de paneles solares o plantas eólicas. La ilustración 2-2 muestra un ejemplo de RVC asociado con el arranque de un motor y con la conexión de un banco de condensadores.



a)



b)

ILUSTRACIÓN 2-2. EJEMPLOS DE RVC'S ASOCIADOS CON A) EL ARRANQUE DE UN MOTOR Y B) CON LA CONMUTACIÓN DE UN BANCO DE CONDENSADORES

El principal efecto de los RVC's es el flícker, produciendo variaciones en la luminosidad de los dispositivos de iluminación. Otros efectos de los RVC's que se han descrito en la literatura científica son:

- El malfuncionamiento de sistemas de control que actúan sobre el ángulo de la tensión.
- Fallos en sistemas de pares de aceleración o frenado en motores eléctricos.
- Fallos varios de algunos equipos electrónicos.

2.2.3 Situación actual de la normativa

La nueva edición del estándar IEC 61000-4-30 va a incluir un método preciso de detección y medida de los RVC's, método de medida que se va a aplicar en este proyecto.

Otros estándares de calidad del suministro eléctrico limitan el número y la magnitud de los RVC's. Así, el estándar IEC 61000-2-12, con el objetivo de asegurar la compatibilidad electromagnética de los equipos conectados a la red, determina que bajo condiciones normales de funcionamiento los RVC's tiene que ser inferiores al 3% en redes de media tensión [8].

El estándar IEC 61000-3-7 determina los planning levels en redes de media tensión, alta tensión y extra alta tensión para los RVC's en función del número de estos eventos en períodos de horas o días [9].

Por su parte, el estándar IEC 61000-3-3 determina los límites para redes públicas de baja tensión, de los cambios de tensión que se pueden producir por equipos con corrientes de entrada ≤ 16 A [10], el estándar IEC 61000-3-11 especifica los límites para el caso de equipos con corrientes de entrada ≤ 75 A [11] y por último, el estándar IEC 61000-3-5 da los valores para el caso de equipos con corrientes > 75 A [12].

2.2.4 Descripción detallada del algoritmo

Se entiende por variación rápida de tensión una transición rápida de la tensión eficaz entre dos regímenes permanentes.

Para medir las variaciones rápidas de tensión, es necesario definir los umbrales para: la tasa mínima de variación, la duración mínima de los regímenes permanentes, la diferencia mínima de tensión entre dos regímenes permanentes, la máxima variación de tensión durante el período transitorio (característica de variación de tensión) y la estabilidad de las condiciones en régimen permanente.

En una variación rápida de tensión, la tensión no debe superar el umbral del hueco de tensión y/o sobretensión temporal, pues de lo contrario sería considerada como un hueco o una sobretensión temporal.

El parámetro característico de la variación rápida de tensión es la diferencia entre el valor en régimen permanente alcanzado después de la variación y el valor inicial en régimen permanente.

2.3 Huecos y sobretensiones

2.3.1 Definición

Un hueco de tensión es una disminución brusca de la tensión de alimentación a un valor situado entre el 90% y el 1% de la tensión nominal por un tiempo superior a 10 ms e inferior a 1 minuto, seguida del restablecimiento de la tensión después de un corto intervalo de tiempo (ilustración 2-3).

De manera análoga, los aumentos bruscos de tensión superiores al 110% de la misma son considerados como sobretensiones. Las variaciones de tensión que no reducen la tensión de alimentación a un valor inferior al 90% de la tensión nominal o no superan el 110% de la misma no se consideran como huecos de tensión ni sobretensiones, pues se considera que los equipos receptores están suficientemente preparados para soportarlas.

Un hueco de tensión se diferencia de una interrupción corta, que es un corte de tensión en un 100% de su magnitud y de una perturbación transitoria, que es una caída durante un intervalo de tiempo inferior a medio ciclo de la frecuencia fundamental.

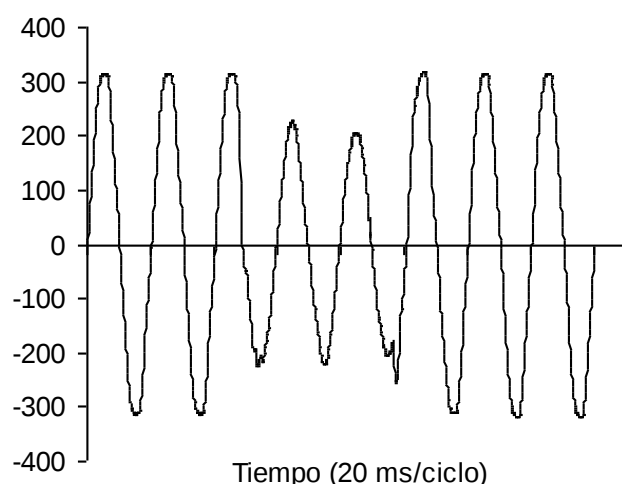


ILUSTRACIÓN 2-3. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE UN HUECO DE TENSIÓN

2.3.2 Causas y efectos

La magnitud de un hueco de tensión o sobretensión es la diferencia entre la tensión eficaz durante el hueco y la tensión declarada para la red de suministro.

La tensión de alimentación declarada generalmente es la tensión nominal de la red. Si el distribuidor y el cliente acuerdan un valor de tensión distinto al nominal en el punto de suministro, entonces ese valor de tensión es la tensión de alimentación declarada.

Los huecos y las sobretensiones suelen estar motivados por defectos de la red o de las instalaciones del cliente.

Los eventos son de carácter aleatorio e impredecible. En general, el efecto de los huecos de tensión y las sobretensiones es el mal funcionamiento o la avería de los equipos, su desconexión y reinicialización y en el caso de equipos informáticos, pérdidas de información.

2.3.3 Descripción detallada del algoritmo

La medida de huecos de tensión y sobretensiones se realiza sobre la tensión nominal de la red, independientemente de estados estacionarios (como los cambios rápidos de tensión).

Es por esto, que simplemente hemos de evaluar cada TODO el valor de la tensión, y diremos que se inicia un hueco de tensión cuando ésta caiga por debajo del valor de la tensión nominal (230V en España) menos el umbral especificado en porcentaje (por defecto, y acorde a la legislación española, un 10%).

De manera análoga, en el momento que la tensión sobrepase el valor de la tensión nominal más el valor especificado en el umbral, se inicia una sobretensión.

Tanto el hueco de tensión como la sobretensión se prolongará hasta que se recupere un valor de tensión que esté dentro del umbral (esto es, tensión nominal de la red $\pm 10\%$).

Capítulo 3 Arquitectura del instrumento de medida

3.1 Introducción

La adquisición de datos es el proceso de medir una magnitud física tal como tensión, presión o temperatura para su posterior análisis mediante un computador. Esto nos va a permitir transformar la señal analógica del suministro eléctrico en una señal digital con la que pueda operar nuestro software.

Para poder realizar la adquisición, es preciso contar con un sistema de adquisición de datos que sea capaz de realizar esa transformación y procesar esas señales. A continuación estudiaremos la arquitectura del sistema.

Con los valores de las señales digitalizadas se ejecutará el software que hemos desarrollado para obtener las medidas deseadas de las perturbaciones de la red eléctrica, completando lo que en el campo de la informática industrial se ha dado en llamar instrumento virtual.

Un instrumento virtual consiste en un módulo software que simula el panel frontal de un instrumento de medida, el cual apoyándose en dispositivos hardware accesibles a través de la computadora (tales como tarjetas de adquisición de datos u otros instrumentos con conectividad USB, Ethernet, RS-232...) es capaz de emular el funcionamiento de un instrumento real (ilustración 3-1) [13].

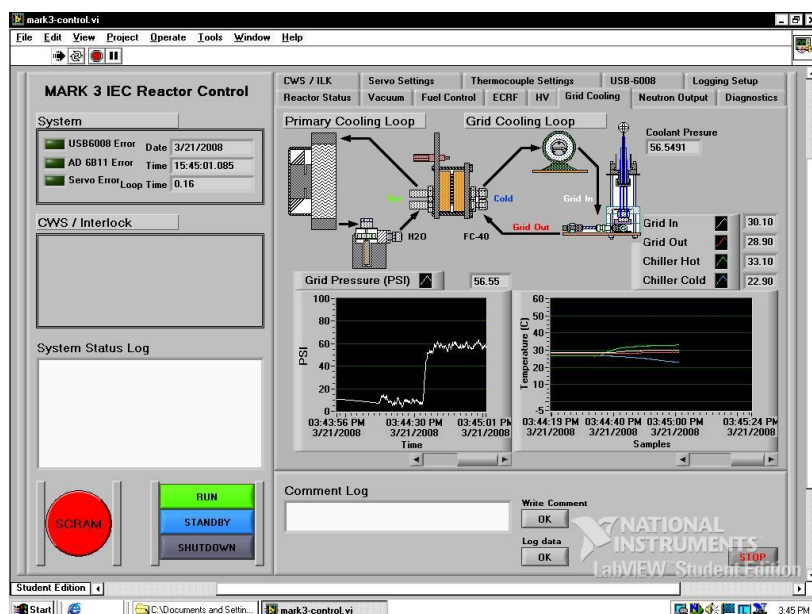


ILUSTRACIÓN 3-1. EJEMPLO DE INSTRUMENTO VIRTUAL

3.2 Hardware del instrumento de medida

La arquitectura del sistema responde al clásico diseño de los sistemas de adquisición de datos, el cual se divide en varias etapas (ilustración 3-2), protagonizadas en cada caso por los siguientes componentes:

- **Transductor:** se trata de un dispositivo capaz de transformar una determinada magnitud física en una señal eléctrica (generalmente, de muy baja intensidad).
- **Acondicionador de señal:** La señal de salida del transductor puede no ser adecuada para la entrada del siguiente nivel, el hardware de adquisición. La labor del acondicionador de señal es adecuar los valores de tensión mediante amplificación a unos valores aceptables de la señal monitorizada, así como la eliminación de ruido o el filtrado por frecuencias.
- **Tarjeta de adquisición de datos:** Este dispositivo se encarga de recibir las señales eléctricas analógicas generadas por el proceso anterior y realizar la conversión a valores digitales de las mismas, así como de interactuar con el computador para transmitirle las mismas.
- **Computador:** Ejecuta el algoritmo de medida y evaluación de las señales, las cuales se interpretan y procesan, mostrando la información al usuario y registrando las incidencias.

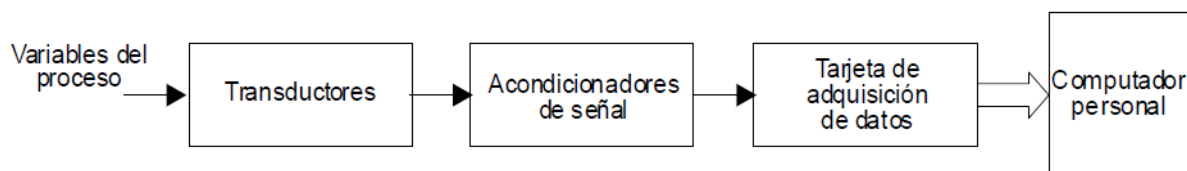


ILUSTRACIÓN 3-2. ESQUEMA BÁSICO DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Adicionalmente, en otros sistemas de instrumentación que además de medir magnitudes sobre el medio, deben interactuar con él, es habitual encontrar esta cadena a la inversa, finalizando en actuadores (en lugar de en transductores). Los actuadores son dispositivos capaces de transformar una señal eléctrica en una magnitud física o un desplazamiento.

3.2.1 Sensor y circuito acondicionador de señal

La señal de tensión del suministro eléctrico en Europa tiene en condiciones óptimas un valor RMS de 230V, lo que implica una amplitud de 325'269V.

No obstante, estamos considerando una serie de perturbaciones que pueden hacer que la tensión supere esta amplitud, por lo cual hemos de tener en cuenta unas tolerancias que permitan salvaguardar nuestro equipo ante dichas situaciones en las cuales el equipo de adquisición puede resultar dañado.

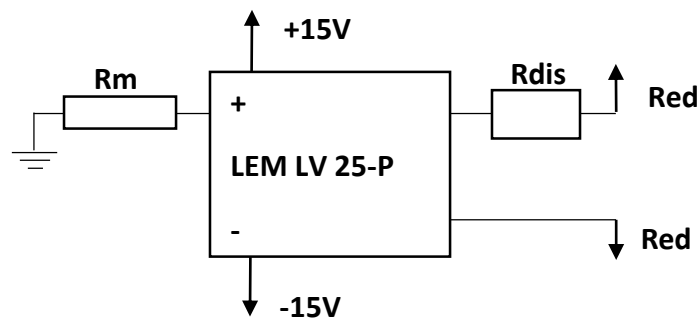
Para evitar este problema, consideramos un umbral superior de la tensión nominal de 350V RMS, o lo que es lo mismo, el máximo admisible por el sistema sería una señal de 495V de amplitud.

En cualquier caso, hemos de reducir dicha señal a unos valores acordes a las especificaciones de la tarjeta de adquisición de datos que utilizaremos posteriormente. Dicha tarjeta admite señales en un rango de ± 10 V, por lo que hemos de adecuar nuestra señal para que conserve su forma característica pero vea reducida su amplitud a unos valores que se encuentren dentro de dicho rango.

Para esto, contamos con un sistema acondicionador de señal, formado por un transductor LEM LV 25-P, una resistencia de disipación R_{dis} y una resistencia de medida R_m (ilustración 3-3).



a)



b)

ILUSTRACIÓN 3-3. TRANSDUCTOR LEM LV 25-P (A) Y SU DIAGRAMA DE CONEXIÓN (B)

El LEM LV 25-P es un transductor de medida de tensión y corriente en circuitos eléctricos, que admite señales de alta tensión en el primario y permite la medida de señales de baja tensión en el secundario. Su principio de funcionamiento se basa en el principio de compensación magnética por efecto Hall (tabla 3-1).

Corriente nominal de entrada	10 mA
Rango de medida	0 a ± 14 mA
Resistencia de medida con ± 15 V a máx. -10 mA	Rm 100 a 350 Ω
Resistencia de medida con ± 15 V a máx. -14 mA	Rm 100 a 190 Ω
Corriente nominal de salida	25 mA
Razón de conversión	2500:1000
Voltaje de alimentación	± 12 a 15 V

TABLA 3-1. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL TRANSFORMADOR DE MEDIDA LEM LV 25-P

La resistencia de disipación Rdis está colocada entre uno de los terminales de la red y el primario del transductor LEM LV 25-P y su característica más singular es que es de alta disipación de potencia, cualidad necesaria si tenemos en cuenta que debe soportar una tensión de cientos de voltios. Su valor resistivo es concretamente de 50 k Ω y teniendo en cuenta que hemos asumido un valor de voltaje máximo de 350V rms, la intensidad máxima de corriente que recibirá el primario del transductor Ip será de:

$$I_p = \frac{350 \text{ V rms}}{50 \text{ k}\Omega} = 7 \text{ mA rms}$$

La intensidad máxima soportada en el secundario por la tarjeta de adquisición de datos es de 10mA, con lo que utilizando este elemento, reducimos la intensidad a un valor inferior (7mA) al rango de funcionamiento de la tarjeta.

Tal y como podemos ver en la ilustración 3-3, la resistencia de medida R_m está situada en el secundario del transductor, y será entre ambos extremos de la misma donde realizaremos la toma de muestras con la tarjeta de adquisición de datos.

De esta manera, cada uno de los bornes de la resistencia se conectará a uno de los canales de adquisición analógica de la tarjeta. Este tipo de adquisición se denomina diferencial y su característica es que aumenta la precisión de la lectura pues se reduce el ruido captado.

Una vez adecuados los valores de intensidad, la señal presente entre los extremos de la resistencia de medida R_m tiene unos valores de amplitud dentro de un rango apropiado para nuestra tarjeta de adquisición de datos y así evitar dañarla por una sobretensión.

La resistencia de medida R_m se distingue por la precisión con la que ha sido fabricada, proporcionando unas tolerancias muy bajas en su valor resistivo y por la baja variación en dicho valor resistivo por causa de la disipación de calor durante su uso, cualidad vital para evitar desvirtuar la medida tras un largo período de funcionamiento del instrumento.

Para poder elegir correctamente el valor de la resistencia de medida R_m es importante tener en cuenta las características del transductor LEM LV25-P. Conocemos que la corriente nominal de entrada del primario I_p es de 10 mA, así como que la corriente nominal de salida del secundario I_s es de 25 mA. La relación entre ambas es de 2.5, la cual viene dada por la relación de transformación proporcionada por el fabricante (2500:1000). Teniendo en cuenta que nuestra señal, tras atravesar la resistencia de disipación R_{dis} tiene una intensidad de 7 mA:

$$I_s = 7 \text{ mA rms} * \frac{2500}{1000} = 17'5 \text{ mA rms}$$

Si empleamos una resistencia de medida R_m de 402Ω y teniendo en cuenta el valor de intensidad máximo (17'5mA rms) obtendremos un valor del voltaje de medida V_m de:

$$V_m = 17'5 \text{ mA} * 0'402 \text{ k}\Omega = 7'035 \text{ V rms}$$

Como podemos ver, 7'035 V rms es un valor que está perfectamente dentro del rango de valores admitidos por las entradas analógicas de la tarjeta de adquisición de datos. No obstante, ese valor se corresponde con una tensión de entrada de 350 V rms, lo cual es una situación excepcional. La mayor parte del tiempo el valor nominal del suministro rondará los 230 V, con lo que el valor medido por la tarjeta de adquisición de datos será:

$$I_p = \frac{230 \text{ V rms}}{50 \text{ k}\Omega} = 4'6 \text{ mA rms}$$

$$I_s = 4'6 \text{ mA rms} * \frac{2500}{1000} = 11'5 \text{ mA rms}$$

$$V_m = 11'5 \text{ mA} * 0'402 \text{ k}\Omega = 4'623 \text{ V rms}$$

Por tanto, vemos que para una señal medida de la red eléctrica con amplitud 230 V rms, tendremos en el secundario del transductor una medida de 4'623 V rms. Es por esto que en el software deberemos multiplicar el valor medido en la tarjeta de adquisición por un factor de corrección F_c :

$$F_c = \frac{230 \text{ V rms}}{4'623 \text{ V rms}} = 49'7512$$

Cabe recordar que este factor es directamente dependiente de las características del transductor y de la resistencia de medida, y que sólo es válido para esta instalación. Por este motivo, dicho parámetro será un valor editable para el usuario del software.

3.2.2 Sistema de adquisición de datos

Una vez adecuados los valores de tensión, son transmitidos a la tarjeta de adquisición de datos, que convierte la forma de onda en señales digitales entendibles por el computador.

