

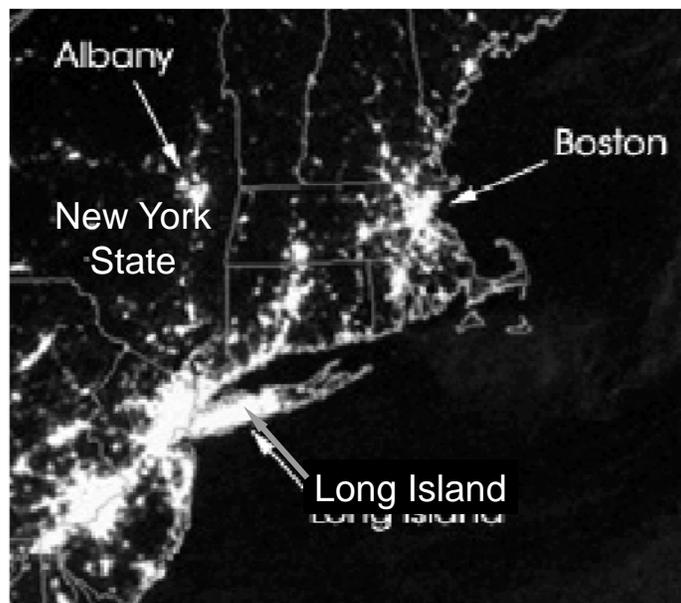


## Que es un “Sincrofasor”

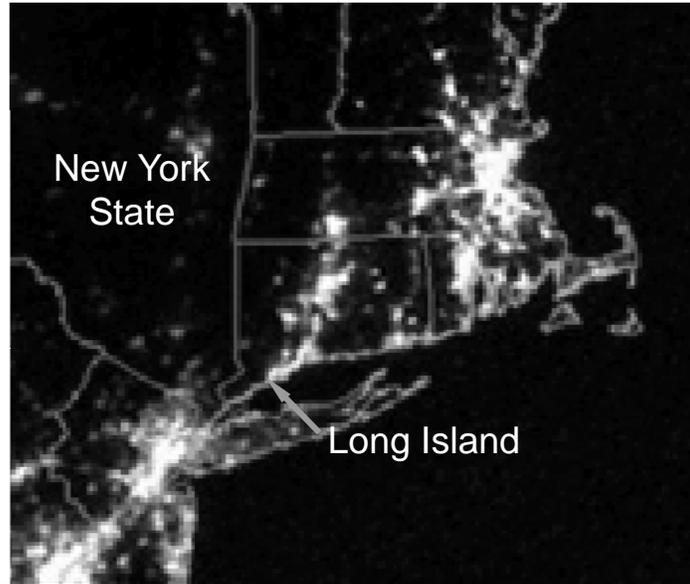
Un Sincrofasor es el cálculo de un fasor con respecto a una referencia absoluta de tiempo. Con este cálculo o medida se puede determinar la relación absoluta entre las fases (ángulos) de fasores en distintos lugares del sistema eléctrico de potencia.



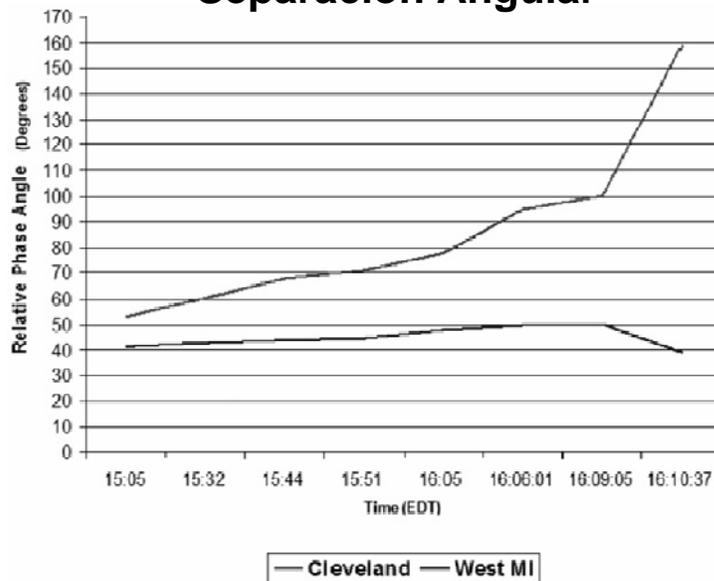
## Motivación - Vista Normal Nocturna

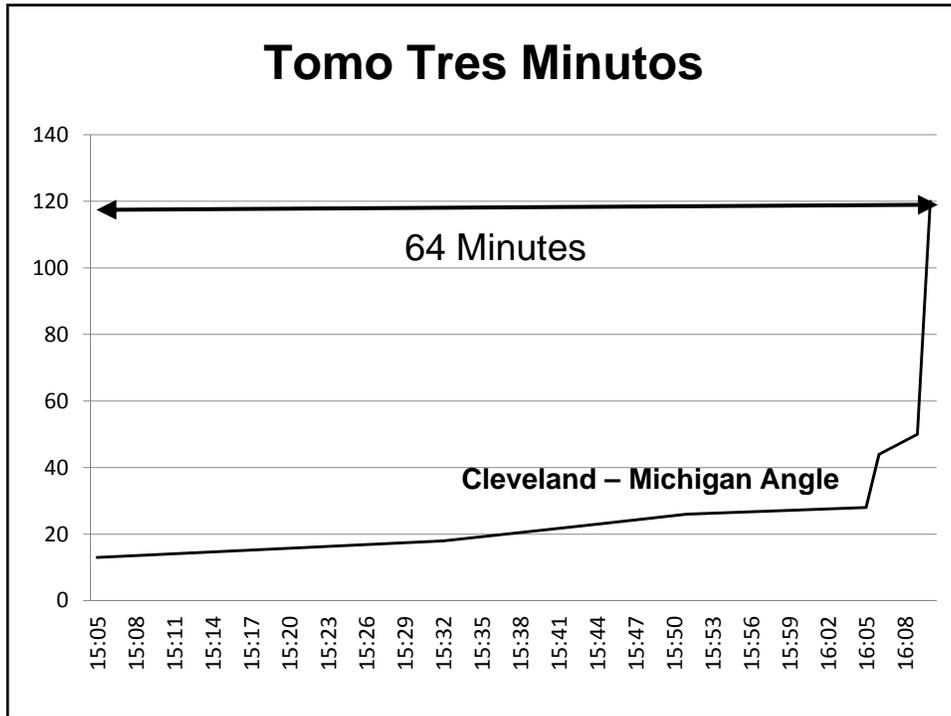


## Los Apagones Atraen la Atención de Todo el Mundo



## Predicción del Desastre con una Simple Medida Separación Angular





### ¿Por qué es mejor?

- Mínimo Costo Incremental (Incluido en el relé)
  - ◆ Conexiones de corrientes y tensiones existentes
  - ◆ Mediciones de alta precisión
- Coherencia en las mediciones
  - ◆ Todas al mismo tiempo y con estampa de tiempo
- Mejor visualización del sistema de potencia

**Medición Sincronizada es mejor que SCADA  
Es como Manejar Parpadeando cada 5 segundos**



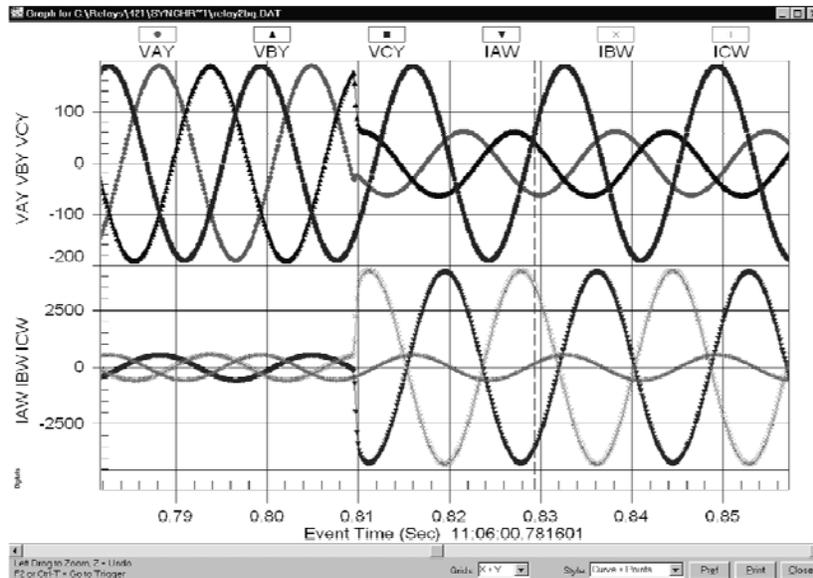
**Medición Sincronizada**



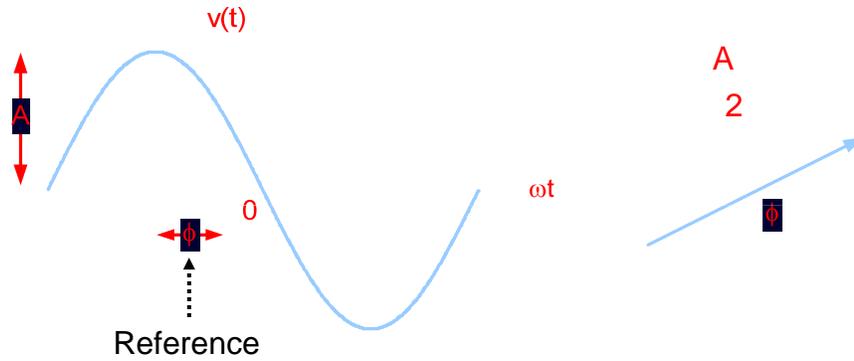
# La Sincronización Absoluta esta Cambiando el Mundo



