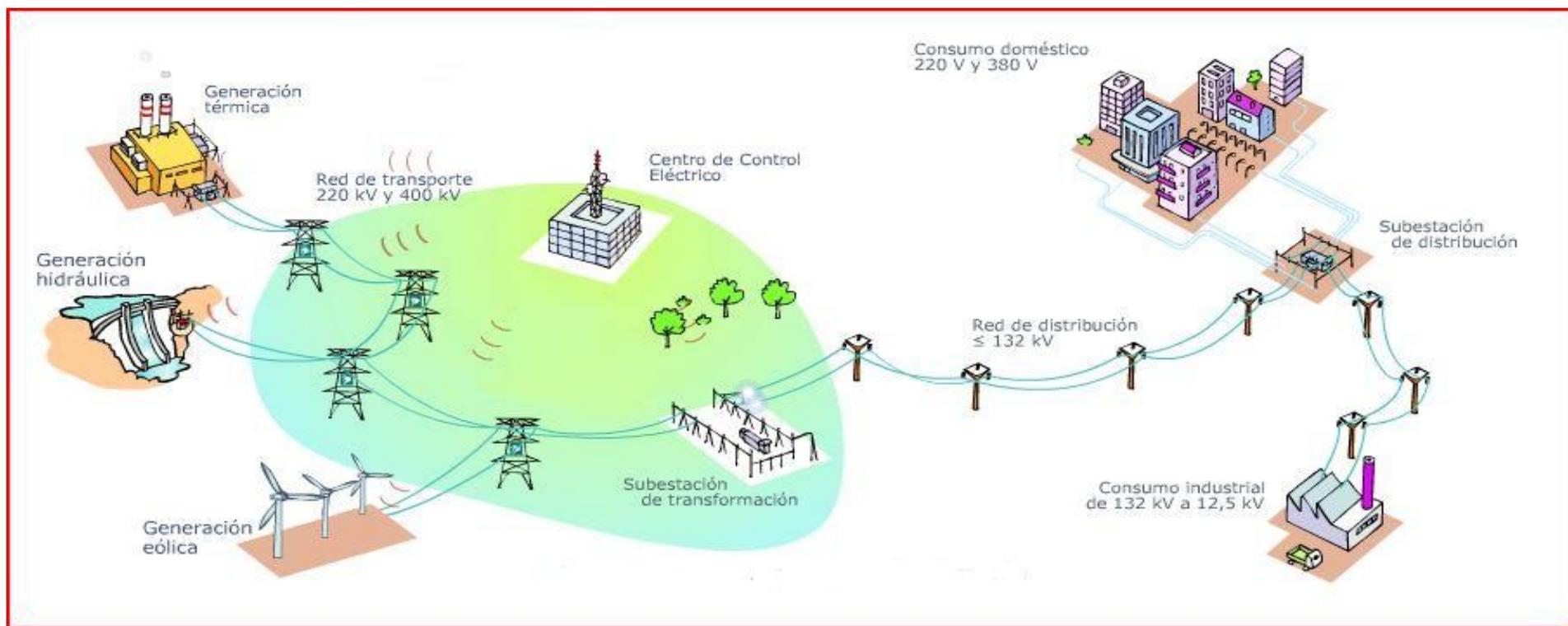


APLICACIONES DE LA MEDICIÓN DE SINCROFASORES: MONITOREO, OPERACIÓN Y CONTROL DE SISTEMAS DE POTENCIA EN TIEMPO REAL

Ing. Diógenes Quintero Villarreal, MBA

dquintero@arbiter.com

¿Cómo nos estamos preparando para mejorar la operación del sistema potencia?



Diseño de diferentes esquemas de control suplementario.

REDES INTELIGENTES



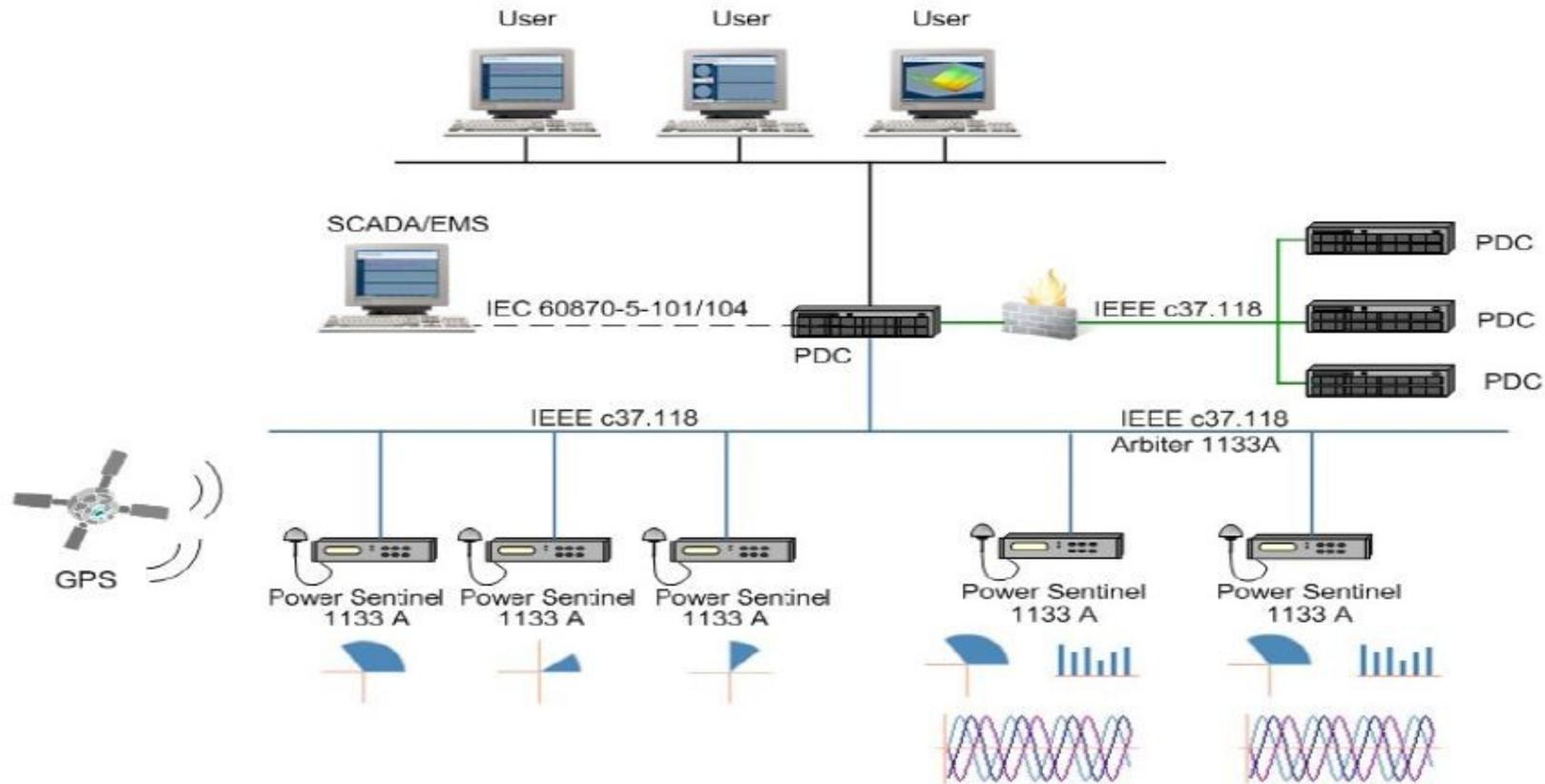
Objetivo de los operadores: disponer de mayor cantidad de información de manera sincronizada y en tiempo real para tomar decisiones más acordes con los requerimientos de la red.

Objetivos de un WAMS

Detectar, prevenir y mitigar los apagones en los sistemas de potencia interconectados.

Implementar un sistema lo suficientemente capaz de detectar y mitigar el efecto de eventos de rara ocurrencia pero de gran impacto.

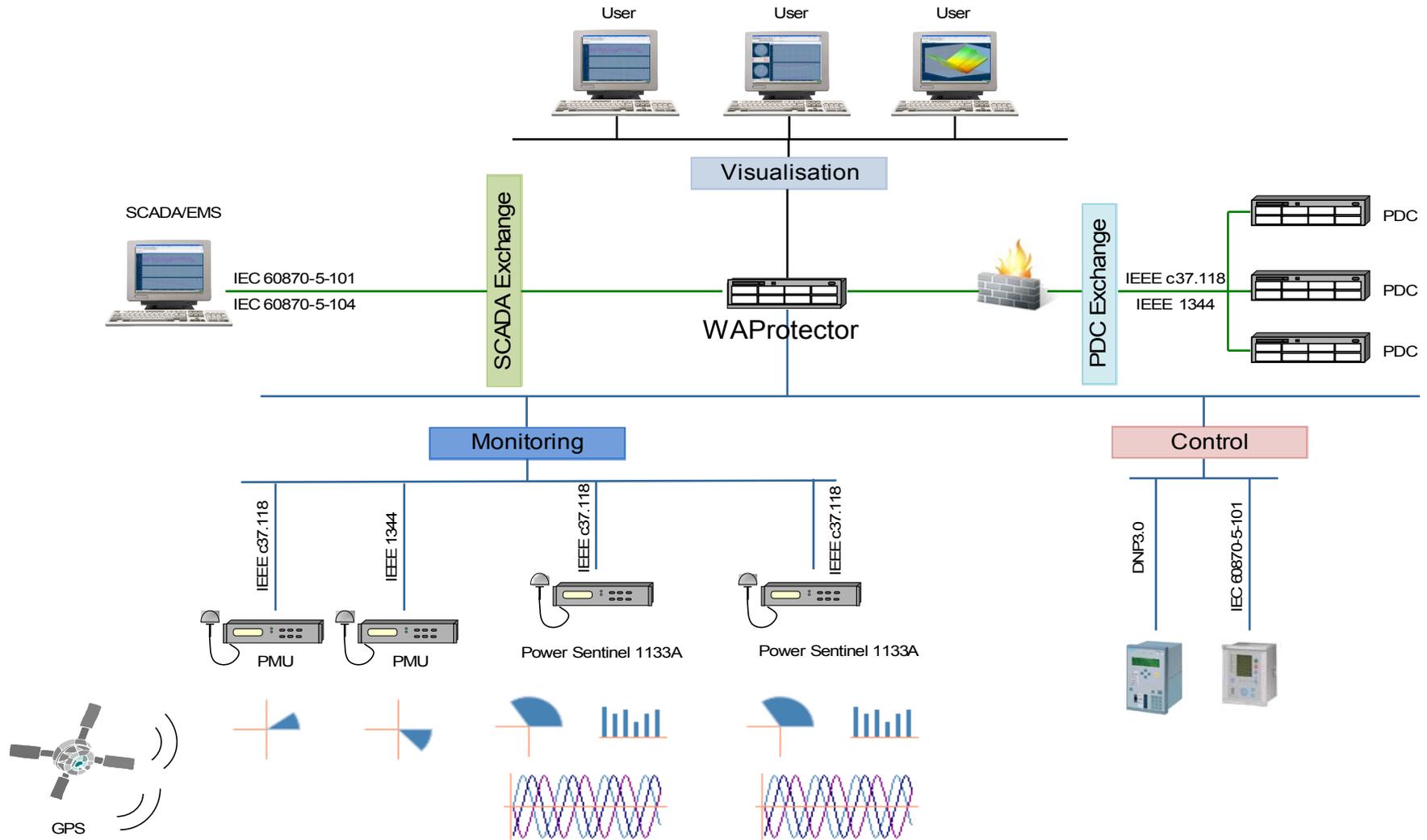
Sistema de monitoreo de red de área amplia



Sistema de monitoreo de red de área amplia (WAMS)

Basada en unidades de medición de sincrofasores (PMU) y colector de datos (PDC) según el estándar del IEEE C37.118.

