

**DESARROLLO DE UN MANUAL CON LOS PRINCIPIOS BÁSICOS DE
FUNCIONAMIENTO Y APLICACIÓN DE LOS SINCRIFASORES**

ERIKA SORLENYI VALENCIA CARDOSO

ESTIVEN ESPINOSA VICTORIA

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA
ESCUELA DE TECNOLOGÍA ELÉCTRICA
PEREIRA
2014**

**DESARROLLO DE UN MANUAL CON LOS PRINCIPIOS BÁSICOS DE
FUNCIONAMIENTO Y APLICACIÓN DE LOS SINCRÓFASORES**

ERIKA SORLENYI VALENCIA CARDOSO

ESTIVEN ESPINOSA VICTORIA

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
Tecnólogo en Electricidad**

Director

Ing. Santiago Gómez Estrada

Codirector

Ing. Andres Felipe Panesso Hernandez

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE TECNOLOGÍA ELÉCTRICA
PEREIRA
2014**

Nota de aceptación:

Director
Ingeniero Electricista
Santiago Gómez Estrada

Jurado
Ingeniero Electricista
Hugo Baldomiro Cano Garzón

Director del programa de
Tecnología Eléctrica
Ingeniero Electricista
Santiago Gómez Estrada

Pereira, Abril de 2014

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a mis padres y en general a toda mi familia por el apoyo incondicional durante esta etapa de mi vida.

A los profesores de la escuela que me brindaron sus conocimientos, su calidad y dedicación para ser un excelente profesional. Y en especial al profesor Andrés Felipe Panesso por el continuo y excelente acompañamiento que mantuvo durante el desarrollo del proyecto.

De todo corazón...

Gracias.

Estiven Espinosa Victoria.

Primordialmente a Dios, por ser la luz en mi camino y por ayudarme a cumplir mis metas y sueños. A mi madre por ser la promotora de mis triunfos y por darme su amor incondicional, a mi hermanito por ser ahora, el segundo motor que mueve mi vida. A toda mi familia y amigos, en especial a mi tía Diva y a la familia Gualguán. A Estiven Espinosa que ha sido un excelente compañero y amigo. A todos los profesores de la Escuela por compartir sus conocimientos y darnos en cada clase un pedazo de ellos, en especial al profesor Andrés Panesso por su motivación, dedicación y ayuda constante en el desarrollo de este proyecto. Gracias a cada uno de ustedes, gracias a ti que estás leyendo esto.

Erika Sorlenyi Valencia.

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
RESUMEN.....	9
1. INTRODUCCIÓN.....	10
1.1. Definición del problema	10
1.2. Motivación.....	10
1.3. Objetivos.....	11
1.3.1. Objetivo general	11
1.3.2. Objetivos específicos	11
1.4. Estructura del documento	11
2. CONCEPTOS BÁSICOS	13
2.1. Introducción	13
2.2. El concepto de fasor	13
2.3. El fasor sincronizado.....	15
2.3.1. Importancia de una adecuada medición de fasores	16
2.4. Las unidades de medición fasorial.....	17
3. PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN	19
3.1. Introducción	19
3.2. Glosario	19
3.3. Protocolos de comunicación.....	21
3.3.1. CIM (Computer Integrated Manufacturing).....	22
3.3.2. IEC 61970	22
3.3.3. IEC 61968	22
3.3.4. Open O&M	23
3.3.5. IEC 61850	23
3.3.6. OAGIS.....	23
3.3.7. Open GIS	23
3.3.8. OPC	23
3.3.9. IEC 62541	24
3.3.10. DNP3	24
3.3.11. IEEE 1547	24
3.3.12. OpenHAN.....	24
3.3.13. OpenADR.....	25
3.3.14. ANSI C.12	25
3.3.15. IEC 60870-6.....	26
3.3.16. IEC 60870-6/TASE.2	26
3.3.17. IEC 60870-5-101/104.....	26
3.3.18. IEEE C37.11	26
3.4. Aspectos fundamentales.....	27
3.5. Perspectivas de los sincrofasores	27
3.6. Aplicaciones.....	29

4. FUNCIONAMIENTO DE LAS UNIDADES DE MEDICIÓN FASORIAL	31
4.1. Introducción	31
4.2. Esquema básico de funcionamiento de los sincrofasores	31
4.3. Elementos básicos de los sistemas de automatización y control con PMU en redes eléctricas.....	35
4.3.1. Concentración de datos	35
4.3.2. Archivado de datos.....	35
4.3.3. Contactos de alarma	35
4.3.4. Conexión en área amplia	35
4.3.5. Grabación de eventos	36
5. EJEMPLO DE APLICACIÓN DE LOS PMU	37
5.1. Introducción	37
5.2. Sistema de prueba de 14 barras.....	37
5.3. Sistema de prueba de 57 barras.....	38
5.4. Sistema de prueba de 300 barras.....	39
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	41
6.1. Conclusiones generales.....	41
6.2. Recomendaciones	41
BIBLIOGRAFÍA	42
ANEXO	45
A.1. Introducción	45
A.1.1 Instructivo para el uso del matpower3.2	45
A.2. Sistema de prueba IEEE de 14 barras	50
A.3. Sistema de prueba IEEE de 57 barras	52
A.4. Sistema de prueba IEEE de 300 barras.....	56

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Circuito R-L en el dominio del (izq.) tiempo y (der.) la frecuencia.....	13
Figura 2. Representación en círculo de una señal sinusoidal para su notación como fasor.	15
Figura 3: Sincrofasores en un sistema eléctrico.	16
Figura 4. Algunos protocolos de comunicaciones empleados en Colombia.	21
Figura 5. Esquema de funcionamiento PMU - PDC.....	31
Figura 6. Esquema básico de la comunicación en un sistema con varios PMU. ...	33
Figura 7. Concentrador de datos fasoriales PDC SEL-3373.....	34
Figura 8. Estructura de la operación de un PDC.....	34
Figura 9. Esquema integrado de los elementos de un sistema de medición sincronizado.....	36
Figura 10: Ruta de instalación de la carpeta matpower3.2.	45
Figura 11: Primer paso para agregar la carpeta matpower3.2 al MATLAB.....	46
Figura 12: Segundo paso para agregar la carpeta matpower3.2 al MATLAB.	46
Figura 13: Tercer paso para agregar la carpeta matpower3.2 al MATLAB.....	47
Figura 14: Cuarto paso para agregar la carpeta matpower3.2 al MATLAB.	47
Figura 15: Quinto paso para agregar la carpeta matpower3.2 al MATLAB.....	48
Figura 16: Comando para correr el flujo de carga.....	48
Figura 17: Flujo de carga para un sistema de 14 barras.....	49
Figura 10. Diagrama unifilar sistema IEEE de 14 barras.	50
Figura 11. Diagrama unifilar sistema IEEE de 57 barras.	52
Figura 12. Diagrama unifilar sistema IEEE de 300 barras.	56

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Resumen del sistema de prueba de 14 barras.	50
Tabla 2. Valores extremos del sistema de prueba de 14 barras.	51
Tabla 3. Datos nodales del sistema de prueba de 14 barras.	51
Tabla 4. Datos de las ramas del sistema de prueba de 14 barras.	51
Tabla 5. Resumen del sistema de prueba de 57 barras.	52
Tabla 6. Valores extremos del sistema de prueba de 57 barras.	53
Tabla 7. Datos nodales del sistema de prueba de 57 barras.	53
Tabla 8. Datos de las ramas del sistema de prueba de 57 barras.	54
Tabla 9. Resumen del sistema de prueba de 300 barras.	57
Tabla 10. Valores extremos del sistema de prueba de 300 barras.	57
Tabla 11. Datos nodales del sistema de prueba de 300 barras.	57
Tabla 12. Datos de las ramas del sistema de prueba de 300 barras.	63

RESUMEN

En el presente trabajo de grado se desarrollan los conceptos básicos relacionados con los fasores sincronizados, mejor conocidos como sincrofasores. Esto como complemento académico de los cursos en los cuales puede estar involucrado este concepto como pueden ser: circuitos eléctricos en corriente alterna, sistemas eléctricos de potencia, protecciones, comunicaciones, entre otros.

Este trabajo contiene como información base una conceptualización del fasor como representación de las tensiones y corrientes en un sistema eléctrico, cómo funciona y cómo puede ser medido en un sistema de gran tamaño. Además, se presenta en detalle algunos de los protocolos más utilizados para la comunicación entre las unidades de medición fasorial y cuáles de éstos son empleados en Colombia.

Por último, se realiza un ejemplo de aplicación de los sincrofasores en los sistemas eléctricos de potencia y cómo su implementación permite un acercamiento a la adquisición en tiempo real de la información disponible del sistema.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Definición del problema

En la actualidad los sistemas eléctricos están sometidos a continuos inconvenientes debido a factores como elevaciones de tensión, desbalance en las líneas, sobrecargas, etcétera. Por tal motivo es necesario que el sistema esté continuamente monitoreado para que en cada instante éste cumpla con uno de sus deberes más importantes que es el de suministrar energía a las distintas cargas demandadas.

Hoy en día, está en auge el tema de la calidad de la energía en los sistemas eléctricos, lo cual implica entre otras cosas una adecuada prestación del servicio de energía eléctrica. Por tanto, para las empresas involucradas en la cadena de producción, transporte y distribución del suministro eléctrico es importante tener un control en tiempo real de todas las variables de sus sistemas. Esto implica que para tener un buen control de todas las magnitudes en un sistema eléctrico de potencia, se debe tener una constante y precisa medición de las mismas; es decir, que se requiere de elementos de medición que sean capaces de satisfacer la necesidad de medir estas variables a la vez que se tiene información de las demás variables involucradas en este mismo sistema. Para que esto sea posible, se necesita de dispositivos de medición que estén sincronizados unos con otros y así tener una medida más confiable de todas las magnitudes involucradas.

Los dispositivos PMU (Phasor Measurement Unit) son dispositivos de medición fasorial que permiten obtener la lectura de tensiones en diferentes puntos del sistema eléctrico tanto en magnitud como en ángulo, basándose en protocolos de comunicación para una medición en tiempo real y sincronizado de todas las unidades conectadas al sistema. Estos dispositivos son utilizados tanto en transmisión como en distribución. Por consiguiente se debe planear un sistema de monitoreo con un grupo de equipos de medida ubicados estratégicamente, logrando así las mediciones suficientes para mantener la supervisión de todo el sistema mediante dispositivos GPS (Global Position System) sincronizados vía satélite, concentradores de datos del fasor PDC (Phasor Data Collector) y software de visualización.

1.2. Motivación

En la Universidad Tecnológica de Pereira no se cuenta con un documento guía que sirva de base para el estudio de las unidades de medición fasorial sincronizadas, por lo que se considera importante realizar un manual que

contenga todas las principales características, ventajas y desventajas, principio de funcionamiento y operación, y algunas aplicaciones de estos dispositivos.

Por último, considerando la importancia de conocer y aprender sobre estos dispositivos se plantea la elaboración de este manual de fácil entendimiento para cualquier estudiante que desee tener más conocimiento sobre estos elementos.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Desarrollar un manual con los principios básicos de funcionamiento y aplicación de los sincrofasores.

1.3.2. Objetivos específicos

- Estudiar las principales características del modo de operación y aplicaciones de los sincrofasores.
- Estudiar los protocolos de comunicación empleados para la implementación de los sincrofasores.
- Investigar sobre las diferentes aplicaciones de los sincronofasores en el sistema eléctrico.
- Plantear un ejemplo de aplicación de los sincrofasores en sistemas eléctricos de potencia.

1.4. Estructura del documento

El documento está dividido en seis capítulos que tienen como finalidad presentar de forma organizada la ejecución y análisis de cada una de las etapas del presente trabajo de grado. En el primer capítulo se presenta una introducción en la cual se realiza una presentación formal del presente documento.

En el segundo capítulo se realiza una conceptualización de los aspectos teóricos más importantes de los fasores y de las unidades de medición fasorial.

Luego, en el tercer capítulo, se presentan los protocolos de comunicación más utilizados en las unidades de medición fasorial y un pequeño resumen de cada uno de ellos.

En el cuarto capítulo se presenta en detalle las unidades de medición de fasores y los concentradores de datos de fasores, esto para tener un mejor entendimiento de cómo ellos funcionan y se relacionan entre sí.

En el capítulo cinco se presenta a modo de ejemplo una aplicación en sistemas de potencia de gran tamaño de los sincrofasores, donde a medida que se tiene más información del sistema se reduce el tiempo de solución de los algoritmos empleados para la determinación del estado del sistema eléctrico en un momento específico.

En el sexto capítulo se presentan las conclusiones generales y recomendaciones acerca del trabajo realizado. Finalmente, se presenta como anexo los sistemas de prueba utilizados en el ejemplo de aplicación del capítulo cinco y los resultados entregados en forma de tabla por el software empleado para la realización del ejemplo.

2. CONCEPTOS BÁSICOS

2.1. Introducción

En este capítulo se dará una breve introducción a los fasores ya que para el estudio de los sincrofasores es necesario que este concepto este claro.

Lo que se pretende con los fasores es trabajar en el dominio de la frecuencia ya que se obtienen ecuaciones matemáticas más simples que si se trabaja en el dominio del tiempo. Además, la sincronización permite realizar comparaciones entre fasores de diferentes frecuencias, a la vez que la diferencia de ángulos depende del tiempo y de la diferencia de frecuencia.

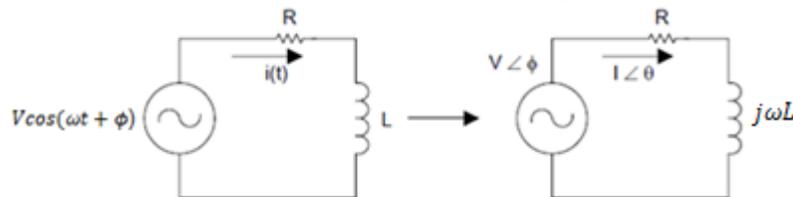
2.2. El concepto de fasor

Un fasor es la representación gráfica de las ondas de corriente alterna de un circuito eléctrico que se asocian a una misma frecuencia a través de la proyección en el eje real, de un vector que rota a una velocidad angular ω , que se puede analizar en forma rectangular, polar y exponencial ($a + jb$, $r \angle \phi$ y $r \times e^{j\phi}$, respectivamente). Para analizar un circuito de corriente alterna se emplean ecuaciones diferenciales, las cuales producen dificultades debido a expresiones como la que se muestra en (2.1), que están en el dominio del tiempo. $j\omega L$

$$X(t) = X_m \cos(\omega t + \phi) \quad (2.1)$$

Por ende, es necesario convertir las ecuaciones diferenciales en ecuaciones algebraicas ya que tienen una solución más simple. Estas expresiones más simples están dadas en forma algebraica con variables que contienen números complejos y están en el dominio de la frecuencia. La magnitud del fasor es la misma magnitud de la onda y su ángulo es la fase de la onda en un tiempo inicial.

Figura 1. Circuito R-L en el dominio del (izq.) tiempo y (der.) la frecuencia.



Fuente: Synchronized phasor measurement in protective relays for protection, control, and analysis of electric power systems (1).

Con base en el circuito de la Figura 1, la ecuación diferencial (2.2) proporciona la solución de este circuito.

$$v(t) = V \cos(\omega t + \phi) = Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt} \quad (2.2)$$

Dado que el circuito es lineal, la solución para la corriente tiene la forma que se muestra en (2.3).

$$i(t) = I \cos(\omega t + \phi) \quad (2.3)$$

La idea de la representación fasorial se basa generalmente en la identidad de Euler.

$$e^{\pm j\phi} = \cos(\phi) \pm j \sin(\phi) \quad (2.4)$$

Lo que indica que se puede considerar a $\cos(\phi)$ y $\sin(\phi)$ como las partes real e imaginaria de $e^{j\phi}$ y se pueden escribir respectivamente como en (2.5) y (2.6).

$$\cos(\phi) = \operatorname{Re}(e^{j\phi}) \quad (2.5)$$

$$\sin(\phi) = \operatorname{Im}(e^{j\phi}) \quad (2.6)$$

Entonces, utilizando la representación basada en la identidad de Euler para la tensión se tiene la expresión (2.7).

$$\vec{V} = V e^{j\phi} = V \angle \phi \quad (2.7)$$

Entonces la ecuación (2.2) se puede expresar como se muestra en la ecuación (2.8).

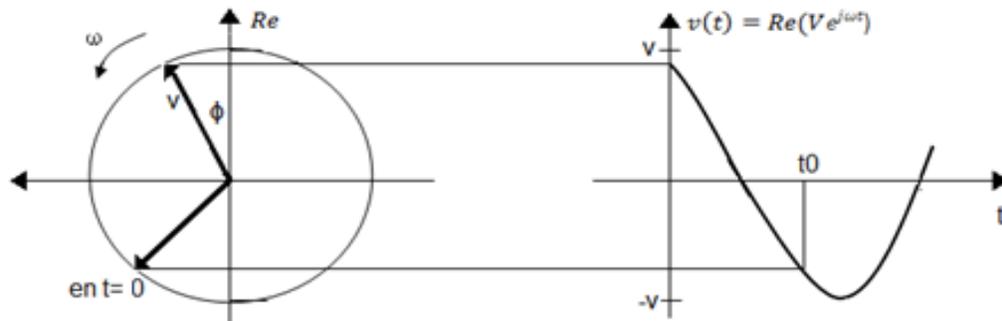
$$V e^{j\phi} = (R + j\omega L)(I e^{j\phi}) \quad (2.8)$$

De este modo, la solución para la corriente es la que se presenta en (2.9).

$$I e^{j\phi} = \frac{V e^{j\phi}}{R + j\omega L} \quad (2.9)$$

Como se puede observar en la Figura 2, al aumentar el tiempo, la onda gira en un círculo de radio V a una velocidad angular ω en sentido contrario a las manecillas del reloj, se puede considerar a $v(t)$ como la proyección de la onda $V e^{j\omega t}$ en el eje real.

Figura 2. Representación en círculo de una señal sinusoidal para su notación como fasor.



Fuente: Elaboración propia.

El valor de la onda en el tiempo $t=0$ es el fasor v de la sinusoide $v(t)$. La onda puede juzgarse como un vector giratorio. Así, cada vez que una sinusoide se exprese como un fasor, el término $e^{j\omega t}$ está implícitamente presente. En consecuencia, al tratar con fasores es importante tener en cuenta la frecuencia ω del fasor; de lo contrario, se pueden cometer graves errores (1).

2.3. El fasor sincronizado

Un fasor sincronizado en correspondencia con la definición descrita anteriormente, con formas de onda en tiempo real, y para esto es necesario definir un tiempo de referencia para medir los ángulos de fase sincrónicamente. El fasor sincronizado es definido como un fasor calculado a partir de muestras de datos usando una señal de tiempo estándar como referencia para la medición (2).

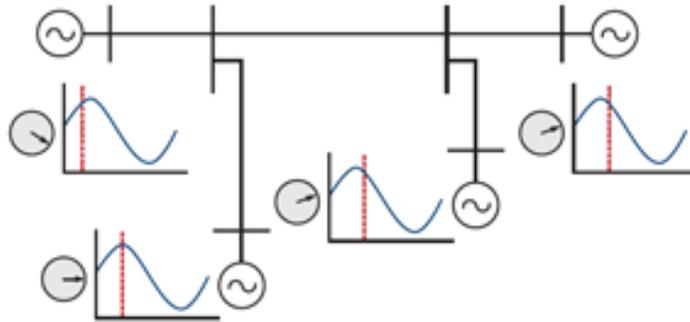
Los fasores sincronizados se definen como la obtención de fasores por equipos que comparten el mismo fasor de referencia. La forma más simple de conseguir el sincronismo es mediante la utilización de una fuente externa de medición a partir de la cual cada equipo vuelve a sincronizar la fase de su fasor de referencia. Para la sincronización se utiliza un fasor de referencia constituido por una onda sinusoidal con frecuencia nominal y que se sincronice de tal manera que al inicio de cada segundo coincida.

La sincronización permite realizar comparaciones entre fasores de diferentes frecuencias, donde la diferencia de ángulos depende del tiempo y de la diferencia de frecuencia.

2.3.1. Importancia de una adecuada medición de fasores

Para obtener una adecuada medición de los fasores es necesario que estos estén bien sincronizados con la hora UTC (Universal Time Coordinated) que crea una onda coseno de frecuencia nominal como referencia (50 ó 60 Hz). La sincronización debe ser perfecta, ya que un desfase de $1 \mu\text{s}$ provocará un error considerable en el ángulo de fase, como se muestra en Figura 3.

Figura 3: Sincrofasores en un sistema eléctrico.



Fuente: Schweitzer Engineering Laboratories. Sincrofasores (1).

Cuando se entra en una situación de inestabilidad, es importante tomar decisiones rápidas que eviten un colapso generalizado de las tensiones del sistema, pero es más eficaz contar con sistemas de monitoreo que detecten las situaciones de peligro para iniciar el proceso de recuperación del sistema antes de que alcancen las condiciones de inestabilidad total.

Los fasores que representan las magnitudes medidas deben estar sincronizados de tal forma que los ángulos se hayan medido con respecto a una referencia para que se pueda establecer las comparaciones correctas. Por ende el equipo básico para este tipo de mediciones son los dispositivos PMU, que proporcionan mediciones sincronizadas de los ángulos fasoriales.

En la red eléctrica de un sistema constantemente se produce una pérdida importante de sincronización con el resto de mediciones del sistema, por ende éste se puede desestabilizar; debido a esto siempre se ha tratado de supervisar en tiempo real los ángulos de fase y las magnitudes de las tensiones y corrientes, en tiempo real.

