

Escuela Superior de Ingenieros
Universidad de Sevilla

*Análisis de los Errores en la Cadena de Medida
en los Estimadores de Estado del Sistema
Eléctrico de Potencia*

Proyecto Fin de Carrera

Autor: Don José María González Moreno
Tutor: Don Antonio de la Villa Jaén
Departamento: Ingeniería Eléctrica
Fecha: Mayo de 2010

Agracedimientos

Al tutor del proyecto D. Antonio de la Villa,

a mis padres José María y Vivi, a mi hermano Javier, y a mi novia Inés,

por su ayuda y paciencia.

Índice de Contenidos

1. Capítulo 1. Introducción	2
1.1. Introducción	2
1.2. Teoría del Estimador de Estado	3
1.2.1. Introducción del Estimador de Estado	3
1.2.2. Descripción y Formulación del Problema.....	4
1.2.3. Planteamiento del Problema	5
1.2.4. Algoritmo de Cálculo.....	6
1.2.5. Detección e Identificación de Datos Erróneos.....	8
1.3. Sistema IEEE - 14	8
1.3.1. Evolución de los Valores de las Medidas a lo largo de las 24 Horas	9
1.3.2. Parámetros Globales	15
2. Capítulo 2. Objetivos del Proyecto	20
3. Capítulo 3. Descripción Técnica del Programa	23
3.1. Introducción	23
3.2. Toma de Datos	23
3.3. Programa de Interpolación entre Horas	23
3.4. Criterio de Asignación de la Desviación Típica de la Compañía	24
3.5. Determinación de los Errores en las Medidas.....	24
3.5.1. Desviación Típica de Ruido.....	25
3.5.1.1. Error de los Transformadores de Medidas	26
3.5.1.1.1. Transformadores de Intensidad.....	26

3.5.1.1.2.	Transformadores de Tensión.....	29
3.5.1.2.	Error del Convertidor	33
3.5.2.	Error del Convertidor Analógico Digital	34
3.5.3.	Error asociado al Umbral de Actualización.....	37
3.5.3.1.	Umbral de Actualización para la Medida de Tensión (<i>Umbten</i>).....	37
3.5.3.2.	Umbral de Actualización para la Medida de Fase (<i>Umbfase</i>).....	38
3.5.3.3.	Umbral de Actualización para la Medida de Toma (<i>Umbtoma</i>)	38
3.5.3.4.	Umbral de Actualización para la Medida Inyección de Intensidad, de Potencia Activa y Reactiva.....	38
3.5.3.5.	Umbral de Actualización para la Medida de Flujo de Intensidad, de Potencia Activa y Reactiva.....	39
3.6.	Proceso de Actualización de las Medidas	39
3.7.	Elección de las Medidas Disponibles.....	40
3.8.	Normalización del Ruido expresados en los Parámetros Globales.....	41
3.8.1.	Media Muestral	41
3.8.2.	Varianza Muestral.....	41
3.9.	Programa Maestro	42
4.	Capítulo 4. Simulaciones y Resultados	45
4.1.	Introducción	45
4.2.	Análisis Estático.....	45
4.2.1.	Listado para las Medidas Nodales	47
4.2.2.	Listado para las Medidas Ramales.....	48
4.2.3.	Resultados para la Medida de Tensión	48

4.2.4.	Resultados para la Medida de Inyección de Intensidad	50
4.2.5.	Resultados para la Medida de Inyección de Potencia Activa	52
4.2.6.	Resultados para la Medida de Inyección de Potencia Reactiva.....	54
4.2.7.	Resultados para la Medida de Flujo de Intensidad	56
4.2.8.	Resultados para la Medida de Flujo de Potencia Activa.....	57
4.2.9.	Resultados para la Medida de Flujo de Potencia Reactiva	59
4.3.	Análisis Dinámico	60
4.3.1.	Variación del Umbral de Actualización.....	61
4.3.1.1.	Umbral de Actualización de Referencia.....	61
4.3.1.2.	Umbral de Actualización un 50% Inferior	66
4.3.1.3.	Umbral de Actualización un 50% Superior.....	71
4.3.2.	Evolución de los Errores en una Medida Determinada	77
4.3.2.1.	Representación Gráfica de la Inyección de Potencia Activa en MW....	77
4.3.2.2.	Representación Gráfica de la Inyección de Potencia Reactiva en MVAR.....	79
4.3.2.3.	Representación Gráfica del Flujo de Potencia Activa en pu.....	80
4.3.2.4.	Representación Gráfica del Flujo de Potencia Reactiva en pu.....	82
4.3.2.5.	Representación Gráfica del Flujo de Intensidad en pu.....	83
4.4.	Análisis Estadístico Dinámico	84
4.4.1.	Listado de la Evolución de las Medidas a lo largo de las 24 Horas.....	84
4.4.1.1.	Listado A	85
4.4.1.2.	Listado B	89

4.4.2.	Representación Gráfica de la Evolución de las Medidas.....	92
4.4.2.1.	Representación Gráfica de la Inyección de Potencia Activa en MW....	92
4.4.2.2.	Representación Gráfica de la Inyección de Potencia Reactiva en MVAR.....	93
4.4.2.3.	Representación Gráfica del Flujo de Potencia Activa en pu.....	94
4.4.2.4.	Representación Gráfica del Flujo de Potencia Reactiva en pu.....	95
4.4.2.5.	Representación Gráfica del Flujo de Intensidad en pu.....	96
5.	Capítulo 5. Conclusiones	99
5.1.	Introducción.....	99
5.1.1.	Análisis de Errores.....	99
5.1.2.	Conclusiones de las Simulaciones.....	99
5.1.3.	Aportaciones Personales.....	100
5.1.4.	Líneas Futuras de Investigación.....	100
5.1.4.1.	Nuevos Criterios para los Pesos de la Compañía.....	100
5.1.4.2.	Expansión de la Red.....	101
5.1.4.3.	Comportamiento Frente a Medidas Erróneas.....	101
6.	Capítulo 6. Bibliografía	103
7.	Anexos	105
7.1.	Anexo I. Definiciones.....	105
7.2.	Anexo II. Datos Adquiridos de la Red IEEE-14.....	106
7.2.1.	Esquema Unifilar.....	106
7.2.2.	Potencias nominales.....	106
7.3.	Anexo III. Resultados de la Simulación Análisis Estático del Nudo 14 de la Red.....	108

7.3.1.	Listado para las Medidas Nodales	109
7.3.2.	Listado para las Medidas Ramales.....	110
7.3.3.	Gráficas de los Resultados de la Simulación Análisis Estático del Nudo 14 de la Red	110
7.3.3.1.	Resultados para la Medida de Tensión.....	110
7.3.3.2.	Resultados para la Medida de Inyección de Intensidad	111
7.3.3.3.	Resultados para la Medida de Inyección de Potencia Activa.....	112
7.3.3.4.	Resultados para la Medida de Inyección de Potencia Reactiva	114
7.3.3.5.	Resultados para la Medida de Flujo de Intensidad.....	115
7.3.3.6.	Resultados para la Medida de Flujo de Potencia Activa.....	116
7.3.3.7.	Resultados para la Medida de Flujo de Potencia Reactiva.....	117
7.4.	Anexo IV. Evolución de los Errores de unas Medidas Determinada en el Nudo 1, Rama 13-14	119
7.4.1.	Representación Gráfica de la Inyección de Potencia Activa en MW	119
7.4.2.	Representación Gráfica de la Inyección de Potencia Reactiva en MVAR	120
7.4.3.	Representación Gráfica del Flujo de Potencia Activa en pu.....	121
7.4.4.	Representación Gráfica del Flujo de Potencia Reactiva en pu	122
7.4.5.	Representación Gráfica del Flujo de Intensidad en pu	123
7.5.	Anexo V. Evolución de las Medidas en el Nudo 3, Rama 13-14	124
7.5.1.	Representación Gráfica de la Inyección de Potencia Activa en MW	124
7.5.2.	Representación Gráfica de la Inyección de Potencia Reactiva en MVAR	125
7.5.3.	Representación Gráfica del Flujo de Potencia Activa en pu.....	126
7.5.4.	Representación Gráfica del Flujo de Potencia Reactiva en pu	127

7.5.5.	Representación Gráfica del Flujo de Intensidad en pu	128
7.6.	Anexo VI. Cálculo de Intensidad Primaria Asignada	129
7.6.1.	TIs instalados en inyecciones.....	129
7.6.2.	TIs instalados en líneas o transformadores	130
7.7.	Anexo VII. Otras Funciones Utilizadas en el Proyecto	131
7.7.1.	Función que realiza la Estimación de Estado	131
7.7.2.	Función Auxiliar utilizada para crear un conjunto de medidas a partir de la función del estimador de estado en un fichero .m	131
7.7.3.	Función Auxiliar utilizada para guardar las medidas en un fichero .m	131
7.7.4.	Función Auxiliar utilizada para almacenar la potencia nominal de las líneas y la tensión de los nudos de la Red IEEE-14.....	131
7.7.5.	Función Auxiliar utilizada para realizar gráficas.....	132
7.7.6.	Función llamada parámetros estadísticos.....	132
7.7.7.	Función Auxiliar utilizada para realizar la función parámetros estadísticos	132
7.7.8.	Función encargada de guardar el valor exacto de las medidas	132
7.7.9.	Función Auxiliar utilizada para calcular el error de intensidad.....	132
7.7.10.	Función Auxiliar utilizada para calcular el error desfase	132
7.7.11.	Función Auxiliar utilizada para obtener el valor de intensidad asignada	132
7.7.12.	Función del Análisis Estático.....	133
7.7.13.	Función del Análisis Dinámico.....	133
7.7.14.	Función del Análisis Estadístico Dinámico	133

1. Capítulo 1. Introducción

1. Capítulo 1. Introducción

1.1. Introducción

En este documento se presenta la memoria de un proyecto final de carrera enfocado dentro de a línea de investigación que sigue el departamento de Ingeniería Eléctrica en el ámbito de los estimadores de estado para sistemas eléctricos de potencia.

En este capítulo introductorio se describe la estructura coordinada del proyecto, así como una introducción de la teoría del estimador de estado enfocada en los errores y una breve introducción acerca de la red donde vamos a llevar a cabo la línea de investigación del proyecto.

Para ello se ha elaborado un programa informático en Matlab que permite obtener el **valor de las desviaciones típicas de los distintos errores existentes durante la cadena de medidas**, así como **valorar el efecto de los errores en las medidas** mediante distintos análisis y simulaciones.

La estructura coordinada para el proyecto es la siguiente;

El Capítulo 1 que contempla la introducción al proyecto, una introducción a la Teoría del Estimador de Estado enfocada a la importancia de los errores en el estimador para el sistema eléctrico de potencia, en adelante SEP y una introducción de la Red en el que se han realizado los estudios.

En el Capítulo 2 se detalla los objetivos del proyecto.

En el Capítulo 3 se detalla la descripción técnica del programa desarrollado.

En el Capítulo 4 se muestran las simulaciones y los resultados obtenidos.

En el Capítulo 5 se detallan las conclusiones obtenidas del proyecto, así como las posibles líneas de investigación futuras como consecuencia del alcance de importancia del proyecto.

En el Capítulo 6 se detalla la bibliografía del proyecto.

En el Anexo I se detallan las definiciones técnicas.

En el Anexo II se muestran los Datos Adquiridos minuciosamente de la Red IEEE-14 necesarios para elaborar este proyecto.

En el Anexo III se muestran los Resultados de la Simulación del Nudo 14 de la Red.

En el Anexo IV se muestra la Evolución de los Errores de unas Medidas Determinada en el Nudo 1, Rama 13-14.

En el Anexo V se muestra la Evolución de las Medidas en el Nudo 3, Rama 13-14.

En el Anexo VI se detalla el Cálculo de Intensidad Primaria Asignada.

En el Anexo VII se describen una serie de funciones programadas en Matlab incluidas en la aplicación, que no han sido analizadas en la descripción del programa desarrollado.

1.2. Teoría del Estimador de Estado

En este apartado, se introduce de forma genérica, la Teoría del Estimador de Estado.

Inicialmente se presenta una introducción a la Teoría del Estimador de Estado, su descripción y formulación del problema, planteamiento del problema y el algoritmo de cálculo mediante las ecuaciones normales.

Por último se hará una breve introducción a la detección e identificación de datos erróneos, ya en este apartado está enfocado el ámbito genérico del proyecto.

1.2.1. Introducción del Estimador de Estado

El estimador de estado se encarga de depurar la información que será usada como datos de entrada en otras aplicaciones como son; programas de despacho económico, análisis de contingencias, acciones correctivas de generación y pérdidas negras, entre otras.

En la comunidad académica es común encontrar aplicaciones o programas que permiten obtener el punto de operación de un sistema eléctrico a partir de una base de datos preestablecida. En la operación en tiempo real de los sistemas de potencia la obtención de estos datos es más compleja de lo que parece, debido al deterioro o pérdida de la información en el proceso de lectura, transmisión y recepción de los datos. Antes de que se haga cualquier evaluación de la seguridad de un sistema o de que se tomen acciones de control para el mismo, se debe determinar un estado fiable del estado existente de la información.

El estimador de estado es, básicamente, una herramienta utilizada por los centros de control de energía eléctrica para una construcción, en tiempo real, del modelo eléctrico del sistema. Este modelo creado en tiempo real, debe ser fiable, sobre todo en la operación de mercados de energía, donde cuestiones económicas entran en conflicto, como son los límites de operación del sistema. La importancia dada a la estimación del estado de los sistemas eléctricos ha creado la necesidad de

nuevas **metodologías de análisis que mejoren la fiabilidad y precisión**. Es aquí en este punto donde con este proyecto final de carrera queremos precisar aún más en los errores de las medidas en la cadena de medidas.

La estimación de estado realiza un análisis matemático del sistema basándose en datos recolectados por medidores e información sobre los parámetros de los modelos de los componentes de la red. Esta recolección de información implica el análisis de mediciones muy numerosas, modelado de redes externas y detección de errores en las mediciones de los parámetros que describen el estado de la red una función debe detectar las mediciones erróneas y eliminarlas o sustituirlas.

Generalmente estos errores son causados por pérdida de comunicación con medidores o introducción de ruido en la medida, por mala calibración o por defectos en los equipos.

1.2.2. Descripción y Formulación del Problema

La función de un estimador de estado, dentro del control de tiempo real de un sistema eléctrico, es suministrar una información fiable del estado de operación del mismo, en un momento determinado. Esta información es utilizada tanto por el operador, como por el resto de funciones incorporadas en un sistema de gestión de energía.

La caracterización del estado se realiza mediante:

- El modelo eléctrico de la red.
- Un vector de estado que especifique las condiciones de operación en el modelo eléctrico.

El sistema eléctrico se considera trifásico equilibrado. Las tensiones nodales complejas de los nudos eléctricos incluidos en el modelo eléctrico son adoptadas como vector de estado del sistema.

En cuanto a la información de entrada, el estimador de estado utiliza como datos:

- Información de la base de datos fija del sistema eléctrico, donde se recogen las características, localización e interconexión a nivel físico de los componentes del sistema.
- Información suministrada por el sistema de supervisión y adquisición de datos (SCADA), relativa a la lectura de los instrumentos de medida y al estado de los elementos de corte en las subestaciones

Con esta información, mediante un algoritmo de cálculo, se determina aquel estado del sistema que mejor se ajuste a la información disponible.

La redundancia en la información disponible permite:

- Estimar el estado en zonas del sistema sin información.
- Filtrar el error asociado a las medidas.
- Detectar e identificar posibles medidas erróneas.

1.2.3. Planteamiento del Problema

El conjunto de medidas puede expresarse, en general, mediante funciones no lineales del vector de variables de estado del sistema. El vector del estado, x , tiene dimensión $n = 2N - 1$, donde N es el número de nudos eléctricos de la red, adoptándose en uno de ellos la referencia de fase.

Sea z un vector columna formado por las m medidas disponibles. Las medidas pueden expresarse en función del vector de estado mediante:

$$z = h(x) + \varepsilon$$

donde $h(x)$ es un vector de funciones no lineales que expresan las medidas en función de los componentes del vector de estado y ε es un vector columna que recoge los errores en las medidas.

Los errores se suponen independientes y que siguen una distribución normal, de media nula y covarianza dada por:

$$\text{cov}(\varepsilon) = R = \text{diag}\{\sigma_1^2, \sigma_2^2, \dots, \sigma_m^2\}$$

Donde σ_i^2 representa la varianza de la medida i -ésima.

Para expresar una determinada medida z_i , se utilizan los fasores de tensión en coordenadas polares, y las cartesianas para los elementos de la matriz de admitancias de nudos. Las medidas de magnitud tensión de un determinado nudo i , se expresan utilizando la variable de estado correspondiente. Las funciones $h_i(x)$, que expresan las medidas de potencia son [8]:

- Medida de inyección neta en el nudo i :

$$P_i = \sum_{j=1}^N V_i V_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij})$$

$$Q_i = \sum_{j=1}^N V_i V_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij})$$

- Medida de de flujo a través de una línea o transformador del nudo i al j :

$$P_{ij} = V_i V_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) - G_{ij} V_i^2$$

$$Q_{ij} = V_i V_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}) + V_i^2 (B_{ij} - b_{ij}^p)$$

donde

V_i, V_j son los módulos de las tensiones en los nudos i y j .

$\theta_{ij} = \theta_i - \theta_j$ es el desfase entre los nudos i y j .

$G_{ij} + B_{ij}$ es el elemento i, j -ésimo de la matriz de admitancias de nudos.

b_{ij}^p Es la admitancia paralelo del modelo en π de la línea que une i con j .

La formulación del problema de estimación de estado se basa en el concepto de máxima verosimilitud. El estimador de máxima verosimilitud de una variable aleatoria máxima una función de probabilidad definida, según cierta hipótesis.

En base a la hipótesis realizada sobre las medidas disponibles, un estimador de mínimo cuadrado ponderado (WLS) obtiene el estado optimado de máxima verosimilitud \hat{x} . Es el estado estimado es aquel que minimice una función objetivo $J(x)$, que se formula como el siguiente problema de optimización:

$$\text{minimizar } J(x) = \sum_{i=1}^m \frac{[z_i - h_i(x)]^2}{\sigma_i^2}$$

1.2.4. Algoritmo de Cálculo

En esta sección se presenta la técnica de las ecuaciones normales de resolución del problema de optimización planteado en la ecuación anterior.

La función objetivo anteriormente utilizada puede re-escribirse como:

$$J(x) = [z - h(x)]^t W [z - h(x)]$$

donde $W = R^{-1}$ es la *matriz de pesos de las medidas*. Las condiciones de optimalidad de primer orden establecen

$$\frac{\partial J(x)}{\partial x} = 0$$

$$H^t(x)W[z - h(x)] = 0$$

donde

$$H(x) = \frac{\partial h(x)}{\partial x}$$

es la matriz jacobiano del vector $h(x)$, de dimensión $m \times n$.

Para encontrar el estado estimado \hat{x} que verifique la ecuación de las condiciones de optimalidad de primer orden, se utiliza el método iterativo de Newton-Raphson. Despreciando los términos donde aparecen segundas derivadas de $h(x)$, se obtiene un sistema lineal de n ecuaciones denominadas *ecuaciones normales*. Este sistema debe resolverse en cada iteración:

$$G(x^k)\Delta x^k = H^t(x^k)W[z - h(x^k)]$$

donde x^k denota el valor de x en aliteración k -ésima y

$$G(x) = H^t(x)WH(x)$$

se conoce como *matriz de ganancia*. Si el jacobiano H es de rango completo, entonces la matriz simétrica G es definida positiva, y el sistema anterior tiene solución única. El proceso iterativo parte del denominado *perfil plano*, tomando todas las tensiones unitarias y las fases nulas.

1.2.5. Detección e Identificación de Datos Erróneos

Las medidas disponibles para efectuar la estimación de estado de un sistema eléctrico incorporan ruido, originado por diversas causas. Imprecisión propia de los instrumentos de medida, falta de simultaneidad en la captación de las medidas, errores de calibración, etc. La redundancia de medidas permite que el estado estimado filtre parte de este ruido, si bien, cuando entre los datos disponibles existe información errónea, el estado optimado puede verse seriamente afectado en las proximidades donde se encuentra localizada dicha medida errónea.

Por consiguiente, es importante detectar la presencia de un dato erróneo, e identificar dicha medida, eliminándola del proceso de estimación.

Los residuos pueden expresarse en función de los errores asociados a las medidas. Siendo:

$$z = h(x) + \varepsilon$$

Los residuos de las medidas se calculan a partir del estado estimado \hat{x} mediante:

$$r = z - h(\hat{x})$$

La posibilidad de detección e identificación de errores se basa en la existencia de redundancia en las medidas. Una medida es considerada crítica, si su eliminación deja el sistema como no observable. Los residuos de las medidas críticas son nulos y, por tanto, los errores de este tipo de medidas no pueden ser detectados ni identificados.

Existen actualmente varias técnicas encaminadas a detectar posibles errores y otras que permiten su identificación.

Es por tanto muy importante conocer en profundidad la influencia de los errores en el estimador de estado, así como el orden de estos, en la cadena de medida. Este y más objetivos se pretenden estudiar con este proyecto final de carrera del Análisis de los Errores en la Cadena de Medida en los Estimadores de Estado del Sistema Eléctrico de Potencia.

1.3. Sistema IEEE - 14

Para llevar a cabo el objetivo de este proyecto se hace uso del sistema IEEE-14 de 14 Nudos. A continuación se muestra una pequeña introducción de carácter informativo de la Red.