Para las pruebas en el laboratorio, se ha empleado una tarjeta de adquisición de datos NI 9215A conectada a un CompactDAQ NI 9172 (ilustración 3-4). El CompactDAQ consiste en un chasis en cuyo interior se pueden alojar hasta 8 tarjetas, el cual se conecta al computador vía USB. De esta forma podríamos controlar varias tarjetas simultáneamente en el mismo equipo.

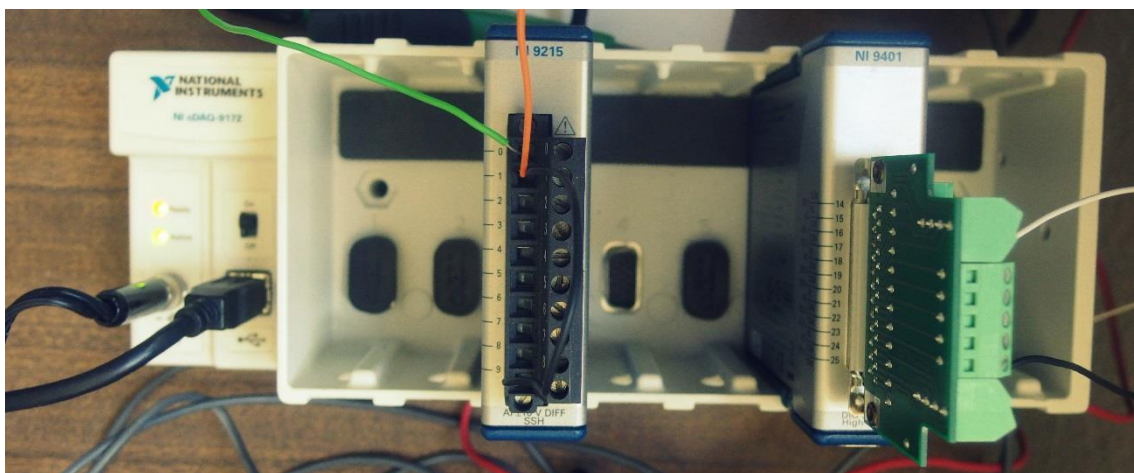


ILUSTRACIÓN 3-4. COMPACTDAQ NI 9172 Y TARJETAS NI 9215A Y NI 9401

A continuación veremos las principales características de la tarjeta de adquisición de datos NI 9215 A (tabla 3-2) y del computador (tabla 3-3) empleados en el desarrollo y evaluación del instrumento.

Número de canales de entrada	4
Tipo de las entradas	Analógicas
Bits de resolución	16
Rango de medida	0 a ± 10 V
Frecuencia máxima de muestreo	100 kS/s/ch

TABLA 3-2. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LA TARJETA DE ADQUISICIÓN NI 9215 A

Procesador	Intel Core 2 Duo E7300 @ 3.2 Ghz
Memoria RAM	2 GB DDR2
Disco duro	WD Caviar Green 160 GB 5400 rpm
Tarjeta gráfica	Nvidia GeForce 7300 SE
Sistema operativo	Windows 7 Professional Service Pack 1
Software empleado	LabVIEW 10.0

TABLA 3-3. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL COMPUTADOR EMPLEADO

Capítulo 4 Proceso de desarrollo software

4.1 Introducción

El objetivo de este capítulo no es otro que recoger las necesidades que el sistema software deberá cumplir y la manera más adecuada de desarrollarlo. En este sentido, comenzaremos planteando los requisitos funcionales del sistema, para después proponer los casos de uso, se plantearán los requisitos no funcionales y se propondrá el modelo de desarrollo más adecuado para el sistema.

4.2 Requisitos funcionales

Para comenzar con los requisitos, se tiene en cuenta que habrá un único rol, éste será el de usuario, el cual será el encargado de interactuar con el sistema.

Para clasificar los requisitos funcionales del sistema, se han empleado los siguientes criterios (tabla 4-1). De esta manera, es más sencillo hacer un seguimiento de la parte del sistema afectada por cada uno de ellos.

Id	Descripción
1.x	Requisitos de legislación
2.x	Funcionalidades internas
3.x	Funcionalidades externas

TABLA 4-1. CLASIFICACIÓN DE REQUISITOS FUNCIONALES

A continuación, pasan a desarrollarse los requisitos funcionales según la clasificación propuesta (tabla 4-2).

Id	Descripción
1.x	Requisitos de legislación
1.1	El sistema deberá cumplir la normativa IEC 61000-4-30 en lo referente a métodos de medida de perturbaciones en la señal de suministro eléctrico.
1.2	El sistema considerará los huecos de tensión y las sobretensiones según lo dispuesto en la normativa IEC 61000-4-30.

4.3 Casos de uso

Para describir el funcionamiento del sistema, se han propuesto los siguientes casos de uso (ilustración 4-1).

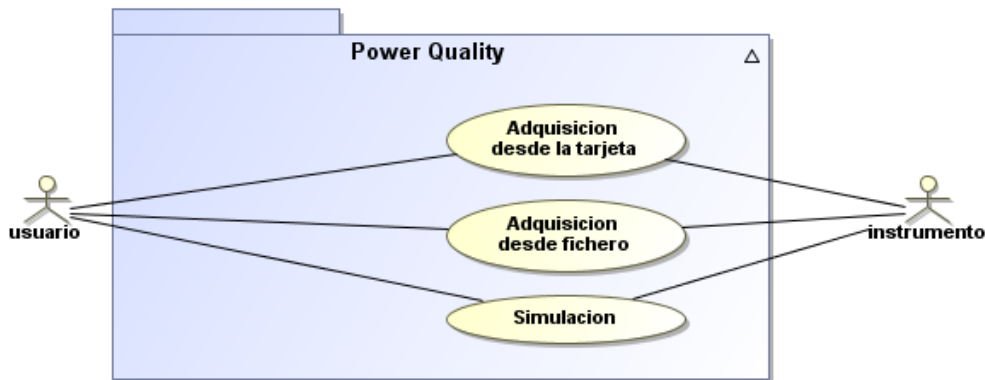


ILUSTRACIÓN 4-1. DIAGRAMA DE CASOS DE USO

A continuación, procedemos a describir en profundidad cada uno de los casos de uso: en la tabla 4-3 vemos la adquisición desde tarjeta, en la tabla 4-4 la adquisición desde fichero y por último en la tabla 4-5 la simulación.

Nombre	Adquisición desde tarjeta
Descripción	El sistema realiza la captura de la señal de suministro eléctrico desde la tarjeta de adquisición de datos.
Actor	Usuario
Precondiciones	La tarjeta de adquisición está conectada al equipo y correctamente configurada
Flujo normal	1. El usuario selecciona los parámetros adecuados para la adquisición (tensión y frecuencia de la red, frecuencia de muestreo, etc...). 2. El usuario deselecta (si procede) los interruptores de lectura de fichero y de simulación. 3. El usuario inicia la aplicación. Durante la ejecución, el usuario podrá utilizar el visor de ficheros.
Postcondiciones	Las perturbaciones (si las hay) quedan registradas en fichero.
Flujo alternativo	Si la tarjeta está incorrectamente conectada o configurada, se detiene la ejecución.

TABLA 4-3. CASO DE USO "ADQUISICIÓN DESDE TARJETA"

Nombre	Lectura de fichero
Descripción	El sistema realiza la captura de la señal desde un fichero de datos que contiene los valores de la onda de tensión en crudo.
Actor	Usuario
Precondiciones	Hay ficheros con valores de tensión válidos en la ruta de entrada.
Flujo normal	1. El usuario selecciona los parámetros adecuados para la adquisición (tensión y frecuencia de la red, frecuencia de muestreo, etc...) 2. El usuario selecciona (si procede) el interruptore de lectura de fichero y deselecta el de simulación. 3. El usuario inicia la aplicación. Durante la ejecución, el usuario podrá utilizar el visor de ficheros.
Postcondiciones	Las perturbaciones (si las hay) quedan registradas en fichero.
Flujo alternativo	Si el archivo tiene un formato incorrecto (tiene letras u otros caracteres extraños) se detiene la ejecución.

TABLA 4-4. CASO DE USO "LECTURA DE FICHERO"

Nombre	Simulación
Descripción	El sistema realiza la captura de una señal simulada.
Actor	Usuario
Precondiciones	
Flujo normal	1. El usuario selecciona los parámetros adecuados para la adquisición (tensión y frecuencia de la red, frecuencia de muestreo, etc...) 2. El usuario selecciona (si procede) el interruptor de simulación y deselecta el de lectura de fichero. 3. El usuario inicia la aplicación. Durante la ejecución, el usuario podrá utilizar el visor de ficheros
Postcondiciones	Las perturbaciones (si las hay) quedan registradas en fichero.
Flujo alternativo	Si la tarjeta está incorrectamente conectada o configurada, se detiene la ejecución.

TABLA 4-5. CASO DE USO "SIMULACIÓN"

4.4 Requisitos no funcionales

A continuación, en la tabla 4-6, se exponen los requisitos no funcionales mínimos que ha de cumplir el sistema desarrollado, junto a la categoría en la que se enmarca cada uno de ellos.

Id	Descripción
RNF 1	El sistema deberá ser capaz de procesar la información adquirida a través de la tarjeta sin saturar el computador. (Uso de recursos)
RNF 2	El sistema ha de ser capaz de procesar y almacenar el registro de al menos 2 perturbaciones cada 6 segundos. (Uso de recursos)
RNF 3	Una vez iniciado el sistema, la adquisición ha de comenzar en menos de 5 segundos. (Comportamiento temporal)
RNF 4	Durante la ejecución del programa, al utilizar el visor de eventos, este ha de responder en menos de 5 segundos. (Comportamiento temporal).
RNF 5	El sistema ha de poder almacenar al menos 1.000 perturbaciones. (Capacidad).
RNF 6	El sistema deberá presentar una interfaz de usuario agradable, en la que se puedan encontrar rápidamente las opciones más importantes. (Diseño)
RNF 7	El esquema de colores empleado así como las formas y distribución de elementos ha de resultar agradable para el ojo humano. (Diseño)
RNF 8	Un usuario con conocimientos en la materia no debe de tardar más de 15 minutos en controlar el sistema. (Facilidad de aprendizaje)
RNF 9	El sistema ha de poder funcionar ininterrumpidamente al menos durante una semana. (Fiabilidad)
RNF 10	El sistema ha de ser fácilmente adaptable a futuros cambios en la normativa. (Modificabilidad)

TABLA 4-6. REQUISITOS NO FUNCIONALES

4.5 Metodología de desarrollo

El modelo de desarrollo escogido para este proyecto ha sido el incremental. Con esta metodología, una vez planteados los requisitos, se trabaja en iteraciones, en las cuales se desarrolla una nueva versión del sistema completo (ilustración 4-2) [14].

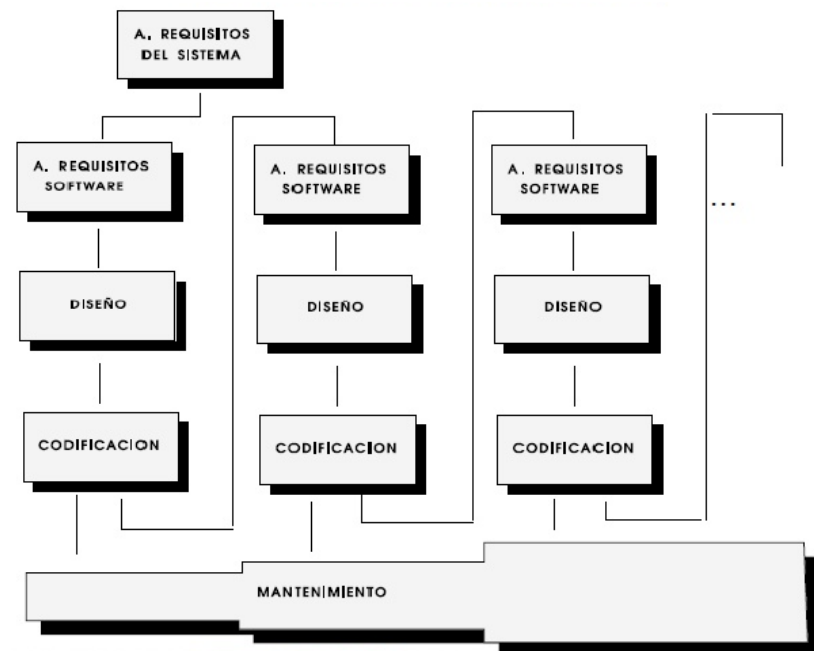


ILUSTRACIÓN 4-2. MODELO INCREMENTAL

Esta metodología presenta interesantes ventajas para desarrollar el sistema propuesto, entre las cuales se encuentran las siguientes:

- Se entrega una muestra de trabajo periódicamente al director del proyecto.
- Los cambios en la normativa (la cual en el caso de los cambios rápidos de tensión está en fase de borrador) se implementan más sencillamente en la siguiente iteración.
- Se controla mejor la calidad de cada una de las partes.
- Se reduce el riesgo de fracaso total del proyecto.

4.6 Diseño arquitectónico

El desarrollo con el software LabVIEW (que será presentado a continuación) lleva implícito el modelo de tres capas, consistente en una arquitectura de tipo cliente-servidor cuyo rasgo más característico es la separación lógica de la capa de negocio de la capa de presentación y de la capa de acceso a datos (ilustración 4-5).

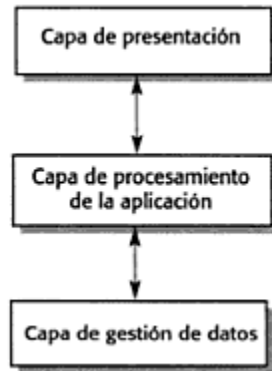


ILUSTRACIÓN 4-3. MODELO DE TRES CAPAS

De esta manera, tenemos las 3 áreas del sistema bien diferenciadas:

- **Capa de presentación:** Compuesta por la interfaz de usuario, será programada desde el panel frontal de LabVIEW. Interactúa con las otras dos capas.
- **Capa de negocio:** La lógica de negocio está ubicada en el diagrama de bloques de LabVIEW. Se encarga de gestionar la entrada y salida de información desde la capa de acceso a datos y de ejecutar los algoritmos necesarios para completar los procesos invocados desde la capa de presentación.
- **Capa de acceso a datos:** Consiste en el sistema de archivos local, encargado de proporcionar entrada y salida a la capa de negocio.

Capítulo 5 Software del instrumento de medida

5.2 Plataforma y lenguaje de desarrollo de software

Para el desarrollo del software, se ha optado por el entorno de desarrollo *LabVIEW 10.0* el cual tras más de 25 años de historia, ha conseguido ser reconocido como un verdadero estándar de facto en el mundo de la instrumentación.

LabVIEW es sumamente popular en entornos industriales y de automatización, posee gran capacidad de comunicación con una amplia gama de periféricos de entrada/salida (*LabVIEW* es un desarrollo de National Instruments, empresa con una amplia gama de tarjetas de adquisición de datos y otros dispositivos de automatización) y se trata de una herramienta ya familiar al haber sido empleada en varias asignaturas del plan de estudios [14].

Los programas desarrollados en LabVIEW constan de dos partes bien diferenciadas: panel frontal y diagrama de bloques.

- El panel frontal constituye la interfaz con el usuario final, lo que podríamos considerar el *front-end*. Ha de resultar usable, funcional y atractiva para el usuario.
- El diagrama de bloques o *back-end* de la aplicación, donde se programan todas las rutinas y algoritmos que hacen funcionar al programa, así como se gestiona la entrada/salida de información.



ILUSTRACIÓN 5-1. PANEL FRONTAL Y DIAGRAMA DE BLOQUES EN LABVIEW

5.2 Panel frontal

Como acabamos de ver, el panel frontal consiste en la interfaz de usuario. Ha de contener todas las opciones de ajuste para poder operar con el sistema completo y asimismo ofrecer al usuario final información acerca del estado actual del funcionamiento del sistema.

Para simplificar el diseño, se ha dividido el panel en tres pestañas diferentes:

- Inicio
- Visor de eventos
- Ajustes

Desde la pantalla de inicio, se puede iniciar y detener el software (y por tanto, la adquisición). Sendos indicadores luminosos a la izquierda muestran el inicio de un RVC (considerado como evento de tensión), hueco o sobretensión. Bajo estos testigos, se muestran contadores del número de perturbaciones de cada clase.

La gráfica superior representa la forma de onda adquirida “en bruto” por el sistema. Tras su pertinente tratamiento, en la gráfica inferior se muestra el valor RMS de la señal adquirida y el estado de la señal lógica.

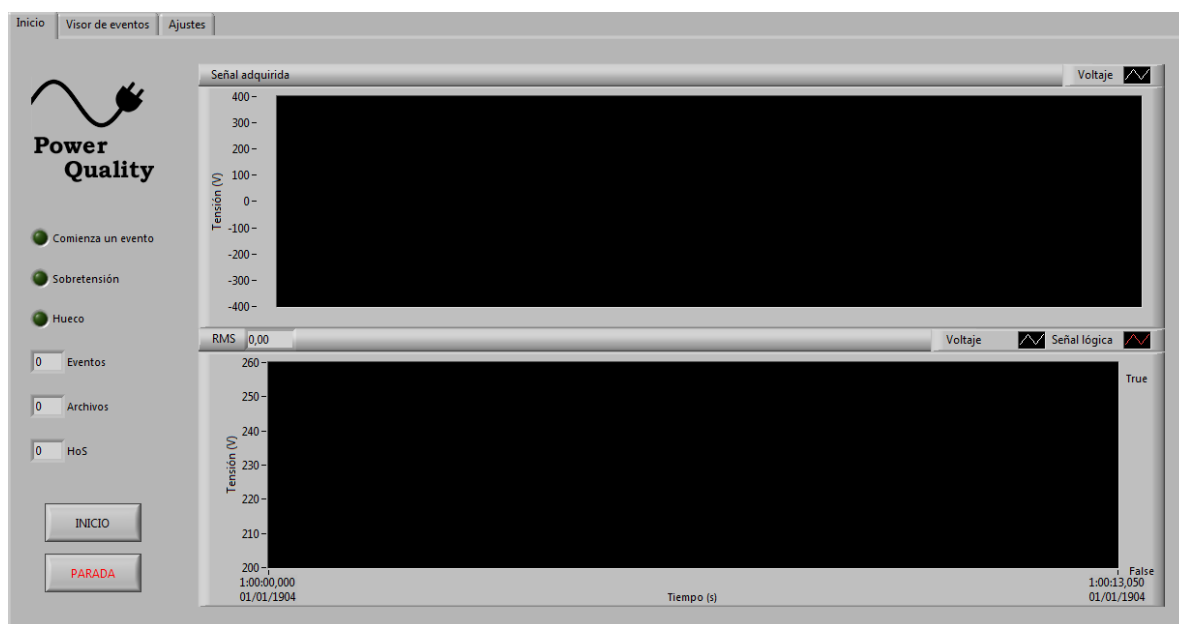


ILUSTRACIÓN 5-2. PANEL FRONTAL, PESTAÑA INICIO

A través de la siguiente pestaña (Visor de eventos) podemos visualizar las perturbaciones que ya hayan sido registrados mientras el programa esté en ejecución. De nuevo, se muestra el voltaje RMS de toda la perturbación así como la señal lógica. En la ilustración 5-3 podemos ver como se representa un cambio rápido de tensión captado por el propio instrumento.