La obtención del fasor representativo de una onda se basa en el muestreo de la onda a frecuencia constante y múltiplo de la frecuencia nominal referido a un fasor. Con respecto al cual se obtienen la amplitud y fase del fasor representativo de la onda muestreada.

2.4. Las unidades de medición fasorial

Los PMU permiten obtener la lectura de tensiones en diferentes puntos del sistema eléctrico tanto en magnitud como en ángulo, basándose en protocolos de comunicación para una medición en tiempo real y sincronizado con todas las unidades conectadas al sistema. Estos dispositivos son los encargados del monitoreo del sistema, ya que ofrecen una constante lectura de las variables del mismo, otorgándole a las personas encargadas del monitoreo una visión en tiempo real del circuito de potencia para que puedan operar en forma oportuna en el momento en que ocurra una falla y prevenir que el sistema colapse.

“Con los constantes avances en el procesamiento de señales, los sincrofasores son hoy en día herramientas fundamentales para resolver problemas de protección, automatización y control de los sistemas eléctricos de potencia ya que proveen una forma de analizar fallas que se presentan en las redes eléctricas. Básicamente los sincrofasores son utilizados para la detección de la pérdida de sincronismo, identificación de los modos de oscilación, protección de estabilidad de tensiones y monitoreo de sistemas dinámicos” (3).

Para establecer el control sincronizado los datos son enviados desde cada sistema de potencia hasta un punto de control, el cual toma los datos, accede al perfil de tensiones de todo sistema y envía los puntos de ajuste de tensión optimizados hasta cada control.

“Los PMU pueden proveer una administración local de las funciones del sistema como variación de tensiones, protección contra sobrecarga, etcétera. Los datos que son enviados a los PDC pueden servir a aplicaciones de estimación de estado y estabilidad de tensión. Además los datos desde los terminales de la misma línea pueden ser usados para el monitoreo térmico de líneas y detección de oscilaciones de potencia. Estas aplicaciones pueden traer acciones de control realimentado y protección a través de las PMU o el sistema de adquisición de datos SCADA (Supervisory, Control And Data Acquisition)” (3).

Las unidades de medición fasorial muestrean la tensión y la corriente del sistema de potencia a través de los transformadores de instrumentación instalados en las subestación, en la conexión de estos equipos se emplean filtros y atenuadores. Una vez medido el fasor, la unidad de medición PMU prepara un mensaje con la marca del tiempo y los datos del fasor en un formato definido inicialmente por el estándar IEEE Std.C37-118 (4), de tal modo que pueda transferirse a un lugar distante a través de cualquier enlace de comunicaciones que se encuentre disponible. Los sincrofasores han sido utilizados principalmente para validaciones del modelo del sistema de potencia y visualización en tiempo real, no obstante, los sincrofasores tienen un potencial más allá del monitoreo y la visualización, estos contribuirán a la operación de sistemas de potencia de manera confiable y

económica aprovechando las estructuras de control en tiempo real y los esquemas de protección.

Los PMU proporcionan mediciones en tiempo real de las cantidades eléctricas de todo un sistema de energía tanto en transmisión como en distribución, lo ideal es colocar equipos de medición en cada nodo de la red a supervisar. Sin embargo, esto no es viable debido a restricciones de tipo económico y de administración de la información obtenida de cada nodo. Por consiguiente, se debe planear un sistema de monitoreo con un grupo de equipos de medida ubicados estratégicamente, logrando así las mediciones suficientes para mantener la supervisión de todo el sistema. La construcción del sistema básico son relojes GPS sincronizados vía satélite, un concentrador de datos del fasor y un software de visualización.

La estructura de un PMU se compone de un sistema de adquisición de datos que cuenta con un filtro antialiasing apropiado un módulo conversor análogo – digital, un microprocesador para los cálculos de los fasores y un receptor GPS, el cual le proporciona una señal de un pulso por segundo (PPS – Pulse Per Second) y la etiqueta de tiempo.

Continuamente el sistema GPS transmite a las unidades receptoras una señal de un pulso por segundo, la cual sincroniza todas las unidades para que empiecen su proceso de adquisición de datos y procesamientos. Internamente en cada PMU, la señal de un PPS es dividida por el oscilador para realizar un muestreo simultáneo de las señales analógicas de tensión y corriente que llegan desde los transformadores de medida.

Una vez se realiza el proceso de conversión, el microprocesador calcula los fasores de frecuencia de cada una de las fases de la tensión y la corriente mediante la transformada discreta de Fourier (DFT – Discrete Fourier Transform).

En cada PMU la DFT hace un tratamiento a las señales que estaban sincronizadas, los valores obtenidos de los fasores tienen la misma frecuencia de tiempo y pueden ser utilizados para conocer el estado real del sistema en un determinado instante. Teniendo en cuenta que constantemente se hace el muestreo, se pueden calcular los fasores de una forma recursiva de tal forma que incluya el último dato muestreado cada vez que este sea recibido. El sistema GPS no solo proporciona el pulso para la sincronización, sino que también etiqueta los fasores obtenidos con el tiempo en que se hizo la adquisición del primer dato en la ventana de tiempo (3).

3. PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN

3.1. Introducción

Hoy en día los equipos electrónicos y de medición no se comunican en un mismo lenguaje y por ende es necesario que haya protocolos de comunicación que permiten enlazar estos equipos sin importar su tipo de lenguaje para transmitir su información.

En este capítulo se mostrara y definirá los protocolos que normalmente se utilizan para las mediciones en tiempo real.

3.2. Glosario

ANSI: American National Standards Institute. Es una organización que permite la estandarización de productos, servicios, sistemas en Estados Unidos. Además ANSI se coordina con estándares internacionales para asegurar que los protocolos estadounidenses puedan ser utilizados a nivel mundial (5).

DMS: Document Management System. Se utiliza para rastrear y almacenar documentos electrónicos. Por lo general es también capaz de hacer el seguimiento de las diferentes versiones modificadas por los diferentes usuarios (6).

EMS: Energy Management Systems. Es un sistema usado por los operadores de empresas eléctricas para supervisar, controlar y optimizar el rendimiento de la generación y sistema de transmisión (7).

Estimación de estado: La estimación de estado es el corazón de los sistemas de gestión de energía, puesto que le permite al operador conocer el grado de operación de un sistema de potencia. La estimación de estado es el proceso de asignar valores a las variables de estado desconocidas de un sistema recurriendo a mediciones tomadas del sistema y a algún método matemático (8).

IEC: International Electrotechnical Commission. Entidad internacional de estandarización en un nivel similar al de la ISO (International Organization for Standardization) (9).

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers. Organización formada por ingenieros, científicos y estudiantes. Conocida, fundamentalmente por sus aportaciones esenciales al desarrollo de normas y estándares en electricidad, electrónica, informática y comunicaciones (9).

Interfaz: Del inglés Interface. Un interfaz es un elemento que “conecta” o hace de puente entre dos entidades diferentes salvando las diferencias entre ellas (9).

ISA: International Society of Automation. ISA Sección Colombia, es una organización internacional sin ánimo de lucro encargada del desarrollo de estándares relacionados con el mundo de la instrumentación, el control y la automatización en general. La Sección Colombiana de ISA es una asociación profesional, cuyo objetivo es acercar la organización a más personas, en su idioma y con su mismo entorno industrial. A la Sección Colombia pueden pertenecer todas aquellas personas que lo deseen y que se encuentren interesadas en la medición, automatización y gestión de procesos (10).

Middleware: Es un software que asiste a una aplicación para interactuar o comunicarse con otras aplicaciones, software, redes, hardware y sistemas operativos. Éste simplifica el trabajo de los programadores en la compleja tarea de generar las conexiones que son necesarias en los sistemas distribuidos. De esta forma se provee una solución que mejora la calidad de servicio, seguridad, envío de mensajes, directorio de servicio etcétera.

Red: Dos o más nodos conectados entre sí por medio de enlaces que permiten la transmisión de datos. En cada nodo puede haber una computadora de uso general o especializado o un terminal (9).

TCP/IP: Transmission Control Protocol / Internet Protocol. Es un protocolo que hace posible enlazar cualquier tipo de computadoras, sin importar el sistema operativo que usen o el fabricante. Este protocolo fue desarrollado originalmente por el ARPA (Advanced Research Projects Agency) del Departamento de Defensa de los Estados Unidos. Actualmente, es posible tener una red mundial llamada Internet usando este protocolo. Este sistema de IP permite a las redes enviar correo electrónico (e-mail), transferencia de archivos (FTP – File Transfer Protocol) y tener una interacción con otras computadoras (TELNET) no importando donde estén localizadas, tan solo que sean accesibles a través de Internet (11).

XM: Es una filial de Interconexión Eléctrica S.A. (también conocida como ISA), especializada en la gestión de sistemas de tiempo real. Su actuación se desarrolla en el marco de una mega tendencia que el mundo ha denominado “ciudades inteligentes”, ciudades en las que las “redes inteligentes” operan como sistemas de tiempo real que permiten el control y la operación de procesos complejos de gran impacto como son: el tránsito urbano o el despacho de la energía eléctrica.

La gestión de sistemas de tiempo real consiste en la planeación, diseño, optimización, puesta en servicio, operación, administración y gerenciamiento de sistemas transaccionales o plataformas tecnológicas, que involucran el

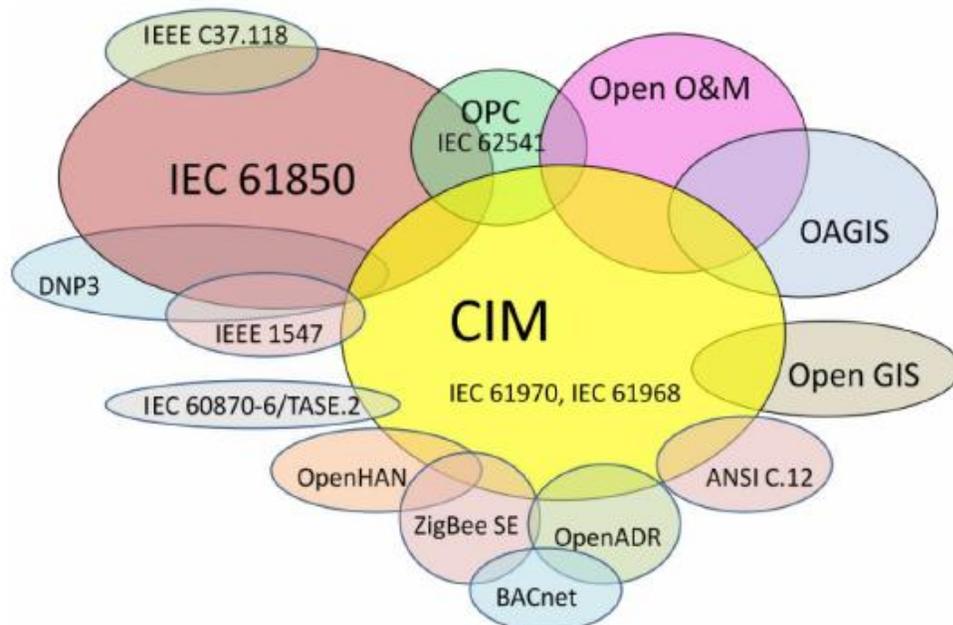
intercambio de información con valor agregado, y mercados de bienes y servicios relacionados (12).

3.3. Protocolos de comunicación

Un protocolo de comunicación es un conjunto de normas utilizadas por redes de computadoras que manejan lenguajes distintos, asegurando un intercambio de datos fiable a través de un canal de comunicación. Los protocolos pueden ser implementados por hardware, software, o una combinación de ambos. Estos regulan todos los aspectos de dicha comunicación, como: formatos de los mensajes, tipo de verificación de errores, procedimiento o disciplina a seguir en cada situación (inicio - final - error, etcétera), compresión de datos, entre otros. Por ejemplo, dos computadores conectados en la misma red pero con protocolos diferentes no podrían comunicarse jamás, para ello, es necesario que ambas "hablen" el mismo idioma, por tal sentido, el protocolo TCP/IP fue creado para las comunicaciones en Internet, es decir, para que cualquier computador se conecte a Internet es necesario que tenga instalado este protocolo de comunicación (11).

En la Figura 4 se muestran algunos de los protocolos de comunicación utilizados para la comunicación de unidades de medición fasorial.

Figura 4. Algunos protocolos de comunicaciones empleados en Colombia.



Fuente: presentación “Arquitectura para centros de control que considera la convergencia de sistemas SCADA y medición fasorial” Erick Schoonewolff Mansang, XM S.A. E.S.P.”

3.3.1. CIM (Computer Integrated Manufacturing)

CIM es una estrategia de producción para unir toda la información de las distintas áreas de una empresa a través de sistemas informáticos y la utilización de equipos electrónicos para el control, supervisión y gestión de los procesos.

La CIM ha sido popular para indicar como se deben usar de las computadoras en el diseño de los productos, el planeamiento de la producción, control de operaciones y asegurar el cumplimiento de todas las funciones del negocio requeridas en una fábrica. CIM incluye todas las actividades que se realizan para la fabricación de un producto, desde la percepción de la necesidad, la concepción, el diseño y su desarrollo, pasando por su producción, marketing y soporte del producto en uso. Además está ligado a la automatización que es la utilización de técnicas y equipos para gobernar un proceso industrial en forma óptima y de manera automática (13).

3.3.2. IEC 61970

La IEC 61970 es una serie de acuerdos con los estándares de interfaces de programas de aplicación que son un protocolo para los sistemas de gestión de energía (EMS) (14). Este proporciona un conjunto de normas para facilitar:

- La integración de aplicaciones desarrolladas por diferentes proveedores en el entorno de centro de control.
- El intercambio de información a sistemas externos al ambiente del centro de control, incluyendo la transmisión, distribución y generación e indicar que necesitan intercambiar datos en tiempo real con el centro de control.
- La disposición de las interfaces adecuadas para el intercambio de datos a través de sistemas heredados y nuevos.

3.3.3. IEC 61968

La IEC 61968 es una serie de normas en fase de desarrollo, que define las normas para el intercambio de información entre sistemas de distribución de energía eléctrica. La IEC 61968 tiene por objeto apoyar la integración entre aplicaciones de una empresa de servicios públicos que hay que recopilar datos de diferentes aplicaciones que son heredados o nuevos y cada uno tiene distintas interfaces y entornos de tiempo de ejecución. IEC 61968 define las interfaces para todos los elementos principales de una arquitectura de interfaz de Sistemas de Gestión de Distribución (DMS – Distribution Management Systems) y está diseñado para ser implementado con servicios de middleware (15).

3.3.4. Open O&M

Open O&M (Operation and Maintenance) es una iniciativa de varias organizaciones de estándares de la industria para ofrecer un conjunto armonizado de normas para el intercambio de Operaciones y Mantenimiento de datos (16).

3.3.5. IEC 61850

La IEC 61850 es el estándar para "Redes y sistemas de comunicación de subestaciones", utiliza tecnologías de red para todos los tipos de intercambios de información que se suceden en una subestación. El sistema de comunicación se ha convertido en una parte integral del sistema de protección y control. Ofrece varios protocolos para las distintas aplicaciones de la subestación:

- Protocolo cliente/servidor para SCADA.
- GOOSE para el envío de mensajes en tiempo real entre dispositivos de la subestación.
- Sampled Values para transmitir los datos desde los TC/TT.

OMICRON ofrece un juego de herramientas completo para la realización de pruebas detalladas y eficaces en entornos IEC 61850 (17).

3.3.6. OAGIS

Fue desarrollado para hacer frente a la necesidad de un lenguaje empresarial común que permita a las aplicaciones de negocios poder comunicarse (18).

3.3.7. Open GIS

El Open GIS consiste en definir estándares abiertos e interoperables dentro de los Sistemas de Información Geográfica y de la World Wide Web (WWW). Persigue acuerdos entre las diferentes empresas del sector que posibiliten la interoperación de sus sistemas de geoprocesamiento y facilitar el intercambio de la información geográfica en beneficio de los usuarios (19).

3.3.8. OPC

El OPC (OLE for Process Control) es un estándar de comunicación en el campo del control y supervisión de procesos industriales, basado en una tecnología Microsoft, que ofrece un interface común para comunicación que permite que componentes software individuales interaccionen y compartan datos. La

comunicación OPC se realiza a través de una arquitectura Cliente-servidor. El servidor OPC es la fuente de datos (como un dispositivo hardware a nivel de planta) y cualquier aplicación basada en OPC puede acceder a dicho servidor para leer/escribir cualquier variable que ofrezca el servidor. Es una solución abierta y flexible al clásico problema de los drivers propietarios. Prácticamente todos los mayores fabricantes de sistemas de control, instrumentación y de procesos han incluido OPC en sus productos (20).

3.3.9. IEC 62541

La IEC 62541 es básicamente un estándar para la OPC.

3.3.10. DNP3

DNP3 (Distributed Network Protocol) es un conjunto de protocolos de comunicación utilizados entre los componentes de automatización de procesos de sistemas. Su uso principal es en los servicios públicos, tales como las compañías de electricidad y agua. El uso en otras industrias no es común. Fue desarrollado para las comunicaciones entre los distintos tipos de adquisición de datos y control del equipo. Desempeña un papel crucial en sistemas SCADA , donde es utilizado por las estaciones SCADA Master (también conocidos como Centros de Control), Unidades Terminales Remotas (RTU – Remote Terminal Unit) y dispositivos electrónicos inteligentes (IED – Intelligent electronic Devices). Se utiliza sobre todo para las comunicaciones entre una estación maestra RTU o IED. El ICCP (Inter-Control Center Communications Protocol), el cual parte del estándar IEC 60.870-6), se utiliza para las comunicaciones entre estaciones maestras (21).

3.3.11. IEEE 1547

Este documento proporciona un estándar uniforme para la interconexión de recursos distribuidos con los Sistemas Eléctricos de Potencia. Proporciona las prescripciones aplicables al rendimiento, el funcionamiento, la evaluación, la seguridad y el mantenimiento de la interconexión (22).

3.3.12. OpenHAN

La OpenHAN es un conjunto de normas propuestas para las redes de área local y redes de origen. Tienen como objetivo estandarizar la línea eléctrica, la interoperación de redes desde el punto de vista de la utilidad y asegurar comunicaciones fiables co-existentes con puntos de servicio de corriente alterna.

La etiqueta openHAN generalmente denota normas favorecidas por los servicios públicos y de otros proveedores de servicios. Debe distinguirse de las normas openADR que fueron promovidos para garantizar el acceso abierto a los datos de los clientes el uso de electricidad por todos los proveedores de servicios (23).

3.3.13. OpenADR

Es un esfuerzo de investigación y desarrollo de estándares para la gestión energética de América del Norte liderado por los laboratorios de investigación y las empresas. El uso típico es el envío de información y las señales eléctricas que utilizan para producir energía de dispositivos que se desactive durante los períodos de alta demanda (24).

3.3.14. ANSI C.12

La NEMA ANSI C12 Smart Grid Package Meter proporciona todas las partes de las normas NEMA ANSI C12. Definen requisitos para la medición de electricidad, tomas de metro vatio hora, tablas de datos de dispositivos, metros interconexión a las redes de comunicación de datos y el tipo 2 puertos ópticos. Se incluyen los criterios de funcionamiento de los contadores térmicos demanda, registros de demanda mecánicas y dispositivos de desplazamiento de fase utilizados en la medición (25).

La ANSI distingue un paquete propio de comunicación para las redes inteligentes las cuales están todas integradas en la norma C12, las cuales son:

- ANSI C12.1-2008
- NEMA ANSI C12.4:1984 (R2011)
- NEMA ANSI C12.5:1978 (R2002)
- ANSI C12.6-1987 (R2012)
- NEMA ANSI C12.7:2005
- NEMA ANSI C12.8:1981 (R2002)
- NEMA ANSI C12.9:2005
- NEMA ANSI C12.10:2011
- NEMA ANSI C12.11:2007
- NEMA ANSI C12.18:2006
- NEMA ANSI C12.20:2010
- NEMA ANSI C12.21:2006
- ANSI C12.19-2008
- ANSI C12.22-2008
- ANSI

C12.24

TR-201

3.3.15. IEC 60870-6

IEC 60870 parte 6 es uno de los IEC 60870 conjunto de normas que definen sistemas utilizados para telecontrol en ingeniería eléctrica (como los sistemas SCADA) y de alimentación del sistema de automatización de aplicaciones. Se ha desarrollado la parte 6 para proporcionar un perfil de comunicación para el envío de mensajes básicos de telecontrol entre dos sistemas que sean compatibles con las normas ISO y las recomendaciones de la UIT-T (Unión Internacional de Telecomunicaciones) (26).

3.3.16. IEC 60870-6/TASE.2

La IEC 60870-6/TASE.2 es un estándar para la IEC 60870-6 (servicios y protocolo).

3.3.17. IEC 60870-5-101/104

IEC 101 (IEC 60870-5-101) es una norma internacional preparada para la monitorización de los sistemas de energía, sistemas de control y sus comunicaciones asociadas. Es totalmente compatible con las normas IEC 60870 y su uso estándar es en serie y asíncrono para el telecontrol de canales. El estándar es adecuado para múltiples configuraciones como la de punto a punto, estrella, etcétera.

IEC 60870-5-104 es una extensión del protocolo IEC 101 con cambios en los servicios de la capa de transporte, de la capa de red, de la capa de enlace y de la capa física para satisfacer la totalidad de accesos a la red. El estándar utiliza la interfaz de red TCP/IP para disponer de conectividad a la red de área local LAN (Local Area Network) también se puede usar para conectarse a la red de área amplia WAN (Wide Area Network) (27).