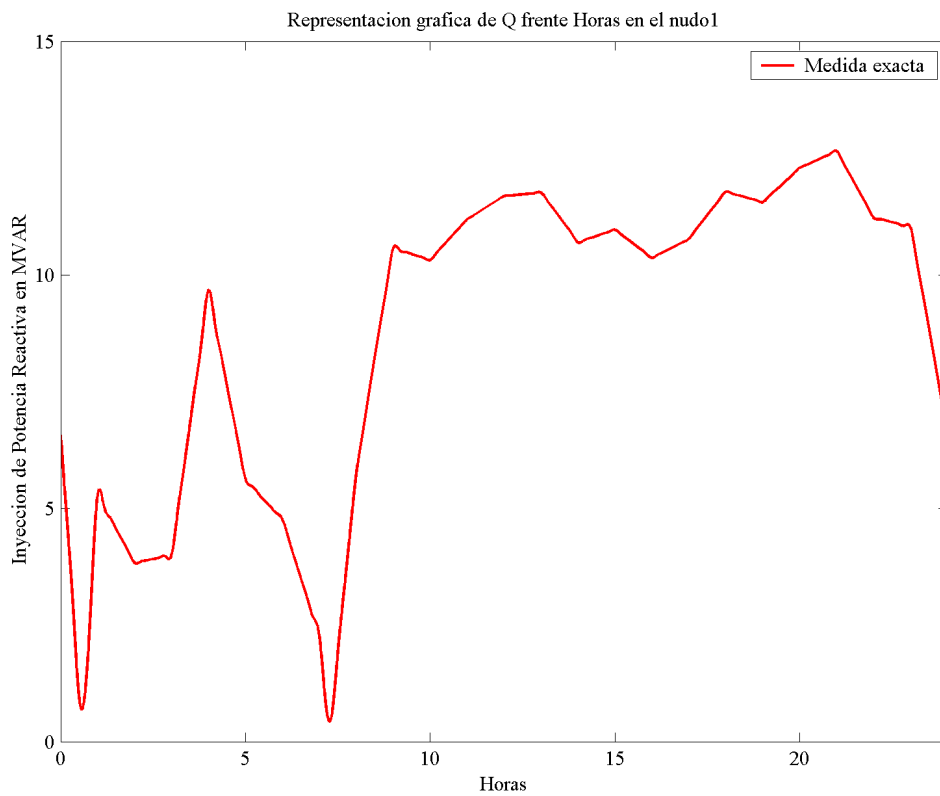
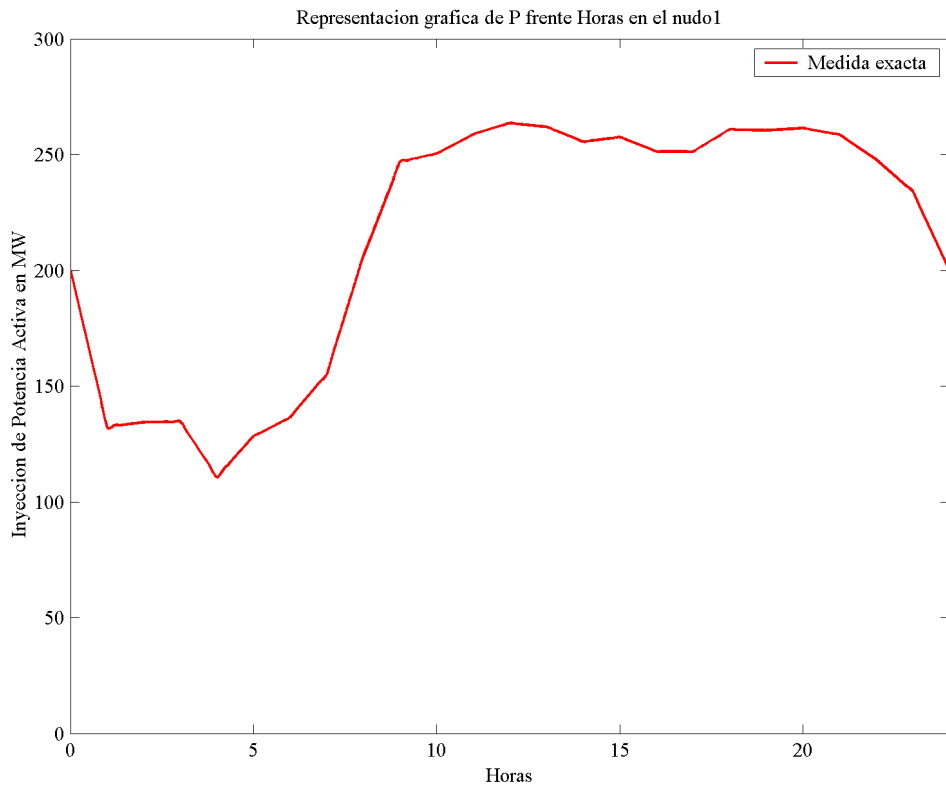
El sistema IEEE 14 representa una porción del Sistema de Potencia Eléctrico Americano (en el medio oeste de los EE.UU.) a partir de febrero de 1962. Una versión en papel de los datos fue amablemente proporcionada por Iraj Dabbagchi de AEP y entró en IEEE Common Data Format por Rich Christie de la Universidad de Washington en agosto de 1993. El esquema unifilar se encuentra en el Anexo II.

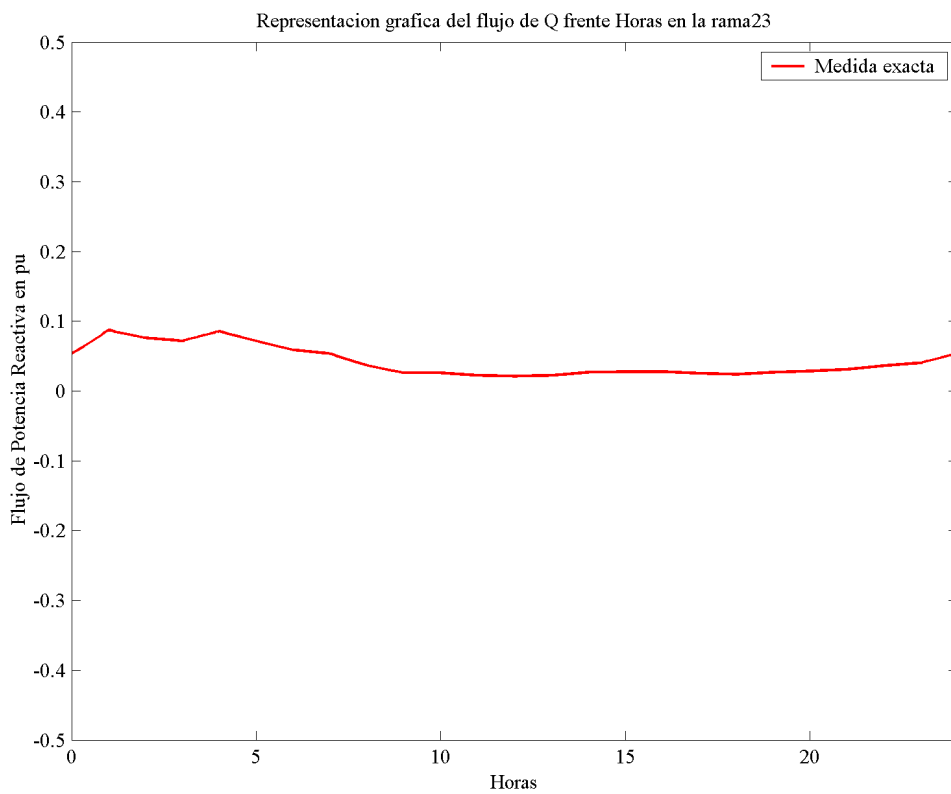
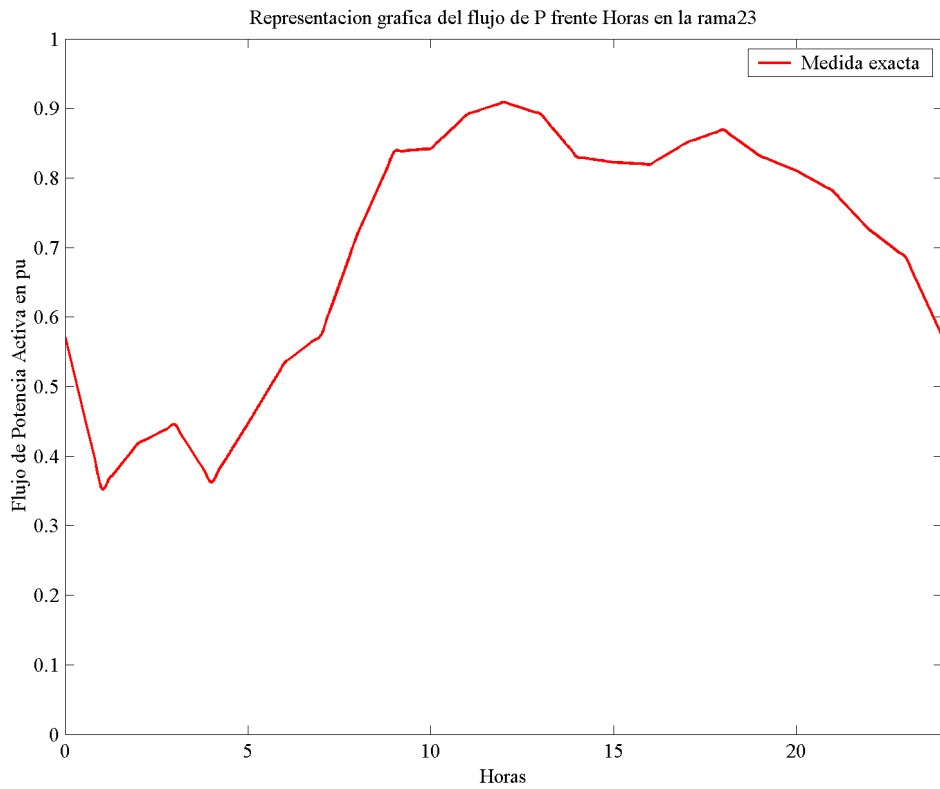
Los datos adquiridos minuciosamente de la Red IEEE-14 necesarios para elaborar este proyecto han sido las tensiones en módulo y en por unidad así como la fase en radianes para todos los nudos en cada escenario de tiempo. La disposición de estos datos se encuentran en el Anexo II.

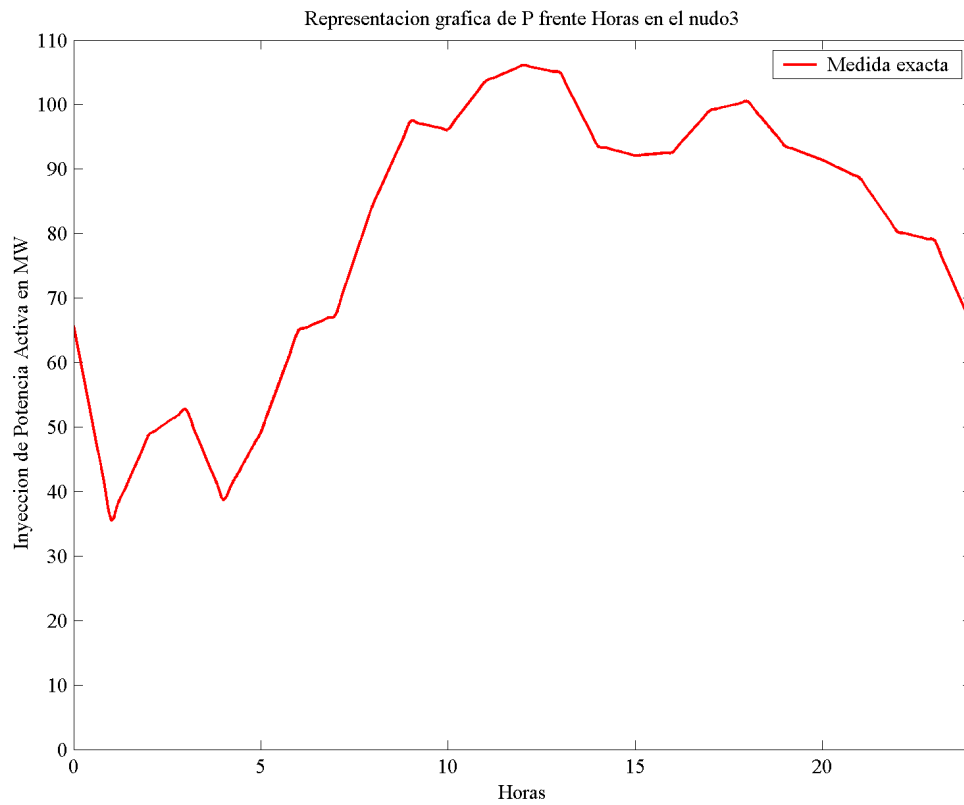
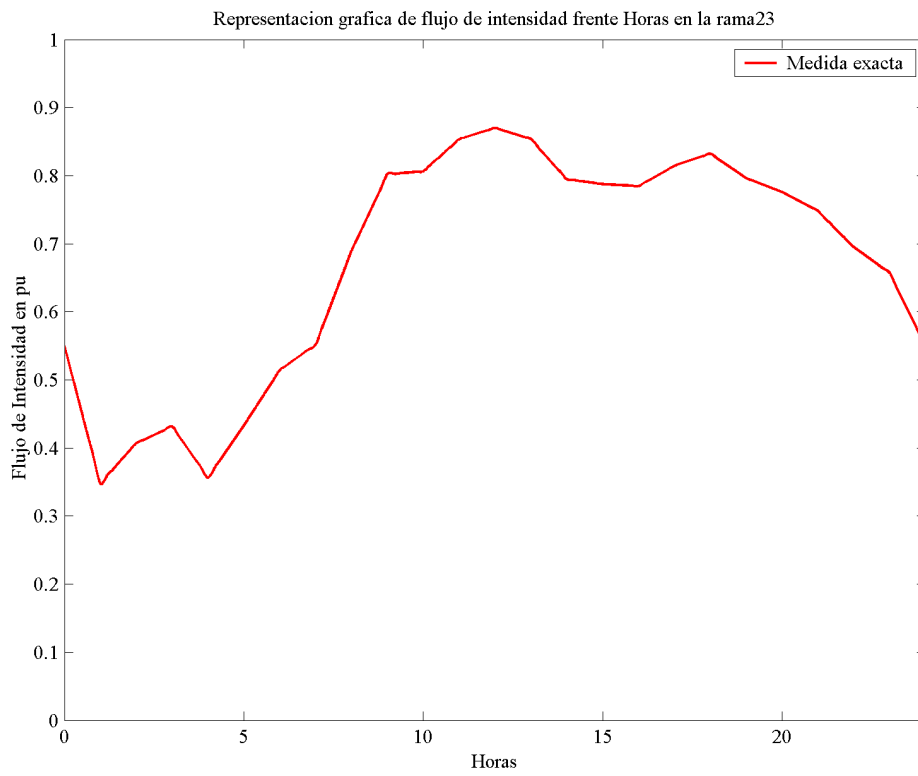
Terminada esta introducción pasaremos a entrar más en profundidad para conocer mejor la evolución de nuestro sistema eléctrico de potencia a lo largo de las 24 horas bajo estudio.

1.3.1. Evolución de los Valores de las Medidas a lo largo de las 24 Horas

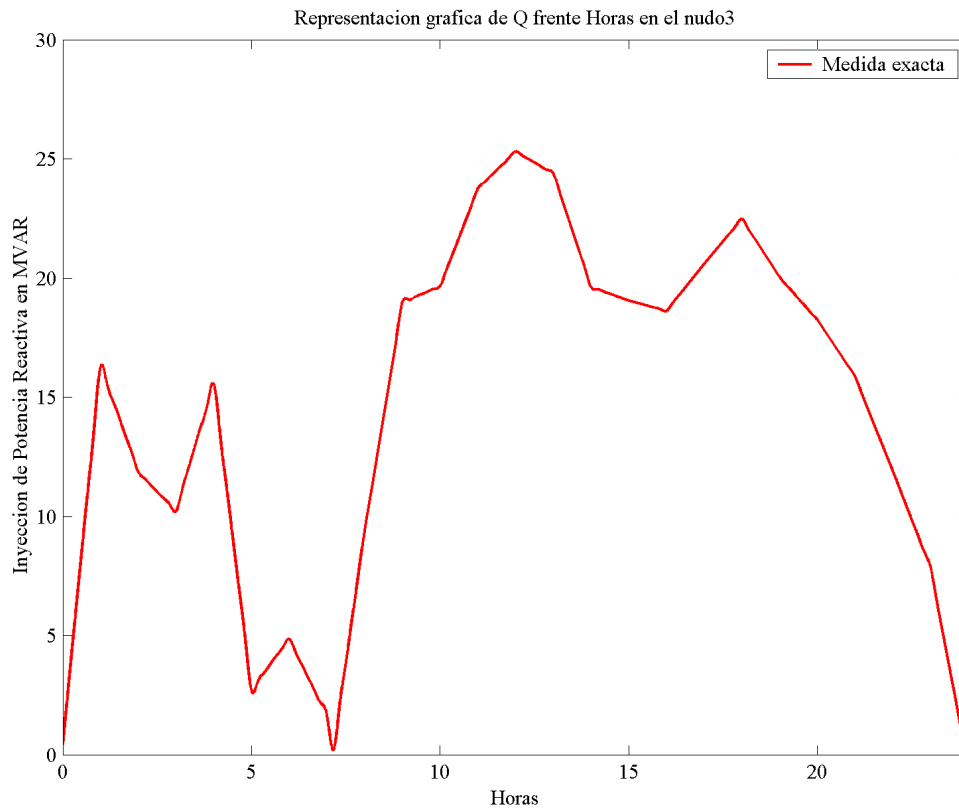
Esta simulación nos permitirá conocer mejor la evolución de las medidas de inyecciones de activa y reactiva en el nudo 1 y 3 de la red, por ser un nudo de generación y de carga respectivamente. Para las medidas de flujo de potencia de activa y reactiva, así como medidas de flujo de intensidad se han escogido la rama del nudo 2 al 3 y la del nudo 1 al 5. Los valores representados en la línea de color roja corresponden a las medidas exactas.

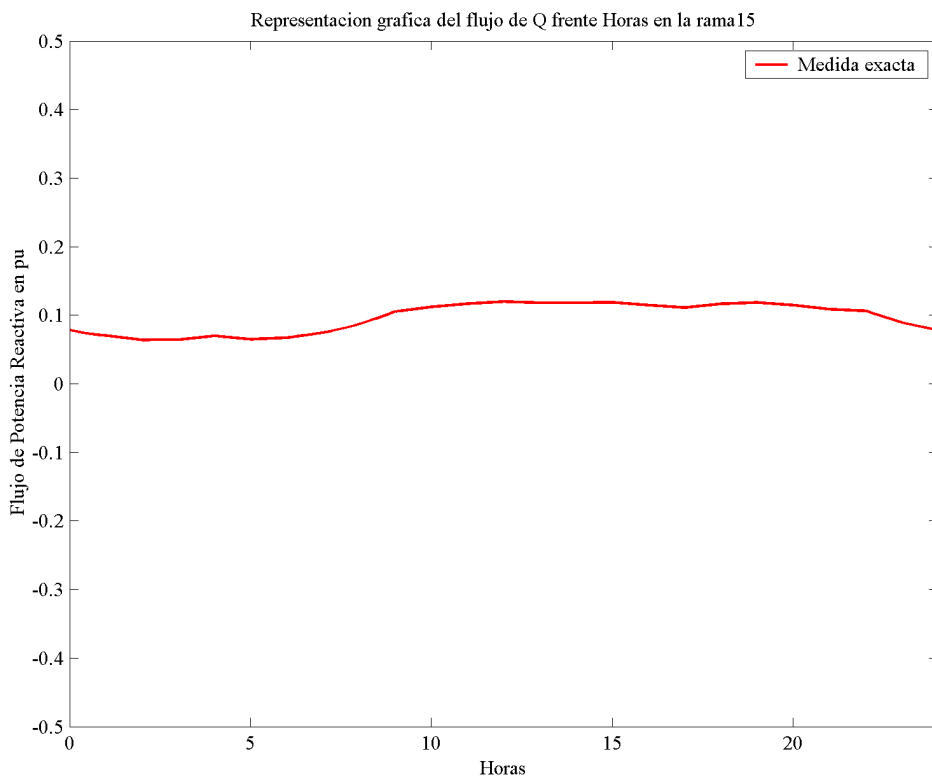
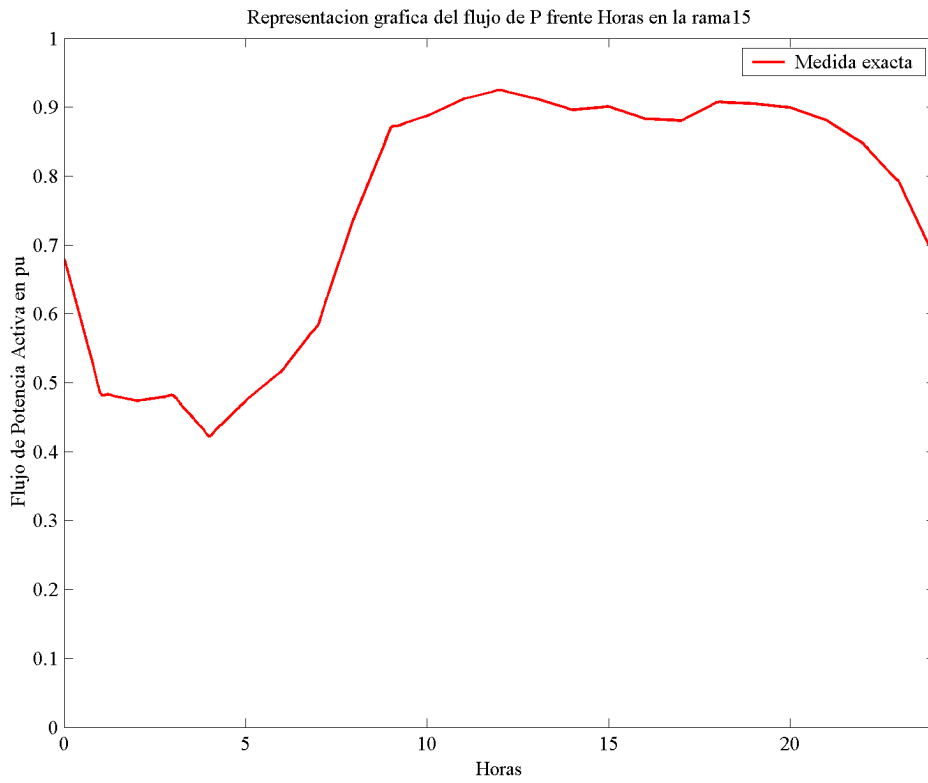