## Estampas de Tiempo en micro-segundos

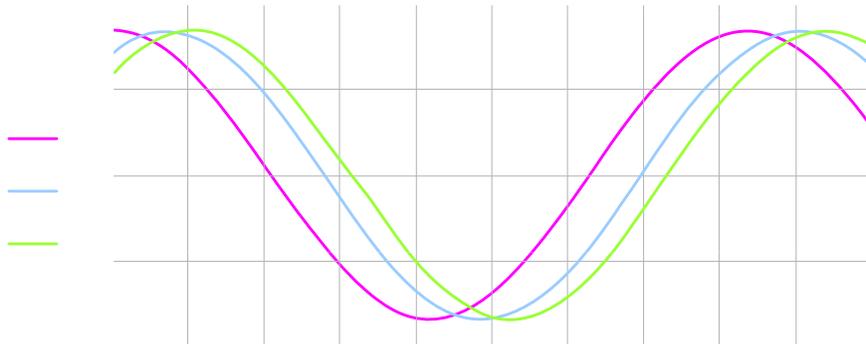


## Un fasor representa una onda sinusoidal

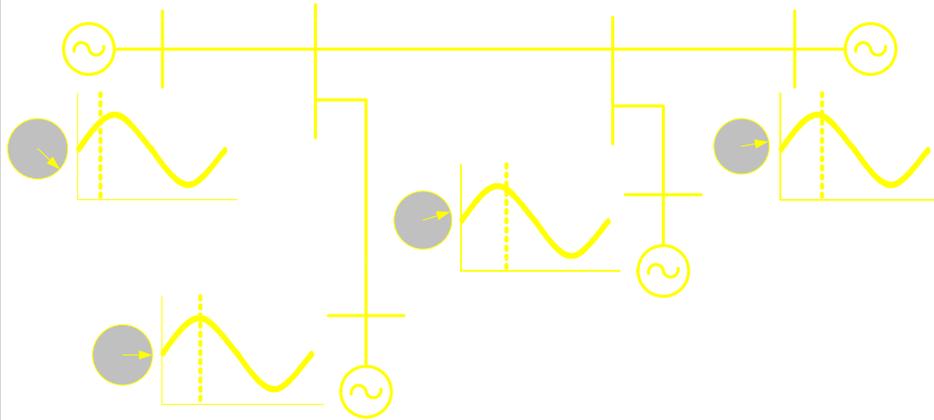


## Una Referencia Fija en el Sistema

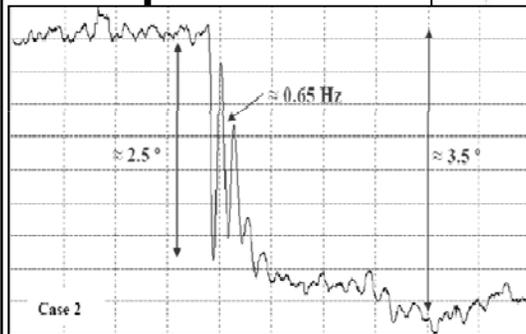
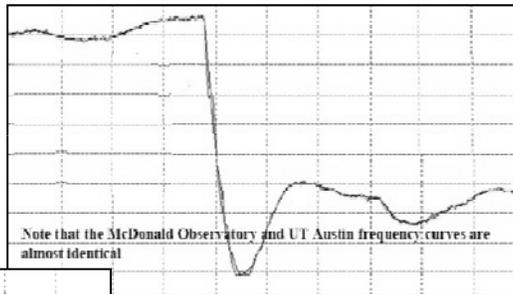
$$v(t) = A \cos(\omega t + \alpha)$$



## Referencia de Tiempo Absoluto a lo largo del Sistema Eléctrico de Potencia



**Solo los Sincrofasores pueden mostrar la diferencia angular en tiempo real**



Frequency

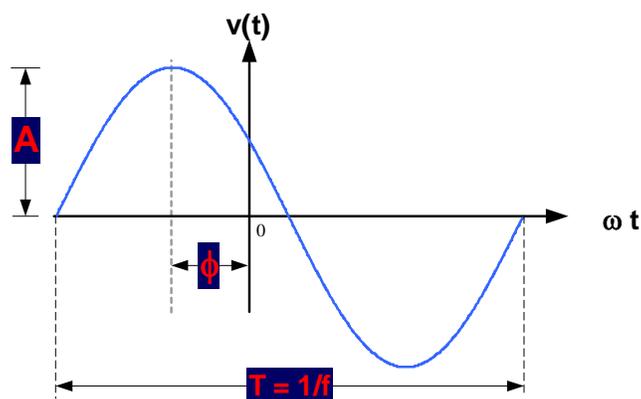
Diferencia Angular

Charts provided by University of Texas

## Los sincrofasores son una herramienta flexible

- Medición del Estado del sistema
- Registro de disturbios
- Análisis Modal
- Medición de la respuesta dinámica del sistema de potencia
- Protección y Control (WAPS)

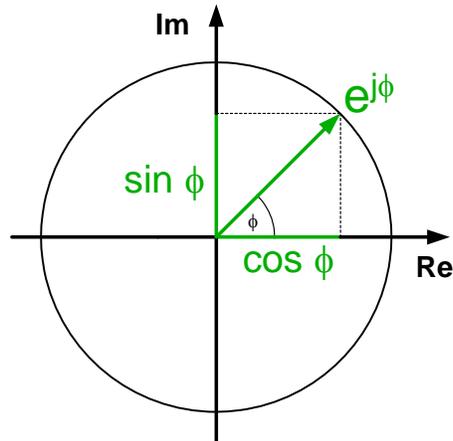
## Representación de una señal Sinusoidal



$$v(t) = A \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t + \phi)$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$$

**La Identidad de Euler Relaciona Funciones Trigonométricas con un Exponencial Complejo**



$$e^{j\phi} = \cos \phi + j \cdot \sin \phi$$

**La función Coseno en términos de una función exponencial compleja**

$$\cos \phi = \operatorname{Re} \{ e^{j\phi} \}$$

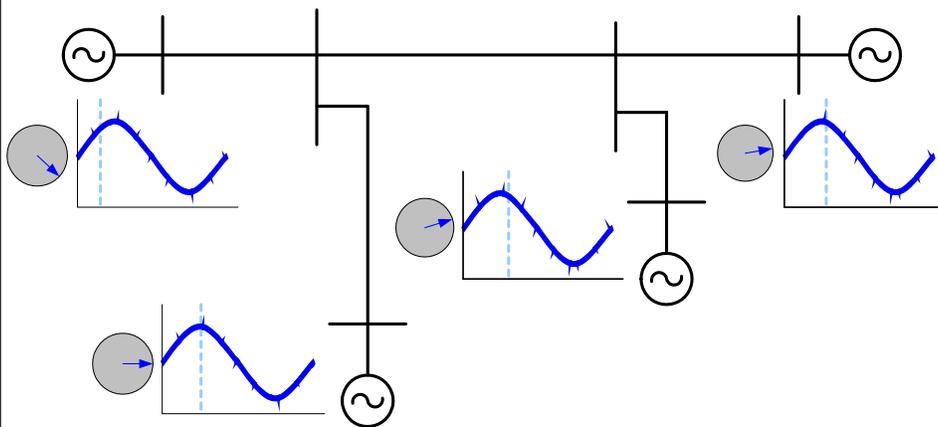
$$v(t) = A \cdot \cos (2 \cdot \pi \cdot f \cdot t + \phi)$$

$$v(t) = A \cdot \operatorname{Re} \{ e^{j(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t + \phi)} \}$$

**La Definición Académica de un Fasor  
Asume una Frecuencia Constante y  $t = 0$**

$$\begin{aligned}v(t) &= A \cdot \operatorname{Re}\{e^{j(2\pi f \cdot t + \phi)}\} \\ &= \operatorname{Re}\{e^{j(2\pi f \cdot t)} \cdot A \cdot e^{j\phi}\} \\ \Rightarrow \vec{V} &= \frac{A}{\sqrt{2}} \angle \phi\end{aligned}$$

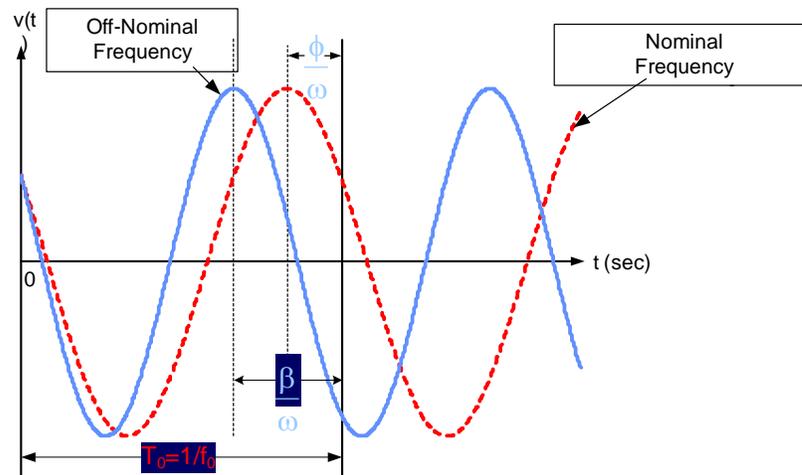
**Referencia de Tiempo Absoluto a lo  
largo del Sistema Eléctrico de  
Potencia**