3.3.18. IEEE C37.11

Se dan los requisitos estándar para todos los tipos de circuitos eléctricos de control de interruptores de corriente alterna de alta tensión nominal superior a 1kV. Esta norma es aplicable para cualquier tipo de mecanismo de accionamiento a motor para la corriente alterna y la energía de control de corriente continua. Sólo los elementos básicos de control del interruptor automático, incluyendo reconexión

en caso necesario, se incluyen en esta norma. Dispositivos o circuitos para relés de protección, enclavamiento especial, entre otros, no están incluidos (28).

3.4. Aspectos fundamentales

En Julio del año 2007, XM presentó en Colombia el proyecto Sistema de Respaldo Nacional (SIRENA) que busca implementar estrategias que permitan ejercer control y protección del sistema de transmisión nacional para prevenir y disminuir eventos de gran magnitud, este proyecto nació a consecuencia del apagón total que sufrió el sistema interconectado nacional Colombiano en Abril del 2007 que tendrá en cuenta los siguientes aspectos fundamentales:

- Uso de última tecnología en monitoreo de sistemas de potencia con PMU.
- Uso intensivo de telecomunicaciones.
- Aprovechamiento de capacidades de computación distribuida.
- Uso de nuevos métodos de análisis y simulación de sistemas de potencia.
- Implementación de sistemas WAMS / WACS.
- Aproximación a tecnologías de Smart Grids en el SIN/STN.

Las aplicaciones WAMS (Wide Area Monitoring Systems) en las que se ha centrado XM para desarrollar su mapa de ruta, son:

- Monitoreo del estado global de la red eléctrica.
- Estimación de estado en tiempo real sin cálculos repetitivos.
- Monitoreo de Estabilidad en tiempo real.
- Cálculo de parámetros de líneas y transformadores.
- Localización de fallas.

Para el proyecto SIRENA se han ubicado PMU en subestaciones clave, ya que esta ubicación permite identificar oscilaciones inter-área, incrementar el área geográfica observada y minimizar la cantidad de equipos requeridos. Este proyecto tiene actualmente la supervisión de 12 subestaciones: Sabanalarga, Ocaña, Guavio, San Carlos, Ancón Sur, Esmeralda, Sochagota, Torca, Chivor, Yumbo, Betania y Jamondino (3).

3.5. Perspectivas de los sincrofasores

Los sincrofasores ofrecen una nueva forma de analizar pequeños y grandes disturbios en un sistema de potencia implementados en aplicaciones de estimación de estado, control y protección.

Con la constante búsqueda y necesidad de que las redes del sistema eléctrico sean más eficientes e inteligentes, el control basado en sincrofasores se ha

convertido en el centro de la nueva tecnología de red inteligente (Smart-Grid) a nivel del esquema de transmisión de energía eléctrica, debido a que estos esquemas de monitoreo, protección, automatización y control, requieren menos datos del sistema para proveer resultados exactos a comparación de los métodos tradicionales gracias a la matemática fasorial, los cuales involucran información de muchas variables eléctricas como tensiones, corrientes, potencias activa y reactiva, además de mostrar el estado del sistema con menos datos que en los métodos tradicionales.

Los sincrofasores mejoran ampliamente la confiabilidad de dichos datos y los resultados obtenidos, al establecer una referencia de tiempo única para todas las medidas del sistema, reduciendo la inexactitud ocasionada por los retardos en las vías de comunicación y transferencia de los datos medidos entre las subestaciones y los centros de control (3).

Actualmente XM con el proyecto SIRENA está finalizando el proceso de investigación y desarrollo tecnológico de integración del sistema de control dejando las bases para futuras implementaciones en monitoreo y control de área amplia (WAMS – WACS), la última aplicación para los sincrofasores.

Los WAMPC (Wide Area Monitoring Protection and Control) no han sido ampliamente aplicados y aún se están desarrollando nuevas aplicaciones que caben en tres categorías:

- Monitoreo de sistemas de potencia.
- Protección de redes avanzadas (Wide Area).
- Esquemas de control avanzados.

Las redes de área amplia son redes informáticas que se extienden sobre un área geográfica extensa que puede ser un país o incluso un continente, su función fundamental está orientada a la interconexión de redes o equipos terminales que se encuentran ubicados a grandes distancias entre sí. Para ello las WAMS cuentan con una infraestructura basada en nodos de conmutación que llevan a cabo la interconexión de dichos elementos, por los que fluye un volumen apreciable de información de manera continua.

Los sistemas de monitoreo de área amplia no son un concepto nuevo, sin embargo estos sistemas tienen limitaciones en los tiempos de muestreo mayores a 1 segundo y sólo permiten obtener una estimación del estado del sistema, con errores algunas veces irremediables, debidos a los tiempos de adquisición de datos y a los supuestos matemáticos en los modelos de red. Permite contar con una mejor estimación de variables de operación y una observabilidad casi completa de la red eléctrica, logrando con las medidas sincronizadas de fasores la imagen instantánea del sistema de potencia y su comportamiento en tiempo real.

La aplicación de los sincrofasores va más allá del monitoreo de sistemas de área amplia si se consideran los desarrollos a largo plazo que se están dando, donde los datos de fasores sincronizados son usados, además del monitoreo, para protección y control de redes en tiempo real.

Las aplicaciones de los sistemas WAMPC se pueden clasificar en dos grandes categorías, que simplifican la visión de estos sistemas, las cuales han sido denominadas de acuerdo al grado de implementación de dichos sistemas en la estructura general del sistema eléctrico.

Las categorías son:

- Aplicaciones en subestación local: Aprovechamiento de la "inteligencia" y el poder de decisión local en la PMU de cada subestación para obtener acciones correctivas o adaptativas coordinadas ante eventos en el sistema de potencia.
- Aplicaciones en sistemas o centros de operación regional: Administración de control sobre todo el sistema en los centros de operación.

La finalidad principal de los sistemas de monitoreo de área amplia, es dotar a los operadores de la red eléctrica de un sistema de información amplia con herramientas de análisis que incrementen la velocidad de detección y respuesta ante situaciones de riesgo permitiendo a los operadores de la red tomar decisiones más acertadas y con mayor rapidez previniendo eventos incontrolables o salidas de operación en cascada.

3.6. Aplicaciones

Los sincrofasores han sido usados principalmente en los sistemas de potencia, en el análisis posterior a eventos y visualización en tiempo real, el monitoreo en tiempo real permite detectar situaciones de riesgo, de inestabilidad y tomar decisiones rápidas que limiten las regiones afectadas y eviten el colapso generalizado de un sistema. Los sincrofasores más allá del monitoreo y la visualización contribuyen a la operación de sistemas de potencia de manera confiable y económica aprovechando las estructuras de control en tiempo real y los esquemas de protección aplicados en sistemas de supervisión y control de área amplia (WAMS / WACS), incluye entre sus funciones:

- Detección y corrección de inestabilidad de tensión.
- Detección de inestabilidad de pequeña señal.
- Control de Islas.

- Control de fuentes de generación intermitentes e interconexión de red.
- Detección y localización de fallas.

Con los nuevos avances en procesamiento de señales y equipo, los sincrofasores son ahora una herramienta clave para resolver una gran variedad de problemas de protección, automatización y control del sistema de potencia.

Las aplicaciones de los sincrofasores han sido desarrolladas para la detección de pérdida de sincronismo, estimación de estado de multi-área, identificación de modos de oscilación, protección de estabilidad de tensión y monitoreo de sistemas dinámicos. Los PMU ofrecen opciones atractivas para mejorar las acciones de control y protección de los sistemas modernos de potencia al resolver la incoherencia del tiempo de los datos distribuidos colocando un sello de tiempo a los datos y alineando las mediciones respecto a un tiempo común para el procesamiento.

Los ángulos y magnitudes de tensiones y corrientes medidas en un tiempo preciso, son informaciones básicas para caracterizar las condiciones operativas y de estabilidad del sistema de transmisión y pueden ser obtenidas a través de las unidades de medición fasorial.

4. FUNCIONAMIENTO DE LAS UNIDADES DE MEDICIÓN FASORIAL

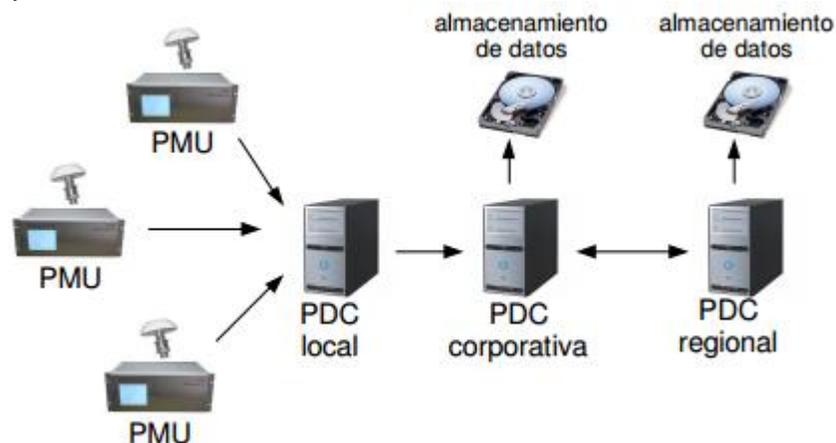
4.1. Introducción

Las WAMS se componen de PMU que proporcionan las medidas a los PDC en los que se realiza el procesamiento de la señal deseada. Apoyado por los datos de archivos históricos, las WAMS informan al operador del sistema de transmisión acerca del estado actual de la red por medio de interfaces hombre-máquina (HMI – Human Machine Interfaz) y SCADA, generalmente.

4.2. Esquema básico de funcionamiento de los sincrofasores

La construcción de un sistema básico con sincrofasores, debe constar de: Un reloj sincronizado por medio de un satélite GPS, una unidad de medida de fasores (PMU), un concentrador de datos (PDC) y un software de visualización. En la Figura 5, se muestra la disposición de 3 PMU y su comunicación con los PDC para la adquisición de datos simultáneos.

Figura 5. Esquema de funcionamiento PMU - PDC.



Fuente: Uso de sincrofasores para la detección de oscilaciones de potencia y pérdida de sincronismo (29).

El PDC es un dispositivo que se encarga de recibir, procesar y correlacionar las señales para convertir las enormes cantidades de datos de los PMU en información apta para su presentación a un operador o a través del sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos de la Gestión de Energía (SCADA/EMS), de forma que pueda tomar las medidas oportunas, por medio de etiquetas de tiempo los datos fasoriales de las PMU y de otros PDC (Super PDC) para crear un conjunto de datos fasoriales de todo el sistema. Un PDC opera

como un nodo en una red de comunicaciones, en que datos de sincrofasores provenientes de los PMU o los PDC son correlacionados o alineados.

A continuación, se pone estos datos a disposición de otras aplicaciones y se mantiene un registro interno que guarda todo el conjunto de datos si se detecta una perturbación en alguna PMU. Para poder hacer la transferencia de datos es necesaria una red de comunicación apropiada, es por tanto que primeramente se debe enmarcar el tipo de red por la cual se hace dicha transferencia. Existen dos criterios para poder definir una red de comunicación, la privacidad y la distancia de la misma. En cuanto a la distancia se define una red de área local (LAN) como aquella que se encuentra dentro de un mismo edificio y la red de área extensa (WAN) como aquella que se encuentra en exteriores, por otra parte en cuanto a la privacidad, Internet es una red global a la cual tienen acceso todas las computadoras a nivel mundial identificadas por medio de un código propio denominado IP, mientras que Ethernet es un método de acceso LAN, comúnmente privado al cual solamente una empresa, banco, colegio o grupo de personas previamente determinado, tiene acceso por medio de los nodos tipificados en el estándar IEEE 802.3 que normaliza la capa física de una red, o sea, define los requerimientos básico de cables UTP, fibra óptica, señales eléctricas usadas y su codificación, etcétera.

El PDC realiza algunas funcionalidades adicionales:

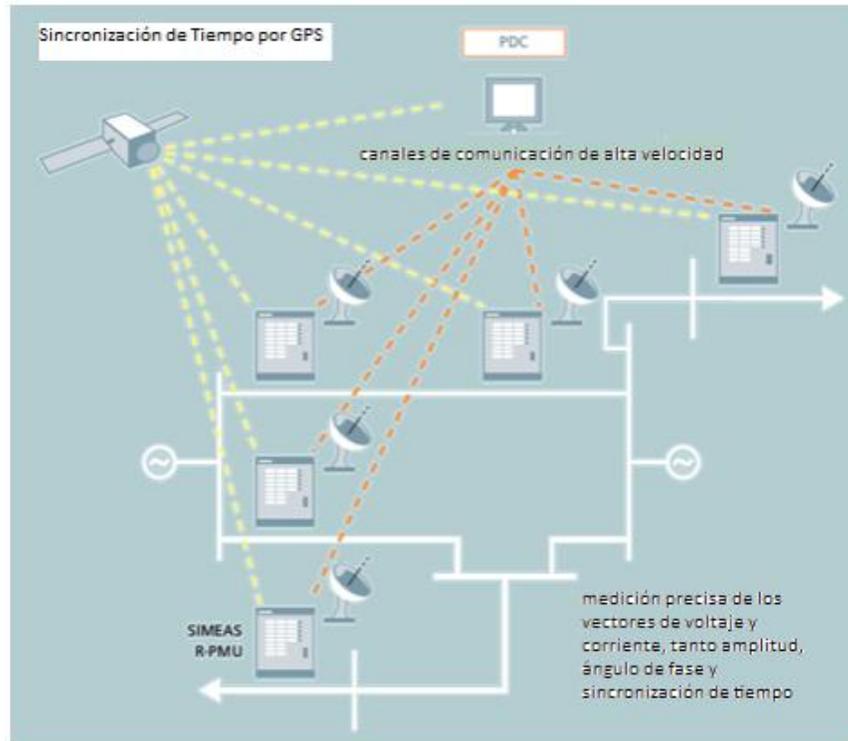
- Chequeos de calidad de la información.
- Chequeos para marcar perturbaciones y grabar archivos de información para su análisis.
- Monitorear el conjunto de medidas recibidas desde todo el sistema y exhibir los resultados.
- Salidas especiales, como ser una interfaz directa con un SCADA.

Si hay varias PMU en una subestación puede haber en ella un PDC.

Típicamente varias PMU ubicadas en distintas subestaciones clave del sistema eléctrico envían información en tiempo real a un PDC en el que la información es alineada y recolectada. Dicha información puede ser usada desde aplicaciones de visualización y alarmas, hasta para sofisticadas funcionalidades de análisis, control, o protección. Mientras que PDC de distintas empresas pueden reportar a un PDC central para proporcionar información de toda la red eléctrica.

La red de comunicación que interconecta los PMU con el PDC, es una red WAN, ya que se interconecta en grandes distancias y a la cual solamente el operador del sistema tiene acceso para llevar a cabo las medidas correctivas en el sistema. En la Figura 6 se presenta un esquema básico de cómo se lleva a cabo la comunicación en un sistema de PMU.

Figura 6. Esquema básico de la comunicación en un sistema con varios PMU.



Fuente: Schweitzer Engineering Laboratories. Sincrofasores (1).

Aunque los PMU facilitan en el mismo instante los valores muestreados, por desgracia su llegada al PDC es aleatoria a causa de los retardos del sistema de comunicación. Por lo tanto, el PDC ordena las mediciones de fasores entrantes, con su etiqueta de tiempo, antes de procesar las señales posteriores, lo que facilita un mayor orden en los datos entrantes, de esta manera el muestreo de datos es más eficiente y la toma de decisiones en caso de falla se pueden agilizar, además de que garantiza no perder la sincronía entre datos.

El sistema GPS fue diseñado primordialmente para propiciar la localización exacta de cada uno de los lugares del planeta, sin embargo uno de los campos de gran importancia en la actualidad es la sincronización. Para la sincronización horaria solo se utiliza la componente de tiempo. Las señales se emiten en hora UTC (Universal Time Coordinated) y comprenden la fecha y la hora.

La recepción de una señal extra permite que el receptor pueda calcular los errores producidos en la medición y comparación del tiempo y compensarlos, para la medición de la posición. Los receptores pueden emplearse para algo más que el cálculo de posiciones, como la calibración de otros sistemas de navegación, la sincronización de sistemas informáticos u otros equipos (como es el caso de los PMU), o la sincronización con el horario universal, entre otros (29).

A modo de ejemplo, el dispositivo de la Figura 7 funciona de forma fiable en entornos difíciles, conforme al estándar IEEE C37.90 e IEC 60255, normas de protección relé y el estándar ambiental y de pruebas para las comunicaciones redes dispositivos en subestaciones eléctricas IEEE 1613 (1).

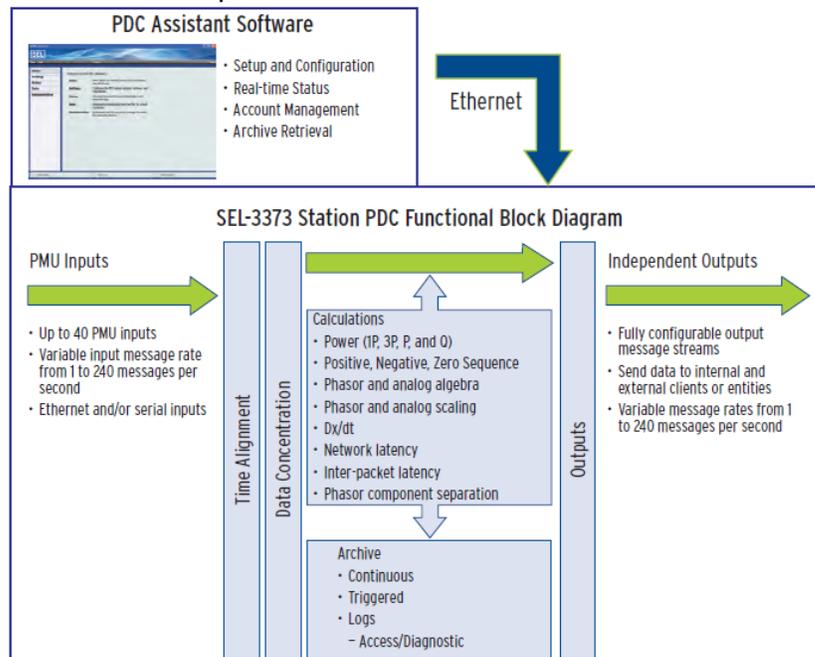
Figura 7. Concentrador de datos fasoriales PDC SEL-3373.



Fuente: Schweitzer Engineering Laboratories. Sincrofesores (1).

En la actualidad, la mayoría de los PDC en el mercado tienen incluido un software asistente, el cual proporciona los medios necesarios para instalar, configurar y administrar el funcionamiento del PDC. La interfaz de usuario le permite ahorrar tiempo, haciendo que sea fácil agregar un PMU, configurar un flujo de salida, crear un archivo, los registros de revisión, y ver el estado de funcionamiento en tiempo real. Además, este software permite configurar entradas redundantes y salidas redundantes para aumentar la disponibilidad de transmisión de datos sincrofasor a sus aplicaciones, como se observa en la Figura 8.

Figura 8. Estructura de la operación de un PDC.



Fuente: Schweitzer Engineering Laboratories. Sincrofesores (1).

4.3. Elementos básicos de los sistemas de automatización y control con PMU en redes eléctricas

Aunque hasta el momento se ha dicho mucho al respecto, se puede resumir el modo de funcionamiento de estos dispositivos en cinco partes, tomadas de (1).

4.3.1. Concentración de datos

Estos dispositivos deben considerar el tiempo de alineación y concentración de los datos fasoriales compatibles con las entradas del PMU o propiamente del PDC. Se puede seleccionar las tasas de envío de datos de forma independiente, de uno a 240 mensajes por segundo para cada entrada, depende del fabricante y la serie del PDC.

4.3.2. Archivado de datos

Otro elemento de gran conveniencia es un potente archivado local de datos en cada subestación, pudiendo archivar todos los datos del PMU o solo información específica, además de proteger el PDC contra la pérdida de datos, incluso si hay un corte de comunicaciones temporal. Lo adecuado es configurar el PDC para capturar datos antes y después de cualquier perturbación, por lo que nunca se pierde la captura de los datos necesarios para el análisis y también se puede configurar la recolección de archivos en forma continua o incluir circuitos disparadores internos predefinidos.

4.3.3. Contactos de alarma

Para ayudar a proveer pronta solución de cualquier problema, las conexiones del dispositivo deben incluir un contacto de alarma que se pueda utilizar para alertar al personal a cargo (operador de red o del sistema) de cualquier falla o mal funcionamiento. Los contactos de alarma también se deben cerrar cuando se excede el límite de espacio en el disco duro y después del número permitido de infructuosos intentos de inicio de sesión que se ha excedido, similar a como actuaría un reconectador.