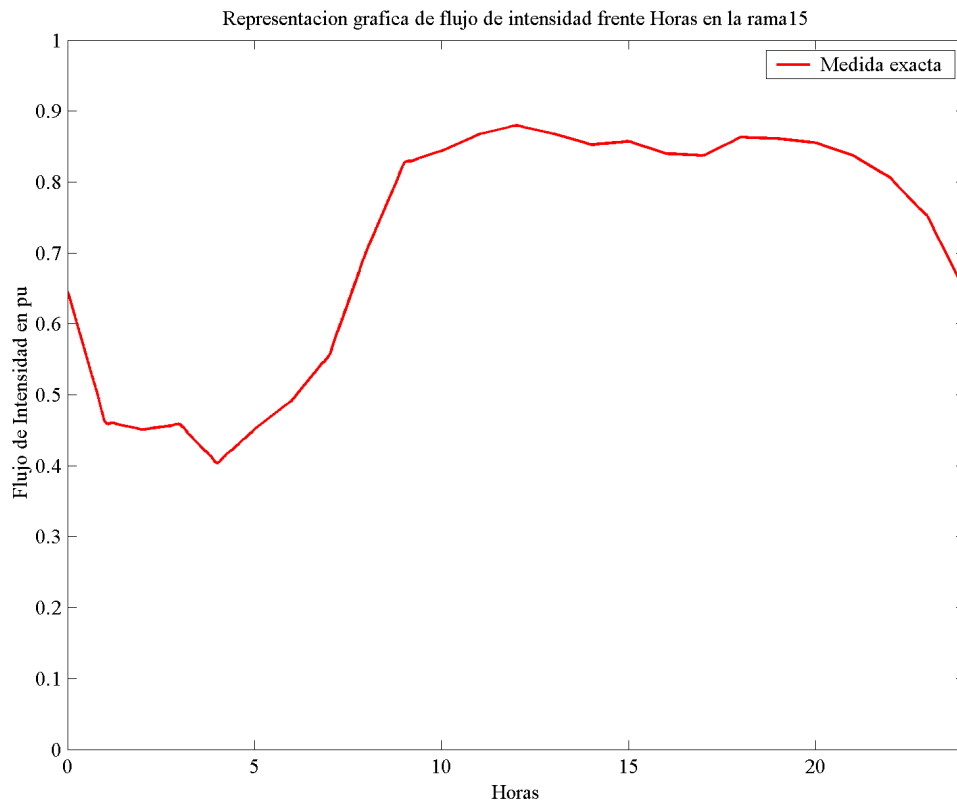




El nudo 3 es de carga pero se ha representado en valor absoluto.







1.3.2. Parámetros Globales

En este apartado se mostrará un listado para cada escenario de tiempo de 10 minutos, donde se muestran la potencia activa generada y demandada, la potencia reactiva generada y demandada y las pérdidas en la red. Al igual que ocurría para el apartado 3.1 nos permite conocer mejor nuestro sistema eléctrico de potencia y la evolución de la demanda.


```

% Formato para las medidas: mmedten,mmedinyp,mmedinyq
% Hora Minuto P Inyectada P Demandada Q Inyectada Q Demandada Perdidas Activa
parametros_globales=[
  0      0      2.214403      -2.111911      0.685882      -0.490715      0.102492
  0      10      2.106436      -2.014090      0.636649      -0.480660      0.092346
  0      20      1.998612      -1.915784      0.588188      -0.469161      0.082828
  0      30      1.890971      -1.817035      0.540497      -0.456216      0.073936
  0      40      1.783486      -1.717810      0.504562      -0.452802      0.065676
  0      50      1.676193      -1.618148      0.479057      -0.457592      0.058045
  1      0      1.569073      -1.518023      0.454933      -0.461534      0.051050
  1      10      1.574096      -1.523350      0.440796      -0.455207      0.050746
  1      20      1.579108      -1.528577      0.428835      -0.450514      0.050531
  1      30      1.584117      -1.533710      0.417204      -0.445595      0.050407
  1      40      1.589083      -1.538713      0.405904      -0.440459      0.050370
  1      50      1.594047      -1.543623      0.394845      -0.435009      0.050424
  2      0      1.598942      -1.548374      0.392296      -0.437518      0.050568
  2      10      1.608840      -1.557826      0.390404      -0.433897      0.051014
  2      20      1.618721      -1.567249      0.388508      -0.430248      0.051472
  2      30      1.628610      -1.576672      0.390597      -0.430559      0.051938
  2      40      1.638493      -1.586080      0.393029      -0.431190      0.052413
  2      50      1.648381      -1.595487      0.395591      -0.431925      0.052894
  3      0      1.658286      -1.604899      0.398136      -0.432614      0.053387
  3      10      1.627423      -1.576370      0.394722      -0.438130      0.051053
  3      20      1.596593      -1.547791      0.391463      -0.443520      0.048802
  3      30      1.565817      -1.519183      0.388385      -0.448809      0.046634
  3      40      1.535074      -1.490523      0.385754      -0.454264      0.044551
  3      50      1.504383      -1.461838      0.383310      -0.459628      0.042545
  4      0      1.473727      -1.433103      0.383486      -0.467330      0.040624
  4      10      1.509777      -1.467100      0.441185      -0.516129      0.042677
  4      20      1.545884      -1.500951      0.531127      -0.596435      0.044933
  4      30      1.581979      -1.534589      0.621181      -0.676124      0.047390
  4      40      1.618935      -1.568885      0.711387      -0.755234      0.050050
  4      50      1.672042      -1.619130      0.801767      -0.833787      0.052912
  5      0      1.725103      -1.669127      0.892278      -0.911741      0.055976
  5      10      1.740504      -1.683603      0.806609      -0.821366      0.056901
  5      20      1.755924      -1.697916      0.721083      -0.730417      0.058008
  5      30      1.788120      -1.728825      0.635786      -0.638976      0.059295
  5      40      1.820770      -1.760011      0.550639      -0.546969      0.060759
  5      50      1.853418      -1.791014      0.465670      -0.454423      0.062404
  6      0      1.886131      -1.821900      0.414206      -0.394662      0.064231
  6      10      1.921225      -1.854565      0.430291      -0.398995      0.066660
  6      20      1.956314      -1.887161      0.446539      -0.403213      0.069153
  6      30      1.991397      -1.919696      0.462896      -0.407268      0.071701
  6      40      2.026479      -1.952167      0.479406      -0.411201      0.074312
  6      50      2.061547      -1.984563      0.496058      -0.414995      0.076984
  7      0      2.096613      -2.016901      0.512833      -0.418642      0.079712
  7      10      2.180957      -2.093984      0.539951      -0.415611      0.086973
  7      20      2.265368      -2.170775      0.589690      -0.433873      0.094593
  7      30      2.349837      -2.247270      0.648392      -0.459771      0.102567

```

```
% Formato para las medidas: mmedten,mmedinyp,mmedinyq
```

```
% Hora Minuto P Inyectada P Demandada Q Inyectada Q Demandada Perdidas Activa
```

7	40	2.434361	-2.323466	0.707652	-0.484904	0.110895
7	50	2.518938	-2.399358	0.767434	-0.509246	0.119580
8	0	2.603591	-2.474972	0.827802	-0.532855	0.128619
8	10	2.674875	-2.538476	0.891871	-0.564098	0.136399
8	20	2.746147	-2.601712	0.956296	-0.594714	0.144435
8	30	2.817435	-2.664701	1.021093	-0.624704	0.152734
8	40	2.888704	-2.727415	1.086249	-0.654068	0.161289
8	50	2.959976	-2.789872	1.151768	-0.682810	0.170104
9	0	3.031204	-2.852028	1.217664	-0.710948	0.179176
9	10	3.041389	-2.861217	1.226938	-0.714744	0.180172
9	20	3.051568	-2.870395	1.236236	-0.718526	0.181173
9	30	3.061754	-2.879570	1.245522	-0.722261	0.182184
9	40	3.071919	-2.888713	1.254827	-0.725978	0.183206
9	50	3.082089	-2.897856	1.264136	-0.729660	0.184233
10	0	3.092253	-2.906982	1.273451	-0.733314	0.185271
10	10	3.110050	-2.922523	1.290292	-0.741077	0.187527
10	20	3.127849	-2.938045	1.307143	-0.748783	0.189804
10	30	3.145633	-2.953528	1.324066	-0.756484	0.192105
10	40	3.163444	-2.969018	1.341021	-0.764151	0.194426
10	50	3.181253	-2.984489	1.357989	-0.771764	0.196764
11	0	3.199047	-2.999922	1.375034	-0.779378	0.199125
11	10	3.206480	-3.006278	1.384275	-0.784175	0.200202
11	20	3.213913	-3.012632	1.393544	-0.788981	0.201281
11	30	3.221338	-3.018974	1.402799	-0.793763	0.202364
11	40	3.228785	-3.025335	1.412057	-0.798528	0.203450
11	50	3.236214	-3.031669	1.421347	-0.803313	0.204545
12	0	3.243647	-3.038008	1.430616	-0.808060	0.205639
12	10	3.232899	-3.028184	1.428149	-0.808104	0.204715
12	20	3.222126	-3.018335	1.425698	-0.808150	0.203791
12	30	3.211363	-3.008491	1.423252	-0.808182	0.202872
12	40	3.200604	-2.998643	1.420853	-0.808238	0.201961
12	50	3.189853	-2.988800	1.418529	-0.808352	0.201053
13	0	3.179086	-2.978937	1.416223	-0.808466	0.200149
13	10	3.164218	-2.966234	1.398283	-0.799943	0.197984
13	20	3.149352	-2.953498	1.380421	-0.791387	0.195854
13	30	3.134487	-2.940737	1.362707	-0.782870	0.193750
13	40	3.119629	-2.927949	1.345086	-0.774330	0.191680
13	50	3.104768	-2.915128	1.327521	-0.765737	0.189640
14	0	3.089900	-2.902272	1.310035	-0.757110	0.187628
14	10	3.089765	-2.901896	1.311463	-0.757904	0.187869
14	20	3.089635	-2.901525	1.313017	-0.758810	0.188110
14	30	3.089496	-2.901138	1.314738	-0.759872	0.188358
14	40	3.089357	-2.900745	1.316465	-0.760925	0.188612
14	50	3.089233	-2.900363	1.318180	-0.761957	0.188870
15	0	3.089135	-2.900000	1.319920	-0.762995	0.189135
15	10	3.082152	-2.894180	1.309940	-0.757714	0.187972
15	20	3.075172	-2.888356	1.299929	-0.752380	0.186816

§	Hora	Minuto	P Inyectada	P Demandada	Q Inyectada	Q Demandada	Perdidas Activa
	15	30	3.068200	-2.882533	1.289957	-0.747062	0.185667
	15	40	3.061222	-2.876700	1.279984	-0.741721	0.184522
	15	50	3.054238	-2.870850	1.270006	-0.736352	0.183388
	16	0	3.047260	-2.865001	1.260048	-0.730981	0.182259
	16	10	3.050541	-2.868039	1.258360	-0.730268	0.182502
	16	20	3.053844	-2.871089	1.256705	-0.729542	0.182755
	16	30	3.057116	-2.874097	1.255060	-0.728790	0.183019
	16	40	3.060409	-2.877118	1.253444	-0.728013	0.183291
	16	50	3.063702	-2.880126	1.251859	-0.727228	0.183576
	17	0	3.066985	-2.883114	1.250284	-0.726405	0.183871
	17	10	3.080656	-2.894972	1.260580	-0.730075	0.185684
	17	20	3.094296	-2.906790	1.270895	-0.733724	0.187506
	17	30	3.107939	-2.918597	1.281231	-0.737347	0.189342
	17	40	3.121608	-2.930416	1.291655	-0.741018	0.191192
	17	50	3.135250	-2.942195	1.302111	-0.744681	0.193055
	18	0	3.148910	-2.953980	1.312588	-0.748322	0.194930
	18	10	3.141292	-2.947105	1.311407	-0.749669	0.194187
	18	20	3.133709	-2.940258	1.310236	-0.750994	0.193451
	18	30	3.126103	-2.933375	1.309091	-0.752316	0.192728
	18	40	3.118516	-2.926502	1.307980	-0.753643	0.192014
	18	50	3.110919	-2.919607	1.306863	-0.754933	0.191312
	19	0	3.103329	-2.912713	1.305790	-0.756236	0.190616
	19	10	3.093639	-2.903791	1.306221	-0.758413	0.189848
	19	20	3.083949	-2.894864	1.306811	-0.760712	0.189085
	19	30	3.074242	-2.885907	1.307395	-0.762978	0.188335
	19	40	3.064550	-2.876951	1.307993	-0.765226	0.187599
	19	50	3.054869	-2.867997	1.308609	-0.767460	0.186872
	20	0	3.045157	-2.859001	1.309228	-0.769665	0.186156
	20	10	3.029233	-2.844519	1.296884	-0.763262	0.184714
	20	20	3.013324	-2.830044	1.284534	-0.756817	0.183280
	20	30	2.997390	-2.815533	1.272220	-0.750377	0.181857
	20	40	2.981462	-2.801021	1.259920	-0.743919	0.180441
	20	50	2.965508	-2.786472	1.247616	-0.737423	0.179036
	21	0	2.949577	-2.771938	1.235960	-0.731541	0.177639
	21	10	2.929846	-2.754717	1.219787	-0.725124	0.175129
	21	20	2.910144	-2.737492	1.203705	-0.718687	0.172652
	21	30	2.890435	-2.720229	1.187923	-0.712445	0.170206
	21	40	2.870723	-2.702931	1.172225	-0.706180	0.167792
	21	50	2.851034	-2.685622	1.156582	-0.699863	0.165412
	22	0	2.831338	-2.668273	1.140988	-0.693487	0.163065
	22	10	2.793595	-2.634968	1.130149	-0.696429	0.158627
	22	20	2.755799	-2.601425	1.119566	-0.699132	0.154374
	22	30	2.717971	-2.567660	1.109202	-0.701555	0.150311
	22	40	2.689718	-2.543283	1.099108	-0.703749	0.146435
	22	50	2.669472	-2.526721	1.089497	-0.705928	0.142751
	23	0	2.657429	-2.518173	1.080137	-0.707857	0.139256
	23	10	2.570195	-2.437748	1.012553	-0.672469	0.132447
	23	20	2.483884	-2.357970	0.945429	-0.636475	0.125914
	23	30	2.409278	-2.289628	0.878790	-0.599896	0.119650
	23	40	2.344304	-2.230644	0.812625	-0.562712	0.113660
	23	50	2.279344	-2.171405	0.746922	-0.524921	0.107939
	24	0	2.214403	-2.111911	0.685882	-0.490715	0.102492

Las horas donde mayor es la generación entre las 10 - 20 horas, son las horas donde mayores son las pérdidas en la red como era de esperar.

2. Capítulo 2. Objetivos del Proyecto

2. Capítulo 2. Objetivos del Proyecto

El objetivo de este Proyecto Fin de Carrera se centra en la creación de un programa informático, en Matlab, para determinar los errores en la cadena de medida en la estimación de estado, así como su mostrar resultados y realizar simulaciones. En definitiva, un Análisis de los errores en la Cadena de Medida en los Estimadores de Estado del SEP, que permita a las compañías eléctricas un conocimiento muy detallado en este ámbito así como proseguir con el estudio para obtener una sintonización adecuada de los pesos en las medidas del sistema eléctrico de potencia.

Con el presente proyecto se pretende, como **primer objetivo**, el desarrollo de un programa informático que nos permita obtener el **valor de las desviaciones típicas** de los distintos errores existentes durante la cadena de medida. La aplicación informática presenta las siguientes características:

- Flexibilidad: ya que a la hora de operar con la aplicación permite obtener un conjunto amplio de determinados escenarios de tiempo, así como de agregar o eliminar medidas para un conjunto disponibles de medidas.
- Modularidad: ya que al realizarse la programación de forma modular esto permite realizar mejoras en diversos programas así como de añadir nuevos módulos sin modificar esencialmente la estructura del programa.

Como **segundo objetivo**, la aplicación es capaz de **simular la información proveniente del SEP en un centro de control** en un rango amplio de determinados escenarios de tiempo.

Como **tercer objetivo** se lleva a cabo un análisis estático con el fin de **estudiar la influencia que producen unos rangos de valores en las medidas, en la evolución de los errores de estas medidas**.

Como **cuarto objetivo la aplicación permite** conocer la **sensibilidad sobre los volúmenes de la información entrante al SCADA mediante la variación del umbral de actualización**, y con ello las consecuencias pertinentes.

Como **quinto objetivo** se realiza un análisis dinámico con la finalidad de **estudiar la influencia del error introducido por el umbral de actualización** en las medidas, debido a su carácter de importancia por la posibilidad de control por parte de las compañías.

Como **sexto y último objetivo** se llevará a cabo un análisis estadístico dinámico que permita **obtener conclusiones estadísticas válidas**. Estas conclusiones estadísticas serán el valor medio

estimado, la desviación típica media estimada, el valor medio de los residuos, la desviación típica media de los residuos, la diferencia con el valor exacto respecto al estimado.

3. Capítulo 3. Descripción Técnica del Programa

3. **Capítulo 3. Descripción Técnica del Programa**

3.1. Introducción

En este capítulo se describirá el programa llevado a cabo mediante la herramienta Matlab con el fin de alcanzar los objetivos propuesto para este proyecto.

La metodología seguida, en la elaboración del programa, se fundamenta en la elaboración de un número determinado de funciones con el fin de constituir un programa maestro capaz de alcanzar la meta propuesta en el proyecto. Es decir el programa maestro se encuentra estructurado en unas series de funciones cada una de las cuales constituyen ya de por sí una parte fundamental del programa desarrollado.

Por tanto a continuación se irán desarrollando cada una de las funciones que componen el programa para luego confeccionarlo. De esta misma manera se ha utilizado el programa del Estimador de Estado elaborado en el Departamento de Ingeniería Eléctrica para poder llevar a cabo tan ambicioso proyecto.

3.2. Toma de Datos

Como se anticipó anteriormente en el apartado de Introducción, la toma de datos relevantes a la Red IEEE-14 necesarios para elaborar este proyecto fueron las tensiones en módulo y en por unidad así como la fase en radianes para todos los nudos en cada escenario de tiempo, durante las 24 horas.

También se tomo de la Red la potencia nominal (S_n) de las líneas, y las tensiones en los nudos de la Red. La disposición de estos datos se encuentran en el Anexo II. Con tal fin se desarrolló una función que permite introducir a las medidas nodales la tensión en los nudos de la red y para las medidas ramales la tensión en los nudos así como la potencia nominal de las ramas.

3.3. Programa de Interpolación entre Horas

Este programa tiene como misión crear un conjunto de escenarios determinados, cada 5, 10, 15 y/o 30 minutos. Estos escenarios se determinan a través de los escenarios base de la Red IEEE-14, de cada hora, a lo largo de las 24 horas del día, sin más que realizar la interpolación lineal para las magnitudes de tensión y fase.

3.4. Criterio de Asignación de la Desviación Típica de la Compañía

La función creada con tal fin, nos es más que asignar las desviaciones típicas a todas las medidas del SEP.

Tales desviaciones típicas se han tenido en cuenta siguiendo criterios similares a los aplicados en algunas compañías.

Siendo la desviación típica adoptada para la medida de tensión, de fase, de inyección de potencia activa y reactiva, de inyección de intensidad de un valor de 0.02 pu, así como la desviación típica adoptada para la medida de toma de los transformadores de 0.01. Para la desviación típica para la medida de flujo de potencia activa y reactiva y de flujo de intensidad se obtiene de la multiplicación del valor 0.02 pu por la potencia nominal en pu, calculada esta última de la potencia nominal de la línea entre la potencia base de 100 MVA.