Sistema de monitoreo y control de red de área amplia



Sistema de monitoreo, protección y control de red área amplia (WAMPAC)

SINCROFASORES

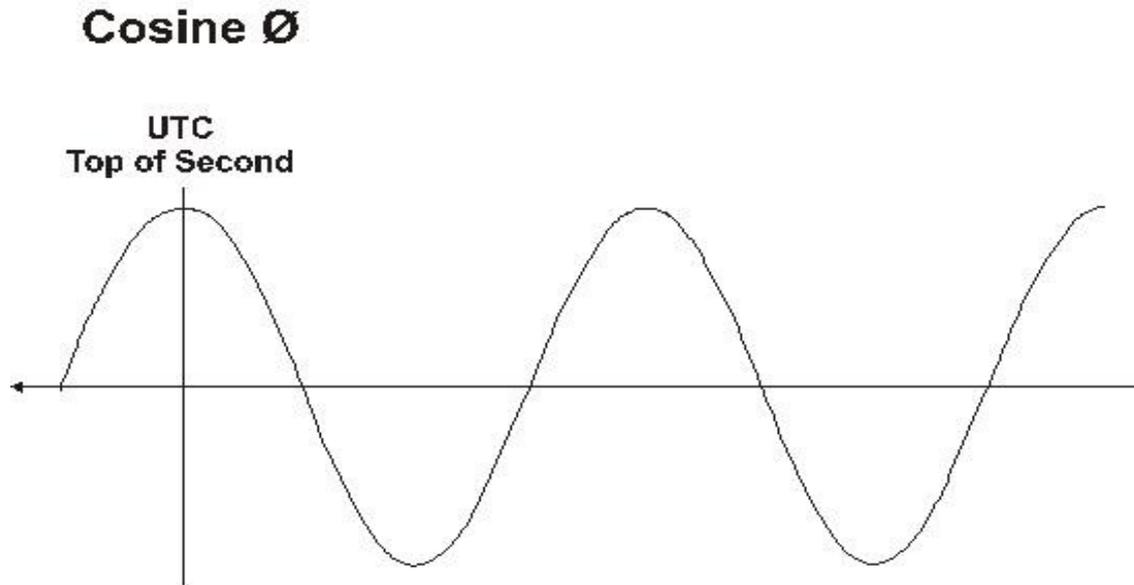
Con un medidor de sincrofasores se puede determinar la desviación de frecuencia en cualquier parte del mundo.

Permite determinar fallas de interconexiones eléctricas hasta 30 minutos previos a la falla.

Consecuentemente, evita fallas que pueden efectuar cascadas que ocasionan pérdidas significativas para las empresas eléctricas, industrias y consumidores.

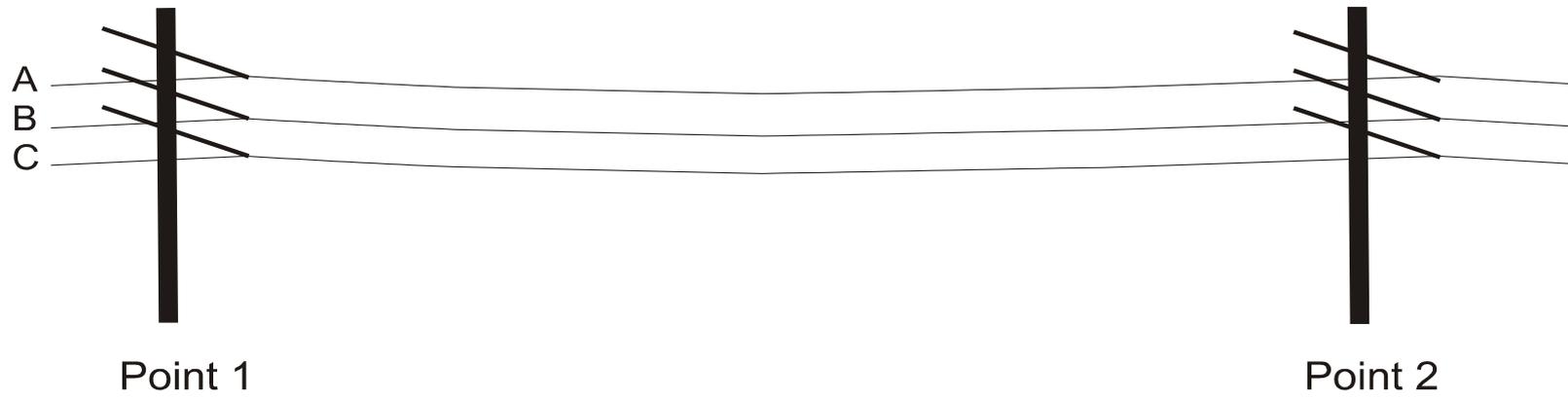
MEDICIÓN FASORIAL SINCRONIZADA

IEEE C37.118

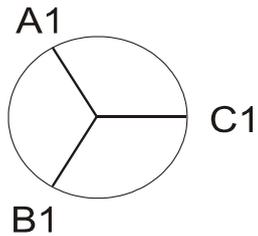


- Generación de una onda de seno virtual de 50/60 Hz como referencia
- Empleando una base de tiempo común
- Medición de ángulos de fase de voltaje y corriente comparados con esta referencia

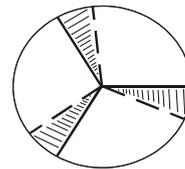
Comparación de las fases



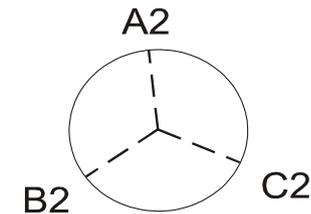
Vector Diagram
Point 1



△ Point 1 / Point 2



Vector Diagram
Point 2



La alta velocidad de información es sumamente precisa para análisis del sistema como por ejemplo oscilaciones.

Grandes diferencias de ángulo de fase entre diferentes regiones es una medida proporcional al estrés de las líneas de transmisión.

