

# ESTUDIO: Calidad de la Potencia en Redes Eléctricas Inteligentes

RENÉ CARRANZA



SIMPOSIUM  
INTERNACIONAL DE LA  
**ENERGÍA**  
**2016**

**CENTRO NACIONAL DE METROLOGIA**

- ✱ Introducción
- ✱ Retos de la Calidad de la Potencia
- ✱ Calidad de la Potencia y Redes Eléctricas Inteligentes
- ✱ Nuevos métodos de medición de Calidad de la Potencia para Redes Eléctricas Inteligentes
- ✱ Conclusiones

## **Ley de Transición Energética/SENER, Dic 2015**

CENACE (con la opinión CRE), presentará cada 3 años, el programa de Redes Eléctricas Inteligentes.

Objetivo: modernización de la RNT y las RGDs, que satisfaga la demanda eléctrica y facilite la incorporación de nuevas tecnologías que promuevan:

- ✓ la reducción de costos del sector eléctrico
- ✓ servicios adicionales de Energía Limpia y Generación Limpia Distribuida

## Ley de Transición Energética/SENER, Dic 2015

El programa de Redes Eléctricas Inteligentes debe identificar e instrumentar **estrategias** en redes eléctricas para:

- ✓ satisfacer demanda eléctrica (económicamente eficiente y sustentable)
- ✓ facilitar la incorporación de nuevas tecnologías para reducir costos
- ✓ optimizar la operación dinámica de RNT y RGDs
- ✓ desarrollar la Generación Distribuida, incluyendo la generación con Energías Renovables
- ✓ desplegar tecnologías inteligentes para medición y comunicación en las REI

## Programa Especial Aprovechamiento de Energías Renovables/SENER, 2014

TABLA 1. POTENCIAL DE GENERACIÓN ELÉCTRICA CON FUENTES RENOVABLES (GWH)

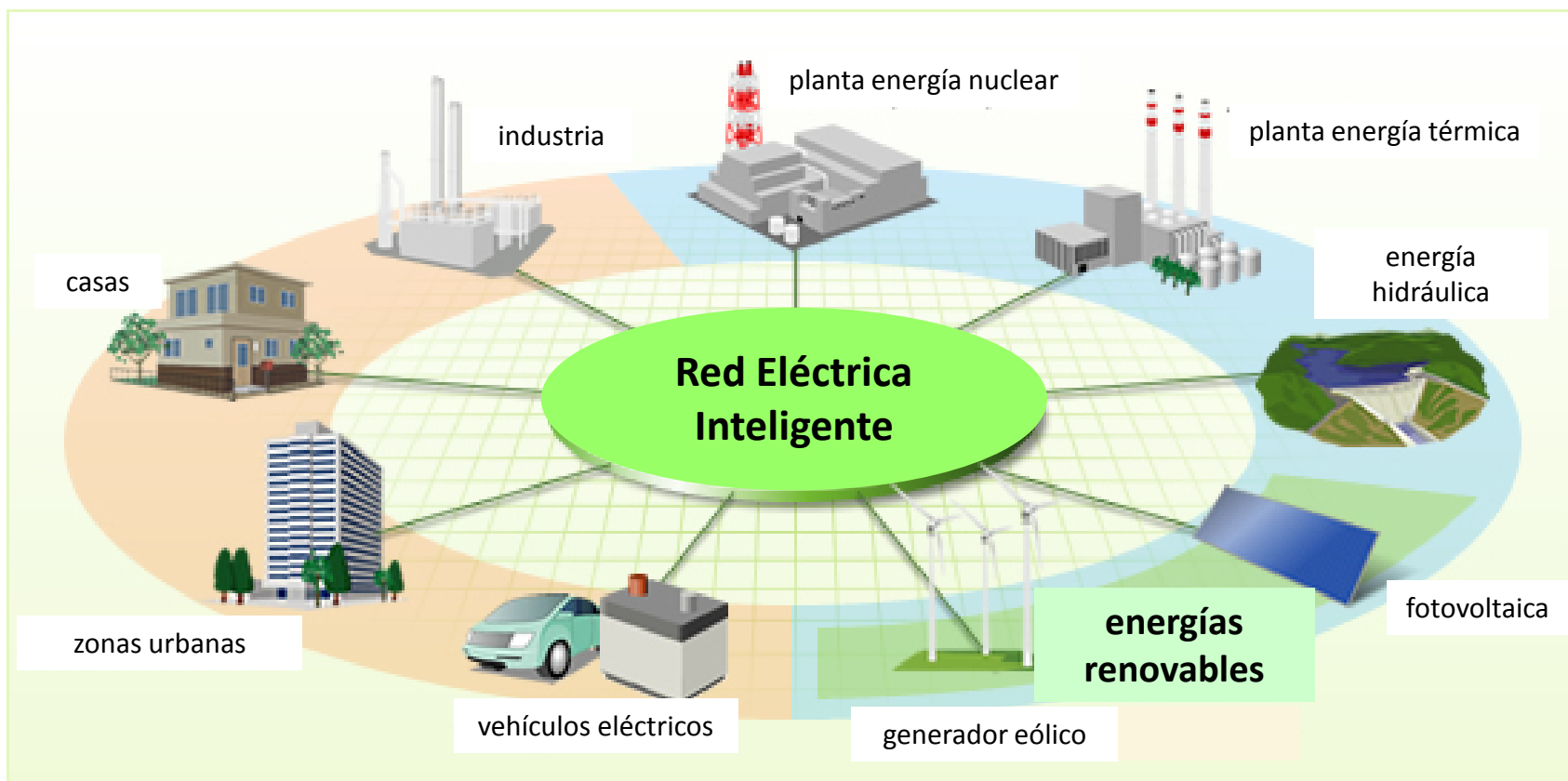
Recursos	Geotérmica	Minihidráulica	Eólica	Solar	Biomasa
Posible	78,799	-	87,600	6,500,000	11,485
Probable	60,286	23,028		-	391
Probado	892	2,378	10,513	843	592

Fuente: Inventario Nacional de Energías Renovables, consultado el 14 de febrero de 2014.

La energía eólica es la que presenta el mayor potencial **probado** como fuente de generación de electricidad

## Generación Distribuida con alta densidad de Energías Renovables:

Mediciones de Calidad de la Potencia y Estabilidad de las redes en condiciones dinámicas

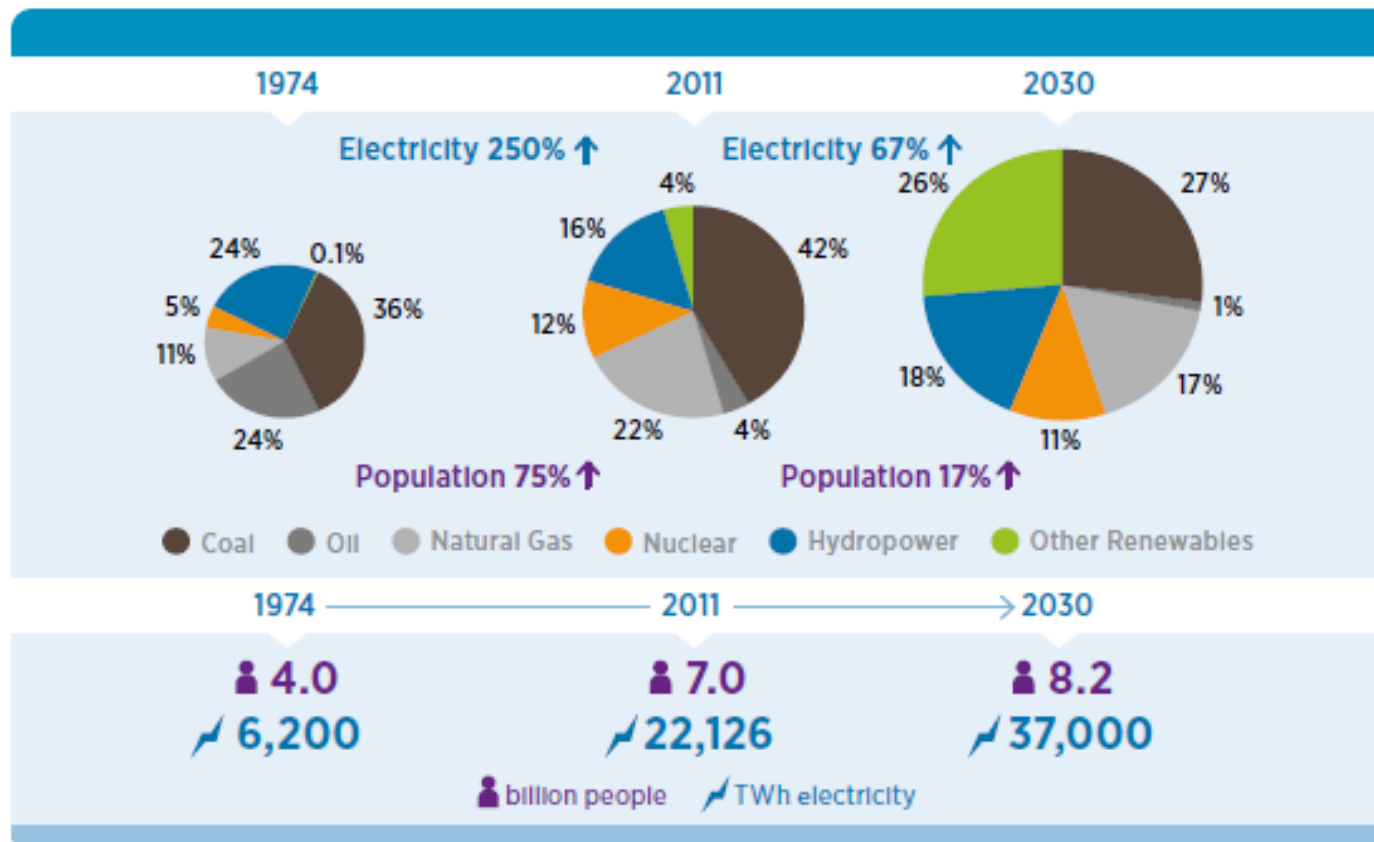


## Hechos:

- 20/20/20 Metas de energías renovables en Europa
  - 20 % reducción de emisiones de gas de efecto invernadero
  - 20 % agregación de energías renovables
  - 20 % incremento de eficiencia energética
  
- 2024 en México: 35 % en energías limpias
  
- 40 % de la electricidad en Estados Unidos de América vendrá del viento en 2030 (Massoud Amin Oct 2013, Modernizing the Grid: Part III. <http://theinstitute.ieee.org/ieee-roundup/opinions/ieee-roundup/modernizing-the-grid-part-iii> )

# Introducción

Figure 1: Electricity generation and population growth



Source: World Bank (2014), IEA (2014a), IRENA (2014a)

## 2030 VS 2011

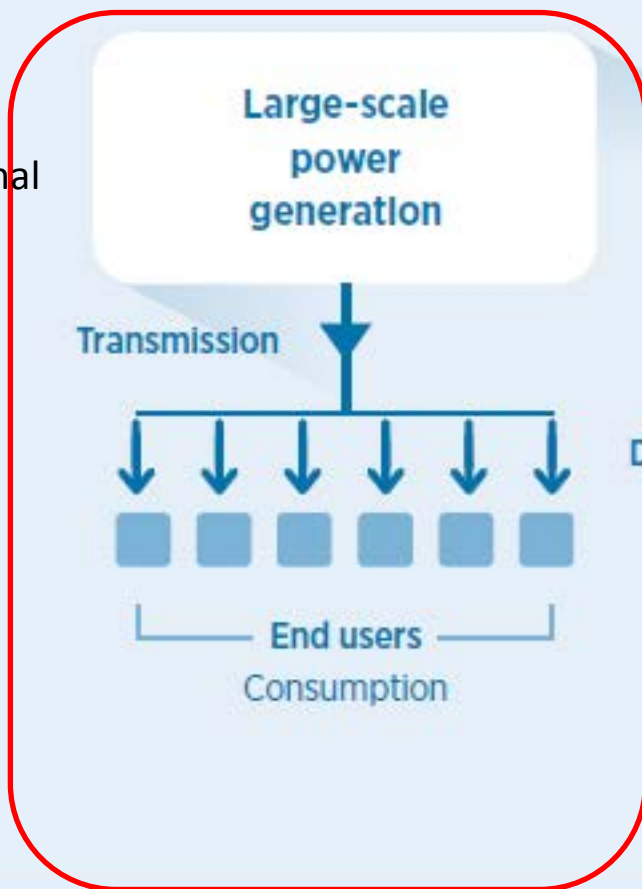
- ✓ la demanda global de energía será 67% mayor
- ✓ incremento de las energías renovables = 22 %
- ✓ población global = 8,200 millones
- ✓ consumo global = 37,000 TWh/año

En economías emergentes:

- demanda crece por la rápida industrialización
- la demanda se atenderá con nuevas capacidades

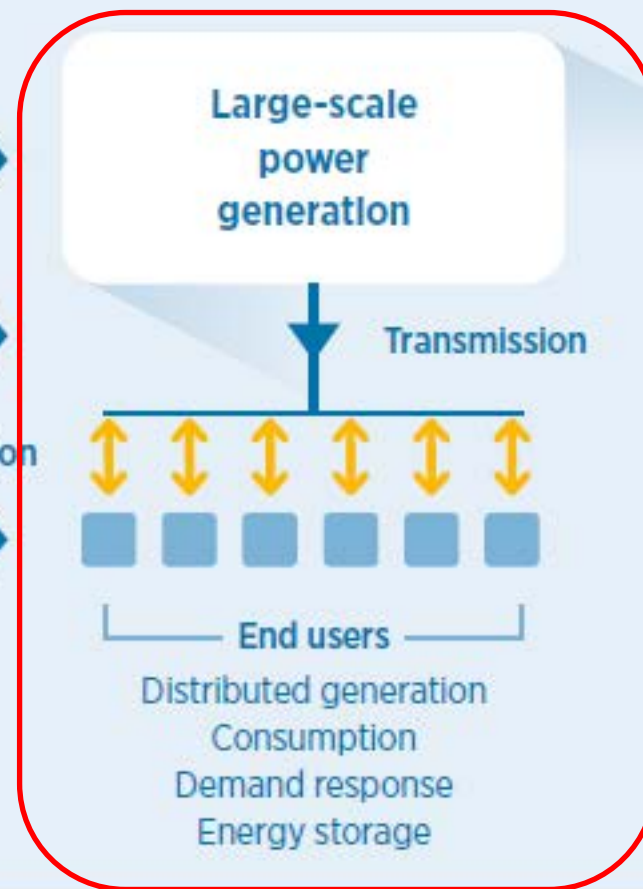


Modelo  
convencional



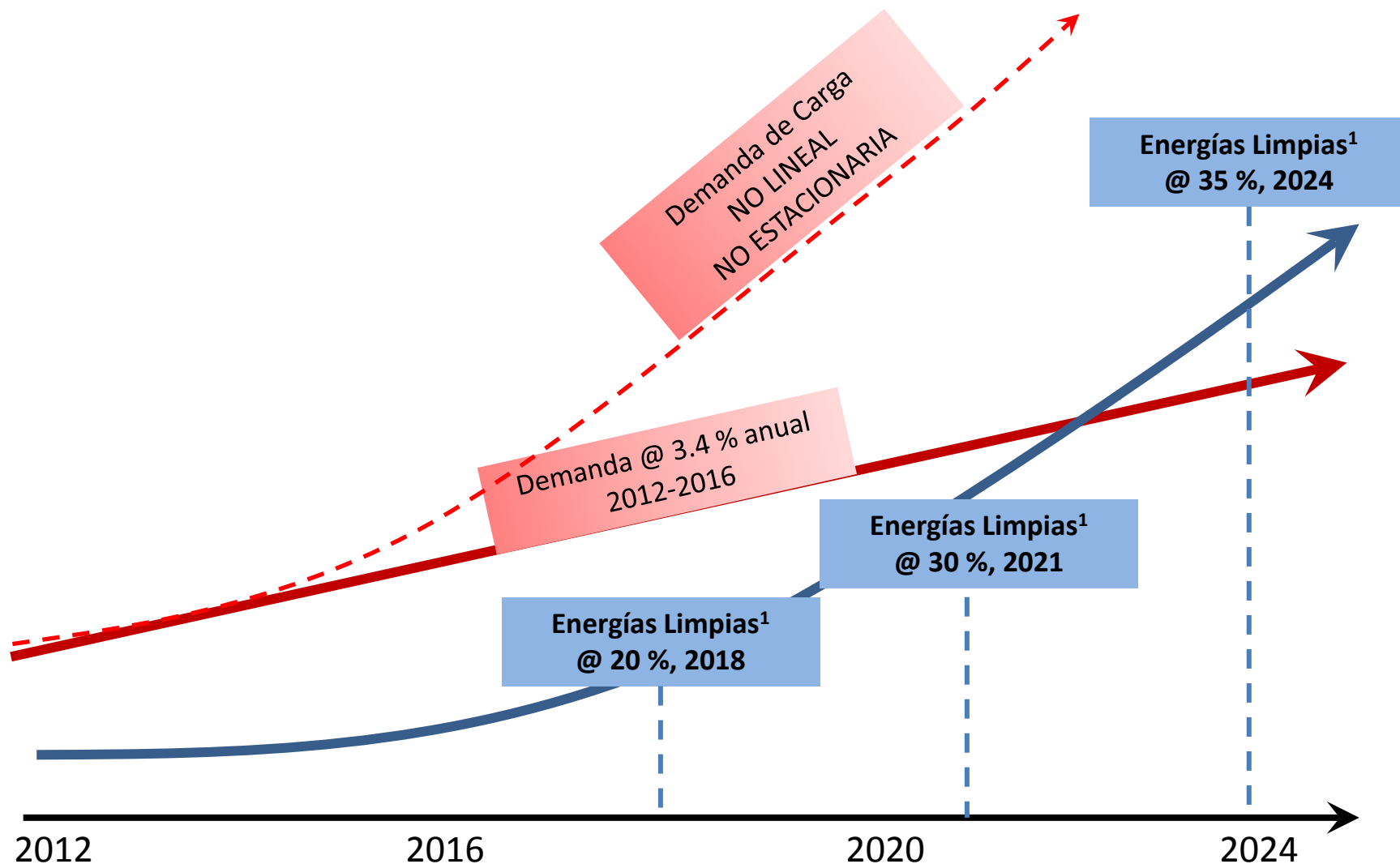
Distribution

Redes  
Eléctricas  
Inteligentes



Source: Based on IRENA (2013a)

La GENERACIÓN DISTRIBUIDA está emergiendo en redes con alta penetración de energías renovables, particularmente, fuentes eólicas y paneles fotovoltaicos



1. Artículo Tercero Transitorio de la Ley de Transición Energética, SENER, Dic. 2015

**Energías limpias<sup>1</sup>:** están integrados por unidades cuya fuente de energía y procesos de generación de electricidad producen emisiones o residuos, en cantidades que no rebasan los umbrales establecidos en las disposiciones reglamentarias correspondientes