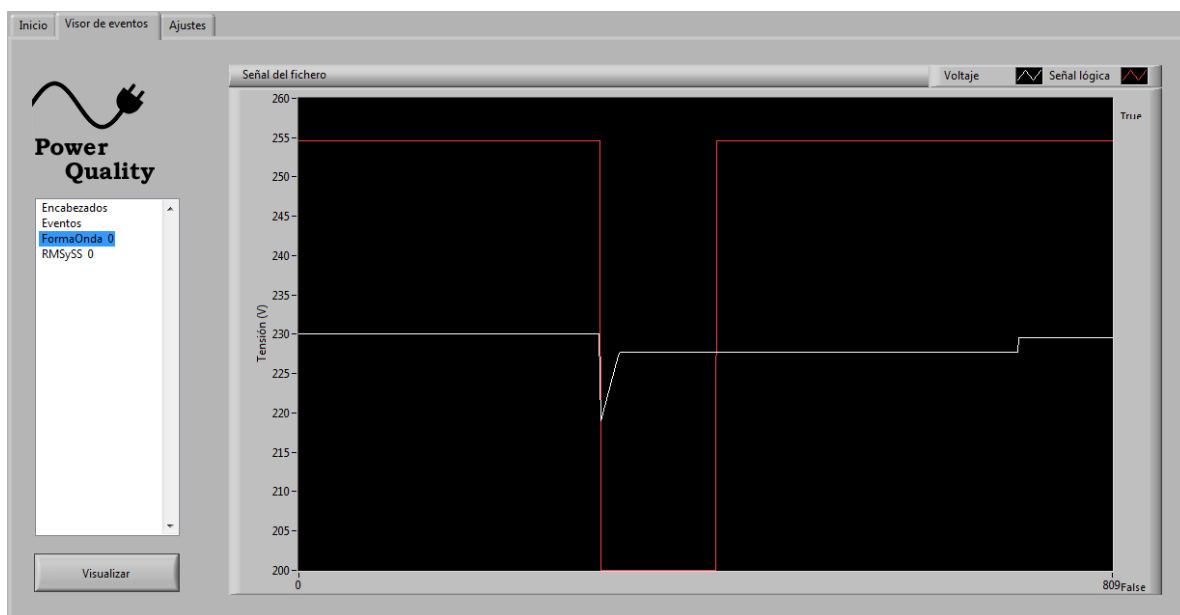


ILUSTRACIÓN 5-3. PANEL FRONTAL, PESTAÑA VISOR DE EVENTOS

Finalmente, la última pestaña (Ajustes, ilustración 5-4) muestra todos los ajustes que podemos realizar sobre el sistema, divididos en las siguientes áreas:

Los parámetros de suministro caracterizan la señal de suministro eléctrico según la región en la que nos encontremos. Para ello, hemos de ajustar tanto la tensión RMS de la red así como la frecuencia de la misma.

Los parámetros de adquisición implican la frecuencia de muestreo de la tarjeta de adquisición (por defecto, 3200Hz) y el factor de conversión F_c , ya tratado anteriormente.

Dentro de los parámetros de los cambios rápidos de tensión, nos encontramos el umbral (representa el porcentaje sobre el valor de tensión nominal a partir del cual un evento es considerado como tal) y el buffer, que marca el número de segundos de la adquisición que se graban en el fichero antes y después del evento para su posterior análisis.

Los parámetros de huecos y sobretensiones permite establecer el umbral (de nuevo, representa el porcentaje sobre el valor de tensión nominal a partir del cual en este caso un hueco de tensión o una sobretensión son considerados como tal).

Asimismo, podemos hacer que el programa adquiera los datos desde un fichero de texto activando el interruptor *Lectura de fichero* y seleccionando el fichero con los datos en *Ruta de entrada*, o bien que el propio programa simule una adquisición para comprobar su correcto funcionamiento.

Por último, en *Ruta de salida* configuraremos la carpeta donde se guardarán los ficheros que generará el programa al suceder los eventos de tensión.

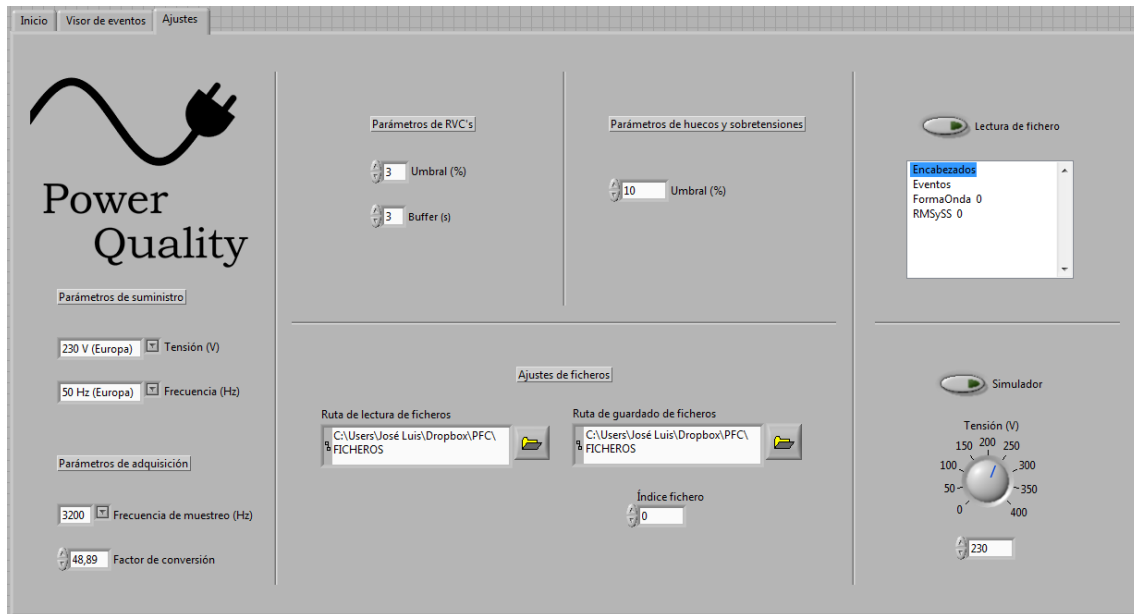


ILUSTRACIÓN 5-4. PANEL FRONTAL, PESTAÑA AJUSTES

5.3 Diagrama de bloques

El diagrama de bloques es el código propiamente dicho de la aplicación. Consta de cinco lazos con distintas funciones:

- Lazo de inicialización
- Lazo de adquisición
- Lazo de procesado
- Lazo de almacenamiento
- Lazo del visor de eventos

El lazo de inicialización está conectado con todos los lazos, pues contiene los ajustes necesarios para el correcto funcionamiento del sistema. Asimismo, el diseño del instrumento se vale de las colas, una estructura muy empleada en LabVIEW para compartir información, las cuales, en general, son FIFO.

El diseño cuenta con una cola de control que se interconecta con todos los lazos y detiene la ejecución de todos ellos cuando el usuario para el instrumento, propagando la señal de parada.

De manera análoga, la cola de adquisición se alimenta de los valores obtenidos en el lazo de adquisición, que son compartidos por el lazo de procesado y eventualmente (al producirse una perturbación) por el lazo de almacenamiento.

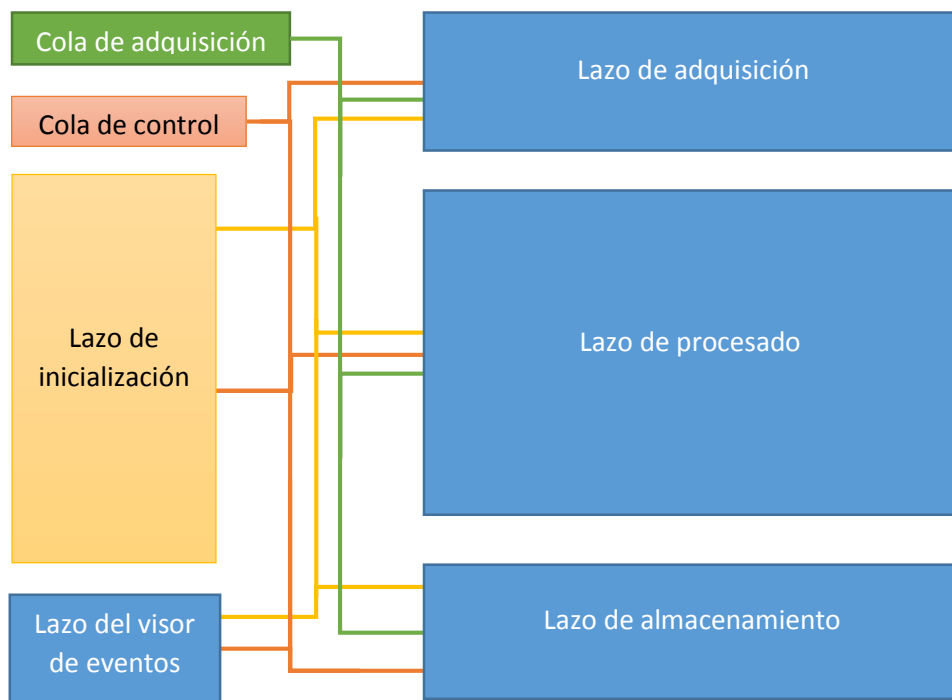


ILUSTRACIÓN 5-5. ESQUEMA DEL DIAGRAMA DE BLOQUES

El lazo de inicialización es el primero que se ejecuta, y en él se recogen los parámetros con que el usuario configura el programa. Como su propio nombre indica, es el encargado de inicializar el programa, leyendo los ajustes realizados por el usuario desde el panel frontal. Aquí se recogen los siguientes parámetros (ilustración 5-5):

- Ruta de lectura de ficheros
- Ruta de guardado de ficheros
- Tensión de la red
- Frecuencia de la red
- Frecuencia de muestreo
- Buffer
- Umbral
- Índice de fichero
- Selección del simulador

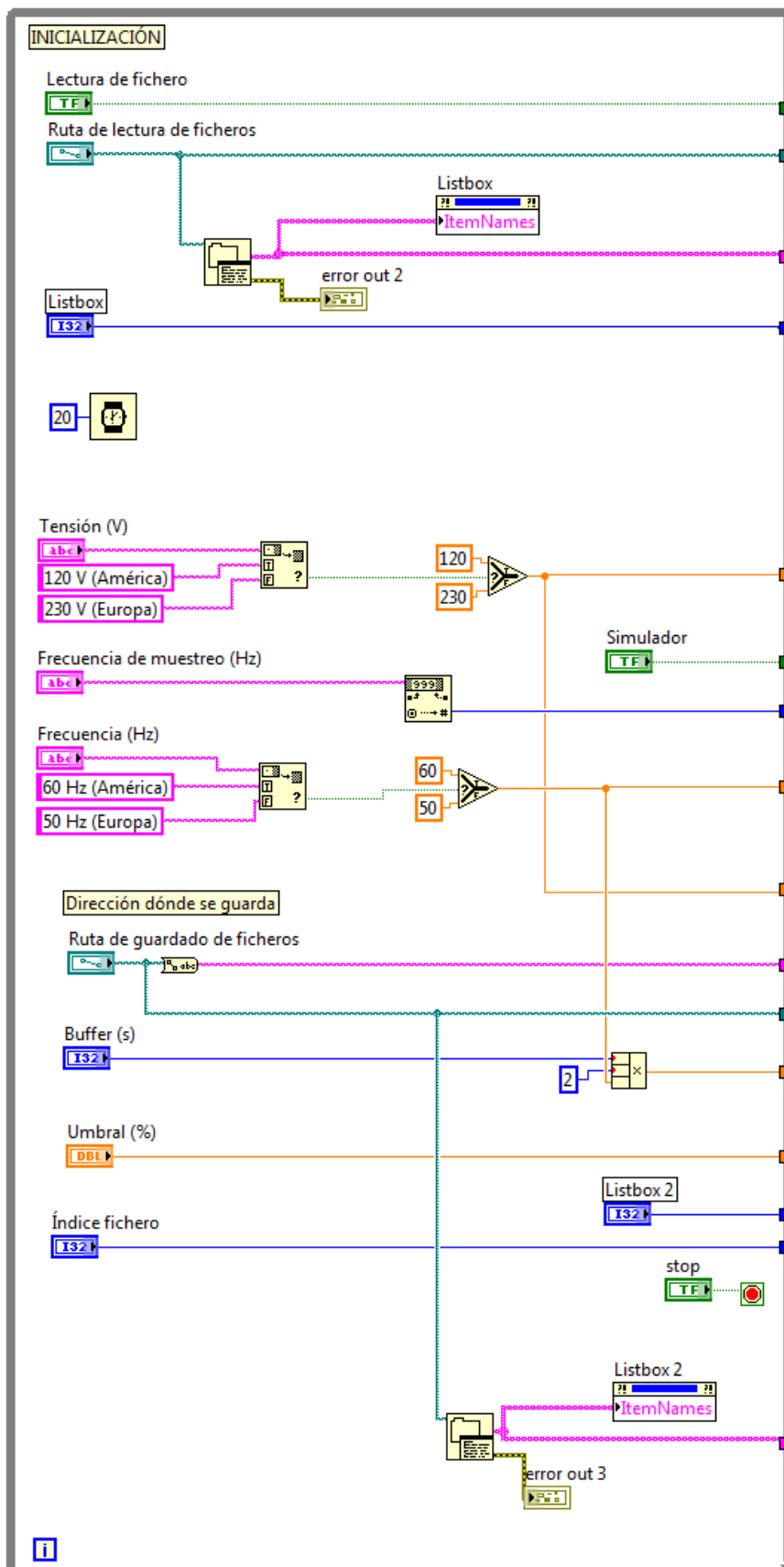


ILUSTRACIÓN 5-6. VISTA DEL LAZO DE INICIALIZACIÓN

Una vez se ha completado la inicialización, esto es, el usuario pulsa el botón “INICIO”, se ejecutan simultáneamente los cuatro lazos restantes. Esto sucede debido al propio funcionamiento de LabVIEW, según el cual, ha de terminar de ejecutarse el lazo que presenta dependencias sobre el resto para que estos se ejecuten.

La siguiente etapa la constituye el lazo de adquisición. Como su nombre indica en el lazo de adquisición se adquiere la señal que posteriormente se analizará, o dependiendo de la elección del usuario, en este lazo también se puede simular una función, o leer de un fichero almacenado con anterioridad. Dicha elección se realiza con estructuras “case”.

En caso de que se seleccione la opción de la adquisición desde la tarjeta (ilustración 5-6) se muestra el factor de conversión Fc el cual hemos descrito con anterioridad, el cual ajustará los valores de tensión para poder realizar el estudio de los mismos.

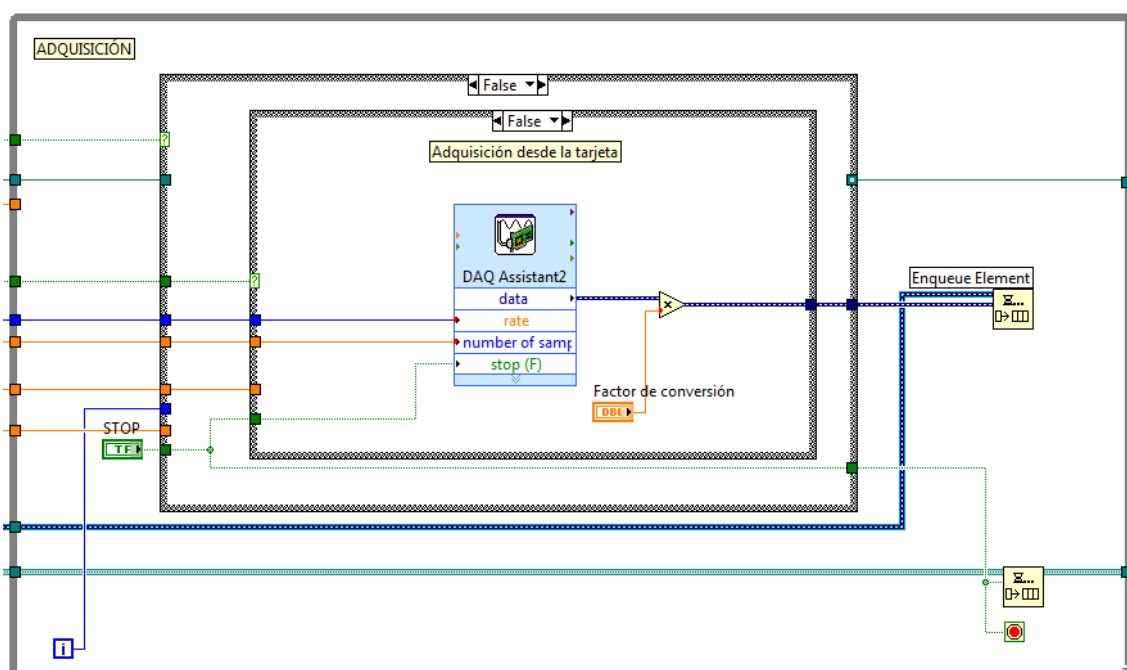


ILUSTRACIÓN 5-7. VISTA DEL LAZO DE ADQUISICIÓN

En el ciclo de procesado es donde se desarrolla el algoritmo del método de detección de eventos en la tensión del suministro eléctrico, tanto de cambios rápidos de tensión como de huecos de tensión y sobretensiones.

5.3.1 Algoritmo de detección de cambios rápidos de tensión

El algoritmo de detección de cambios rápidos de tensión, según lo establecido en la norma IEC 61000-4-30 toma como entrada el valor $rms\frac{1}{2}$ de la señal del suministro eléctrico, (valor de la tensión eficaz medida en un periodo y refrescada en cada semiperiodo). para cuyo cálculo se requiere una adquisición continua a la frecuencia de muestreo seleccionada por el usuario.

La salida del algoritmo es el valor del estado estacionario, el cual consiste en una señal lógica que será verdadera siempre y cuando la señal de tensión esté en régimen estacionario y falsa cuando comience la ejecución y cuando se detecte un evento en el suministro eléctrico.

Al comenzar el algoritmo, calculamos el primer valor de referencia empleando el primer segundo de señal adquirido (en Europa la señal de suministro tiene una frecuencia de 50 Hz, por lo que 1 segundo corresponde a 100 valores rms½). Hacemos la media de los 100 primeros valores rms½, a lo que llamaremos rmsi, el cual es el primer valor de referencia. Durante la inicialización la señal lógica permanece a falso.