En resumen:

En medidas de magnitud de tensión, de fase e inyecciones de potencia o intensidad.

$$\sigma^{adoptado}(\text{pu}) = \sigma_{ref} = 0.02$$

σ_{ref} en pu

En medidas de flujo de intensidad y potencia hay una dependencia de:

- la potencia nominal de los equipos.
- el nivel de tensión (intensidad base).

$$\sigma^{adoptado}(\text{pu}) = \sigma_{ref} \cdot s_n = \sigma_{ref} \cdot \frac{S}{S_B} = \sigma_{ref} \cdot \frac{\sqrt{3}U_n I_n}{\sqrt{3}U_B I_B} = \sigma_{ref} \cdot \frac{I_n}{I_B}$$

σ_{ref} en pu

3.5. Determinación de los Errores en las Medidas

Este apartado de Determinación de los Errores en las Medidas es uno de los pilares de este proyecto ya que en él se describe como se ha llevado a cabo integrar este tipo de errores y además nos permitirá en unas determinadas simulaciones **valorar el efecto de los errores en las medidas.**

Para cada tipo de error se realiza una función con la herramienta Matlab. Los tipos de errores se dividen en función de la siguiente cadena de medida;

Cadena de medida



Error Gaussiano asociado en la desviación típica de ruido y formado por:

- Error de los Transformadores de Medidas o de los instrumentos de medidas.
- Error del Convertidor.

Errores No Gaussiano:

- Error del Convertidor Analógico Digital.
- Error asociado al Umbral de Actualización.

El **conjunto de medida** que se le determina el error son; medidas de tensión, de inyección y de flujo de intensidad, de inyección y de flujo de potencia activa, y de inyección y de flujo de potencia reactiva.

3.5.1. Desviación Típica de Ruido

En esta función se determina la desviación típica del ruido que estará formada por la desviación típica de los instrumentos de medida y por la desviación típica del convertidor.

La desviación típica del ruido se obtiene mediante la raíz cuadrada de la desviación típica de los instrumentos de medida al cuadrado más la desviación típica del convertidor al cuadrado.

Una vez obtenida la desviación típica del ruido se le asocia a todas las medidas excepto a las medidas de fase ya que ya que no son medidas tomadas aun en las subestaciones y medidas de tomas ya que no tiene sentido físicamente, al ser valores fijos en un transformador.

La forma de incorporar este error a las medidas es sumando al valor de la medida en ese escenario el valor de la desviación típica del ruido multiplicada por un número gaussiano aleatorio, obteniéndose por tanto el conjunto de medidas con ruido.

A continuación se describirá la forma de obtener los valores asociados a la desviación típica de los instrumentos de medida y la desviación típica del convertidor.

3.5.1.1. Error de los Transformadores de Medidas

En esta función se pretende modelar el error debido a los transformadores de medida o error de instrumentación para las medidas consideradas. Las medidas consideradas son:

- Magnitud de tensión.
- Magnitud de inyección de intensidad.
- Magnitud de flujo de intensidad.
- Flujo de potencia activa por líneas/transformadores.
- Flujo de potencia reactiva por líneas/transformadores.
- Inyección de potencia activa en nudos eléctricos.
- Inyección de potencia reactiva en nudos eléctricos.

3.5.1.1.1. Transformadores de Intensidad.

Las características consideradas para caracterizar el comportamiento de los TI son [4]:

- Intensidad primaria asignada.
- Intensidad secundaria asignada.
- Relación de transformación asignada.
- Clase de precisión.
- Desfase.

Todas estas variables vienen definidas en el Anexo I.

Transformadores de simple transformación:

Los valores nominales de las intensidades primarias asignadas en amperios son: 10, 12.5, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 75, y sus múltiplos o submúltiplos decimales.

Valores normales de las intensidades secundarias asignadas:

Los valores normales de las intensidades secundarias asignadas son 1 A, 2 A y 5 A, siendo este último valor el preferente.

Ejemplo:

TI 100/5

En este estudio se ha considerado como intensidad secundaria asignada el valor de 5 A

Para determinar la relación de transformación asignada se ha seguido el siguiente procedimiento en función del tipo de equipo donde se encuentre instalado el TI:

TIs instalados en líneas o transformadores: se ha seleccionado el primer valor de la intensidad primaria asignada que supera el valor de la intensidad nominal de la línea o transformador.

TIs instalados en inyecciones: se ha seleccionado el primer valor de la intensidad primaria asignada que supera el valor de la máxima intensidad prevista considerando conjuntamente la carga y la generación asociada al nudo.

Para ver el cálculo de la intensidad primaria asignada, de ambos transformadores de intensidad, ver el Anexo VI.

En general la clase de precisión de los TI se ha adoptado de 0,5, Tabla I.

El error de intensidad (ε_I), expresado en tanto por ciento, viene dado por la siguiente fórmula:

$$\varepsilon_I = \frac{(K_n I_s - I_p) \cdot 100}{I_p}$$

donde;

- K_n es la relación de transformación asignada.
- I_p es la intensidad primaria real.
- I_s es la intensidad secundaria real correspondiente a la intensidad I_p en las condiciones de la medida.

Según la norma UNE EN 60044-1 los límites de error de intensidad para los transformadores de intensidad de clase 0,5 son los recogidos en la siguiente tabla:

Límites del error de intensidad y del desfase de los transformadores de intensidad para medida (clases 0,1 a 1)

Clase de precisión	Error de intensidad en %, \pm , para los valores de intensidad expresados en % de la intensidad asignada				Desfase, \pm , para los valores de intensidad expresados en % de la intensidad asignada							
					Minutos				Centirradiaes			
	5	20	100	120	5	20	100	120	5	20	100	120
0,1	0,4	0,2	0,1	0,1	15	8	5	5	0,45	0,24	0,15	0,15
0,2	0,75	0,35	0,2	0,2	30	15	10	10	0,9	0,45	0,3	0,3
0,5	1,5	0,75	0,5	0,5	90	45	30	30	2,7	1,35	0,9	0,9
1,0	3,0	1,5	1,0	1,0	180	90	60	60	5,4	2,7	1,8	1,8

Tabla I

El error de intensidad en tanto por uno es:

$$\varepsilon_I = \frac{K_n I_s - I_p}{I_p}$$

El límite superior del error en p.u. vendrá dado por:

$$l_I = \frac{K_n I_s - I_p}{I_{base}} = \frac{\varepsilon_I I_p}{I_{base}} = \varepsilon_I \cdot i_p$$

El intervalo del error asociado a la medida de un transformador de intensidad en p.u. es:

$$[-l_I, l_I]$$

Adoptando un nivel de confianza del 95.45 % la desviación típica asociada a este intervalo de error es:

$$2.0 \cdot \sigma_{el} = l_I$$

luego

$$\sigma_{el} = \frac{l_I}{2.0} = \frac{\varepsilon_I \cdot i_p}{2.0}$$

Según los valores recogidos en la tabla el error de intensidad depende del valor de la intensidad asignada.

3.5.1.1.2. Transformadores de Tensión

Las características consideradas para caracterizar el comportamiento de los TT son [5]:

- Relación de transformación asignada, dada por la relación entre Tensión primaria asignada y la Tensión secundaria asignada.
- Clase de precisión.
- Tensión primaria asignada.
- Tensión secundaria asignada.
 - En este estudio se ha considerado como tensión secundaria asignada el valor de $110/\sqrt{3}$ V.
- Clase de precisión. Las clases de precisión normales para un transformador inductivo de tensión monofásico para medida son:

0.1 – 0.2 – 0.5 – 1.0 – 3.0

- La clase de precisión de los TT se ha adoptado de 0,5.

Todas estas variables vienen definidas en el Anexo I.

Errores en las medidas de magnitud de tensión

Este error viene determinado en la norma UNE EN 60044-2 por el denominado error de tensión. Se trata de un error asociado a la relación de transformación.

El error de tensión en tanto por uno es:

$$\varepsilon_T = \frac{K_n U_s - U_p}{U_p}$$

donde

- K_n es la relación de transformación asignada.

- U_p la tensión primaria real.
- U_s la tensión secundaria real.

Según la norma UNE EN 60044-2, los límites de error de tensión para los transformadores de tensión de clase 0,5 son del $\pm 0.5\%$, Tabla II.

El límite superior del error en p.u. vendrá dado por:

$$l_V = \frac{K_n U_s - U_p}{U_{base}} = \frac{\varepsilon_T U_p}{U_{base}} = \varepsilon_T \cdot u_p$$

El intervalo de error asociado a la medida de un transformador de tensión en p.u. es:

$$[-l_V, l_V]$$

Adoptando un nivel de confianza del 95,45 % la desviación típica asociada a este intervalo de error es:

$$2.0 \cdot \sigma_{\varepsilon_T} = l_V$$

luego

$$\sigma_{\varepsilon_T} = \frac{l_V}{2.0} = \frac{\varepsilon_T \cdot u_p}{2.0}$$

Admitiendo unas variaciones del $\pm 20\%$ en las tensiones la desviación típica asociada a las medidas realizadas por lo transformadores de tensión es:

$$u_p = 1.2 \rightarrow \sigma_{\varepsilon_T} = 0.0030$$

$$u_p = 1.0 \rightarrow \sigma_{\varepsilon_T} = 0.0025$$

$$u_p = 0.8 \rightarrow \sigma_{\varepsilon_T} = 0.0020$$

Límites del error de tensión y del desfase de los transformadores de tensión para medida

Clase de precisión	Error de tensión (relación) en porcentaje \pm	Desfase \pm	
		Minutos	Centirradiares
0,1	0,1	5	0,15
0,2	0,2	10	0,3
0,5	0,5	20	0,6
1,0	1,0	40	1,2
3,0	3,0	Sin especificar	Sin especificar

NOTA – Al efectuar el pedido de transformadores con dos arrollamientos secundarios separados y debido a su interdependencia, el usuario deberá especificar dos gamas de potencia, una para cada arrollamiento, correspondiendo al límite superior de cada una de estas gamas de potencia un valor normal de la potencia de precisión. Cada uno de los arrollamientos deberá satisfacer sus propias especificaciones de precisión en toda su gama de potencia mientras que al mismo tiempo el otro arrollamiento suministra una potencia de cualquier valor comprendido entre cero y el límite superior de su gama de potencia. Para verificar la conformidad con esta especificación, basta con realizar las pruebas sólo en los valores extremos. Si no se especifican las gamas de potencia, se considera que estas son del 25% al 100% de la potencia asignada para cada arrollamiento.

Si uno de los arrollamientos no está sometido a carga más que ocasionalmente durante tiempos cortos o si se utiliza sólo como arrollamiento de tensión residual se puede despreciar su efecto sobre el otro arrollamiento.

Tabla II

Hasta el momento hemos obtenido los errores de instrumentación, reflejados en desviaciones típicas, para la Magnitud de inyección de intensidad, de la Magnitud de flujo de intensidad y de la Magnitud de tensión.

Ahora desarrollaremos los errores de instrumentación, reflejados en desviaciones típicas, para la Magnitud de Flujo de potencia activa por líneas/transformadores, Flujo de potencia reactiva por líneas/transformadores y de la Magnitud Inyección de potencia activa en nudos eléctricos e Inyección de potencia reactiva en nudos eléctricos.

Para ello aplicaremos las ecuaciones siguientes a nuestro caso en concreto para poder determinar las desviaciones típicas para estas medidas [7]:

$$\sigma_{p/q}^2 = \sum_{i=1}^N (\partial f / \partial x_i) \cdot \sigma^2(x_i)$$

donde

f será la función de P/Q , y x_i es el evaluador.

Desarrollando las ecuaciones obtenemos:

Ecuación relativa a la Desviación Típica de la Magnitud de Potencia Activa (σ_p):

$$\sigma_p = \sqrt{i^2 \cdot u^2 \cdot \text{sen}^2 \varphi \cdot \sigma_{\varphi_i}^2 + i^2 \cdot u^2 \cdot \text{sen}^2 \varphi \cdot \sigma_{\varphi_u}^2 + u^2 \cdot \text{cos}^2 \varphi \cdot \sigma_i^2 + i^2 \cdot \text{cos}^2 \varphi \cdot \sigma_u^2}$$

Ecuación relativa a la Desviación Típica de la Magnitud de Potencia Reactiva (σ_q):

$$\sigma_q = \sqrt{i^2 \cdot u^2 \cdot \text{cos}^2 \varphi \cdot \sigma_{\varphi_i}^2 + i^2 \cdot u^2 \cdot \text{cos}^2 \varphi \cdot \sigma_{\varphi_u}^2 + u^2 \cdot \text{sen}^2 \varphi \cdot \sigma_i^2 + i^2 \cdot \text{sen}^2 \varphi \cdot \sigma_u^2}$$

Donde la desviación típica de intensidad y la desviación típica de tensión se calculan de los apartados anteriores descritos.

Ahora bien para el cálculo de la desviación típica de fase de intensidad y de tensión se calculan siguiendo el mismo proceso pero con el error de desfase (rad) tanto para TI como para TT respectivamente.

Adoptando un nivel de confianza del 95.45 % la desviación típica asociada a este intervalo de confianza es:

Ecuación relativa a la Desviación Típica de Fase de Tensión (σ_{φ_u}):

$$2.0 \cdot \sigma_{\varphi_u} = \varepsilon_{\varphi_v} \cdot u$$

- Siendo u el valor de la tensión en p.u.
- Siendo ε_{φ_v} el error de desfase de tensión que para una clase de precisión de 0.5 el error de desfase de tensión es de 0.006 rad.

Ecuación relativa a la Desviación Típica de Fase de Intensidad (σ_{φ_i}):

$$2.0 \cdot \sigma_{\varphi_i} = \varepsilon_{\varphi_i} \cdot i$$

- Siendo i el valor de la intensidad en p.u.

- Siendo ε_{φ_t} el error de desfase de intensidad que para una clase de precisión de 0.5, el error de desfase de intensidad se calcula hallando la intensidad primaria asignada.

3.5.1.2. Error del Convertidor

Con esta función se modela el error visto anteriormente, en la introducción de este apartado, en la cadena de medida correspondiente al error del convertidor.

Por tanto estamos en la segunda fase del modelo de error visto en la cadena de medida siguiente,

Cadena de medida



y al igual que ocurría para la determinación del error de instrumentación se modelará el error del convertidor en la desviación típica del convertidor [6].

Los convertidores serán de clase 0.5 y su error se calcula por el fondo de escala del instrumento.

Siendo por tanto el **Error del Convertidor**:

$$\text{Error del Convertidor} = 0.5\% \times \text{Fondo de Escala}$$

El límite superior de error en p.u. vendrá dado por:

$$l_s = \text{Error del Convertidor}$$

Adoptando un nivel de confianza del 95,45 % la desviación típica asociada a este intervalo de confianza es:

$$2.0 \times \sigma_c = l_s$$

luego

$$\sigma_c = l_s / 2.0$$

Ahora bien la desviación típica del convertidor dependerá del tipo de medida en cuestión, y más en concretamente del Fondo de Escala de la magnitud.

- Siendo el Fondo de Escala para la magnitud de inyección de intensidad y de flujo de intensidad (FE_i) de valor $FE_i = I_{ti}/I_b$.
- Siendo el Fondo de Escala para la magnitud tensión (FE_v) de valor 1.2.
- Siendo el Fondo de Escala para la magnitud de inyección de potencia activa y reactiva de valor $FE_p = FE_q = FE_v \times FE_i$.
 - Siendo I_{ti} la intensidad primaria asignada para los transformadores de intensidad instalados en inyecciones (Para ver el cálculo referirse al Anexo VI).
 - Siendo I_b la intensidad de base (Para ver el cálculo referirse al Anexo VI).
- Siendo el Fondo de Escala para la magnitud de flujo de potencia activa y reactiva de valor $FE_p = FE_q = FE_v \times FE_i$.
 - Siendo I_{tij} la intensidad primaria asignada para los transformadores de intensidad instalados en líneas o transformadores (Para ver el cálculo referirse al Anexo VI).
 - Siendo I_b la intensidad de base (Para ver el cálculo referirse al Anexo VI).

3.5.2. Error del Convertidor Analógico Digital

Con esta función se modela el error visto anteriormente, en la introducción de este apartado, en la cadena de medida correspondiente al error del convertidor analógico digital [6].

Por tanto estamos en la tercera fase del modelo de error visto en la cadena de medida siguiente,

Cadena de medida



Descripción del Error de Cuantización en Convertidores Analógico Digitales (CAD):

Los principales errores en un CAD cuando el funcionamiento es en continua son el error de cuantización, el error de cero, error de ganancia, el error de no linealidad diferencial y el error de no linealidad integral.

Antes de explicar los errores hemos de introducir los conceptos de resolución de un CAD y de Bits menos significativos (*LSB – Least Significant Bit*). La resolución de un CAD es el número n de bits de salida. Valores típicos son 8, 10, 12 y 16. El número de posibles valores digitales vendrá dado por 2^n que tendrán asociado un valor de tensión, función de la llamada función de referencia V_{REF} con la cual se compara la entrada analógica. Si la entrada analógica es V_{REF} la salida digital tendrá como valor $2^n - 1$ y la salida en tensión será V_{REF} .

El *LSB* corresponde a una salida digital de valor $2^0 = 1$, asociándole una tensión de valor $LSB = V_{REF} / (2^n - 1)$, aunque en otras fuentes se le asocia el valor de tensión $V_{REF} / 2^n$ (se tomará esta última definición por ser más común). La resolución también se puede resumir como valor del *LSB*.

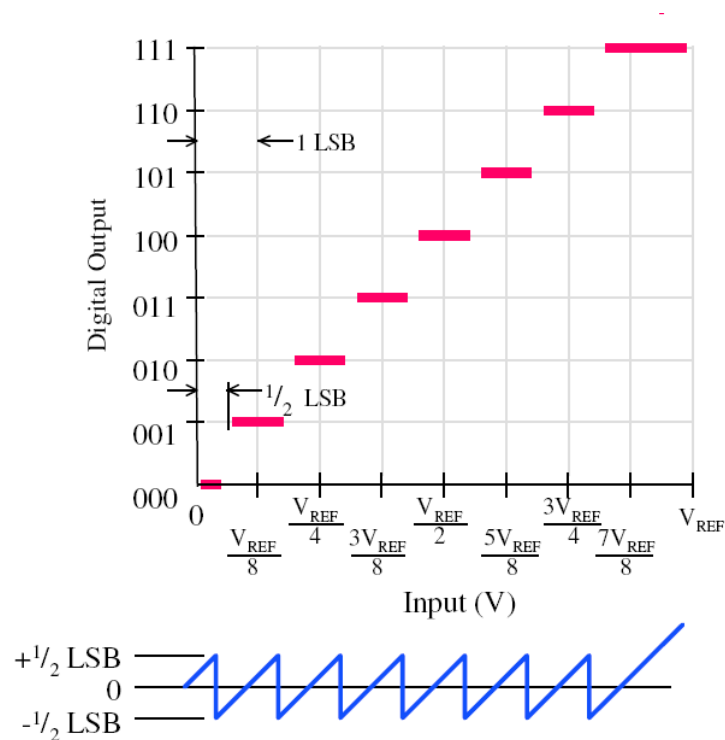
El error de cuantización es la máxima diferencia entre el valor analógico de entrada y el valor digital correspondiente a la salida. Su valor es $\pm (1/2) \cdot LSB$. Se puede interpretar de la siguiente manera: dado un valor de salida analógico no podemos saber el valor exacto de la entrada digital, existiendo una incertidumbre (incertidumbre de cuantización) que abarca el valor analógico correspondiente a la salida digital $\pm valor \cdot analógico \cdot correspondiente \cdot a \cdot (1/2) \cdot LSB$.

Por ejemplo, para un CAD de 8 bits la salida es 01000010=66. Si V_{REF} es igual a 5, la entrada analógica a la salida es igual

Entrada Analógica = $66 / 2^8 \cdot 5 = 1.2891$ V.

Existe una incertidumbre en la entrada analógica cuyo rango máximo es $[1.2891 - (1/2) LSB, 1.2891 + (1/2) LSB] = [1.2793, 1.2989]$. El error de cuantización es el único error existente en un CAD ideal, correspondiente en nuestro caso.

La figura muestra que la diferencia entre un valor analógico y digital sigue una onda en diente de sierra limitada superior e inferiormente $\pm (1/2) \cdot LSB$, excepto en el último escalón que está limitada superiormente por $(3/2) \cdot LSB$.



Error de cuantización en un CAD de 8 dígitos

Por tanto la incorporación del error del CAD sobre el conjunto de medidas (medidas de tensión, de inyección y de flujo de intensidad, de inyección y de flujo de potencia activa, y de inyección y de flujo de potencia reactiva) dependerá de:

Si el valor de la medida con ruido (V_{ruido} , calculado en el Apartado 5.1), es menor o igual al valor de $(1/2) \cdot LSB$, el nuevo valor de la medida es (V_{med}):

$$V_{med} = 0$$

siendo el LSB , el bit menos significativo.

Si el valor de la medida con ruido (V_{ruido} , calculado en el Apartado 5.1), es mayor al valor de $(1/2) \cdot LSB$, el nuevo valor de la medida es (V_{med}):

$$V_{med} = (\alpha + 1) \cdot LSB$$

siendo

$$\alpha = \text{Entero} \left[\frac{V_{\text{ruido}} - (1/2) \cdot \text{LSB}}{\text{LSB}} \right]$$

y siendo el LSB , el bit menos significativo.

Con este error descrito, asociado al CAD, el programa general tendría incorporados todos los errores hasta llegar a la fase tercera de la cadena de medida, solo a expensas de la última fase debida al error asociado del umbral de actualización.

3.5.3. Error asociado al Umbral de Actualización.

Se ha considerado en este proyecto la medición de las medidas provenientes de los transformadores de intensidad y de tensión las cuales pasan por un convertidor y de este al convertidor analógico digital, ahora en adelante CAD. Este último convertidor será el que nos permita tener en cuenta un número de cuenta máximo para las distintas medidas. Este número de cuentas máximo, de referencia, utilizado para determinar el Umbral de Actualización de las distintas medidas son:

- Número de Cuenta Máxima para la Intensidad (umI) es de 40 cuentas.
- Número de Cuenta Máxima para la Potencia Activa y Reactiva ($umPQ$) es de 20 cuentas.
- Número de Cuenta Máxima para la Tensión (umV) es de 10 cuentas.