## Medición de Fasores a Frecuencias Distintas a la Nominal

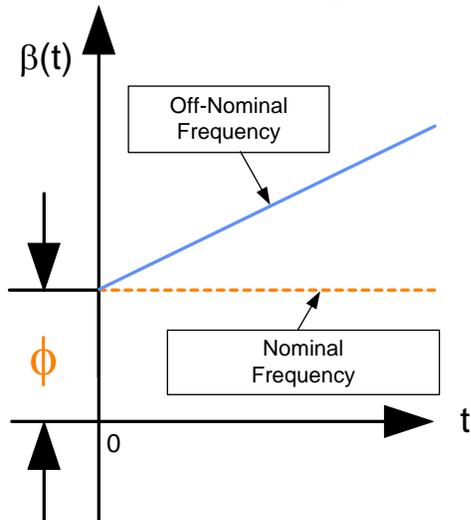
$$\begin{aligned}
 v(t) &= A \cdot \operatorname{Re}\{e^{j(2\pi \cdot f \cdot t + \phi)}\} \\
 &= A \cdot \operatorname{Re}\{e^{j(2\pi \cdot f_0 \cdot t + 2\pi \cdot \Delta f \cdot t + \phi)}\} \\
 &= \operatorname{Re}\{e^{j(2\pi \cdot f_0 \cdot t)} \cdot A \cdot e^{j(2\pi \cdot \Delta f \cdot t + \phi)}\} \\
 \beta(t) &= 2\pi \cdot \Delta f \cdot t + \phi \Rightarrow \frac{A}{\sqrt{2}} \angle \beta(t)
 \end{aligned}$$

## Medición de Fasores a Frecuencias Distintas a la Nominal

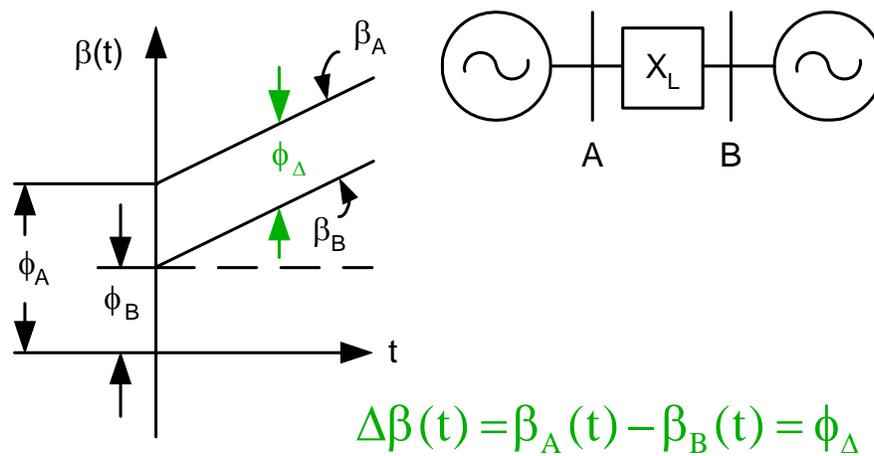


$$\beta(t) = 2\pi \cdot \Delta f \cdot t + \phi$$

## Medición de Fasores a Frecuencias Distintas a la Nominal para $\Delta f > 0$



La Diferencia de los Angulo Es constante cuando el sistema opera con frecuencias distintas a la nominal



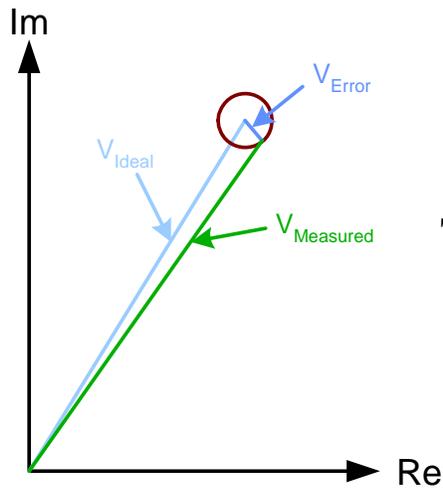
## **IEEE**

-  1344 - 1995
- PC37.118/D7 - Junio 2005
- PSRC – Revision en progreso

### **Temas que el Estándar Incluye**

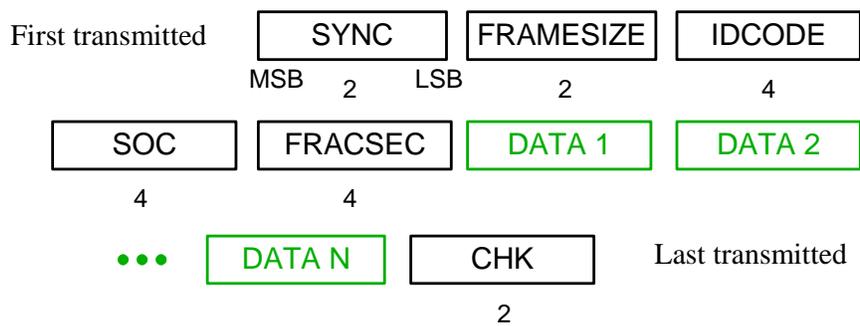
- Definición de Sincrofasores
- Definición de un Error Vectorial ('Total vector error')
- Pruebas de Conformidad
- Formato del Mensaje
- Configuración de IEDs

## Error Vectorial Total (TVE)



$$\text{TVE} \equiv \frac{|\vec{V}_{\text{Measured}} - \vec{V}_{\text{Ideal}}|}{|\vec{V}_{\text{Ideal}}|}$$

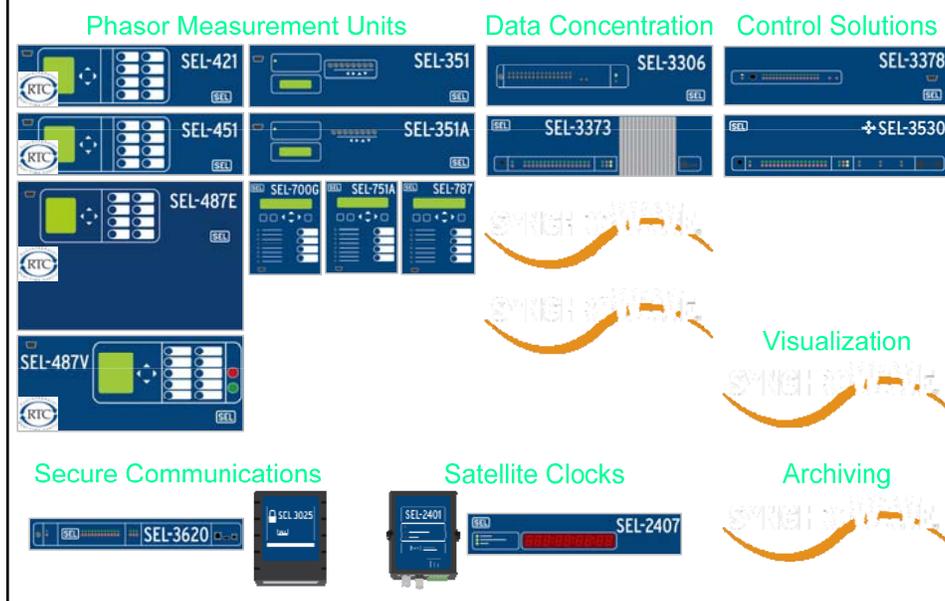
## Formato de Mensaje



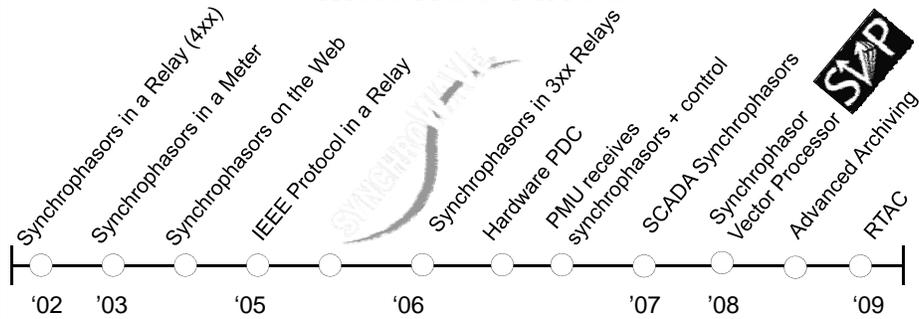
## Resumen

- El Estándar de la IEEE (37.118) describe normas para los dispositivos de medición sincrofasores y su interfaz con sistemas
- El Estándar especifica formatos y los requerimientos para correlacionar y comparar mediciones de sincrofasores de distintas fuentes.
- El Estándar describe el concepto de Error Vectorial Total, pruebas de conformidad y el formato del mensaje (TVE)