Una vez tenemos el primer valor de referencia, se comprueba que cada nuevo valor de rms½ calculado esté dentro del rango $\text{rmsi} \pm \%$ del umbral seleccionado. En la inicialización el nuevo rms½ debe permanecer dentro del intervalo de tensión definido durante un segundo. Lo cual se controla con un contador que debe de llegar a 100 para considerar que la señal de suministro está en régimen estacionario, momento en el que la señal lógica se pone a verdadero. Si el nuevo valor rms½ sale del rango de tensión definida el contador se reinicia y la señal lógica continúa en falso, indicando que no se ha llegado a un estado estacionario.

En lo sucesivo, se continuarán adquiriendo muestras y calculando los valores rms½, los cuales si están dentro del rango antes mencionado, se añadirán al conjunto de los 100 anteriores, eliminando el valor más antiguo (según el proceso de media deslizante).

Si el valor rms½ se encuentra fuera del rango establecido, es que se ha producido un evento de tensión. El rms½ pasa a ser el nuevo valor de referencia, y la señal lógica se pone a falso y permanece en ese valor mientras no se registre 1 segundo en el que el nuevo rms½ esté dentro del rango.

5.3.2 Algoritmo de detección de huecos de tensión y sobretensiones

Basándose en el valor rms½ adquirido para el algoritmo de detección de cambios rápidos de tensión, se compara en cada iteración con el umbral establecido para hueco de tensión y sobretensión.

Este umbral se considera sobre el voltaje nominal de la red (en España, 230 V) y aunque el instrumento permite regularlo, la legislación establece un $\pm 10\%$. Esto es, en cada iteración, si el valor r.m.s. desciende de 207 V se considerará un hueco de tensión, y si dicho valor sobrepasa los 253 V se considerará una sobretensión.

La perturbación durará hasta que se vuelva a adquirir un valor de tensión rms½ dentro de los umbrales establecidos.

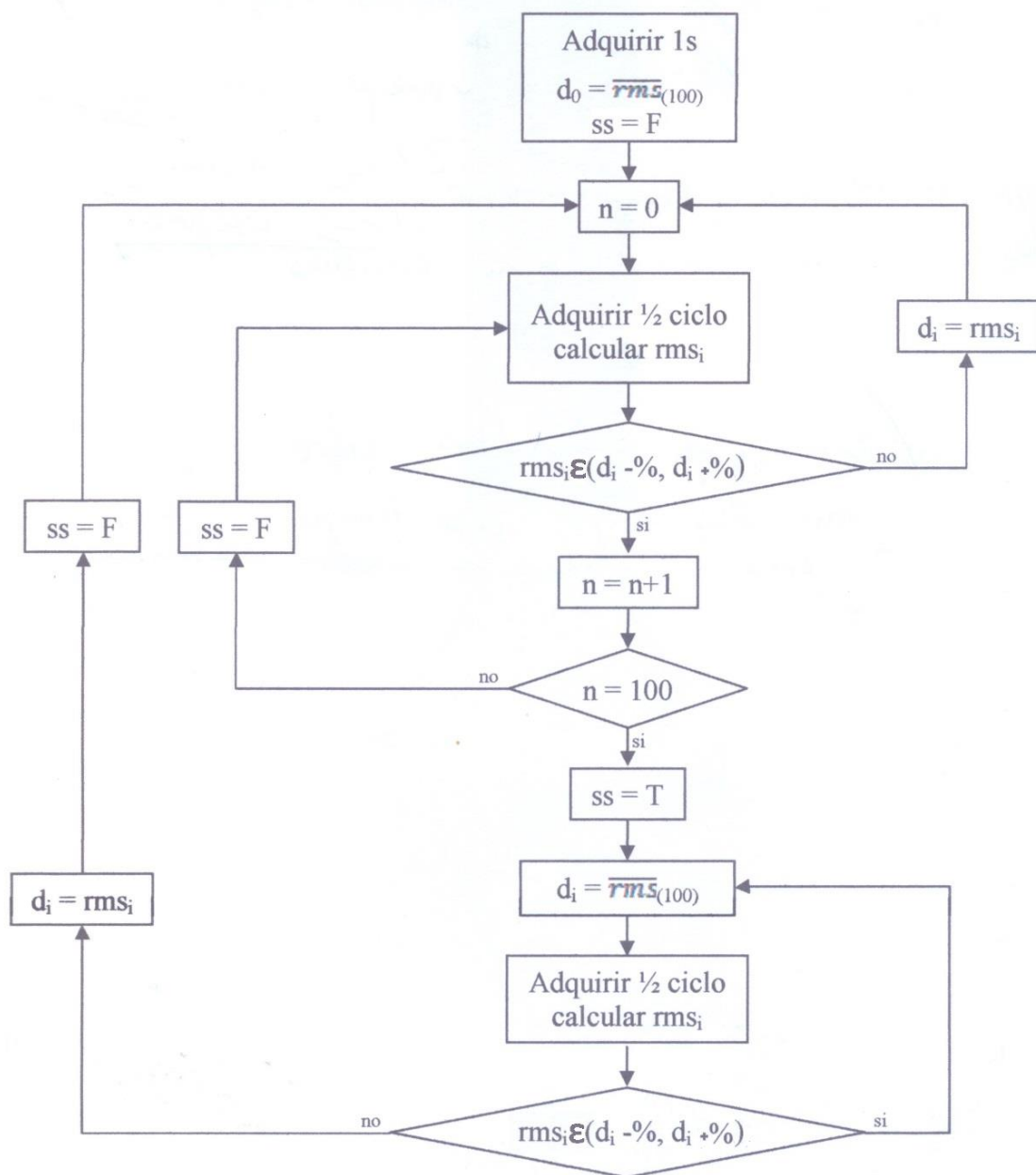


ILUSTRACIÓN 5-8. DESARROLLO DEL ALGORITMO DE DETECCIÓN DE CAMBIOS RÁPIDOS DE TENSIÓN

El siguiente lazo a considerar es el encargado del almacenamiento. En el momento que se registra una perturbación en el lazo de procesado, queda registrada en tres ficheros desde este lazo (ilustración 5-8). Los ficheros son los siguientes:

- Encabezados: es un único archivo, al que se va añadiendo una breve descripción de cada perturbación registrada. Se indica el tipo de perturbación registrada, el número de archivo, la fecha y la hora a la que fue registrado y la magnitud del mismo.

- RMSySS x: este fichero muestra en dos columnas, el valor r.m.s. así como el valor de señal lógica medido durante la perturbación.
- FormaOnda x: e este fichero podemos encontrar los valores de tensión en crudo medidos durante la perturbación. Estos valores podrán emplearse para realimentar al instrumento desde la lectura de ficheros.

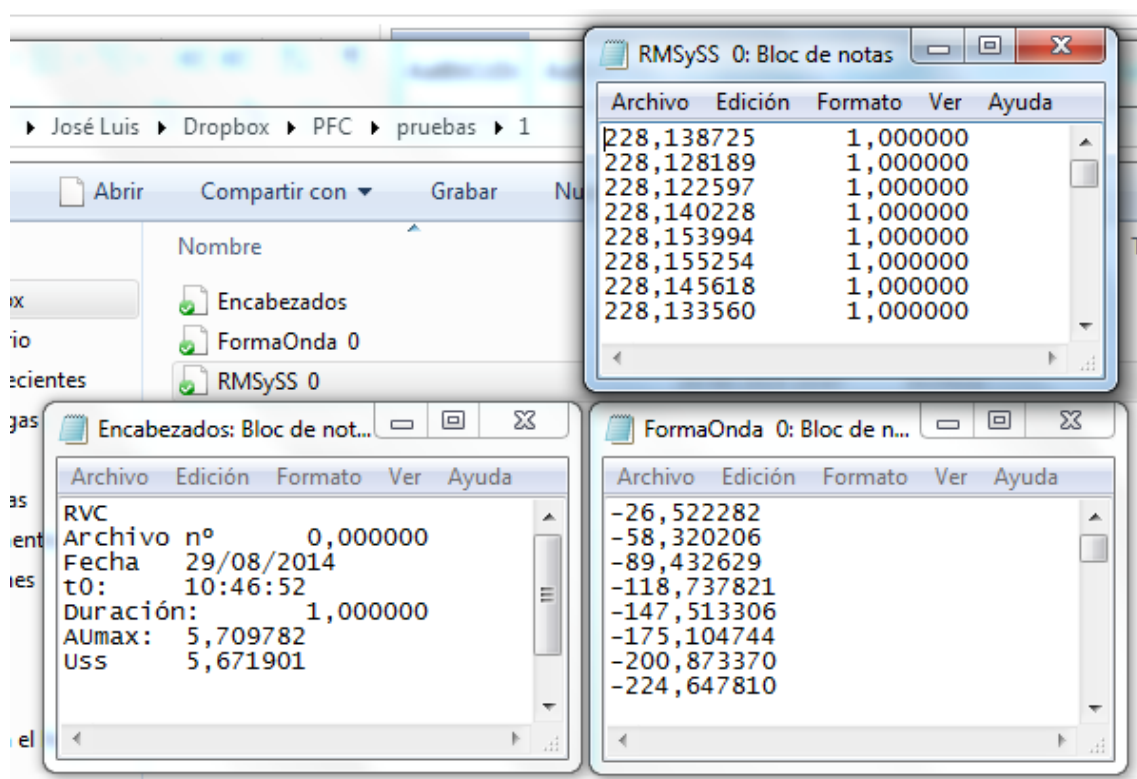


ILUSTRACIÓN 5-9. DETALLE DE FICHEROS DEL INSTRUMENTO

En la ilustración 5-9 podemos ver el lazo de almacenamiento, en concreto el estado desde el cual se crean los ficheros RMSySS y FormaOnda. En este punto es importante tener en cuenta el buffer, pues han de escribirse en ambos ficheros tantos segundos de adquisición como hayan sido programados en el panel frontal.

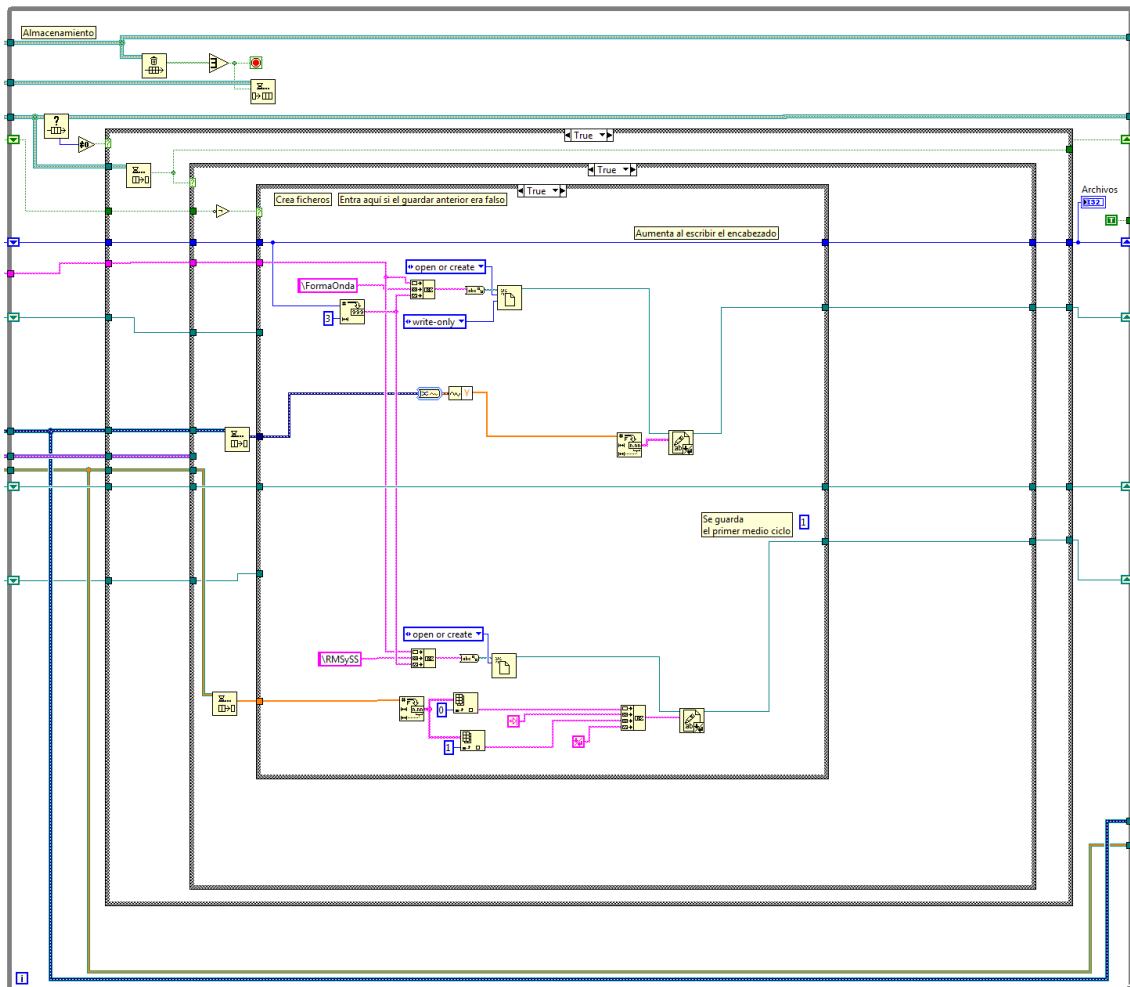


ILUSTRACIÓN 5-10. VISTA DEL LAZO DE ALMACENAMIENTO

En el último lazo está el código para el visor de los eventos detectados. Durante la ejecución del instrumento, este permite representar las perturbaciones ya registradas.

Para realizar esto, simplemente se realiza una lectura de ficheros en la ruta seleccionada de salida y se muestran en una lista. Al seleccionar un fichero y pulsar el botón “Visualizar”, se muestra en la pantalla la señal de tensión r.m.s y la señal lógica (ilustración 5-10).

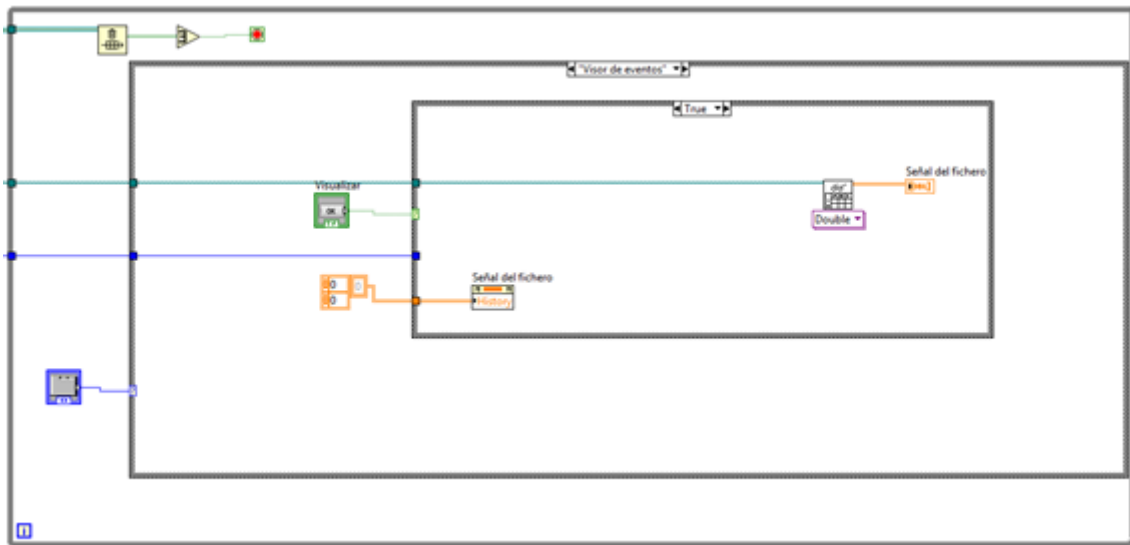


ILUSTRACIÓN 5-11. VISTA DEL LAZO DEL VISOR

5.4 Estructura del software desarrollado

En cada iteración del ciclo de adquisición se recogen las muestras correspondientes a un semiciclo de la señal de tensión que se estudia, las cuales se pasan al ciclo de procesado.

Una vez dentro del ciclo de procesado, se desarrollan los algoritmos de detección de cambios rápidos de tensión así como de huecos de tensión y sobretensiones.

Para comenzar el análisis se necesita un segundo con el que calcular el primer valor de referencia, d_i . Cada medio ciclo se calcula el $rms_{1/2}$ y con los valores rms correspondientes a 1 segundo se calcula la media que es el primer valor de referencia.

El cálculo del $rms_{1/2}$ se hace de forma continua, y cada nuevo valor rms_i obtenido se calcula la media de los correspondientes a 1 segundo (100 valores en redes de 50Hz). A continuación el lazo de procesado se comporta como una máquina de estados, cuyos 5 estados son los siguientes:

- **Estado 1.- Buscando 1s estable**
 - Se mantiene $SS = 0$ hasta que el rms_i esté dentro de la banda de tolerancia durante 1 segundo seguido. En ese momento $SS = 1$
- **Estado 2.- Esperando el inicio de evento**
 - Se espera el principio del evento, el momento en que el nuevo rms_i salga de la banda de tolerancia. Se pasa al estado 3, con $SS = 0$.
 - Si se detecta un hueco o una sobretensión se pasa al estado 5.
 - Justo antes de salir del estado 2 comienza a guardarse la forma de onda, el rms y la SS.

- **Estado 3.- Esperando el final del evento**
 - Se mantiene $SS = 0$ hasta que el rms_i esté dentro de la banda de tolerancia durante 1 segundo seguido. En ese momento $SS = 1$ y se pasa al estado 4.
 - Se va calculando el valor ΔU_{max} y al encontrar el final se calcula U_{ss} .
 - Sigue guardándose la forma de onda, el rms y la SS.
 - Si se detecta un hueco o una sobretensión se pasa al estado 5.
- **Estado 4.- Post evento**
 - Durante un tiempo establecido, se sigue guardando la forma de onda, el rms y la SS.
 - Si durante este tiempo no llega otro evento se pasa al estado 2.
 - Si durante este tiempo llega otro evento se pasa al estado 3.
 - Si se detecta un hueco o una sobretensión se pasa al estado 5.
- **Estado 5.- Hueco o sobretensión**
 - En este estado entra en el momento en el que el rms rebasa los límites de los huecos y las sobretensiones.
 - Sigue calculando la señal lógica, SS.
 - Si supera 1 minuto de duración, se pone a true “estado de baja o alta tensión” con lo que a partir de entonces no se tiene en cuenta si hay huecos o sobretensiones hasta que se vuelva a tensiones dentro de los límites.
 - Al salir, si el valor último de SS es 1 (estado estable) pasa al estado 2. Si el último valor de SS es 0 (estado inestable) pasa al estado 1.