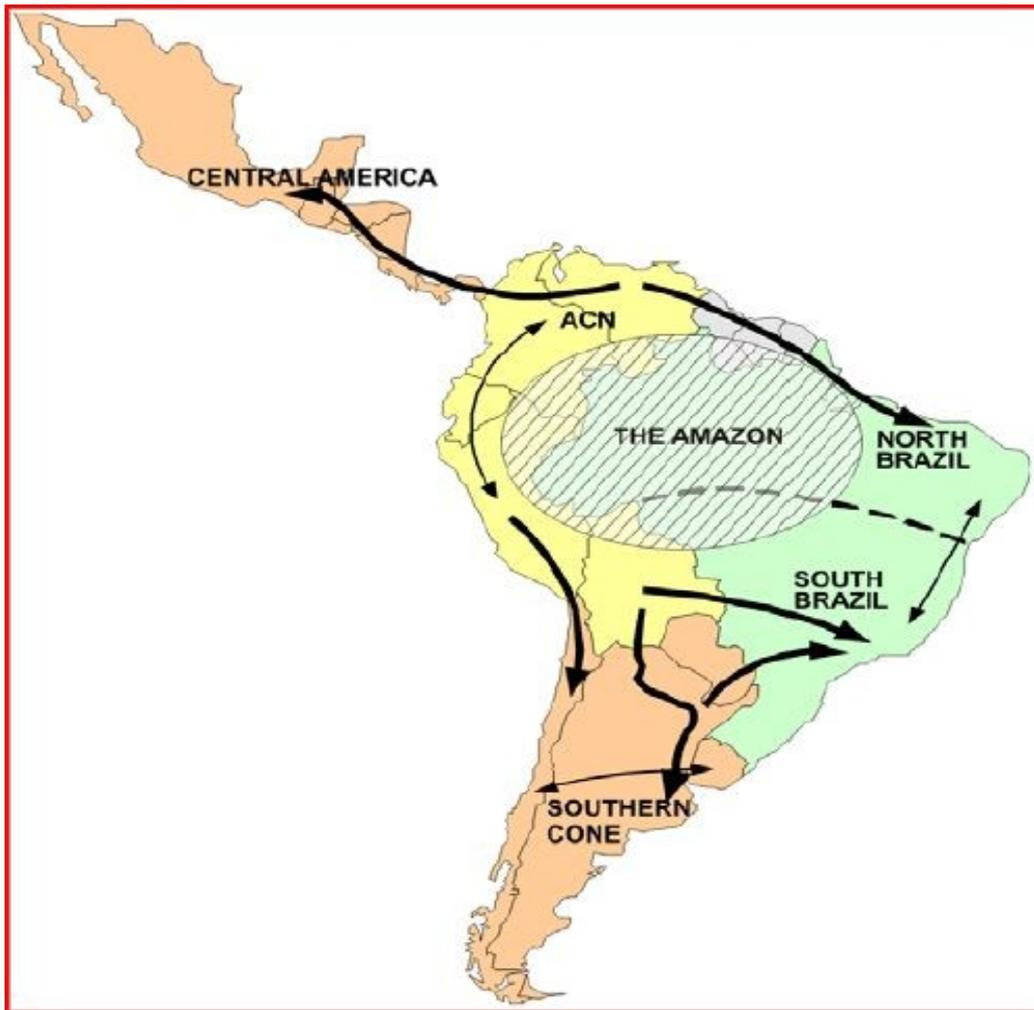
Imagen instantánea y buena resolución



SELECCIÓN DE PUNTOS

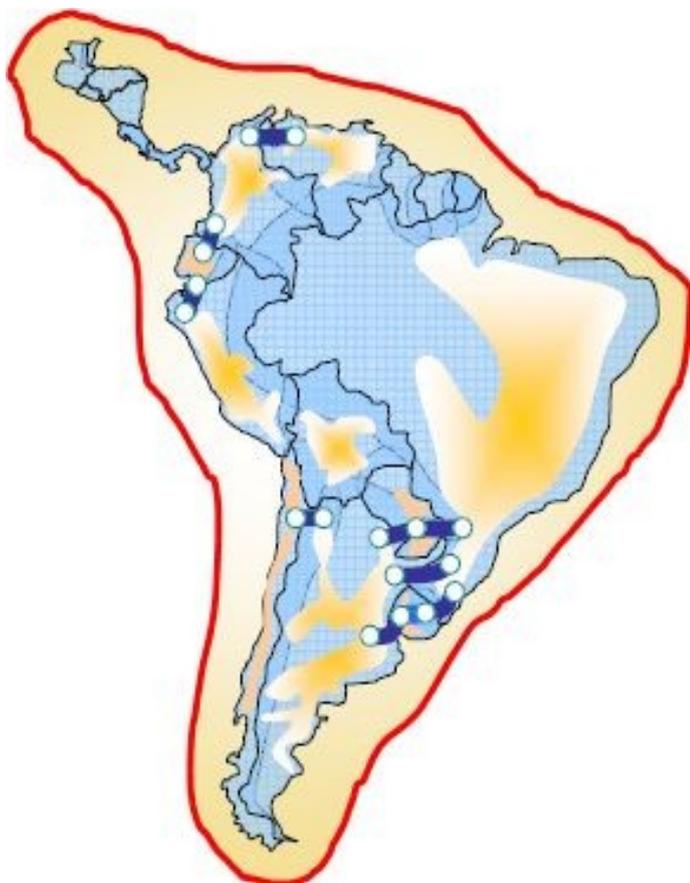
- CRITERIOS GENERALES ESTARÁN EN BASE A LOS OBJETIVOS DEL PROYECTO Y USUARIOS DEL SISTEMA
 - CARGAS IMPORTANTES
 - GENERACIÓN IMPORTANTE
 - ENLACES CRÍTICOS
 - INFRAESTRUCTURA DE COMUNICACIÓN

Interconexiones en América Latina



- Investigaciones sobre redes inteligentes.
- Interconexiones entre países para compartir energía.
- No existe un organismo regional.

¿WAMS Regional?



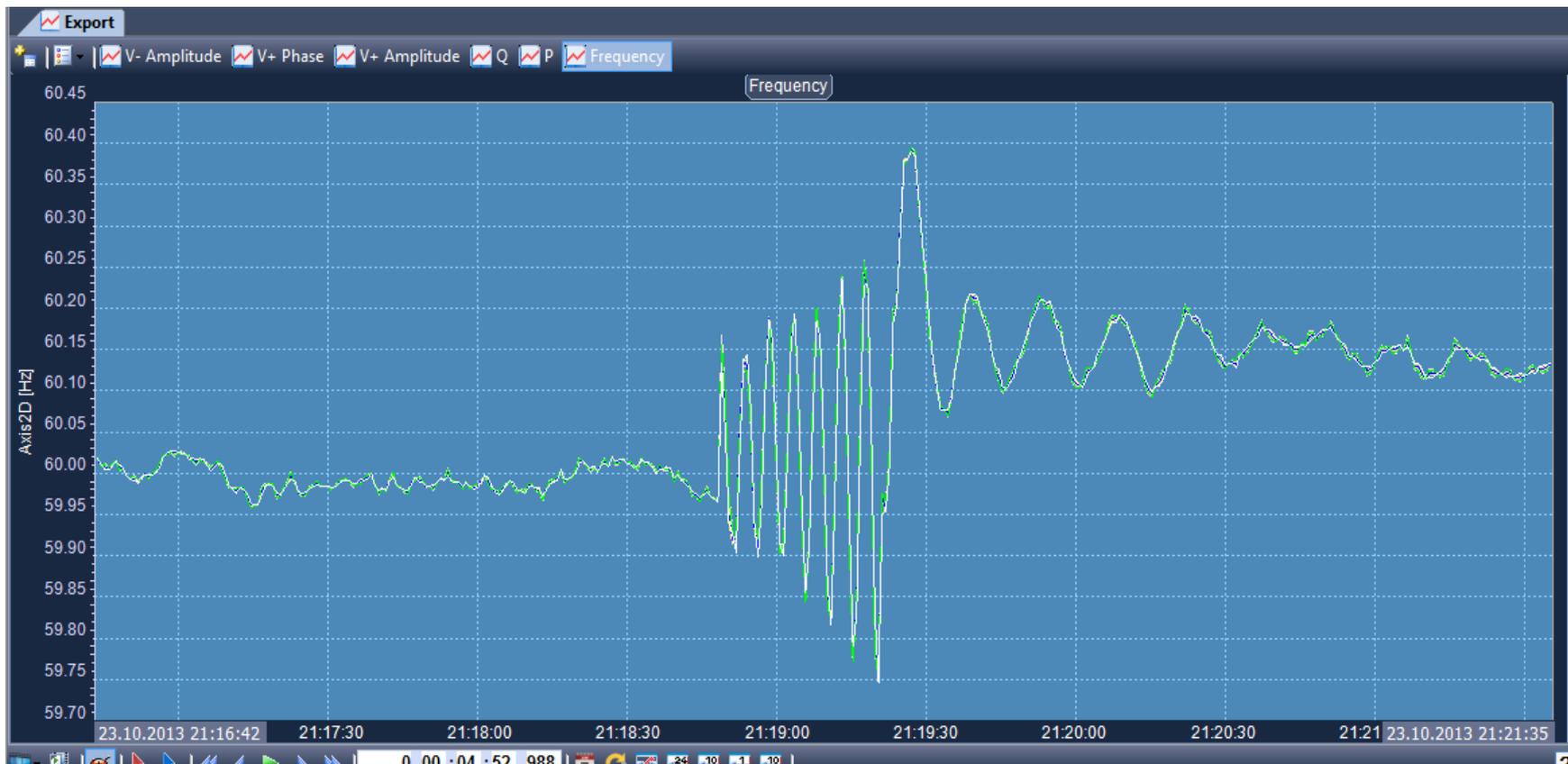
- Cualquier perturbación podría causar oscilaciones en la red del país vecino.
- Hay barreras de regulación e institucionales para abarcar la región entera.
- Las iniciativas de WAMS actuales son dirigidas solo por los operadores locales.

