

Estrategias para la Implementación de un Sistema de Monitoreo de Área Extendida WAMS en el Sistema Nacional Interconectado del Ecuador

G. Rivera

A. De La Torre

Corporación Centro Nacional de Control de Energía -CENACE

Resumen— En este trabajo se realiza una descripción de los conceptos básicos relacionados con Sistemas de Monitoreo de Área Extendida WAMS y se pretende contestar las siguientes preguntas relacionadas con la implementación de sistemas WAMS. ¿Cuántas PMUs deben ser instaladas y en qué subestaciones? ¿Cuál debe ser el número de muestras por segundo obtenidas desde una PMU? ¿Cuánto tiempo se planifica almacenar la información obtenida por las PMUs? Se presentan las principales estrategias utilizadas para implementar un sistema WAMS en el S.N.I. Se describe el proceso de implementación del sistema WAMS. Se presentan las alternativas para la integración de los sistemas WAMS con el sistema de Gestión de Energía EMS del CENACE y finalmente las principales conclusiones y recomendaciones.

Palabras clave— Sistemas de Monitoreo de Área Extendida WAMS, Unidades de Medición Fasorial PMUs, Sistemas Informáticos, Sistema de Gestión de Energía EMS, Sistemas de Eléctricos de Potencia SEP, CENACE, Sistemas SCADA.

1. INTRODUCCIÓN

El estado del arte de la planificación, operación y análisis post-operativo de los Sistemas Eléctricos de Potencia -SEP exigen la utilización de nuevas herramientas que permitan aplicar la Filosofía de Operación utilizada en una Subestación (toda la información tiene una misma referencia de tiempo y no importan las distancias físicas ni eléctricas de los elementos) a un Sistema de Potencia distribuido geográficamente, que por lo general se encuentra constituido por varias subestaciones, incluidas interconexiones con otras áreas.

Esta nueva concepción en el proceso de gestión de sistemas eléctricos de potencia se denomina sistemas WAMS -Sistema de Monitoreo de Área Extendida e implica la utilización de una combinación de tecnologías de medición fasorial (también conocidas como mediciones sincrofásiales), sistemas de comunicaciones y aplicaciones para proveer una vista dinámica del SEP con alta precisión de mediciones.

Estas mediciones son sincronizadas con la señal de tiempo de un Sistema Global de Posicionamiento (GPS) y los tiempos de adquisición de datos están en el orden de los milisegundos, lo que proporciona a los ingenieros de operación, planificación y análisis post operativo de mejores herramientas para su trabajo en el sistema de potencia.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

Las mediciones obtenidas con los sistemas SCADA/EMS actuales no están sincronizadas en el tiempo y la tasa de adquisición de estas mediciones es de varios segundos, lo que proporciona únicamente una visión estática del SEP dejando sin monitoreo los fenómenos dinámicos ocurridos en el sistema.

Los problemas mencionados en el párrafo anterior son resueltos con mediciones sincrofásiales que proporcionan mediciones sincronizadas en el tiempo y adquisición de datos entre 20 y 60 muestras por segundo, los equipos que proporcionan esta información se denominan Unidades de Medición Fasorial - PMUs. Adicionalmente a lo anterior, es necesaria la integración del sistema de comunicaciones adecuado, servidores para la organización de estos datos y aplicaciones especializadas para procesar esta información que brinde una visibilidad dinámica completa de todo el sistema de potencia.

2.1. Unidad de Medición Fasorial -PMU

Una PMU constituye la integración en un solo equipo de un dispositivo de Reloj controlado por satélites, a través de GPS para sincronización de tiempo y un dispositivo de medición integrado con un algoritmo propietario y/o Transformada Discreta de Fourier, que en una ventana de tiempo determinada filtra varias muestras de datos a fin de obtener la mejor información. La PMU se encarga de medir los fasores de voltaje y corriente y transmitir los datos por medio de los enlaces de comunicaciones adecuados hacia el Concentrador de Datos de Fasores - PDC.

2.1.1. Elementos de una PMU

- **Filtro Antialiasing**, filtra las frecuencias superiores a la frecuencia de muestreo, para evitar que estas sean digitalizadas.
- **Conversor Análogo/Digital**, transforma las medidas análogas de voltajes y corrientes en valores digitales.
- **Microprocesador**, calcula aplicando transformada discreta de Fourier y/o algoritmos propietarios, los valores fasoriales.
- **Receptor de señales de GPS**, permite la sincronización de las medidas a una misma referencia de tiempo.
- **Transductor de comunicación**, constituye el canal de salida para la transmisión de datos fasoriales.