Capítulo 6 Pruebas de validación y resultados experimentales

6.1 Introducción

Durante las etapas de desarrollo y depuración fue preciso contar con un banco de pruebas para la puesta a punto del sistema. Además de las evidentes cuestiones de fiabilidad que debían responder las pruebas de validación, se añade el factor de la seguridad, la cual se debe garantizar tanto para los componentes del instrumento como para los usuarios, pues recordemos que está diseñado para funcionar directamente conectado a la red eléctrica.

Para esto, contamos en el laboratorio de electrónica de la E. T. S. de Náutica con un generador de señales Hewlett-Packard 6841A, mediante el cual se puede simular la señal de suministro eléctrico así como diversas perturbaciones en la misma. Para programar las características de la señal así como las eventuales perturbaciones, empleamos un ordenador de sobremesa que actúa de interfaz con el dispositivo, simplificando la tarea (ilustración 6-1).

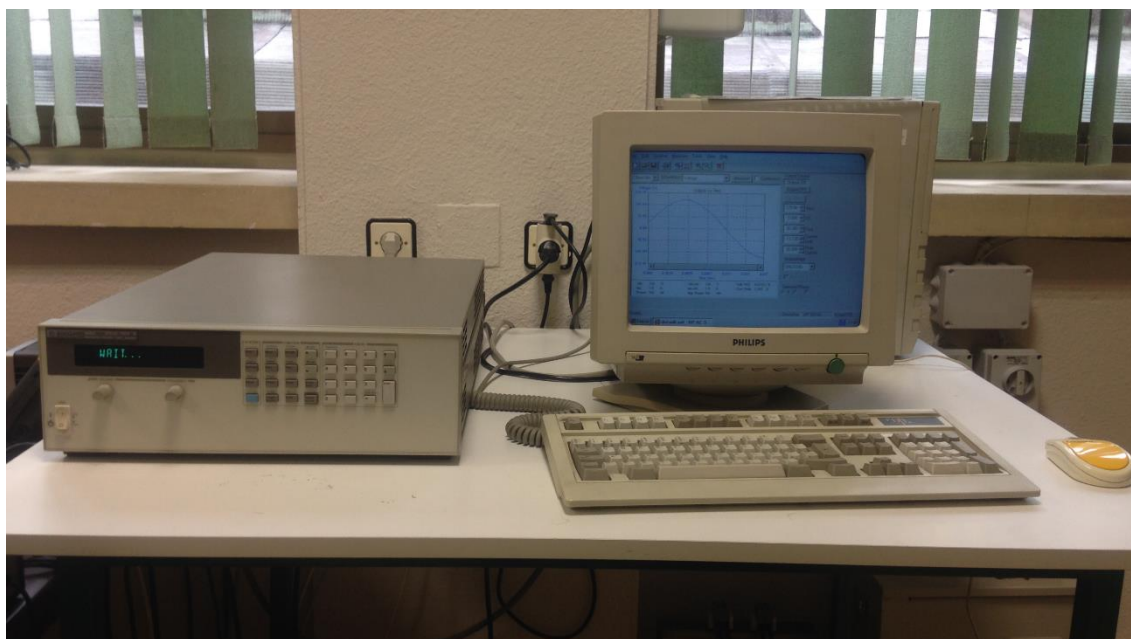


ILUSTRACIÓN 6-1. GENERADOR HP 6841A

No obstante, en primer lugar se realizaron las pertinentes pruebas de validación sin conectar el instrumento al generador, consistentes en alimentar la entrada del software con valores de tensión en crudo leídos desde fichero.

Tras verificar que dichos ficheros eran correctamente procesados, se procede a la conexión del instrumento a la red eléctrica con objeto de realizar un estudio de la calidad del suministro eléctrico en el edificio.

6.2 Evaluación del instrumento de medida

Para garantizar el correcto funcionamiento del sistema, se diseñó una batería de señales de prueba, las cuales deben comprobar todos los escenarios posibles a los que se pueda enfrentar el instrumento.

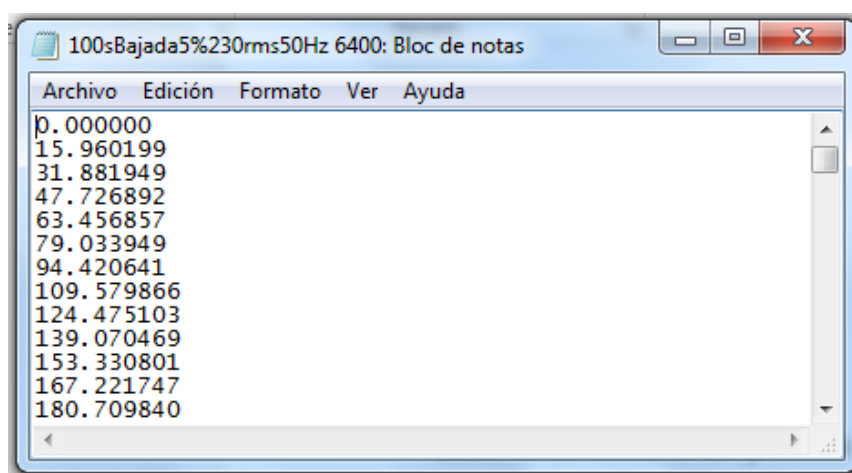


ILUSTRACIÓN 6-2. FICHERO DE VALORES DE TENSIÓN EN CRUDO

Como hemos mencionado, la primera fase se realiza alimentando la entrada del instrumento con ficheros de texto que modelan las distintas perturbaciones. Estos ficheros contienen el valor del voltaje de una señal simulada y medida a una frecuencia de 6400 Hz (ilustración 6-2).

1.-Bajada del 5% indefinida	La señal de tensión baja instantáneamente de 230V a 218'5V
2.-Subida del 5% indefinida	La señal de tensión sube instantáneamente de 230V a 241'5V
3.-Bajada del 5% durante 150ms	La señal de tensión baja instantáneamente de 230V a 218'5V y vuelve a subir instantáneamente a 230V tras 150 ms
4.-Bajada del 5% durante 1.1s	La señal de tensión baja instantáneamente de 230V a 218'5V y vuelve a 230V tras 1'1 s
5.-Hueco del 11% de 150ms de duración	La señal de tensión baja instantáneamente de 230V a 204'7V y vuelve a 230V tras 150 ms
6.-Hueco del 11% de 1.1s de duración	La señal de tensión baja instantáneamente de 230V a 204'7V y vuelve a 230V tras 1'1 s
7.- Arranque del motor, poligonal.	La señal de tensión baja instantáneamente a 218'5V y sube a 227'7V al cabo de 200ms, tensión en la que se mantiene

TABLA 6-1. BATERÍA DE PRUEBAS DE VALIDACIÓN

En la tabla 6-1 encontramos la batería de pruebas propuestas para la validación del instrumento.

6.2.1 Señales de prueba

1.- Bajada del 5% indefinida

La primera prueba consiste en una bajada de tensión instantánea del 5%. Al superar el umbral del 1% marcado para los cambios rápidos de tensión, el instrumento detecta el evento, poniendo a falso la señal lógica hasta que la señal se estabiliza y contabilizándolo como cambio rápido de tensión (lo cual queda registrado en el contador de la aplicación), pues no se llega al umbral del 10% marcado para huecos (ilustración 6-3).

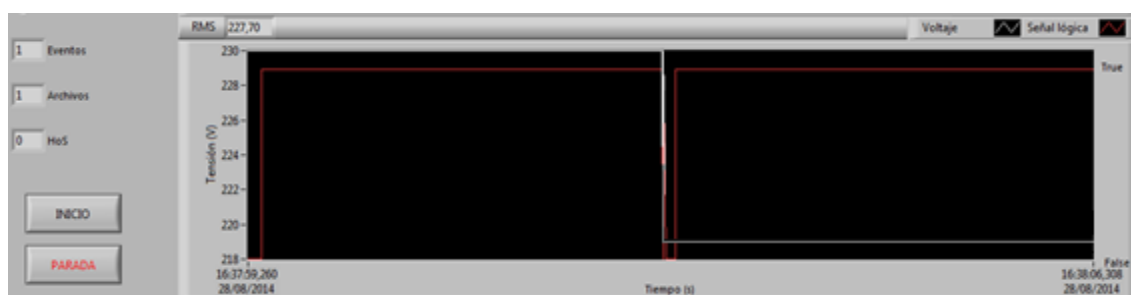


ILUSTRACIÓN 6-3. BAJADA DEL 5% DESDE FICHERO

2.- Subida del 5% indefinida

De manera análoga a la anterior prueba, en esta prueba tenemos una variación rápida de tensión, en este caso una subida de tensión instantánea del 5%. De nuevo, al superar el umbral del 1% marcado para los cambios rápidos de tensión, el instrumento detecta el evento, poniendo a falso la señal lógica hasta que la señal se estabiliza y contabilizándolo como cambio rápido de tensión, pues no se llega al umbral del 10% marcado para huecos (ilustración 6-4).

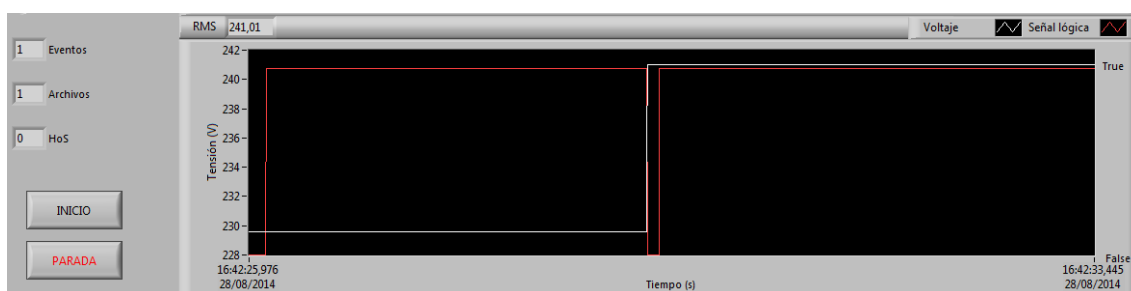


ILUSTRACIÓN 6-4. SUBIDA DEL 5% DESDE FICHERO

3.- Bajada del 5% durante 150ms

En este caso, nos encontramos de nuevo con una variación rápida de tensión, aunque esta vez el estado estacionario de salida es idéntico al estado de entrada. Al prolongarse tan poco tiempo (150 ms), no se llega a alcanzar un estado estacionario en la bajada de tensión, con lo que tanto la bajada como el posterior restablecimiento de tensión tienen lugar en el mismo evento, lo cual se refleja en el contador del programa. Asimismo, dado que la magnitud de la bajada no supera el 10% de la tensión, se considera como hueco de tensión (ilustración 6-5).

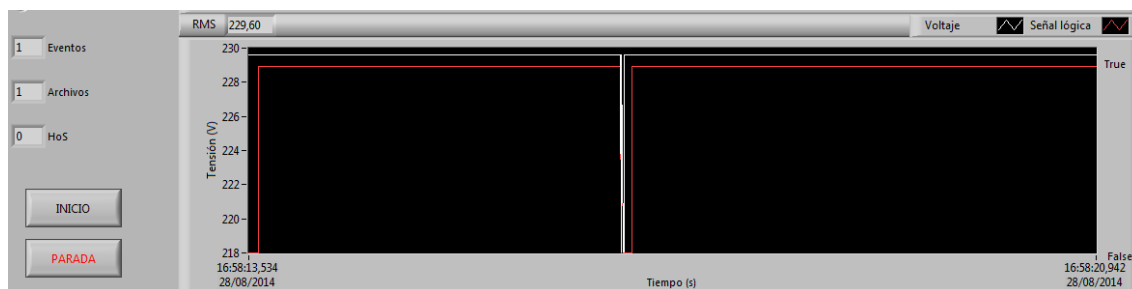


ILUSTRACIÓN 6-5. BAJADA DEL 5% DURANTE 150 MS DESDE FICHERO

4.- Bajada del 5% durante 1.1s

De nuevo, en este caso nos encontramos con una bajada de tensión y posterior restablecimiento, pero a diferencia del anterior caso, la bajada se mantiene estable durante más de un segundo, lo cual da pie a que se alcance un estado estacionario en la propia bajada. Por esto, la bajada y el restablecimiento se consideran eventos separados y así se refleja en el contador del instrumento (ilustración 6-6).

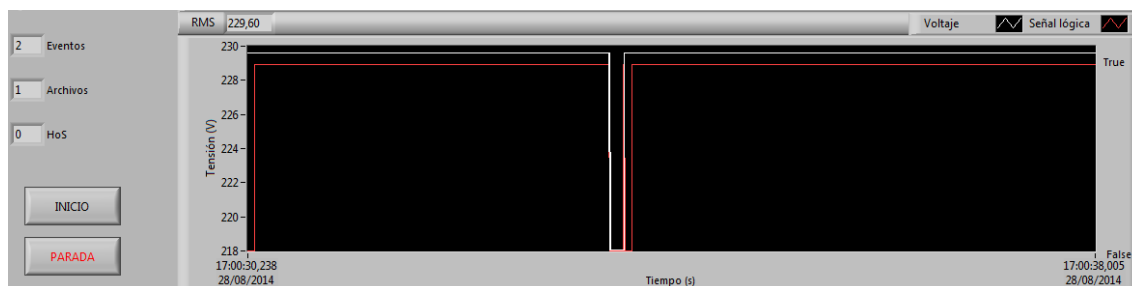


ILUSTRACIÓN 6-6. BAJADA DEL 5% DURANTE 1.1 S DESDE FICHERO

5.- Hueco del 11% de 150ms de duración

En esta prueba tenemos un hueco de tensión, debido a una bajada de tensión del 11%. Pese a la brevedad, se supera el umbral del 10% fijado para huecos de tensión, siendo detectado por el instrumento. Asimismo, la señal lógica cambia a falso al iniciarse el hueco, tal y como sucedería en un cambio rápido de tensión, no obstante el software reconoce la perturbación como bajada de tensión y así lo refleja en el contador (ilustración 6-7).

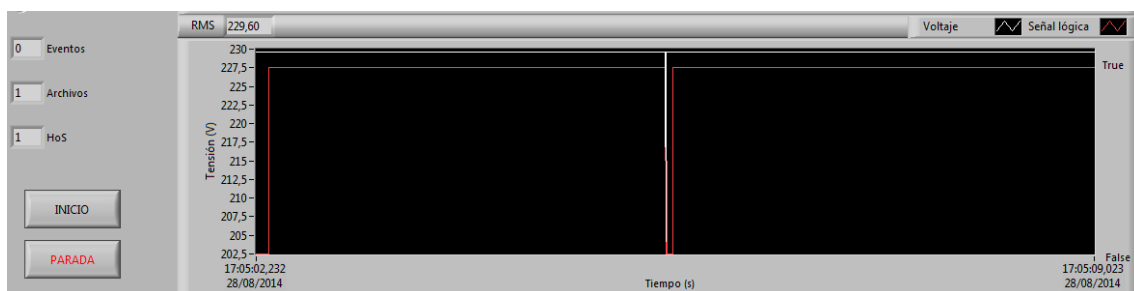


ILUSTRACIÓN 6-7. HUECO DEL 11% DE 150 MS DESDE FICHERO

6.- Hueco del 11% de 1.1s de duración

En esta prueba tenemos de nuevo un hueco de tensión, debido a una bajada de tensión del 11%, la cual supera el segundo de duración. La señal lógica cambia a falso al iniciarse el hueco, tal y como sucedería en un cambio rápido de tensión, vuelve a verdadero al encontrar un estado estacionario y vuelve a pasar por los estados falso y verdadero al recuperarse la tensión. Recordamos que esto no afecta a los huecos de tensión, así que se considera un solo hueco, tal y como muestra el contador (ilustración 6-8).

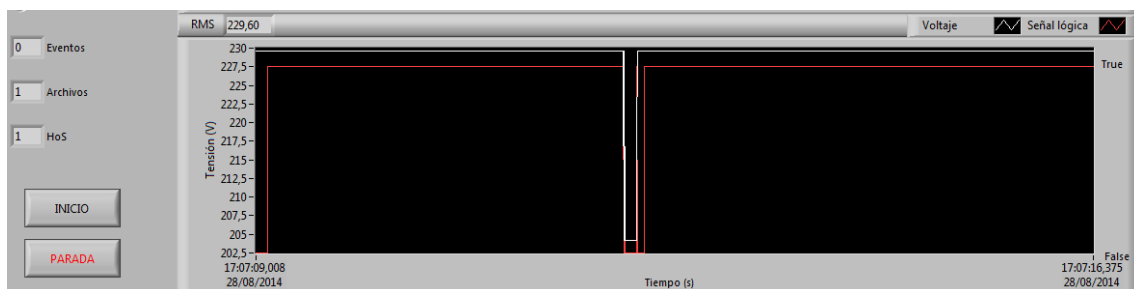


ILUSTRACIÓN 6-8. HUECO DEL 11% DE 1.1 S DE DURACIÓN

7.- Arranque del motor, poligonal.

En esta situación, la tensión Baja al 95% y sube al 99% al cabo de 200ms, manteniéndose en el 99% de la tensión. El instrumento interpreta esto como un solo cambio rápido de tensión, pues al recuperarse la tensión al 99%, se produce un nuevo estado estacionario (ilustración 6-9).

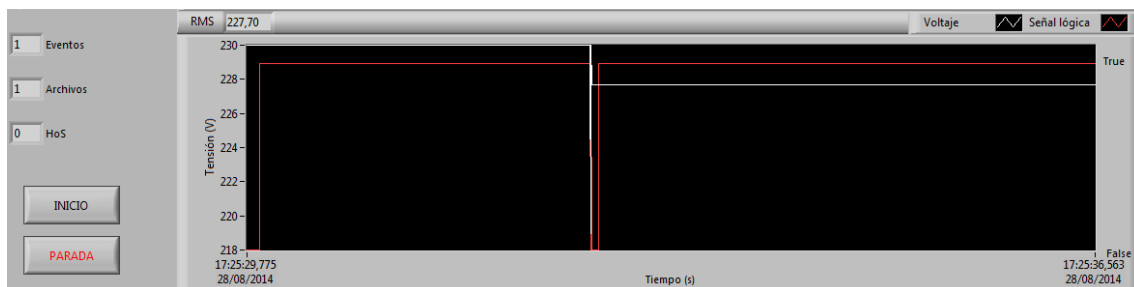


ILUSTRACIÓN 6-9. ARRANQUE DE MOTOR DESDE FICHERO

6.2.2 Generador de funciones

Una vez hemos verificado que el instrumento funciona correctamente con los valores en crudo leídos desde fichero, es momento de pasar a la siguiente fase, emplear el generador de funciones HP 6841A para simular la señal de tensión y añadir las perturbaciones.