SIEPAC

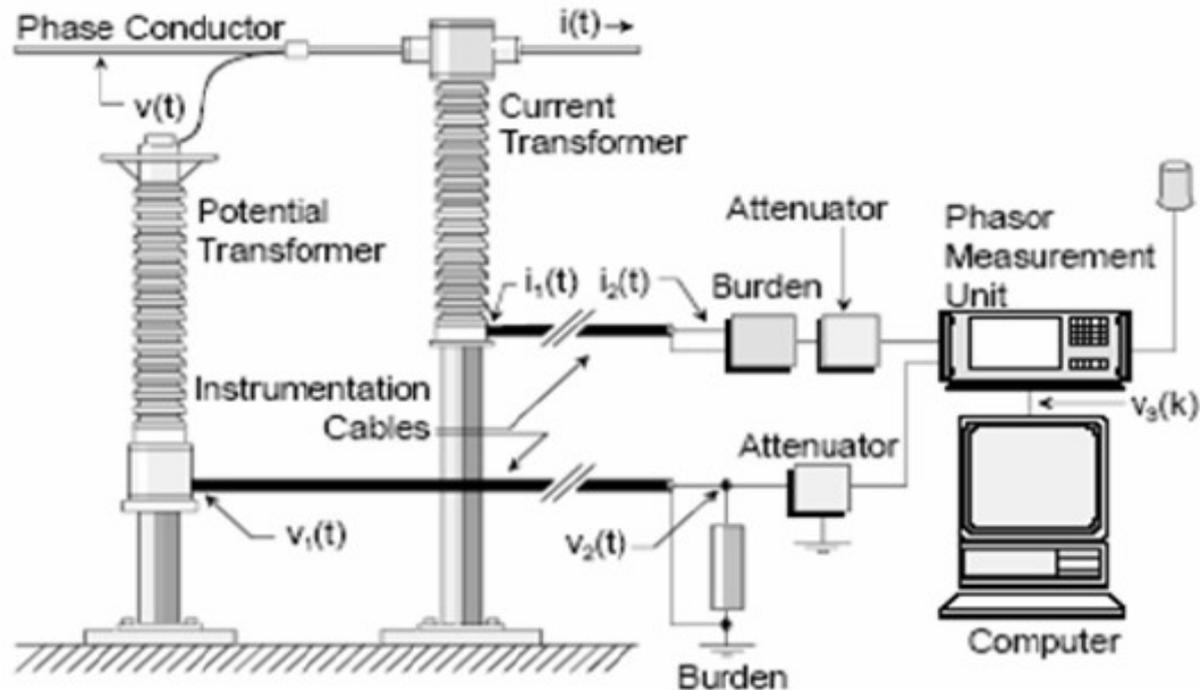
LÍNEA SIEPAC PRIMER SISTEMA DE TRANSMISIÓN REGIONAL



Ejemplo de oscilación



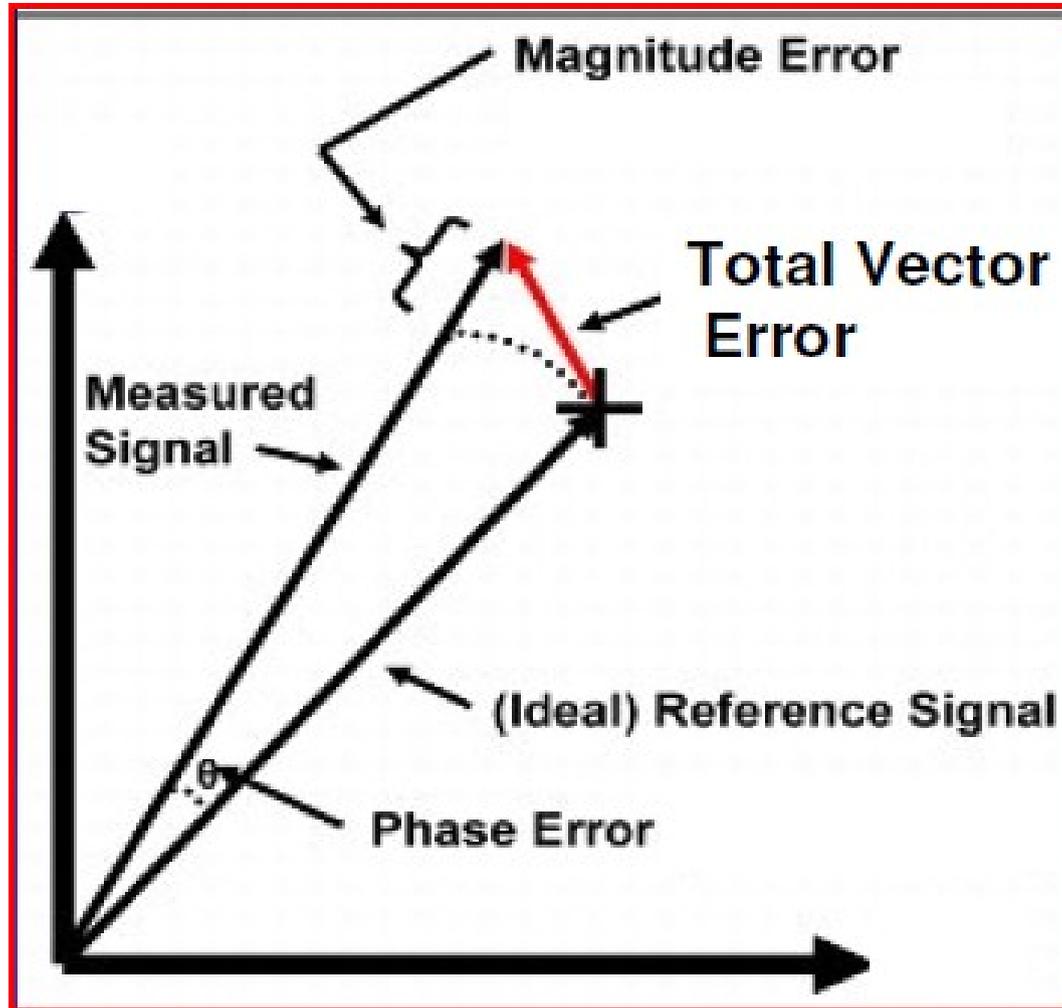
MEDICIÓN TOTAL



Las mediciones de electricidad han sido limitadas a un +/- 2%, causado por la combinación de los errores de:

- La unidad de medición de sincrofasores
- Los transformadores de corriente
 - Corrección de errores de magnitud y fase
- Los transformadores de potencial

VECTOR TOTAL DE ERROR (TVE)



PMU Arbiter Modelo 1133A *(Precisión medición de energía 0.025%)*



Arbiter establecida en California desde 1973, brindamos soluciones a la industria eléctrica para sistemas de sincronización GPS, medición de calidad de energía y sincrofasores y calibradores.

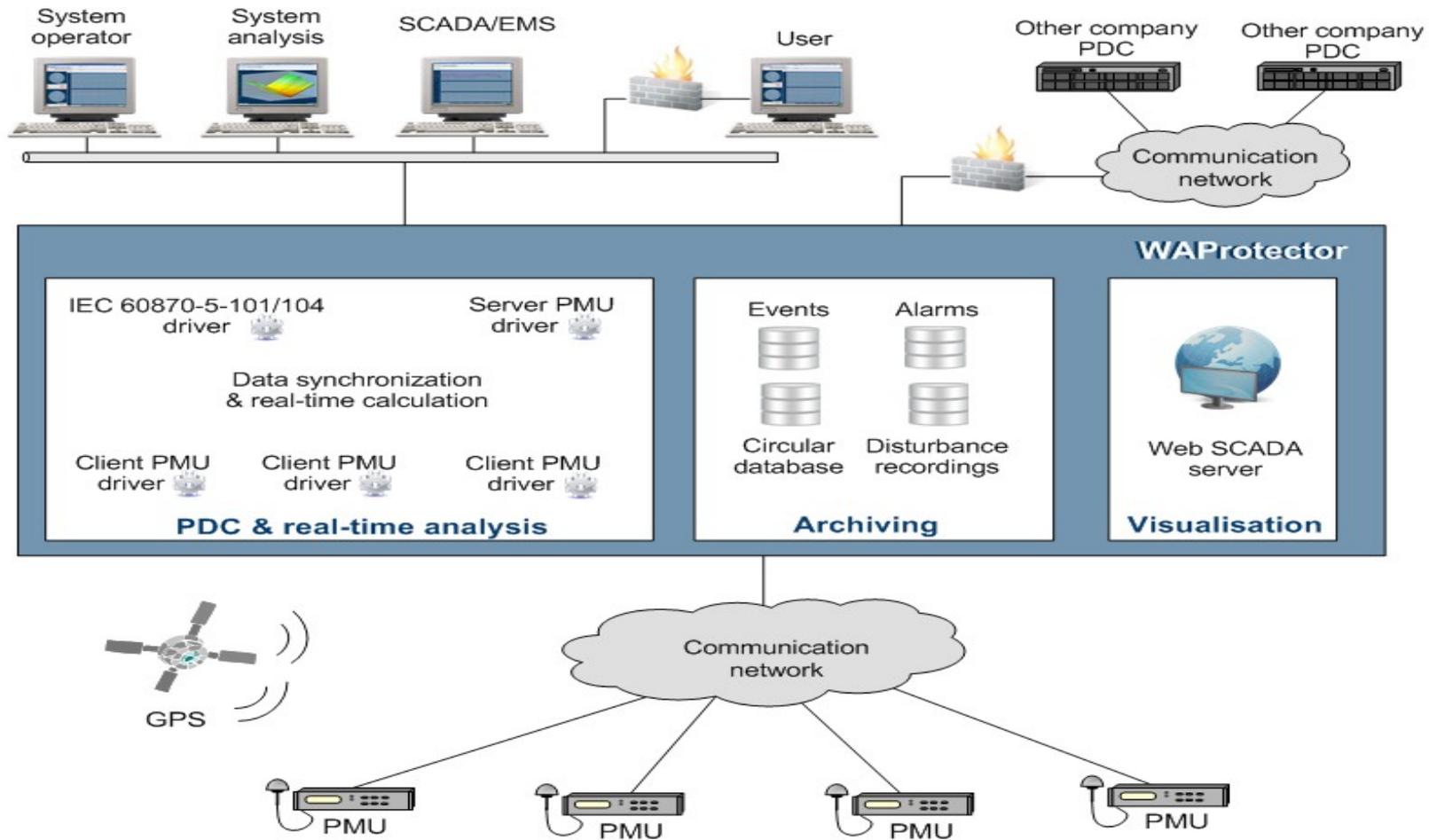
FUNCIONALIDADES DE LAS PMUs

- **Medidor de energía de alta precisión sincronizado vía GPS**
- Salida IRIG-B de alta capacidad
- Forma de onda
- **Medición de frecuencia**
- Capacidad de registro de eventos
- Entradas digitales
- Salidas de contactos
- Puertos de comunicación
- **Medición sincrofasorial**
- **Corrección de errores de CTs**

Aplicaciones de las PMUs

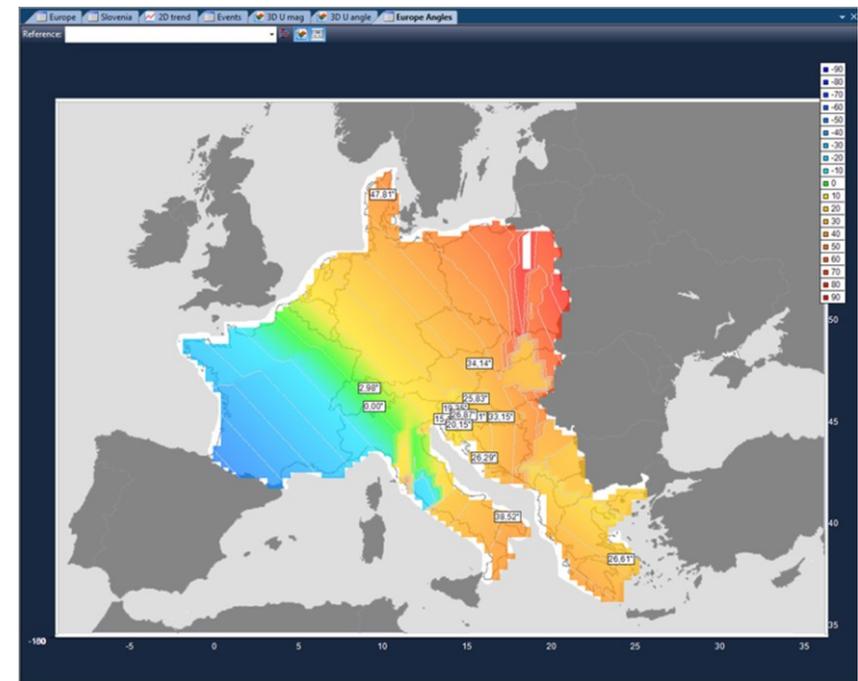
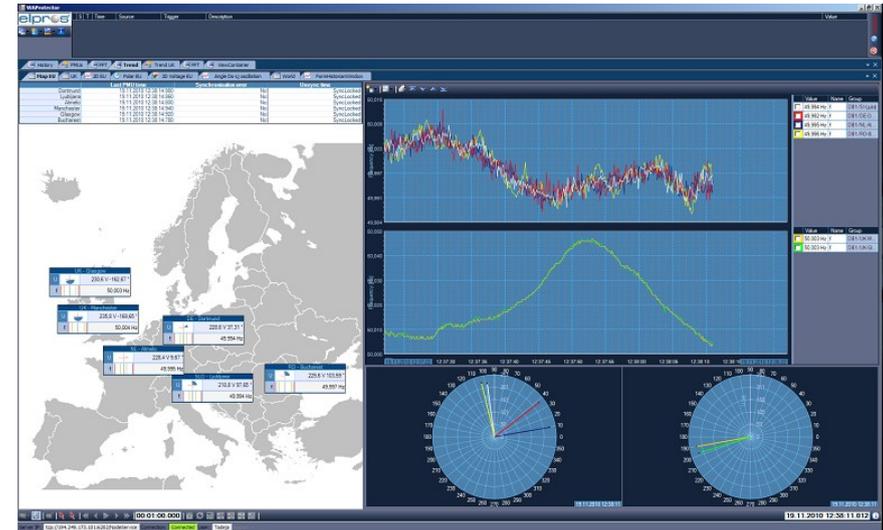
- Monitoreo u observabilidad
- Estimación de estados
- Estabilidad
- Control y protección
- Parametrización de la red
- Localización de fallas