4.3.4. Conexión en área amplia

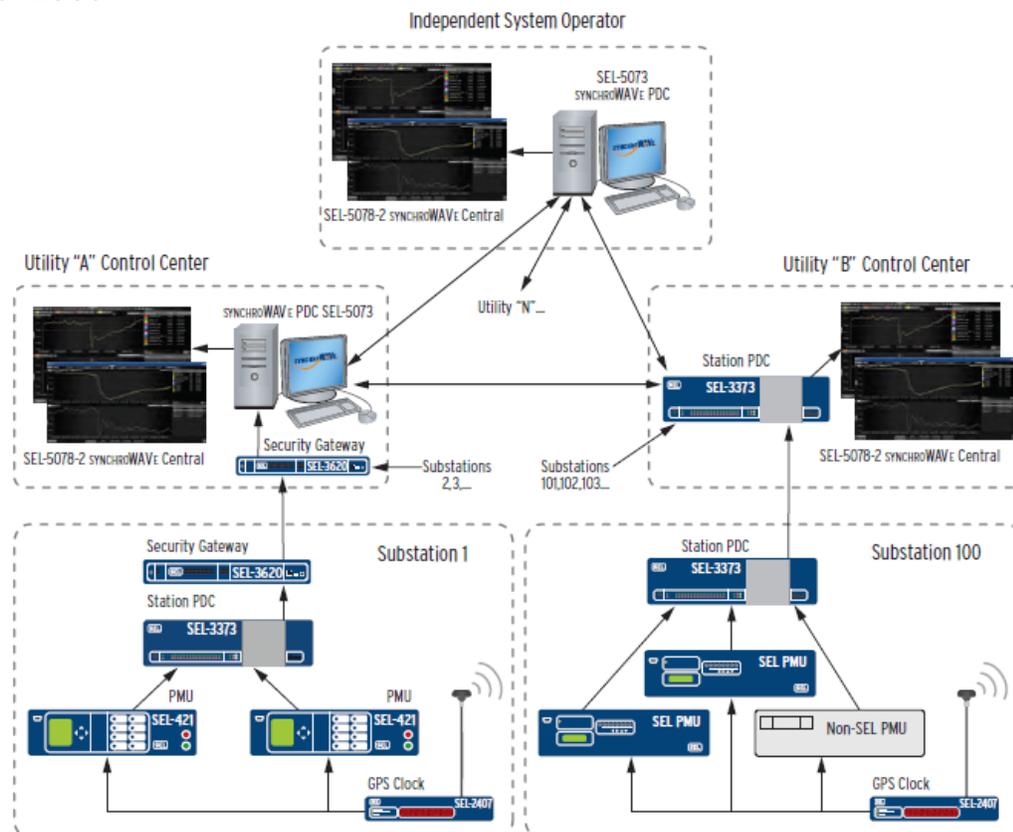
En cualquier sistema es esencial el conocimiento de los sucesos que se puedan presentar en toda el área amplia, es decir que se debe ver la frecuencia y ángulos de tensión en toda la red o en otras palabras el estado del sistema. Este conocimiento permite la identificación de los puntos débiles del sistema y puede

resultar en la identificación temprana de posibles eventos catastróficos del sistema. La comprensión de cómo se ve afectado el rendimiento del sistema cuando se añaden o eliminan grandes cantidades de carga o generación puede ayudar a los ingenieros a desarrollar una protección especial más robusta o también esquemas de medidas correctivas para mejorar la confiabilidad general del sistema.

4.3.5. Grabación de eventos

Otro elemento de gran importancia es el analizar las alteraciones del sistema rápidamente. Utilizando datos de fasor de todo el sistema se simplifica la recolección de datos, en tiempo sincronizado grabar información de la perturbación en el sistema desde todos los lugares donde haya un PMU. La instalación de una estación de PDC en cada subestación y el uso de la función de archivo de datos PDC como se muestra en la Figura 9, permite proteger contra la pérdida de datos, incluso si no es un servicio de comunicaciones temporales y hay alguna interrupción en la subestación durante el evento.

Figura 9. Esquema integrado de los elementos de un sistema de medición sincronizado.



Fuente: Schweitzer Engineering Laboratories. Sincrofasores (1).

5. EJEMPLO DE APLICACIÓN DE LOS PMU

5.1. Introducción

Para una mejor comprensión de cómo los dispositivos PMU pueden reflejar una disminución en los tiempos de procesamiento de los algoritmos de estimación de estado en los grandes sistemas de potencia, en este capítulo se realiza una serie de simulaciones empleando la herramienta Matpower del software Matlab, y asumiendo que se conocen las tensiones en un punto cualquiera del sistema de prueba reducir el tamaño de la matriz jacobiana asumiendo estos nuevos puntos como barras de tipo PV (Nodo Generador Potencia-Tension).

5.2. Sistema de prueba de 14 barras

Se simuló el sistema de prueba IEEE de 14 barras que se presenta en el capítulo A.2 del Anexo al final del documento. En este sistema se simulan tres casos para observar las variaciones en los resultados en tiempo de simulación y en magnitudes de las variables del sistema implementado.

Sistema original: Primero se simula el sistema tal como está propuesto originalmente. Para este caso, los resultados se muestran a continuación:

```
Newton's method power flow converged in 2 iterations.  
Elapsed time is 0.013000 seconds.
```

El tiempo de simulación obtenido y el número de iteraciones sirven como base para comparar con respecto las situaciones en que se tiene medidas en otros nodos del sistema.

PV nodo 13: Luego de simular el sistema de prueba original, se asume que se tiene medidas de tensión en magnitud y ángulo en la barra número 13 del mismo.

```
Newton's method power flow converged in 2 iterations.  
Elapsed time is 0.004206 seconds.
```

Puede observarse que aunque el número de iteraciones no ha sufrido ninguna modificación, el tiempo de respuesta en la simulación mejoró significativamente.

PV nodo 13 y 11: Para verificar que el caso anterior no es una coincidencia, se asume que se tiene nuevas mediciones en la barra 11 del sistema de prueba, sumándose a la barra 13 que ya se tenía.

```
Newton's method power flow converged in 2 iterations.
```

Elapsed time is 0.004082 seconds.

A pesar de que se ha mantenido el proceso de simulación en dos iteraciones, el tiempo de respuesta en la convergencia es menor a los casos anteriores. Sin embargo, esta respuesta no representa un cambio significativo con respecto a cuando ya se tenía una medida adicional.

5.3. Sistema de prueba de 57 barras

Se simuló el sistema de prueba IEEE de 57 barras que se presenta en el Capítulo A.3 del Anexo al final del documento. En este sistema se simulan cuatro casos para observar las variaciones en los resultados en tiempo de simulación y en magnitudes de las variables del sistema implementado.

Sistema original: Primero se simula el sistema tal como está propuesto originalmente. Para este caso, los resultados se muestran a continuación:

```
Newton's method power flow converged in 3 iterations.  
Elapsed time is 0.008638 seconds.
```

Se puede observar que en el sistema original el resultado se obtuvo con solo 3 iteraciones y a continuación se mostrara como va mejorando el tiempo de simulación.

PV nodo 28: Luego de simular el sistema de prueba original, se asume que se tiene medidas de tensión en magnitud y ángulo en la barra número 28 del mismo.

```
Newton's method power flow converged in 3 iterations.  
Elapsed time is 0.007684 seconds.
```

Puede observarse que aunque el número de iteraciones no ha sufrido ninguna modificación, el tiempo de respuesta en la simulación mejoró significativamente.

PV nodo 28 y 48: Indicando como nodos PV las barras 28 y 48 se verificará como el tiempo de respuesta sigue mejorando.

```
Newton's method power flow converged in 3 iterations.  
Elapsed time is 0.007667 seconds.
```

Como se puede observar se mantiene una constante disminución del tiempo de simulación sin modificarse el número de iteraciones.

PV nodo 28, 48 y 37: Indicando como nodos PV las barras 28, 48 y 37 se verificará nuevamente como el tiempo de respuesta sigue mejorando.

```
Newton's method power flow converged in 3 iterations.  
Elapsed time is 0.007624 seconds.
```

Como se puede observar se mantiene una constante disminución del tiempo de simulación sin modificarse el número de iteraciones.

5.4. Sistema de prueba de 300 barras

Se simuló el sistema de prueba IEEE de 57 barras que se presenta en el Capítulo A.1 del Anexo al final del documento. En este sistema se simulan otros cuatro casos para observar las variaciones en los resultados en tiempo de simulación y en magnitudes de las variables del sistema implementado.

Sistema original: Primero se simula el sistema tal como está propuesto originalmente. Para este caso, los resultados se muestran a continuación:

```
Newton's method power flow converged in 5 iterations.  
Elapsed time is 0.041930 seconds.
```

Se puede observar que como el sistema es más grande el número de iteraciones aumenta ya que necesita mayor tiempo para su simulación.

PV nodo 22: Luego de simular el sistema de prueba original, se asume que se tiene medidas de tensión en magnitud y ángulo en la barra número 22 del mismo.

```
Newton's method power flow converged in 5 iterations.  
Elapsed time is 0.037587 seconds.
```

Puede observarse que aunque el número de iteraciones no ha sufrido ninguna modificación, el tiempo de respuesta en la simulación mejoró significativamente.

PV nodos 22 y 89: Indicando como nodos PV las barras 22 y 89 se verificará como el tiempo de respuesta sigue mejorando.

```
Newton's method power flow converged in 5 iterations.  
Elapsed time is 0.037421 seconds.
```

Como se puede observar se mantiene una constante disminución del tiempo de simulación sin modificarse el número de iteraciones.

PV nodo 22, 89 y 9038: Indicando como nodos PV las barras 22, 88 y 9038 se verificara como el tiempo de respuesta sigue mejorando.

Newton's method power flow converged in 5 iterations.
Elapsed time is 0.036666 seconds.

Como se puede observar se mantiene una constante disminución del tiempo de simulación sin modificarse el número de iteraciones.

En general y como era de esperarse, a medida que se aumenta el número de mediciones en los sistema de prueba, se tiene también una reducción en el tiempo de simulación que como se aprecia tiende a converger en un tiempo mínimo de operación con respecto al número de mediciones disponibles en el circuito de potencia.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones generales

Una de las características más importantes de un sistema de potencia es su confiabilidad, por ende es necesario que esté sometido a un continuo monitoreo en tiempo real para evitar que este colapse en caso tal de presentarse una anomalía.

Para reaccionar adecuada y oportunamente es necesario tener un conocimiento previo de las variables del sistema como son corrientes, potencias, tensiones y sus respectivos ángulos ya que esto permite saber cuándo el sistemas está o no operando adecuadamente.

El posicionamiento de los sincrofasores es estratégico, por esto se debe simular, probando en que nodo o subestación el dispositivo puede operar eficazmente.

Se debe tener en cuenta que la red de sincrofasores es una red de comunicaciones y debe estar continuamente conectada a internet ya que como se dijo anteriormente esta debe estar sincronizada a un satélite GPS y su característica especial es su software SCADA.

La implementación de los dispositivos PMU, muestran cómo se van utilizando redes Smart-Grids lo que conlleva a que cada vez se establezca más control sobre los sistemas eléctricos y para lograr esto es necesario implementar las redes WAMS.

6.2. Recomendaciones

Es necesario que los dispositivos PMU estén bien sincronizados, para que estos puedan tomar datos confiables ya que un desfase de tan solo 1 μ s provocará un error considerable en el ángulo de fase, lo que producirá errores en la medición.

Se deben utilizar los protocolos reglamentarios y necesarios para tener una comunicación eficaz entre los dispositivos de la red.

En este documento se hizo énfasis en las redes de transmisión pero hay que tener en cuenta que estos dispositivos también se pueden utilizar en sistemas eléctricos de distribución.

BIBLIOGRAFÍA

1. **SEL.** Schweitzer Engineering Laboratories Inc. *Synchrophasor*. [Online] [Cited: Mayo 30, 2013.] www.selinc.com.
2. **WIKIPEDIA.** The free Encyclopedia. *Phasor Measurement Unit*. [Online] 10 28, 2012. [Cited: 12 03, 2012.] <http://en.wikipedia.org/wiki/Phasor_measurement_unit>.
3. **PÉREZ FERNANDEZ, Andrés Eduardo.** *Sincronofasores y su aplicación de área amplia en sistemas de potencia*. Santiago de Cali, Colombia : Programa de Ingeniería Eléctrica. Universidad Autónoma de Occidente, 2012.
4. **IEEE-PES.** IEEE Standard for Synchrophasor Measurements for Power Systems. *IEEE Std.C37-118*. New York, USA : IEEE Standards Board, 12 28, 2011. p. 61. ISBN 978-0-7381-6811-1.
5. **ALEGSA.** Diccionario Informático. [Online] [Cited: Enero 25, 2013.] <http://www.alegsa.com.ar/Dic/ansi.php>.
6. **WIKIPEDIA.** The free Encyclopedia. *Document Management System*. [Online] Febrero 22, 2013. [Cited: Enero 25, 2013.] http://en.wikipedia.org/wiki/Document_management_system.
7. —. The free Encyclopedia. *Energy Management Systems*. [Online] Enero 15, 2013. [Cited: Enero 25, 2013.] http://en.wikipedia.org/wiki/Energy_management_systems.
8. *El hombre y la Maquina . Unidades de Medicion Fasorial (PMU)*. 38, 2012.
9. **Martín, Arturo Moreno.** *Diccionario de Informarica y Telecomunicaciones*. Barcelona : Ariel, S.A., Marzo 2001.
10. **ISA Colombia.** International Society of Automation. Sección Colombia. [Online] http://www.isacolombia.org/index.php?option=com_content&view=article&id=2&Itemid=11.
11. **FOREST.** Ciencias Ambientales y Forestales. *Universiad de los Andes*. [Online] [Cited: Enero 25, 2013.] <http://www.forest.ula.ve/~mana/cursos/redes/protocolos.html>.
12. **XM.** Expertos en mercados. *Filial de ISA especializada en la Gestión de Sistemas de Tiempo Real*. [Online] <http://www.xm.com.co/Pages/QuienesSomos.aspx>.
13. **WIKIPEDIA.** The free Encyclopedia. *Computer Integrated Manufacturing*. [Online] Octubre 25, 2012. [Cited: Febrero 15, 2013.] http://en.wikipedia.org/wiki/Computer-integrated_manufacturing.

14. —. The free Encyclopedia. *IEC 61970*. [Online] Enero 3, 2012. [Cited: 15 Febrero, 2013.] http://en.wikipedia.org/wiki/IEC_61970.
15. —. The free Encyclopedia. *IEC 61968*. [Online] Julio 3, 2012. [Cited: Febrero 15, 2013.] http://en.wikipedia.org/wiki/IEC_61968.
16. **The OpenO&M**. Openoandm. *Initiative*. [Online] [Cited: Febrero 15, 2013.] <http://www.openoandm.org>.
17. **OMICRON**. OMICRON Electronics GmbH. *Communication protocols*. [Online] [Cited: Febrero 15, 2013.] <http://www.omicron.at/es/products/app/communication-protocols/>.
18. **developerWoks**. ibm. [Online] [Cited: Febrero 15, 2013.] <http://www.ibm.com/developerworks/library/x-oagis/>.
19. **WIKIPEDIA**. The free Encyclopedia. *Open Geospatial Consortium*. [Online] Octubre 19, 2012. [Cited: Febrero 15, 2013.] http://es.wikipedia.org/wiki/Open_Geospatial_Consortium.
20. —. The free Encyclopedia. *OPC*. [Online] Septiembre 13, 2012. [Cited: Febrero 15, 2013.] <http://es.wikipedia.org/wiki/OPC>.
21. —. The free Encyclopedia. *DNP3*. [Online] Abril 10, 2012. [Cited: Febrero 15, 2013.] <http://es.wikipedia.org/wiki/DNP3>.
22. —. The free Encyclopedia. *IEEE 1547*. [Online] Diciembre 10, 2011. [Cited: Febrero 15, 2013.] http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_1547.
23. —. The free Encyclopedia. *OpenHAN*. [Online] Diciembre 27, 2011. [Cited: Febrero 16, 2013.] <http://en.wikipedia.org/wiki/OpenHAN>.
24. —. The free Encyclopedia. *Open Automated Demand Response*. [Online] Diciembre 11, 2012. [Cited: Febrero 16, 2013.] http://en.wikipedia.org/wiki/Open_Automated_Demand_Response.
25. **ANSI-WebStore**. eStandards Store. *ANSI C12. Smart Grid Meter Package*. [Online] American National Standards Institute, 2013. [Cited: Abril 22, 2013.] <http://webstore.ansi.org/>.
26. **WIKIPEDIA**. The free Encyclopedia. *IEC 60870-6*. [Online] Febrero 5, 2013. [Cited: Febrero 16, 2013.] http://en.wikipedia.org/wiki/IEC_60870-6.
27. —. The free Encyclopedia. *IEC 60870-5-101*. [Online] Noviembre 27, 2012. [Cited: Febrero 17, 2013.] http://es.wikipedia.org/wiki/IEC_60870-5-101.
28. **IEEE-PES**. IEEE Standard requirements for electrical control for AC High-Voltage circuit breakers rated on a symmetrical current basis. *IEEE Std-C37.11*. New York, USA : IEEE Standards Board, 1997. ISBN 1-55937-917-0.
29. **FRANCO, Ricardo**. *Uso de sincrofasores para la detección de oscilaciones de potencia y pérdida de sincronismo*. Montevideo, Uruguay : Facultad de Ingeniería. Universidad de la República, 2012.

30. **University of Washington.** Power Systems Test Case Archives. Electrical Engineering. University of Washington. *Resources*. [Online] [Cited: 07 12, 2013.] <http://www.ee.washington.edu/research/pstca/>.

ANEXO

A.1. Introducción

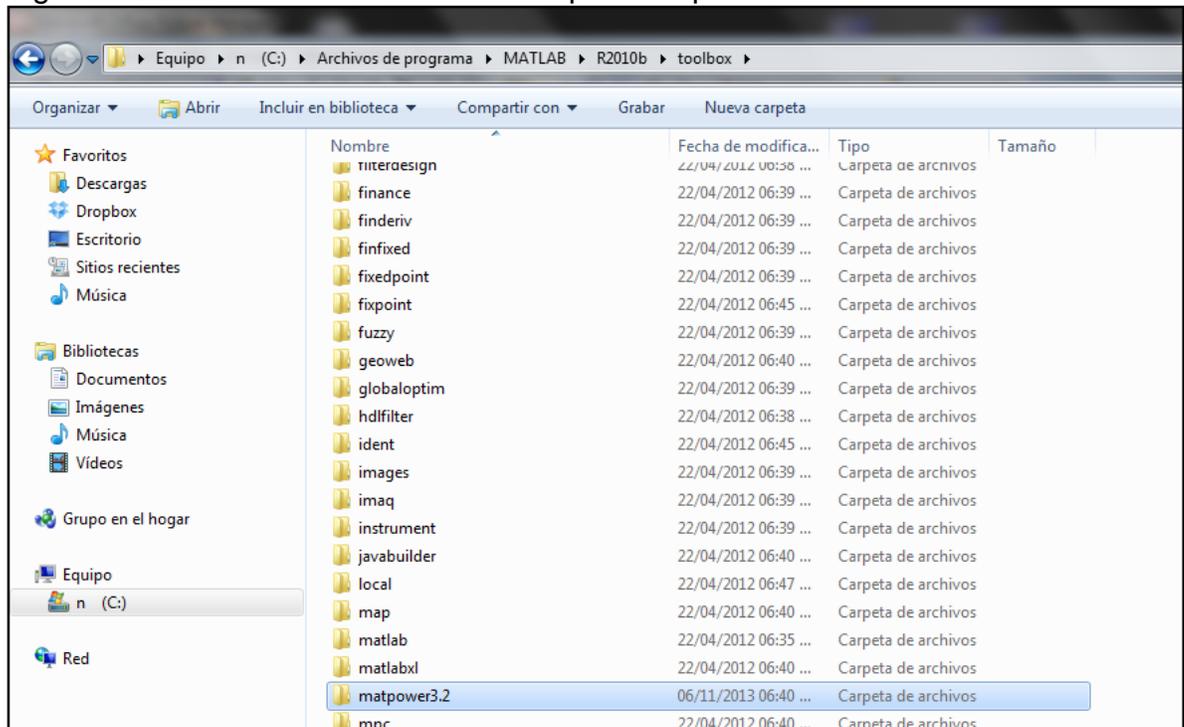
Con base a los datos tomados del “Power Systems Test Case Archive” del Centro de recursos del Programa de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Washington (30), se dispuso a realizar una serie de pruebas para analizar los cambios en los tiempos de simulación de un sistema de potencia como se describe en el capítulo 5. Los sistemas de prueba utilizados para estas simulaciones y los resultados entregados por el simulador Matpower3.4 en Matlab R2008a, se presentan en las siguientes secciones del presente anexo.

A.1.1 Instructivo para el uso del matpower3.2

Primero se debe tener la carpeta de matpower3.2 que es el programa en el cual están adjuntos todos los flujos de carga.

Luego se abre MATLAB, y se incorpora la carpeta del matpower como se muestra en la Figura 10 e inmediatamente el Software está disponible para correr los flujos de carga.

Figura 10: Ruta de instalación de la carpeta matpower3.2.



Una vez se incorpora la carpeta en el toolbox del MATLAB se debe agregar la carpeta del matpower3.2 al Search Path del MATLAB como se muestra en la Figura 11, Figura 12, Figura 13, Figura 14 y

Figura 15.

Figura 11: Primer paso para agregar la carpeta matpower3.2 al MATLAB.

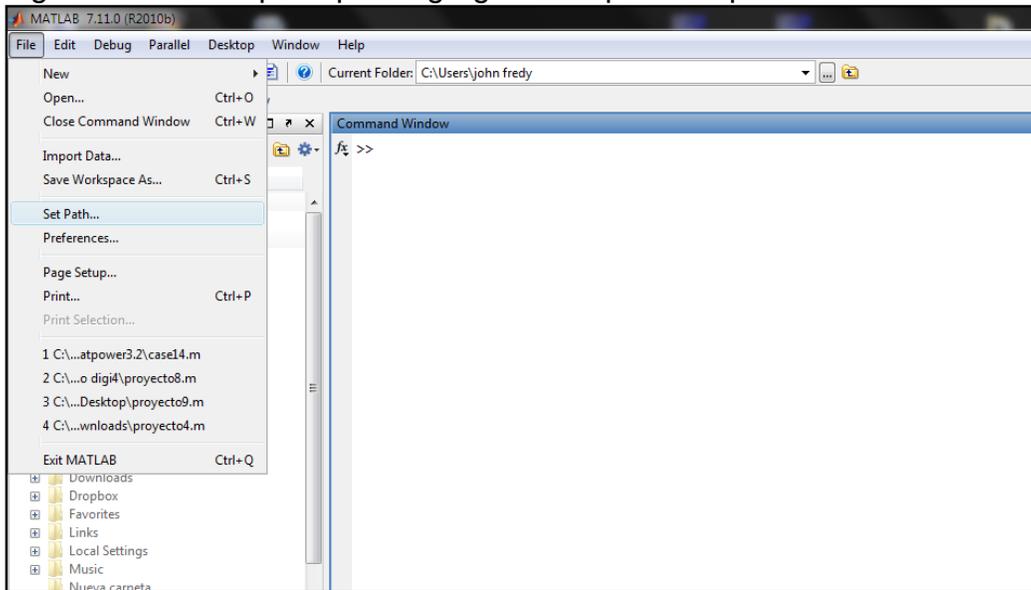


Figura 12: Segundo paso para agregar la carpeta matpower3.2 al MATLAB.