El software (denominado HP AC Source GUI) nos presenta una interfaz gráfica (ilustración 6-10) mediante la cual podemos interactuar con el generador de manera sencilla e intuitiva.

Desde la pantalla principal, podemos controlar los parámetros básicos, como la forma de onda (*Waveshape*, en este caso sinusoidal, *SINUSOID*), el voltaje r.m.s. o la frecuencia de la señal. Asimismo vemos una representación de la forma de la señal.

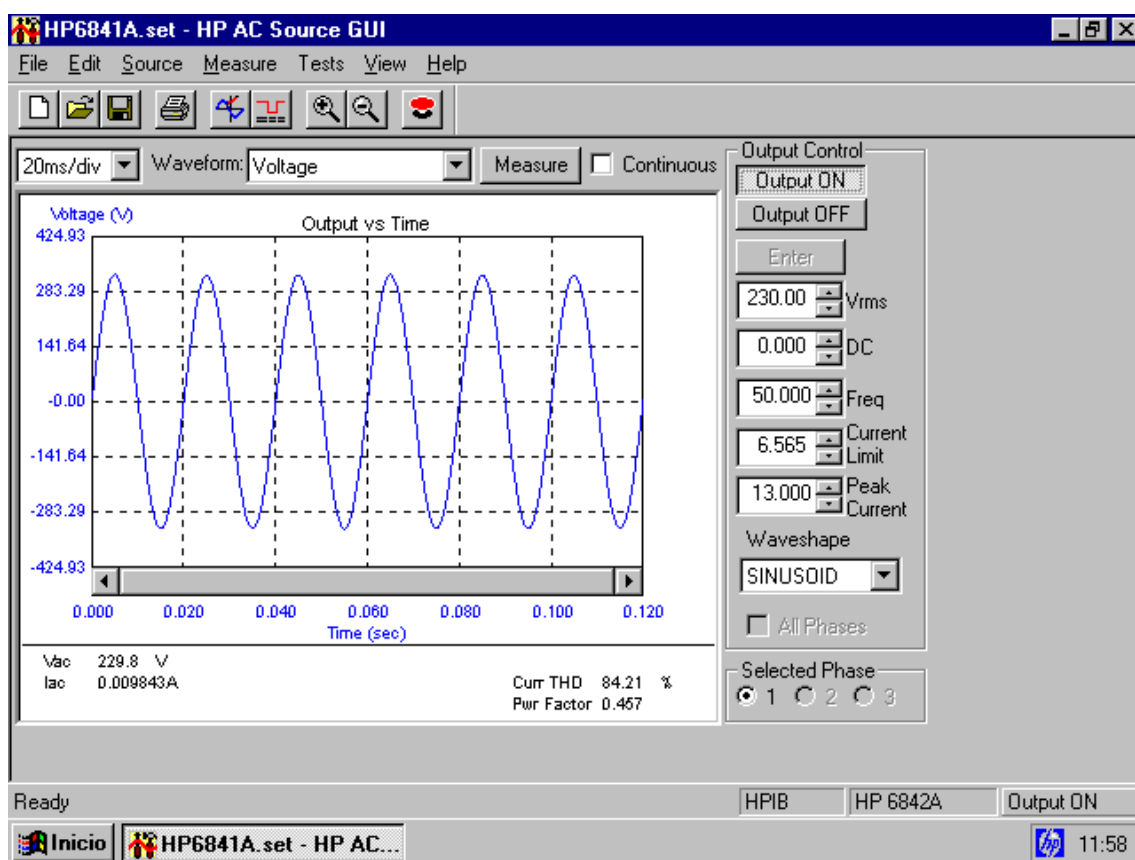


ILUSTRACIÓN 6-10. INTERFAZ DEL PROGRAMA HP AC SOURCE GUI

Para programar las perturbaciones, el software cuenta con la herramienta “Transient List Table” que mediante una tabla, nos permite establecer saltos temporales, programando en cada salto varios parámetros, entre ellos la frecuencia, el voltaje r.m.s, etc...

En la ilustración 6-11 podemos ver como se programaría el primer caso de la batería de pruebas: los 50 primeros segundos la tensión se mantiene a 230 V, para posteriormente bajar instantáneamente a 218'5 V (bajada del 5%) y mantenerse en ese valor.

Transient List Table						
Edit						
Step#	Elapsed Time (s)	Step Duration (s)	Volts (V)	V Slew (V/s)	Freq (Hz)	Freq Slew (Hz/s)
1	0	50	230	9.9e+037	50	9.9e+037
2	50	0	218.5	9.9e+037	50	9.9e+037
3	50	50	218.5	9.9e+037	50	9.9e+037

ILUSTRACIÓN 6-11. DETALLE DE LA PANTALLA "TRANSIENT LIST TABLE"

A continuación, tras verificar las conexiones de todos los componentes del instrumento, se procede a repetir la batería de pruebas efectuadas anteriormente, en este caso simulándolas con el generador de funciones.

1.- Bajada del 5% indefinida

Se verifica que los resultados son idénticos a la prueba de ficheros, únicamente se aprecia algo de ruido en la señal proveniente del generador de funciones. La señal lógica cambia al producirse el hueco y se restablece con el nuevo estado estacionario. El cambio rápido de tensión queda de nuevo reflejado en el contador (ilustración 6-12).

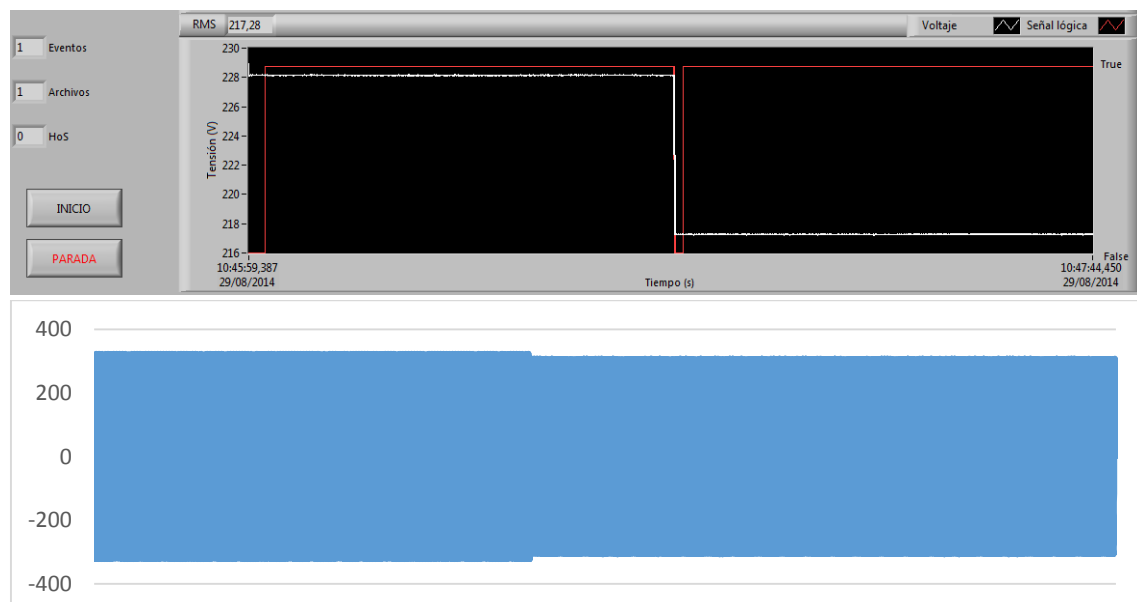


ILUSTRACIÓN 6-12. BAJADA DEL 5% DESDE EL GENERADOR Y FORMA DE ONDA

2.- Subida del 5% indefinida

De nuevo, se cumple lo previsto en la prueba de fichero, con el ruido característico del generador de señales. El estado estacionario vuelve a romperse con el cambio rápido de tensión, variando la señal lógica, que vuelve a verdadero al estabilizarse el valor de tensión tras la subida (ilustración 6-13).

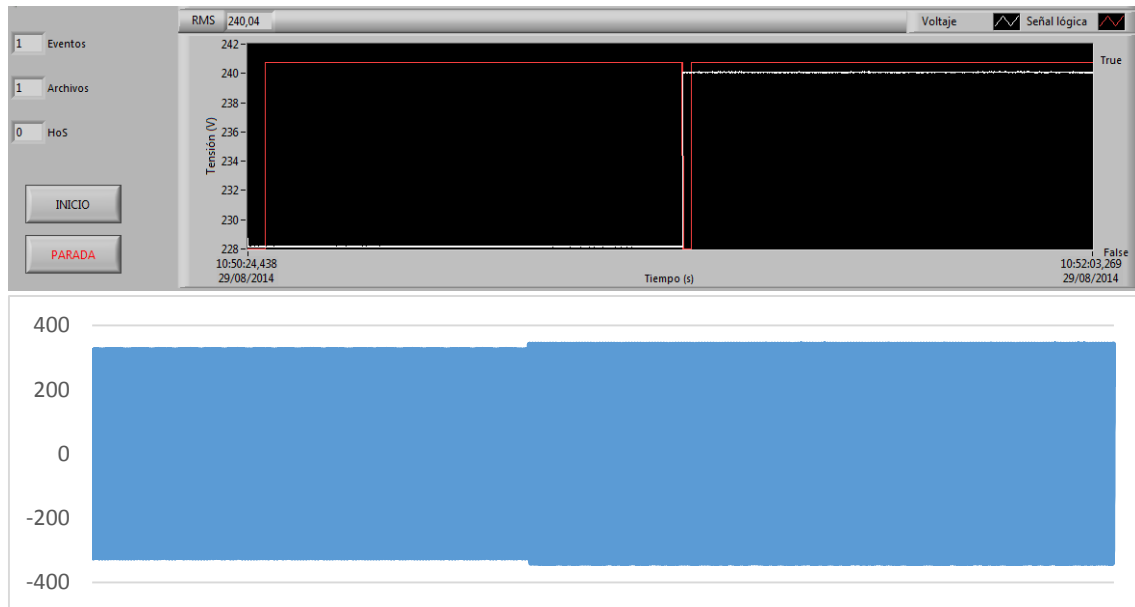


ILUSTRACIÓN 6-13. SUBIDA DEL 5% DESDE EL GENERADOR Y FORMA DE ONDA

3.- Bajada del 5% durante 150ms

En este caso, una vez más se cumple lo anticipado en la prueba de fichero, la señal lógica pasa a falso al producirse el cambio rápido de tensión, hecho que queda reflejado en el contador de eventos, volviendo a verdadero al restablecerse el estado estacionario. Aún sigue siendo apreciable algo de ruido en la señal de tensión (ilustración 6-14).

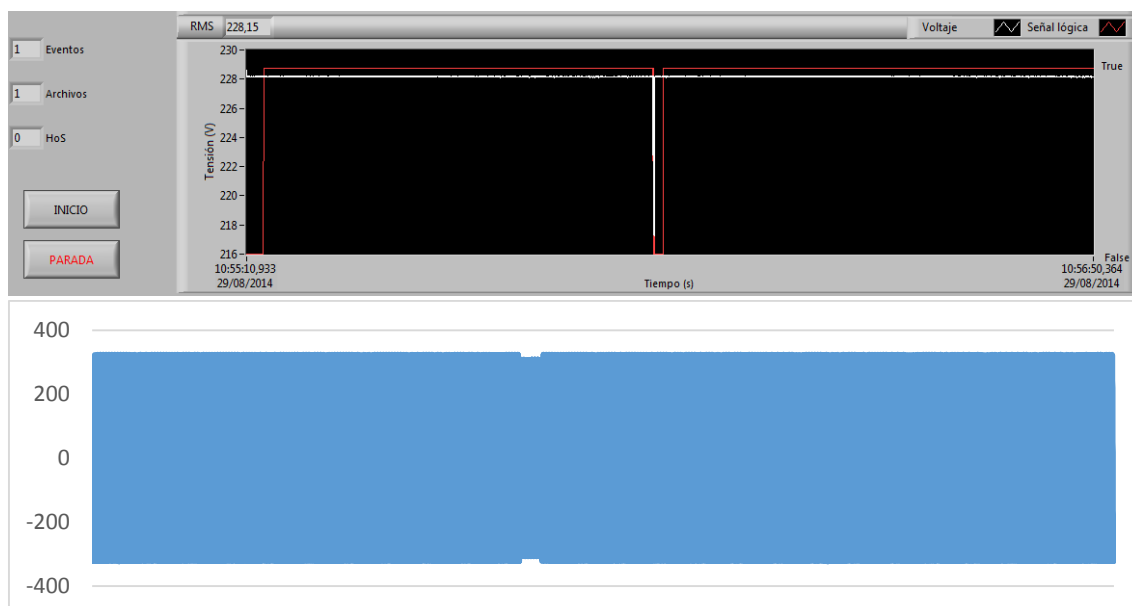


ILUSTRACIÓN 6-14. BAJADA DEL 5% DURANTE 150 MS DESDE EL GENERADOR Y FORMA DE ONDA

4.- Bajada del 5% durante 1.1s

De nuevo, el resultado de esta prueba es un calco de lo acontecido en la prueba de fichero, aun acusándose el ruido en la señal de tensión. Tras la caída, se registra el primer cambio rápido de tensión, pero al prolongarse más allá de un segundo se alcanza un estado estacionario, que se ve alterado por el restablecimiento de la tensión primitiva, generando un segundo cambio rápido de tensión, circunstancia que queda patente en el contador (ilustración 6-15).

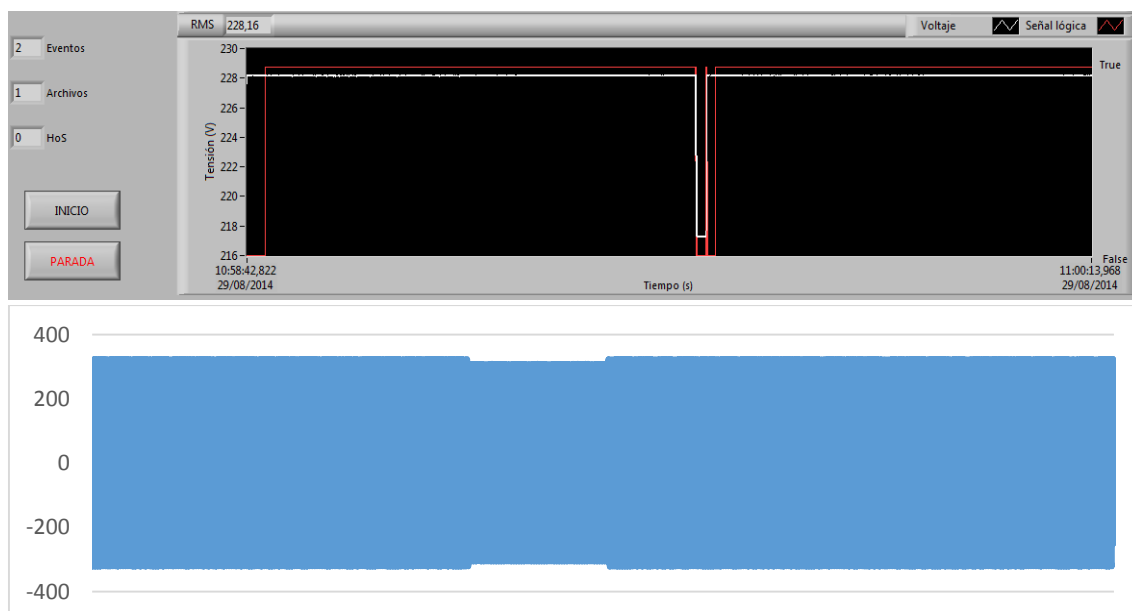


ILUSTRACIÓN 6-15. BAJADA DEL 5% DURANTE 1.1 S DESDE EL GENERADOR Y FORMA DE ONDA

5.- Huevo del 11% de 150ms de duración

En este caso, podemos afirmar que de nuevo se cumple lo previsto en la anterior prueba, aparentemente incluso con algo menos de ruido en la señal de tensión que en anteriores pruebas. El instrumento detecta que la bajada de tensión sobrepasa el umbral de los huecos y lo contabiliza como tal. Asimismo, la señal lógica actúa correctamente (ilustración 6-16).

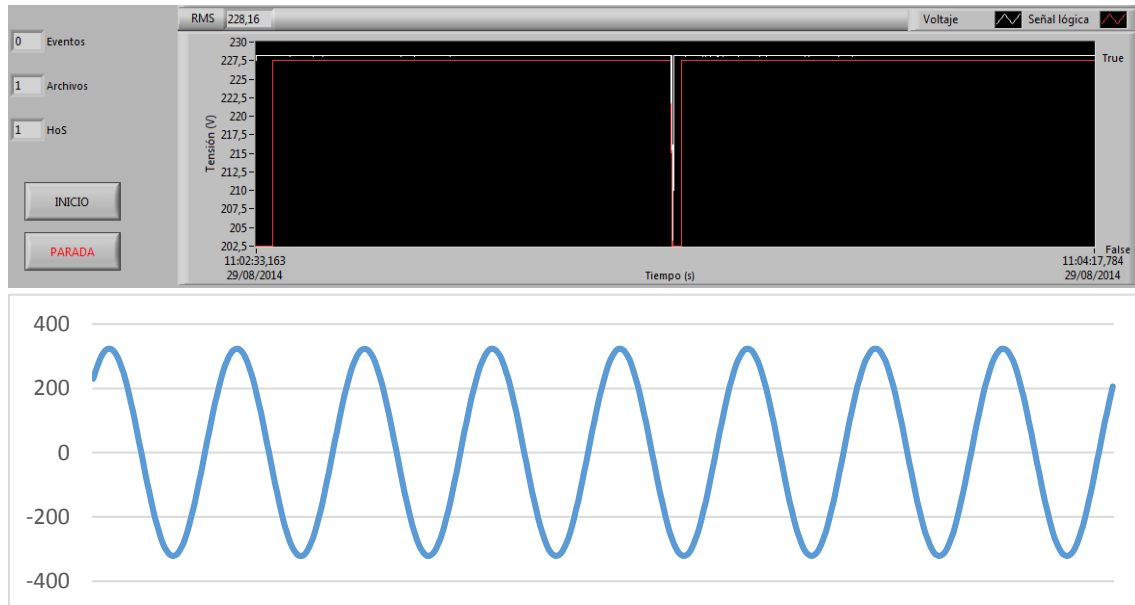


ILUSTRACIÓN 6-16. HUECO DEL 11% DE 150 MS DESDE EL GENERADOR Y FORMA DE ONDA

6.- Huevo del 11% de 1.1s de duración

Vuelven a cumplirse los pronósticos con esta prueba, y es que la señal lógica vuelve a bajar solidaria con la caída de tensión, que por su magnitud ha de ser considerada como huevo de tensión. Se alcanza un estado estacionario durante la perturbación que es reflejado como tal en el gráfico. Como apunte, la señal de tensión mantiene un ruido reducido (ilustración 6-17).