Fuente de energía limpia	generación nacional (%)	centrales	capacidad instalada (%)
Hidroeléctrica	10	97	18.3
Nucleoeléctrica	3.7	1	3.7
Eólica	2.8	32	4.1
Solar	0.03	9	0.1
Geotérmica	2.0 %	8	1.4
Termosolar	Agua Prieta	En construcción	
Bioenergía	1.1 %	70	1.1
Cogeneración eficiente	1.2	11	1.0

1. Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional PRODESEN 2016-2030 /

- ✱ Introducción
- ✱ Retos de la Calidad de la Potencia
- ✱ Calidad de la Potencia y Redes Eléctricas Inteligentes
- ✱ Nuevos métodos de medición de Calidad de la Potencia para Redes Eléctricas Inteligentes
- ✱ Conclusiones

# Eventos que afectan la calidad de la potencia

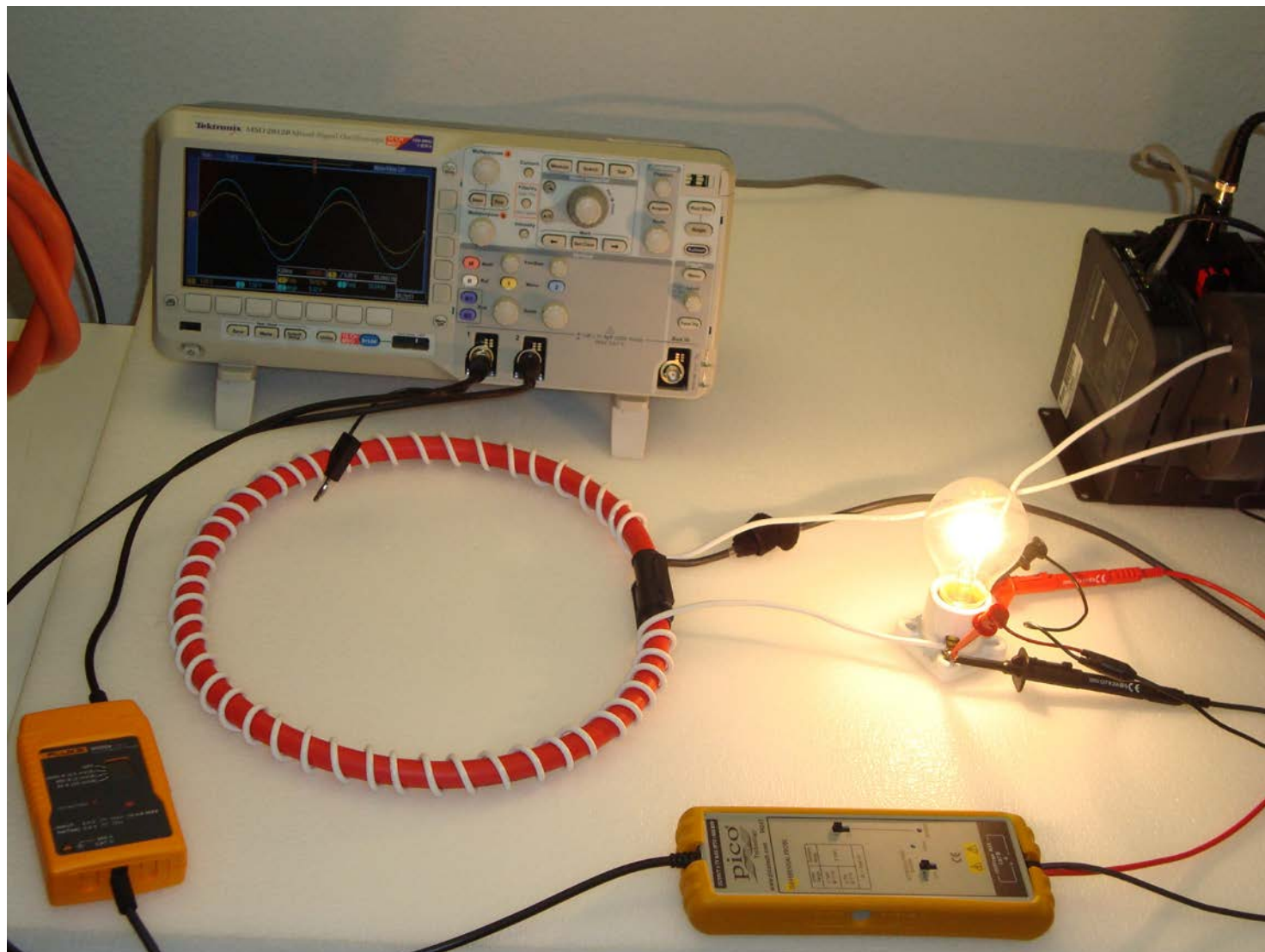


## Potencia y Factor de Potencia

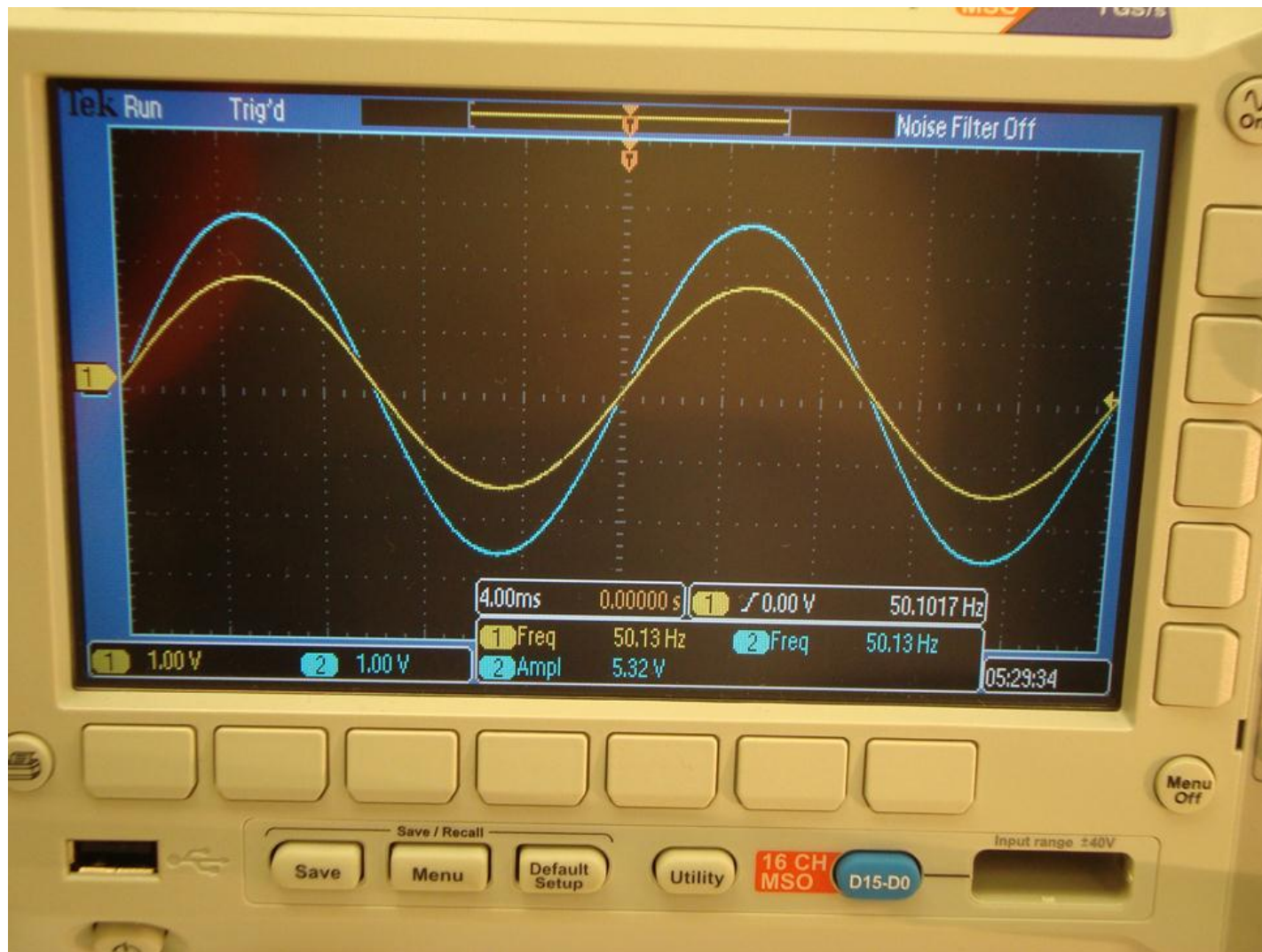
Dispositivo	Potencia (W)	Factor de potencia
Lámpara incandescente	63.2	1.00
CFL	47.2	0.59
LED	10.4	0.81
LED lámpara de escritorio	5.8	0.54
Ventilador	42	0.93
Laptop	23	0.51
PC	147.5	0.99
PC Monitor	0.9	0.22
Suministro de pequeña potencia	34.1	0.74