## Inversion de SEL en Sincrofasores



## Desarrollando La Tecnología por Muchos Años



**Estas Soluciones están en Servicio,  
Hoy, en el Todo el Mundo**

## El Reloj Sincronizador (SEL-2407)



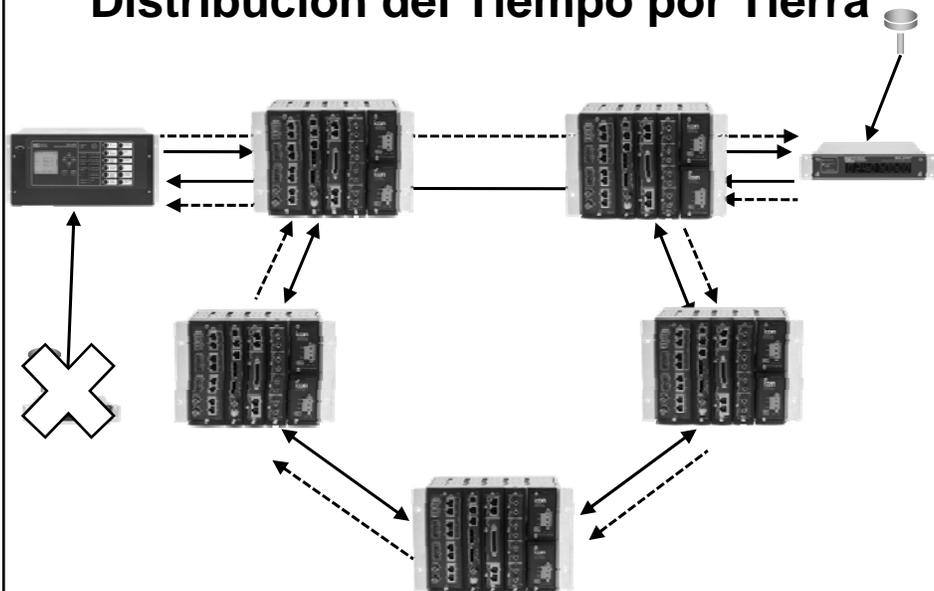
- $\pm 500$  ns
- IEEE C37.118
- IEEE C37.90 y IEC 60255

## Localización de la Antena



Substation already grounded  
No surge protector needed

## Distribución del Tiempo por Tierra



## Phasor Measurement Unit (PMU)



## Phasor Measurement and Control Units PMCU



## PMcus



- 4xx
- 421 / 451 / 487E
- 734\*
- 351\*\*
- 311C\*\*
- 311L\*
- 7XX
- 751A / 787

## SEL-421, 411L, 451, 487V

- IEEE C37.118
- De 1 a 50 mensajes por segundo
- Incluye Control en Tiempo Real con Sincrofasores (RTC)
- 6 I, 6 V



## SEL-487E

- IEEE C37.118
- De 1 a 50 mensajes por segundo
- Incluye Control en Tiempo Real con Sincrofasores (RTC)
- 18l, 6 V



## PMcus Solamente



4 channels of IEEE C37.118  
synchrophasors

Includes synchrophasor



## Concentrador de Sincrofasores de la Subestación

- Alta performance
- Configuración Sencilla
- Seguridad
- Archivo de Datos
- Logs
- Hecha para uso de Subestación



## Software PDC

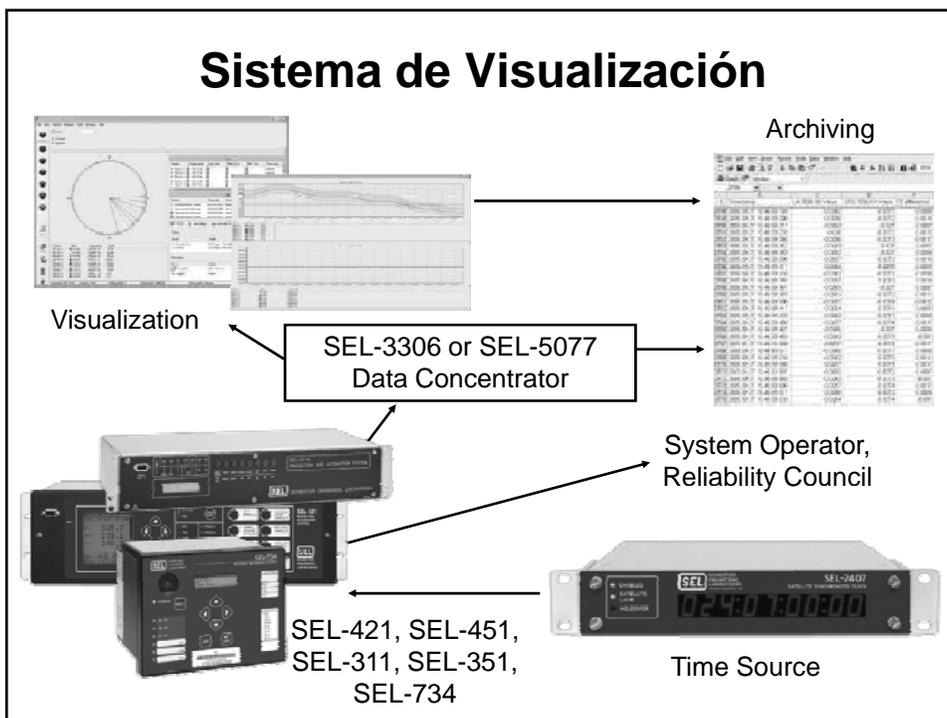
- Escalable
- Configuración Sencilla
- Seguridad
- > 100 PMCUs
- Archivos en base de datos
- 'Status' y 'logs'
- Windows®

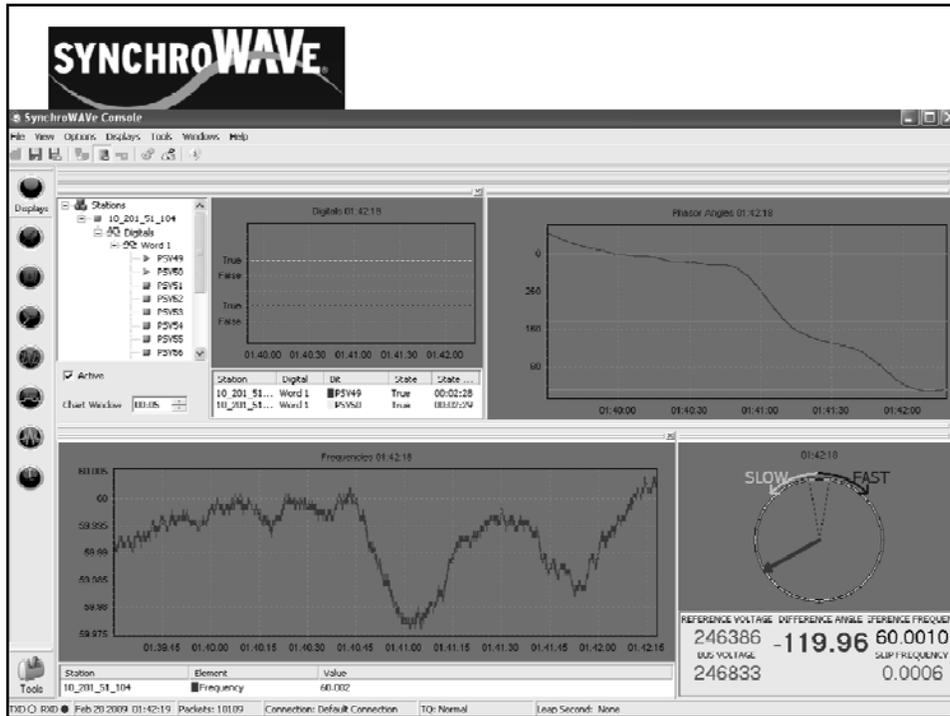


## HW y SW para PDC

	SEL-3378 Synchrophasor Vector Processor (SVP)	SEL-3373 Station PDC	SEL-5073 SYNCHROWAVE® PDC Software	SEL-3530 Real-Time Automation Controller (RTAC)
Number of Inputs	20	40 <sup>1</sup>	>100* <sup>1</sup>	16+
Number of Outputs	7	6 <sup>1</sup>	6 <sup>1</sup>	N/A
Archiving	No	Yes	Yes	No
Data Rates	Up to 60 messages per second	Up to 60 messages per second <sup>1,2</sup>	Up to 60 messages per second <sup>1,2</sup>	Up to 5 messages per second
Control	Yes	No	No	Yes
Input Format	IEEE C37.118	IEEE C37.118	IEEE C37.118	IEEE C37.118 DNP3 Modbus® SEL Fast Message
Output Format	IEEE C37.118 SEL Fast Operate	IEEE C37.118	IEEE C37.118	DNP3 Modbus SEL MIRRORRED BITS® SEL Fast Message
Platform	Hardware	Hardware	Software	Hardware
Selectable Outputs	Yes	Yes	Yes	Yes
Multiple Input Rates	No	Yes	Yes	No