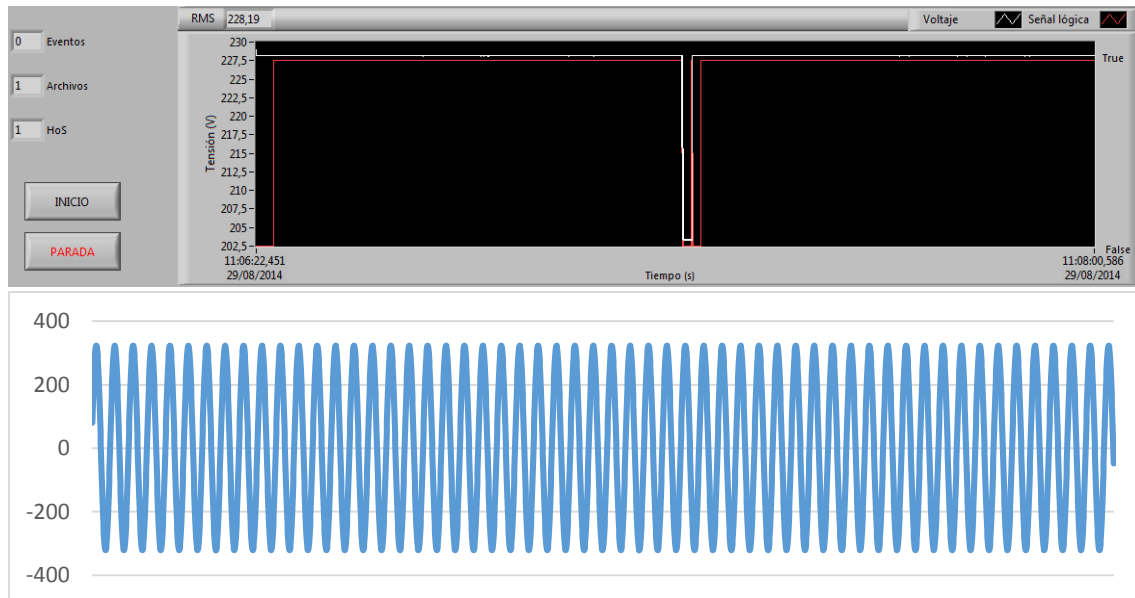


ILUSTRACIÓN 6-17. HUECO DEL 11% DE 1.1S DESDE EL GENERADOR Y FORMA DE ONDA

7.- Arranque del motor, poligonal.

Por último, la experiencia el arranque de motor teórico corresponde con lo acontecido con el generador de señales. El instrumento detecta la perturbación como un cambio rápido de tensión (circunstancia que queda reflejada en el contador de eventos) y encuentra el nuevo estado estacionario al 99% de la tensión. Cabe destacar que el ruido en la señal de tensión vuelve a ser apreciable, en el segundo estado estacionario (ilustración 6-18).

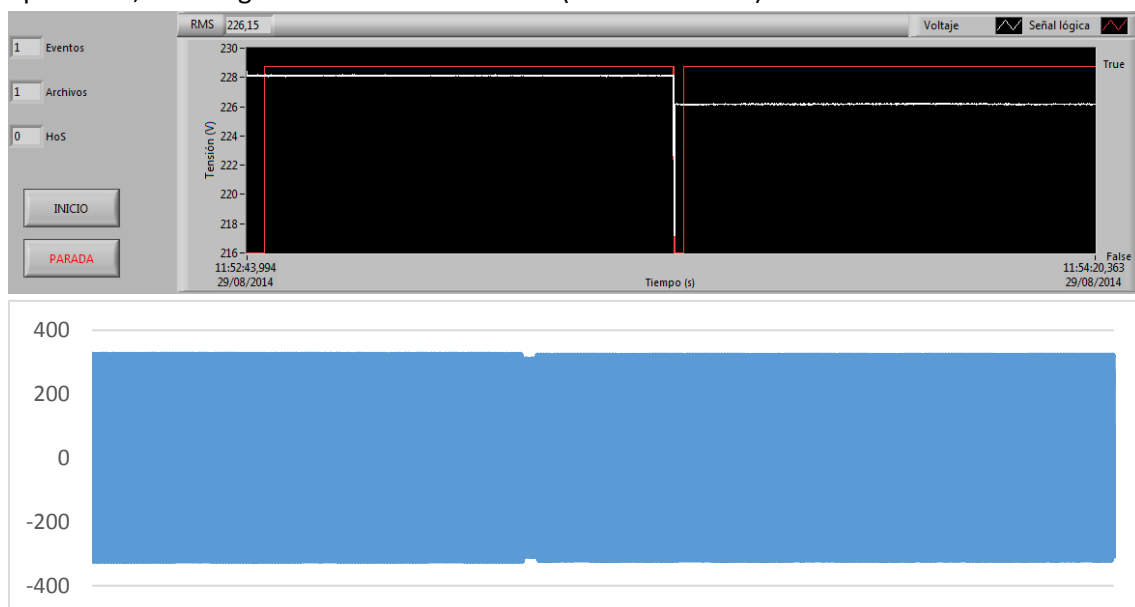


ILUSTRACIÓN 6-18. ARRANQUE DE MOTOR DESDE EL GENERADOR Y FORMA DE ONDA

6.3 Monitorización de la red eléctrica

Por último, una vez comprobado el correcto funcionamiento del sistema, se ha conectado a la red eléctrica en el laboratorio de electrónica de la E. T. S. de náutica desde el 30 de mayo del 2014 hasta las 18:00h del 10 de junio de 2014, empleando los siguientes ajustes:

- Umbral RVC's 3%
- Umbral huecos y sobretensiones 10%
- Frecuencia de muestreo 3200 Hz
- Buffer de 3 segundos
- Factor de conversión 48'89

Durante la misma, se registraron un total de 2.986 perturbaciones, todas las cuales fueron cambios rápidos de tensión (tabla 6-2).

Cambios rápidos de tensión

Del 1% al 3%	2849	95'412%
Superiores al 3%	137	4'588%
TOTAL	2986	100%

Huecos de tensión

TOTAL	0
--------------	----------

Sobretensiones

TOTAL	0
--------------	----------

TABLA 6-2. RELACIÓN DE EVENTOS DETECTADOS

El edificio de la Escuela Técnica Superior de Náutica está alimentado por un transformador de distribución trifásico de 12 kV/380 V. Un gran porcentaje de las cargas existentes lo constituyen los sistemas de iluminación, computadores y otros dispositivos de tecnologías de la información, como impresoras, simuladores o cargadores de distintos tipos. El edificio cuenta también con laboratorios con distintos tipos de aparatos electromecánicos y un laboratorio con una instalación de soldadura de arco.

A tenor de los valores obtenidos, podemos afirmar que el hecho de no haber hallado ningún hueco de tensión ni ninguna sobretensión en una prueba de esta duración da idea de la correcta calidad del suministro eléctrico en este edificio.

No obstante, se ha detectado un número apreciable de cambios rápidos de tensión de una magnitud superior al 3% (concretamente 137, el 4'588% de los eventos registrados). Según los borradores que se están manejando de la IEC, el umbral del 3% podría representar el umbral de lo admisible en una instalación de estas características.

Es por eso que aunque podemos afirmar que a día de hoy, con la legislación vigente, el suministro eléctrico de la Escuela goza de buena salud, debe de lograr reducir este nuevo problema que se le presenta para preservar todas sus instalaciones por muchos años.

A continuación, se muestra una de las perturbaciones registradas. El 9 de junio a las 5:16:40 AM se registró un hueco de tensión, con una variación máxima de tensión (A_{Umax}) del 7'144384% (ilustración 6-19). La duración fue de 0'07 segundos.

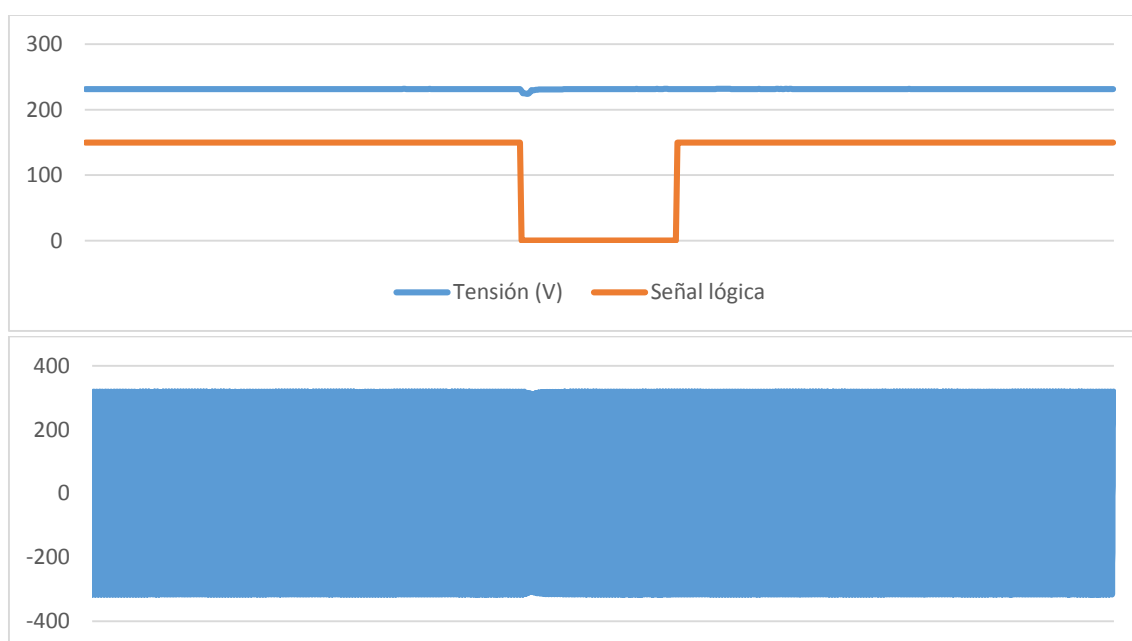


ILUSTRACIÓN 6-19. CAMBIO RÁPIDO DE TENSIÓN CAPTADO POR EL INSTRUMENTO

Curiosamente, la mayoría de perturbaciones de gran magnitud se han producido de madrugada, dando a entender que en principio dichas perturbaciones no están relacionadas con el funcionamiento de los equipo de la Escuela. En todo caso, las pruebas se han realizado en fechas de exámenes, cuando la utilización de dichos equipos es mínima, por lo que se entiende que dichas perturbaciones son fruto de las maniobras que realiza el transformador trifásico para proporcionar suministro eléctrico a la zona.

Capítulo 7 Presupuesto

A continuación se expone una lista detallada de todos los componentes necesarios para la creación de un prototipo del sistema completo.

Dicha lista se ha elaborado tomando como referencia cada uno de los componentes empleados en el desarrollo de este proyecto. En algunos casos, como en el caso del computador, se han buscado equipos comerciales que se vendan en la actualidad de similares características (tabla 7-1).

Relación de componentes empleados

Placa de prototipo	7'90€
Transductor LEM LV 25-P	50'79€
Cables	2'50€
Tarjeta de adquisición de datos NI USB-6000	95'00€
Ordenador portátil Asus X551CA	369'00€
Licencia LabVIEW Completa	2920'00€
TOTAL	3445'19€

TABLA 7-1. RELACIÓN DE COMPONENTES.

El coste del prototipo, considerando todos los componentes y licencias, asciende a 3445'19€.

Capítulo 8 Conclusiones

Resulta una obviedad afirmar que en estos años ha crecido exponencialmente nuestra demanda de energía eléctrica, así como la exigencia en la calidad de su suministro. De los primeros sistemas de alumbrado, los primeros motores, a los enormemente complejos dispositivos electrónicos que nos rodean hoy en día, se ha hecho patente una gran evolución.

Tampoco es complicado pensar en el progreso que nos ha llevado a nuestro actual estado de la tecnología. Los descubrimientos científicos, secundados por los avances en la técnica, han sabido brindarnos una colección de tecnologías que facilitan nuestra vida diaria, la hacen más interesante, segura y confortable.

Lo que no nos parece tan evidente es el avance sufrido por el “combustible” de estas tecnologías. La red de suministro de energía ha cumplido su primer siglo de vida, y cualquier parecido entre la calidad de la energía proporcionada en los tiempos de Tesla y Westinghouse con el actual suministro es pura coincidencia.

En la actualidad, los complejos procesos productivos demandan una energía de cada vez mejor calidad. No tiene sentido continuar una revolución tecnológica si uno de sus principales pilares, el suministro eléctrico, está anclado en el pasado.

Afortunadamente, al menos en los países desarrollados, diversas entidades internacionales centran sus esfuerzos en investigar la naturaleza de la electricidad y descubrir todas aquellas perturbaciones que puedan degradarla. De su labor depende en gran medida el desarrollo de una nueva revolución tecnológica.

Por todo esto, podemos afirmar que el *Power Quality* es un tema de capital importancia para el porvenir de las sociedades más avanzadas. Invertir en un suministro de calidad no sólo protegerá nuestros dispositivos, si no que dará pie al desarrollo de nuevas tecnologías.

Personalmente considero que lo que hoy es una preocupación prácticamente exclusiva de grandes industrias, pronto lo será del gran público. Tan pronto como la sociedad adquiera conciencia de la importancia de esta cuestión, será capaz de valorar un suministro de calidad y estará en posición de exigirlo.

En lo referente al proyecto, se han cumplido los siguientes objetivos:

1. Se ha desarrollado un instrumento virtual para la detección y medida de eventos en la tensión del suministro eléctrico de acuerdo con la normativa internacional vigente de medida de calidad de la energía eléctrica.
2. Los eventos que puede detectar y analizar el instrumento desarrollado son huecos de tensión, sobretensiones y cambios rápidos de tensión.

3. Se ha desarrollado un software en el entorno de programación gráfica LabVIEW 10.0 para detectar los eventos en la tensión del suministro eléctrico en tiempo real. El software desarrollado permite además el análisis, almacenamiento y visualización de los eventos detectados.
4. Se ha verificado el funcionamiento del instrumento en el laboratorio empleando una fuente de corriente alterna programable, comprobándose su correcto funcionamiento.
5. Se ha realizado un análisis de la calidad del suministro eléctrico en la red de baja tensión de un edificio del campus para chequear su estado y comprobar la incidencia de estos eventos en la misma.

Como proyecto de futuro, se espera próximamente que fruto del consenso de los grupos de trabajo del IEEE surja una legislación firme en lo referente a cambios rápidos de tensión, con la que poder completar el instrumento.

Capítulo 9 Referencias

- [1] AENOR, *UNE-EN 50160, Características de la tensión suministrada por las redes generales de distribución*, 2011.
- [2] UNESA, «Comité de Distribución, Comisión Técnica, Guía sobre la calidad de la onda en las redes eléctricas,» 1996.
- [3] IEC, *IEC 61000-4-30: 2008. Ed. 2, Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part 4-30: Testing and measurement techniques. Power quality measurement methods.*, 2008.
- [4] IEC, *IEC61000-4-15: 2010. Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part 4-15: Testing and measurement techniques. Flickermeter, Functional and design specifications.*, 2010.
- [5] M. H. a. C. S. Math H.J. Bollen, «Quantifying voltage variations on a time scales between 3 seconds and 10 minutes, 18th International Conference on Electricity Distribution, CIRED 2005, Session No 2.,» Turin, June 2005.
- [6] H. S. a. O. M. Karstein Brekke, «Rapid voltage changes – definition and minimum requirements, 20th International Conference on Electricity Distribution, CIRED 2009, Paper 0789.,» Prague, 8-11 June 2009.
- [7] M. H. a. E. D. Jaeger, «Suggestions for overall EMC co-ordination with regard to rapid voltage changes, 20th International Conference on Electricity Distribution, CIRED 2009, Paper 0758.,» Prague, June 2009.
- [8] IEC, *IEC 61000-2-12: 2003. Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 2-12: Environment - Compatibility levels for low-frequency conducted disturbances and signalling in public medium-voltage power supply systems.*, 2003.
- [9] IEC, *IEC 61000-3-7: 2008. Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part 3-7: Limits – Assessment of emission limits for the connection of fluctuating installations to MV, HV and EHV power systems.*, 2008.
- [10] IEC, *IEC 61000-3-3: 2013. Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part 3-3: Limits - Limitation of voltage changes, voltage fluctuations and flicker in public lowvoltage supply systems.*, 2013.
- [11] IEC, *IEC 61000-3-11: 2000. Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-11: Limits - Limitation of voltage changes, voltage fluctuations and flicker in public lowvoltage supply systems.*, 2000.
- [12] IEC, *IEC 61000-3-5: 2009. Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-5: Limits - Limitations of voltage fluctuations and flicker in low voltage power supply systems for equipment with rated current > 75.*, 2009.

- [13] D. Shung, «Diseño y implementación de un medidor de frecuencia para frecuencias bajas,» [En línea]. Available: http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/10676/6/Mem%C3%B2ria_IV.pdf. [Último acceso: 10 08 2014].
- [14] I. Sommerville, Software Engineering, Addison-Wesley, 2010.
- [15] J. R. L. V. y J. P. Sebasti  , LabVIEW Entorno gráfico de programación, Marcombo, 2011.

Capítulo 10 Anexos

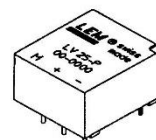
Hoja de especificaciones del transductor LEM LV-25P

LEM

Voltage Transducer LV 25-P

$$I_{PN} = 10 \text{ mA}$$

For the electronic measurement of voltages : DC, AC, pulsed..., with a galvanic isolation between the primary circuit (high voltage) and the secondary circuit (electronic circuit).



Electrical data

I_{PN}	Primary nominal r.m.s. current	10	mA
V_P	Primary voltage, measuring range	0 .. ± 14	mA
R_M	Measuring resistance	R_{Mmin} R_{Mmax}	
	with $\pm 12 \text{ V}$	@ $\pm 10 \text{ mA}_{max}$	30 190 Ω
		@ $\pm 14 \text{ mA}_{max}$	30 100 Ω
	with $\pm 15 \text{ V}$	@ $\pm 10 \text{ mA}_{max}$	100 350 Ω
		@ $\pm 14 \text{ mA}_{max}$	100 190 Ω
I_{SN}	Secondary nominal r.m.s. current	25	mA
K_N	Conversion ratio	2500 : 1000	
V_C	Supply voltage ($\pm 5\%$)	$\pm 12 \dots 15$	V
I_C	Current consumption	10 (@ $\pm 15 \text{ V}$) + I_S	mA
V_d	R.m.s. voltage for AC isolation test ¹⁾ , 50 Hz, 1 mn	2.5	kV

Features

- Closed loop (compensated) voltage transducer using the Hall effect
- Insulated plastic case recognized according to UL 94-V0.