También tenemos que conocer que el número de cuentas máxima permitidos para el CAD es de 2048 para las medidas de tensión e intensidad correspondiente al valor de 0 a 5 mA sin polaridad, y de 1024 para las medidas de potencia activa y reactiva correspondiente al valor de +- 2.5 mA con polaridad.

Considerando el fondo de escala del transformador de tensión (Fev) el valor de 1.2 pu y el fondo de escala del transformador de intensidad (Fei) el valor de 1 pu, y una potencia base (Sb) de 100 MVA.

Con todos estos datos procedemos a la determinación del valor umbral de actualización para las siguientes medidas en pu:

3.5.3.1. Umbral de Actualización para la Medida de Tensión ($Umbten$)

- Siendo Fev el Fondo de Escala del transformador de tensión.
- Siendo umV el número de cuentas máxima permitidas para la medida de tensión.

$$Umbten = (Fev * umV) / (2048 - 1)$$

3.5.3.2. Umbral de Actualización para la Medida de Fase (*Umbfase*)

$$Umbfase=1*10^{(-6)}$$

3.5.3.3. Umbral de Actualización para la Medida de Toma (*Umbtoma*)

$$Umbtoma=0.01$$

3.5.3.4. Umbral de Actualización para la Medida Inyección de Intensidad, de Potencia Activa y Reactiva

El cálculo de este umbral requiere conocer antes el cálculo de la Intensidad primaria Asignada (*Iti*) y de la Intensidad de Base (*Ib*), y para ello debemos referirnos al Anexo VI.

Ecuación del Umbral de Actualización para la Medida Inyección de Intensidad (*Umbinyi*):

- Siendo *Fei* el Fondo de Escala del transformador de intensidad.
- Siendo *umI* el número de cuentas máxima permitidas para la medida de intensidad.

$$Umbinyi=((Fei*Iti)/Ib)*umI/(2048-1)$$

Ecuación del Umbral de Actualización para la Medida Inyección de Potencia Activa (*UmbinyP*):

- Siendo $Fep=Fev*Fei*Iti/Ib$ el fondo de escala para la potencia activa.
- Siendo *umPQ* el número de cuentas máxima permitidas para la medida de potencia activa y reactiva.

$$UmbinyP=(umPQ*Fep)/(1024-1)$$

Ecuación del Umbral de Actualización para la Medida Inyección de Potencia Reactiva (*Umbinyq*):

- Siendo $Feq=Fep$ el fondo de escala para la potencia reactiva.
- Siendo *umPQ* el número de cuentas máxima permitidas para la medida de potencia activa y reactiva.

$$Umbinyq=(umPQ*Feq)/(1024-1)$$

3.5.3.5. Umbral de Actualización para la Medida de Flujo de Intensidad, de Potencia Activa y Reactiva

El cálculo de este umbral requiere conocer antes el cálculo de la Intensidad primaria Asignada de (I_{tij}) y de la Intensidad de Base (I_b), y para ello debemos referirnos al Anexo VI.

Ecuación del Umbral de Actualización para la Medida Flujo de Intensidad (Umb_{fluji}):

- Siendo F_{ei} el Fondo de Escala del transformador de intensidad.
- Siendo umI el número de cuentas máxima permitidas para la medida de intensidad.

$$Umb_{fluji} = (((F_{ei} * I_{tij}) / I_b) * umI) / (2048 - 1)$$

Ecuación del Umbral de Actualización para la Medida Flujo de Potencia Activa (Umb_{fluja}):

- Siendo $F_{ep} = F_{ev} * F_{ei} * I_{tij} / I_b$ el fondo de escala para la potencia activa.
- Siendo $umPQ$ el número de cuentas máxima permitidas para la medida de potencia activa y reactiva.

$$Umb_{fluja} = (umPQ * F_{ep}) / (1024 - 1)$$

Ecuación del Umbral de Actualización para la Medida Flujo de Potencia Reactiva (Umb_{fluja}):

- Siendo $F_{eq} = F_{ep}$ el fondo de escala para la potencia reactiva.
- Siendo $umPQ$ el número de cuentas máxima permitidas para la medida de potencia activa y reactiva.

$$Umb_{fluja} = (umPQ * F_{eq}) / (1024 - 1)$$

3.6. Proceso de Actualización de las Medidas

Lo que se pretende simular en esta función es el proceso de actualización de las medidas que son enviadas a un centro de control. En el centro de control se reciben las medidas desde todas las subestaciones de la red. En una red real el volumen de información es muy elevado (del orden de mil nudos en lugar de 14), por lo que para reducir el ancho de banda de los canales de comunicación y no saturarlos, en cada refresco de información no se transmiten todas las medidas. Solamente se envían desde las subestaciones aquellas cuyo valor haya cambiado significativamente.

Para ello se establece un umbral por cada tipo de medida, ya calculado anteriormente. Cuando el incremento de la nueva medida no supera dicho umbral la medida no es enviada desde la subestación y por lo tanto su valor no es actualizado. Si por el contrario se supera el umbral la medida se envía y se actualiza en el proceso de estimación de estado.

Para llevar a cabo la teoría explicada se han realizado dos funciones, una donde calculamos los umbrales de actualización de las medidas, descrita en el apartado 4.3, y otra función para realizar el proceso de actualización de las medidas.

3.7. Elección de las Medidas Disponibles

En esta función se simulará el conjunto de medidas que se obtiene en la realidad, en un sistema eléctrico de potencia. Interpretando este conjunto de medidas que se obtiene en la realidad, las medidas consideradas se distribuirán de la siguiente forma:

- Medida de Tensión:
 - El doble en todos los nudos.
- Medidas de Flujo e Potencia Activa:
 - En todas las líneas y transformadores en ambos extremos.
- Medidas de Inyección de Potencia Activa:
 - En nudos de 132 kV.
- Medidas de Flujo de Potencia Reactiva:
 - En líneas de 132 kV en ambos extremos.
 - En los transformadores en ambos extremos.
 - En líneas de 33 kV en un extremo.
- Medidas de Inyección de Potencia Reactiva:
 - En nudos de 132 kV.
- Medidas de Flujo de Intensidad:
 - En ambos extremos de todas las líneas y transformadores.

- Medidas de Inyección de Intensidad:
 - En todos los nudos.

3.8. Normalización del Ruido expresados en los Parámetros Globales

Con el fin de obtener la uniformidad de los errores introducidos a las diferentes magnitudes de medidas consideradas, se realiza este programa.

Para ello utilizaremos dos parámetros globales para que por cada iteración que se realice, se vayan actualizando. Estos parámetros son la Media Muestral y la Varianza Muestral. Sus respectivas ecuaciones son;

3.8.1. Media Muestral

Dadas un número de muestras de un variable X, la media muestral o media móvil es:

$$M_n = 1/n \cdot [M_{n-1} \cdot (n-1) + Xn]$$

siendo

- n : Número de veces a estimar.
- Xn : El valor de la variable.
- M_{n-1} : El valor de la media móvil para n-1.

Para el caso inicial de $n=1$ la media muestral tendrá un valor nulo.

3.8.2. Varianza Muestral

Dadas un número de muestras de un variable X, la varianza muestral o varianza móvil es:

$$V_n = (n-2)/(n-1) \cdot V_{n-1} + 1/n \cdot [M_{n-1} - Xn]$$

siendo

- n : Número de veces a estimar.
- Xn : El valor de la variable.
- M : El valor de la media móvil para n-1.

- V : El valor de la varianza móvil para $n-1$.

Para el caso inicial de $n=1$ la varianza muestral tendrá un valor nulo.

Para el caso inicial de $n=2$ la varianza muestral será $V_2 = \sum_{i=1}^2 (X_i - M_n)^2$.

3.9. Programa Maestro

Este programa tiene el objetivo de enlazar los criterios de todas estas funciones descritas en este Capítulo, además de varias funciones auxiliares descritas en el Anexo VIII, para conformar un solo programa maestro.

El programa sea estructurado de forma jerárquica con el fin de conformarle flexibilidad.

Primeramente se ha llevado a cabo la definición e inicialización de varias variables, como el número de escenarios a analizar, y las veces ha estimado el desarrollo de programa con el fin de obtener unos resultados estadísticos fiables.

En segundo lugar se hace una clara distinción entre aquellas funciones que no dependen del escenario en cuestión y las que sí. El fin alcanzable no es más que disminuir el tiempo de ejecución del programa así como de proporcionarle mayor flexibilidad. Por tanto se separa del bucle que a continuación explicaremos aquellas funciones que no dependen del escenario de tiempo en cuestión como son; la funciones de tomas de datos anteriormente descritas en este Capítulo así como la función del cálculo del umbral de medidas, y las funciones que determinan la desviación típica de instrumentación y del convertidor, también descrito anteriormente.

En orden inferior en esta escala jerárquica están aquellas funciones que sí dependen del escenario. Estas funciones son; la función que incorpora a las medidas el valor de la desviación típica del ruido, la función que incorpora el error del CAD, y la función encargada de la actualización de las medidas.

En tercer lugar o el tercer estrato consiste en aplicar la función de estimación de estado, explicada en el Anexo VIII, y así tener hasta el momento un conjunto completo de medidas estimadas. Ahora entra en juego la función de elección de medidas disponibles, que lo que hace es interpretar un conjunto de medidas disponible adecuado a la realidad. Para finalizar hacemos uso de la función de normalización del ruido expresando este conjunto de medidas, a nivel de estudio estadístico. Cerrando en este mismo el bucle y repetirlo tantas veces como queramos precisar.

Por último se haría uso de funciones tales como de representación de gráficas así como de análisis de las distintas simulaciones, ver Anexo VIII.

4. Capítulo 4. Simulaciones y Resultados

4. Capítulo 4. Simulaciones y Resultados

4.1. Introducción

En este documento se realizará una serie de simulaciones y se obtendrán sus resultados con el fin de analizar los errores en la cadena de medida en los estimadores de estado del sistema eléctrico de potencia y comparar con el procedimiento actual para la determinación de los errores (dados en desviaciones típicas) considerados por las compañías.

A continuación se mostrarán y comentarán los resultados obtenidos de las diversas simulaciones tenidas en cuenta como consecuencia de los objetivos del proyecto. Estas simulaciones se dividen;

- Análisis Estático.
- Análisis Dinámico.
- Análisis Estadístico Dinámico.

4.2. Análisis Estático

El objetivo de este análisis consiste en estudiar la influencia que producen unos rangos de valores dados para las medidas de nudos y ramas en el escenario inicial, de hora cero y minuto cero, en la evolución de los errores de estas medidas.

Los rangos esperados de las medidas son:

- Tensiones:
 - Rango entre 0.8 y 1.2 en pu.
- Inyecciones de Intensidad:
 - Rango entre 0 y 4 en pu.
- Flujo de Intensidad:
 - Rango entre 0 y 1.2 en pu.
- Flujo de Potencia, tanto Activa como Reactiva:
 - Rango entre -3 y 3 en pu.

- Inyecciones de Potencia Activa y Reactiva:
 - Rango entre -3 y 3 en pu.

Los errores asociados a las medidas son:

- Desviación típica de Ruido (σ_r); formada a partir de:
 - Desviación típica de instrumentación TI/TT (σ_i).
 - Desviación típica de convertidores (σ_c).
- Error de CAD (ϵ_{cad}).
- Umbral de Actualización (ϵ_h).
- Desviación típica de la compañía (σ_w).

Para cada rango se considerarán de cinco valores de manera creciente.

Los listados obtenidos de la simulación para el rango esperado de las medidas nodales (en el Nudo 1 de generación de 132 kV) y para las medidas ramales (en la rama 1-2 de 132 kV) se mostrarán a continuación en los apartados sucesivos.

Con el fin de garantizar las conclusiones obtenidas en carácter general se ha realizado esta misma simulación descrita en el Nudo 14, perteneciente a un nudo de carga de 33 kV.

Estos resultados de la simulación en el Nudo 14 se encuentran en el Anexo III, Resultados de la Simulación del Nudo 14 de la Red.

Para más información acerca de la Red, dirigirse al Capítulo 1 - Introducción de la Red.

4.2.1. Listado para las Medidas Nodales

```

% Formato para las medidas: mmedten,mmedinyp,mmedinyq
% Medida_Ex. Sigma_intrum. Sigma_Conv. Sigma_Ruido Error_CAD Umbral_Act. Sigma_Comp.
mmedten=[
    0.8    0.002000    0.003000    0.003606    0.000586    0.005862    0.020000
    0.9    0.002250    0.003000    0.003750    0.000586    0.005862    0.020000
    1.0    0.002500    0.003000    0.003905    0.000586    0.005862    0.020000
    1.1    0.002750    0.003000    0.004070    0.000586    0.005862    0.020000
    1.2    0.003000    0.003000    0.004243    0.000586    0.005862    0.020000
];

% Formato para las medidas: mmedten,mmedinyp,mmedinyq
% Medida_Ex. Sigma_intrum. Sigma_Conv. Sigma_Ruido Error_CAD Umbral_Act. Sigma_Comp.
mmedinyp=[
    -3    0.021435    0.006859    0.022506    0.002682    0.053638    0.020000
    -2    0.014379    0.006859    0.015931    0.002682    0.053638    0.020000
     1    0.007427    0.006859    0.010110    0.002682    0.053638    0.020000
     2    0.014379    0.006859    0.015931    0.002682    0.053638    0.020000
     3    0.021435    0.006859    0.022506    0.002682    0.053638    0.020000
];

% Formato para las medidas: mmedten,mmedinyp,mmedinyq
% Medida_Ex. Sigma_intrum. Sigma_Conv. Sigma_Ruido Error_CAD Umbral_Act. Sigma_Comp.
mmedinyq=[
    -3    0.021435    0.006859    0.022506    0.002682    0.053638    0.020000
    -2    0.014379    0.006859    0.015931    0.002682    0.053638    0.020000
     1    0.007427    0.006859    0.010110    0.002682    0.053638    0.020000
     2    0.014379    0.006859    0.015931    0.002682    0.053638    0.020000
     3    0.021435    0.006859    0.022506    0.002682    0.053638    0.020000
];

% Formato para las medidas: mmedten,mmedinyp,mmedinyq
% Medida_Ex. Sigma_intrum. Sigma_Conv. Sigma_Ruido Error_CAD Umbral_Act. Sigma_Comp.
mmedinyi=[
     0    0.000000    0.002500    0.002500    0.001117    0.044676    0.020000
     1    0.003379    0.002500    0.004203    0.001117    0.044676    0.020000
     2    0.005391    0.002500    0.005942    0.001117    0.044676    0.020000
     3    0.007500    0.002500    0.007906    0.001117    0.044676    0.020000
     4    0.010000    0.002500    0.010308    0.001117    0.044676    0.020000
];

```


4.2.2. Listado para las Medidas Ramales

```

% Formato para las medidas: mmedflujop,mmedfluji,mmedflujq
% Medida_Ex. Sigma_intrum. Sigma_Conv. Sigma_Ruido Error_CAD Umbral_Act. Sigma_Comp.
mmedflujop=[
-3  0.072345  0.001715  0.072365  0.000670  0.013409  0.010000
-2  0.032567  0.001715  0.032612  0.000670  0.013409  0.010000
 1  0.008693  0.001715  0.008861  0.000670  0.013409  0.010000
 2  0.032576  0.001715  0.032621  0.000670  0.013409  0.010000
 3  0.072352  0.001715  0.072372  0.000670  0.013409  0.010000
];

% Formato para las medidas: mmedflujop,mmedfluji,mmedflujq
% Medida_Ex. Sigma_intrum. Sigma_Conv. Sigma_Ruido Error_CAD Umbral_Act. Sigma_Comp.
mmedflujq=[
-3  0.072345  0.001715  0.072365  0.000670  0.013409  0.010000
-2  0.032567  0.001715  0.032612  0.000670  0.013409  0.010000
 1  0.008693  0.001715  0.008861  0.000670  0.013409  0.010000
 2  0.032576  0.001715  0.032621  0.000670  0.013409  0.010000
 3  0.072352  0.001715  0.072372  0.000670  0.013409  0.010000
];

% Formato para las medidas: mmedflujop,mmedfluji,mmedflujq
% Medida_Ex. Sigma_intrum. Sigma_Conv. Sigma_Ruido Error_CAD Umbral_Act. Sigma_Comp.
mmedfluji=[
0.0000  0.000000  0.002500  0.002500  0.000279  0.011169  0.010000
0.0572  0.000357  0.002500  0.002525  0.000279  0.011169  0.010000
0.2858  0.000938  0.002500  0.002670  0.000279  0.011169  0.010000
0.5716  0.001429  0.002500  0.002880  0.000279  0.011169  0.010000
0.6859  0.001715  0.002500  0.003032  0.000279  0.011169  0.010000
];

```

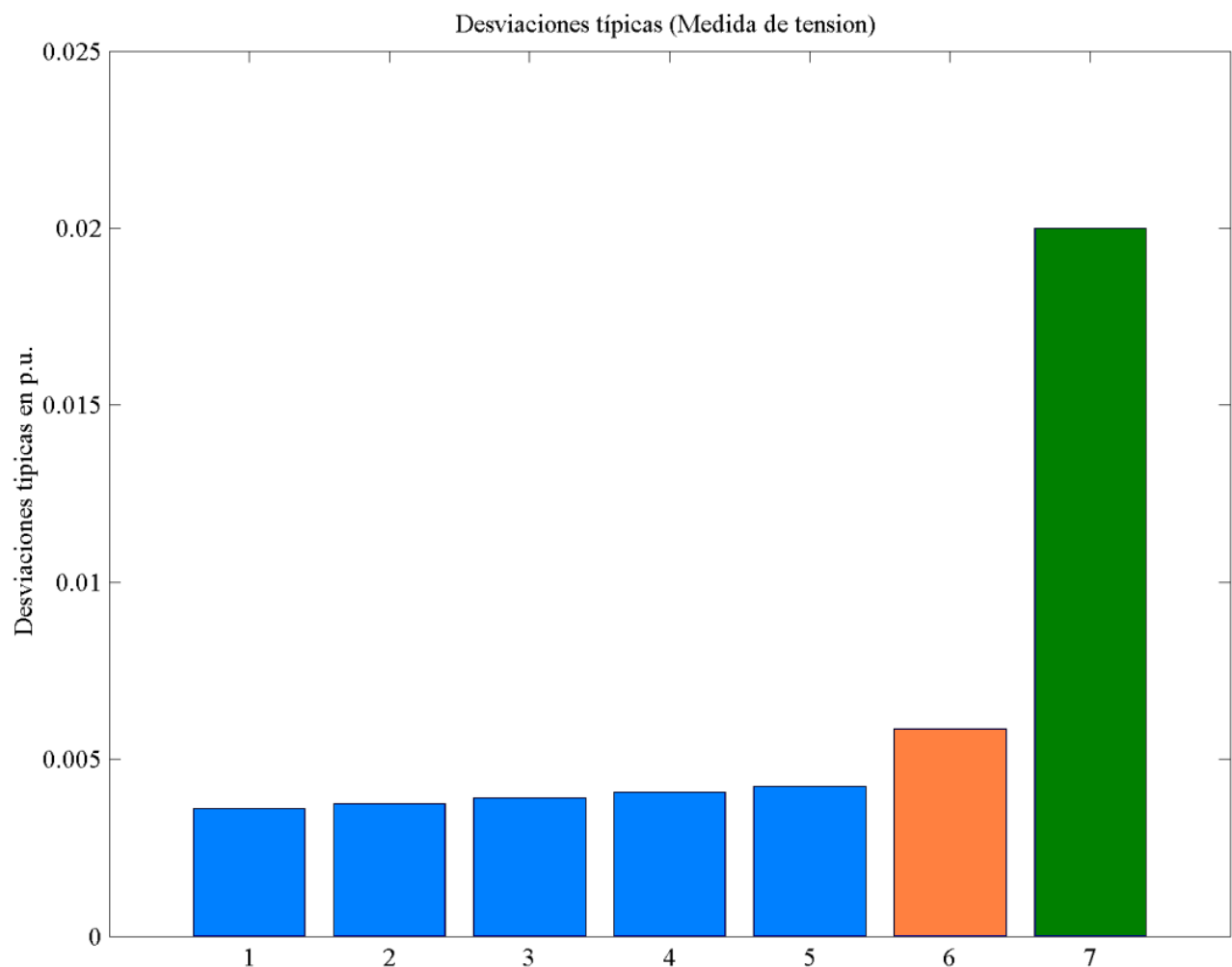
Como consecuencia inmediata de estos resultados se puede remarcar que el error producido por el convertidor analógico digital es despreciable con respecto a los demás errores asociados a las medidas, ya que su mayor valor es de 0.002682, por lo tanto una décima menor que los demás errores, de ruido, del umbral de actualización y el perteneciente a la compañía.

Para tener una mejor perspectiva del alcance de esta simulación se representarán en diagrama de barras los resultados obtenidos y se estudiarán uno a uno cada rango de medida.

4.2.3. Resultados para la Medida de Tensión

- En color azul se representan los valores de la desviación típica para el rango de valores de tensión;
 - Diagrama de Barra 1 equivale 0.8 pu de tensión.
 - Diagrama de Barra 2 equivale 0.9 pu de tensión.
 - Diagrama de Barra 3 equivale 1 pu de tensión.

- Diagrama de Barra 4 equivale 1.1 pu de tensión.
- Diagrama de Barra 5 equivale 1.2 pu de tensión.
- En color naranja se representa el valor correspondiente al umbral de actualización. Equivalente también a la representación 6.
- En color verde se representa el valor correspondiente a la desviación típica de la compañía. Equivalente también a la representación 7.