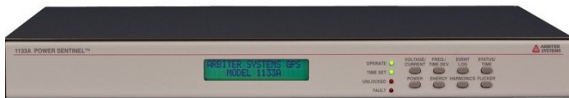


Figura 1: PMU Arbiter modelo 1133A

2.2. Concentrador de Datos de Fasores (PDC)

Su función es recibir y almacenar la información de los datos medidos por las PMUs y dependiendo de la complejidad del sistema de otros PDCs. En resumen las funciones que realiza un PDC son:

- Organizar los datos fasoriales de acuerdo a la estampa de tiempo, concentrando todas las medidas de la red de PMUs.
- Enviar información a los históricos o hacia otros PDCs.
- Registrar las pérdidas de conexión y de recepción de información.
- Registrar los errores de información e insertar banderas que indican la calidad de los datos.

Los PDCs de acuerdo a su utilización y ubicación pueden ser locales, regionales y centrales o Súper PDC, dependiendo de la arquitectura utilizada. Y pueden ser de Hardware o de Software.



Figura 2: PDC de la Estación SEL-3373. Fuente SEL

2.3. Aplicaciones WAMS

Los sistemas de medición sincrofasorial utilizando PMUs han creado un nuevo entorno en la operación de SEP dando lugar a la creación de una nueva clase

de aplicaciones que están basadas en mediciones y no dependen de ningún modelo matemático del sistema eléctrico. Estas aplicaciones están en pleno desarrollo y todavía no se dispone de un conjunto definido de aplicaciones estándares, por lo que cada empresa desarrolladora dispone de sus propias aplicaciones WAMS con sus propias características.

Las aplicaciones WAMS actualmente desarrolladas tienen como objetivo:

Supervisión de sistemas eléctricos de potencia

- Evaluación en Tiempo Real del comportamiento dinámico de un SEP.
- Optimización en las transferencias en el sistema de transmisión con un alto grado de seguridad.
- Monitoreo de la estabilidad del SEP mediante la identificación oportuna de modos de oscilación.
- Restablecimiento del sistema luego de un colapso.
- Permite la integración de islas.
- Información más precisa y con períodos de actualización muy pequeños que permiten relajar las restricciones en el sistema de potencia.

Planificación del Sistema

- Utilización de información de tiempo real con alto grado de precisión en el orden milisegundos para realizar/validar los análisis eléctricos.
- Mejora de la modelación dinámica del sistema para la evaluación dinámica.
- Permite determinar modos no amortiguados de oscilación de estabilidad de pequeña señal.
- Permite realizar la sintonización de los estabilizadores de potencia en las unidades.

Análisis Post-Operativo

- Se dispone de mejor información para el Análisis de los eventos ocurridos en el sistema.
- Se posibilita la identificación de oportunidades de mejora en la operación del sistema.

2.4. Estándar IEEE C37.118

Este estándar se aplica a las mediciones sincrofasoriales utilizadas por los sistemas WAMS en condiciones normales de operación, en el cual se establece el tipo de mediciones, el procedimiento para cuantificarlas, además de las descripciones para la prueba de calidad. Este abarca lo siguiente:

- Características básicas y métodos para realizar las mediciones sincrofásorales.
- Pruebas para determinar que las medidas realizadas por la PMU sean correctas, especificando los límites permitidos en los errores de las mediciones.
- Protocolo de comunicaciones en el que se define la transmisión de datos utilizado para sincrofasores en tiempo real ya sea PMU - PDC o PDC - PDC, en los que se incluye datos, configuración e información de encabezado y comandos. Además los mensajes llevan información de la calidad de los datos recibidos, conociendo si se recibe datos válidos de medición sincronizada o no.

La primera norma utilizada para los sistemas WAMS fue la norma IEEE 1344-1995 que fue reemplazada por la norma IEEE C37.118 -2005 que comprendía entre otras mayor énfasis en la estandarización de información de estado estable y algunos métodos de comunicaciones como son: UDP/IP y TCP/IP. Finalmente el año pasado se publicó el estándar C37.118.1 y C37.118.2 de 2011 que incluyen la forma como se debe realizar las mediciones ante condiciones anormales del sistema (fallas del SEP).