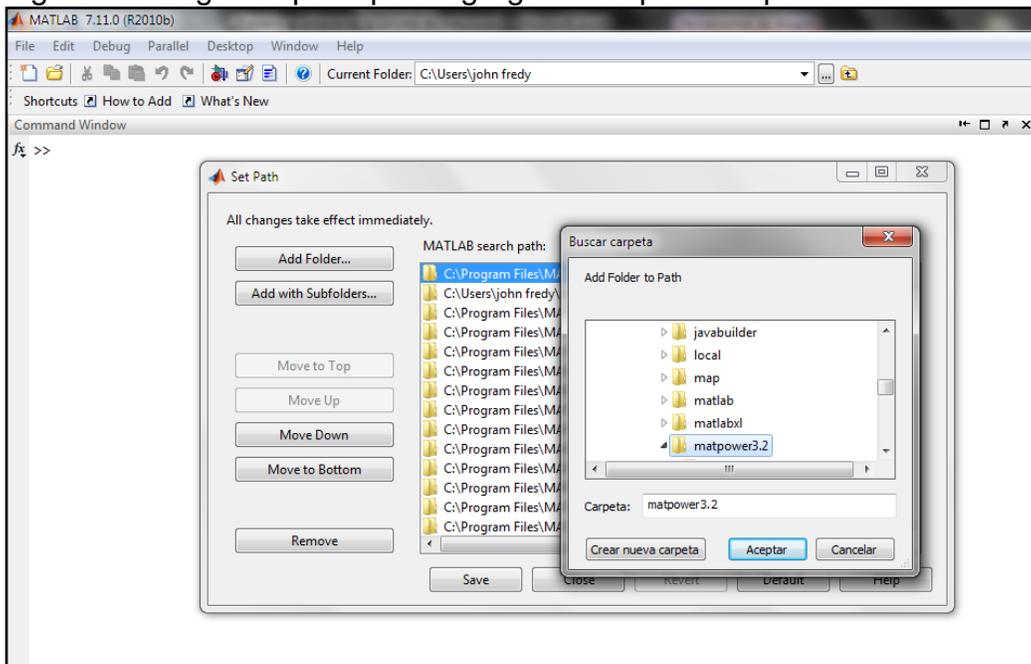


Figura 13: Tercer paso para agregar la carpeta matpower3.2 al MATLAB.

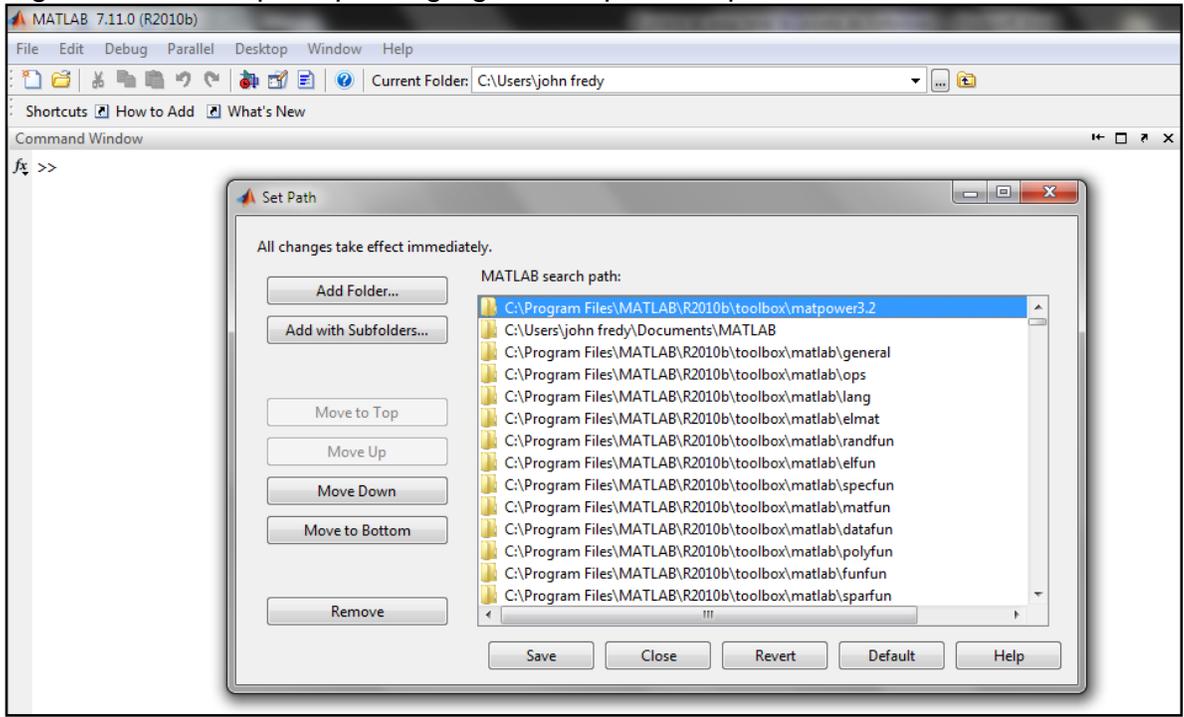


Figura 14: Cuarto paso para agregar la carpeta matpower3.2 al MATLAB.

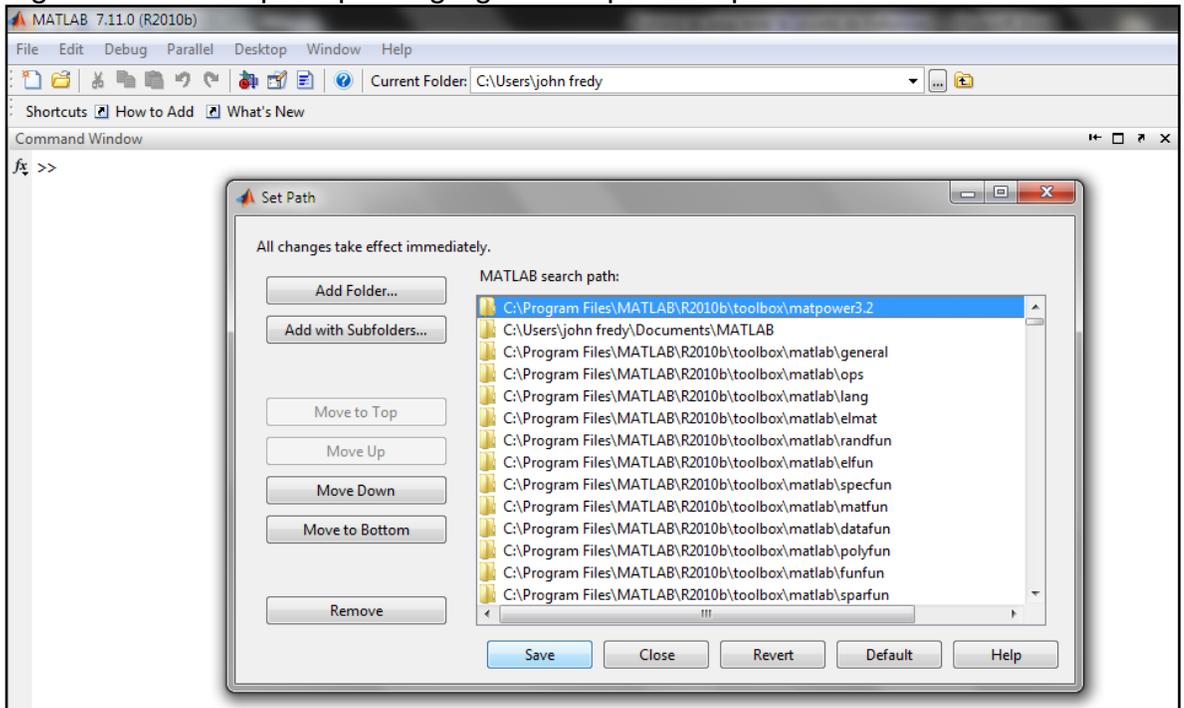
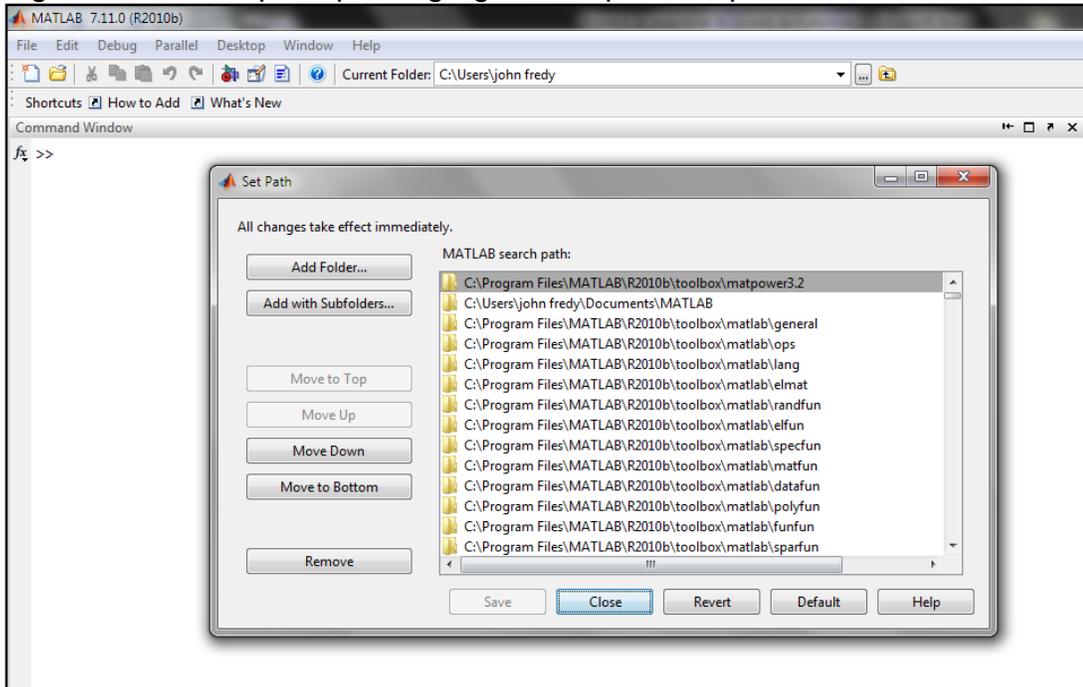
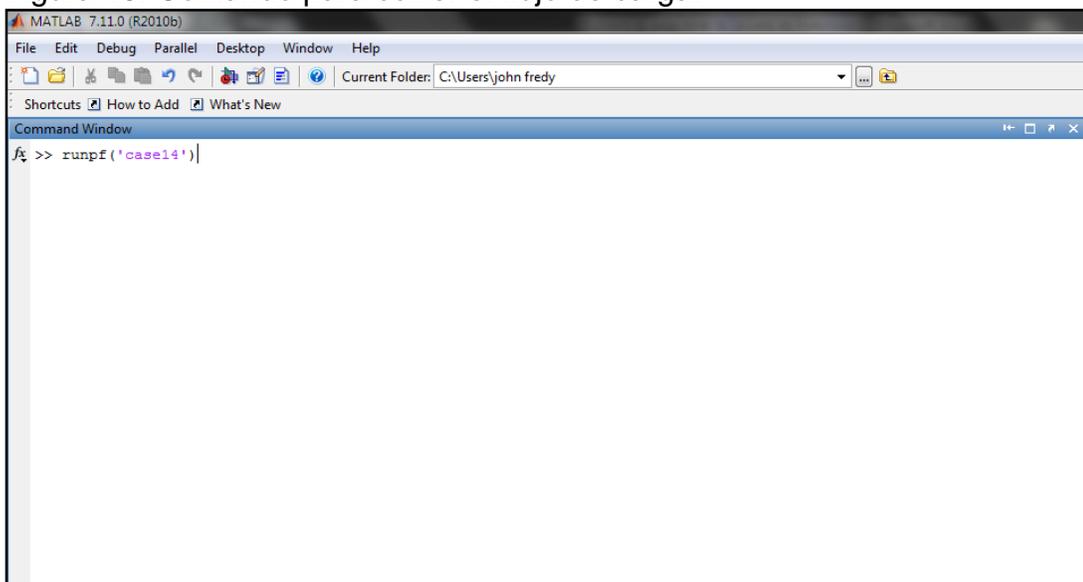


Figura 15: Quinto paso para agregar la carpeta matpower3.2 al MATLAB.



Cuando la carpeta ya esté en el search path del MATLAB se ejecuta el comando `runpf('case14')` en la ventana de comandos, así como se muestra en la Figura 16. En este caso se analizó un sistema de 14 barras pero puede ejecutarse para el número casos que permita el programa.

Figura 16: Comando para correr el flujo de carga.



Finalmente, al introducir el comando y dar ENTER inmediatamente muestra el análisis de un flujo de carga de dicho sistema, como se muestra en la Figura 17.

Figura 17: Flujo de carga para un sistema de 14 barras.

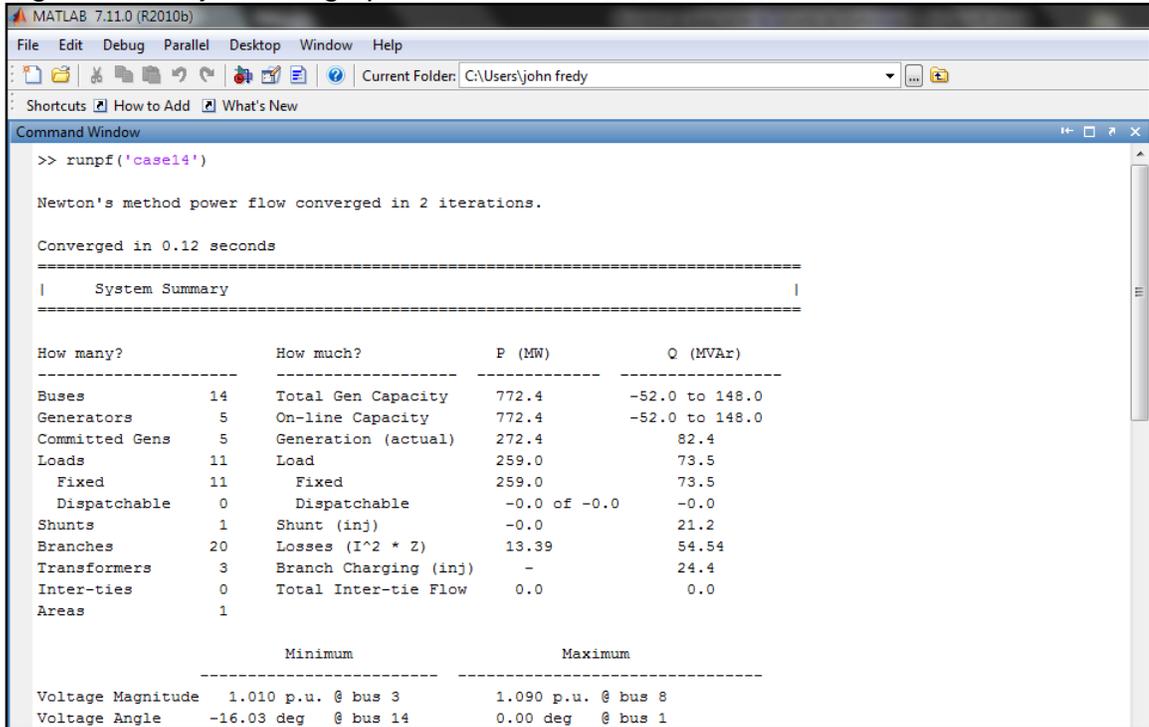


Tabla 2. Valores extremos del sistema de prueba de 14 barras.

	Minimum	Maximum
Voltage Magnitude	1.010 p.u. @ bus 3	1.090 p.u. @ bus 8
Voltage Angle	-16.03 deg @ bus 14	0.00 deg @ bus 1
P Losses (I^2R)	-	4.30 MW @ line 1-2
Q Losses (I^2X)	-	13.12 MVar @ line 1-2

Tabla 3. Datos nodales del sistema de prueba de 14 barras.

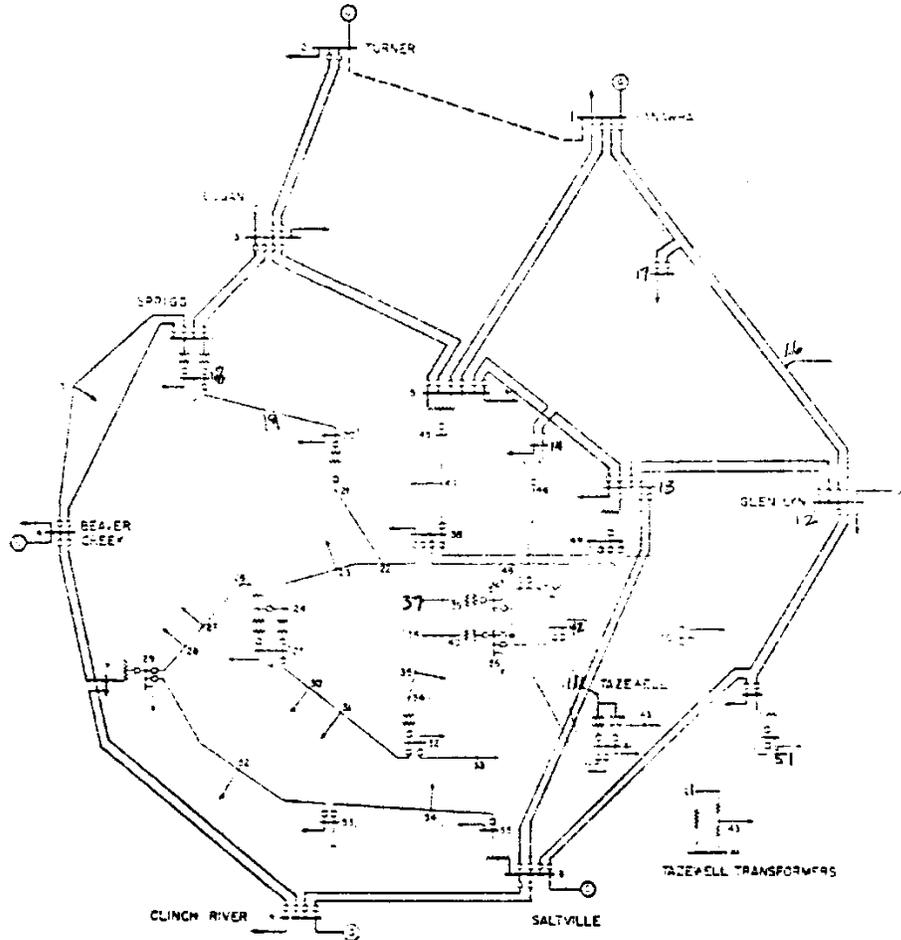
Bus #	Voltage		Generation		Load	
	Mag(pu)	Ang(deg)	P(MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)
1	1.060	0.000	232.39	-16.55	-	-
2	1.045	-4.983	40.00	43.56	21.70	12.70
3	1.010	-12.725	0.00	25.08	94.20	19.00
4	1.018	-10.313	-	-	47.80	-3.90
5	1.020	-8.774	-	-	7.60	1.60
6	1.070	-14.221	0.00	12.73	11.20	7.50
7	1.062	-13.360	-	17.62	-	-
8	1.090	-13.360	0.00	-	-	-
9	1.056	-14.939	-	-	29.50	16.60
10	1.051	-15.097	-	-	9.00	5.80
11	1.057	-14.791	-	-	3.50	1.80
12	1.055	-15.076	-	-	6.10	1.60
13	1.050	-15.156	-	-	13.50	5.80
14	1.036	-16.034	-	-	14.90	5.00
Total:			272.39	82.44	259.00	73.50

Tabla 4. Datos de las ramas del sistema de prueba de 14 barras.

Branch #	From Bus	To Bus	From Bus	Injection	To Bus	Injection	Loss (I^2Z)	
			P(MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)
1	1	2	156.88	-20.40	-152.59	27.68	4.298	13.12
2	1	5	75.51	3.85	-72.75	2.23	2.763	11.41
3	2	3	73.24	3.56	-70.91	1.60	2.323	9.79
4	2	4	56.13	-1.55	-54.45	3.02	1.677	5.09
5	2	5	41.52	1.17	-40.61	-2.10	0.904	2.76
6	3	4	-23.29	4.47	23.66	-4.84	0.373	0.95
7	4	5	-61.16	15.82	61.67	-14.20	0.514	1.62
8	4	7	28.07	-9.68	-28.07	11.38	0.000	1.70
9	4	9	16.08	-0.43	-16.08	1.73	0.000	1.30
10	5	6	44.09	12.47	-44.09	-8.05	0.000	4.42
11	6	11	7.35	3.56	-7.30	-3.44	0.055	0.12
12	6	12	7.79	2.50	-7.71	-2.35	0.072	0.15
13	6	13	17.75	7.22	-17.54	-6.80	0.212	0.42
14	7	8	0.00	-17.16	0.00	17.62	0.000	0.46
15	7	9	28.07	5.78	-28.07	-4.98	0.000	0.80
16	9	10	5.23	4.22	-5.21	-4.18	0.013	0.03
17	9	14	9.43	3.61	-9.31	-3.36	0.116	0.25
18	10	11	-3.79	-1.62	3.80	1.64	0.013	0.03
19	12	13	1.61	0.75	-1.61	-0.75	0.006	0.01
20	13	14	5.64	1.75	-5.59	-1.64	0.054	0.11
Total:							13.393	54.54

A.3. Sistema de prueba IEEE de 57 barras

Figura 19. Diagrama unifilar sistema IEEE de 57 barras.