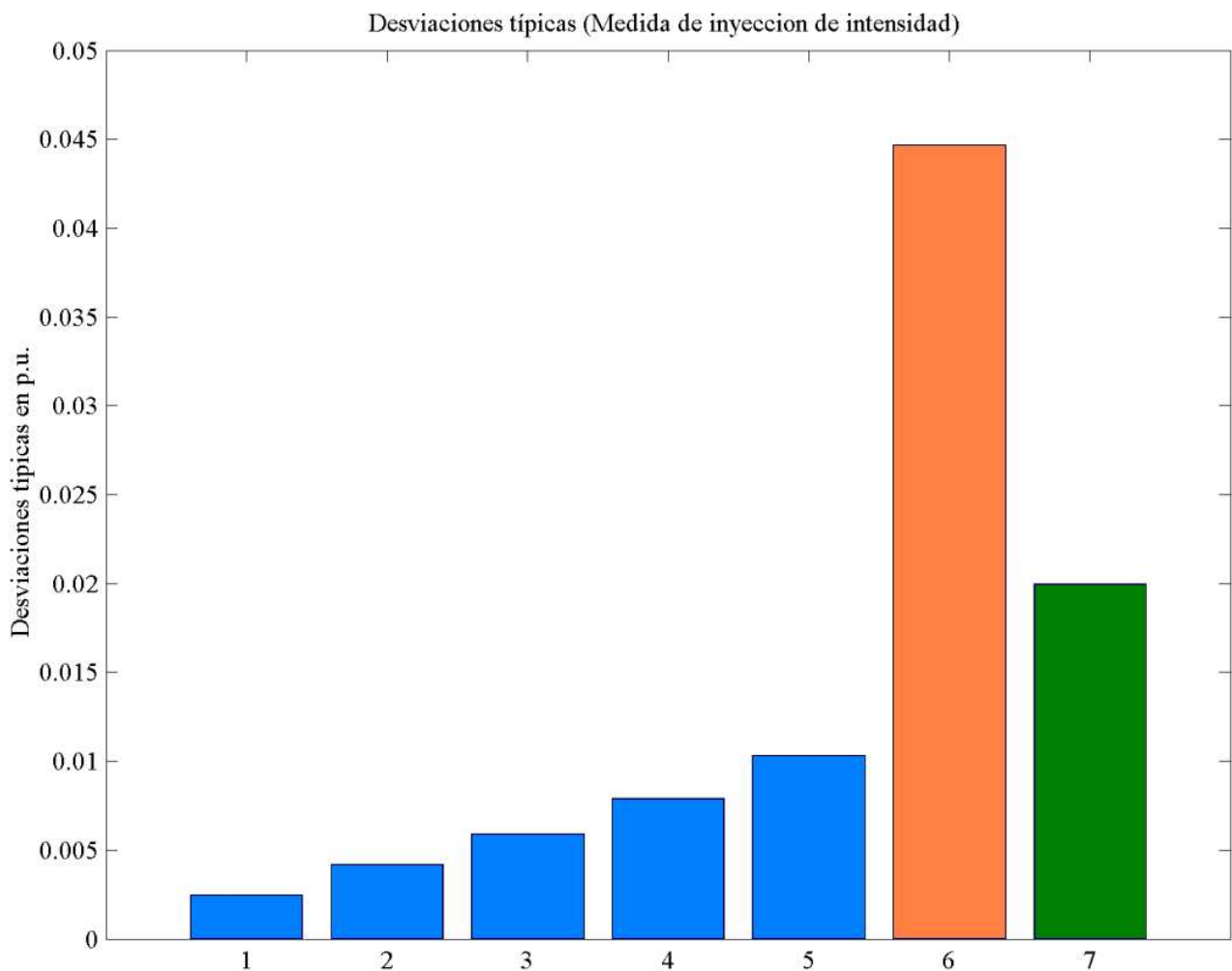


A la vista de estos resultados obtenidos para un rango de valores de tensión dados, se observa que el efecto provocado en la desviación típica del ruido es ligeramente creciente con el valor creciente de la tensión pero despreciable en su generalidad con respecto al error del umbral de actualización y en mayor medida con respecto a la desviación típica de la compañía.

Se distingue claramente que el valor de la desviación típica de la compañía de valor 0.02 es muy superior a las desviaciones provocadas por el ruido en las medidas del orden de 0.004 y al umbral de actualización del orden de 0.0055. Por lo que se concluye que las compañías están lejos de tener un buen ajuste de los pesos para las medidas de tensión.

4.2.4. Resultados para la Medida de Inyección de Intensidad

- En color azul representa los valores de la desviación típica para el rango de valores de inyección de intensidad;
 - Diagrama de Barra 1 equivale 0 pu de inyección de intensidad.
 - Diagrama de Barra 2 equivale 1 pu de inyección de intensidad.
 - Diagrama de Barra 3 equivale 2 pu de inyección de intensidad.
 - Diagrama de Barra 4 equivale 3 pu de inyección de intensidad.
 - Diagrama de Barra 5 equivale 4 pu de inyección de intensidad.
- En color naranja se representa el valor correspondiente al umbral de actualización. Equivalente también a la representación 6.
- En color verde se representa el valor correspondiente a la desviación típica de la compañía. Equivalente también a la representación 7.

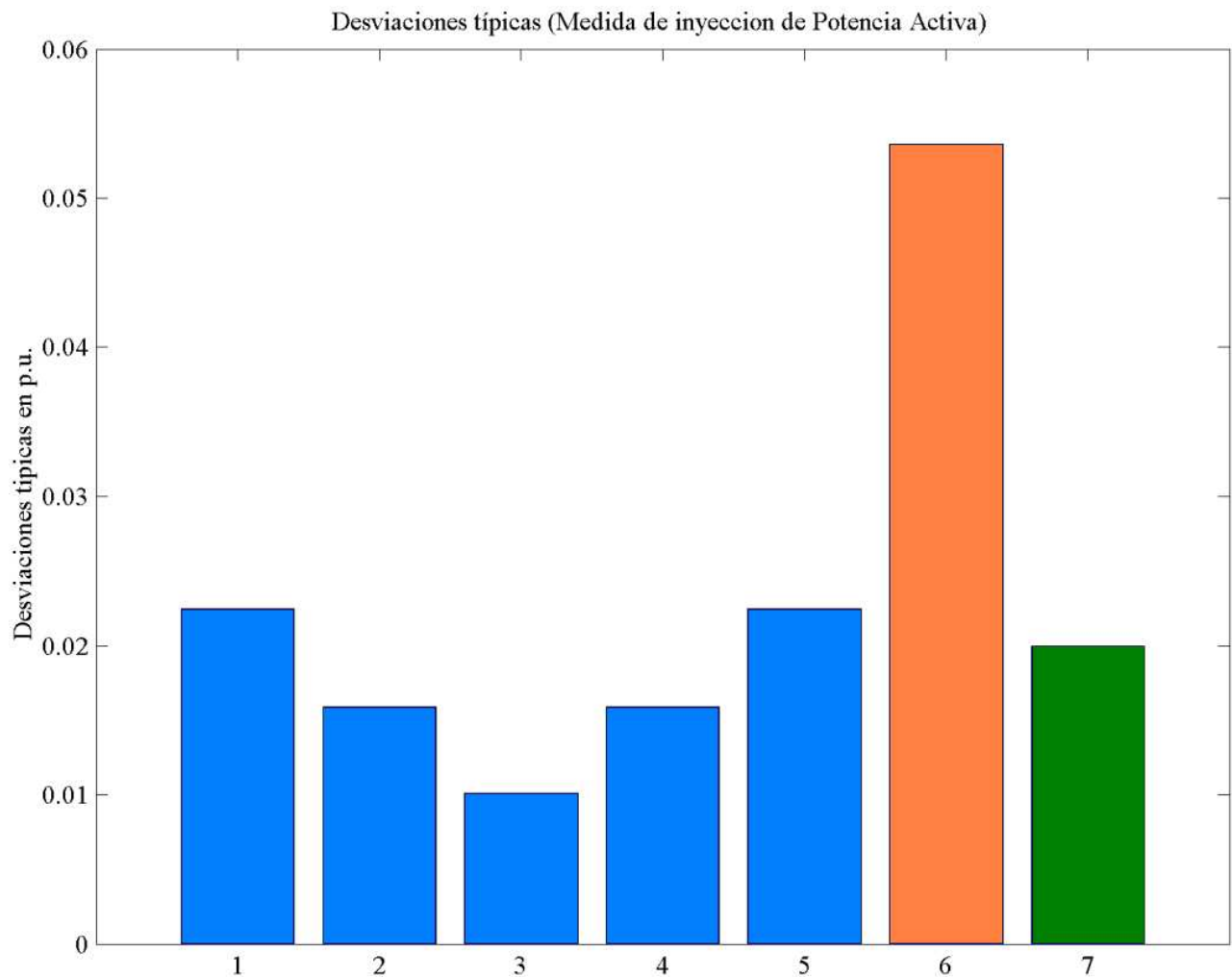


A la vista de estos resultados obtenidos para un rango de valores de inyección de intensidad dados, se observa que el efecto provocado en la desviación típica del ruido es creciente con el valor creciente de la inyección de intensidad. Se aprecia claramente que contra más nos alejamos de la inyección de intensidad en un nudo de valor entre 0 - 1 pu mayor es el error cometido por el efecto del ruido.

También podemos concluir que el valor de la desviación típica de la compañía es superior a las desviaciones asociadas al ruido en las medidas pero es muy inferior al umbral de actualización, con una diferencia de aproximadamente 0.025 pu. Es decir el umbral de actualización en este caso es el aproximadamente el doble que la desviación típica considerada por las compañías. Por lo que se concluye que las compañías deben hacer un mejor ajuste con el umbral de actualización, al ser este un parámetro controlable, en las medidas de inyección de intensidad al cometer claramente un mayor error que el que han considerado para la sintonización de los pesos.

4.2.5. Resultados para la Medida de Inyección de Potencia Activa

- En color azul representa los valores de la desviación típica para el rango de valores de inyección de potencia activa;
 - Diagrama de Barra 1 equivale -3 pu de inyección de potencia activa.
 - Diagrama de Barra 2 equivale -2 pu de inyección de potencia activa.
 - Diagrama de Barra 3 equivale 1 pu de inyección de potencia activa.
 - Diagrama de Barra 4 equivale 2 pu de inyección de potencia activa.
 - Diagrama de Barra 5 equivale 3 pu de inyección de potencia activa.
- En color naranja se representa el valor correspondiente al umbral de actualización. Equivalente también a la representación 6.
- En color verde se representa el valor correspondiente a la desviación típica de la compañía. Equivalente también a la representación 7.

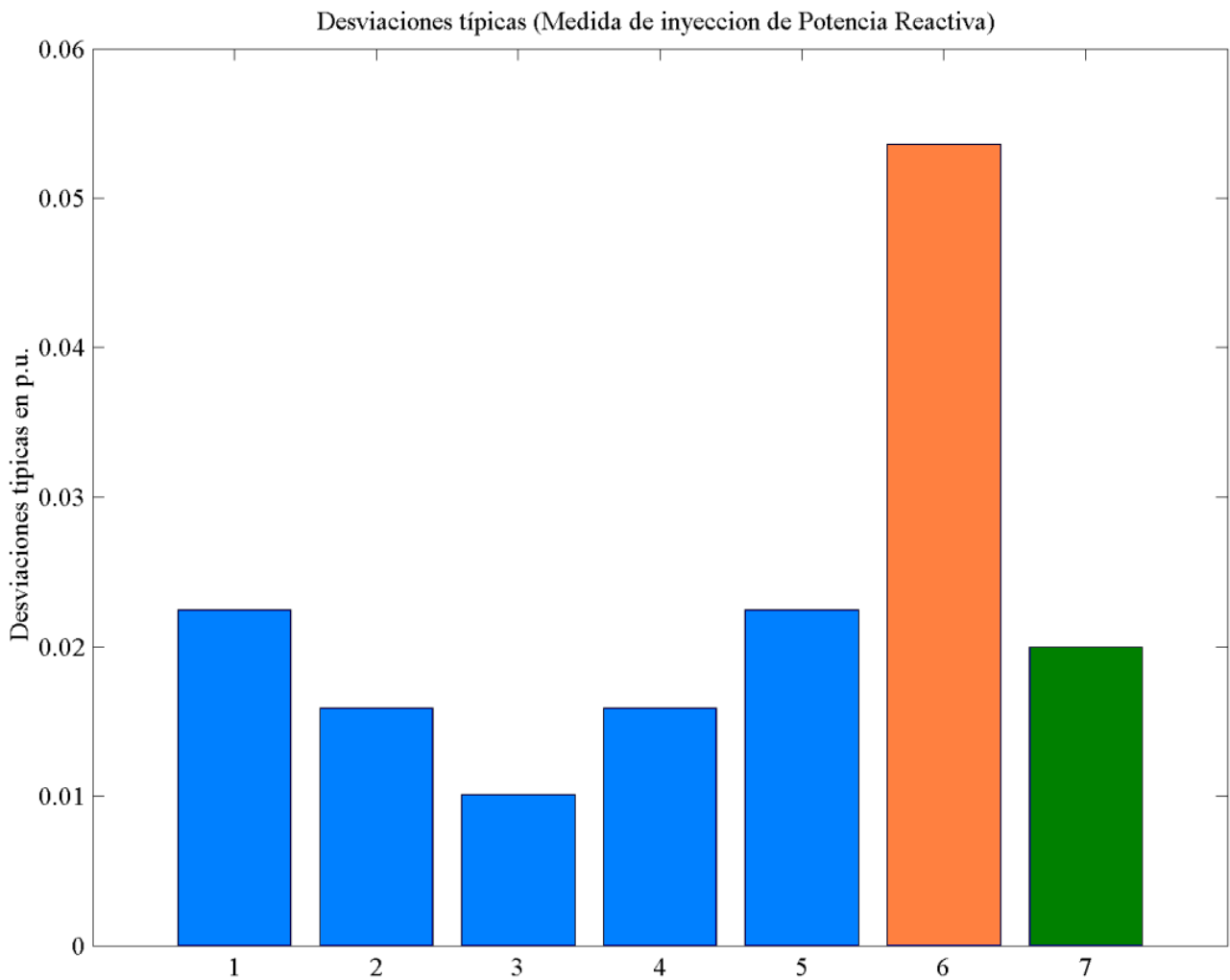


A la vista de estos resultados obtenidos para un rango de valores de inyección de potencia activa dados, se observa que el efecto provocado en la desviación típica del ruido es creciente con el valor creciente de la inyección de potencia activa. Se aprecia claramente que contra más nos alejemos de la inyección de intensidad en un nudo de valor entre 1 pu mayor es el error cometido por el efecto del ruido.

También podemos concluir que el valor de la desviación típica de la compañía es superior a las desviaciones provocadas por el ruido, siempre que oscilen las inyecciones de potencia en un rango óptimo, en las medidas pero es muy inferior al umbral de actualización, con una diferencia de aproximadamente 0.035 pu. Es decir el umbral de actualización es superior a la desviación típica considerada por las compañías. Por lo que se concluye que las compañías deben controlar el parámetro del umbral de actualización y de desarrollar un estudio que les permita tener en cuenta estos errores en la desviación típica para estas medidas de inyección de potencia activa.

4.2.6. Resultados para la Medida de Inyección de Potencia Reactiva

- En color azul representa los valores de la desviación típica para el rango de valores de inyección de potencia reactiva;
 - Diagrama de Barra 1 equivale -3 pu de inyección de potencia reactiva.
 - Diagrama de Barra 2 equivale -2 pu de inyección de potencia reactiva.
 - Diagrama de Barra 3 equivale 1 pu de inyección de potencia reactiva.
 - Diagrama de Barra 4 equivale 2 pu de inyección de potencia reactiva.
 - Diagrama de Barra 5 equivale 3 pu de inyección de potencia reactiva.
- En color naranja se representa el valor correspondiente al umbral de actualización. Equivalente también a la representación 6.
- En color verde se representa el valor correspondiente a la desviación típica de la compañía. Equivalente también a la representación 7.

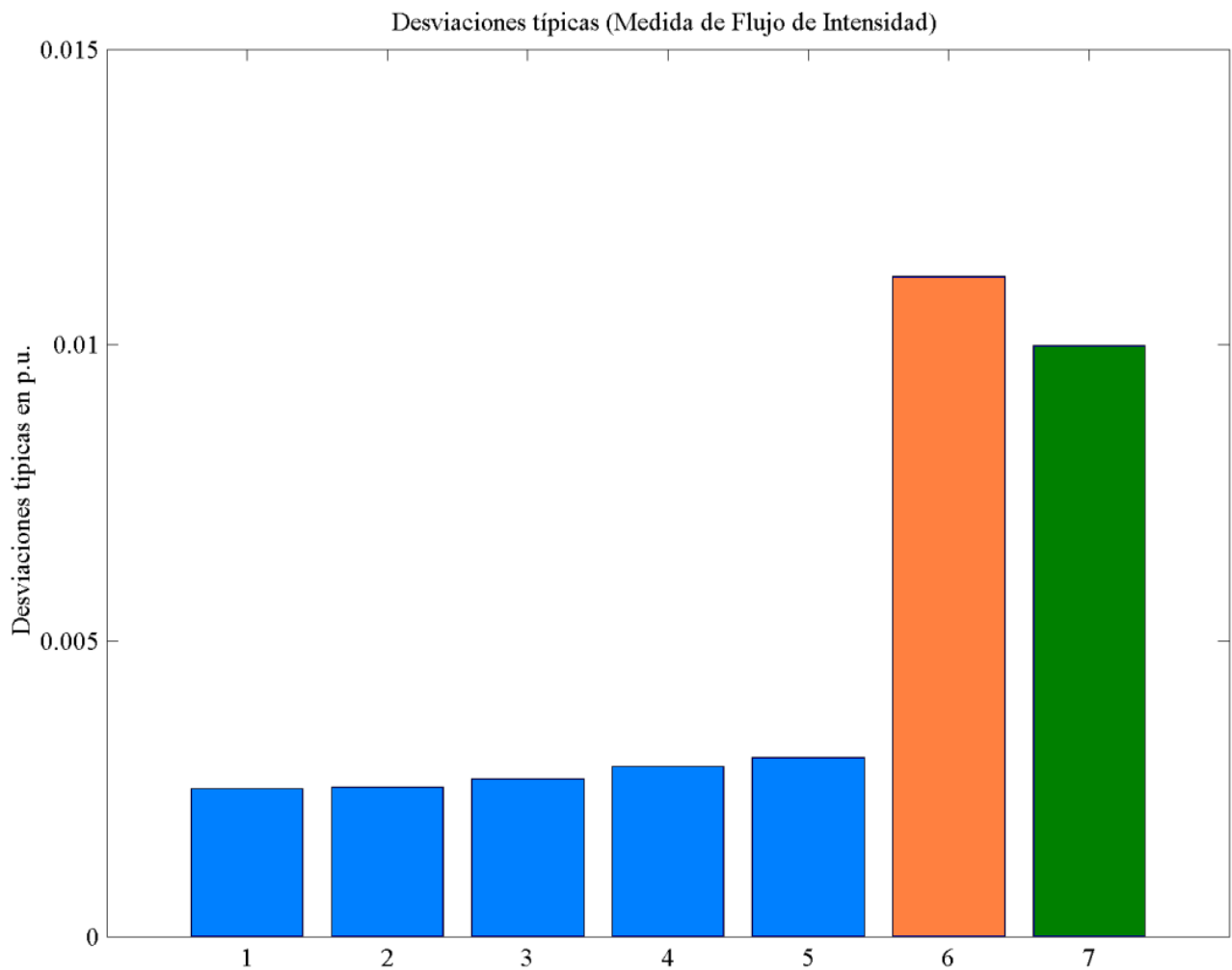


A la vista de estos resultados obtenidos para un rango de valores de inyección de potencia reactiva dados, se observa que el efecto provocado en la desviación típica del ruido es creciente con el valor creciente de la inyección de potencia reactiva. Se aprecia claramente que contra más nos alejemos de la inyección de intensidad en un nudo de valor entre 1 pu mayor es el error cometido por el efecto del ruido.

También podemos concluir que el valor de la desviación típica de la compañía es superior a las desviaciones provocadas por el ruido, siempre que oscilen las inyecciones de potencia reactiva en un rango óptimo, en las medidas pero es muy inferior al umbral de actualización, con una diferencia de aproximadamente 0.035 pu. Es decir el umbral de actualización es superior a la desviación típica considerada por las compañías. Por lo que se concluye que las compañías deben controlar el parámetro del umbral de actualización y de desarrollar un estudio que les permita tener en cuenta estos errores en la desviación típica para estas medidas de inyección de potencia reactiva.

4.2.7. Resultados para la Medida de Flujo de Intensidad

- En color azul representa los valores de la desviación típica para el rango de valores de medida de flujo de intensidad;
 - Diagrama de Barra 1 equivale 0 pu de medida de flujo de intensidad.
 - Diagrama de Barra 2 equivale 0.1 pu de medida de flujo de intensidad.
 - Diagrama de Barra 3 equivale 0.5 pu de medida de flujo de intensidad.
 - Diagrama de Barra 4 equivale 1 pu de medida de flujo de intensidad.
 - Diagrama de Barra 5 equivale 1.2 pu de medida de flujo de intensidad.
- En color naranja se representa el valor correspondiente al umbral de actualización. Equivalente también a la representación 6.
- En color verde se representa el valor correspondiente a la desviación típica de la compañía. Equivalente también a la representación 7.