# Calidad de la Potencia en productos eléctricos

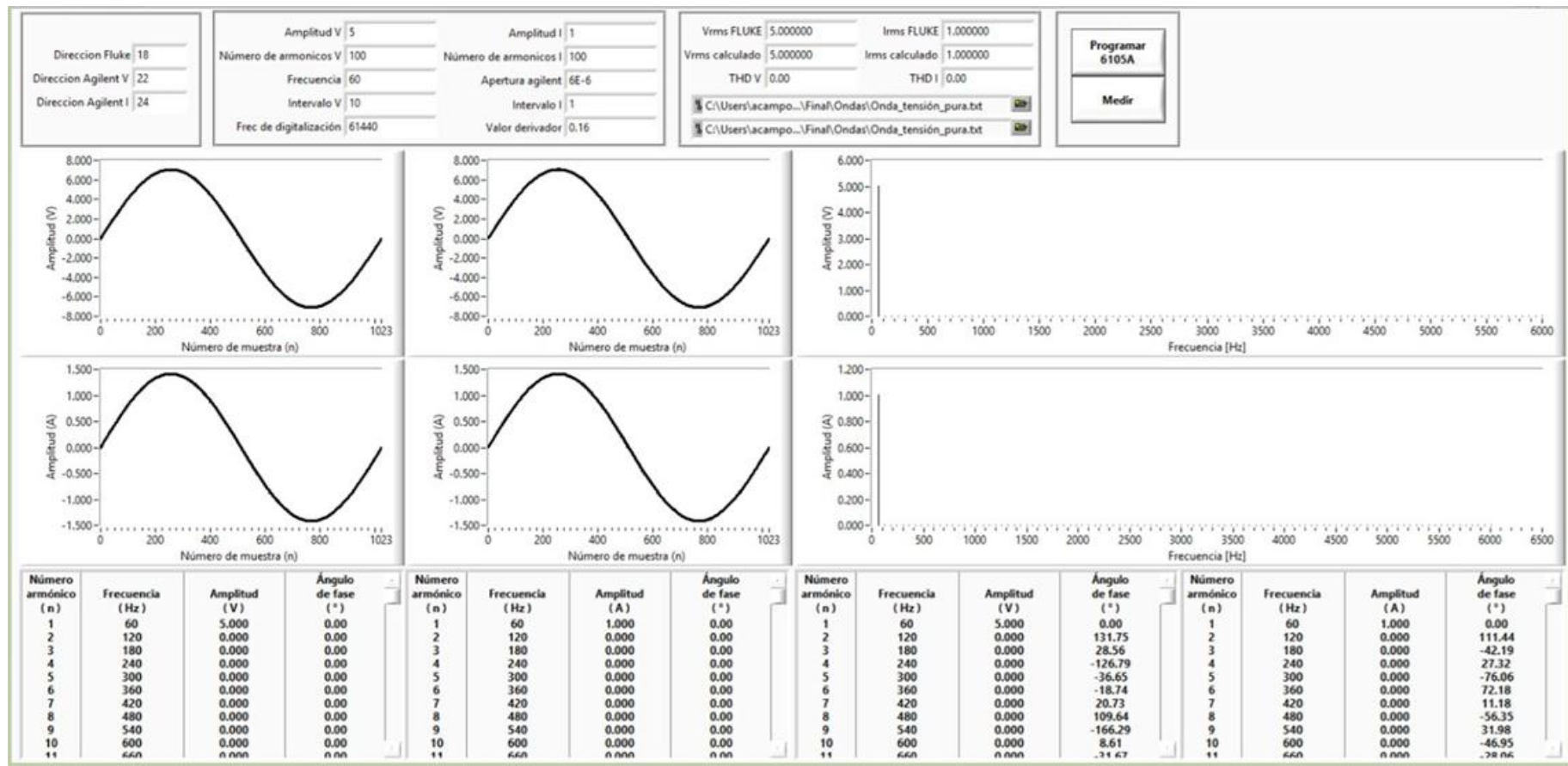


# Calidad de la Potencia en productos eléctricos

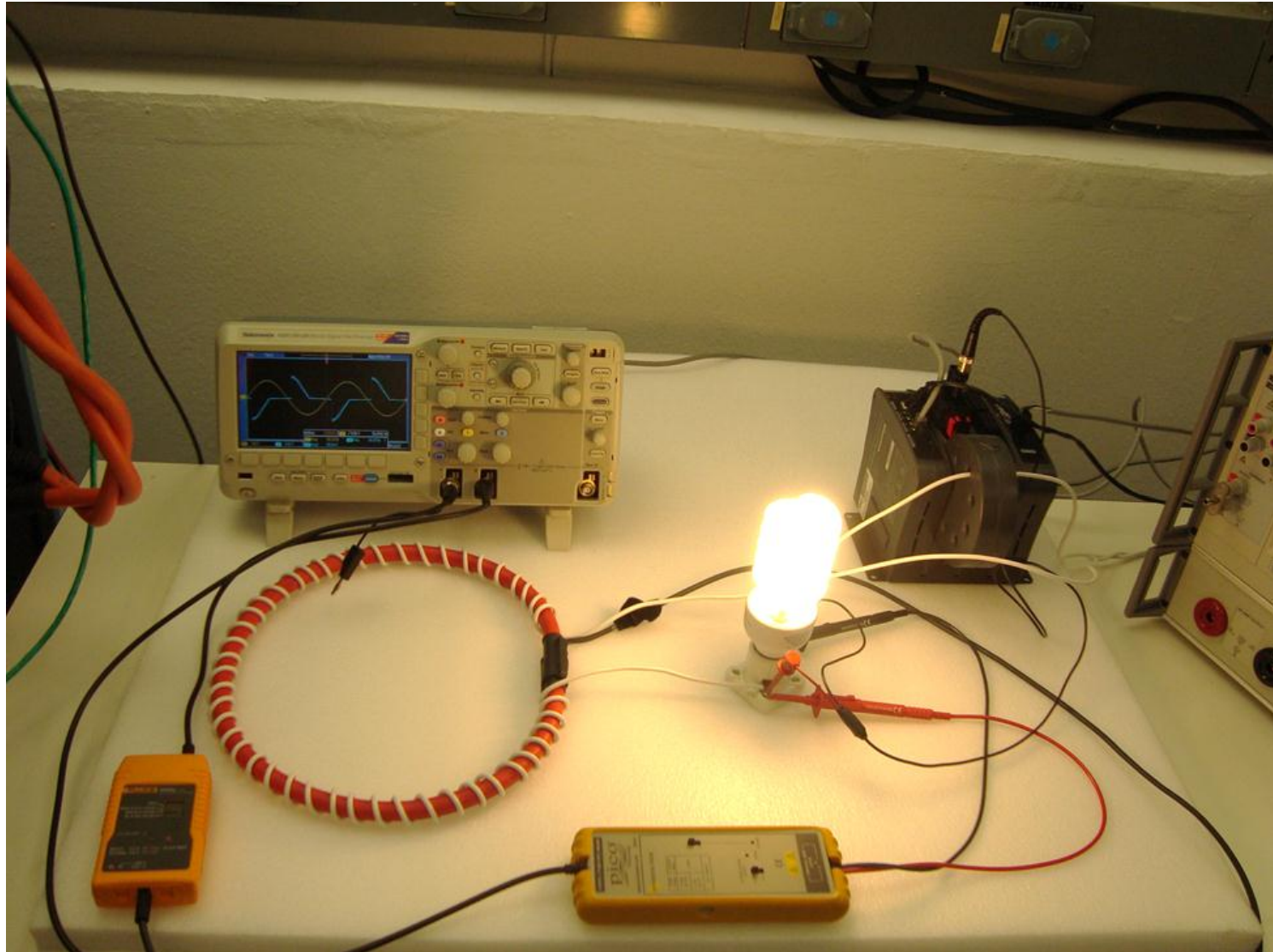




# Calidad de la Potencia en productos eléctricos



# Calidad de la Potencia en productos eléctricos

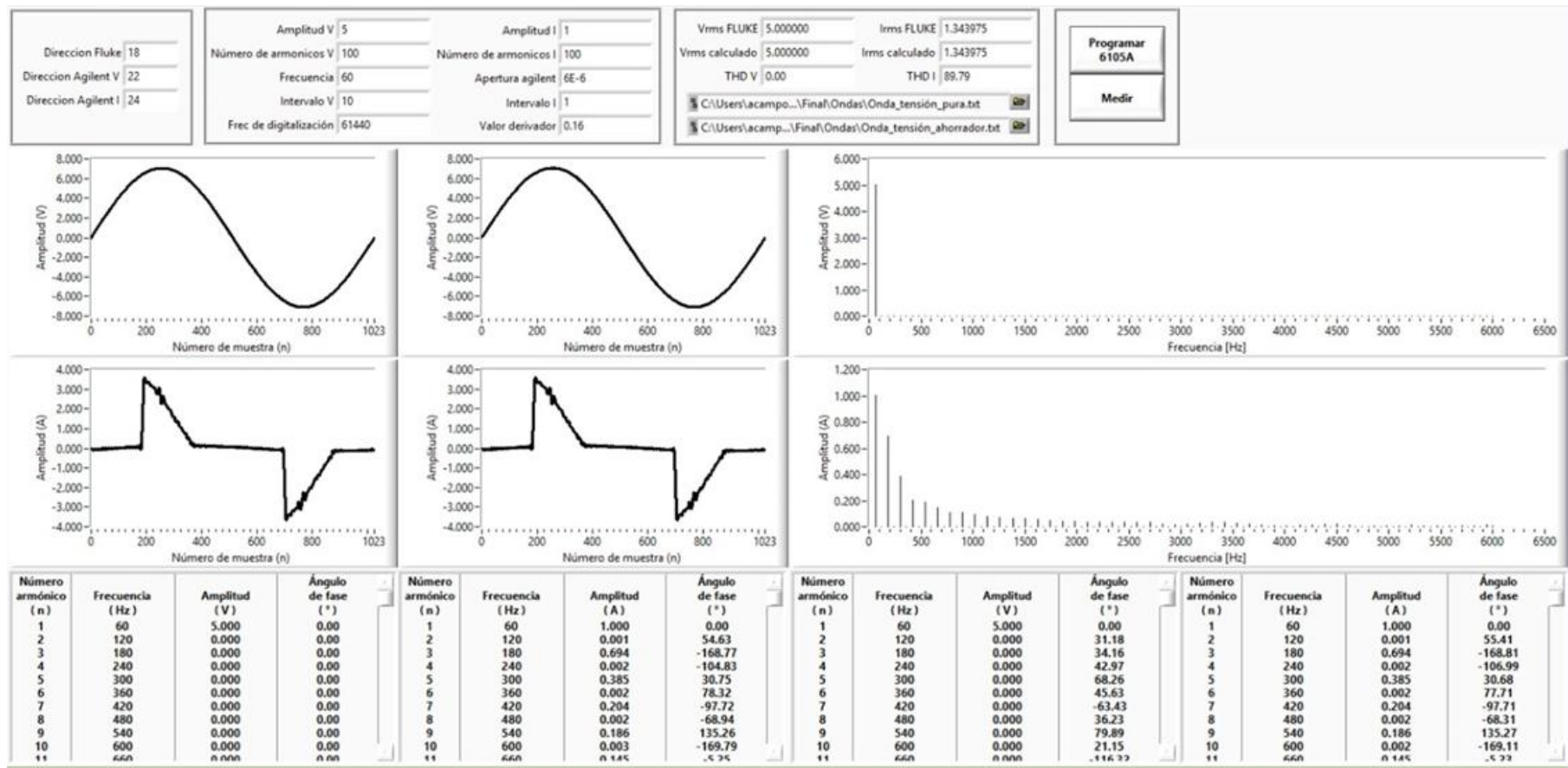


# Calidad de la Potencia en productos eléctricos

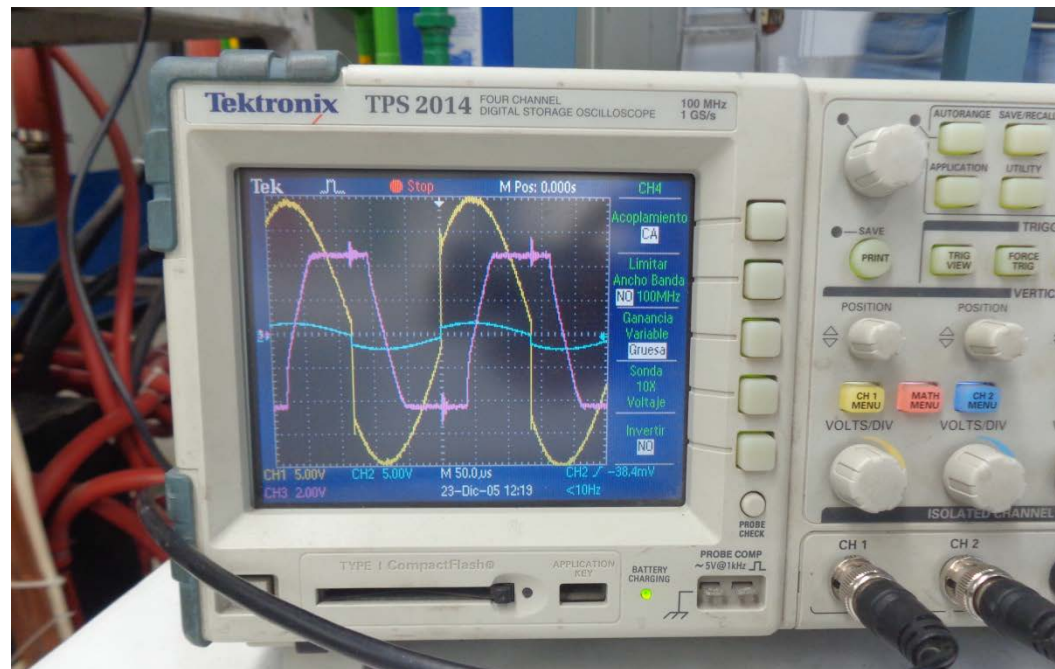




# Calidad de la Potencia en productos eléctricos

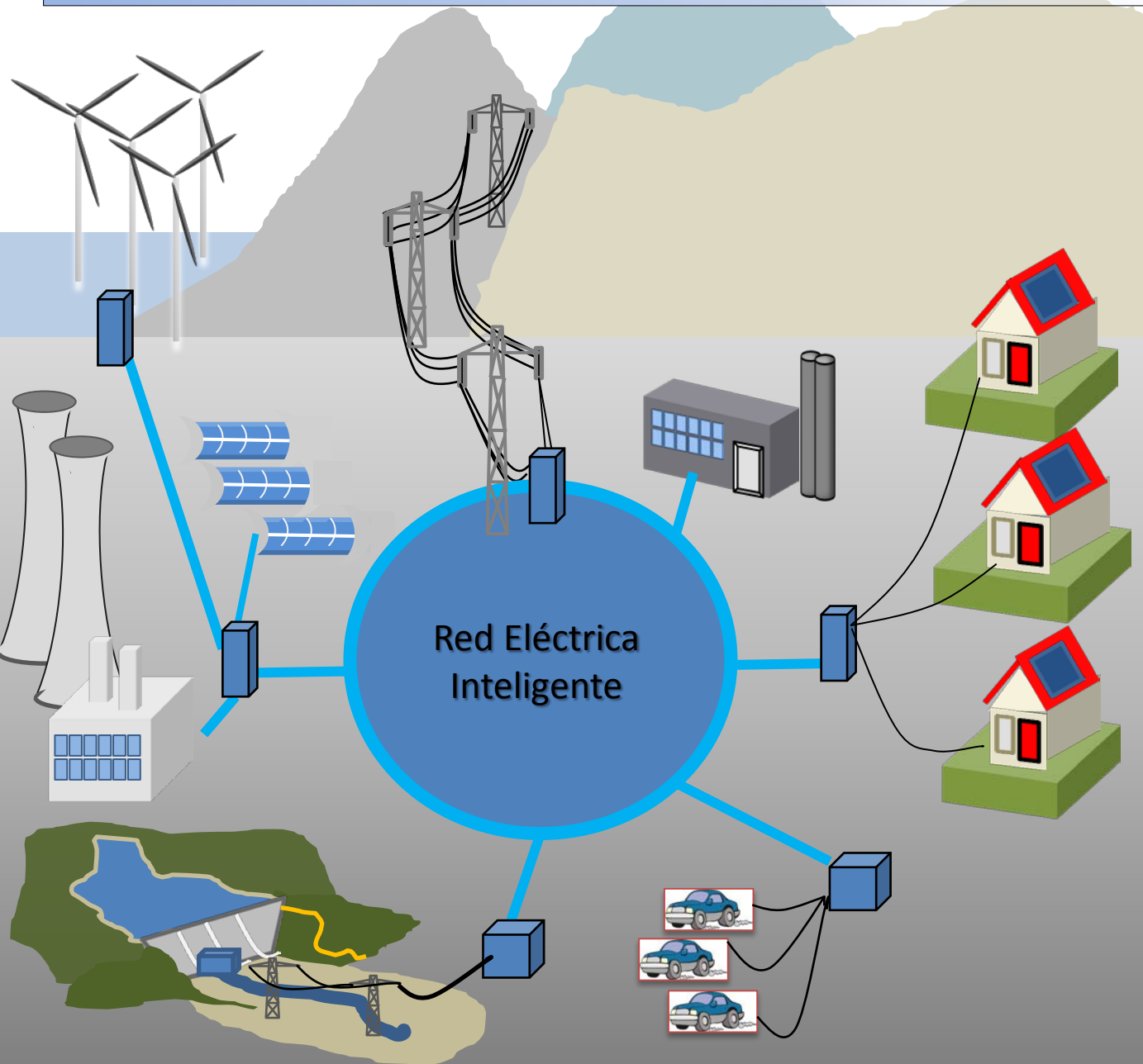


## Templado por inducción



- ✱ Introducción
- ✱ Retos de la Calidad de la Potencia
- ✱ **Calidad de la Potencia y Redes Eléctricas Inteligentes**
- ✱ Nuevos métodos de medición de Calidad de la Potencia para Redes Eléctricas Inteligentes
- ✱ Conclusiones

- ✓ Incremento en el uso de fuentes de Energías Renovables
- ✓ Precios competitivos de energía
- ✓ Reducción de costos de instalación de recursos de transmisión y distribución en sistemas con Energías Renovables
- ✓ Imprescindibles para integrar Energías Renovables
  - Métodos de medición de tiempo real
  - Cumplimiento de normas técnicas y regulaciones



## Necesidades:

- Medición de flujo de potencia bidireccional
- Generación remota y local
- Monitoreo de Redes de Área Ampla (WANs)
- Protección y control
- Energías limpias (viento, solares, geotérmicas, marinas)
- Medidores inteligentes

## Retos:

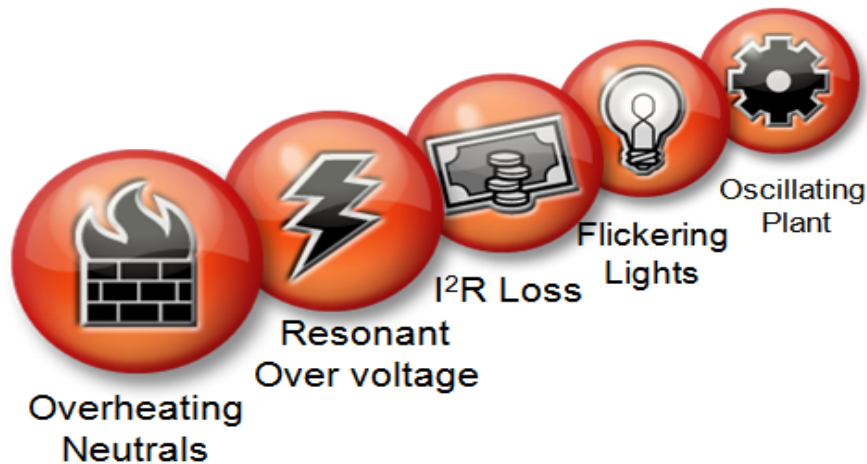
- Medición de grandes cantidades de potencia confiable, en el lugar y tiempo correctos.



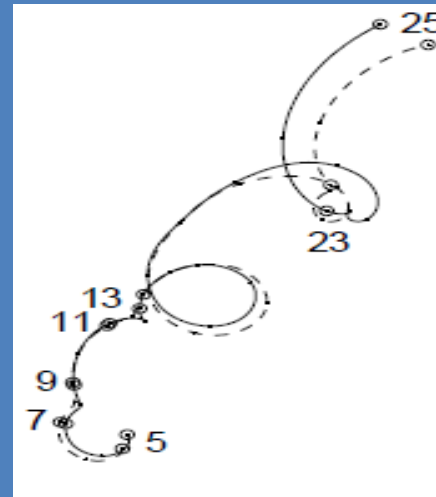
# Condiciones de la Red: Calidad de la Potencia

## Estudio (Leonardo Institute):

"PQ costs in Europe are responsible for serious reduction in industrial performance with an economic impact exceeding € 150 000 million/year"



## *Calidad de la Potencia en Área Ampla*



*Impedancia de Redes*



*Pruebas en sitio sobre fuentes renovables*

# Energías renovables en la planeación de REI



**Generación  
intermitente**



**Cargas no  
lineales**



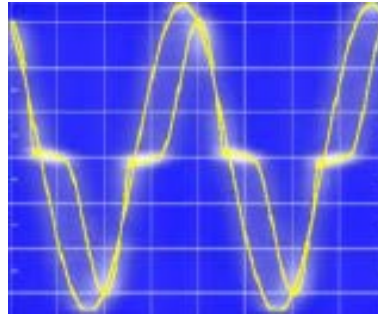
**Afectación a la  
Calidad de la  
Potencia**



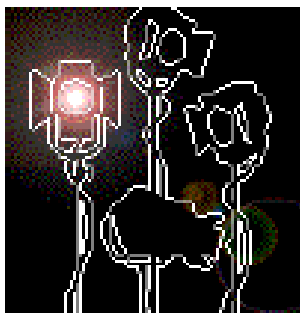
**Cargas variantes**

- Interoperabilidad de tecnologías de medición:  
**SEMÁNTICA**=un mismo fenómeno, resultados de medición similares
- Métodos de medición en tiempo real

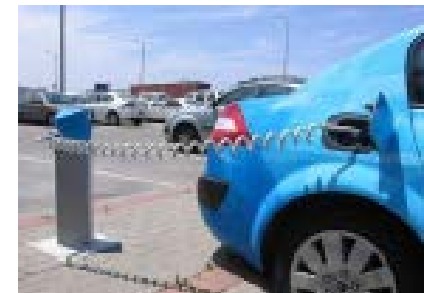
# Energías Renovables y Calidad de la Potencia



Las energías renovables son intermitentes y su uso incrementado en Generación Distribuida degrada considerablemente la Calidad de la Potencia.

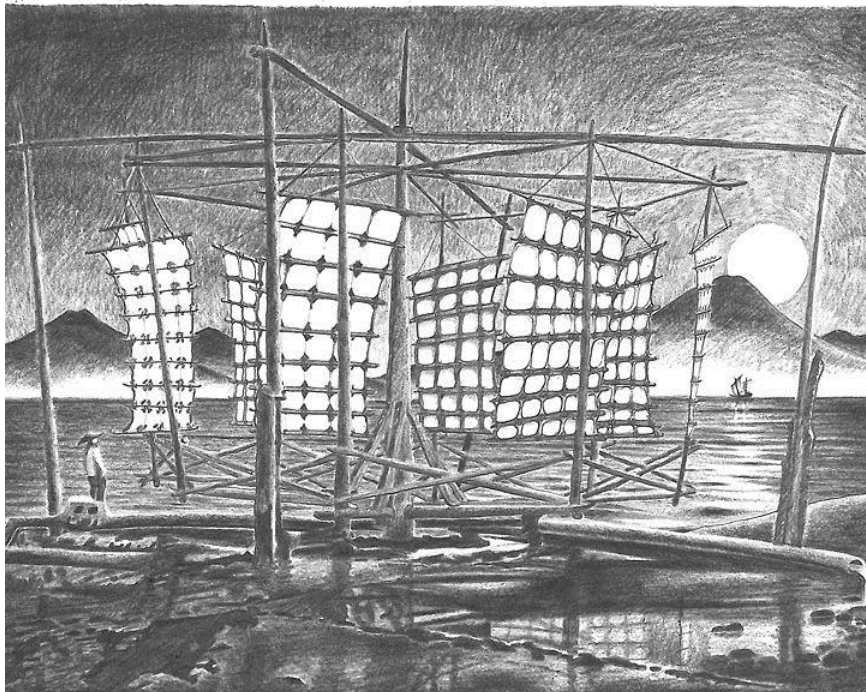


Las REI permiten el balance dinámico entre fuentes de energía renovable y la demanda incrementada /no lineal, para evitar la degradación de la Calidad de la Potencia.