## Sistema de Visualización





## SEL-3378

### Procesador de Vectores Sincronizados para Control y Protección

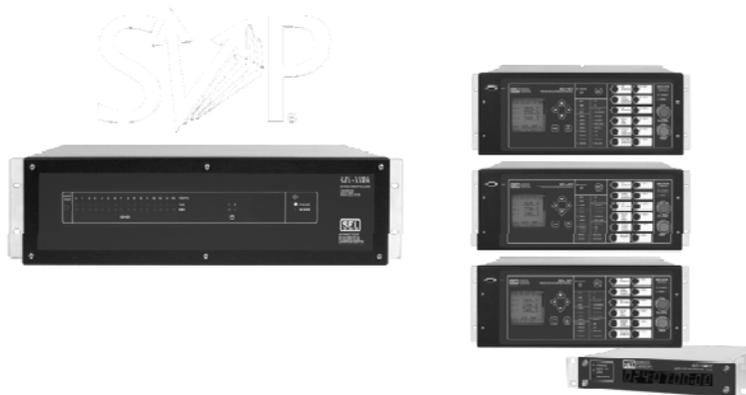


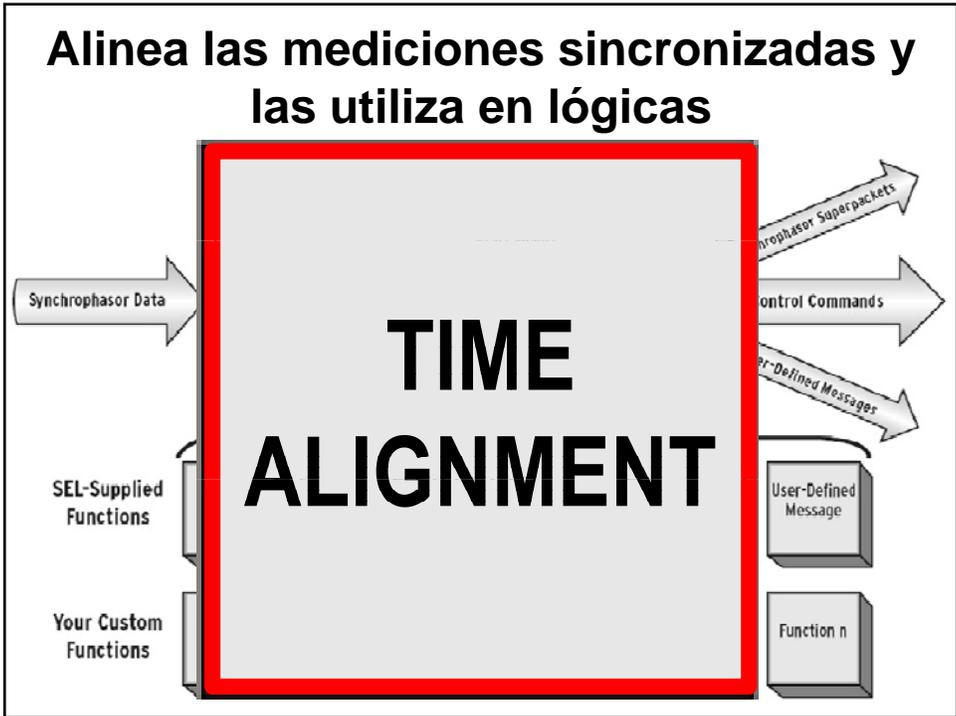
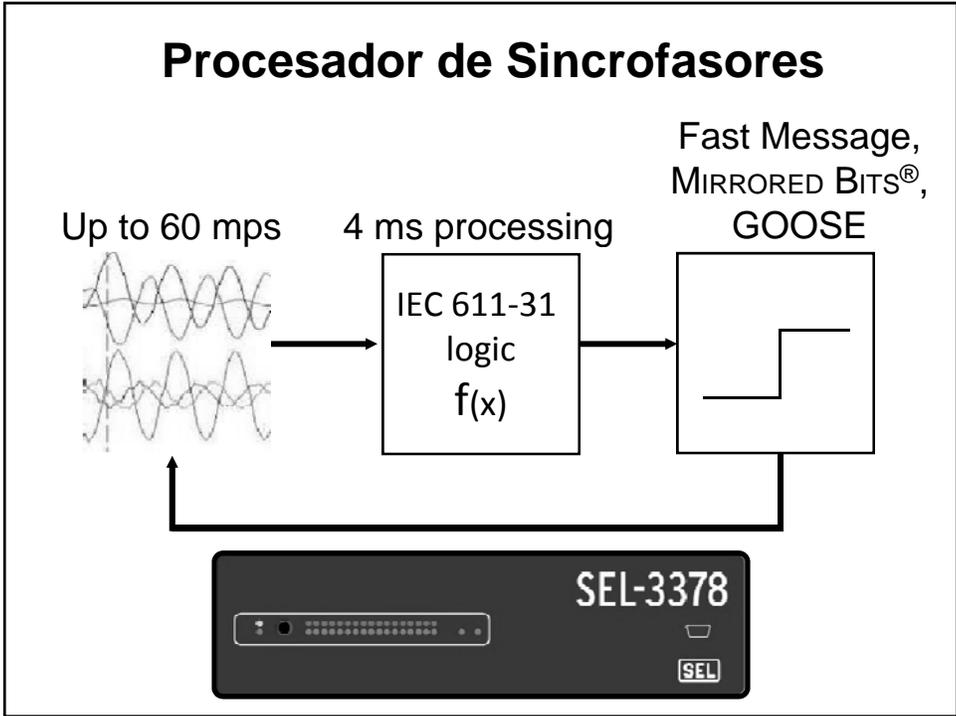
## Control

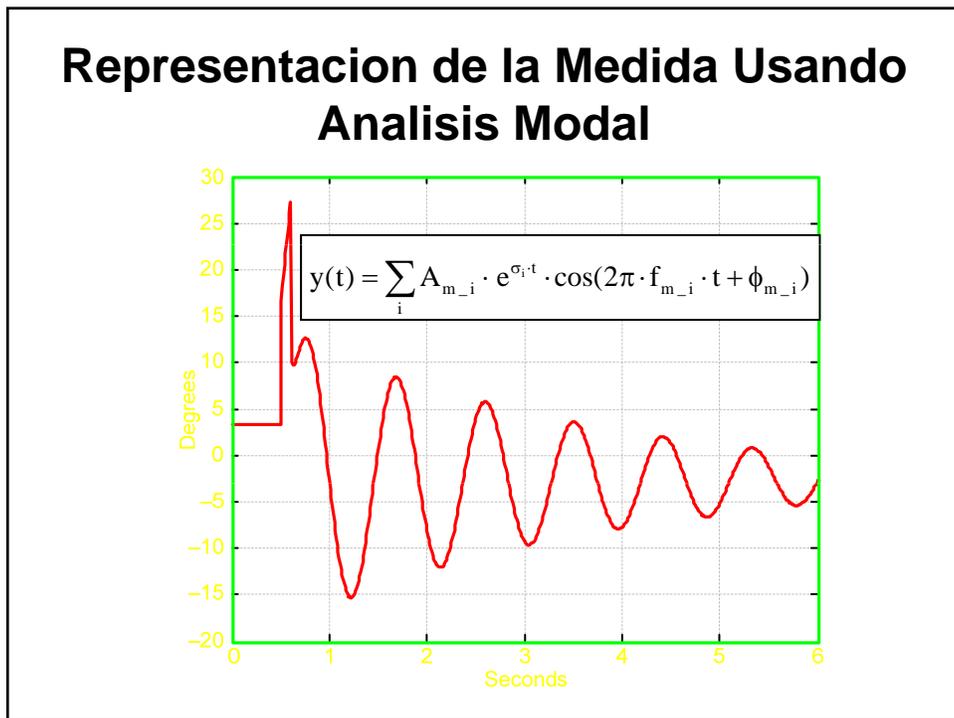
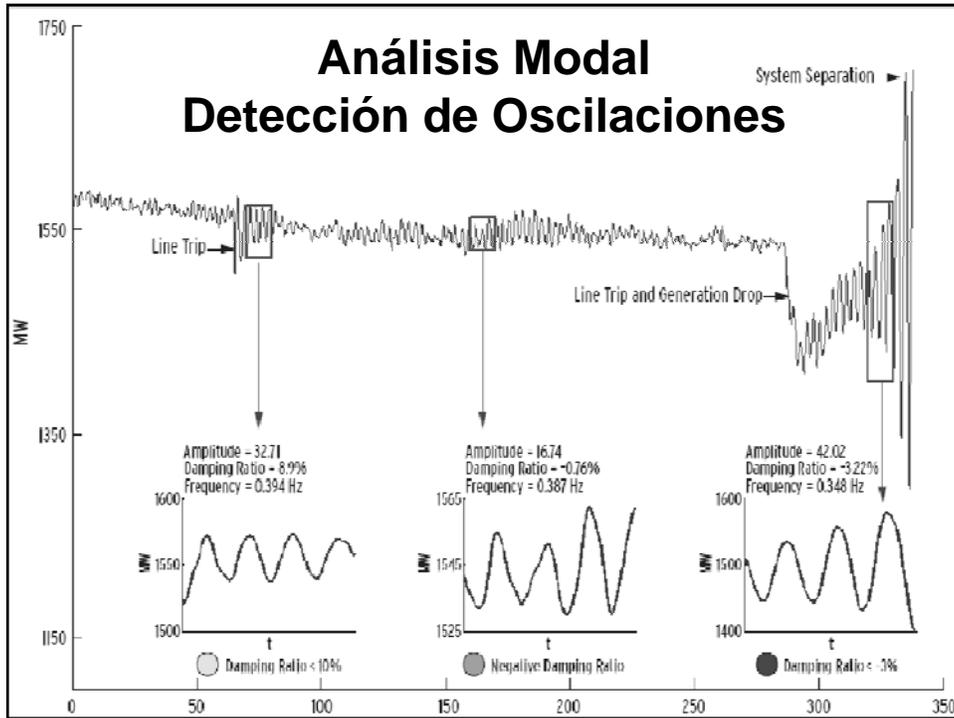