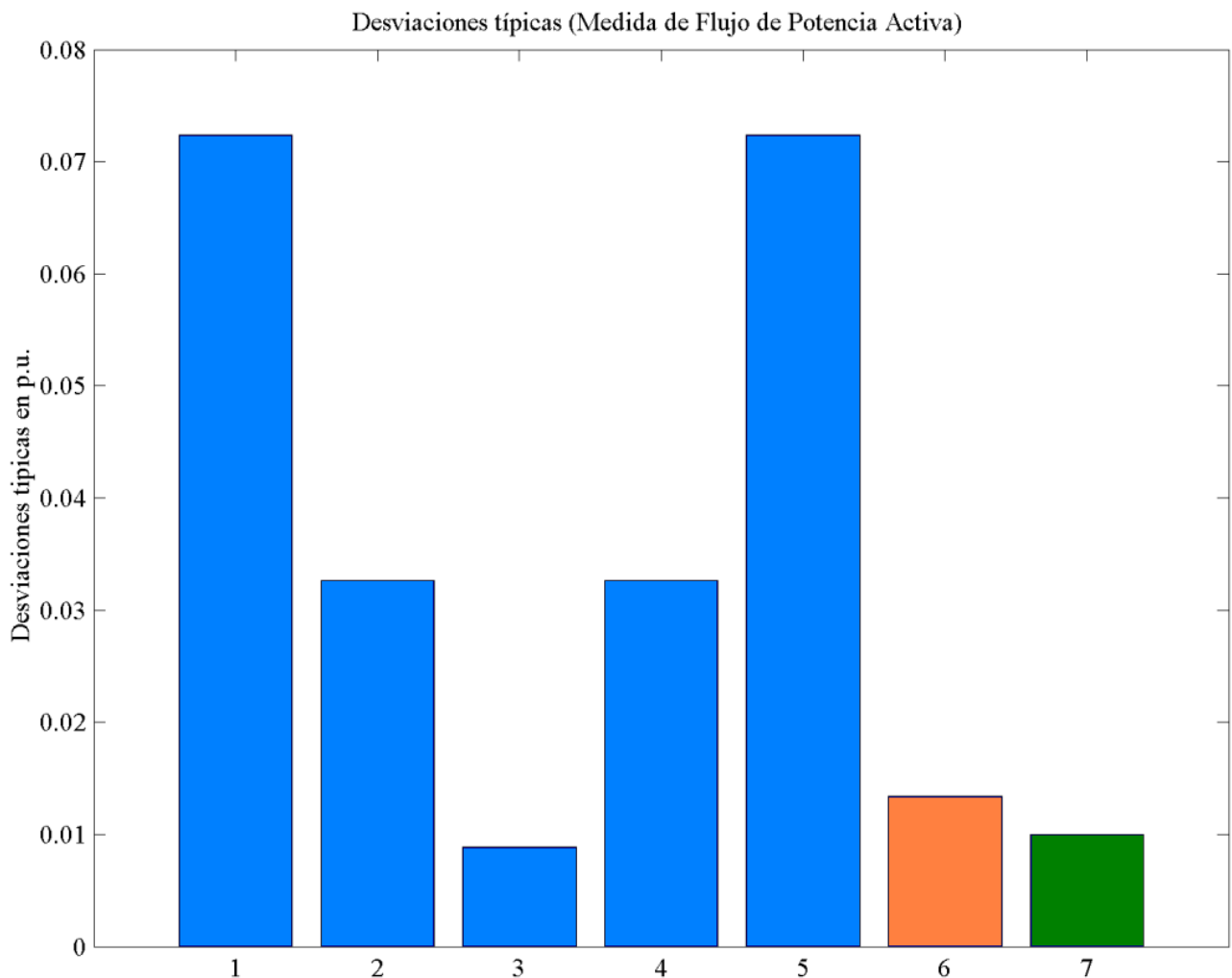
A la vista de estos resultados obtenidos para un rango de valores de medida de flujo de intensidad dados, se observa que el efecto provocado en la desviación típica del ruido es creciente con el valor creciente de la medida de flujo de intensidad. La desviación típica de ruido es despreciable con respecto al umbral de actualización y a la desviación típica de la compañía.

Los errores para la medida de flujo de intensidad son de orden menor, al ser el ajuste de la escala menor en esta representación, que en las anteriores medidas estudiadas. Con lo cual las medidas de flujo de intensidad en las ramas deben ser más precisas.

4.2.8. Resultados para la Medida de Flujo de Potencia Activa

- En color azul representa los valores de la desviación típica para el rango de valores de medida de flujo de potencia activa;
 - Diagrama de Barra 1 equivale -3 pu de medida de flujo de potencia activa.

- Diagrama de Barra 2 equivale -2 pu de medida de flujo de potencia activa.
- Diagrama de Barra 3 equivale 1 pu de medida de flujo de potencia activa.
- Diagrama de Barra 4 equivale 2 pu de medida de flujo de potencia activa.
- Diagrama de Barra 5 equivale 3 pu de medida de flujo de potencia activa.
- En color naranja se representa el valor correspondiente al umbral de actualización. Equivalente también a la representación 6.
- En color verde se representa el valor correspondiente a la desviación típica de la compañía. Equivalente también a la representación 7.



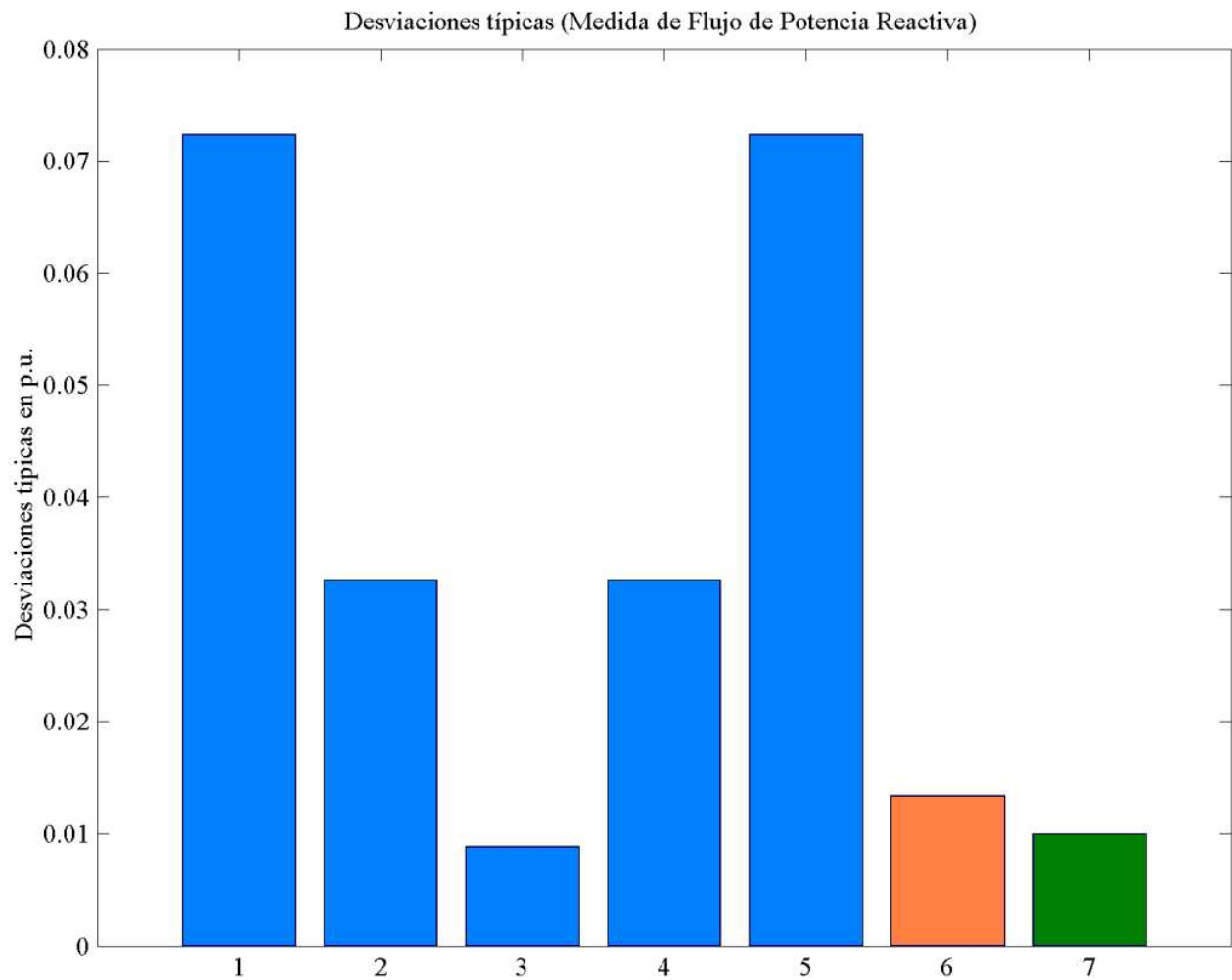
A la vista de estos resultados obtenidos para un rango de valores de medida de flujo de potencia activa dados, se observa que el efecto provocado en la desviación típica del ruido es creciente con el

valor creciente en valor absoluto, de la medida de flujo de potencia activa. Estamos hablando de al menos 0.02 pu cuando el valor de la medida de flujo de la potencia activa se desvía en 1 pu de su valor nominal. La desviación típica de ruido juega un papel fundamental con respecto al umbral de actualización y a la desviación típica de la compañía.

Este estudio exigiría a la compañía hacer un estudio más profundo de los factores que se ven envueltos en estos cálculos.

4.2.9. Resultados para la Medida de Flujo de Potencia Reactiva

- En color azul representa los valores de la desviación típica para el rango de valores de medida de flujo de potencia reactiva;
 - Diagrama de Barra 1 equivale -3 pu de medida de flujo de potencia reactiva.
 - Diagrama de Barra 2 equivale -2 pu de medida de flujo de potencia reactiva.
 - Diagrama de Barra 3 equivale 1 pu de medida de flujo de potencia reactiva.
 - Diagrama de Barra 4 equivale 2 pu de medida de flujo de potencia reactiva.
 - Diagrama de Barra 5 equivale 3 pu de medida de flujo de potencia reactiva.
- En color naranja se representa el valor correspondiente al umbral de actualización. Equivalente también a la representación 6.
- En color verde se representa el valor correspondiente a la desviación típica de la compañía. Equivalente también a la representación 7.



A la vista de estos resultados obtenidos para un rango de valores de medida de flujo de potencia reactiva dados, se observa que el efecto provocado en la desviación típica del ruido es creciente con el valor creciente en valor absoluto, de la medida de flujo de potencia reactiva. Estamos hablando de al menos 0.02 pu cuando el valor de la medida de flujo de la potencia activa se desvía en 1 pu de su valor nominal. La desviación típica de ruido juega un papel fundamental con respecto al umbral de actualización y a la desviación típica de la compañía.

Este estudio exigiría a la compañía hacer un estudio más profundo de los factores que se ven envueltos en estos cálculos.

4.3. Análisis Dinámico

Este estudio se centra fundamentalmente en la influencia del error introducido por el umbral de actualización debido a su carácter de importancia reflejado en la anterior simulación y por la posibilidad de control por parte de las compañías.

La simulación se lleva a cabo con medidas exactas, es decir sin introducir ruidos en las medidas y los intervalos de tiempo considerados serán cada 10 minutos. Este análisis se dividirá en varias partes con el fin de obtener una más clara exposición de los resultados obtenidos.

4.3.1. Variación del Umbral de Actualización

En este análisis veremos la influencia del umbral de actualización como consecuencia de la variación en el número de actualizaciones a lo largo de las 24 horas, el mayor error entre el valor exacto y el valor enviado al centro de control y la hora máxima cuando se produce el mayor error en las distintas medidas disponibles.

Esta simulación se llevará a cabo para los valores del Umbral de Actualización de Referencia, para valores un 50% Inferior y un 50% Superior.

Los valores del Umbral de Actualización de Referencia tomados están en el Apartado 5.3 del Capítulo 3. Descripción Técnica del Programa.

4.3.1.1. Umbral de Actualización de Referencia

A continuación se muestran el listado con la variación del número de actualizaciones a lo largo de las 24 horas, del mayor error entre el valor exacto y el valor enviado al centro de control y la hora máxima cuando se produce el mayor error, para los valores de Referencia del Umbral de Actualización.

Donde;

- Número de Cuenta Máxima para la Intensidad (umI)
 - 40 cuentas.
- Número de Cuenta Máxima para la Potencia Activa y Reactiva (umPQ)
 - 20 cuentas.
- Número de Cuenta Máxima para la Tensión (umV)
 - 10 cuentas

```

% Formato para las medidas: mmedten,mmedinyp,mmedinyq
% Nudo Tension Medida_exacta Actualizaciones Error_h_max Hora_error_h_max Minuto_error_h_max
mmedten=[
  1      132    1.060000          1    0.000479          0          0
  2      132    1.045000          1    0.000823          0          0
  3      132    1.010000          1    0.000650          0          0
  4      132    1.007800         10    0.006664          8          0
  5      132    1.012400          5    0.006645          8         30
  6       33    1.070000          1    0.000445          0          0
  7       33    1.052000          7    0.006737         10         30
  8       33    1.090000          1    0.000376          0          0
  9       33    1.041900         11    0.006609         10          0
 10       33    1.039700          9    0.006692         10         40
 11       33    1.049800          7    0.006261          7         30
 12       33    1.057300          3    0.006134          7          0
 13       33    1.049900          5    0.006561          7          0
 14       33    1.017700         13    0.006651         11         30
  1      132    1.060000          1    0.000479          0          0
  2      132    1.045000          1    0.000823          0          0
  3      132    1.010000          1    0.000650          0          0
  4      132    1.007800         10    0.006664          8          0
  5      132    1.012400          5    0.006645          8         30
  6       33    1.070000          1    0.000445          0          0
  7       33    1.052000          7    0.006737         10         30
  8       33    1.090000          1    0.000376          0          0
  9       33    1.041900         11    0.006609         10          0
 10       33    1.039700          9    0.006692         10         40
 11       33    1.049800          7    0.006261          7         30
 12       33    1.057300          3    0.006134          7          0
 13       33    1.049900          5    0.006561          7          0
 14       33    1.017700         13    0.006651         11         30
];

% Formato para las medidas: mmedten,mmedinyp,mmedinyq
% Nudo Tension Medida_exacta Actualizaciones Error_h_max Hora_error_h_max Minuto_error_h_max
mmedinyp=[
  1      132    2.000470          43    0.048426         22         20
  2      132    0.213933          21    0.033853         13          0
  3      132   -0.657072          21    0.054992          5         40
  4      132   -0.280010          70    0.012480          3         10
  5      132   -0.098810          48    0.002200         18         30
];

```

```
% Formato para las medidas: mmedten,mmedinyp,mmedinyq
% Nudo Tension Medida_exacta Actualizaciones Error_h_max Hora_error_h_max Minuto_error_h_max
mmedinyq=[
  1      132   -0.065636         7   0.048426         19         50
  2      132    0.336204        25   0.033853         23          0
  3      132   -0.004181        12   0.054992         23         30
  4      132   -0.159416        39   0.012480         13         20
  5      132   -0.045222        39   0.002200         16         50
];

% Formato para las medidas: mmedten,mmedinyp,mmedinyq
% Nudo Tension Medida_exacta Actualizaciones Error_h_max Hora_error_h_max Minuto_error_h_max
mmedinyi=[
  1      132    1.888251         44   0.044714         23          0
  2      132    0.381337         29   0.027438         15         10
  3      132    0.650579         30   0.045854         23         40
  4      132    0.319716         76   0.010899         21         40
  5      132    0.107336         54   0.001828          0         30
  6       33    0.169881         26   0.022610         21         20
  7       33    0.000957         90   0.000116         12         30
  8       33    0.215725         11   0.022451         22          0
  9       33    0.458793         60   0.006754         20         10
 10       33    0.108276        117   0.001376         15         20
 11       33    0.051018         83   0.000796         18          0
 12       33    0.033647         61   0.001261          3          0
 13       33    0.096262         74   0.003312         17         10
 14       33    0.198574         64   0.003453         19         20
];
```



```

% Formato para las medidas: mmedflujop,mmedfluji,mmedflujq
% Nudo_O Nudo_D Tension Medida_exacta Actualizaciones Error_h_max Hora_error_h_max Minuto_error_h_max
mmedflujop=[
  1      2      132      1.320868      71      0.014130      22      20
  1      5      132      0.679602      48      0.017040      13      30
  2      3      132      0.571458      76      0.011196      19      50
  2      4      132      0.521652      50      0.011081      23      0
  2      5      132      0.411371      40      0.011394      23      40
  3      4      132      -0.099927      55      0.008542      22      20
  4      5      132      -0.468589      39      0.023055      10      40
  4      7      132      0.378666      29      0.011453      23      30
  4      9      132      0.216059      30      0.005584      14      50
  5      6      132      0.488804      36      0.013357      16      50
  6      11     33      0.119752      32      0.007062      4       10
  6      12     33      0.060807      24      0.005570      12      50
  6      13     33      0.167097      34      0.008482      20      50
  7      8      33      0.000000      1       0.000000      0       0
  7      9      33      0.378634      25      0.013068      6       50
  9      10     33      0.036060      32      0.005366      1       30
  9      14     33      0.080631      23      0.008598      13      10
  10     11     33      -0.069972     22      0.005557      7       30
  12     13     33      0.028178     19      0.005438      1       50
  13     14     33      0.098465     22      0.005498     17      0
  2      1      132     -1.290549     69      0.013419      5       50
  5      1      132     -0.656851     44      0.016923      4       20
  3      2      132     -0.557145     74      0.011309      1       30
  4      2      132     -0.506915     50      0.010418     17      50
  5      2      132     -0.402264     39      0.011422      8       50
  4      3      132      0.100770     57      0.008508     20      10
  5      4      132      0.471500     42      0.022930     20      30
  7      4      33      -0.378666     30      0.010263     12      40
  9      4      33      -0.216059     30      0.005568     10      50
  6      5      33      -0.488804     36      0.014209     12      0
  11     6      33      -0.118336     31      0.006973     19      20
  12     6      33      -0.060348     24      0.005646      6       30
  13     6      33      -0.165103     34      0.007880      7       20
  8      7      33      0.000000      1       0.000000      0       0
  9      7      33      -0.378634     23      0.013357     11      30
  10     9      33      -0.036016     32      0.005762     15      40
  14     9      33      -0.079506     23      0.008451     14      40
  11     10     33      0.070389     22      0.005760     21      0
  13     12     33      -0.028008     18      0.005550     22      0
  14     13     33      -0.096579     22      0.005687     21      30
];

```

```

% Formato para las medidas: mmedflujop,mmedfluji,mmedflujq
% Nudo_O Nudo_D Tension Medida_exacta Actualizaciones Error_h_max Hora_error_h_max Minuto_error_h_max
mmedflujq=[
  1      2      132  -0.144223      27  0.013941      5      10
  1      5      132  0.078587      4  0.017156      24      0
  2      3      132  0.053949      10  0.011344      11      0
  2      4      132  0.048993      20  0.011220      23      0
  2      5      132  0.054962      9  0.011432      3      10
  3      4      132  0.035723      53  0.008492      5      30
  4      5      132  0.036766      14  0.020417      3      20
  4      7      132  -0.092242      20  0.011180      18      10
  4      9      132  0.008541      19  0.005673      15      0
  5      6      132  0.096087      8  0.013013      7      20
  6      11      33  0.052278      25  0.006814      13      50
  6      12      33  0.024179      16  0.005684      20      50
  6      13      33  0.081164      23  0.007818      12      0
  7      8      33  -0.226943      13  0.016994      10      30
  7      9      33  0.103781      17  0.014224      15      30
  9      10      33  0.013589      15  0.005715      8      20
  9      14      33  0.055726      7  0.008648      12      10
 10     11      33  -0.024470      17  0.005583      6      0
 12     13      33  0.008033      5  0.005488      4      20
 13     14      33  0.049673      16  0.005741      22      30
  2      1      132  0.178299      44  0.013960      21      20
  5      1      132  -0.037520      8  0.016687      23      10
  3      2      132  -0.039904      31  0.011467      15      10
  4      2      132  -0.043692      14  0.010651      13      40
  5      2      132  -0.063145      3  0.010839      11      20
  4      3      132  -0.068789      51  0.008495      8      10
  5      4      132  -0.040645      14  0.019847      3      40
  7      4      33  0.122156      22  0.010576      23      10
  9      4      33  0.015499      13  0.005725      5      40
  6      5      33  -0.043084      16  0.014047      1      50
];

```

```

% Formato para las medidas: mmedflujop,mmedfluji,mmedflujq
% Nudo_O Nudo_D Tension Medida_exacta Actualizaciones Error_h_max Hora_error_h_max Minuto_error_h_max
mmedfluji=[
  1     2     132     1.253508         79     0.010705         17         50
  1     5     132     0.645407         48     0.013273          3         10
  2     3     132     0.549281         84     0.008980         22          0
  2     4     132     0.501386         57     0.009082         21          0
  2     5     132     0.397155         48     0.008951         15         40
  3     4     132     0.105069         59     0.006926         18         20
  4     5     132     0.466392         49     0.018035         23         20
  4     7     132     0.386723         39     0.009202         21         50
  4     9     132     0.214554         37     0.004380         16          0
  5     6     132     0.492057         40     0.010894         21         30
  6    11     33     0.122118         37     0.005637          1         40
  6    12     33     0.061157         24     0.004510         10         10
  6    13     33     0.173613         44     0.006771         18         50
  7     8     33     0.215725         18     0.013872         15          0
  7     9     33     0.373194         33     0.010964          9         40
  9    10     33     0.036986         33     0.004632          8          0
  9    14     33     0.094072         22     0.006783         11         50
 10    11     33     0.071296         29     0.004457          4         10
 12    13     33     0.027713         19     0.004555         19         30
 13    14     33     0.105043         31     0.004359          8         50
  2     1     132     1.246705         79     0.010730         17         40
  5     1     132     0.649863         48     0.013443          3         10
  3     2     132     0.553042         83     0.009211         21          0
  4     2     132     0.504857         57     0.008993         20         50
  5     2     132     0.402203         48     0.008925         13          0
  4     3     132     0.121066         68     0.006906         22         10
  5     4     132     0.467452         49     0.018049          5         50
  7     4     33     0.378215         39     0.008164         14         40
  9     4     33     0.207903         37     0.004384         14         20
  6     5     33     0.458598         39     0.011292         17         10
 11     6     33     0.122118         37     0.005637          1         40
 12     6     33     0.061157         24     0.004510         10         10
 13     6     33     0.173613         44     0.006771         18         50
  8     7     33     0.215725         18     0.013872         15          0
  9     7     33     0.373194         33     0.010964          9         40
 10     9     33     0.036986         33     0.004632          8          0
 14     9     33     0.094072         22     0.006783         11         50
 11    10     33     0.071296         29     0.004457          4         10
 13    12     33     0.027713         19     0.004555         19         30
 14    13     33     0.105043         31     0.004359          8         50
];

```

4.3.1.2. Umbral de Actualización un 50% Inferior

A continuación se muestran el listado con la variación en el número de actualizaciones a lo largo de las 24 horas, el mayor error entre el valor exacto y el valor enviado al centro de control y la hora máxima cuando se produce el mayor error, para los valores un 50% Inferior del Umbral de Actualización.