3. DIMENSIONAMIENTO PARÁMETROS BÁSICOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE WAMS

3.1. Ubicación de PMUs en el SEP

Uno de los principales problemas presentados en un inicio en la ubicación de PMUs en un SEP era el costo de los mismos, el medio y la velocidad de transmisión de los datos. Estos problemas se han ido superando con el devenir de los años y los modelos matemáticos que resuelven el problema de la ubicación óptima de PMUs ha sido traslado a resolver el problema de la cantidad de información que se transmiten desde las diferentes estructuras PMUs-PDCs. La ubicación de PMUs en un SEP se resuelve de acuerdo a lo que se necesite monitorear.

Supervisión Angular del SEP

Las PMUs se ubicarán principalmente en las barras del anillo troncal del sistema de transmisión del SEP, en las subestaciones frontera de interconexiones eléctricas y en barras de los grandes centros de carga del SEP.

Estabilidad Oscilatoria del SEP

Las PMUs ubicadas dependerán de los estudios eléctricos que identifiquen subestaciones que presenten oscilaciones en el sistema.

Sintonización de Parámetros Eléctricos de Elementos del SEP

Para el caso de líneas de transmisión, las PMUs se ubicarán en las barras que conectan con la línea de transmisión cuyos parámetros serán analizados.

Calibración de Parámetros en PSS, Reguladores de Velocidad y AVRs

Las PMUs se ubicarán en la barra de bornes del generador.

Para el caso de transformadores, las PMUs se ubicarán las barras de alto y bajo voltaje.

Subestaciones Críticas en la Operación del SEP

Es necesario también determinar los elementos que son críticos en el sistema y que necesitan una mejor supervisión. Este caso comprende líneas de transmisión y transformadores con altas transferencias de potencia, líneas de transmisión y/o transformadores, cuya salida pongan en riesgo la operación del SEP.

3.2. Determinación de Periodicidad de Adquisición de Datos de PMUs

La velocidad de muestreo para la adquisición de información de las PMUs está restringida a la velocidad de transmisión de las PMUs, al número de PMUs instaladas, al medio y ancho de banda de comunicaciones y a la capacidad de procesamiento de las aplicaciones WAMS.

En la actualidad, la velocidad de muestreo de información de las PMUs está en el orden entre 20 y 60 muestras por segundo.

3.3. Determinación de Periodicidad de Almacenamiento de Información de PMUs

Las altas tasas de muestreo hacen que en poco tiempo la gran cantidad de datos saturan la capacidad física de almacenamiento. Por esta razón pensar en almacenar toda la información proveniente de las PMUs se ha convertido en un desafío técnico y altamente costoso. La mayoría de soluciones actuales han preferido la combinación de dos métodos de almacenamiento:

Almacenamiento Total de Información

Utilizando bases de datos circulares (cuando llegan a su máxima capacidad de almacenamiento

sobrescriben el primer dato guardado con el último dato obtenido. El período de almacenamiento va a depender de la cantidad de datos (fasores voltaje, corriente, etc.) del número de PMUs instaladas y de la tasa de muestreo.

Existen varias herramientas simples en el mercado que permiten calcular la capacidad de almacenamiento total de PMUs por año. En el caso de CENACE se utilizó la herramienta facilitada por cortesía de Schweitzer Engineering Laboratories.

Almacenamiento de Información Relevante

En esta categoría entra toda la información considerada útil para el análisis de fallas en el SEP. Esta base de datos es permanente y servirá para almacenar toda la información relacionada con la ocurrencia de eventos en el sistema de potencia. El usuario puede definir los parámetros que disparan el almacenamiento de información que estarán relacionados con las variables de operación del sistema y/o parámetros de estabilidad oscilatoria, así como el período de tiempo anterior y posterior a la ocurrencia del evento.

Courtesy of Schweitzer Engineering Laboratories, Inc. Copyright 2009-2010.