- Concentrador de fasores
- Esquemas de protección de área amplia
- Sincronización precisa para esquemas de protección y/o monitoreo

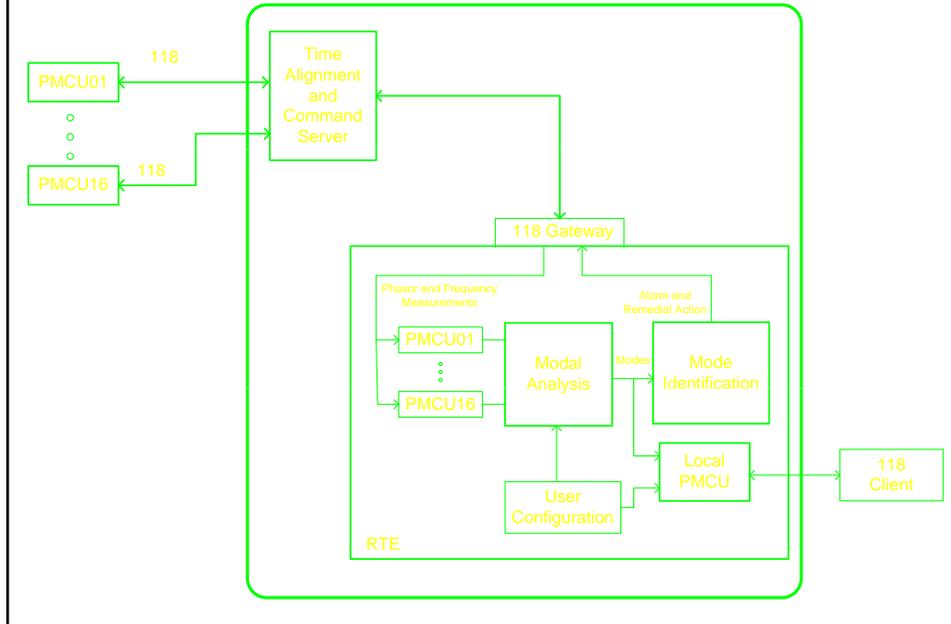
## Controlando el sistema de Potencia



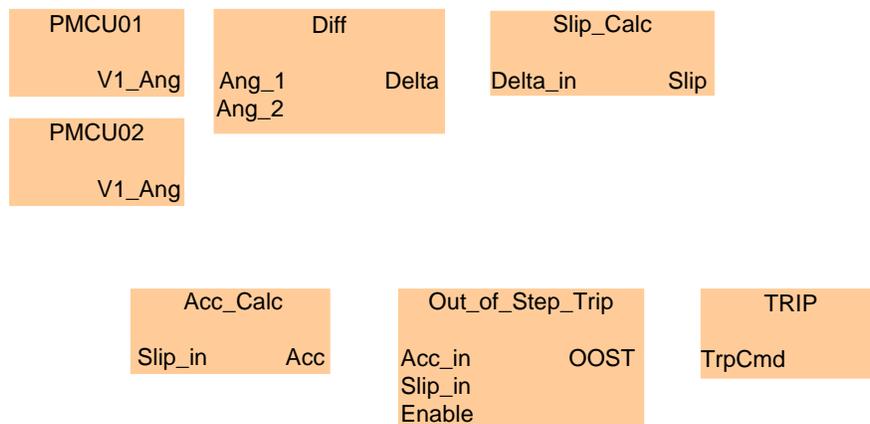




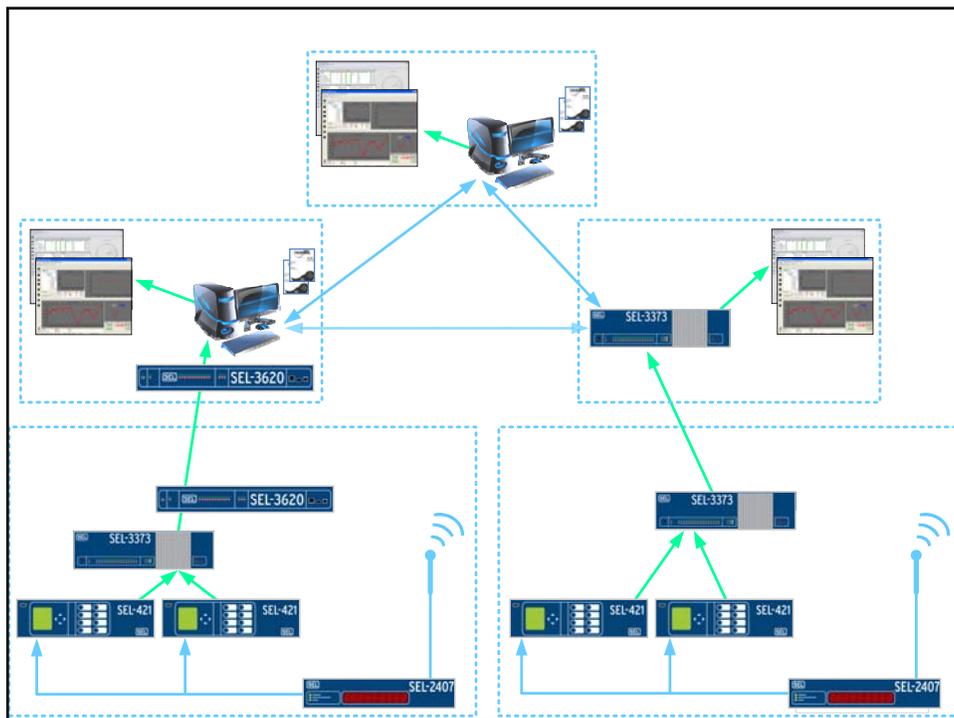
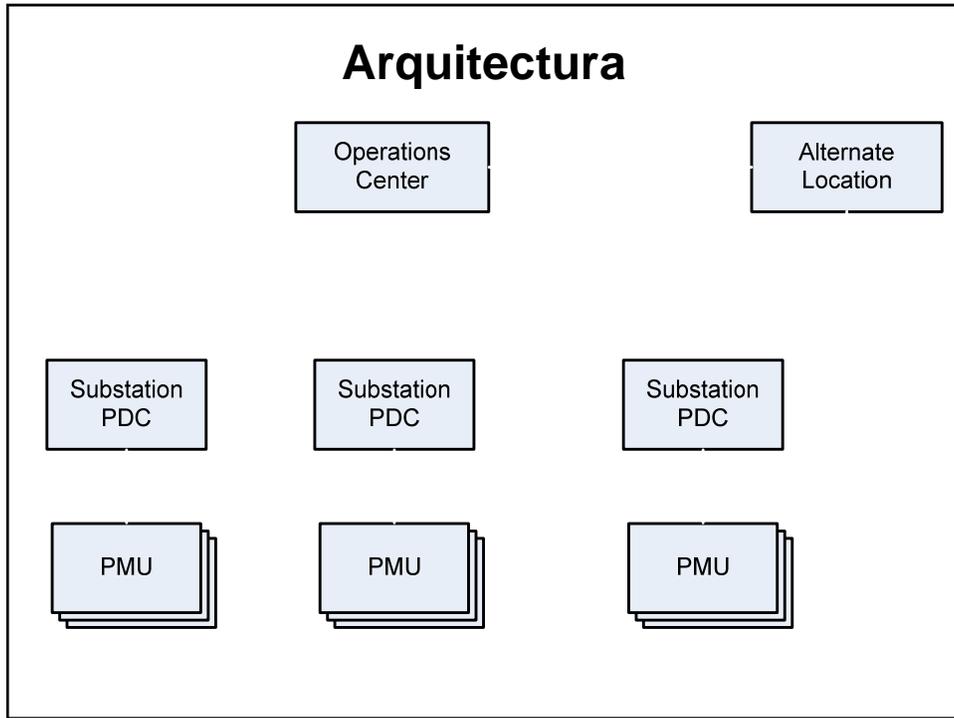
## Detección de Disturbios en Tiempo Real