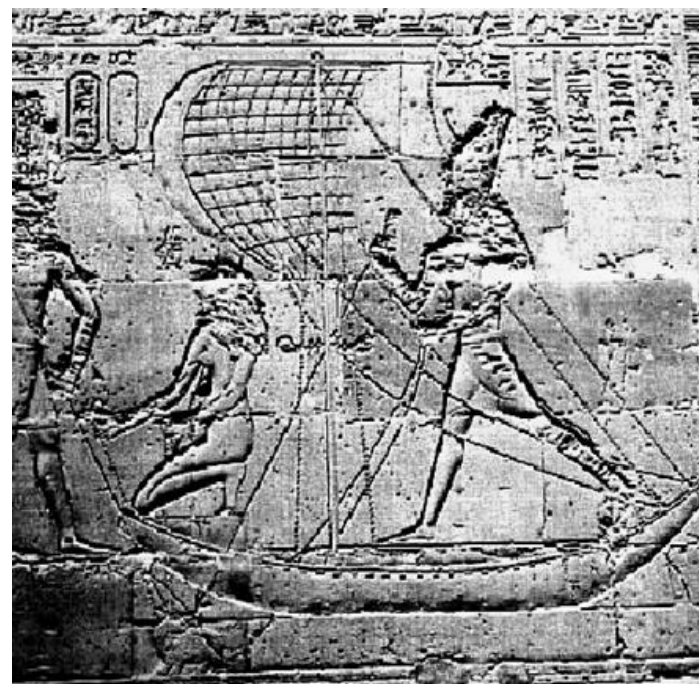




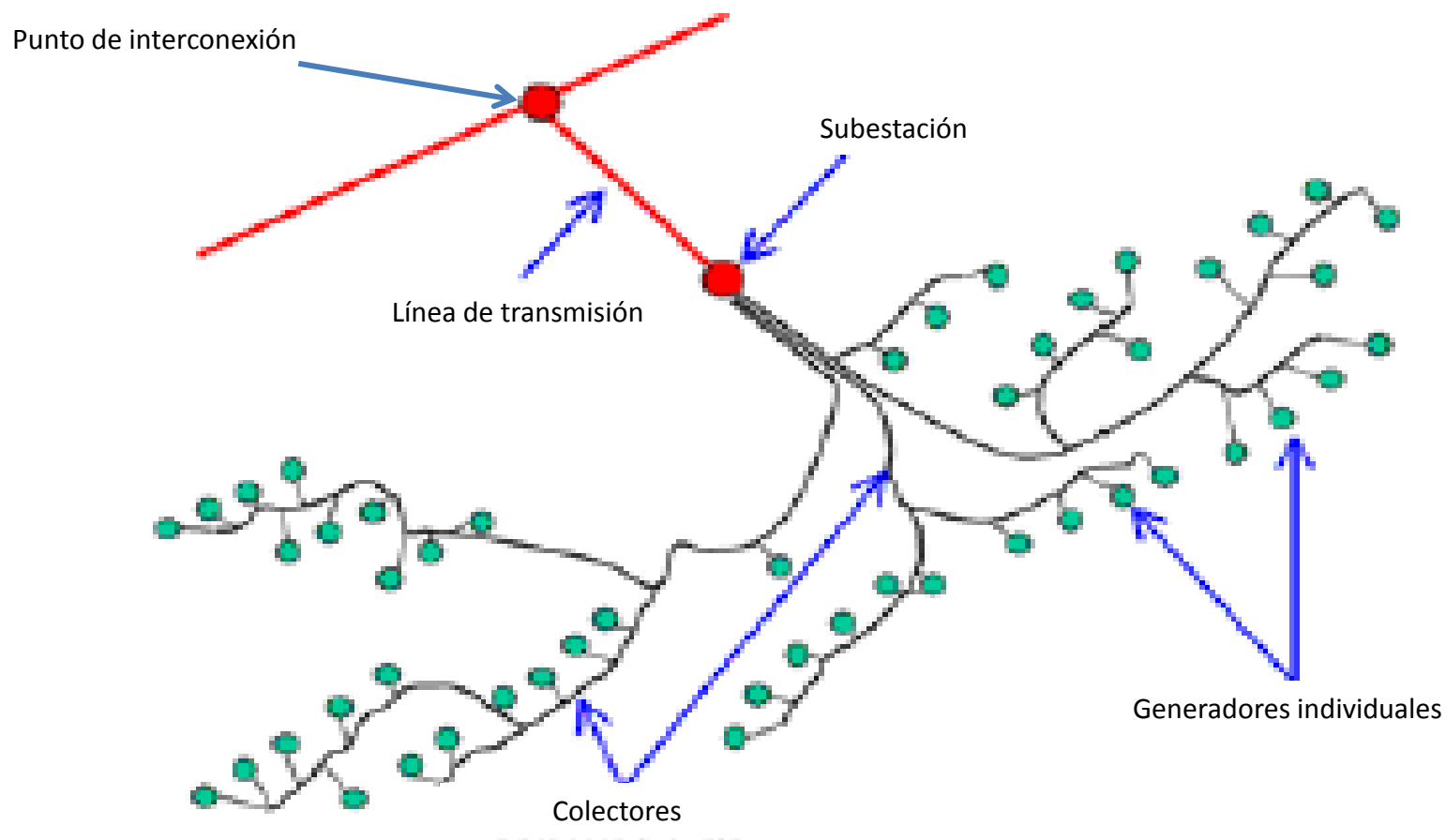
Molinos de viento, China/1500 AC



Barcos de vela, Egipto/1500 AC

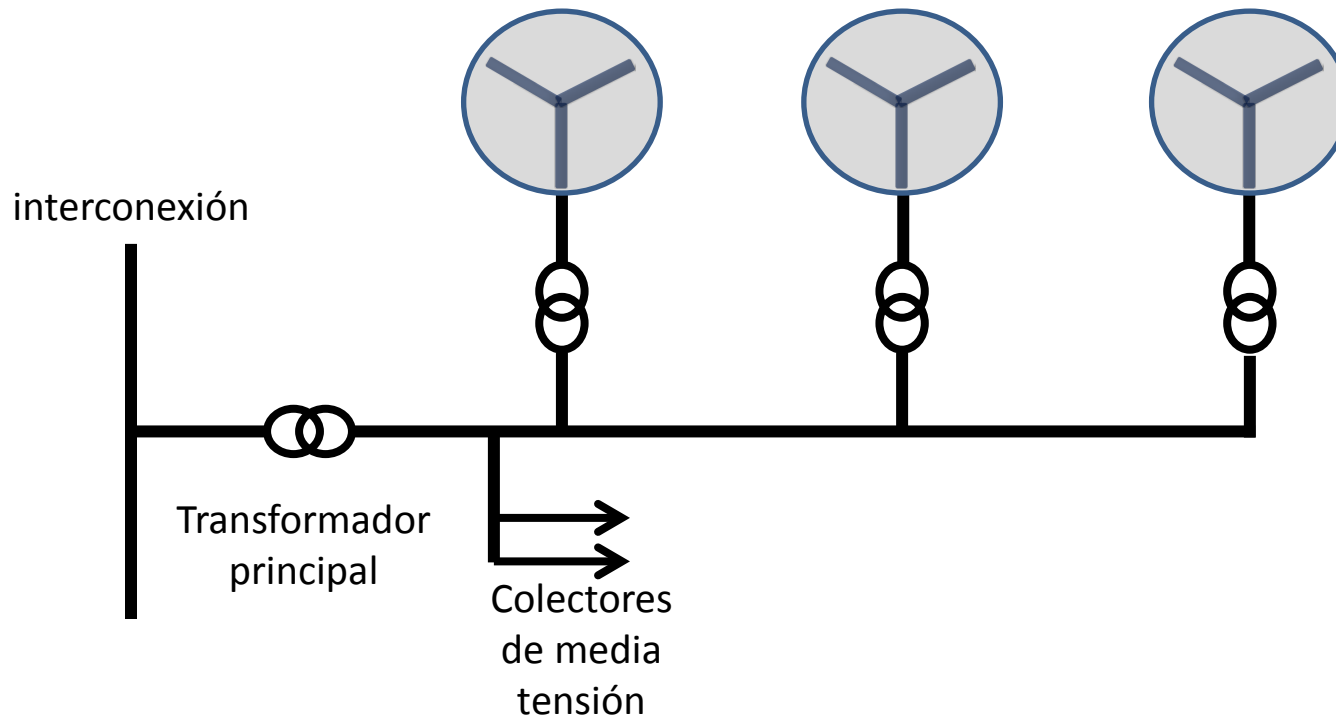


fotos: Elvira Kronlob



**Topología de un parque de turbinas viento**

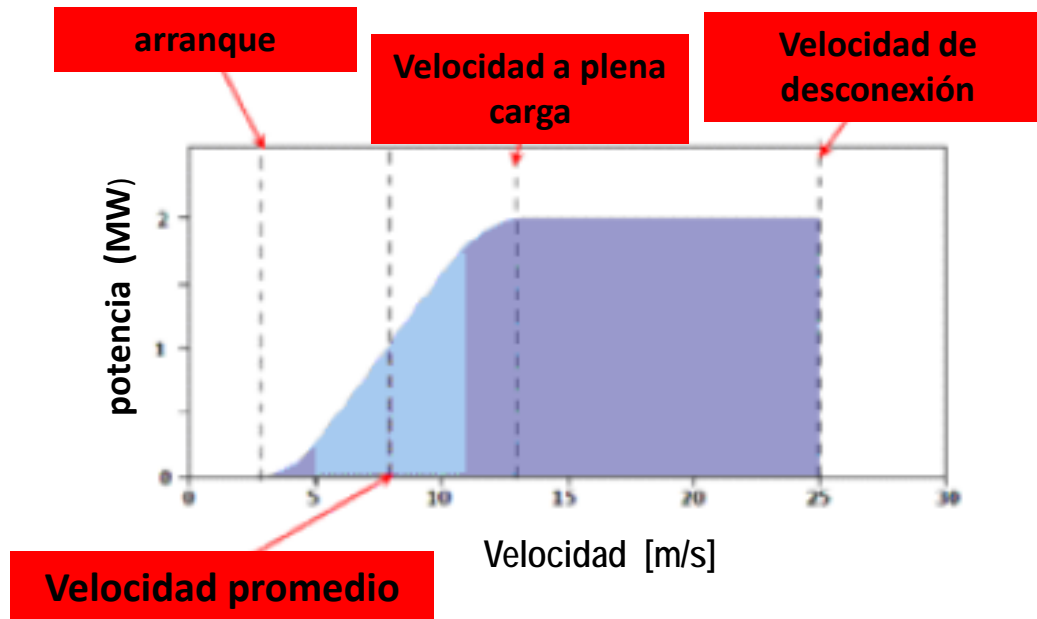
## Turbinas de viento



### Funcionalidades de Smart Grid:

- ✓ Proporcionar una plataforma dinámica para interconexión libre y segura de generación de energías renovables a sistemas de potencia
- ✓ Asegurar la calidad de la potencia y el desarrollo sustentable

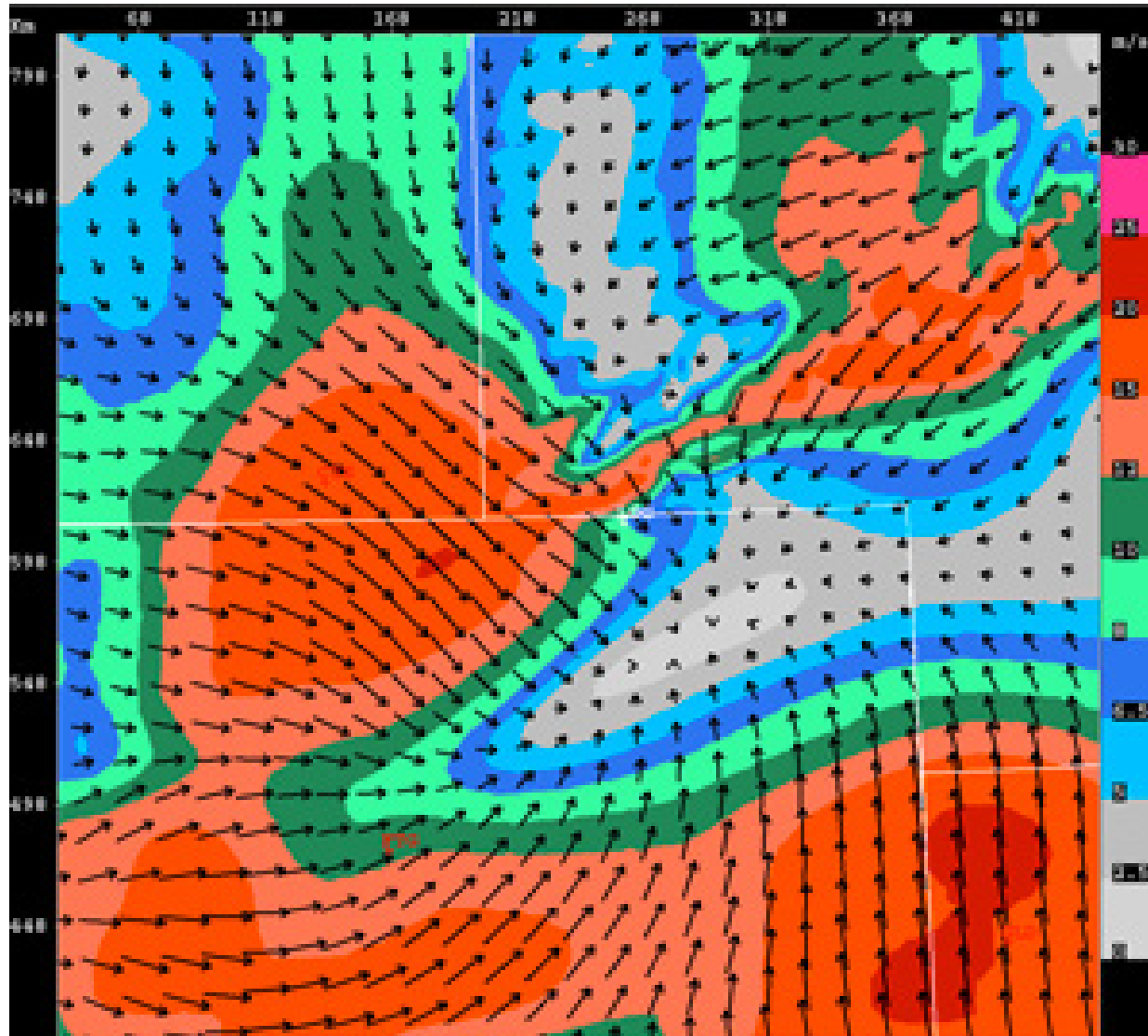
## Curva de velocidad-potencia



## Generador eólico

Comparadas con la generación convencional, las energías renovables son mucho más inciertas

# Energías renovables: intermitentes por naturaleza



Variational Doppler  
Radar Analysis  
System (VDRAS).  
En Colorado y  
estados vecinos EUA.

Velocidad de viento:

gris: baja velocidad

rojo: alta velocidad

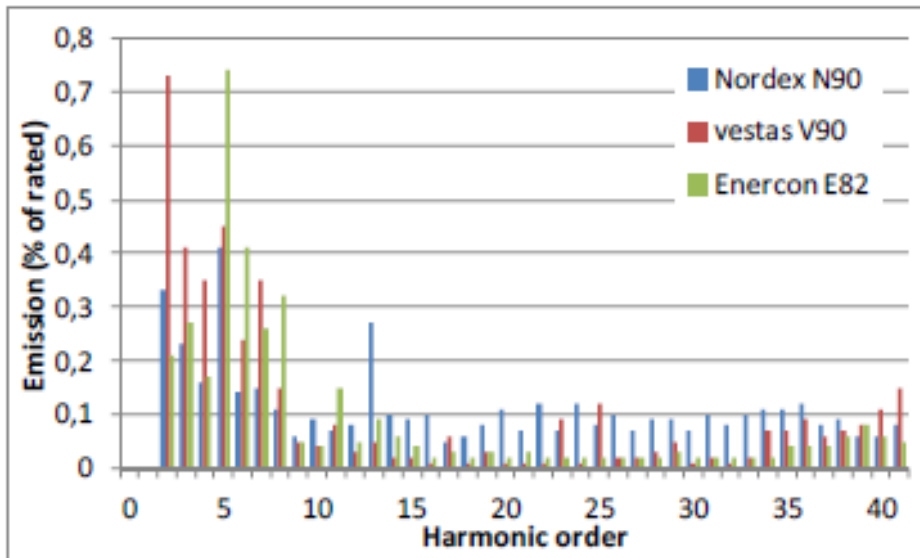
Imagen: NACAR/IEEE Spectrum, Marzo 2016

**Taming Wind Power With Better Forecasts** Sophisticated weather simulations are making wind power more grid friendly, Sue Ellen Haupt & William P. Mahoney

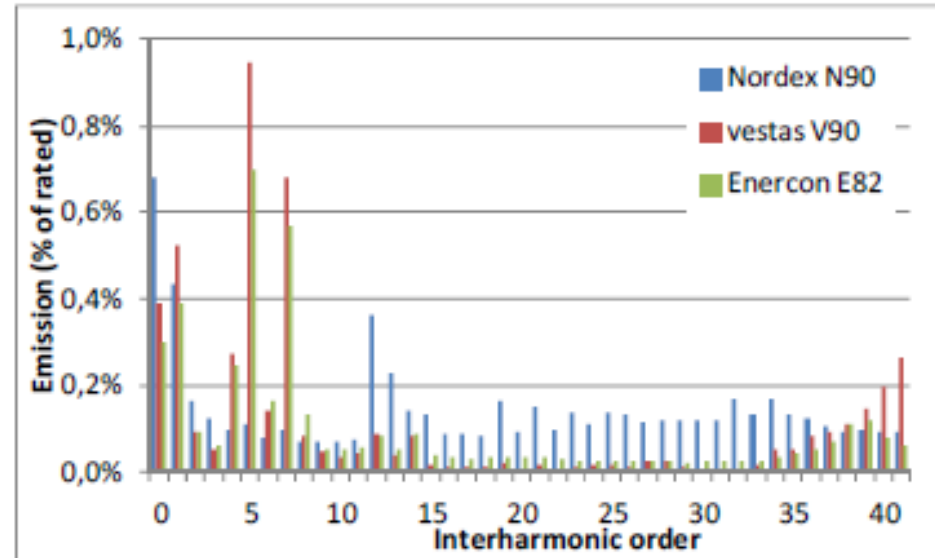


Condiciones operativas de la turbina	Características de Calidad de la Potencia a ser probadas	
Operación continua	Coeficiente Flicker determinado a diferentes ángulos de fase de la impedancia de la red eléctrica	
Condiciones de conexión	Número máximo de operaciones de conexión @ 10 min y 2 h.	Flicker a diferentes ángulos de fase de la impedancia de la red
Armónicas e interarmónicas de corriente	Porcentaje de la armónica 50 respecto de la componente de corriente fundamental	BIN's potencia activa: 0, 10 ... 100 %
Respuesta a abatimientos de tensión	Amplitud de tensión	Duración y forma de onda
Potencia activa	Set point control	Soporte del sistema automático de frecuencia
Potencia reactiva	Set point control	Soporte del sistema automático de tensión
Protección de la red	Niveles de desconexión	Tiempos de desconexión
Tiempo de reconexion	Debidas a fallas en la red	

## Condiciones en la red: calidad de la potencia de turbinas de viento



Espectro de emisiones (armónicas) de tres turbinas de viento de 2 a 2.5 MW)

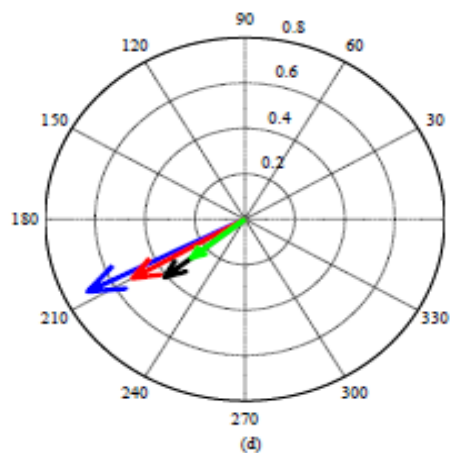
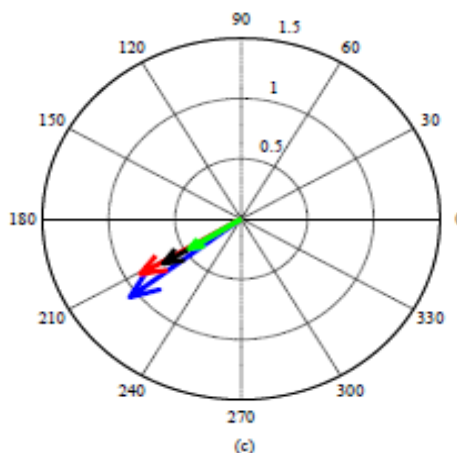
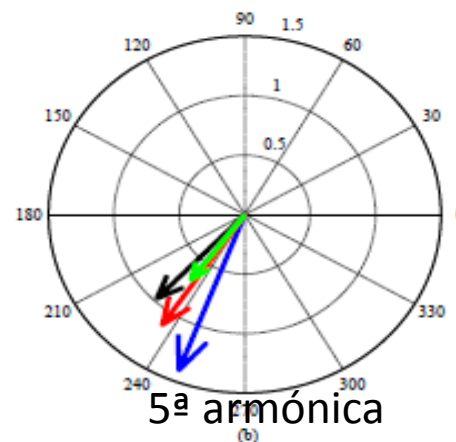
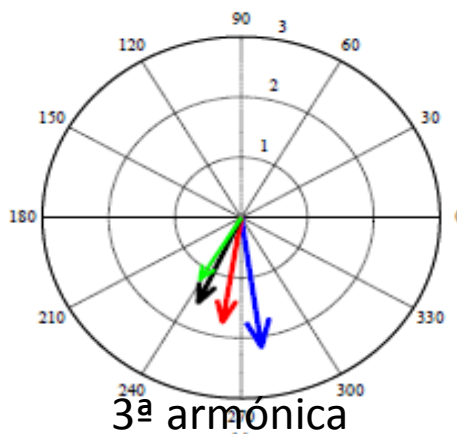


Espectro de emisiones (interarmónicas) de tres turbinas de viento de 2 a 2.5 MW)