Phasor Format	Floating-point	
Analog Format	Floating-point	
Freq Format	Floating-point	
Fields	Count	Field Size (bytes)
Status	1	2
Frequency	1	4
Df/Dt	1	4
Phasors	8	64
Analogs	0	0
Digital Words	0	0
Number of PMUs	40	
Overhead per sample	0 bytes	
Message rate	60 messages per second	
PMU data size	74 bytes	
Sample Size	2960 bytes	
I/O Writes	173,4375 KB per second	
Size	177600 bytes per second	
	10656000 bytes per minute	
	609,7412109 MB per hour	
	14633,78906 MB per day	
	428,7242889 GB per month	
	5216,145515 GB per year	
	5,093892105 TB por año	

Figura 3: Cálculo de espacio de almacenamiento. Cortesía SEL

En la Figura 3, no se toma en cuenta el espacio requerido para almacenar la información generada por los cálculos realizados en las herramientas de análisis, como diferencias angulares, estabilidad oscilatoria, etc.

4. ESTRATEGIAS UTILIZADAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA WAMS EN EL S.N.I.

El propósito del proyecto es proveer a la Corporación CENACE de un Sistema de Monitoreo de Área Extendida – WAMS que le permita cumplir con las funciones técnicas de planificación, operación en tiempo real y análisis post-operativo asignadas al CENACE por la Ley de Régimen del Sector Eléctrico.

En consideración de que el estado del arte en sistemas WAMS todavía está en desarrollo fue necesario plantear un conjunto de estrategias que permitan al CENACE la implementación del sistema WAMS, las mismas se presentan a continuación:

- Asistir a Seminarios Internacionales de discusión de sistemas WAMS para que el personal especializado del CENACE pueda alcanzar los conocimientos mínimos necesarios para la implementación de un sistema WAMS.
- Realizar pruebas de concepto con diferentes suministradores de aplicaciones WAMS y evaluar sus principales características., esto es con la empresa PSYMETRIX de Escocia y ELPROS de Eslovenia.
- Gestionar con las mencionadas empresas la provisión de PMUs. Esto no fue posible por problemas aduaneros de internación temporal de equipamiento. Por tal razón, CENACE tomó la decisión de adquirir las PMUs.
- Instalación de PMUs utilizando tres fases de voltaje y corriente para de esta forma también obtener mediciones de secuencia positiva, negativa y cero y utilizarlas principalmente en análisis de fallas.
- Gestionar cursos presenciales con los especialistas de ELPROS y PSYMETRIX relacionados con aplicaciones WAMS.
- Proveer las facilidades necesarias para que los suministradores de WAMS realicen remotamente, desde su sede, la instalación de las aplicaciones WAMS en los servidores de CENACE.
- Formar un grupo de trabajo interdisciplinario en el CENACE para que lidere las actividades de implementación de WAMS, así como la armonización y/o actualizaciones con los procesos técnicos del CENACE involucrados.
- En base a la información obtenida de PMUs solicitar estudios especializados de Estabilidad Oscilatoria del SNI.
- Para la implementación definitiva realizar un concurso de ofertas con las dos empresas, elaborando los requerimientos funcionales

en base a las mejores características de las aplicaciones de las dos empresas y a las necesidades propias del CENACE.

5. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA WAMS EN EL S.N.I.

5.1. Instalación de las PMUs

Las PMU adquiridas para el sistema WAMS del CENACE son: Arbiter modelo 1133A y Alstom modelo MiCOM P847.

Las señales de entrada a la PMU son tomadas de los elementos primarios de medición de mejor calidad o clase. Bajo los siguientes criterios:

- Señales de voltaje de barra utilizando el circuito de protección secundaria a continuación de los interbloques del seccionador de barra 1 y el seccionador de barra 2.
- Señales de corriente de los TC de medición de cada una de las fases, ubicando el PMU al final del circuito y desplazando el neutro hacia la PMU.
- Para la alimentación de la PMU, se configura una alimentación auxiliar de 125 Vcc. En el caso de varias PMUs se utiliza un circuito para cada una.

La conexión de las señales de voltaje y corriente a la PMU es la conocida como “3 Ph, 4W, 3e”, es decir, se conecta el PMU mediante 3 TP, y 3 TCs incluyendo el neutro.