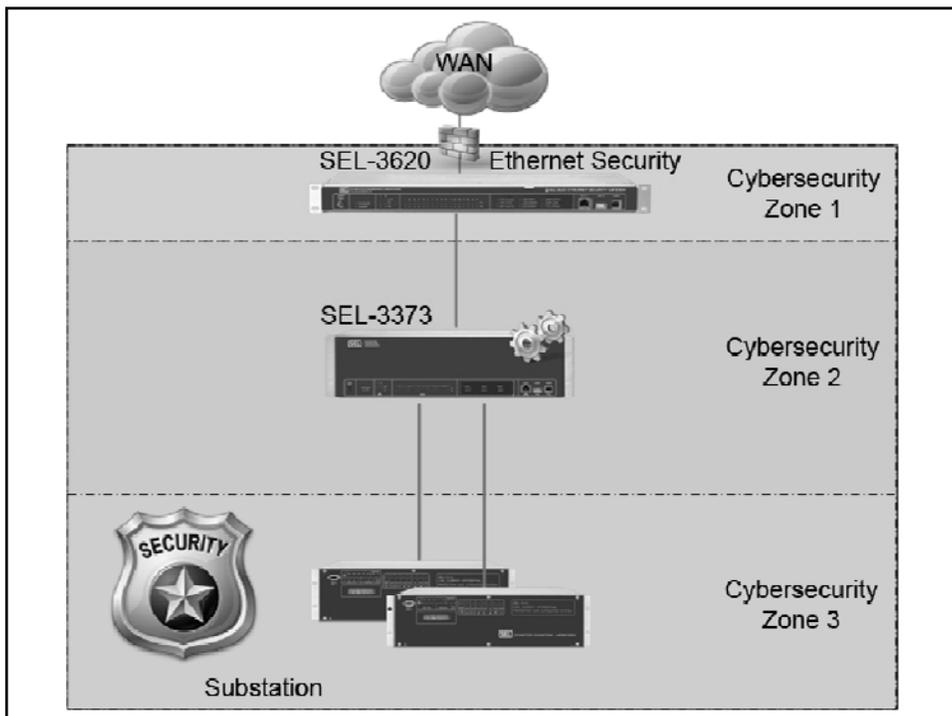
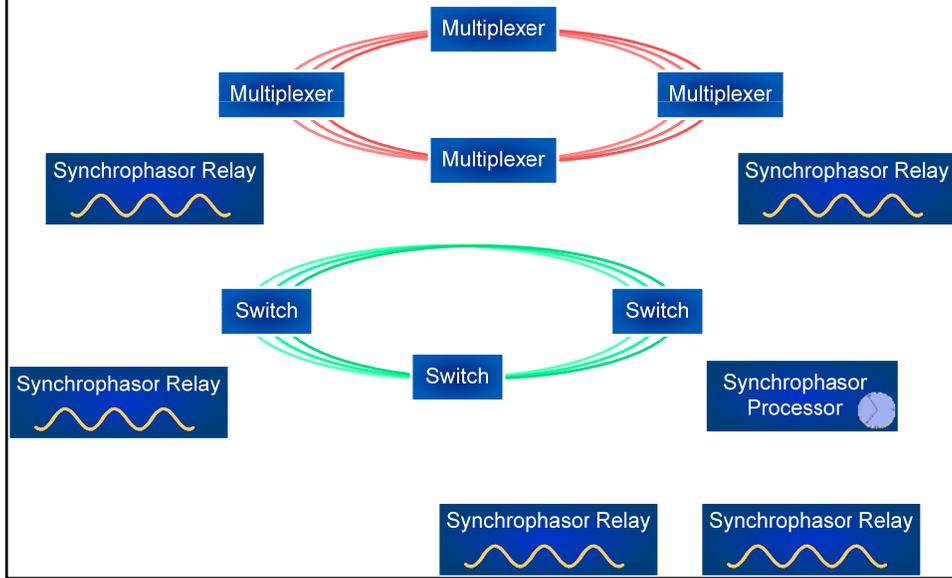
## Lógicas mas complejas en el Procesador de Sincrofasores SEL-3378



# Arquitectura



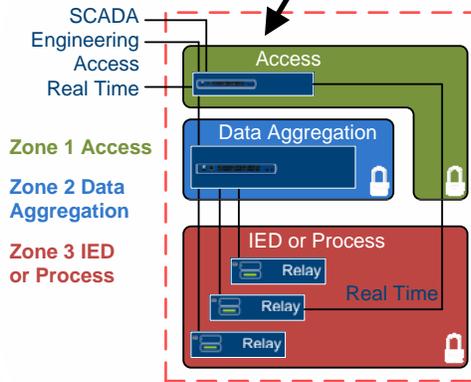
## Comunicaciones de Mediciones Sincronizadas



# Gateway de Seguridad (SEL-3620)



- Cybersecurity
- Substation-hardened security appliance built on IT-hardened technology



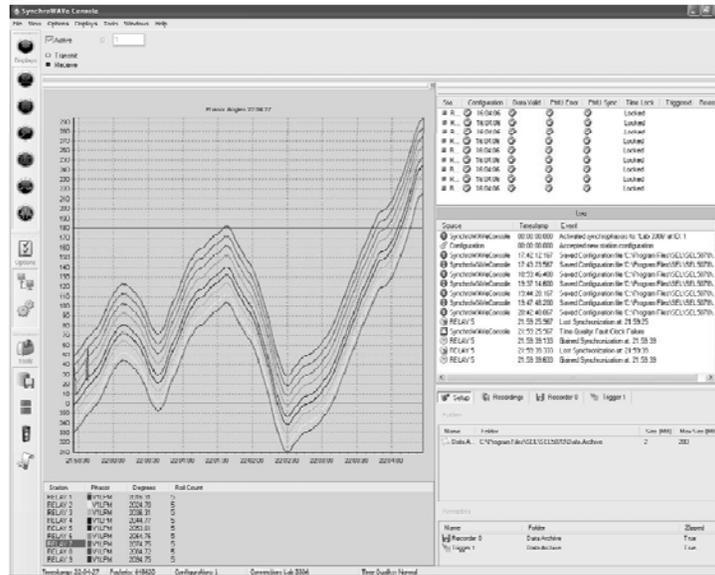
## Aplicaciones



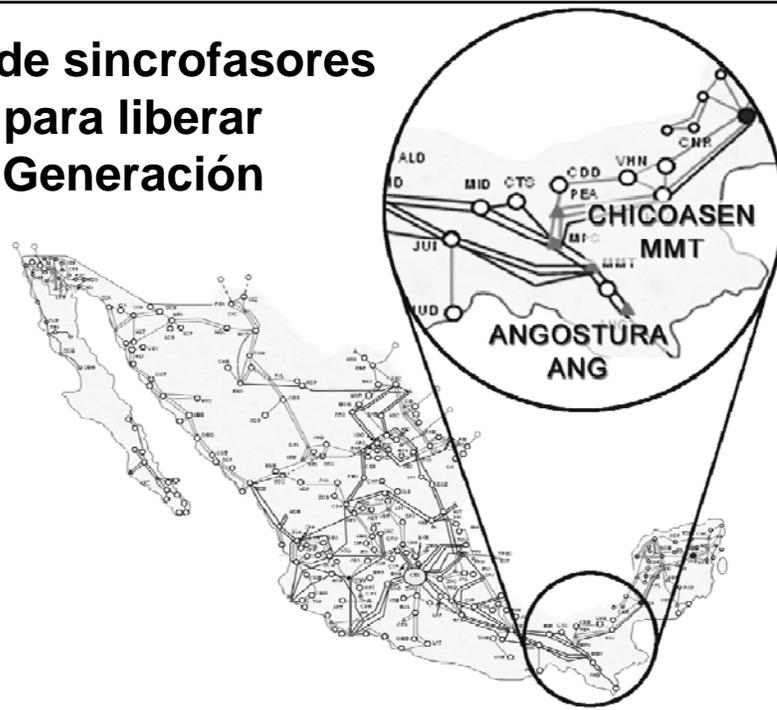
*Making Electric Power Safer, More Reliable, and More Economical*