Fuente: Power Systems Test Case Archives, Universidad de Washington (30).

Tabla 5. Resumen del sistema de prueba de 57 barras.

How many?		How much?		P(MW)	Q(MVAr)
Buses	57	Total Gen Capacity	1975.9	-468.0 to 699.0	
Generators	7	On-line Capacity	1975.9	-468.0 to 699.0	
Committed Gens	7	Generation (actual)	1278.7	321.1	
Loads	42	Load	1250.8	336.4	
Fixed	42	Fixed	1250.8	336.4	
Dispatchable	0	Dispatchable	-0.0 of 0.0	-0.0	
Shunts	3	Shunt (inj)	-0.0	21.6	
Branches	80	Losses ($I^2 * Z$)	27.86	121.67	
Transformers	17	Branch Charging (inj)	-	115.3	
Inter-ties	0	Total Inter-tie Flow	0.0	0.0	
Areas	1				

Tabla 6. Valores extremos del sistema de prueba de 57 barras.

	Minimum	Maximum
Voltage Magnitude	0.936 p.u. @ bus 31	1.060 p.u. @ bus 46
Voltage Angle	-19.38 deg @ bus 31	0.00 deg @ bus 1
P Losses (I^2R)	-	3.90 MW @ line 1-15
Q Losses (I^2X)	-	19.96 MVar @ line 1-15

Tabla 7. Datos nodales del sistema de prueba de 57 barras.

Bus #	Voltage		Generation		Load	
	Mag(pu)	Ang(deg)	P(MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)
1	1.040	0	478.66	128.85	55.00	17.00
2	1.010	-1.188	0.00	-0.75	3.00	88.00
3	0.985	-5.988	40.00	-0.90	41.00	21.00
4	0.981	-7.337	-	-	-	-
5	0.976	-8.546	-	-	13.00	4.00
6	0.980	-8.674	0.00	0.87	75.00	2.00
7	0.984	-7.601	-	-	-	-
8	1.005	-4.478	450.00	62.10	150.00	22.00
9	0.980	-9.585	0.00	2.29	121.00	26.00
10	0.986	-11.45	-	-	5.00	2.00
11	0.974	-10.193	-	-	-	-
12	1.015	-10.471	310.00	128.63	377.00	24.00
13	0.979	-9.804	-	-	18.00	2.30
14	0.970	-9.35	-	-	10.50	5.30
15	0.988	-7.19	-	-	22.00	5.00
16	1.013	-8.859	-	-	43.00	3.00
17	1.017	-5.396	-	-	42.00	8.00
18	1.001	-11.73	-	-	27.20	9.80
19	0.970	-13.227	-	-	3.30	0.60
20	0.964	-13.444	-	-	2.30	1.00
21	1.008	-12.929	-	-	-	-
22	1.010	-12.874	-	-	-	-
23	1.008	-12.94	-	-	6.30	2.10
24	0.999	-13.292	-	-	-	-
25	0.983	-18.173	-	-	6.3	3.20
26	0.959	-12.981	-	-	-	-
27	0.982	-11.514	-	-	9.3	0.5
28	0.997	-10.482	-	-	4.6	2.3
29	1.010	-9.772	-	-	17	2.6
30	0.963	-18.72	-	-	3.6	1.8
31	0.936	-19.384	-	-	5.8	2.9
32	0.950	-18.512	-	-	1.6	0.8
33	0.948	-18.552	-	-	3.8	1.9
34	0.959	-14.149	-	-	-	-
35	0.966	-13.906	-	-	6	3
36	0.976	-13.635	-	-	-	-
37	0.985	-13.446	-	-	-	-
38	1.013	-12.735	-	-	14	7
39	0.983	-13.491	-	-	-	-
40	0.973	-13.658	-	-	-	-
41	0.996	-14.077	-	-	6.3	3

42	0.967	-15.533	-	-	7.1	4.4
43	1.010	-11.354	-	-	2	1
44	1.017	-11.856	-	-	12	1.8
45	1.036	-9.27	-	-	-	-
46	1.060	-11.116	-	-	-	-
47	1.033	-12.512	-	-	29.7	11.6
48	1.027	-12.611	-	-	-	-
49	1.036	-12.936	-	-	18	8.5
50	1.023	-13.413	-	-	21	10.5
51	1.052	-12.533	-	-	18	5.3
52	0.980	-11.498	-	-	4.9	2.2
53	0.971	-12.253	-	-	20	10
54	0.996	-11.71	-	-	4.1	1.4
55	1.031	-10.801	-	-	6.8	3.4
56	0.968	-16.065	-	-	7.6	2.2
57	0.965	-16.584	-	-	6.7	2
		Total:	1278.66	321.08	1250.80	336.40

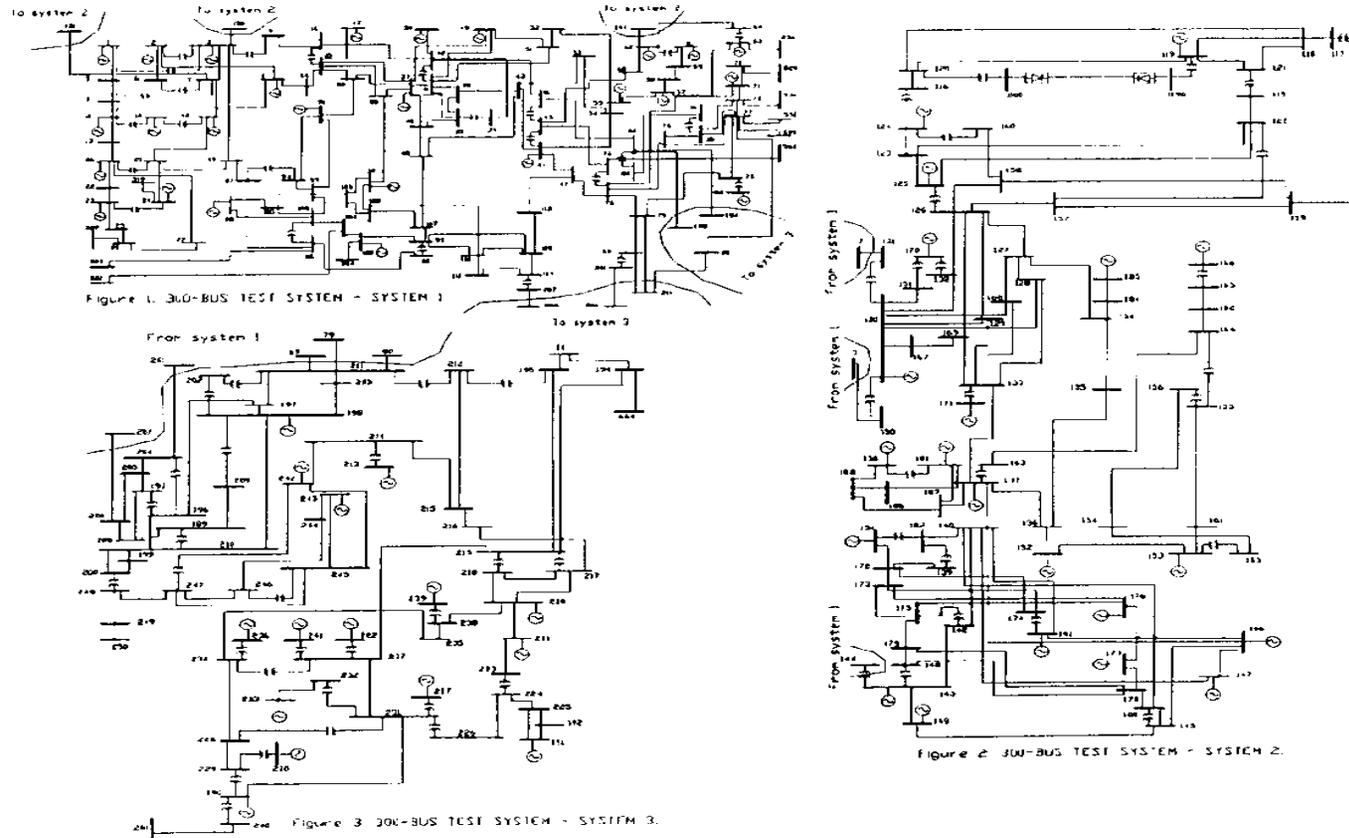
Tabla 8. Datos de las ramas del sistema de prueba de 57 barras.

Branch #	From Bus	To Bus	From Bus		To Bus		Loss ($I^2 \cdot Z$)	
			P(MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)
1	1	2	102.09	75.00	-100.77	-84.12	1.315	4.44
2	2	3	97.77	-4.64	-94.98	4.46	2.793	7.97
3	3	4	60.21	-8.18	-59.79	5.89	0.423	1.38
4	4	5	13.8	-4.43	-13.67	2.24	0.13	0.28
5	4	6	14.16	-5.09	-14.06	2.08	0.095	0.33
6	6	7	-17.78	-1.71	17.84	-0.62	0.066	0.34
7	6	8	-42.5	-6.56	43.15	5.22	0.644	3.29
8	8	9	178.03	19.83	-174.87	-9.12	3.157	16.10
9	9	10	17.17	-9.23	-17.04	5.58	0.133	0.60
10	9	11	12.9	2.07	-12.86	-3.99	0.047	0.16
11	9	12	2.55	-15.85	-2.45	8.64	0.104	0.47
12	9	13	2.32	-1.96	-2.31	-1.93	0.003	0.01
13	13	14	-10.35	22.34	10.44	-23.10	0.087	0.29
14	13	15	-48.89	4.89	49.57	-4.91	0.681	2.2
15	1	15	148.99	33.79	-145.08	-23.99	3.905	19.96
16	1	16	79.25	-0.87	-76.61	7.08	2.638	11.97
17	1	17	93.34	3.94	-91.42	1.77	1.924	8.73
18	3	15	33.77	-18.9	-33.54	13.65	0.231	0.75
19	4	18	13.96	2.44	-13.96	-1.35	0	1.09
20	4	18	17.87	1.19	-17.87	0.18	0	1.37
21	5	6	0.67	-6.24	-0.66	5.07	0.01	0.02
22	7	8	-77.94	-12.41	78.83	15.05	0.89	4.56
23	10	12	-17.6	-20.09	17.79	17.65	0.186	0.85
24	11	13	-9.93	-4.39	9.95	2.68	0.026	0.09
25	12	13	-0.49	60.35	1.18	-64.09	0.696	2.27
26	12	16	-33.4	8.82	33.61	-10.08	0.212	0.96
27	12	17	-48.46	9.17	49.42	-977	0.957	4.32
28	14	15	-68.84	-9.6	69.71	10.98	0.875	2.8
29	18	19	4.63	1.39	-4.53	-1.23	0.108	0.16
30	19	20	1.23	0.63	-1.22	-0.62	0.006	0.01

31	21	20	1.08	0.39	-1.08	-0.38	0	0.01
32	21	22	-1.08	-0.39	1.08	0.4	0.001	0
33	22	23	9.65	3.11	-9.64	-3.1	0.01	0.02
34	23	24	3.34	1	-3.32	-1.81	0.022	0.03
35	24	25	7.07	1.71	-7.07	-1.09	0	0.63
36	24	25	6.79	1.65	-6.79	-1.05	0	0.6
37	24	26	-10.54	-1.55	10.54	1.61	0	0.06
38	26	27	-10.54	-1.61	10.74	1.93	0.204	0.31
39	27	28	-20.04	-2.43	20.3	2.83	0.261	0.4
40	28	29	-24.9	-5.13	25.17	5.51	0.272	0.38
41	7	29	60.09	13.03	-60.09	-10.66	0	2.36
42	25	30	7.56	4.63	-7.45	-4.46	0.11	0.16
43	30	31	3.85	2.66	-3.77	-2.55	0.077	0.12
44	31	32	-2.03	-0.35	2.05	0.39	0.025	0.04
45	32	33	3.81	1.91	-3.8	-1.9	0.008	0.01
46	34	32	7.46	3.79	-7.46	-3.1	0	0.69
47	34	35	-7.46	-3.79	7.5	3.55	0.039	0.06
48	35	36	-13.5	-6.55	13.6	6.53	0.103	0.13
49	36	37	-17.07	-10.61	17.19	10.77	0.123	0.16
50	37	38	-21.05	-13.7	21.47	14.15	0.422	0.65
51	37	39	3.86	2.93	-3.85	-2.92	0.006	0.01
52	36	40	3.46	4.09	-3.46	-4.07	0.009	0.01
53	22	38	-10.73	-3.51	10.76	3.54	0.024	0.04
54	11	41	9.19	3.53	-9.19	-2.83	0	0.7
55	41	42	8.88	3.27	-8.69	-2.95	0.187	0.32
56	41	43	-11.59	-2.95	11.59	3.55	0	0.59
57	38	44	-24.35	5.23	24.52	-5.08	0.175	0.35
58	15	45	37.33	-0.73	-37.33	2.09	0	1.36
59	14	46	47.89	27.4	-47.89	-25.47	0	1.93
60	46	47	47.89	25.47	-47.29	-24.03	0.604	1.79
61	47	48	17.59	12.43	-17.51	-12.33	0.079	0.1
62	48	49	0.08	-7.38	-0.04	6.93	0.04	0.06
63	49	50	9.66	4.43	-9.58	-4.3	0.084	0.13
64	50	51	-11.42	-6.2	11.64	6.56	0.224	0.35
65	10	51	29.64	12.51	-29.64	-11.86	0	0.66
66	13	49	32.43	33.8	-32.43	-30.3	0	3.5
67	29	52	17.92	2.55	-17.45	-1.95	0.463	0.6
68	52	53	12.55	-0.25	-12.43	0.41	0.125	0.16
69	53	54	-7.57	-4.47	7.72	4.66	0.154	0.19
70	54	55	-11.82	-6.06	12.13	6.46	0.308	0.4
71	11	43	13.59	4.85	-13.59	-4.55	0	0.31
72	44	45	-36.52	3.28	37.33	-2.09	0.812	1.62
73	40	56	3.46	4.07	-3.46	-3.74	0	0.33
74	56	41	-5.43	0.66	5.61	-0.49	0.176	0.18
75	56	42	-1.58	1.46	1.59	-1.45	0.01	0.02
76	39	57	3.85	2.92	-3.85	0	0	0.31
77	57	56	-2.85	0.61	2.86	-0.58	0.016	0.02
78	38	49	-4.66	-10.53	4.8	10.44	0.145	0.22
79	38	48	-17.22	-19.39	17.43	19.71	0.205	0.32
80	9	55	18.93	10.38	-18.93	-9.86	0	0.52
						Total:	27.864	121.67

A.4. Sistema de prueba IEEE de 300 barras

Figura 20. Diagrama unifilar sistema IEEE de 300 barras.



Fuente: Power Systems Test Case Archives, Universidad de Washington (30).

Tabla 9. Resumen del sistema de prueba de 300 barras.

How many?		How much?		P(MW)	Q(MVAr)
Buses	300	Total Gen Capacity		32678.4	-9240.1.0 to 14090.2
Generators	69	On-line Capacity		32678.4	-9240.1.0 to 14090.2
Committed Gens	69	Generation (actual)		23935.4	7983.7
Loads	201	Load		23525.8	7788
Fixed	201	Fixed		23525.8	7788
Dispatchable	0	Dispatchable		-0.0 of -0.0	0.0
Shunts	29	Shunt (inj)		-1.2	-599.5
Branches	411	Losses ($I^2 * Z$)		408.32	5504.18
Transformers	107	Branch Charging (inj)		-	5907.9
Inter-ties	0	Total Inter-tie Flow		0.0	0.0
Areas	1				

Tabla 10. Valores extremos del sistema de prueba de 300 barras.

	Minimum	Maximum
Voltage Magnitude	0.929 p.u. @ bus 9033	1.073 p.u. @ bus 149
Voltage Angle	-37.54 p.u. @ bus 9034	35.07 deg @ bus 7166
P Losses ($I^2 * R$)	-	22.38 MW @ line 191-192
Q Losses ($I^2 * X$)	-	358.09 MVAr @ line 191-192

Tabla 11. Datos nodales del sistema de prueba de 300 barras.

Bus #	Voltage		Generation		Load	
	Mag(pu)	Ang(deg)	P(MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)
1	1,028	5,967	-	-	90,00	49,00
2	1,035	7,755	-	-	56,00	15,00
3	0,997	6,657	-	-	20,00	0,00
4	1,031	4,728	-	-	-	-
5	1,019	4,701	-	-	353,00	130,00
6	1,031	7,006	-	-	120,00	41,00
7	0,993	6,206	-	-	-	-
8	1,015	2,415	0,00	9,85	63,00	14,00
9	1,003	2,871	-	-	96,00	43,00
10	1,020	1,363	0	20,01	153,00	33,00
11	1,006	2,481	-	-	83,00	21,00
12	0,997	5,23	-	-	-	-
13	0,998	-0,537	-	-	58,00	10,00
14	0,999	-4,796	-	-	160,00	60,00
15	1,034	-8,567	-	-	126,70	23,00
16	1,032	-2,622	-	-	-	-
17	1,065	-13,085	-	-	561,00	220,00
19	0,982	1,089	-	-	-	-
20	1,001	-2,447	0	20,3	605,00	220,00
21	0,975	1,634	-	-	77,00	1,00
22	0,996	-1,96	-	-	81,00	23,00
23	1,050	3,951	-	-	21,00	7,00
24	1,006	6,033	-	-	-	-
25	1,023	1,453	-	-	45,00	12,00
26	0,999	-1,721	-	-	28,00	9,00

27	0,975	-4,889	-	-	69,00	13,00
33	1,025	-12,002	-	-	55,00	6,00
34	1,041	-7,901	-	-	-	
35	0,976	-25,682	-	-	-	
36	1,001	-22,519	-	-	-	
37	1,020	-11,214	-	-	85,00	32,00
38	1,020	-12,539	-	-	155,00	18,00
39	1,054	-5,773	-	-	-	
40	1,022	-12,761	-	-	46,00	-21,00
41	1,029	-10,425	-	-	86,00	0,00
42	1,045	-7,407	-	-	-	
43	1,001	-16,763	-	-	39,00	9,00
44	1,009	-17,431	-	-	195,00	29,00
45	1,022	-14,69	-	-	-	-
46	1,035	-11,697	-	-	-	-
47	0,978	-23,163	-	-	58,00	11,80
48	1,002	-16,121	-	-	41,00	19,00
49	1,047	-2,945	-	-	92,00	26,00
51	1,025	-8,135	-	-	-5,00	5,00
52	0,998	-11,839	-	-	61,00	28,00
53	0,996	-17,579	-	-	69,00	3,00
54	1,005	-16,222	-	-	10,00	1,00
55	1,015	-12,187	-	-	22,00	10,00
57	1,033	-7,966	-	-	98,00	20,00
58	0,992	-5,959	-	-	14,00	1,00
59	0,979	-5,252	-	-	218,00	106,00
60	1,025	-9,515	-	-	-	-
61	0,991	-3,433	-	-	227,00	110,00
62	1,302	-1,062	-	-	-	30,00
63	0,958	-17,589	0	24,97	70,00	-
64	0,948	-12,936	-	-	-	-
69	0,963	-26,472	-	-	-	20,00
70	0,951	-35,124	-	-	56,00	38,00
71	0,979	-29,845	-	-	116,00	19,00
72	0,970	-27,441	-	-	57,00	71,00
73	0,978	-25,737	-	-	224,00	-
74	0,996	-21,943	-	-	-	107,00
76	0,963	-26,503	0	34,26	208,00	28,00
77	0,984	-24,911	-	-	74,00	-
78	0,990	-24,035	-	-	-	14,00
79	0,982	-25,011	-	-	48,00	7,00
80	0,987	-24,817	-	-	28,00	-
81	1,034	-18,757	375	132,92	-	13,00
84	0,987	-17,148	-	-	37,00	-
85	0,991	-17,765	-	-	-	-
86	0,992	-14,248	-	-	-	-
87	1,015	-7,793	-	-	-	-
88	1,032	-20,867	-	-	-	0,00
89	1,027	-11,143	-	-	44,20	0,00
90	1,052	-11,235	-	-	66,00	0,00
91	1,052	-9,437	155	44,03	17,40	0,00