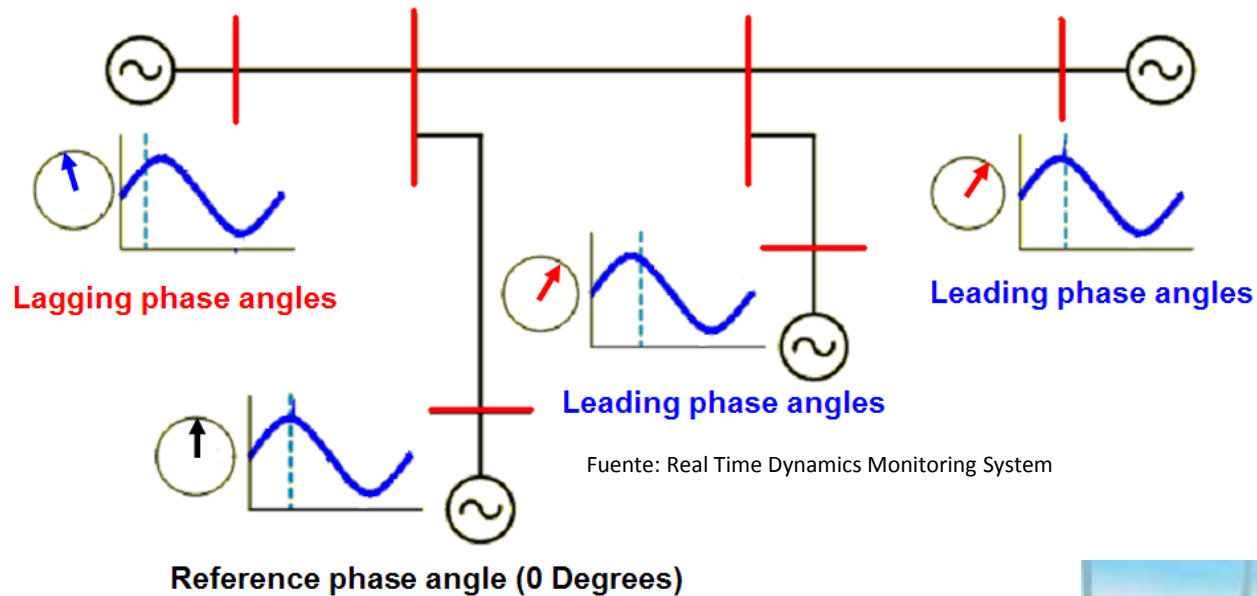
Bollen, M., and Yang K., "Harmonics – another aspect of the interaction between wind power installations and the grid", 22nd International Conference on Electricity Distribution, CIRED, June 2013

## Efectos de armónicos en el ángulo de fase del inversor de un fotovoltaico

**Potencia:**  
100 % (azul)  
75 % (rojo)  
50 % (negro)  
25 % (verde)

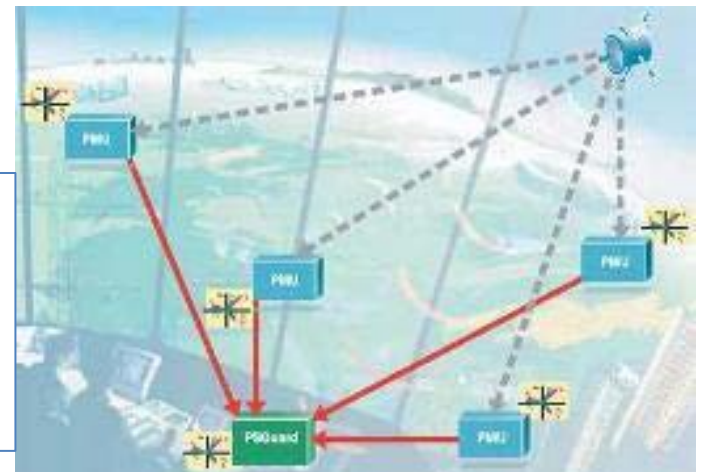


## Nuevas aplicaciones de Sincrofasores:



➤ Determinar parámetros operativos de la red

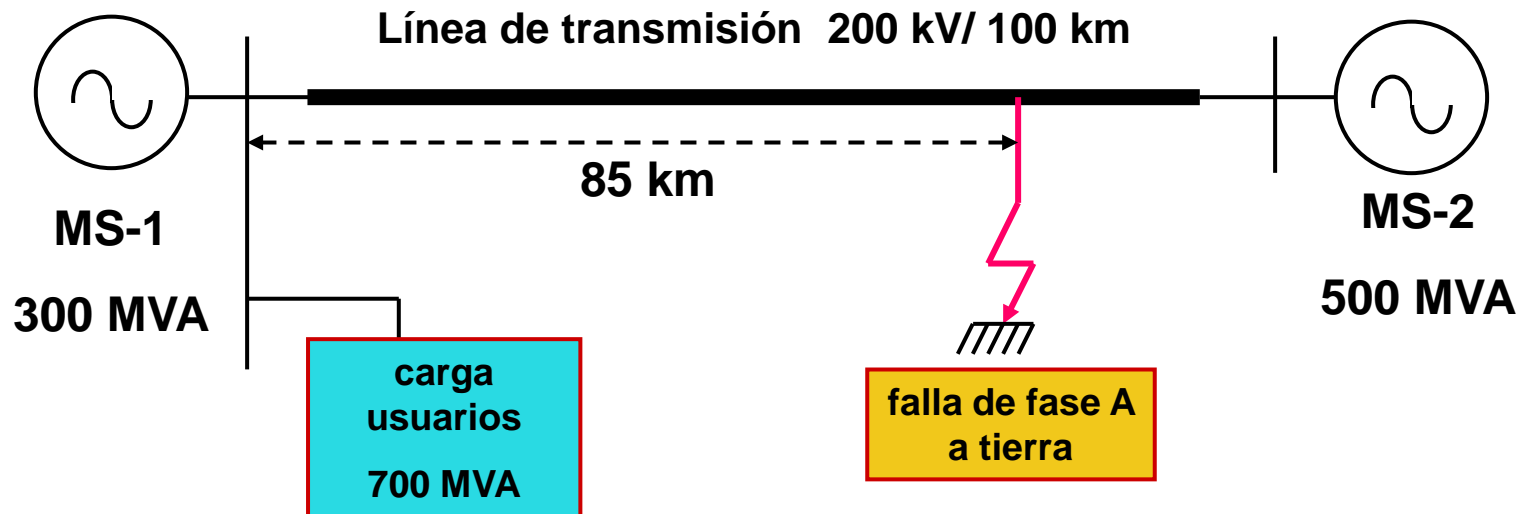
➤ Determinar el desempeño de la red sobre un área geográfica amplia



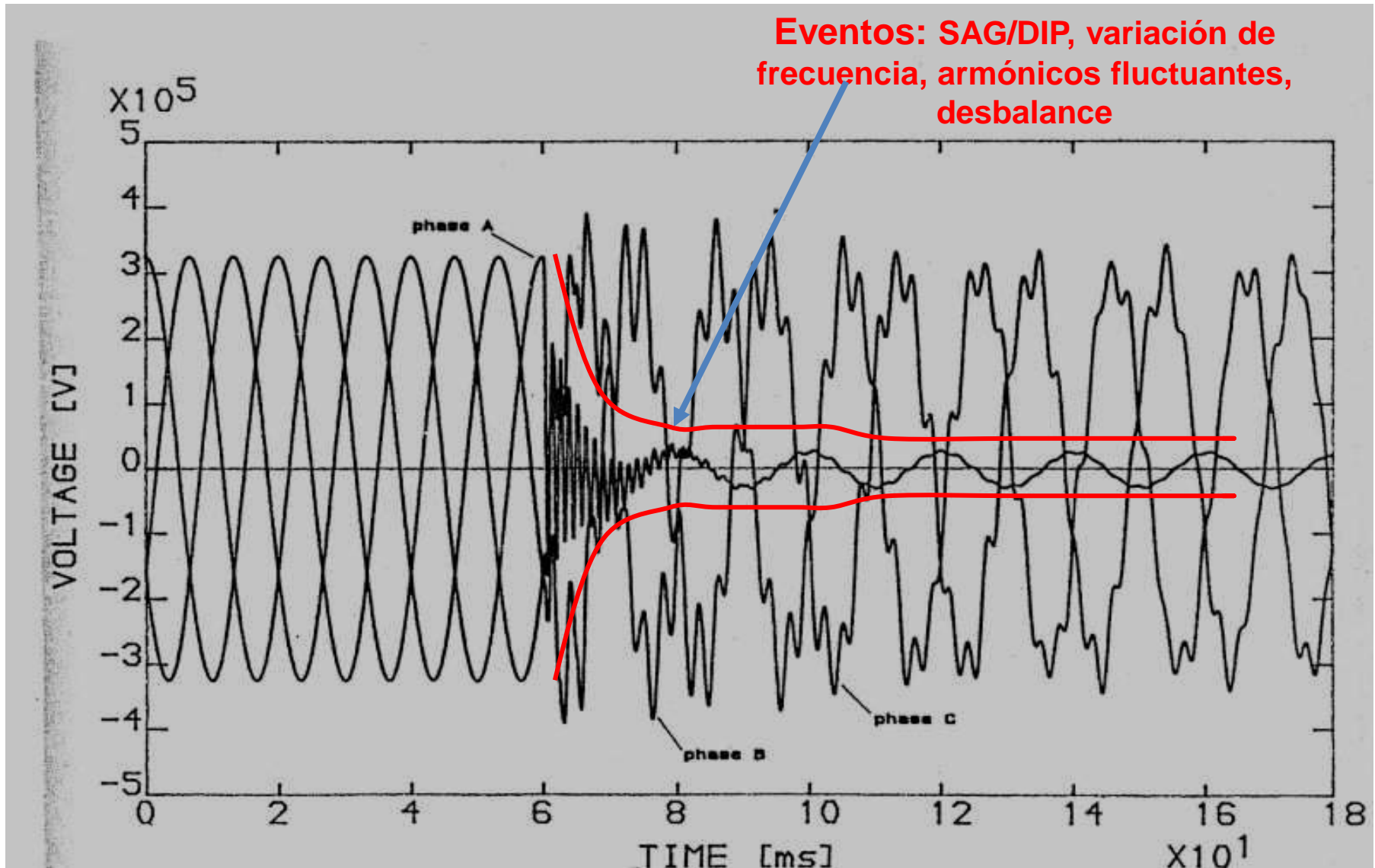
# Redes eléctricas asistidas por sincrofasores (PMU)

Análisis	Control del sistema	Protección
<ul style="list-style-type: none"><li>• Estado del sistema de potencia: determinación en tiempo real de las condiciones estáticas y dinámicas de la red</li><li>• Alerta de Área Amplia (WASA : wide area situational awareness)</li><li>• Monitoreo de<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Estabilidad de tensión</li><li>➤ Estrés del ángulo de fase</li></ul></li><li>• Atención de fallas en tiempo real (Análisis de fallas “post-mortem”)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Modelo eléctrico de la red</li><li>➤ Área amplia en tiempo real</li><li>➤ Potencia activa (estabilidad frecuencia)</li><li>➤ Potencia reactiva (estabilidad de tensión)</li><li>➤ Generación Distribuida</li><li>➤ Reservas de planeación</li><li>• Sincronización</li><li>• Integración de energías renovables</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Liberación de carga</li><li>➤ Modo adaptable de isla</li><li>➤ Variación de la demanda</li><li>➤ ROCOF (rate of change of frequency)</li><li>➤ Compensación de carga reactiva</li><li>• Resiliencia</li><li>• PMUs en Distribucion:<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Detección de fallas desde el momento de inicio</li><li>✓ Localización de fallas</li></ul></li></ul>

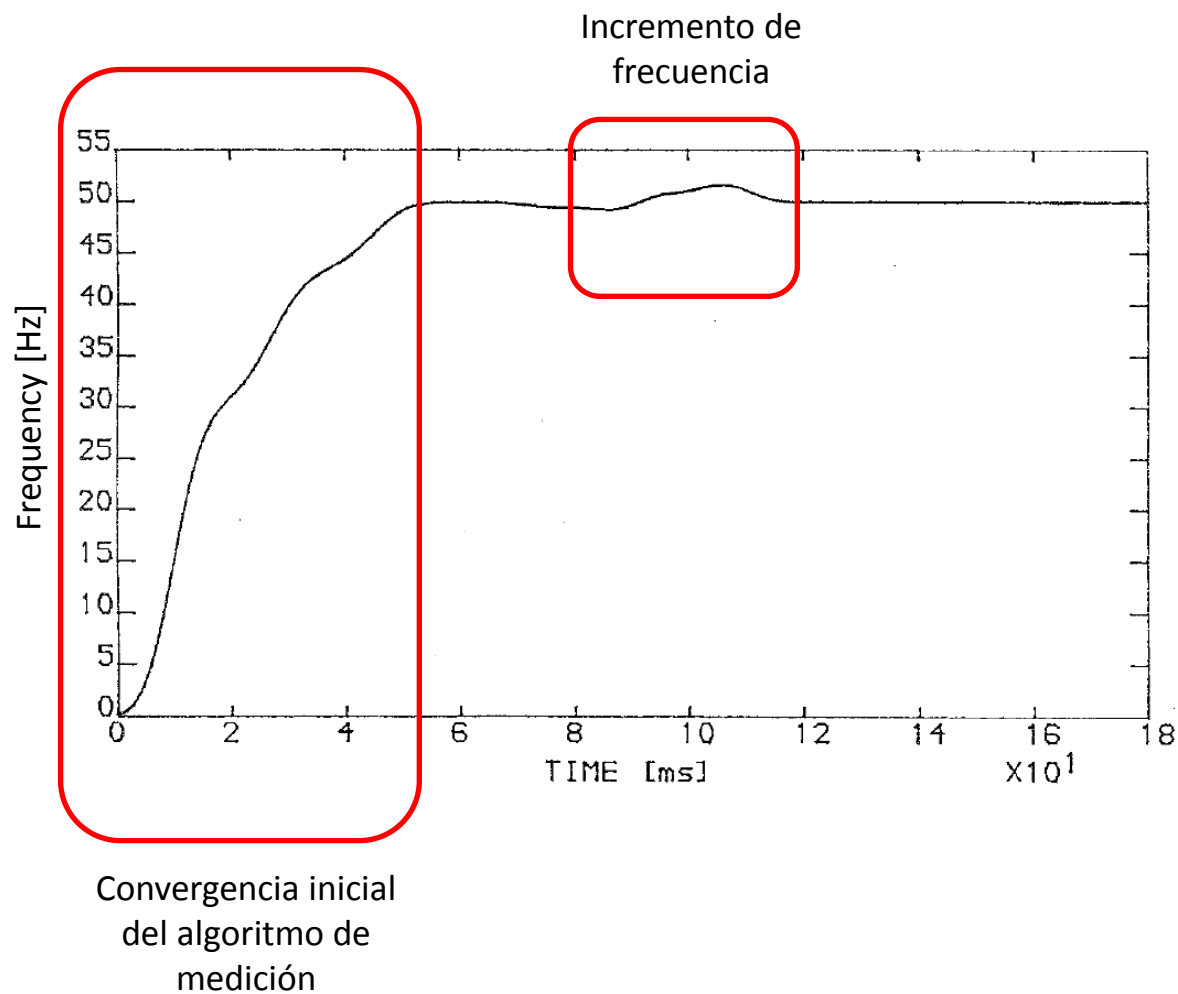
## Eventos que afectan la calidad de la energía eléctrica



# Calidad de la Potencia al momento de una falla



# Calidad de la Potencia al momento de una falla

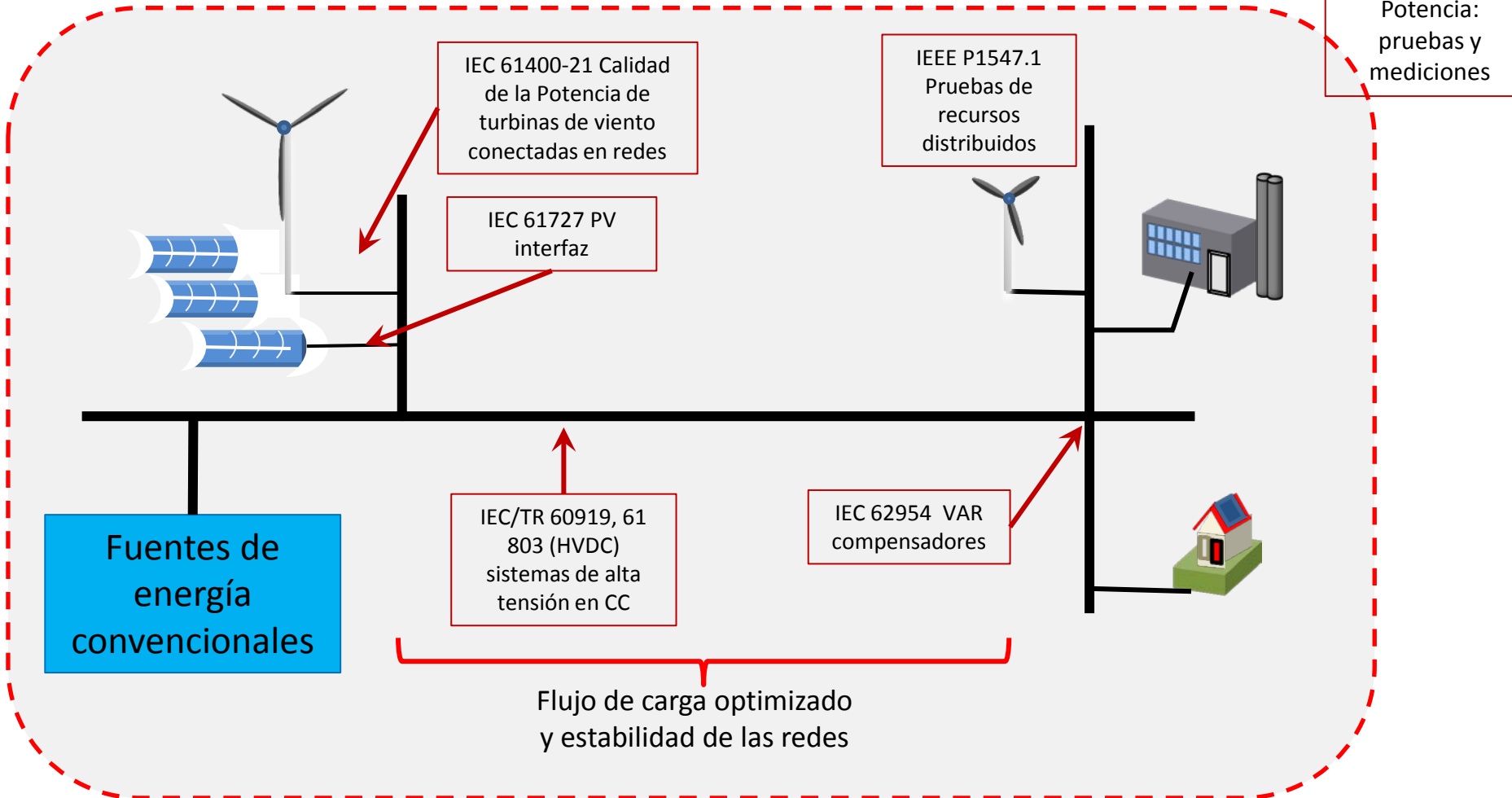




- ✱ Introducción
- ✱ Retos de la Calidad de la Potencia
- ✱ Calidad de la Potencia y Redes Eléctricas Inteligentes
- ✱ **Nuevos métodos de medición de Calidad de la Potencia para Redes Eléctricas Inteligentes**
- ✱ Conclusiones

Aplicaciones	Características de las mediciones
Propagación de disturbios	Múltiples analizadores de CP sincronizados en transmisión o distribución
Localización disturbios y fallas	Mediciones sincronizadas de amplitud/fase para determinar flujos de potencia asociados con disturbios y fallas
Impedancia de red y resonancias	Mediciones sincronizadas de área amplia para determinar la impedancia de la red e identificar conflictos de resonancia
PMUs en Distribución	Distancias muy cortas que requieren métodos de medición muy rápidos y robustos ante disturbios de CP
Caracterización de transductores	Mediciones de banda ancha permiten la evaluación de transductores (transformadores de tensión y corriente)

## Normas internacionales para la conexión e interconexión de energías renovables



Norma Internacional  
sobre pruebas y  
técnicas de medición  
de Calidad de la  
Potencia



## ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC) –

### Part 4-30: Testing and measurement techniques – Power quality measurement methods

61000-4-30, 2015:

Incluye  
parámetros  
adicionales

emisiones en el  
intervalo de 2 kHz a  
150 kHz; así como  
sobre y bajo  
desviaciones

#### 1 Scope

This part of IEC 61000-4 defines the methods for measurement and interpretation of results for power quality parameters in ~~50/60 Hz~~ a.c. power supply systems ~~with a declared fundamental frequency of 50 Hz or 60 Hz.~~

Measurement methods are described for each relevant parameter in terms that give reliable and repeatable results, regardless of the method's implementation. This standard addresses measurement methods for in-situ measurements.