PDC y análisis de tiempo real



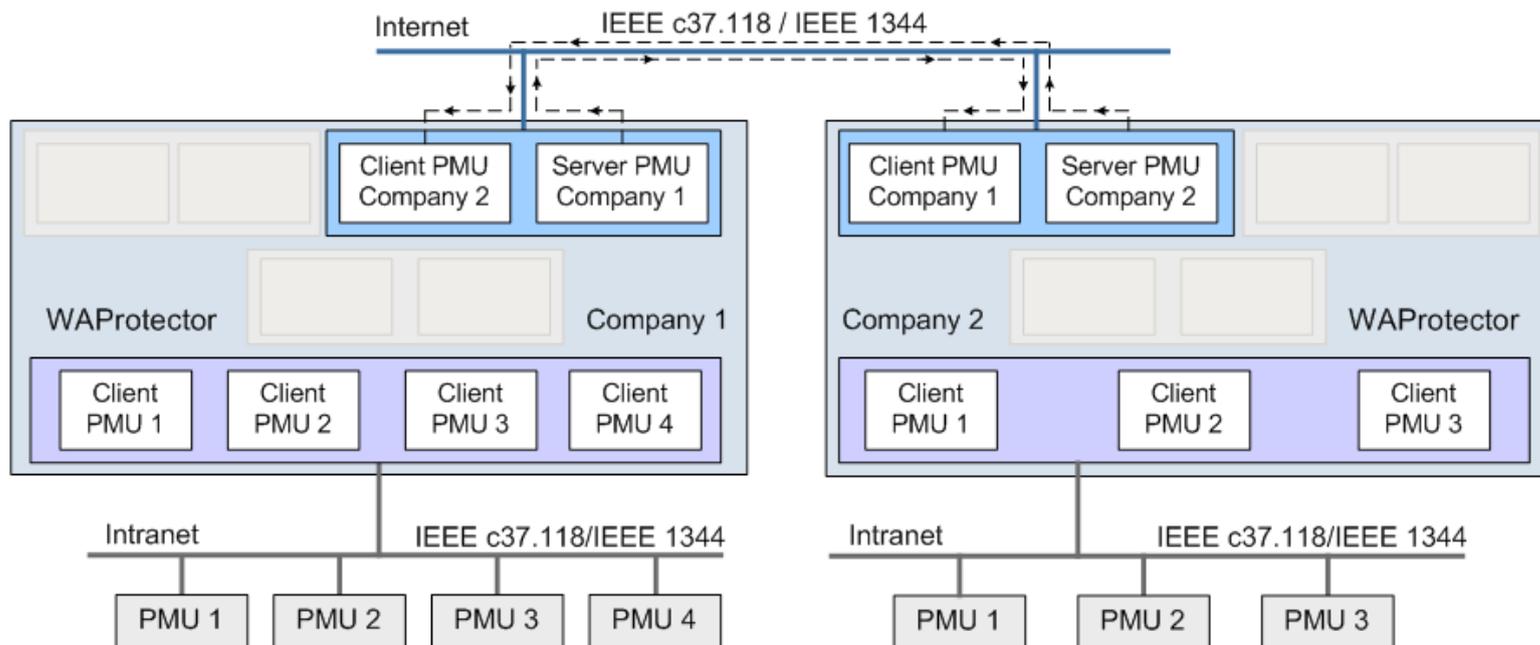
Herramientas de software

- Análisis de datos con muchos cálculos complejos en tiempo real.
- Flujo de datos de muchos PMUs son optimizados vía software con las siguientes funciones:
 - ◆ Estabilidad de voltaje y frecuencia
 - ◆ Oscilaciones de potencia
 - ◆ Monitoreo de ángulos de fase
 - ◆ Temperatura de la línea.
- Interfaces gráficas basadas en avanzadas tecnologías de internet
 - ◆ Medidas y valores calculados en tiempo real
 - ◆ Base de datos histórica al menos de 14 días
 - ◆ Eventos y alarmas
 - ◆ Exportación de datos en diferentes formatos (csv y otros).
- Despliegues flexibles



Intercambio de datos entre empresas

- Servidor de PMU para intercambio de datos entre compañías.
- El intercambio de datos es desarrollado entre diferentes redes de comunicación.
- Solo se comparten los datos seleccionados por los usuarios.



Detector de oscilaciones

- Basado en: potencia activa, frecuencia y diferencia angular.
- Problemas cuando eventos en un sistema de potencia causan grandes cambios en el flujo de potencia. Esto puede causar oscilaciones no amortiguadas.
- La detección de oscilaciones de baja frecuencia está dividida en dos regiones específicas para un determinado fenómeno:
 - 0.01 – 0.7 Hz: oscilaciones inter-area
 - 0.8 - 5 Hz: oscilaciones locales
 - Las regiones exactas dependen de las características de la red.
- La función de oscilaciones de baja frecuencia debe calcular:
 - Frecuencia dominante, magnitud y factor de amortiguamiento
 - Disparo cuando el valor sobrepasa los límites del tiempo de tolerancia.

Detección de oscilación

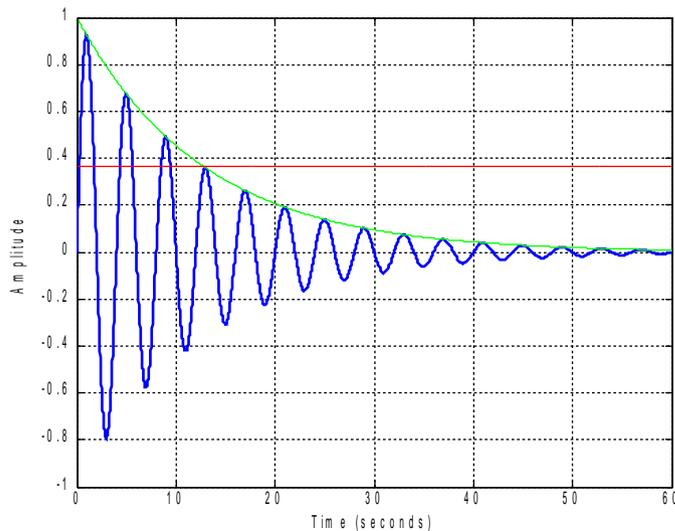
Caso 1:

$$\zeta = 0.05$$

$$\zeta_{[\%]} = 5\%$$

$$\tau = 12,7 \text{ sec}$$

$$\sigma = -0,078 \text{ /seg.}$$



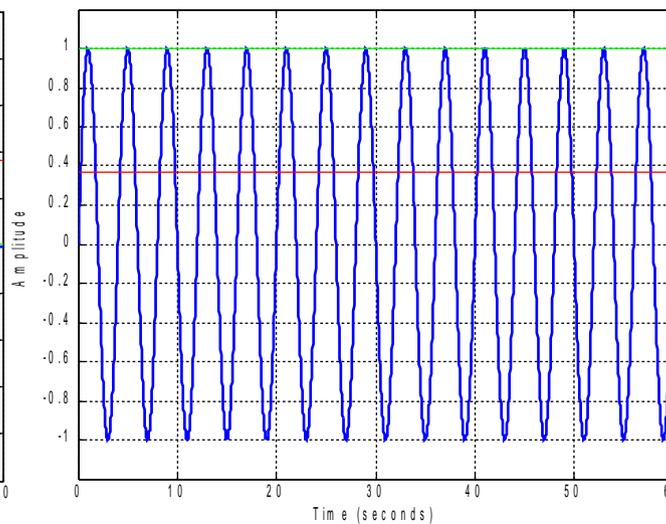
Caso 2:

$$\zeta = 0.00$$

$$\zeta_{[\%]} = 0\%$$

$$\tau = \text{infinito}$$

$$\sigma = 0,0 \text{ /seg.}$$



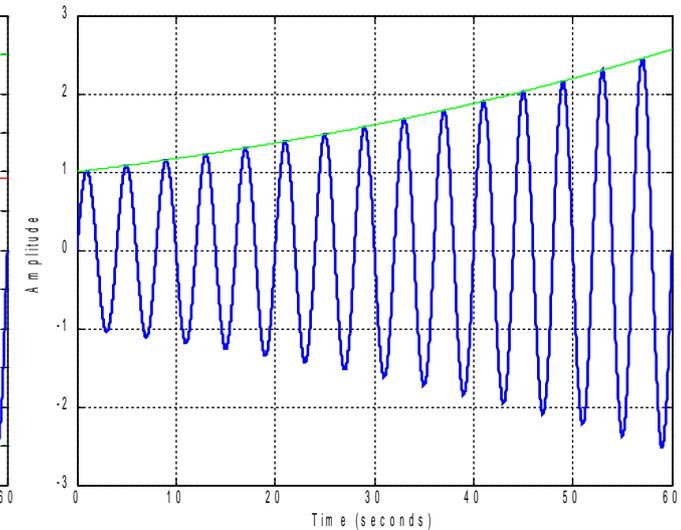
Caso 3:

$$\zeta = -0.01$$

$$\zeta_{[\%]} = -1\%$$

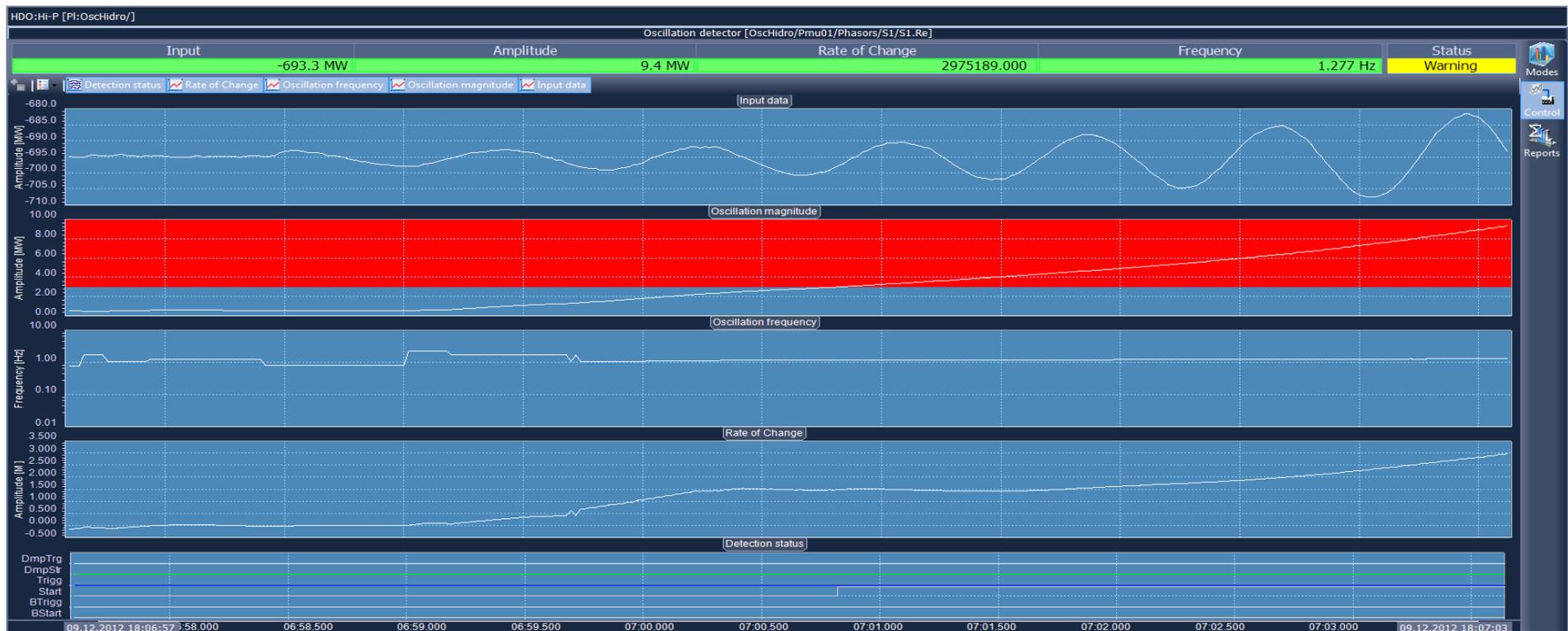
$$\tau = \text{no aplica}$$

$$\sigma = 0,016 \text{ /seg.}$$



Detector de oscilación: Posibilidad de control

- Estados de control basados en la amplitud o el factor de amortiguamiento
- Los estados del detector de oscilaciones pueden ser usados para el control automático en combinación con esquemas de acción remediales.



Localización de la fuente de oscilación

En los sistemas de potencia hay dos clases de oscilaciones:

- Oscilaciones inter-area presentes en muchos puntos
- Oscilaciones locales presentes en una pequeña región

Para la estabilidad del sistema es importante determinar donde se origina la oscilación

Si la fuente de la oscilación es eliminada desaparecerá el modo de oscilación del sistema.

El sistema deberá permitir localizar cuál es el PMU más cercano a la fuente de oscilación.

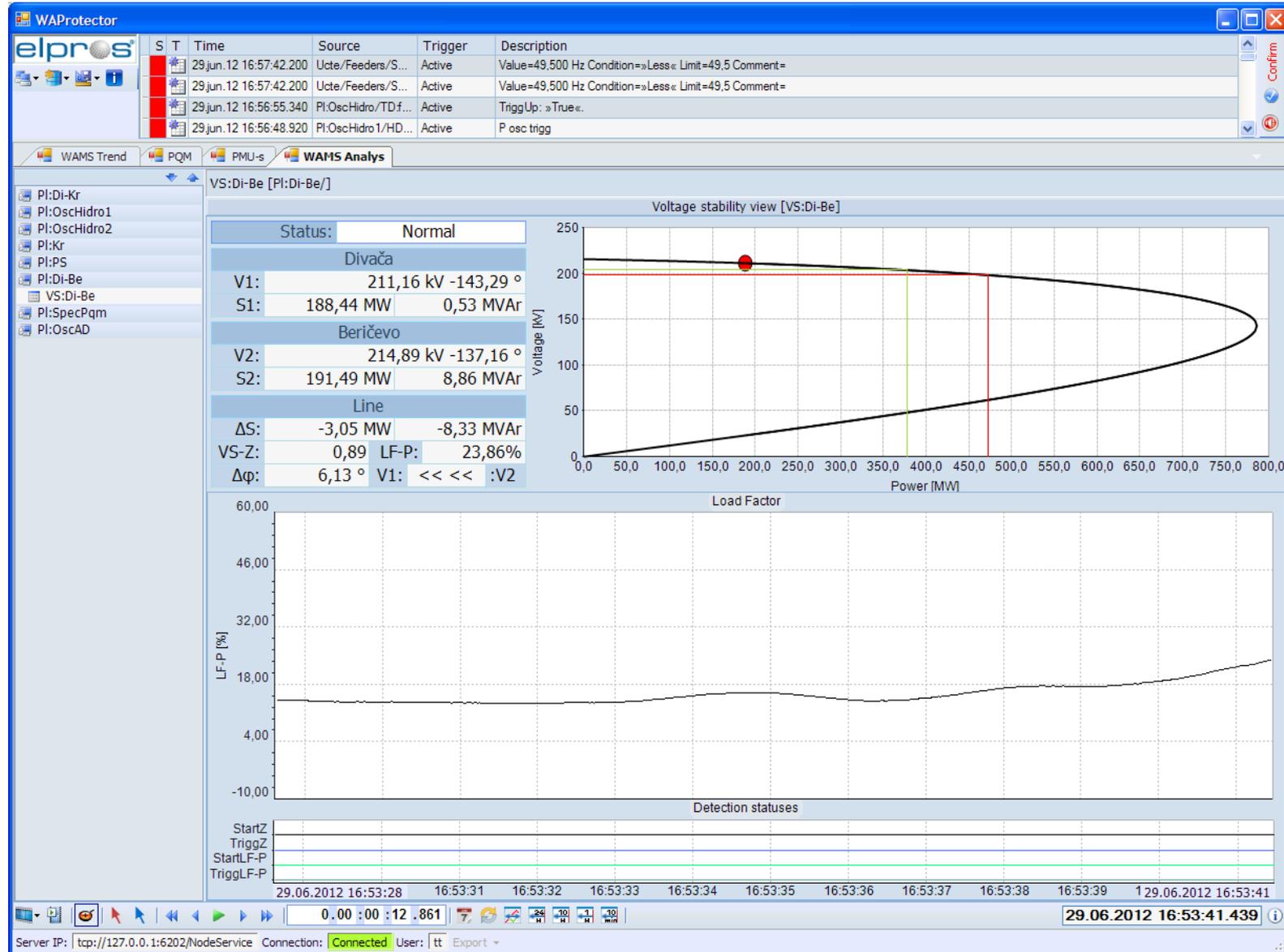
Detector de diferencia angular

- El sistema debe permitir observar la diferencia en los ángulos de fase entre dos subestaciones de la red.
- La diferencia angular aumenta con la carga de un sistema de potencia. La información de diferencia angular también es importante para:
 - Conexión exitosa de dos subestaciones
 - Sincronización de dos áreas
- La violación de los valores de límite debe disparar las alarmas y alertas al operador.

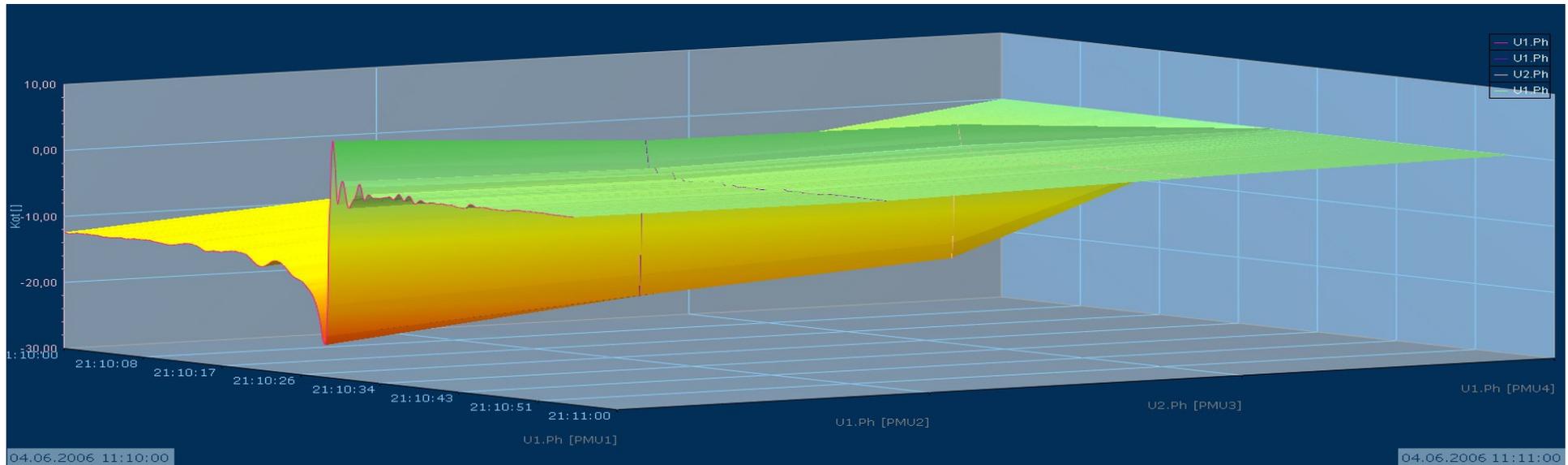
Detección de la estabilidad del corredor de tensión

- La violación de tensión puede ser causada por:
 - Repentino cambio de carga,
 - Eventos impredecibles resultados por la salida de líneas de potencia y/o un generador en el sistema.
- Basándose en las medidas de tensión y corriente, se podría:
 - Calcular la capacidad de transmisión,
 - Calcular los índices de estabilidad de la línea o corredor de tensión
 - Disparar alertas y alarmas al operador cuando la capacidad de transmisión estable es violada en caso de un índice de estabilidad de tensión bajo.