92	0,993	-6,244	290	30,96	15,80	0,00
94	1,000	-9,449	-	-	60,30	0,00
97	1,018	-13,287	-	-	39,90	0,00
98	1,000	14,665	68	-10,69	66,70	0,00
99	0,989	-20,375	-	-	83,50	0,00
100	1,006	-14,503	-	-	-	-
102	1,001	-15,293	-	-	77,80	0,00
103	1,029	-12,118	-	-	32,00	0,00
104	0,996	-17,402	-	-	8,60	0,00
105	1,022	-13,002	-	-	49,60	0,00
107	1,009	-16,082	-	-	4,60	0,00
108	0,990	-20,363	117	20,64	112,10	0,00
109	0,975	-26,292	-	-	30,70	0,00
110	0,973	-24,932	-	-	63,00	0,00
112	0,974	-29,274	-	-	19,60	0,00
113	0,970	-25,447	-	-	26,20	0,00
114	0,977	-29,209	-	-	18,20	0,00
115	0,960	-13,548	-	-	-	-
116	1,025	-12,667	-	-	-	-
117	0,935	-4,699	-	-	-	-
118	0,930	-4,102	-	-	14,10	
119	1,044	5,187	1930	1050,7	-	
120	0,958	-8,749	-	-	777,00	650,00
121	0,987	-12,615	-	-	535,00	-
122	0,973	-14,343	-	-	229,10	215,00
123	1,001	-17,613	-	-	78,00	55,00
124	1,023	-13,464	240	119,95	276,40	11,80
125	1,010	-18,407	0	199,84	514,80	1,40
126	0,998	-12,843	-	-	57,90	59,30
127	1,000	-10,502	-	-	380,80	82,70
128	1,002	-4,756	-	-	-	5,10
129	1,003	-4,377	-	-	-	37,00
130	1,019	5,578	-	-	-	-
131	0,986	6,074	-	-	-	-
132	1,005	3,064	-	-	-	-
133	1,002	-5,439	-	-	-	-
134	1,022	-8,022	-	-	-	-
135	1,019	-6,734	-	-	169,20	41,60
136	1,048	1,563	-	-	55,20	18,20
137	1,047	-1,432	-	-	273,60	99,80
138	1,055	-6,331	0	228,61	1019,20	135,20
139	1,012	-3,545	-	-	595,00	83,30
140	1,043	-3,412	-	-	387,70	114,70
141	1,051	0,074	281	65,10	145,00	58,00
142	1,016	-2,742	-	-	56,50	24,50
143	1,044	4,062	696	123,78	89,50	35,50
144	1,016	-0,661	-	-	-	-
145	1,008	-0,13	-	-	24,00	14,00
146	1,053	4,347	84	35	-	-
147	1,053	8,389	217	-49,96	-	-
148	1,058	0,306	-	-	63,00	25,00

149	1,073	5,257	103	49,97	-	-
150	0,987	6,355	-	-	-	-
151	1,005	4,15	-	-	-	-
152	1,054	9,264	372	-49,93	17,00	9,00
153	1,044	10,484	216	-23,84	-	-
154	0,966	-1,776	-	-	70,00	5,00
155	1,018	6,774	-	-	200,00	50,00
156	0,963	5,169	0	15,03	75,00	50,00
157	0,984	-11,905	-	-	123,50	-24,30
158	0,999	-11,381	-	-	-	-
159	0,987	-9,798	-	-	33,00	16,50
160	1,000	-12,53	-	-	-	-
161	1,036	8,867	-	-	35,00	15,00
162	0,992	18,524	-	-	85,00	24,00
163	1,041	2,929	-	-	0,00	0,40
164	0,984	9,684	-	-	-	-
165	1,000	26,332	-	-	-	-
166	0,997	30,244	-	-	-	-
167	0,971	-6,885	-	-	299,90	95,70
168	1,002	-4,779	-	-	-	-
169	0,988	-6,657	-	-	-	-
170	0,929	0,108	205	90,21	481,80	205,00
171	0,983	-9,914	0	150,09	763,60	291,10
172	1,024	-6,2	-	-	26,50	0,00
173	0,984	-12,729	-	-	163,50	43,00
174	1,062	-2,667	-	-	-	-
175	0,973	-7,18	-	-	176,00	83,00
176	1,052	4,691	228	39,72	5,00	4,00
177	1,008	0,646	84	34,99	28,00	12,00
178	0,940	-6,537	-	-	427,40	173,60
179	0,970	-9,338	-	-	74,00	29,00
180	0,979	-3,065	-	-	69,50	49,36
181	1,052	-1,303	-	-	73,40	0,00
182	1,045	-4,165	-	-	240,70	89,00
183	0,972	7,145	-	-	40,00	4,00
184	1,039	-6,824	-	-	136,80	16,60
185	1,052	-4,31	200	33,26	-	-
186	1,065	2,194	1200	237,27	59,80	24,30
187	1,065	1,419	1200	278,32	59,80	24,30
188	1,053	-0,701	-	-	182,60	43,60
189	1,003	-26,013	-	-	7,00	2,00
190	1,055	-20,417	475	-66,91	-	-
191	1,044	12,452	1973	692,07	489,00	53,00
192	0,937	-10,978	-	-	800,00	72,00
193	0,998	-27,47	-	-	-	-
194	1,049	-19,045	-	-	-	-
195	1,036	-20,581	-	-	-	-
196	0,974	-24,229	-	-	10,00	3,00
197	0,992	-23,062	-	-	43,00	14,00
198	1,015	-20,094	424	93,42	64,00	21,00
199	0,954	-25,446	-	-	35,00	12,00

200	0,956	-25,367	-	-	27,00	12,00
201	0,974	-29,233	-	-	41,00	14,00
202	0,991	-24,969	-	-	38,00	13,00
203	1,003	-21,926	-	-	42,00	14,00
204	0,967	-29,549	-	-	72,00	24,00
205	0,986	-28,516	-	-	0,00	-5,00
206	1,004	-28,473	-	-	12,00	2,00
207	1,019	-28,295	-	-	-21,00	-14,20
208	0,999	-26,998	-	-	7,00	2,00
209	1,005	-25,614	-	-	38,00	13,00
210	0,980	-23603	-	-	-	-
211	1,002	-22,971	-	-	96,00	7,00
212	1,013	-22,203	-	-	-	-
213	1,010	-11,379	272	44,08	-	-
214	0,992	-17,238	-	-	22,00	16,00
215	0,987	-19,951	-	-	47,00	26,00
216	0,975	-22,271	-	-	176,00	105,00
217	1,022	-21,987	-	-	100,00	75,00
218	1,008	-22,422	-	-	131,00	96,00
219	1,055	-20,947	-	-	-	-
220	1,008	-21,52	100	35,72	285,00	100,00
221	1,000	-22,285	450	160,31	171,00	70,00
222	1,050	-22,964	250	161,39	328,00	188,00
223	0,997	-22,496	-	-	428,00	232,00
224	1,000	-21,35	-	-	173,00	99,00
225	0,945	-11,142	-	-	410,00	40,00
226	1,018	-21,405	-	-	-	-
227	1,000	-27,016	303	262,96	538,00	369,00
228	1,042	-20,737	-	-	223,00	148,00
229	1,050	-19,741	-	-	96,00	46,00
230	1,040	-13,62	345	42,53	-	-
231	1,054	-21,02	-	-	159,00	107,00
232	1,041	-22,994	-	-	448,00	143,00
233	1,000	-25,696	300	132,53	404,00	212,00
234	1,039	-20,691	-	-	572,00	244,00
235	1,010	-20,823	-	-	269,00	157,00
236	1,017	-15,195	600	300,23	-	-
237	1,056	-20,898	-	-	-	-
238	1,010	-20,735	250	164,08	255,00	149,00
239	1,000	-15,657	550	68,38	-	-
240	1,024	-19,934	-	-	-	-
241	1,050	-16,304	575,43	-35,44	-	-
242	0,993	-17,226	170	51,76	-	-
243	1,010	-18,949	84	52,2	8,00	3,00
244	0,992	-19,888	-	-	-	-
245	0,971	-20,577	-	-	61,00	30,00
246	0,965	-21,416	-	-	77,00	33,00
247	0,969	-21,33	-	-	61,00	30,00
248	0,977	-24,81	-	-	29,00	14,00
249	0,976	-25,233	-	-	19,00	14,00
250	1,021	-23,379	-	-	-23,00	-17,00

281	1,025	-19,861	-	-	-33,10	-2,40
319	1,015	1,488	-	-	115,80	-24,00
320	1,015	-2,221	-	-	2,40	-12,60
322	1,000	-17,69	-	-	2,40	-3,90
323	0,981	-13,748	-	-	-14,90	26,50
324	0,975	-23,522	-	-	24,70	-1,20
526	0,943	-34,277	-	-	145,30	-34,90
528	0,972	-37,543	-	-	28,10	-20,50
531	0,960	-29,064	-	-	14,00	2,50
552	1,001	-23,33	-	-	-11,10	-1,40
562	0,978	-27,944	-	-	50,50	17,40
609	0,958	-28,76	-	-	29,60	0,60
664	1,031	-16,833	-	-	-113,70	76,70
1190	1,013	3,925	-	-	100,31	29,17
1200	1,024	-7,503	-	-	-100,00	34,17
1201	1,012	-15,156	-	-	-	-
2040	0,969	-24,701	-	-	-	-
7001	1,051	10,809	467	139,61	-	-
7002	1,051	12,502	623	93,42	-	-
7003	1,032	13,774	1210	420,02	-	-
7011	1,015	5,009	234	51,81	-	-
7012	1,051	11,589	372	200,25	-	-
7017	1,051	-10,451	3630	348,05	-	-
7023	1,051	6,162	185	6,32	-	-
7024	1,029	12,608	410	106,67	-	-
7039	1,050	2,146	500	153,35	-	-
7044	1,015	-13,881	37	41,56	-	-
7049	1,051	0	455,95	38,84	-	-
7055	0,997	-7,476	45	25,01	-	-
7057	1,021	-3,411	165	89,91	-	-
7061	1,015	2,002	400	120,64	-	-
7062	1,002	5,831	400	150,01	-	-
7071	0,989	-25,315	116	86,93	-	-
7130	1,051	19,044	1292	324,37	-	-
7139	1,051	2,769	700	283,93	-	-
7166	1,015	35,072	553	136,9	-	-
9001	1,012	-11,235	-	-	-	-
9002	0,995	-18,844	0	2	4,20	0,00
9003	0,983	-19,673	-	-	2,71	0,94
9004	0,977	-19,81	-	-	0,86	0,28
9005	1,012	-11,308	-	-	-	-
9006	1,003	-17,412	-	-	-	-
9007	0,991	-18,673	-	-	-	-
9012	1,002	-17,253	-	-	-	-
9021	0,989	-19,064	-	-	4,75	1,53
9022	0,965	-21,637	-	-	1,53	0,53
9023	0,975	-19,374	-	-	-	-
9024	0,971	-21,41	-	-	1,35	0,47
9025	0,965	-20,435	-	-	0,45	0,16
9026	0,966	-20,345	-	-	0,45	0,16
9031	0,932	-25,016	-	-	1,84	0,64

9032	0,944	-23,827	-	-	1,39	0,48
9033	0,929	-25,331	-	-	1,89	0,65
9034	0,997	-21,087	-	-	1,55	0,54
9035	0,950	-23,172	-	-	1,66	0,58
9036	0,960	-22,658	-	-	3,03	1,00
9037	0,957	-22,579	-	-	1,86	0,64
9038	0,939	-24,411	-	-	2,58	0,89
9041	0,964	-21,312	-	-	1,01	0,35
9042	0,950	-22,476	-	-	0,81	0,28
9043	0,965	-21,414	-	-	1,60	0,52
9044	0,979	-19,77	-	-	-	-
9051	1,000	-19,381	0	12,2	35,81	0,00
9052	0,979	-17,233	-	-	30,00	23,00
9053	1,000	-17,668	0	11,17	26,48	0,00
9054	1,000	-6,812	50	22	-	-
9055	1,000	-7,523	8	4,07	-	-
9071	0,975	-20,459	-	-	1,02	0,35
9072	0,980	-19,905	-	-	1,02	0,35
9121	0,980	-19,277	-	-	3,80	1,25
9533	1,041	-18,182	-	-	1,19	0,41
		Total:	23935,38	7983,71	23525,85	7787,97

Tabla 12. Datos de las ramas del sistema de prueba de 300 barras.

Branch #	From Bus	To Bus	From Bus	Injection	To Bus	Injection	Loss ($I^2 \cdot Z$)	
			P(MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)
1	37	9001	79,63	8,73	-79,63	-8,70	0,004	0,03
2	9001	9005	36,20	-6,46	-36,19	6,51	0,011	0,05
3	9001	9006	26,43	10,36	-26,26	-7,15	0,180	3,22
4	9001	9012	16,99	4,79	-16,89	-2,90	0,106	1,90
5	9005	9051	36,04	-6,83	-35,81	12,20	0,226	5,36
6	9005	9052	30,24	28,59	-30,00	-23,00	0,235	5,59
7	9005	9053	27,92	-7,37	-27,78	10,75	0,142	3,38
8	9005	9054	0,50	-17,47	50,00	22,00	0,000	4,54
9	9005	9055	0,80	-3,43	8,00	4,07	0,000	0,64
10	9006	9007	9,47	2,65	-9,42	-2,42	0,053	0,24
11	9006	9003	8,39	2,25	-8,31	-1,88	0,083	0,37
12	9006	9003	8,39	2,25	-8,31	-1,88	0,083	0,37
13	9012	9002	6,52	0,74	-6,49	-0,56	0,033	0,19
14	9012	9002	0,65	0,74	-6,49	-0,56	0,033	0,19
15	9002	9021	7,35	2,57	-7,32	-2,53	0,033	0,04
16	9021	9023	0,95	0,35	-0,94	-0,34	0,012	0,01
17	9021	9022	1,62	0,62	-1,60	-0,53	0,014	0,09
18	9002	9024	1,43	0,55	-1,42	-0,47	0,012	0,08
19	9023	9025	0,47	0,17	-0,47	-0,16	0,002	0,01
20	9023	9026	0,47	0,17	-0,47	-0,16	0,002	0,01
21	9007	9071	1,07	0,39	-1,07	-0,35	0,006	0,04
22	9007	9072	1,07	0,38	-1,07	-0,35	0,004	0,03
23	9007	9003	7,27	1,65	-7,24	-1,51	0,032	0,14
24	9003	9031	1,96	0,86	-1,93	-0,64	0,035	0,22
25	9003	9032	1,47	0,61	-1,45	-0,48	0,020	0,13
26	9003	9033	2,01	0,89	-1,98	-0,65	0,038	0,24

27	9003	9044	4,41	1,58	-4,39	-1,57	0,017	0,01
28	9044	9004	4,39	1,57	-4,38	-1,56	0,009	0,01
29	9004	9041	1,06	0,38	-1,06	-0,35	0,005	0,03
30	9004	9042	0,86	0,33	-0,85	-0,28	0,009	0,05
31	9004	9043	1,60	0,57	-1,6	-0,52	0,005	0,05
32	9003	9034	1,63	-1,11	-1,63	1,17	0,005	0,06
33	9003	9035	1,76	0,71	-1,74	-0,58	0,020	0,13
34	9003	9036	3,05	1,18	-3,03	-1	0,017	0,18
35	9003	9037	1,97	0,76	-1,95	-0,64	0,018	0,12
36	9003	9038	2,74	1,16	-2,7	-0,89	0,041	0,27
37	9012	9121	3,84	1,42	-3,8	-1,25	0,039	0,17
38	9053	9533	1,30	0,42	-1,3	-0,41	0,000	0,01
39	1	5	402,07	96,85	-400,45	-87,14	1,617	9,70
40	2	6	158,51	31,08	-158,26	-28,89	0,243	2,19
41	2	8	365,11	9,71	-357,64	18,23	7,471	33,62
42	3	7	260,14	123,70	-260,14	-121,2	0,000	2,50
43	3	19	139,13	5,58	-137,56	-5,65	1,570	13,54
44	3	150	92,90	131,82	-92,64	-129,99	0,262	1,83
45	4	16	712,55	-93,09	-702,97	64,23	9,577	90,98
46	5	9	119,33	31,43	-118,45	-29	0,883	4,27
47	7	12	180,49	-65,68	-180,12	62,07	0,369	3,32
48	7	131	46,04	95,88	-45,92	-96,44	0,116	0,81
49	8	11	1,55	14,42	-1,51	-17,64	0,033	0,15
50	8	14	293,09	-36,80	-282,13	64,01	10,968	35,43
51	9	11	22,45	-14,00	-22,41	12,87	0,041	0,18
52	11	13	153,41	-9,30	-151,54	15,43	1,867	7,94
53	12	21	420,63	98,46	-416,85	-81,62	3,776	28,32
54	13	20	93,54	-25,43	-92,98	27,03	0,564	3,20
55	14	15	122,13	-124,01	-118,04	126,23	4,083	12,25
56	15	37	19,96	-5,31	-19,72	-6,53	0,243	0,93
57	15	89	17,21	-7,20	-16,91	4,21	0,300	0,75
58	15	90	13,32	-3,73	-13,16	-0,76	0,160	0,61
59	16	42	401,20	-150,14	-398,05	46,82	3,152	34,67
60	19	21	-45,94	40,46	46,02	-43,18	0,081	0,73
61	19	87	183,50	-34,81	-178,86	48,67	4,642	28,57
62	20	22	-15,12	21,04	15,23	-22,3	0,112	0,23
63	20	27	24,31	0,52	-23,89	-8,93	0,427	1,15
64	21	24	-227,38	-65,51	229,67	57,5	2,289	19,46
65	22	23	-96,23	-0,70	101,09	5,82	4,854	10,36
66	23	25	126,47	12,02	-123,68	-8,24	2,785	5,72
67	24	319	116,78	-28,20	-115,8	24	0,976	9,48
68	25	26	78,68	-3,76	-76,55	4,48	2,130	4,20
69	26	27	46,08	0,31	-45,11	-4,07	0,964	2,57
70	26	320	2,48	-13,79	-2,4	12,6	0,077	0,23
71	33	34	-121,12	-23,11	-121,12	32,23	0,000	9,13
72	33	38	85,53	18,19	-85,35	-18,68	0,183	0,88
73	33	40	47,95	-0,37	-47,82	-1,08	0,131	0,64
74	33	41	-67,36	-0,71	67,67	-0,17	0,303	1,86
75	34	42	-121,12	-32,23	121,27	28,81	0,144	1,15
76	35	72	48,59	0,52	-48,3	0,21	0,298	1,49
77	35	76	113,04	39,18	-112,14	-37,26	0,903	2,11

78	35	77	-48,10	-10,51	48,35	10,96	0,254	0,74
79	36	88	-113,54	-35,97	114,1	35,38	0,560	3,78
80	37	38	49,78	-8,63	-49,58	8,95	0,196	1,15
81	37	40	38,75	-15,48	-38,39	15,81	0,366	1,06
82	37	41	-43,89	-14,43	44,09	13,06	0,202	0,73
83	37	49	-185,92	15,81	191,62	6,23	5,701	27,16
84	37	89	-2,05	-5,54	2,07	2,11	0,018	0,05
85	37	90	-1,59	-5,93	1,6	4,28	0,013	0,03
86	38	41	-104,70	-1,21	105,54	3,01	0,842	3,90
87	38	43	84,63	-7,06	-82,42	8,98	2,209	6,01
88	39	42	500	80,36	-498,59	-109,82	1,408	15,02
89	40	48	40,21	6,27	-39,79	-6,06	0,416	2,47
90	41	48	-195,32	-50,44	195,32	61,58	0,000	11,14
91	41	49	-67,39	16,86	70,32	-10,25	2,984	8,77
92	41	51	-40,58	17,68	41,17	-19,77	0,594	1,71
93	42	46	580,05	-27,39	-573,88	-16,57	6,168	43,17
94	43	44	10,93	-16,73	-10,89	13,44	0,089	0,25
95	43	48	-3,94	-0,62	3,95	-2,55	0,016	0,04
96	43	53	36,43	-0,63	-36,26	-0,45	0,172	0,52
97	44	47	118,81	2,76	-115,06	5,07	3,751	11,67
98	44	54	-21,54	9,89	21,7	-13,14	0,166	0,50
99	45	60	-223,35	24,61	226,81	-37,02	3,458	20,25
100	45	74	214,74	0,94	-236,66	-12,3	5,082	30,49
101	46	81	311,06	-53,69	-306,53	17,95	4,534	38,08
102	47	73	26,51	-12,15	-26,08	6,35	0,423	1,12
103	47	113	30,55	-4,72	-30,12	4,66	0,427	1,17
104	48	107	-5,16	-10,4	5,19	9,77	0,032	0,08
105	49	51	101,95	-6,66	-99,01	10,96	2,942	8,92
106	51	52	62,84	3,82	-61,43	-4,7	1,401	4,14
107	52	55	0,43	-23,30	-0,31	20,03	0,125	0,37
108	53	54	-32,74	-2,55	33,01	-0,16	0,270	0,79
109	54	55	-64,72	12,30	66,24	-12,61	1,526	4,49
110	55	57	-42,94	2,95	44,13	-8,45	1,195	3,11
111	57	58	-10,12	58,51	11,74	-59,39	1,617	2,81
112	57	63	32,99	3,51	-32,29	-4,82	1,699	5,74
113	58	59	-25,74	58,39	26,12	-57,8	0,375	1,08
114	59	61	-244,12	-48,20	245,41	55,14	1,291	8,39
115	60	62	-226,81	37,02	231,56	-53,26	4,744	34,26
116	62	64	197,19	44,98	-190,69	-21,9	6,503	42,68
117	62	144	-101,16	13,17	101,26	-13,8	0,101	0,71
118	63	526	151,98	6,11	-145,3	34,9	6,681	43,36
119	69	211	-27,45	-10,72	27,92	10,13	0,464	2,11
120	69	79	-17,3	-7,09	17,49	5,49	0,185	0,57
121	70	71	-84,37	1,44	86,89	0,67	2,523	7,88
122	70	528	28,37	-21,44	-28,1	20,5	0,268	1,65
123	71	72	-26,23	11,89	26,58	-17,1	0,344	1,25
124	71	73	-60,66	22,82	62,18	-22,88	1,527	4,45
125	72	77	-49,34	-5,04	49,81	6,26	0,470	2,27
126	72	531	14,06	2,92	-14	-2,5	0,056	0,42
127	73	76	27,5	13,3	-27,29	-15,54	0,214	0,58
128	73	79	-23,4	-0,89	23,51	-0,54	0,103	0,30