Measurement of parameters covered by this standard is limited to ~~voltage conducted phenomena that can be conducted~~ in power systems. The power quality parameters considered in this standard are power frequency, magnitude of the supply voltage, flicker, supply voltage dips and swells, voltage interruptions, transient voltages, supply voltage unbalance, voltage harmonics and interharmonics, mains signalling on the supply voltage, rapid voltage changes, and current measurements. Emissions in the 2 kHz to 150 kHz range are considered in Annex C (Informative), and over- and underdeviations are considered in Annex D (Informative). Depending on the purpose of the measurement, all or a subset of the phenomena on this list may be measured.

NOTE 1 ~~Information about current parameters may be found in A-3 and A-5. Test methods for verifying compliance with this standard can be found in IEC 62588-2.~~

~~This standard gives measurement methods and appropriate performance requirements, but does not set thresholds.~~

NOTE 2 The effects of transducers inserted between the power system and the instrument are acknowledged but not addressed in detail in this standard. ~~Precautions on installing monitors on live circuits are addressed.~~ Guidance about effects of transducers ~~may~~ can be found in ~~IEC 61667-12~~ IEC TR 61669-103.

61000-4-30, 2015:

Parámetros  
adicionales de  
corriente

5.7	Supply voltage unbalance	32
5.7.1	Measurement method	32
5.7.2	Measurement uncertainty and measuring range	33
5.7.3	Measurement evaluation	34
5.7.4	Aggregation	34
5.8	Voltage harmonics	34
5.8.1	Measurement method	34
5.8.2	Measurement uncertainty and measuring range	35
5.8.3	Measurement evaluation	35
5.8.4	Aggregation	35
5.9	Voltage interharmonics	35
5.9.1	Measurement method	35
5.9.2	Measurement uncertainty and measuring range	35
5.9.3	Evaluation	36
5.9.4	Aggregation	36
5.10	Mains signalling voltage on the supply voltage	36
5.10.1	General	36
5.10.2	Measurement method	36
5.10.3	Measurement evaluation	37
5.10.3	Measurement uncertainty and measuring range	37
5.10.4	Aggregation	37
5.11	Rapid voltage changes (RVC)	37
5.11.1	General	37
5.11.2	RVC event detection	37
5.11.3	RVC event evaluation	38
5.11.4	Measurement uncertainty	40
5.12	Measurement of underdeviation and overdeviation parameters	41
5.12.1	Measurement method	41
5.12.2	Measurement uncertainty and measuring range	41
5.12.3	Aggregation	41
5.12	Underdeviation and overdeviation	41
5.13	Current	41
5.13.1	General	41
5.13.2	Magnitude of current	41
5.13.3	Current recording	42
5.13.4	Harmonic currents	42
5.13.5	Interharmonic currents	43
5.13.6	Current unbalance	43
6	Range of influence quantities and steady-state verification Performance verification	43
6.1	Range of influence quantities	43
6.2	Steady-state performance verification	43
Annex A (Informative)	Power quality measurements – Issues and guidelines	49
A.1	General	49
A.2	Installation precautions	49
A.2.1	General	49
A.2.2	Test leads	49
A.2.3	Guarding of live parts	50
A.2.4	Monitor placement	50



# Normas Internacionales v Metrología



This is a preview - click here to buy the full publication

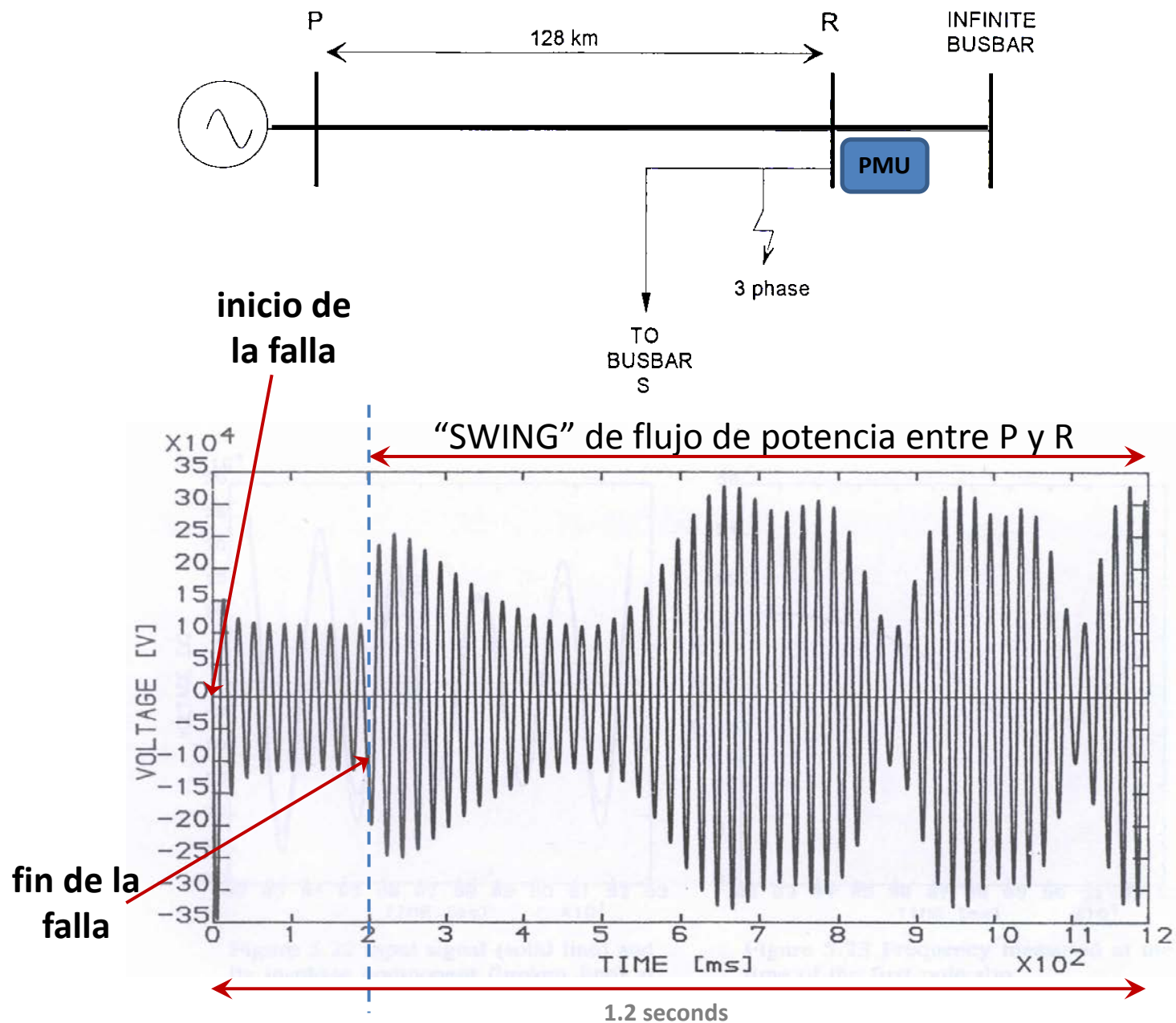
IEC 61000-4-30:2015 RLV © IEC 2015

– 5 –

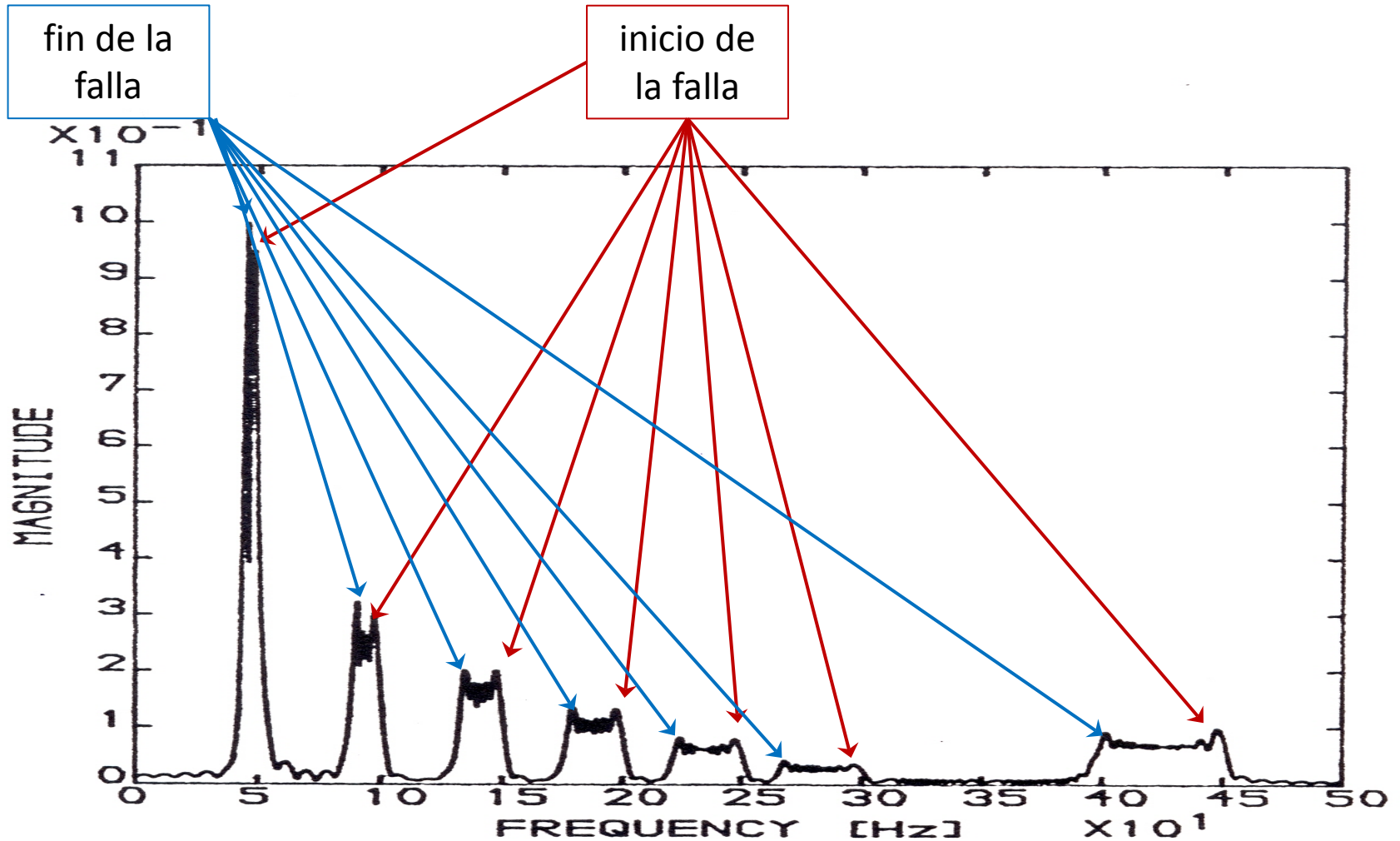
B.6	Statistical analysis of the measured data	72
B.6.1	General	72
B.6.2	Indices	72
B.7	Trouble-shooting applications	72
B.7.1	General	72
B.7.2	Power quality signatures	73
<b>Annex C (Informative) Guidance Instruments</b>		
Annex C (Informative) Conducted emissions in the 2 kHz to 150 kHz range		77
C.1	General	77
C.2	Measurement method – 2 kHz to 9 kHz	77
C.3	Measurement method – 9 kHz to 150 kHz	78
C.4	Measurement range and measurement uncertainty	79
C.5	Aggregation	79
Annex D (Informative) Underdeviation and overdeviation		80
D.1	General	80
D.2	Measurement method	80
D.3	Measurement uncertainty and measuring range	80
D.4	Aggregation	80
Annex E (Informative) Class B Measurement Methods		82
E.1	Background for Class B	82
E.2	Class B – Measurement aggregation over time intervals	82
E.3	Class B – Measurement aggregation algorithm	82
E.4	Class B – Real time clock (RTC) uncertainty	82
E.4.1	General	82
E.4.2	Class B – Frequency – Measurement method	82
E.4.3	Class B – Frequency – Measurement uncertainty	82
E.4.4	Class B – Frequency – Measurement evaluation	83
E.4.5	Class B – Magnitude of the supply – Measurement method	83
E.4.6	Class B – Magnitude of the supply – Measurement uncertainty and measuring range	83
E.5	Class B – Flicker	83
E.5.1	General	83
E.5.2	Class B – Supply voltage dips and swells – Measurement method	83
E.6	Class B – Voltage interruptions	83
E.6.1	General	83
E.6.2	Class B – Supply voltage unbalance – Measurement method	83
E.6.3	Class B – Supply voltage unbalance – Uncertainty	83
E.6.4	Class B – Voltage harmonics – Measurement method	83
E.6.5	Class B – Voltage harmonics – Measurement uncertainty and range	83
E.6.6	Class B – Voltage interharmonics – Measurement method	84
E.6.7	Class B – Voltage interharmonics – Measurement uncertainty and range	84
E.6.8	Class B – Mains signalling voltage – Measurement method	84
E.6.9	Class B – Mains signalling voltage – Measurement uncertainty and range	84
E.6.10	Class B – Current – Measurement method	84
E.6.11	Class B – Current – Measurement uncertainty and range	84
Bibliography		85

61000-4-30, 2015:

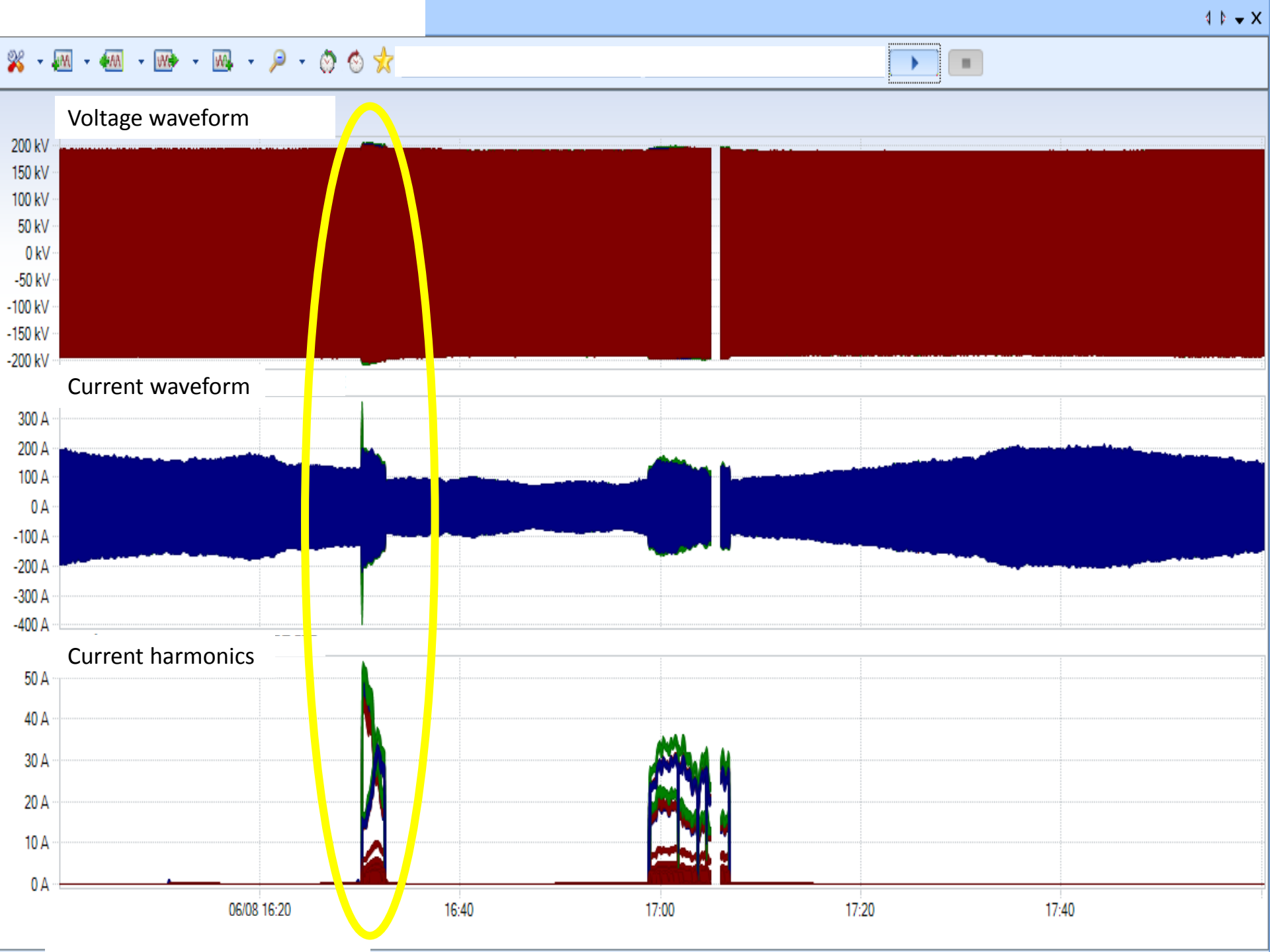
Parámetros  
adicionales de  
flicker con sag y  
swell