Visualización de la estabilidad de tensión



Infraestructura de comunicación



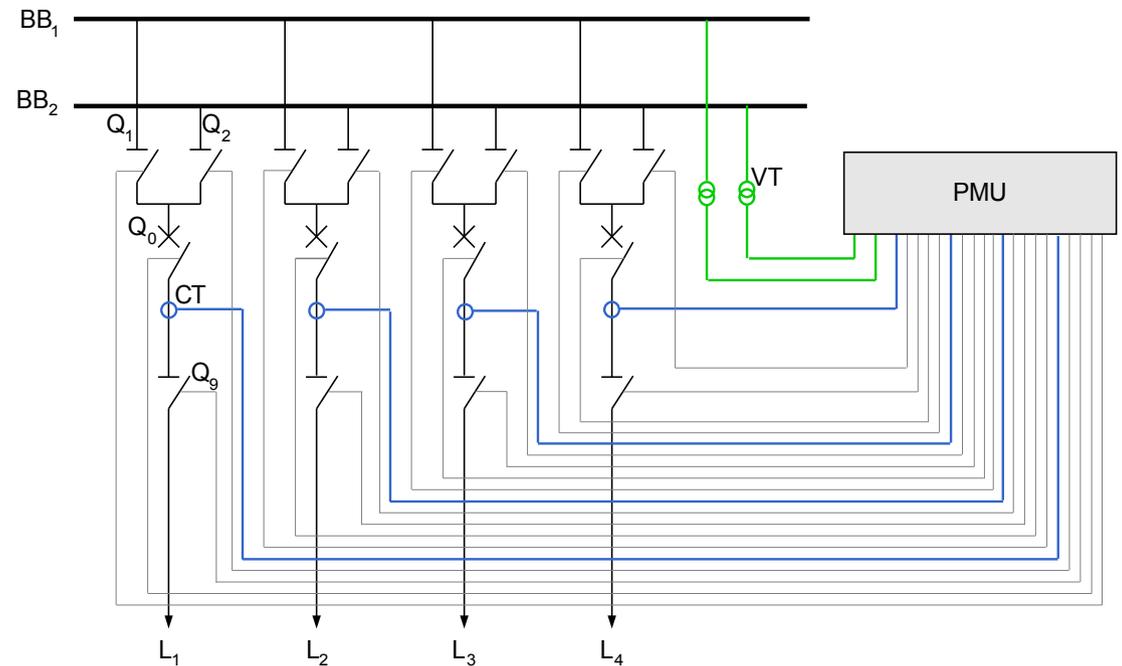
Un WAMS se basa en una infraestructura de comunicación de alta velocidad, ya que cualquier PMU, PDC o cliente debe tener la capacidad de comunicar información en tiempo real o grabada a cualquier participante que tenga interés en dicha data.

Según el estándar C37.118, el juego mínimo de datos transferidos desde el PMU contiene tres fasores de tensión y corriente, frecuencia y desviación de frecuencia, por lo que el ancho de banda mínimo requerido en una red de 60Hz (con un muestreo de 60/s) es de 35,6 kilobits/s.

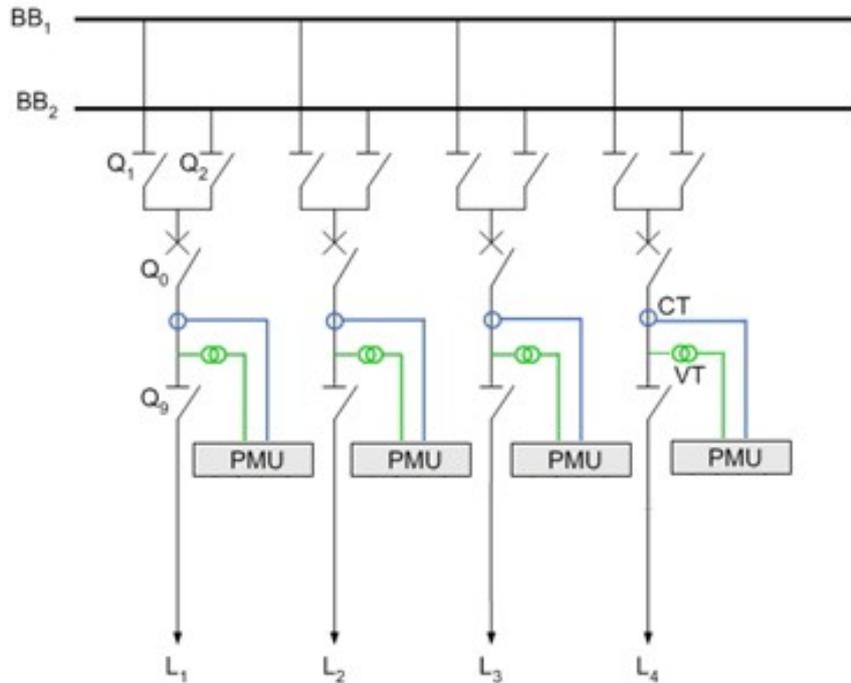
Conexión de las PMUs: Una PMU multi-busbar multi-feeder

Problema de acceso de información de la topología

- Una PMU multi-barra (problema de cálculos adicionales)
- Se requiere información de la topología
- Fasores de tensión pueden ser adquiridos en:
 - PTs de barras,
 - PTs de alimentadores
- Se requiere conocer el estado de los interruptores:
 - Desconectadores de barras Q1 y Q2,
 - Interruptor Q0
 - Desconectador de alimentador Q9.



Conexión de las PMUs: Una PMU por alimentador



- Una PMU – un alimentador (alimentador de tensión y alimentador de corriente)
- No se necesita información de la topología
- Conexión simple
- Solución recomendada

Funcionalidades de un WAMS

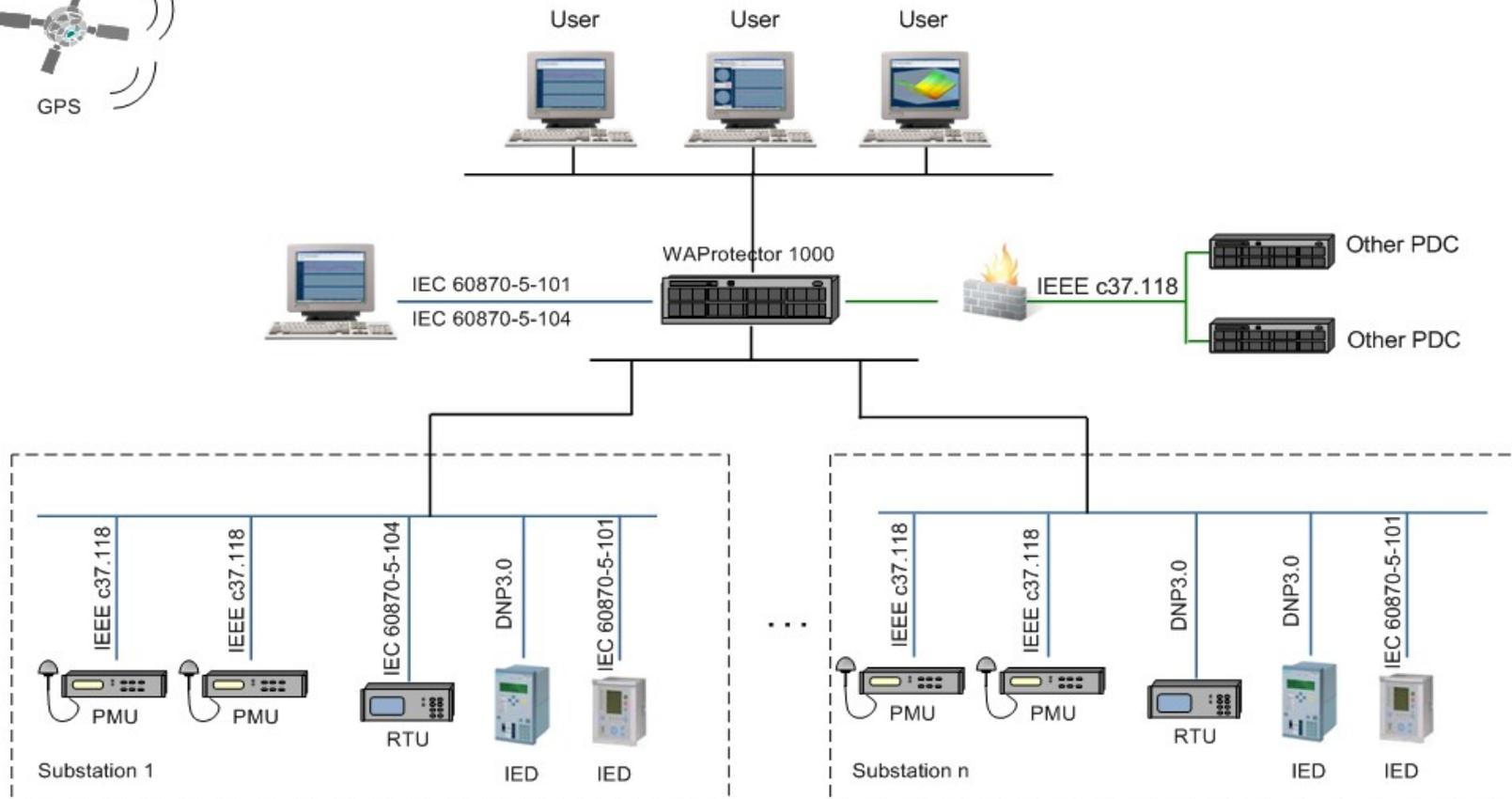
Un sistema WAMS desarrolla desde el punto de vista de monitoreo las siguientes funcionalidades:

- Adquisición de datos de todos los PMUs con resolución completa si el ancho de banda de las comunicaciones lo permite.
- Análisis de la detección de estabilidad (por ejemplo, detección de oscilaciones de baja frecuencia, detección de islas, etc.).
- Disparo de eventos y alarmas
- Intercambio en tiempo real con otros PDCs y sistemas SCADA
- Almacenamiento de datos
- Presentación gráfica de las mediciones y valores calculados
- Reportes automáticos

Protección clásica vs WAMPAC

	Protección clásica	WAMPAC
	Data access parameters	
Data access	Direct to I/O units	Over the network
Data access time	<1ms	>20ms
Data access accuracy	high	Depends of communication network reliability
	Protection/detection	
Protection reaction time	<10ms	>500ms
Area of operation	Local (Substation level)	Inter-area (national/international)
Types	I>, U<>, f<>, Z<, Idiff	Inter-area oscillation detection Local oscillation detection Angle difference detection, Voltage stability, Islanding detection, Oscillation source detection.
Protection reaction	Fault elimination Operator alert	Operator alert RAS
Automatic control	Always	Is possible but is rarely in practice
Manual control by operator	Only if automatic is not possible	Usually