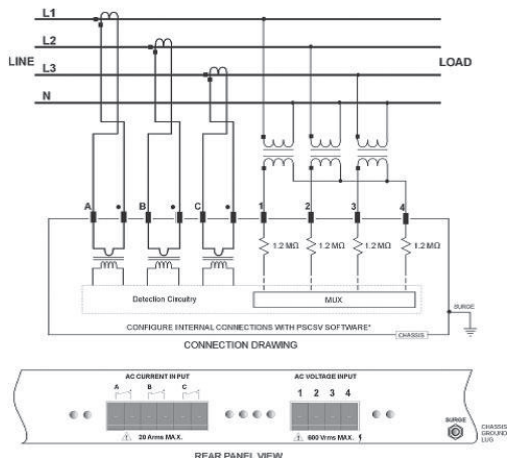


Figura 4: Diagrama de conexiones de la PMU

5.2. Configuración de PMUs

En la implementación del sistema WAMS se han instalado 14 PMUs (13 modelo 1133A de ARBITER y 1 modelo MiCOM P847 de ALSTOM modelo).

Los equipos tienen un SW propietario para la gestión de configuración de las PMUs con conexiones vía serial o Ethernet al equipo. Se configuran, entre otros, la dirección IP, puertos de comunicaciones, relaciones de transformación de los TCs y TPs, correcciones de las medidas, compensación por pérdidas en el cobre e histéresis en los transformadores, valor nominal de la frecuencia, tipo de conexión que se realizó para el ingreso de las señales, frecuencia de muestreo, etc.

Algunas de las características generales de los PMUs son:

- Sincronización vía GPS incorporado (ARBITER) o módulo independiente de GPS (ALSTOM).
- Precisión para Medición de Ingreso de 0.025%
- Calidad de la energía: Armónicas, Flickers, Interrupción (Solo modelo ARBITER).
- Medición de sincrofasores con referencia absoluta UTC para estabilidad y análisis de flujo.
- Desviación de Sistemas de tiempo y Frecuencia.
- Recolección de datos interna/Almacenamiento de eventos.
- La periodicidad de adquisición de información varía entre (1 a 60 muestras por segundo).
- Permite análisis dinámico de pérdidas en el sistema.

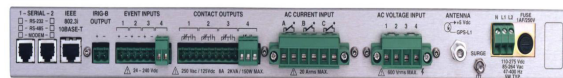


Figura 5: Vista posterior de la PMU Arbiter 1133A

5.3. Instalación de Antena de GPS

El montaje de las antenas de GPS para sincronización de tiempo de las PMUs se realizó en base a los estándares de conexiones (Ver figura 5) con una observabilidad total del cielo, sin obstáculos, garantizando su sincronización con el sistema de satélites GPS.

Una instalación incorrecta provoca la pérdida de señal o causa que el reloj experimente pérdidas intermitentes de la recepción satelital.

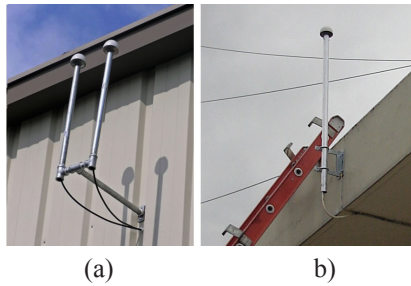


Figura 6: Instalación Antena GPS
 a) Incorrecta. Fuente SEL
 b) Correcta. Fuente Autores

5.4. PDCs del Sistema WAMS

Para el caso del CENACE los PDCs utilizados son de software y están instalados en el mismo servidor en donde se encuentran las aplicaciones WAMS. Estos PDCs son del tipo Central o SuperPDC ya que concentran la información de todas las PMU's instaladas en el S.N.I. El protocolo de comunicaciones es C37.118 versión 2005 y permite comunicarse con las PMUs o con otros PDCs.

5.5. Sistema de Comunicaciones

Las comunicaciones de entrada y salida de las subestaciones en donde se encuentran las PMUs disponen de una conexión de fibra óptica. Los datos de las PMUs son enviados mediante conexiones de Ethernet por una red de comunicaciones independiente de fibra óptica perteneciente a la empresa CELEC EP TRANSELECTRIC.

El protocolo de comunicaciones puede ser UDP o TCP.

El UDP proporciona un mejor desempeño en tiempo real ya que utiliza menos ancho de banda ya que su modelo de transmisión es simple y sin protocolo de enlace.

El TCP requiere mayor ancho de banda y provee de un canal más robusto de comunicaciones, está orientado a la conexión y requiere un protocolo de enlace para configurarse y mantener una conexión a los extremos.