## Usando la Transformada de Fourier en sincrofasores (PMU)

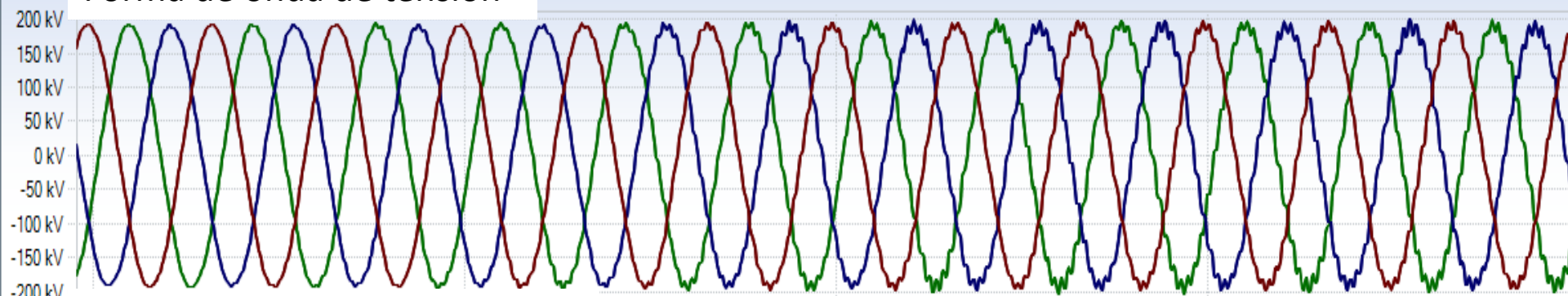


- Condiciones no estacionarias: AM + FM + armónicas fluctuantes
- La Transformada Discreta de Fourier NO ES ADECUADA para estas mediciones

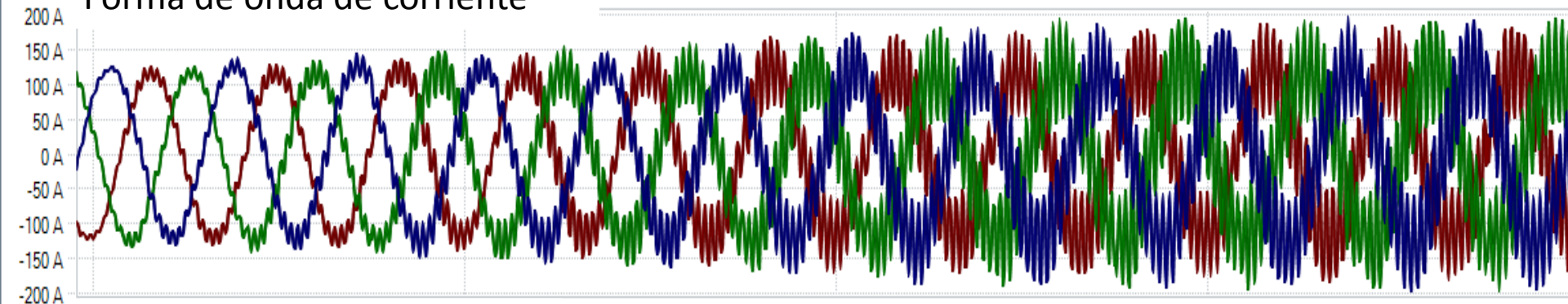




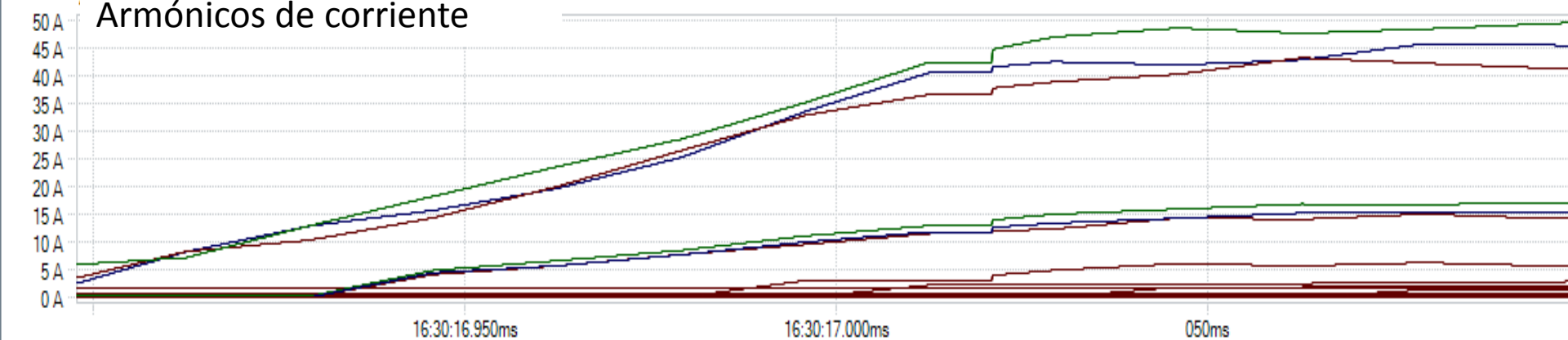
Forma de onda de tensión



Forma de onda de corriente



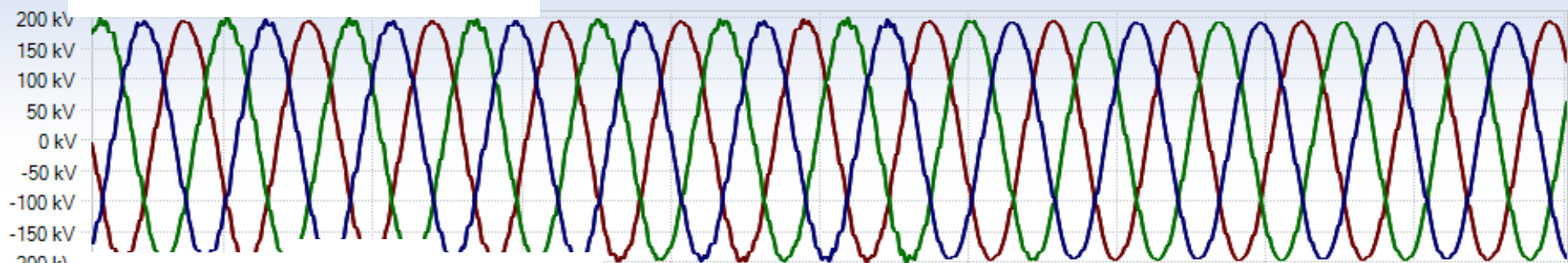
Armónicos de corriente



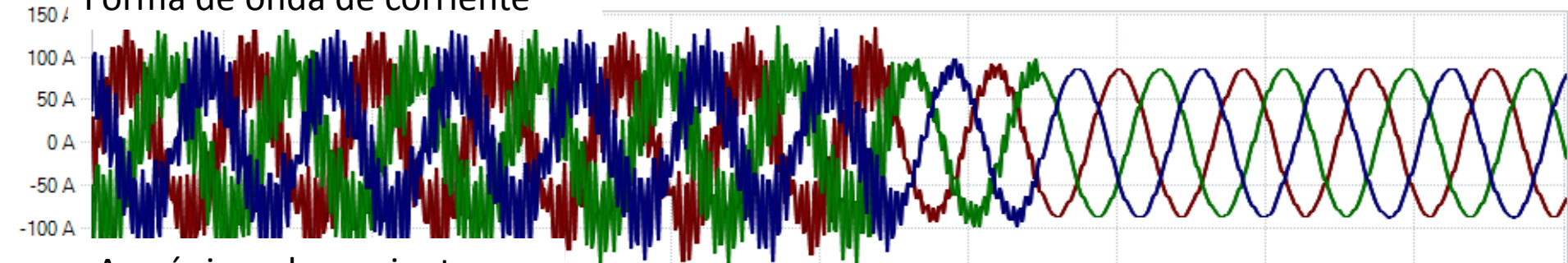




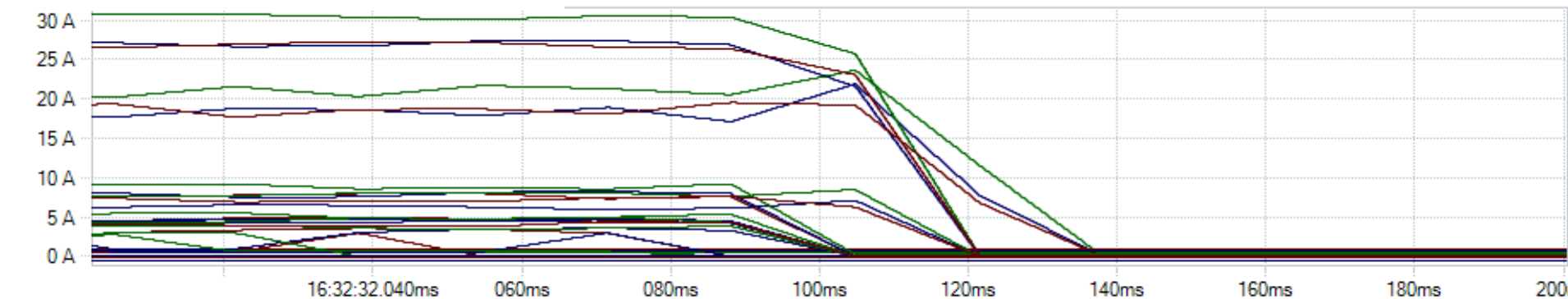
Forma de onda de tensión



Forma de onda de corriente



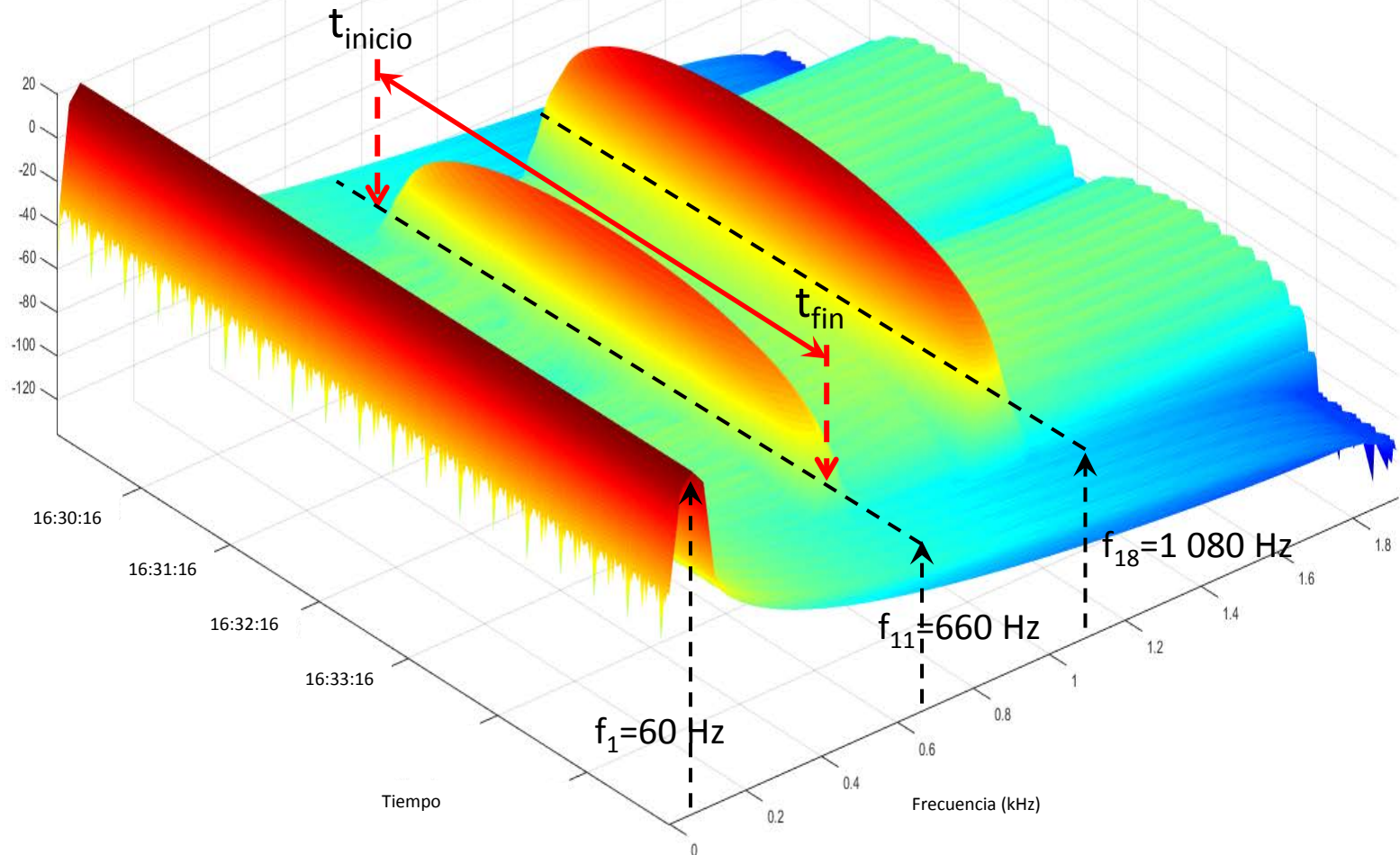
Armónicos de corriente





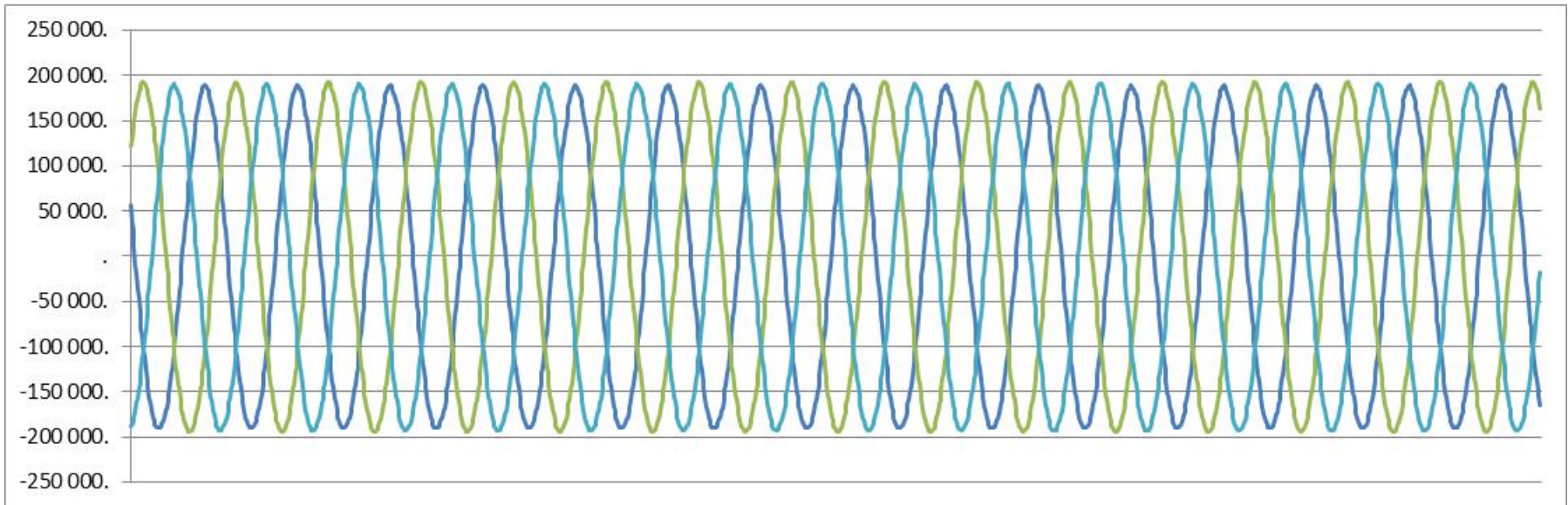
# CENAM: medición de componentes en dominios de tiempo y frecuencia

Análisis de la corriente durante la falla:  
evolución en el tiempo de las armónicas 11 y 18



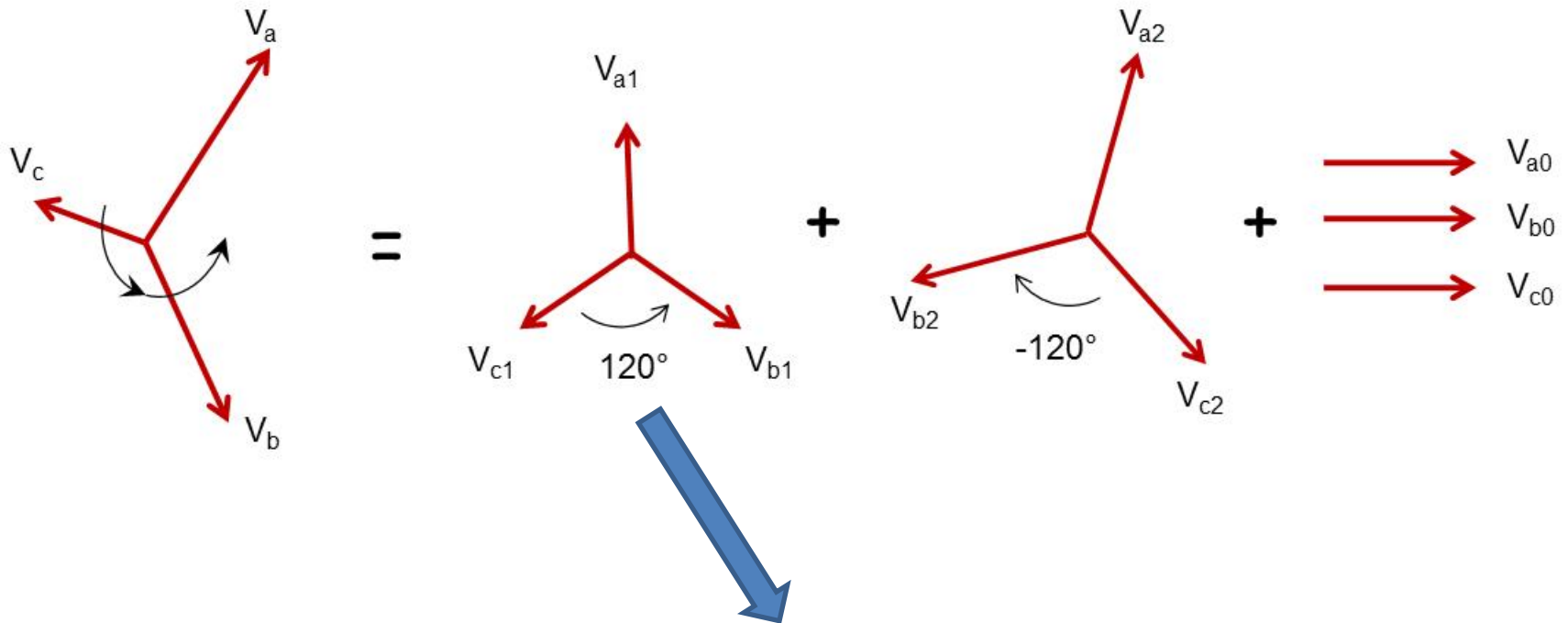
## Medición de frecuencia en tiempo real