Copyright © SEL 2005

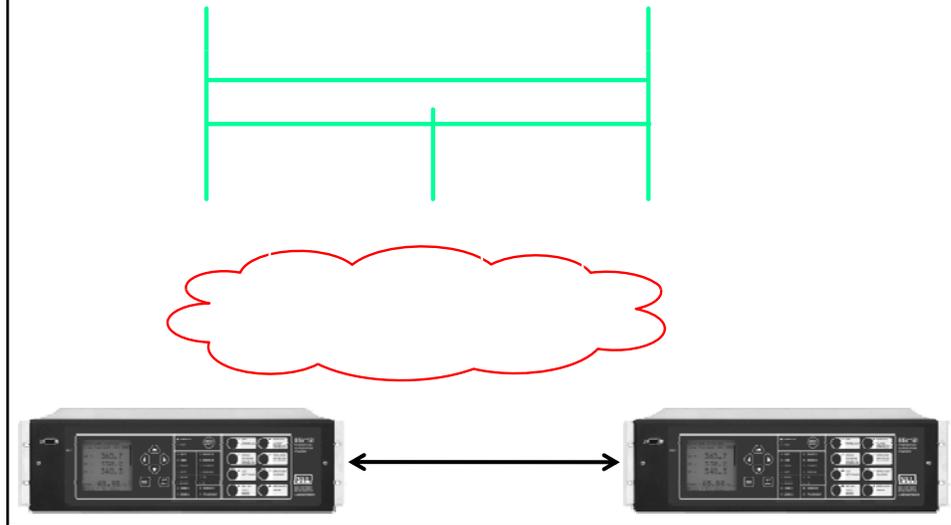
# SEL5078 SynchroWAVE™ -Visualización



## Uso de sincrofasores para liberar Generación



## Liberación de generación basada en la diferencia angular Chicoasen – Angostura



## Simple Lógica Basada en la Diferencia Angular

## Mejorando SCADA

4-second  
scan



## Mas rápida convergencia



Measurements

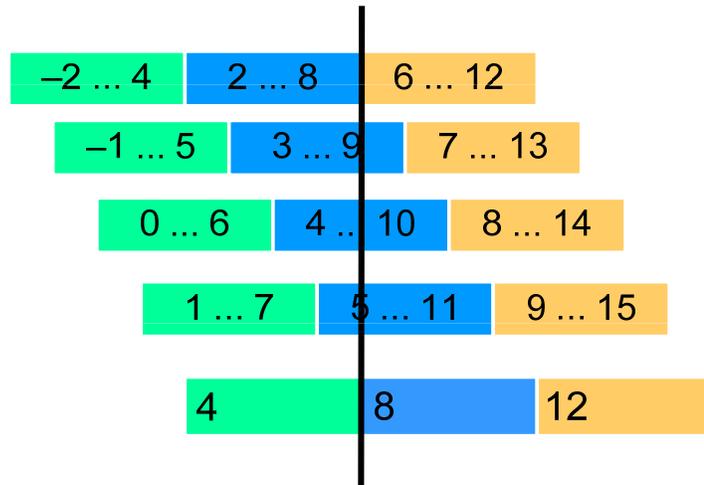
**1 – 10 minutes**

Measurements

**1 cycle to 1 second!**

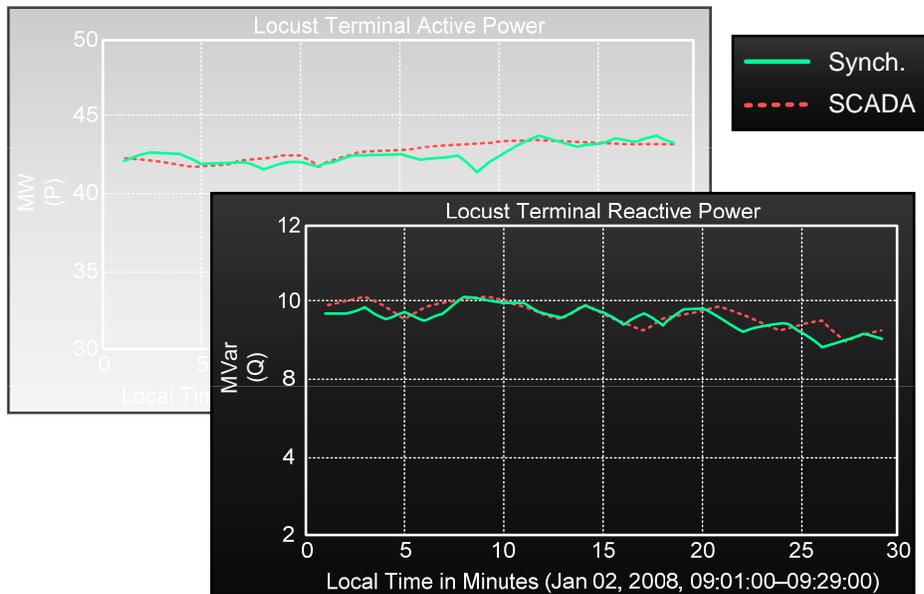
Augmentation and time alignment

## Datos de RTUs no son Sincronizados

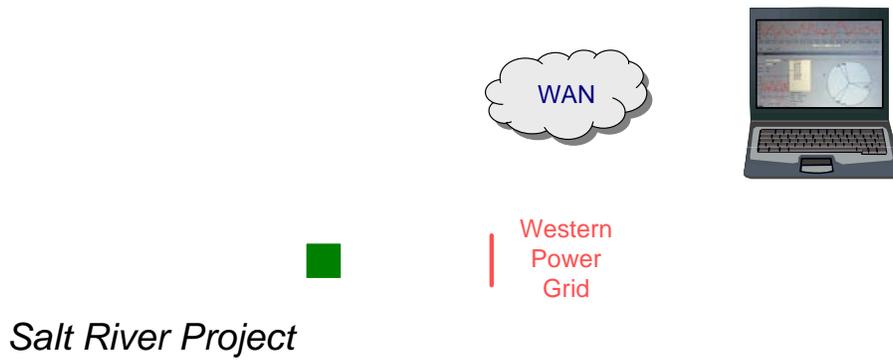


Guaranteed Time-Aligned Data to the Microsecond

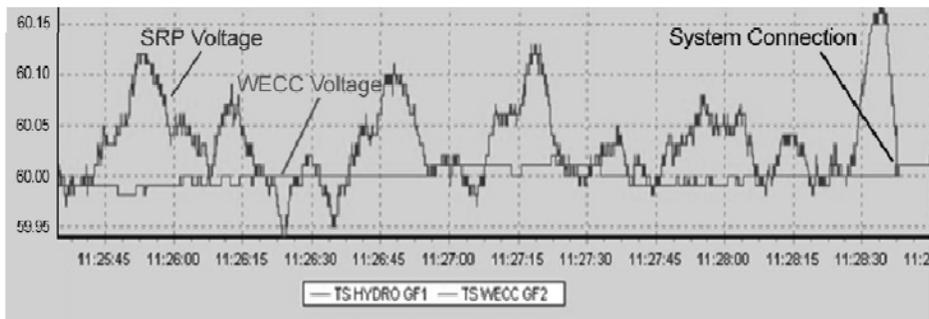
## Integrando Sincrofasores al Sistema

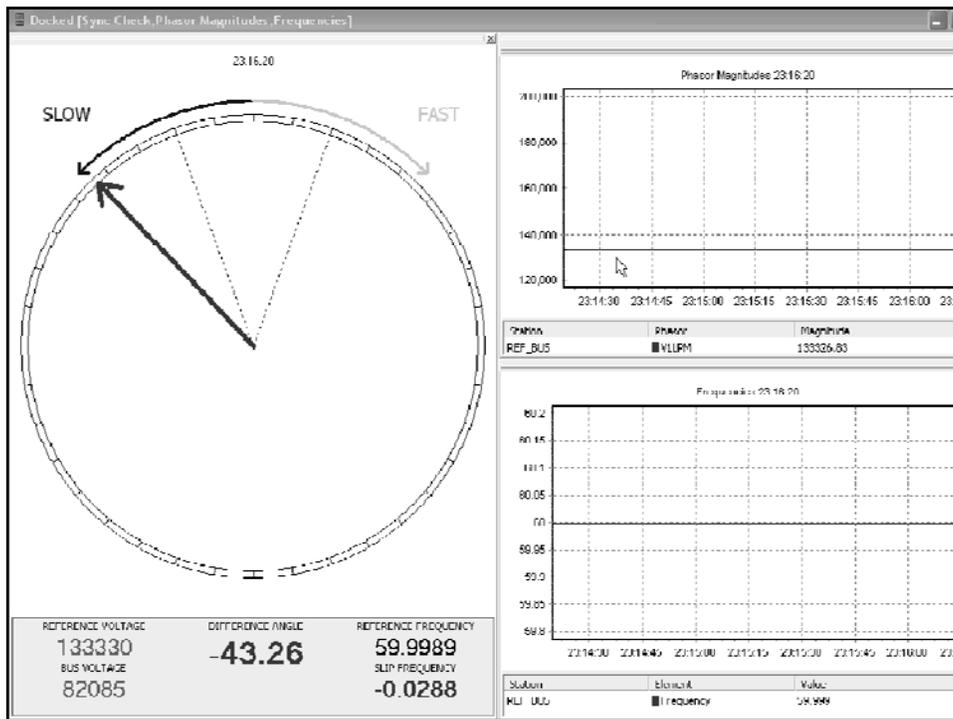


## Los Sincrofasores Proveen la Visualización para la Sincronización

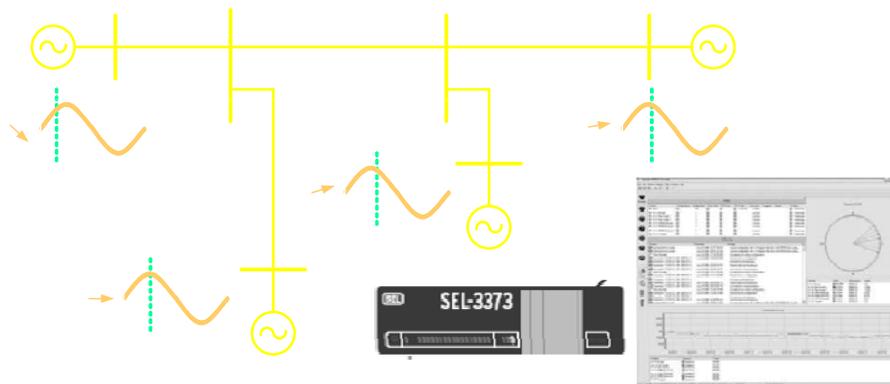


## SRP conecta los sistemas usando Sincrofasores





## Registrador de Disturbios



Use el SW SYNCHROWAVE SEL-5073 o el SEL-3373 para almacenar registros del sistema arracados de cualquier parte de este

**¿Preguntas?**