WAMPAC CENTRALIZADO



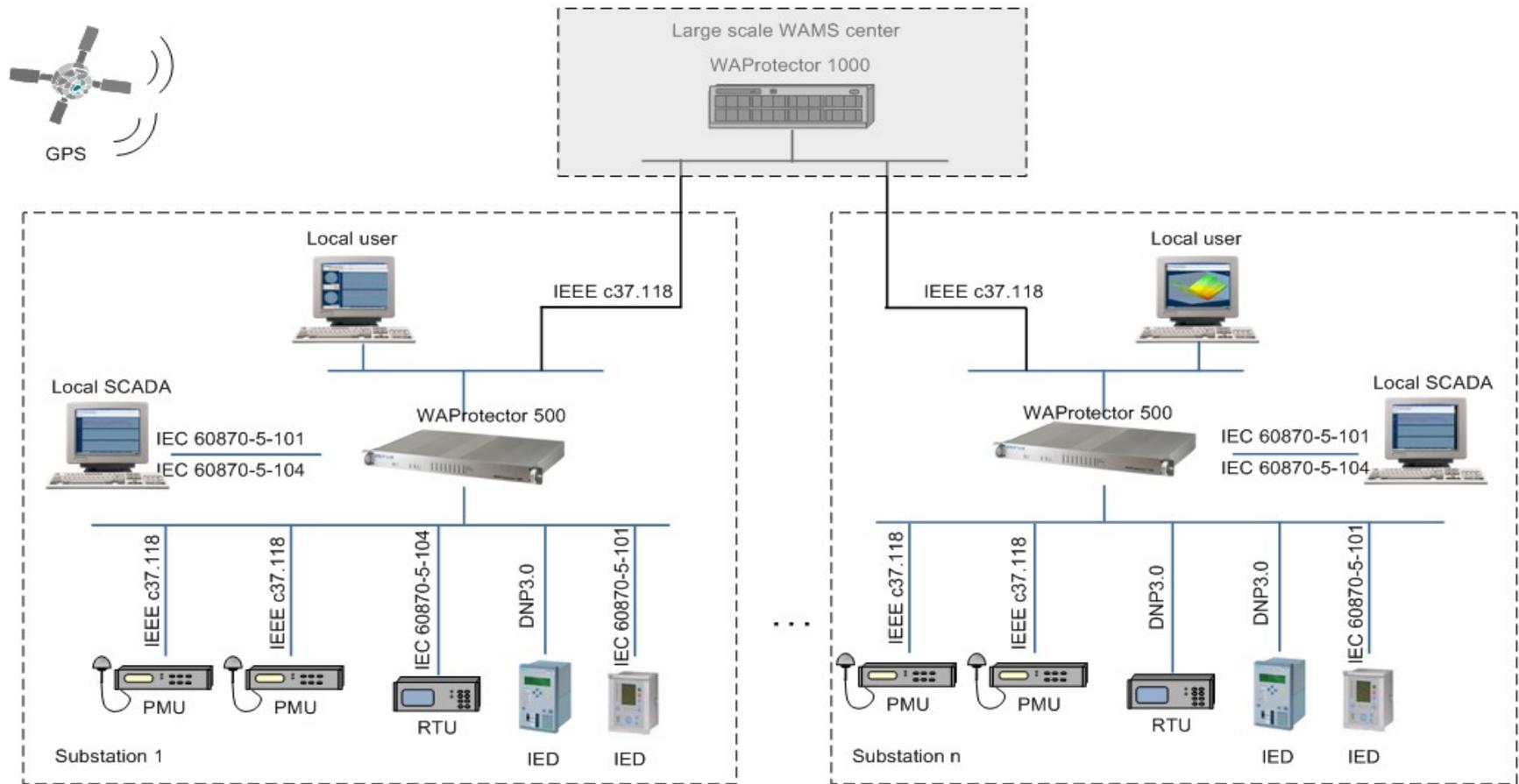
PDC LOCAL

Un PDC de subestación se necesita en los siguientes casos:

- Cuando las acciones de control son hechas en base a la información de muchos PMUs de la misma subestación y ésta necesita ser hecha aún si la comunicación con el PDC central no esté disponible. Es útil en el caso enlaces de comunicación débiles con el centro de control y la información disponible en la subestación sea suficiente para la implementación de acciones de control. Un ejemplo de este caso puede ser la detección de oscilaciones de potencia en la línea de transmisión y la ejecución de un procedimiento correctivo.
- El PDC local puede ser usado cuando el usuario deseé acceder a la información de visualización en un nivel local. Un ejemplo de esto puede ser los PDCs instalados en las plantas de generación.

En el caso de líneas de comunicación de alta confiabilidad, el PDC local no es necesario.

PDC central y de subestación



Implementation performed with central and substation PDC

Redundancia

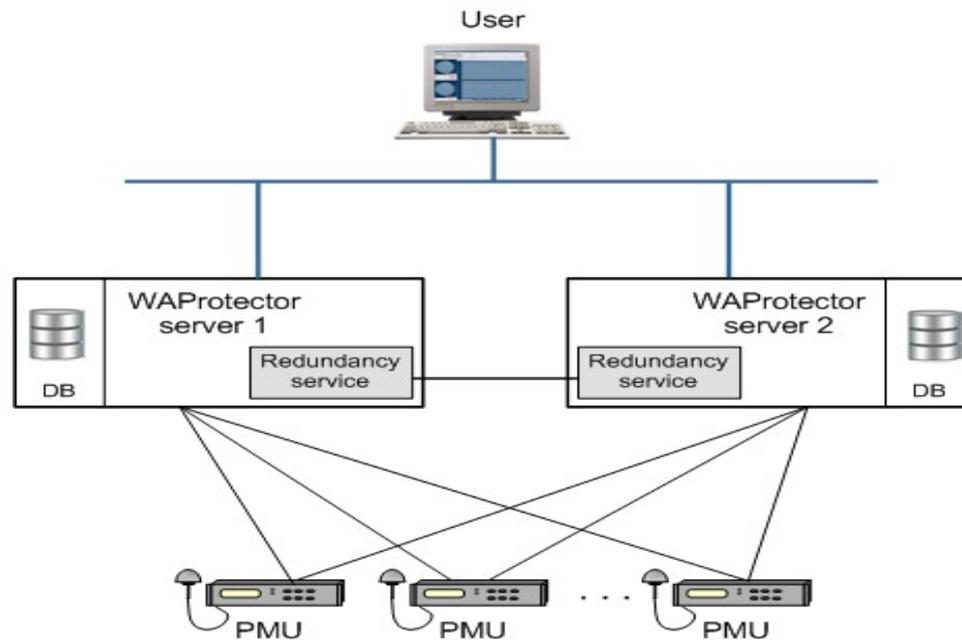
El propósito de sistemas redundantes es asegurar la alta disponibilidad del sistema WAMS.

Ésta puede ser implementada por dos vías:

- Sistema redundante en *hot standby*
- Redundancia como almacenamiento de información de respaldo

Redundancia stand-by

Dos sistemas separados son conectados a través de un canal de servicio redundante. Un sistema es configurado como sistema primario y otro como secundario. En tiempo real solamente un sistema está activo. El sistema secundario está solamente como standby. De esta forma, la información es optimizada dado que el ancho de banda de comunicación es necesario solamente para un acceso simultáneo a las PMUs.

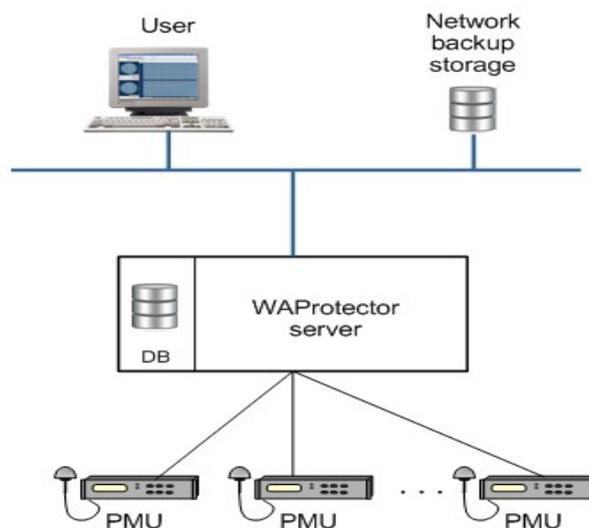


Redundancia como almacenamiento de respaldo

Esta redundancia es implementada como respaldo del almacenamiento de base de datos de la red. No es de redundancia completa de software y hardware, sino solamente de base de datos.

Puede ser usada cuando los costos para una redundancia completa sobrepasan el presupuesto; sin embargo, la importancia de los datos es alta.

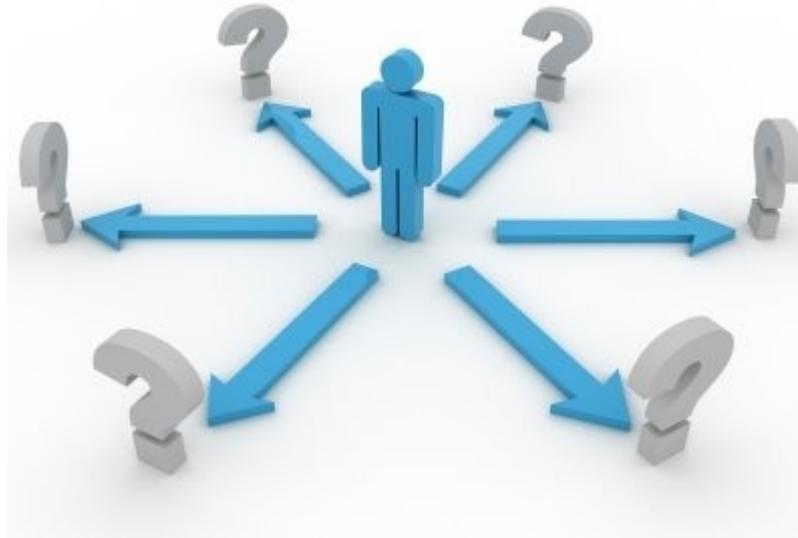
El sistema podrá simultánea y automáticamente almacenar datos en el sistema central y también en el almacenamiento de respaldo de la red.



CONCLUSIONES

- Los sistemas de monitoreo, protección y control de red de área amplia (WAMS y WAMPAC) permiten la detección, prevención y mitigación de apagones en los sistemas interconectados.
- Fuentes de error en la medición de sincrofasores son los PMUs, los PTs y CTs. Proponemos la corrección de error de los CTs y el uso de herramientas de software de alta precisión basadas en redes de comunicación confiables.
- La integración de los sistemas de energía de Latinoamérica tiene un potencial excepcional para construir un sistema de energía de bajo costo con un alto grado de seguridad para la provisión de energía de la región.

¿PREGUNTAS?



¡MUCHAS GRACIAS!

Diógenes Quintero
dqintero@arbiter.com