FRECUENCIA EN EL SIN DURANTE EL SISMO DE 5.8 GRADOS EL 21 DE ABRIL DE 2013,  
20:16:29



Permiso: CFE Transmisión 2014

1. Se determinó la secuencia positiva del evento



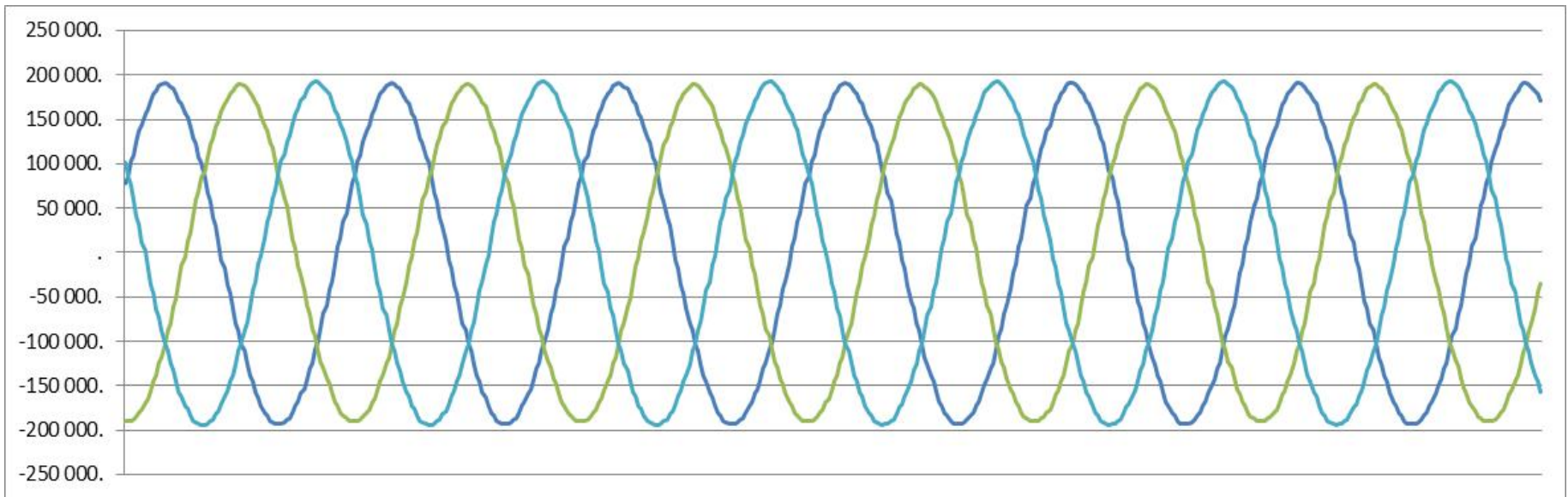
Las componentes de secuencia POSITIVA:

$$V_{a1} = \frac{1}{3}(V_a + hV_b + h^2V_c)$$

$$V_{b1} = h^2V_{a1}$$

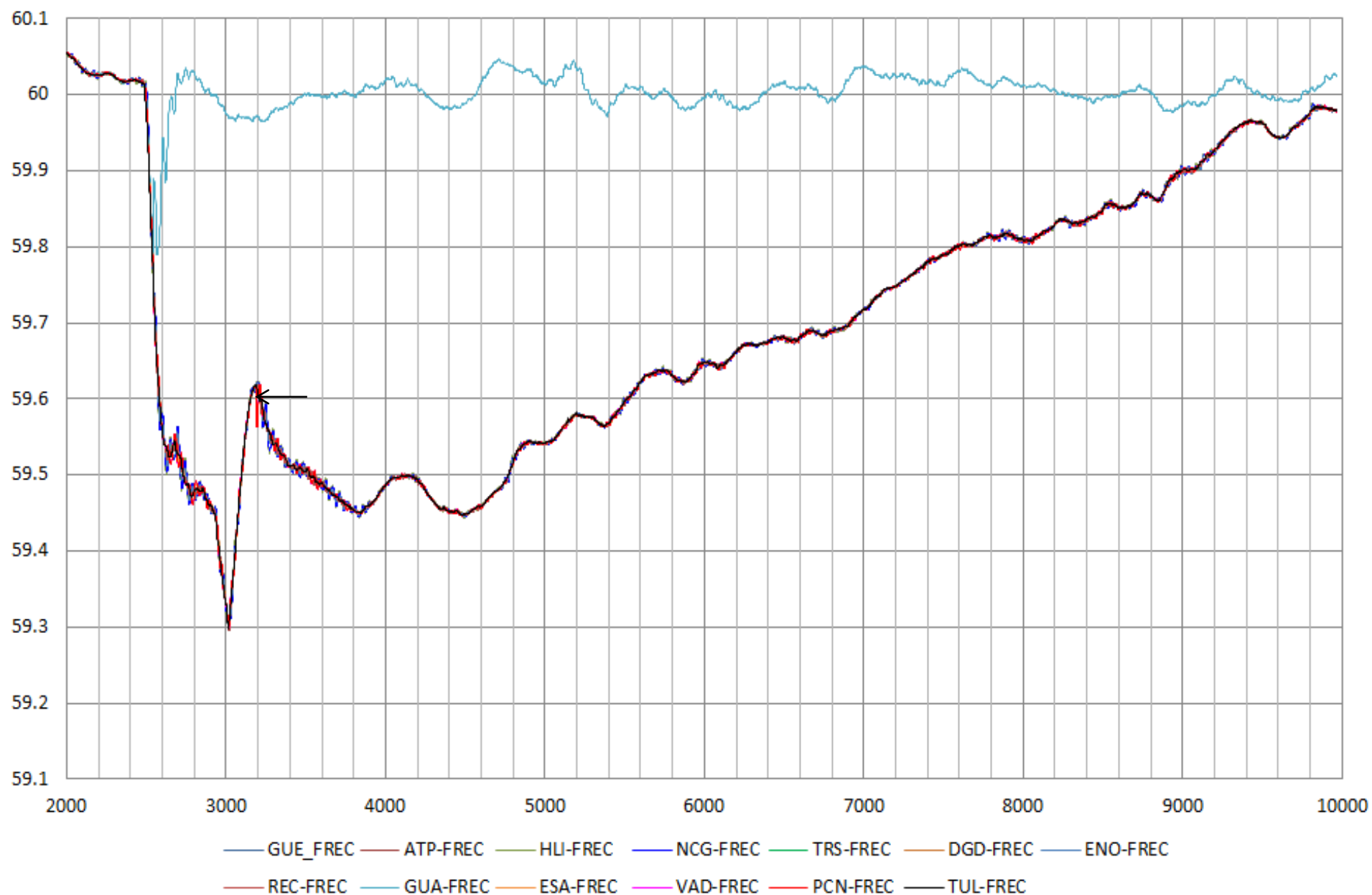
$$V_{c1} = hV_{a1}$$

## 2. La forma de onda de la secuencia positiva del evento:

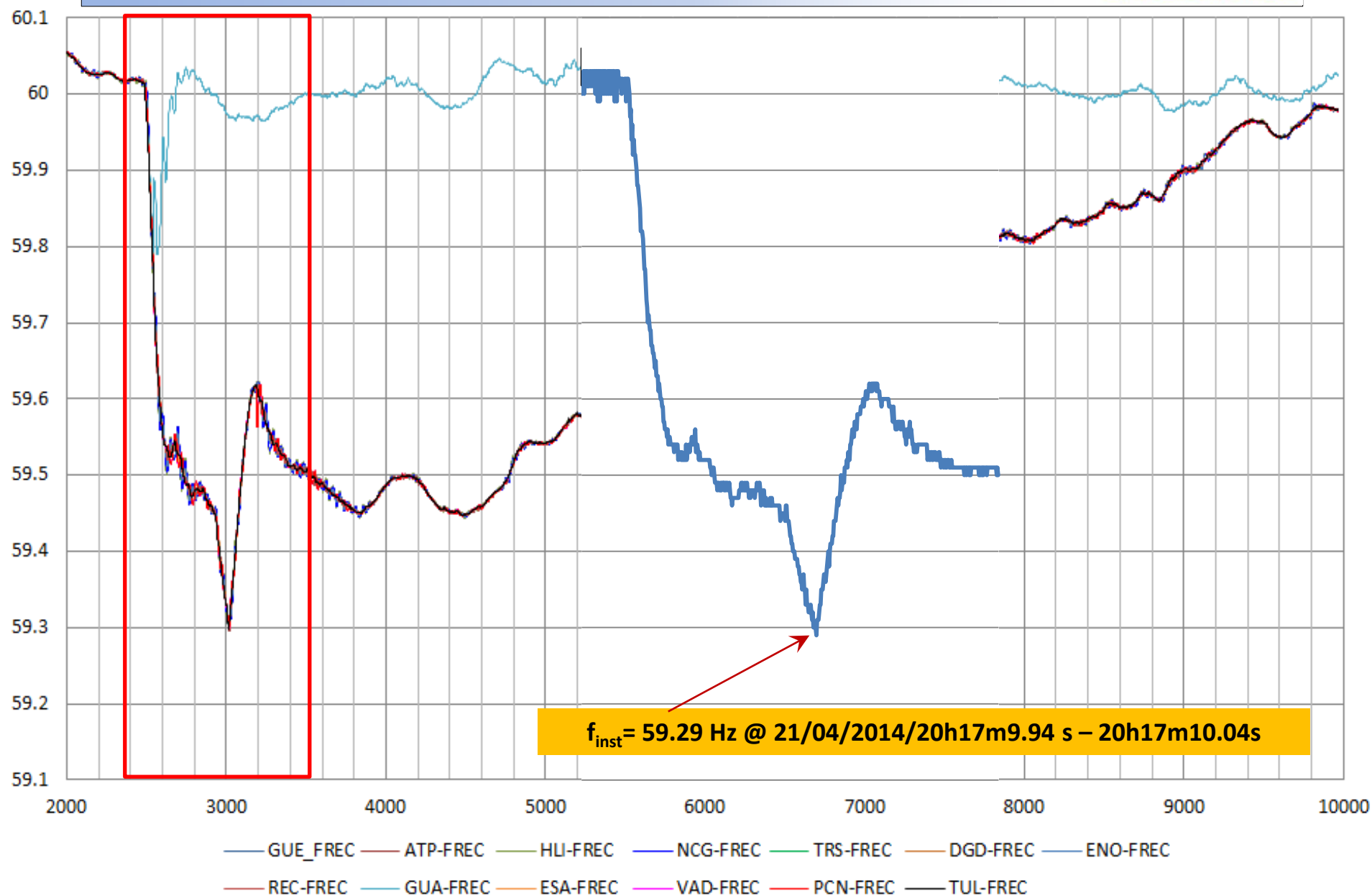


## 3. Se determinó la frecuencia instantánea de la secuencia positiva:

# FRECUENCIA EN EL SIN DURANTE EL SISMO DE 5.8 GRADOS EL 21 DE ABRIL DE 2013, 20:16:29

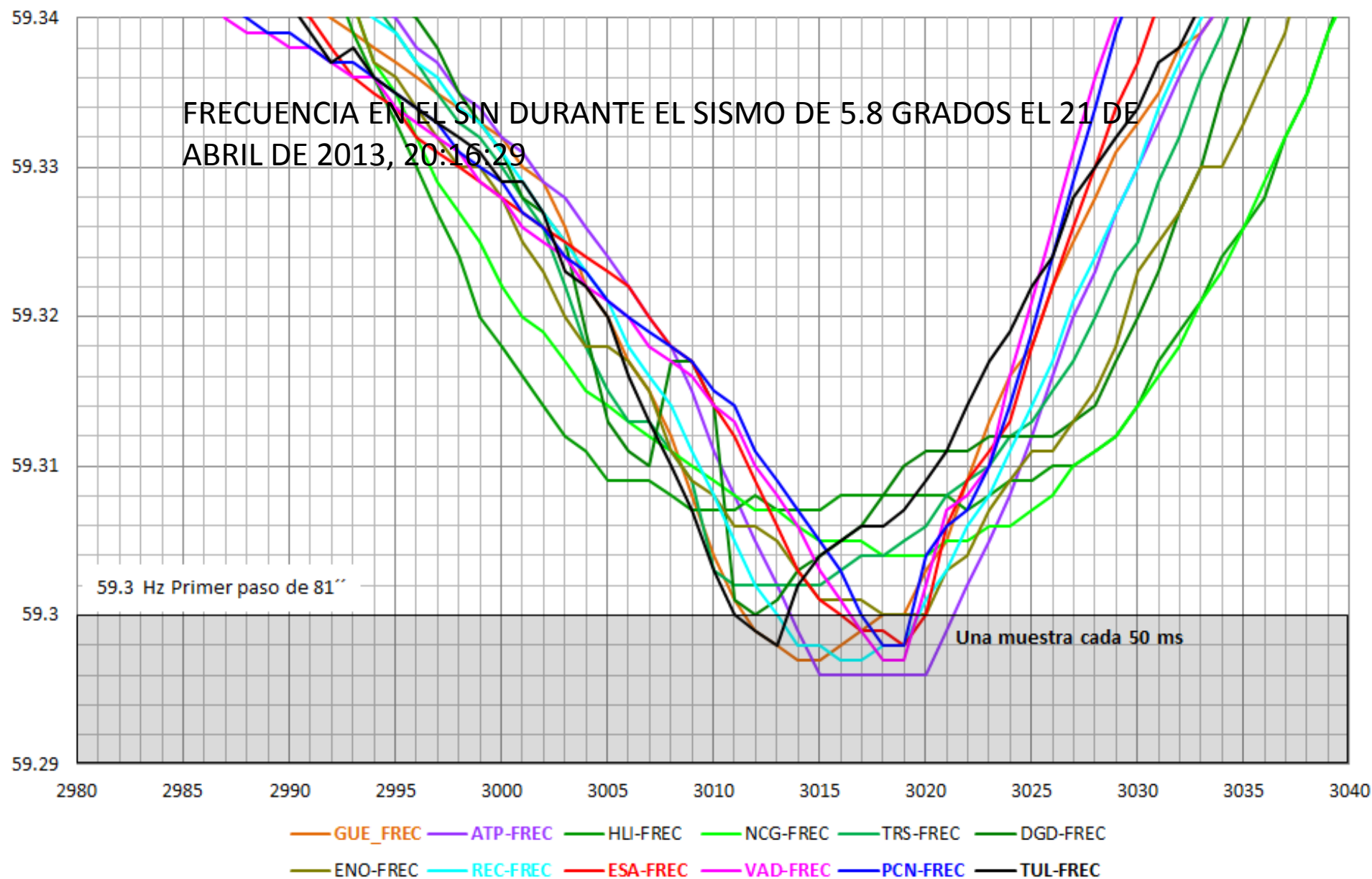


# Nuevos métodos de medición

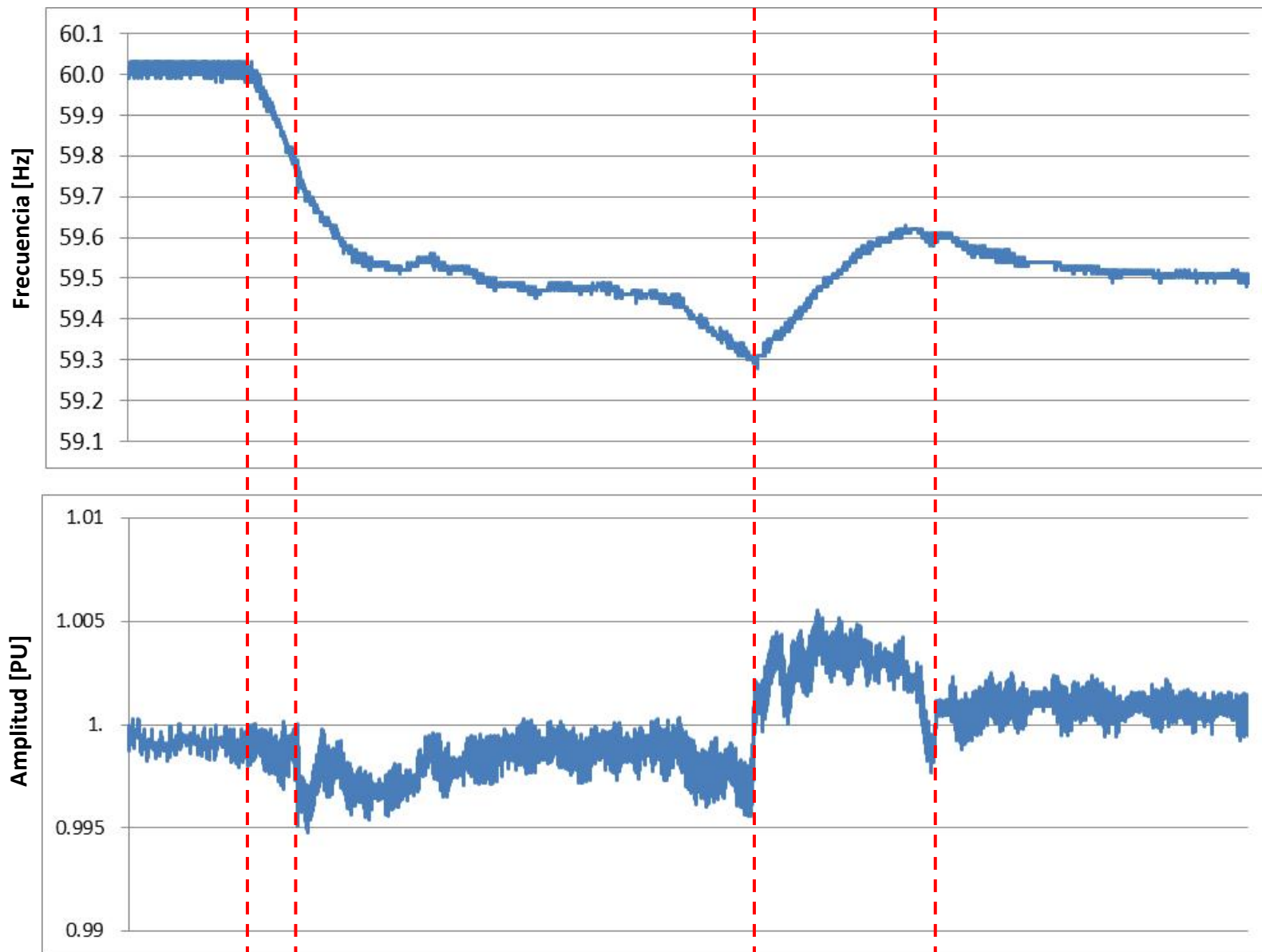




# FRECUENCIA EN EL SIN DURANTE EL SISMO DE 5.8 GRADOS EL 21 DE ABRIL DE 2013 A LAS 20:16:39 HRS



# Nuevos métodos de medición



- ✱ Introducción
- ✱ Retos de la Calidad de la Potencia
- ✱ Calidad de la Potencia y Redes Eléctricas Inteligentes
- ✱ Nuevos métodos de medición de Calidad de la Potencia para Redes Eléctricas Inteligentes
- ✱ Conclusiones

Las metas de Energías Limpias al 2024, y de reducción de GEI, suponen alcanzar una **VISIÓN COMÚN** sobre el desarrollo de una Red Eléctrica Inteligente en México.

**La producción y el uso de electricidad = 43 % del total de reducción de GEI en el 2030 (Agencia Internacional de Energía)**

Las Redes Eléctricas Inteligentes ofrecen una plataforma de alta confiabilidad para la agregación de fuentes de energías renovables a los sistemas de potencia.

Se requiere asegurar la confiabilidad de las mediciones en REI, particularmente, de la Calidad de la Potencia en condiciones dinámicas.

# Gracias

[rene.carranza@cenam.mx](mailto:rene.carranza@cenam.mx)