5.6. Determinación de Periodicidad de Adquisición de Datos de PMUs

Para este cálculo se utilizó una herramienta proporcionada por SEL en base al protocolo IEEE C37.118, con seis fasores (3 corriente y 3 voltaje), tres mediciones análogas y una palabra digital, cuyo resultado fue obtener mediciones a sesenta muestras por segundo.

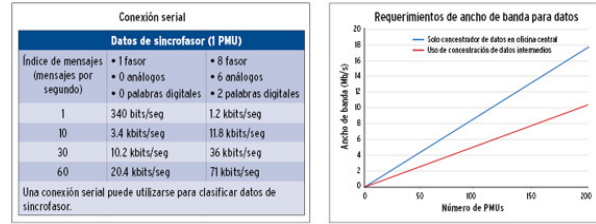


Figura 7: Cálculo del ancho de banda para 1 PMU. Fuente SEL

5.7. Descripción de Aplicaciones WAMS Evaluados en el CENACE

Para la implementación de las aplicaciones WAMS en el S.N.I. el CENACE contrató pruebas de concepto con las empresas PSYMETRIX de Escocia y ELPROS de Eslovenia con sus productos PHASORPOINT y WAPROTECTOR respectivamente.

A continuación una descripción resumida de las principales características de cada aplicación.

5.7.1. PhasorPoint

PhasorPoint es el nombre comercial dado a las aplicaciones WAMS desarrolladas por la empresa PSYMETRIX de Escocia. Provee la funcionalidad de PDC y aplicaciones WAMS mediante una interface de usuario que permite al operador tener una consciencia situacional del SEP.

Características de Interface Humano-Máquina

- Provee Información histórica y en tiempo real de las principales variables del sistema.
- Facilidad para exportar la información en archivos separados por comas.
- Incluye información jerárquica multiusuario.
- Provee información estadística de los principales parámetros de estabilidad oscilatoria.
- Presenta gráficos del lugar geométrico de las raíces de los parámetros de estabilidad oscilatoria.

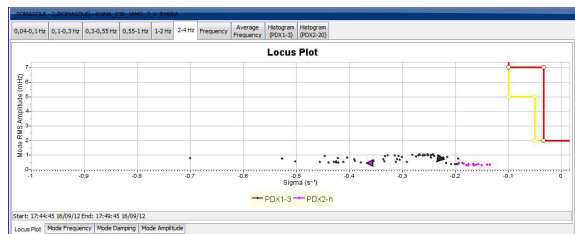


Figura 8: Despliegue del Lugar Geométrico de las Raíces

Características Funcionales

- Aplicación Central PDC (gestión de PDCs).
- Almacenamiento para datos de PMUs y aplicaciones WAMS.

- Administración de notificaciones de Alarmas y Eventos.
- Integración con sistemas SCADA/EMS.
- Administración de Estabilidad Oscilatoria.
- Detección y Resincronización de Islas.

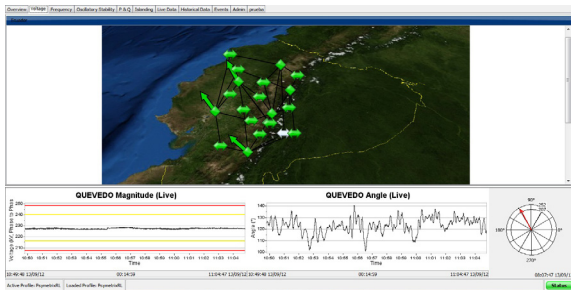


Figura 9: Despliegue de Visión General de PhasorPoint

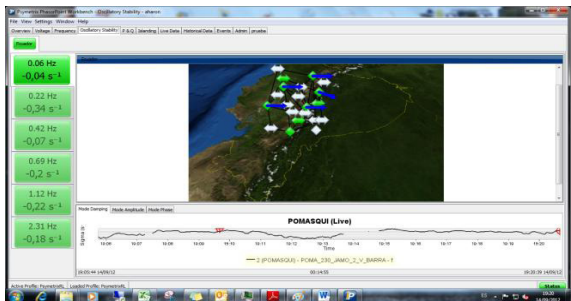


Figura 10: Despliegue de Estabilidad Oscilatoria de PhasorPoint

5.7.2. WAProtector

WAProtector es el nombre comercial dado a las aplicaciones WAMS desarrolladas por la empresa ELPROS de Eslovenia. Provee la funcionalidad de PDC llamado UniFusion, que además de gestionar las PMUs del sistema consta de una serie de funciones, módulos de cálculo, drivers y herramientas para análisis de WAMS presentadas a través de una interface de usuario personalizable que permite al operador tener una consciencia situacional del SEP.