129	74	88	-78,81	-59,38	79,19	56,89	0,381	2,57
130	74	562	51,26	-14,16	-50,5	-17,4	0,763	5,37
131	76	77	-68,57	-19,94	69,45	21,92	0,878	2,36
132	77	78	-257,85	-57,71	258,57	61,36	0,721	4,33
133	77	80	-3,12	-6,07	3,12	2,4	0,004	0,02
134	77	552	-10,98	-3,91	11,1	1,4	0,117	0,35
135	77	609	30,35	0,55	-29,6	-0,6	0,746	2,03
136	78	79	79,43	14,49	-79,03	-14,09	0,400	1,47
137	78	84	-338	-75,85	338	119,92	0,000	44,07
138	79	211	-9,97	-4,85	10,08	0,24	0,108	0,41
139	80	211	-31,142	-9,4	31,35	4,77	0,228	1,11
140	81	194	11,47	-76,07	-11,39	19,32	0,079	0,74
141	81	195	101,77	-43,05	-101,43	-10,46	0,346	3,26
142	85	86	-92,66	2,51	93,37	-9,34	0,711	5,69
143	86	87	-116,17	11,5	117,87	-16,3	1,701	13,18
144	86	323	-14,86	17,91	14,9	-26,5	0,044	0,35
145	89	91	-29,36	-6,33	29,75	5,8	0,394	1,00
146	90	92	-54,45	-3,52	55,35	5,82	0,901	4,90
147	91	94	8,47	19,49	-8	-21,54	0,471	1,19
148	91	97	99,38	18,73	-97,33	-15,74	2,050	7,18
149	92	103	78,32	9,65	-77,24	-3,37	1,072	8,13
150	92	105	140,54	15,49	-137,46	-0,14	3,074	16,64
151	94	97	8,69	-13,12	-8,13	9,62	0,554	0,85
152	97	100	43,47	5,54	-43,06	-5,27	0,408	0,98
153	97	102	40,19	2,84	-39,59	-2,62	0,596	1,44
154	97	103	-18,1	-2,27	18,26	1,09	0,153	0,39
155	98	100	-6,96	-7,09	6,98	6,44	0,023	0,06
156	98	102	8,26	-3,61	-8,23	2,2	0,026	0,09
157	99	107	-52,29	7,04	53,81	-4,88	1,514	3,86
158	99	108	-10,38	-10,78	10,38	10,59	0,005	0,01
159	99	109	28,32	-0,36	-27,95	-0,98	0,370	2,91
160	99	110	43,51	-2,65	-42,54	3,9	0,968	3,37
161	100	102	36,08	-1,17	-35,88	1,26	0,206	0,49
162	102	104	43,56	-21,79	-42,57	20,58	0,994	1,48
163	103	105	26,99	2,28	-26,86	-2,69	0,132	0,43
164	104	108	31,56	-15,22	-30,66	12,41	0,894	1,53
165	104	322	2,41	-5,36	-2,4	3,9	0,012	0,03
166	105	107	64,08	7,26	-63,6	-4,88	0,479	3,51
167	105	110	50,64	-4,42	-46,78	9,57	3,859	9,83
168	108	324	25,18	-2,36	-24,7	1,2	0,480	1,35
169	109	110	-10,29	4,14	10,39	-5,88	0,097	0,26
170	109	113	-3,9	1,8	3,92	-4,66	0,027	0,07
171	109	114	11,44	-9,96	-11,28	2,11	0,162	0,58
172	110	112	15,94	-7,6	-15,51	47,06	0,422	1,20
173	112	114	-4,09	-4,06	4,09	3,5	0,006	0,01
174	115	122	52,54	-69,62	-52,24	70,89	0,296	1,64
175	116	120	-62,68	68,23	62,84	-59,74	0,164	8,58
176	117	118	-487,68	287,4	488,05	-282,27	0,367	6,61
177	118	119	-577,93	-342,99	577,93	484,55	0,000	141,56
178	118	1201	29,28	-9,59	-29,28	16,36	0,000	6,77
179	1201	120	29,28	-16,36	-29,28	12,3	0,000	-4,06

180	118	121	46,5	-15,15	-46,44	23,21	0,061	8,06
181	119	120	710,56	348,68	-710,56	-153,65	0,000	195,04
182	119	121	541,1	185,85	-541,1	-10,9	0,000	174,95
183	122	123	17,83	-18,38	-17,31	17,06	0,518	1,50
184	122	125	15,47	-15,9	-15,05	12,2	0,426	1,62
185	123	124	-67,52	-1,89	69,17	-5,17	1,645	4,92
186	123	125	6,83	-16,56	-6,77	1,68	0,062	0,18
187	125	126	-492,98	103,25	494,47	-54,29	1,491	48,96
188	126	127	-99,08	-1,7	99,67	-19,2	0,589	4,04
189	126	129	-131,22	9,75	133,25	-8,74	2,030	19,53
190	126	132	-152,36	21,34	163,63	-8,63	5,265	44,88
191	126	157	-29,17	13,34	29,26	-44,89	0,087	0,87
192	126	158	-46,46	-11,12	46,63	-21,08	0,169	1,18
193	126	169	-88,08	17,57	89,48	-24,62	1,399	9,81
194	127	128	-171,67	17,59	173,44	-9,82	1,768	47,29
195	127	134	-137,8	-52,78	138,82	38,5	1,018	6,98
196	127	168	-171	17,4	172,75	-9,78	1,754	17,15
197	128	130	-234,7	17,09	239,02	12,83	4,319	42,80
198	128	133	61,27	-7,27	-61,17	4,99	0,098	0,73
199	129	130	-232,7	16,09	236,83	12,3	4,130	40,86
200	129	133	99,45	-7,35	-99,25	6,18	0,207	1,84
201	130	132	280,58	67,92	-279,29	-57,39	1,287	13,19
202	130	151	162,19	72,21	-161,67	-69,83	0,519	5,04
203	130	167	275,74	56,59	-269,65	-8,08	6,087	61,10
204	130	168	236,2	12,95	-231,98	16,67	4,218	42,40
205	133	137	-665,57	-282,03	674,28	311,64	8,713	59,96
206	133	168	-59,14	4,56	59,23	-6,89	0,092	0,68
207	133	169	120,28	62,26	-119,89	-61,79	0,388	3,43
208	133	171	764,85	204,05	-763,6	-141,01	1,248	63,04
209	134	135	-76,76	12,31	77,02	-29,28	0,262	1,78
210	134	184	-62,06	-50,81	62,26	25,34	0,196	1,91
211	135	136	-246,22	-12,32	251,53	7,57	5,315	36,38
212	136	137	63,45	-36,27	-62,99	-19,66	0,464	3,30
213	136	152	-370,19	10,5	377,38	-65,58	7,194	50,10
214	137	140	331,06	-15,78	-329,56	-3,84	1,499	11,40
215	137	181	-91,97	-133,38	92,09	131,87	0,118	0,80
216	137	186	-471,1	-94,49	472,56	112,06	1,466	31,62
217	137	188	-431,78	-125,76	432,7	129,71	0,927	6,26
218	139	172	18,87	-14,11	-18,61	6,71	0,250	1,00
219	140	141	-79,18	-2,89	79,87	-5,76	0,693	4,83
220	140	142	-7,4	-10,82	7,51	-60,87	0,105	0,78
221	140	145	-15,99	-14,7	16,18	-38,55	0,189	1,36
222	140	146	-47,95	-18,44	48,88	-25,87	0,927	6,53
223	140	147	-62,56	-16,79	64,39	-29,23	1,829	13,06
224	140	182	154,94	-47,22	-154,64	36,36	0,307	2,10
225	141	146	-35,71	-13,78	36,06	-21,39	0,343	2,67
226	142	143	-221,66	-52,99	224,53	-1,06	2,869	27,26
227	143	145	103,49	34,9	-102,63	-38,61	0,856	8,82
228	143	149	-29,9	-37,34	30,11	23,71	0,209	1,50
229	145	146	-148,08	-54,13	150,12	59,01	2,041	14,12
230	145	149	-71,59	-41,47	72,89	26,26	1,294	8,97

231	146	147	-151,06	23,25	152,61	-20,73	1,552	10,72
232	148	178	95,95	49,35	-90,31	-40,3	5,641	16,46
233	148	179	47,61	6,49	-44,69	-5,97	2,919	8,34
234	152	153	-22,38	6,65	22,47	-21,54	0,088	0,61
235	153	161	107,41	-2,48	-106,82	-14,99	0,586	3,07
236	154	156	-25,92	15,65	27,75	-16,06	1,830	3,31
237	154	183	-44,08	11,57	45,91	-8,83	1,834	6,96
238	155	161	-71,25	-37,95	71,82	-0,01	0,573	2,96
239	157	159	-363,17	11,19	364,26	-4,53	1,090	13,36
240	158	159	-90,11	43,29	90,42	-58,9	0,317	3,12
241	158	160	43,48	-22,21	-43,35	-4,57	0,130	0,88
242	162	164	461,88	14	-456,66	33,89	5,221	70,91
243	162	165	-546,88	-38	552,38	-51,92	5,508	74,96
244	163	164	-221,69	-46,45	224,58	-288,8	2,890	33,76
245	165	166	-552,38	51,92	553	-14,07	0,615	37,85
246	167	169	-30,25	-87,62	30,41	86,42	0,519	1,58
247	172	173	24,57	3,28	-24,16	-6,65	0,412	2,99
248	172	174	-32,46	-9,99	33,05	8,98	0,597	2,37
249	173	174	-55,97	-7,18	58,6	12,91	2,632	10,86
250	173	175	-27,38	9,36	28,06	-10,68	0,673	2,80
251	173	176	-55,99	12,76	62,3	-2,32	6,310	17,60
252	175	176	-58,26	-2,94	61,5	11,01	3,240	13,00
253	175	179	11,1	-4,11	-11	-0,58	0,102	0,41
254	176	177	99,21	27,03	-96,78	-23,99	2,430	8,03
255	177	178	152,78	46,98	-147,14	-30,21	5,639	21,51
256	178	179	18,72	-20,98	-18,31	19,88	0,416	1,55
257	178	180	-208,68	-82,11	212,11	90,69	3,432	16,32
258	181	138	481,32	-4,94	-480,48	47,24	0,838	42,30
259	181	187	-646,8	-126,94	648,37	146,53	1,565	32,48
260	184	185	-199,06	-41,94	200	33,26	0,944	9,25
261	186	188	667,64	100,9	-664,81	-79,13	2,822	34,67
262	187	188	491,83	107,49	-490,26	-101,06	1,573	19,33
263	188	138	539,77	6,88	-538,72	46,17	1,051	53,06
264	189	208	17,31	-2,36	-17,21	2,64	0,100	0,29
265	189	209	-8,38	2,69	8,42	-2,64	0,035	0,05
266	190	231	528,94	-363,69	-527,94	-319,96	1,007	5,54
267	190	240	-33,09	120,32	33,09	-116,47	0,000	385,00
268	191	192	832	343,56	-809,62	11,53	22,380	359,09
269	192	225	9,62	-83,53	-9,46	84,25	0,161	0,72
270	193	205	28,49	0	-28,13	0,51	0,367	0,51
271	193	208	-5,97	1,34	5,99	-1,29	0,018	0,05
272	194	219	124,72	-62,5	-124,25	11,5	0,473	4,36
273	194	664	-113,33	43,18	113,7	-76,7	0,367	5,42
274	195	219	16,61	-99,24	-16,45	46,04	0,459	1,47
275	196	197	-57,72	-24,49	58,3	25,75	0,579	1,65
276	196	210	-13,83	-3,06	13,9	2,27	0,063	0,17
277	197	198	-90,24	-20,41	91,11	24,71	0,867	5,20
278	197	211	-11,06	-19,34	11,13	18,94	0,074	0,20
279	198	202	11,68	-1,54	-11,23	2,47	0,447	0,93
280	198	203	73,19	11,21	-72,71	-11,29	0,482	2,46
281	198	210	90,49	25,37	-88,77	-19,9	1,719	6,27

282	198	211	46,5	-2,7	-45,78	1,74	0,714	2,29
283	199	200	-1,27	-1,01	1,27	0,19	0,002	0,00
284	199	210	-33,73	-10,99	34,28	11,93	0,551	1,40
285	200	210	-24,14	-3,16	24,66	2,67	0,522	0,82
286	201	204	3,76	1,36	-3,73	-1,33	0,021	0,03
287	203	211	30,71	-2,71	-30,62	2,46	0,094	0,56
288	204	205	-29,65	-6,5	30,11	7,17	0,454	0,67
289	205	206	-1,98	-2,68	2,02	2,73	0,035	0,05
290	206	207	-9,86	-8,21	9,98	8,36	0,119	0,15
291	206	208	-4,15	3,48	4,22	-3,36	0,070	0,12
292	212	215	-42,76	38,9	43,26	-44,69	0,501	2,81
293	213	214	272	44,08	-270,14	-15,8	1,861	28,28
294	214	215	251,38	9,89	-250,29	0,06	1,094	11,91
295	214	242	-3,247	-10,09	3,24	9,91	0,002	0,01
296	215	216	160,03	18,64	-158,83	-14,49	1,202	6,65
297	216	217	-17,17	-90,51	17,52	93,08	0,351	4,36
298	217	218	17,14	31,38	-17,14	-30,82	0,000	0,56
299	217	219	-115,9	-192,39	116,14	198,72	0,240	8,49
300	217	220	-18,76	-7,06	18,8	-77,98	0,043	0,63
301	219	237	-56,49	-305,38	56,5	-274,03	0,009	0,06
302	220	218	32,93	-23,16	-32,89	-20	0,040	0,52
303	220	221	46,59	0,51	-46,5	-50,39	0,028	0,83
304	220	238	-283,26	36,35	284,58	-73,5	1,314	3,78
305	221	223	325,5	140,7	-325,07	-238,51	0,427	1,85
306	222	237	-78	-26,61	78,08	-7,1	0,078	2,87
307	224	225	-238,91	122,63	246,77	-117,82	7,854	50,27
308	224	226	-37,14	-253,51	38,01	169,63	0,868	3,70
309	225	191	-647,31	-6,43	652	292,51	4,690	286,08
310	226	231	-38,01	-169,63	38,16	175,81	0,146	6,18
311	227	231	-235	-106,04	235,58	116,9	0,581	30,48
312	228	229	-226,12	-104,46	227,03	-31,38	0,915	4,19
313	228	231	5,56	-12,86	-5,55	13,02	0,005	0,17
314	228	234	-2,44	-30,68	2,44	-56,97	0,002	0,05
315	229	190	20,85	-9,18	-20,85	9,47	0,000	0,29
316	231	232	552,9	102,07	-552,29	-230,77	0,608	20,97
317	231	237	-452,15	-527,83	452,43	132,4	0,282	1,69
318	232	233	104,29	87,77	-104	-79,47	0,291	8,31
319	234	235	10,27	109,23	-10,24	-121,03	0,026	3,31
320	234	237	13,11	-65,73	-13,09	66,87	0,025	1,13
321	235	238	-258,76	-35,97	258,89	-45,2	0,131	0,39
322	241	237	575,43	-35,44	-573,92	81,87	1,507	46,43
323	240	281	-33,09	-30,26	33,1	29,4	0,006	0,08
324	242	2475	68,25	20,87	-67,82	-16,47	0,424	4,40
325	242	247	98,51	20,98	-97,36	-13,55	1,152	7,44
326	243	244	57,2	30,62	-56,67	-29,16	0,524	1,46
327	243	245	18,8	18,58	-18,58	-17,34	0,223	1,24
328	244	246	56,67	29,16	-55,87	-26,88	0,805	2,27
329	245	246	19,57	3,83	-19,5	-3,52	0,066	0,31
330	245	247	5,84	-0,02	-5,82	0,09	0,013	0,08
331	246	247	-1,63	-2,59	1,63	2,61	0,003	0,01
332	247	248	40,55	-19,15	-39,63	21,75	0,916	2,60

333	248	249	6,5	-1,49	-6,48	1,54	0,016	0,05
334	249	250	-22,52	-15,54	23	17	0,484	1,46
335	3	1	25,07	49,72	-25,07	-48,27	0,000	1,45
336	3	2	-39,79	15,72	39,79	-14,85	0,000	0,88
337	3	4	712,55	-68,79	-712,55	93,09	0,000	24,30
338	7	5	71,88	78,3	-71,88	-74,29	0,000	4,01
339	7	6	-38,26	12,7	38,26	-12,11	0,000	0,59
340	10	11	-21,51	-32,72	21,51	34,15	0,000	1,43
341	12	10	131,49	-10,73	-131,49	19,72	0,000	9,00
342	15	17	241,75	-80,23	-231	97,47	10,754	17,24
343	16	15	301,77	85,91	-300,9	-52,76	0,872	33,14
344	21	20	521,21	189,31	-521,21	-148,28	0,000	41,03
345	24	23	63,56	28,39	-63,56	-25,66	0,000	2,76
346	36	35	113,54	35,97	-113,54	-29,19	0,000	6,79
347	45	44	244,43	30,19	-244,43	-18,38	0,000	11,81
348	45	46	-262,82	-55,74	262,82	70,26	0,000	14,52
349	62	61	72,41	92,35	-72,41	-84,87	0,000	7,48
350	63	64	-190,69	-6,32	190,69	21,9	0,000	15,58
351	73	74	-264,2	-66,88	264,2	-85,85	0,000	18,96
352	81	88	193,29	101,18	-193,29	-92,27	0,000	8,90
353	85	99	92,66	-2,51	-92,66	6,74	0,000	4,23
354	86	102	37,66	-20,07	-37,66	20,96	0,000	0,89
355	87	94	60,99	-32,37	-60,99	34,67	0,000	2,30
356	114	207	-11,02	-5,61	11,02	5,84	0,000	0,22
357	116	124	62,68	-68,23	-62,24	69,68	0,433	1,45
358	121	115	52,54	-67,31	-52,54	69,62	0,000	2,31
359	122	157	-210,16	-48,42	210,41	58	0,246	9,58
360	130	131	-45,92	-94,32	45,92	96,44	0,000	2,11
361	130	150	-92,64	-126,33	92,64	129,99	0,000	3,66
362	132	170	115,66	66,02	-115,47	-58,23	0,194	7,79
363	141	174	91,84	26,64	-91,65	-21,9	0,189	4,75
364	142	175	157,65	89,36	-156,9	-65,27	0,746	15,48
365	143	144	101,26	-5,38	-101,26	13,8	0,000	8,43
366	143	148	207,13	97,16	-206,56	-80,84	0,572	16,32
367	145	180	282,13	158,76	-281,61	-139,99	0,516	18,77
368	151	170	161,67	69,89	-161,33	-56,56	0,339	13,28
369	153	183	86,13	0,18	-85,91	4,83	0,212	5,01
370	155	156	102,84	21,92	-102,75	-18,91	0,094	3,01
371	159	117	-487,68	46,93	487,68	-3,38	0,000	43,55
372	160	124	43,35	4,57	-43,32	-3,86	0,022	0,72
373	163	137	221,69	46,05	-221,11	-22,36	0,587	17,35
374	164	155	232,07	49,68	-231,6	-33,97	0,477	12,25
375	182	139	-86,06	-125,36	86,13	128,42	0,070	3,06
376	189	210	-15,93	-2,33	15,93	3,03	0,000	0,69
377	193	196	-22,52	-1,34	22,52	2,62	0,000	1,28
378	195	212	84,82	109,7	-84,63	-103,34	0,139	6,36
379	200	248	-4,13	-9,03	4,13	9,27	0,000	0,24
380	201	69	-44,76	-15,36	44,76	17,81	0,000	2,45
381	202	211	-26,77	-15,47	26,77	16,74	0,000	1,27
382	204	2040	-38,61	-16,17	39,03	21,5	0,417	4,26
383	209	198	-46,42	-10,36	47,03	15,38	0,618	5,01

384	211	212	-126,84	-62,01	127,44	64,44	0,596	2,42
385	218	219	-80,97	-45,19	81,05	49,12	0,080	2,84
386	223	224	-102,93	6,51	103,06	31,88	0,130	2,11
387	229	230	-343,88	-5,44	345	42,53	1,117	37,09
388	234	236	-597,82	-230,53	600	300,23	2,178	69,70
389	238	239	-548,46	-19,24	550	68,38	1,536	49,15
390	196	2040	39,03	21,92	-39,03	-21,5	0,002	0,42
391	119	1190	100,42	31,62	-100,31	-29,17	0,106	2,45
392	120	1200	-100	36,62	100	-34,17	0,000	2,45
393	7002	2	623	93,42	-619,41	-40,94	0,395	52,48
394	7003	3	1210	420,02	-1210	-257,76	0,000	162,26
395	7061	61	400	120,64	-400	-80,27	0,000	40,36
396	7062	62	400	150,01	-400	-97,25	0,000	52,76
397	7166	166	553	136,92	-553	-88,36	0,000	48,56
398	7024	24	410	106,67	-410	-57,68	0,000	48,99
399	7001	1	467	139,61	-467	-97,58	0,000	42,03
400	7130	130	1292	324,37	-1292	-14,15	0,000	310,22
401	7011	11	234	51,81	-234	-41,08	0,000	10,73
402	7023	23	185	6,32	-185	0,82	0,000	7,14
403	7049	49	455,95	38,84	-455,95	-15,32	0,000	23,52
404	7139	139	700	283,93	-700	-197,61	0,000	86,32
405	7012	12	372	200,25	-372	-149,81	0,000	50,44
406	7017	17	330	348,05	-330	-317,47	0,000	30,58
407	7039	39	500	153,35	-500	-80,36	0,000	72,98
408	7057	57	165	89,91	-165	-73,57	0,000	16,34
409	7044	44	37	41,56	-37	-36,71	0,000	4,85
410	7055	55	45	25,01	-45	-20,37	0,000	4,64
411	7071	71	116	86,93	-116	-73,38	0,000	13,55
						Total:	408,316	5504,18