Advantages

- Excellent accuracy
- Very good linearity
- Low thermal drift
- Low response time
- High bandwidth
- High immunity to external interference
- Low disturbance in common mode.

Applications

- AC variable speed drives and servo motor drives
- Static converters for DC motor drives
- Battery supplied applications
- Uninterruptible Power Supplies (UPS)
- Power supplies for welding applications.

Accuracy - Dynamic performance data

X_G	Overall Accuracy @ $V_{PN}, T_A = 25^\circ\text{C}$ @ $\pm 15 \text{ V}$ ($\pm 5\%$)	± 0.8	%
	@ $\pm 12 \dots 15 \text{ V}$	± 0.9	%
ε_L	Linearity	< 0.2	%
I_0	Offset current @ $I_P = 0, T_A = 25^\circ\text{C}$	Typ Max ± 0.15	mA
I_{OT}	Thermal drift of I_0	0°C .. + 25°C ± 0.06 ± 0.25	mA
	+ 25°C .. + 70°C	± 0.10 ± 0.35	mA
t_r	Response time ²⁾ @ 90 % of V_{Pmax}	40	μs

General data

T_A	Ambient operating temperature	0 .. + 70	°C
T_S	Ambient storage temperature	- 25 .. + 85	°C
R_1	Primary resistance @ $T_A = 70^\circ\text{C}$	250	Ω
R_S	Secondary coil resistance @ $T_A = 70^\circ\text{C}$	110	Ω
m	Mass	22	g
	Standards ³⁾	EN 50178	

Notes : ¹⁾ Between primary and secondary.

²⁾ $R_1 = 25 \text{ k}\Omega$ (L/R constant, produced by the resistance and inductance of the primary circuit).

³⁾ A list of corresponding tests is available.

980401/10

LEM SA



CASE POSTALE 785
CH-1212 GRAND-LANCY 1
GENEVA, SWITZERLAND



CHEMIN DES AULX 8
CH-1228 PLAN-LES-OUATES
GENEVA, SWITZERLAND

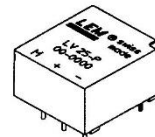


TEL: + 41 (0) 22 706 11 11
FAX: + 41 (0) 22 794 94 78

Voltage Transducer LV 25-P

$I_{PN} = 10 \text{ mA}$

For the electronic measurement of voltages : DC, AC, pulsed..., with a galvanic isolation between the primary circuit (high voltage) and the secondary circuit (electronic circuit).



Electrical data

I_{PN}	Primary nominal r.m.s. current	10	mA
V_P	Primary voltage, measuring range	$0 \dots \pm 14$	mA
R_M	Measuring resistance	R_{Mmin} R_{Mmax}	
	with $\pm 12 \text{ V}$	30 190	Ω
	@ $\pm 10 \text{ mA}_{max}$	30 100	Ω
	@ $\pm 14 \text{ mA}_{max}$	100 350	Ω
	with $\pm 15 \text{ V}$	100 190	Ω
	@ $\pm 10 \text{ mA}_{max}$		
	@ $\pm 14 \text{ mA}_{max}$		
I_{SN}	Secondary nominal r.m.s. current	25	mA
K_N	Conversion ratio	2500 : 1000	
V_C	Supply voltage ($\pm 5\%$)	$\pm 12 \dots 15$	V
I_C	Current consumption	$10 (@ \pm 15 \text{ V}) + I_S$	mA
V_d	R.m.s. voltage for AC isolation test ¹⁾ , 50 Hz, 1 mn	2.5	kV

Accuracy - Dynamic performance data

X_G	Overall Accuracy @ $V_{PN}, T_A = 25^\circ\text{C}$ @ $\pm 15 \text{ V} (\pm 5\%)$	± 0.8	%
	@ $\pm 12 \dots 15 \text{ V}$	± 0.9	%
ϵ_L	Linearity	< 0.2	%
I_O	Offset current @ $I_P = 0, T_A = 25^\circ\text{C}$	Typ Max	
I_{OT}	Thermal drift of I_O	± 0.15	mA
	$0^\circ\text{C} \dots + 25^\circ\text{C}$	$\pm 0.06 \pm 0.25$	mA
	$+ 25^\circ\text{C} \dots + 70^\circ\text{C}$	$\pm 0.10 \pm 0.35$	mA
t_r	Response time ²⁾ @ 90 % of V_{Pmax}	40	μs

General data

T_A	Ambient operating temperature	$0 \dots + 70$	$^\circ\text{C}$
T_S	Ambient storage temperature	$- 25 \dots + 85$	$^\circ\text{C}$
R_i	Primary resistance @ $T_A = 70^\circ\text{C}$	250	Ω
R_s	Secondary coil resistance @ $T_A = 70^\circ\text{C}$	110	Ω
m	Mass	22	g
	Standards ³⁾	EN 50178	

Features

- Closed loop (compensated) voltage transducer using the Hall effect
- Insulated plastic case recognized according to UL 94-V0.

Advantages

- Excellent accuracy
- Very good linearity
- Low thermal drift
- Low response time
- High bandwidth
- High immunity to external interference
- Low disturbance in common mode.

Applications

- AC variable speed drives and servo motor drives
- Static converters for DC motor drives
- Battery supplied applications
- Uninterruptible Power Supplies (UPS)
- Power supplies for welding applications.

Notes : ¹⁾ Between primary and secondary.

²⁾ $R_i = 25 \text{ k}\Omega$ (L/R constant, produced by the resistance and inductance of the primary circuit).

³⁾ A list of corresponding tests is available.

980401/10

LEM SA



CASE POSTALE 785
CH-1212 GRAND-LANCY 1
GENEVA, SWITZERLAND



CHEMIN DES AULX 8
CH-1228 PLAN-LES-OUATES
GENEVA, SWITZERLAND



TEL: +41 (0) 22 706 11 11
FAX: +41 (0) 22 794 94 78

NI CompactDAQ USB Data Acquisition System

NI CompactDAQ

NI cDAQ-9172

- Accepts up to 8 C Series I/O modules
- Compact (25 by 9 by 9 cm)
- Hi-Speed USB connection to PC
- 11 to 30 V power supply included

NI C Series Modules

- Sensor-specific signal conditioning per module
- Up to 24-bit resolution
- Up to 3.2 MS/s per chassis
- Up to 256 channels per chassis

Operating Systems

- Windows 2000/XP

Recommended Software

- LabVIEW
- LabWindows/CVI
- Measurement Studio
- VI Logger

Measurement Services Software (included)

- NI-DAQmx driver
- Measurement & Automation Explorer



Overview

National Instruments NI CompactDAQ brings the simplicity of USB to sensor and electrical measurements on the benchtop, in the field, and on the production line. By combining the ease of use and low cost of a data logger with the performance and flexibility of modular instrumentation, NI CompactDAQ delivers fast, accurate measurements in a small, simple, and affordable system. Flexible software options make it easy to use NI CompactDAQ to log data for simple experiments or to develop a fully automated test or control system. The modular design can measure up to 256 channels of electrical, physical, mechanical, or acoustical signals in a single system. In addition, per-channel analog-to-digital converters and individually isolated modules ensure fast, accurate, and safe measurements.

Key Features

- Small, modular data acquisition system for industrial measurements
- Hi-Speed USB plug-and-play connectivity to PC
- Hot-swappable, autodetectable C Series I/O modules with direct sensor and signal connectivity
- NI-DAQmx API that provides powerful and easy-to-use programming interface
- Up to 2,300 V_{rms} isolation (withstand)
- NI CompactDAQ environmental certifications and ratings:
 - 0 to 55 °C operating temperature
 - 30 g shock rating (operating)
- PXI vibration specification
- International safety, EMC, and environmental certifications

C Series Modules

Type of Signal	Signal	Module	Channels	Special Features	Connectivity
Analog Input	Thermocouple	NI 9211	4 DI	24-bit delta-sigma, 14 S/s, differential (J, K, R, S, T, N, E, and B thermocouple types)	Screw terminal
	IEPE sensors (accelerometer, microphone)	NI 9233	4 SE	24-bit, 50 kS/s, simultaneous, IEPE conditioning	BNC
	General-purpose (± 200 mV to ± 10 V)	NI 9205	32 SE/16 DI	16-bit, 250 kS/s	Spring terminal or D-Sub
		NI 9206	16 DI	16-bit, 250 kS/s, 600 VDC Cat. I bank isolation	Spring terminal
		NI 9215	4 DI	16-bit, 100 kS/s/ch, simultaneous, differential	Screw terminal or BNC
	General-purpose (± 80 mV)	NI 9211	4 DI	24-bit, 14 S/s, differential	Screw terminal
	Bridge	NI 9237	4	24-bit, 50 kS/s/ch	RJ 45
Analog Output	General-purpose (± 10 V)	NI 9263	4 SE	16-bit, 100 kS/s/ch, simultaneous	Screw terminal
Digital Input	Bidirectional 5 V TTL	NI 9401	8	5 V TTL, ultrahigh-speed, bidirectional, 30 V protection	25-pin D-Sub
	24 V sinking	NI 9421	8	10 kS/s, 24 V logic, 40 V protection	Screw terminal or 25-pin D-Sub
Digital Output	Bidirectional 5 V TTL	NI 9401	8	5 V TTL, ultrahigh-speed, bidirectional, 30 V protection	25-pin D-Sub
	24 V sourcing	NI 9472	8	10 kS/s, 24 V logic, 750 mA max per ch, 30 V protection, short-circuit-proof	Screw terminal or 25-pin D-Sub
Relay	Electromechanical, Form A (SPST)	NI 9481	4	30 VDC (2 A), 60 VDC (1 A), 250 VAC (2 A) electromechanical Form A (SPST)	Screw terminal
Counter, Pulse Generation	Counter/timer/PWM/pulse generation (TTL)	NI 9401	8	5 V TTL, ultrahigh-speed, bidirectional, 30 V protection	25-pin D-Sub
	PWM/pulse generation (24 V)	NI 9472	8	10 kS/s, 24 V logic, 750 mA max per ch, 30 V protection, short-circuit-proof	Screw terminal or 25-pin D-Sub



NI CompactDAQ USB Data Acquisition System

C Series modules accept a broad range of I/O including thermocouple inputs, ± 10 V simultaneous-sampling analog input, ± 10 V analog output, IEPE sensors, bridge inputs, 24 V industrial digital I/O with up to 750 mA current drive, and 5 V/TTL digital I/O. Each C Series module contains built-in signal conditioning and screw terminal, BNC, or D-Sub connectors so you can connect signals directly. This direct connectivity, in turn, significantly reduces space requirements and field-wiring costs.

Driver Software

NI-DAQmx is the driver software included with NI CompactDAQ and most National Instruments data acquisition and signal conditioning products. This easy-to-use software integrates the full functionality of your NI CompactDAQ hardware with National Instruments LabVIEW, LabWindows/CVI, or Measurement Studio for Visual Basic. High-performance features include multidevice synchronization, networked measurements, and simulated devices. Bundled with NI-DAQmx, the Measurement & Automation Explorer utility simplifies the configuration of your measurement hardware with device test panels, interactive measurements, and scaled I/O channels. NI-DAQmx also provides numerous example programs for LabVIEW and other application development environments to get you started with your application quickly.

Services and Support/Training

As a complement to your NI CompactDAQ system, consider:

- **Technical Support** – included in hardware/software purchase through applications engineers worldwide, and features Web resources with more than 3,000 example programs and more than 7,000 knowledge bases, and Premier Support – ni.com/support
- **Calibration** – NIST-traceable basic calibration certificate available, services for ANSI/NCSL-Z540 and periodic calibration – ni.com/calibration
- **Extended Warranty** – meet project life-cycle requirements and maintain optimal performance in a cost-effective way – ni.com/services
- **Data Acquisition Training** – take advantage of instructor-led courses – ni.com/training
- **Professional Services** – obtain feasibility assessments, consulting, and integration through National Instruments Alliance Partner program members – ni.com/alliance

For more information on NI services and support, visit ni.com/services.

Chassis	Module Slots	Connection to PC	Channels per Chassis	Analog Resolution	Analog Sampling Rate	Analog Throughput
cDAQ-9172	8	Hi-Speed USB	Up to 256 analog input, or 32 analog output, or 64 digital I/O	Up to 24 bits	Up to 400 kS/s per module	3.2 MS/s total throughput

Table 1. cDAQ 9172 Channel, Speed, and Resolution Specifications

Specifications

Power

Input 11 to 30 VDC at 15 W

Physical Dimensions

cDAQ-9172 chassis 254 by 88.1 by 88.1 mm
(10.0 by 3.47 by 3.47 in.)
External AC adapter 117 by 38.1 by 38.1 mm
(4.60 by 1.50 by 1.50 in.)
C Series I/O modules 69.9 by 22.2 by 87.4 cm
(2.75 by .875 by 3.44 in.)

Connectors

DC power input 2 conductor input jack
with threaded retainer
C Series module I/O Removable screw/spring terminal,
BNC, or D-Sub connector
C Series module to chassis 15-pin female D-Sub connector

Ordering Information

NI cDAQ-9172

U.S., 120 VAC 779508-01
Switzerland, 220 VAC 779508-02
Australia, 240 VAC 779508-03
Europe, 240 VAC 779508-04
UK, 240 VAC 779508-06
Japan, 100 VAC 779508-07

BUY NOW!

For complete product specifications, pricing, and accessory information, call (800) 813 3693 or go to ni.com/compactdaq.

BUY ONLINE at ni.com or CALL (800) 813 3693 (U.S.)

Portable USB-Based DAQ with Simultaneous Sampling

NI USB-9215A (Windows)

- Small, portable devices (12.1 by 8.6 by 2.5 cm)
 - 4 channels of 16-bit simultaneously sampled analog input
 - Built-in, removable connectors for easier and more cost-effective connectivity
 - 250 V_{rms} channel-to-earth ground isolation
 - Plug-and-play connectivity via USB
 - Bus-powered
- Operating Systems**

 - Windows Vista/XP/2000

Recommended Software

 - LabVIEW
 - LabWindows™/CVI
 - Measurement Studio

Measurement Services Software (included)

 - NI-DAQmx driver software
 - LabVIEW SignalExpress LE



Product	Signal Type	Channels (DI)	Input Resolution (bits)	Sampling Rate (kS/s/ch)	Input Range (V)	Connector	Operating System	Driver Software ¹
USB-9215A	Voltage	4	16	100	±10	Screw Terminal, BNC	Windows	NI-DAQmx

Table 1. Portable USB DAQ for Simultaneous Sampling Selection Guide

Overview

The National Instruments USB-9215A is a data acquisition module with integrated signal conditioning that provides plug-and-play connectivity via USB for faster setup and measurements. It offers four channels of simultaneously sampled voltage inputs with 16-bit accuracy to deliver minimal phase delay when scanning multiple channels. In addition, this module includes 250 V_{rms} channel-to-earth ground isolation for safety, noise immunity, and high common-mode voltage range.

Software

The NI USB-9215A uses NI-DAQmx high-performance, multithreaded driver software for interactive configuration and data acquisition on Windows OSs. All NI data acquisition devices shipped with NI-DAQmx also include NI LabVIEW SignalExpress LE configuration-based data-logging software.

Recommended Accessories

The USB-9215A has built-in screw-terminal connectivity, so no additional accessories are required. It is also available with BNC connectors.

Common Applications

The USB-9215A is ideal for a number of applications where small size and portability are essential, such as:

- Portable data logging – log temperature data quickly and easily
- Academic lab use – obtain academic discounts for quantities of five or more (visit ni.com/academic for details)
- Environmental monitoring – monitor environmental conditions such as humidity or light
- Embedded OEM applications
- In-vehicle data acquisition

Information for OEM Customers

For information on special configurations and pricing, visit ni.com/oem.

Ordering Information

NI USB-9215A (Windows)	
Screw terminals	779434-01
BNC connectors	779435-01

BUY NOW!

For complete product specifications, pricing, and accessory information, call 800 813 3693 (U.S.) or go to ni.com/oem.



NI Services and Support



NI has the services and support to meet your needs around the globe and through the application life cycle – from planning and development through deployment and ongoing maintenance. We offer services and service levels to meet customer requirements in research, design, validation, and manufacturing. Visit ni.com/services.

Training and Certification

NI training is the fastest, most certain route to productivity with our products. NI training can shorten your learning curve, save development time, and reduce maintenance costs over the application life cycle. We schedule instructor-led courses in cities worldwide, or we can hold a course at your facility. We also offer a professional certification program that identifies individuals who have high levels of skill and knowledge on using NI products. Visit ni.com/training.

Professional Services

Our NI Professional Services team is composed of NI applications and systems engineers and a worldwide National Instruments Alliance Partner program of more than 600 independent consultants and



integrators. Services range from start-up assistance to turnkey system integration. Visit ni.com/alliance.

OEM Support

We offer design-in consulting and product integration assistance if you want to use our products for OEM applications. For information about special pricing and services for OEM customers, visit ni.com/oem.

Local Sales and Technical Support

In offices worldwide, our staff is local to the country, giving you access to engineers who speak your language. NI delivers industry-leading technical support through online knowledge bases, our applications engineers, and access to 14,000 measurement and automation professionals within NI Developer Exchange forums. Find immediate answers to your questions at ni.com/support.

We also offer service programs that provide automatic upgrades to your application development environment and higher levels of technical support. Visit ni.com/ssp.

Hardware Services

NI Factory Installation Services

NI Factory Installation Services (FIS) is the fastest and easiest way to use your PXI or PXI/SCXI combination systems right out of the box. Trained NI technicians install the software and hardware and configure the system to your specifications. NI extends the standard warranty by one year on hardware components (controllers, chassis, modules) purchased with FIS. To use FIS, simply configure your system online with ni.com/pxiadvisor.

Calibration Services

NI recognizes the need to maintain properly calibrated devices for high-accuracy measurements. We provide manual calibration procedures, services to recalibrate your products, and automated calibration software specifically designed for use by metrology laboratories. Visit ni.com/calibration.

Repair and Extended Warranty

NI provides complete repair services for our products. Express repair and advance replacement services are also available. We offer extended warranties to help you meet project life-cycle requirements. Visit ni.com/services.



ni.com • 800 813 3693

National Instruments • info@ni.com



©2008 National Instruments Corporation. All rights reserved. CVI, LabVIEW, Measurement Studio, National Instruments, National Instruments Alliance Partner, NI, ni.com, SCXI, and SignalExpress are trademarks of National Instruments. The mark LabWindows is used under a license from Microsoft Corporation. Windows is a registered trademark of Microsoft Corporation in the United States and other countries. Other product and company names listed are trademarks or trade names of their respective companies. A National Instruments Alliance Partner is a business entity independent from NI and has no agency, partnership, or joint-venture relationship with NI.