Características de Interface Humano-Máquina

- Provee Información histórica y en tiempo real de las principales variables del sistema.
- Incluye información jerárquica multiusuario.
- Visualización de información en tiempo real de todas las variables disponibles mediante gráficos polares, gráficos en función del tiempo, gráficos 3D o diagramas tabulares.
- Presentación de oscilogramas que permiten almacenar en gráficos datos de eventos del sistema para su análisis.
- Presentación de Contorneo de Diferencias Angulares del SEP

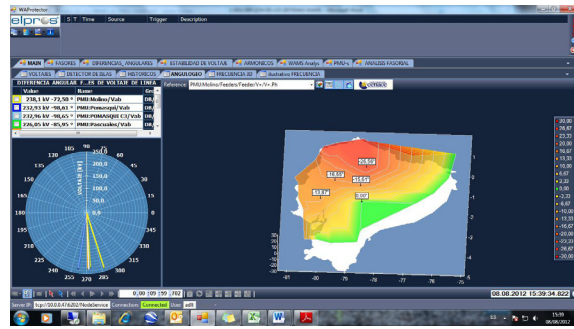


Figura 11: Despliegue Personalizado de Diferencias Angulares



Figura 12: Despliegue de Subestación

Características Funcionales

- Aplicación Central PDC (gestión de PDCs)
- Almacenamiento para datos de PMUs y aplicaciones WAMS
- Administración de notificaciones de Alarmas y Eventos
- Integración con sistemas SCADA/EMS
- Administración de Estabilidad Oscilatoria
- Detección y Resincronización de Islas
- Estabilidad de Voltaje en Líneas de Transmisión
- Análisis de Calidad de Energía

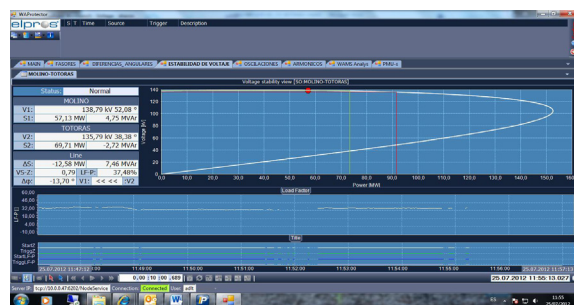


Figura 13: Despliegue de Estabilidad de Voltaje

6. ALTERNATIVAS PARA LA INTEGRACIÓN DE LOS SISTEMAS WAMS CON EL SISTEMA DE GESTIÓN DE ENERGÍA EMS DEL CENACE

Una de las aplicaciones más inmediatas de esta integración, es mejorar la precisión del estimador de estado del SEP mediante la obtención de mediciones de voltaje y ángulo, en un esquema híbrido, el cual

integra las funcionalidades de los datos de las PMUs y sistemas tradicionales EMS.

Existen dos formas para integrar la información WAMS con los sistemas EMS:

1. Envío de información mediante los protocolos utilizados en sistemas SCADA (periodicidad entre 1 y 4 segundos) IEC 60870-5-104 y DNP 3.0.
2. Envío directo de información (periodicidad entre 1 a 60 muestras por segundo) desde el PDC del sistema WAMS al PDC instalado en el sistema SCADA/EMS mediante el protocolo IEEE C37.118-2005.

La primera opción depende si la característica es soportada por las Aplicaciones WAMS. En el caso de PhasorPoint y WAProtector las dos soportan esta funcionalidad.

La segunda depende de la funcionalidad del sistema EMS que debe tener un PDC para recibir la información proveniente de las aplicaciones WAMS.

En la actualidad la primera opción es factible de realizar y los datos obtenidos desde el sistema WAMS tendrán un tratamiento igual a cualquier medición analógica obtenida del sistema SCADA tradicional.

La segunda opción todavía está siendo desarrollada por los sistemas EMS, aunque ya existen pruebas de concepto, como es el caso de la empresa mexicana CFE que integra los datos de su sistema WAMS en su sistema EMS (Network Manager de Ventyx ABB) mediante equipos PCU400.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La implementación de WAMS provee información de alta precisión y resolución para la planificación, operación y análisis post operativo del S.N.I. Por tal motivo, es necesario abrir nuevos campos de estudio del SEP para caracterizarlo en función de la diferencia angular de los fasores de voltaje y de los parámetros de estabilidad oscilatoria, entre otros.
- Para el éxito de la implementación del sistema WAMS en el S.N.I. es necesario modificar y/o complementar los procesos relacionados con la planificación, operación y análisis post-operativo del S.N.I. con el fin de realizar una interpretación adecuada de la información e identificar oportunidades de mejora en los elementos que intervienen en la dinámica del S.N.I. (PSSs, AVRs, Reguladores de Velocidad, etc.).

- Las estrategias utilizadas en la implementación de WAMS en el S.N.I. han permitido al CENACE alcanzar la experiencia necesaria para mantener y desarrollar este tipo de sistemas, tener un criterio técnico para la evaluación de las diferentes aplicaciones WAMS desarrolladas y finalmente obtener un sistema WAMS que permita obtener los beneficios propuestos al inicio de este proyecto.
- La gran cantidad de información obtenida de los sistemas WAMS obliga a crear espacios de investigación, análisis y discusión que se logrará solamente con la participación de personal técnico del CENACE a tiempo completo.
- Puesto que las aplicaciones WAMS todavía están en pleno desarrollo y que todavía no existen aplicaciones estándar que solventen las particularidades operacionales de los SEP, un punto importante en el aprovechamiento de estos sistemas es la creación de grupos técnicos interinstitucionales encaminados a plantear nuevas aplicaciones y aportar en el desarrollo de las aplicaciones WAMS existentes.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Campos M. A & Arias M. A., “Ubicación Óptima de Unidades de Medición Fasorial aplicando Swarm Intelligence”. Disponible (online) en: <http://www.labplan.ufsc.br/congressos/Induscon%202010/fscommand/web/docs/T1100.pdf>.
- [2] IEEE-SA Standards Board. (2005). “IEEE Standard for Synchrophasors for Power Systems, IEEE Std. C37.118-2005”.
- [3] Arbiter Systems®, Inc. “Manual de Usuario 1133A” Disponible (online) en: <http://www.arbiter.com/catalog/product/model-1133a-power-sentinel.php>.
- [4] Schweitzer Engineering Laboratories, Inc. “sincrofasores” Disponible (online) en: <https://www.selinc.com/synchrophasors/>.
- [5] PSYMETRIX. (2011). “Guía de Usuario de PhasorPoint”. Software Versión: PhasorPoint 5.2.
- [6] ELPROS. (2010). “Manual de Usuario de WAProtector”. Versión 1.0.0.3.
- [7] Cimadevilla R. (2009). “Fundamentos de la medición de Sincrofasores”. Décimo tercer encuentro regional Iberoamericano de Cigré, Disponible (online) en: <http://www.labplan.ufsc.br/congressos/XIII%20Eriac/B5/B5-14.pdf>.



Gabriel Patricio Rivera G.-
Recibió su título de Ingeniero
Eléctrico de la Escuela
Politécnica Nacional en 1999.
Realizó su tesis de pregrado
en la sintonización del
estimador de estado del
sistema SPIDER. Forma

parte del Grupo de Proyecto para la implementación
de Sistemas WAMS en el Sistema Eléctrico
Ecuatoriano.

Actualmente está encargado de la administración
de las Funciones de Aplicación del Sistema EMS y de
las Aplicaciones WAMS de la Corporación CENACE.



Aharon Bhawan De La Torre.-
Egresado de la Carrera de
Ingeniería Eléctrica de la
Universidad Politécnica
Salesiana, está realizando su
tesis de pregrado relacionado
con la Implementación de un
Sistema de Monitoreo de Área
Extendida WAMS en el Sistema

Nacional Interconectado del Ecuador. Actualmente
forma parte del Área de Sistemas de Tiempo Real en
la Dirección de Sistemas de Información de la
Corporación CENACE, como apoyo en la
Implementación definitiva del sistema WAMS del
S.N.I.