- Número de Cuenta Máxima para la Intensidad (umI)
 - 20 cuentas.
- Número de Cuenta Máxima para la Potencia Activa y Reactiva (umPQ)

- 10 cuentas.
- Número de Cuenta Máxima para la Tensión (umV)
 - 5 cuentas.

```

% Formato para las medidas: mmedten,mmedinyp,mmedinyq
% Nudo Tension Medida_exacta Actualizaciones Error_h_max Hora_error_h_max Minuto_error_h_max
mmedten=[
  1      132      1.060000           1      0.000479           0           0
  2      132      1.045000           1      0.000823           0           0
  3      132      1.010000           1      0.000650           0           0
  4      132      1.007800          18      0.003727          11          10
  5      132      1.012400          11      0.003750           7          50
  6       33      1.070000           1      0.000445           0           0
  7       33      1.052000          13      0.003753          10          50
  8       33      1.090000           1      0.000376           0           0
  9       33      1.041900          20      0.003740           7          10
 10       33      1.039700          21      0.003724          10          50
 11       33      1.049800          14      0.003702          12          30
 12       33      1.057300           5      0.003203           7           0
 13       33      1.049900          11      0.003440           8           0
 14       33      1.017700          25      0.003720          11          30
 1      132      1.060000           1      0.000479           0           0
 2      132      1.045000           1      0.000823           0           0
 3      132      1.010000           1      0.000650           0           0
 4      132      1.007800          18      0.003727          11          10
 5      132      1.012400          11      0.003750           7          50
 6       33      1.070000           1      0.000445           0           0
 7       33      1.052000          13      0.003753          10          50
 8       33      1.090000           1      0.000376           0           0
 9       33      1.041900          20      0.003740           7          10
 10       33      1.039700          21      0.003724          10          50
 11       33      1.049800          14      0.003702          12          30
 12       33      1.057300           5      0.003203           7           0
 13       33      1.049900          11      0.003440           8           0
 14       33      1.017700          25      0.003720          11          30
];

% Formato para las medidas: mmedten,mmedinyp,mmedinyq
% Nudo Tension Medida_exacta Actualizaciones Error_h_max Hora_error_h_max Minuto_error_h_max
mmedinyp=[
  1      132      2.000470           60      0.030396           13          10
  2      132      0.213933           44      0.018421           13          50
  3      132     -0.657072           46      0.028265           2          40
  4      132     -0.280010           97      0.007577           17          10
  5      132     -0.098810           57      0.001146           17          10
];

```

```

% Formato para las medidas: mmedten,mmedinyp,mmedinyq
% Nudo Tension Medida_exacta Actualizaciones Error_h_max Hora_error_h_max Minuto_error_h_max
mmedinyq=[
  1      132  -0.065636          12  0.030396          7      40
  2      132  0.336204          48  0.018421          3      50
  3      132  -0.004181          27  0.028265          14     40
  4      132  -0.159416          59  0.007577          8      40
  5      132  -0.045222          61  0.001146          6      30
];

% Formato para las medidas: mmedten,mmedinyp,mmedinyq
% Nudo Tension Medida_exacta Actualizaciones Error_h_max Hora_error_h_max Minuto_error_h_max
mmedinyi=[
  1      132  1.888251          62  0.022761          22     20
  2      132  0.381337          58  0.014342          13     40
  3      132  0.650579          53  0.023512          23     30
  4      132  0.319716          98  0.005693          16      0
  5      132  0.107336          75  0.000904          2      30
  6       33  0.169881          45  0.011019          20     50
  7       33  0.000957          114 0.000057          13     20
  8       33  0.215725          21  0.011939          23     30
  9       33  0.458793          86  0.003587          23     20
 10       33  0.108276          135 0.000709          15     50
 11       33  0.051018          112 0.000402           4     30
 12       33  0.033647           63 0.000700           6     40
 13       33  0.096262          113 0.001750          21     50
 14       33  0.198574           84 0.001708          11     50
];

```

```

% Formato para las medidas: mmedflujop,mmedfluji,mmedflujq
% Nudo_O Nudo_D Tension Medida_exacta Actualizaciones Error_h_max Hora_error_h_max Minuto_error_h_max
mmedflujop=[
  1      2      132      1.320868      95      0.006032      3      0
  1      5      132      0.679602      67      0.008954      13      0
  2      3      132      0.571458      107     0.005784      14      40
  2      4      132      0.521652      76      0.005598      15      40
  2      5      132      0.411371      68      0.005729      16      0
  3      4      132     -0.099927      86      0.004556      22      10
  4      5      132     -0.468589      62      0.011243      10      20
  4      7      132      0.378666      47      0.006010      23      20
  4      9      132      0.216059      51      0.002891      4       0
  5      6      132      0.488804      65      0.007525      21      30
  6      11     33      0.119752      55      0.003816      21      30
  6      12     33      0.060807      35      0.003074      1       40
  6      13     33      0.167097      56      0.004581      19      20
  7      8      33      0.000000      1       0.000000      0       0
  7      9      33      0.378634      48      0.007361      16      50
  9      10     33      0.036060      58      0.003027      3       40
  9      14     33      0.080631      39      0.004617      12      50
 10     11     33     -0.069972      42      0.002924      13      50
 12     13     33      0.028178      37      0.002979      13      10
 13     14     33      0.098465      48      0.002903      22      30
  2      1      132     -1.290549      91      0.006973      5       10
  5      1      132     -0.656851      64      0.009104      17      50
  3      2      132     -0.557145      104     0.005850      11      20
  4      2      132     -0.506915      70      0.006028      10      20
  5      2      132     -0.402264      65      0.006069      2       30
  4      3      132      0.100770      86      0.004558      23      10
  5      4      132      0.471500      63      0.012288      5       20
  7      4      33     -0.378666      51      0.005737      12      40
  9      4      33     -0.216059      51      0.003023      11      50
  6      5      33     -0.488804      65      0.007422      12      40
 11     6      33     -0.118336      55      0.003621      19      20
 12     6      33     -0.060348      34      0.002965      6       30
 13     6      33     -0.165103      57      0.004620      2       50
  8      7      33      0.000000      1       0.000000      0       0
  9      7      33     -0.378634      46      0.006969      21      30
 10     9      33     -0.036016      58      0.002838      9       40
 14     9      33     -0.079506      38      0.004461      21      50
 11     10     33      0.070389      41      0.003046      1       10
 13     12     33     -0.028008      37      0.002666      14      50
 14     13     33     -0.096579      45      0.003038      19      0
];

```

```

% Formato para las medidas: mmedflujop,mmedfluji,mmedflujq
% Nudo_O Nudo_D Tension Medida_exacta Actualizaciones Error_h_max Hora_error_h_max Minuto_error_h_max
mmedflujq=[
  1      2      132  -0.144223      50  0.007579      1      50
  1      5      132   0.078587      11  0.009139     21     10
  2      3      132   0.053949     21  0.005913      1     30
  2      4      132   0.048993     35  0.005731     22      0
  2      5      132   0.054962     17  0.006095      4      0
  3      4      132   0.035723     78  0.004321     15     20
  4      5      132   0.036766     16  0.011466      3     30
  4      7      132  -0.092242     28  0.006113     16     50
  4      9      132   0.008541     35  0.003036     15     10
  5      6      132   0.096087     17  0.007671      7     30
  6     11      33   0.052278     43  0.003740     16     40
  6     12      33   0.024179     29  0.003053      1      0
  6     13      33   0.081164     45  0.004311     17     10
  7      8      33  -0.226943     27  0.009183     11     30
  7      9      33   0.103781     28  0.006786     23     50
  9     10      33   0.013589     30  0.003014     23      0
  9     14      33   0.055726     16  0.004586     10     50
 10     11      33  -0.024470     31  0.003079      3      0
 12     13      33   0.008033     13  0.003042     16      0
 13     14      33   0.049673     34  0.002823     16     30
  2      1      132   0.178299     64  0.006948     14      0
  5      1      132  -0.037520     16  0.008613     23     40
  3      2      132  -0.039904     59  0.006153     13      0
  4      2      132  -0.043692     17  0.005858     15      0
  5      2      132  -0.063145      9  0.005848      8     10
  4      3      132  -0.068789     78  0.004484     16     50
  5      4      132  -0.040645     17  0.010398     21      0
  7      4      33   0.122156     30  0.005722     21     50
  9      4      33   0.015499     28  0.002777     21     40
  6      5      33  -0.043084     26  0.007406     22     40
];

```

```

% Formato para las medidas: mmedflujop,mmedfluji,mmedflujq
% Nudo_O Nudo_D Tension Medida_exacta Actualizaciones Error_h_max Hora_error_h_max Minuto_error_h_max
mmedfluji=[
  1     2     132     1.253508     100     0.005377     11     50
  1     5     132     0.645407     73     0.006853     16     20
  2     3     132     0.549281     114     0.004500     15     40
  2     4     132     0.501386     76     0.004614     21     0
  2     5     132     0.397155     75     0.004684     13     0
  3     4     132     0.105069     91     0.003506     7     0
  4     5     132     0.466392     74     0.009497     13     0
  4     7     132     0.386723     66     0.004691     14     50
  4     9     132     0.214554     62     0.002376     14     0
  5     6     132     0.492057     72     0.005719     17     20
  6     11    33     0.122118     63     0.002937     3     40
  6     12    33     0.061157     45     0.002289     13     40
  6     13    33     0.173613     69     0.003576     12     30
  7     8     33     0.215725     31     0.007303     22     0
  7     9     33     0.373194     57     0.005996     24     0
  9     10    33     0.036986     61     0.002282     18     50
  9     14    33     0.094072     41     0.003564     11     10
 10     11    33     0.071296     56     0.002205     16     50
 12     13    33     0.027713     43     0.002321     19     30
 13     14    33     0.105043     55     0.002128     2     20
  2     1     132     1.246705     101     0.005434     11     10
  5     1     132     0.649863     72     0.007196     19     50
  3     2     132     0.553042     112     0.004671     20     50
  4     2     132     0.504857     75     0.004789     13     20
  5     2     132     0.402203     73     0.004566     13     30
  4     3     132     0.121066     92     0.003559     15     0
  5     4     132     0.467452     74     0.009140     20     0
  7     4     33     0.378215     64     0.004458     20     50
  9     4     33     0.207903     60     0.002396     1     0
  6     5     33     0.458598     68     0.005995     21     0
 11     6     33     0.122118     63     0.002937     3     40
 12     6     33     0.061157     45     0.002289     13     40
 13     6     33     0.173613     69     0.003576     12     30
  8     7     33     0.215725     31     0.007303     22     0
  9     7     33     0.373194     57     0.005996     24     0
 10     9     33     0.036986     61     0.002282     18     50
 14     9     33     0.094072     41     0.003564     11     10
 11     10    33     0.071296     56     0.002205     16     50
 13     12    33     0.027713     43     0.002321     19     30
 14     13    33     0.105043     55     0.002128     2     20
];

```

4.3.1.3. Umbral de Actualización un 50% Superior

A continuación se muestran el listado con la variación en el número de actualizaciones a lo largo de las 24 horas, el mayor error entre el valor exacto y el valor enviado al centro de control y la hora máxima cuando se produce el mayor error, para los valores un 50% Superior del Umbral de Actualización.

- Número de Cuenta Máxima para la Intensidad (umI)
 - 60 cuentas.
- Número de Cuenta Máxima para la Potencia Activa y Reactiva (umPQ)

- 30 cuentas.
- Número de Cuenta Máxima para la Tensión (umV)
 - 15 cuentas.

```

% Formato para las medidas: mmedten,mmedinyp,mmedinyq
% Nudo Tension Medida_exacta Actualizaciones Error_h_max Hora_error_h_max Minuto_error_h_max
mmedten=[
  1      132      1.060000           1      0.000479           0           0
  2      132      1.045000           1      0.000823           0           0
  3      132      1.010000           1      0.000650           0           0
  4      132      1.017133           2      0.008495           1           0
  5      132      1.020717           1      0.007722           1           50
  6       33      1.070000           1      0.000445           0           0
  7       33      1.059950           1      0.007092           1           50
  8       33      1.090000           1      0.000376           0           0
  9       33      1.052800           2      0.008094           1           30
 10       33      1.049950           2      0.008253           1           40
 11       33      1.056250           1      0.005737           1           50
 12       33      1.060467           1      0.002333           1           50
 13       33      1.057367           1      0.006854           1           50
 14       33      1.036800           2      0.007977           1           50
 1       132      1.060000           1      0.000479           0           0
 2       132      1.045000           1      0.000823           0           0
 3       132      1.010000           1      0.000650           0           0
 4       132      1.017133           2      0.008495           1           0
 5       132      1.020717           1      0.007722           1           50
 6        33      1.070000           1      0.000445           0           0
 7        33      1.059950           1      0.007092           1           50
 8        33      1.090000           1      0.000376           0           0
 9        33      1.052800           2      0.008094           1           30
 10       33      1.049950           2      0.008253           1           40
 11       33      1.056250           1      0.005737           1           50
 12       33      1.060467           1      0.002333           1           50
 13       33      1.057367           1      0.006854           1           50
 14       33      1.036800           2      0.007977           1           50
];

% Formato para las medidas: mmedten,mmedinyp,mmedinyq
% Nudo Tension Medida_exacta Actualizaciones Error_h_max Hora_error_h_max Minuto_error_h_max
mmedinyp=[
  1      132      1.340672           7      0.013139           1           50
  2      132      0.253275           1      0.037651           1           50
  3      132     -0.465164           5      0.067571           1           30
  4      132     -0.223317          12      0.000887           0           40
  5      132     -0.072936           6      0.002089           1           0
];

```

```
% Formato para las medidas: mmedten,mmedinyp,mmedinyq
% Nudo Tension Medida_exacta Actualizaciones Error_h_max Hora_error_h_max Minuto_error_h_max
mmedinyq=[
  1      132    0.040699          2    0.013139          0          40
  2      132    0.144413          4    0.037651          0          10
  3      132   -0.126085          2    0.067571          0          30
  4      132   -0.113077          6    0.000887          0          50
  5      132   -0.033419          4    0.002089          1          10
];

% Formato para las medidas: mmedten,mmedinyp,mmedinyq
% Nudo Tension Medida_exacta Actualizaciones Error_h_max Hora_error_h_max Minuto_error_h_max
mmedinyi=[
  1      132    1.265367          7    0.013315          1          50
  2      132    0.278998          3    0.036872          0          40
  3      132    0.477177          5    0.051420          1          30
  4      132    0.246097         12    0.000387          0          30
  5      132    0.078599          7    0.002677          0          40
  6       33    0.082821          3    0.030463          1           0
  7       33    0.000671          5    0.000152          1          20
  8       33    0.170593          2    0.030768          1          10
  9       33    0.371604          8    0.008898          0          50
 10       33    0.086250          7    0.002135          0          10
 11       33    0.037842          9    0.001047          0          10
 12       33    0.034354          1    0.000672          1          50
 13       33    0.055547          9    0.003443          1          50
 14       33    0.117236          6    0.001980          1           0
];
```

```

% Formato para las medidas: mmedflujop,mmedfluji,mmedflujq
% Nudo_O Nudo_D Tension Medida_exacta Actualizaciones Error_h_max Hora_error_h_max Minuto_error_h_max
mmedflujop=[
  1     2     132     0.864982         8     0.019274         1         40
  1     5     132     0.475689         7     0.010269         1         50
  2     3     132     0.407361         9     0.010442         1         50
  2     4     132     0.390053         7     0.001502         1         50
  2     5     132     0.307938         5     0.016839         1         40
  3     4     132    -0.065390         9     0.011878         1         30
  4     5     132    -0.352724         5     0.031616         0         40
  4     7     132     0.283351         5     0.015814         0         40
  4     9     132     0.162202         6     0.008412         1         40
  5     6     132     0.339972         6     0.017389         1         50
  6    11     33     0.096664         3     0.008795         0         40
  6    12     33     0.045576         2     0.008167         0         40
  6    13     33     0.109117         5     0.012203         1         40
  7     8     33     0.000000         1     0.000000         0          0
  7     9     33     0.283451         4     0.020001         0         50
  9    10     33     0.023993         2     0.007126         0         50
  9    14     33     0.031070         3     0.011894         1         10
 10    11     33    -0.059507         2     0.007289         1         20
 12    13     33     0.011726         2     0.007828         0         40
 13    14     33     0.064566         3     0.008113         1         50
  2     1     132    -0.852077         8     0.019924         1         40
  5     1     132    -0.464395         7     0.007885         1         50
  3     2     132    -0.399774         9     0.011309         1         30
  4     2     132    -0.381833         7     0.000788         0         40
  5     2     132    -0.302852         5     0.015085         1         40
  4     3     132     0.065688         9     0.010978         1         50
  5     4     132     0.354340         5     0.033761         0         20
  7     4     33    -0.283351         5     0.014135         1         20
  9     4     33    -0.162202         7     0.006158         0         30
  6     5     33    -0.339972         6     0.016048         1         50
 11     6     33    -0.095821         3     0.007991         0         40
 12     6     33    -0.045317         2     0.007449         0         40
 13     6     33    -0.108292         5     0.011474         1         40
  8     7     33     0.000000         1     0.000000         0          0
  9     7     33    -0.283451         4     0.018660         0         50
 10     9     33    -0.023957         2     0.006627         0         50
 14     9     33    -0.030698         3     0.011201         1         10
 11    10     33     0.059777         2     0.007788         1         20
 13    12     33    -0.011696         2     0.007115         0         40
 14    13     33    -0.063780         3     0.007558         1         50
];

```

```

% Formato para las medidas: mmedflujoj,mmedfluji,mmedflujq
% Nudo_O Nudo_D Tension Medida_exacta Actualizaciones Error_h_max Hora_error_h_max Minuto_error_h_max
mmedflujq=[
  1      2      132  -0.024341           6   0.019452           0           10
  1      5      132   0.065040           1   0.014612           1           50
  2      3      132   0.077932           2   0.014634           0           30
  2      4      132   0.027812           2   0.013699           0           40
  2      5      132   0.033418           2   0.015920           0           50
  3      4      132  -0.033861           8   0.011803           1           30
  4      5      132   0.021285           1   0.016261           1           50
  4      7      132  -0.091530           3   0.015945           1           40
  4      9      132   0.000730           1   0.008120           1           50
  5      6      132   0.121912           2   0.016621           0           40
  6     11      33   0.028418           3   0.009419           1           40
  6     12      33   0.018130           1   0.006275           1           50
  6     13      33   0.048765           3   0.012513           0           40
  7      8      33  -0.180820           2   0.021976           0           50
  7      9      33   0.072852           2   0.020372           1           30
  9     10      33   0.026484           2   0.006480           0           50
  9     14      33   0.047703           1   0.008617           1           50
 10     11      33  -0.008749           2   0.006800           1            0
 12     13      33   0.003493           1   0.004821           1           50
 13     14      33   0.031161           3   0.007043           1           40
  2      1      132   0.005251           7   0.008603           1           50
  5      1      132  -0.071687           2   0.020100           0           30
  3      2      132  -0.092224           5   0.012799           0           10
  4      2      132  -0.042638           1   0.001354           0           40
  5      2      132  -0.054165           1   0.008591           1           50
  4      3      132  -0.000924           8   0.012340           1           30
  5      4      132  -0.029478           1   0.010214           1           50
  7      4      33   0.108672           2   0.012559           0           30
  9      4      33   0.012551           2   0.006835           0           40
  6      5      33  -0.094504           3   0.020056           0           30
];

```

```

% Formato para las medidas: mmedflujop,mmedfluji,mmedflujq
% Nudo_O Nudo_D Tension Medida_exacta Actualizaciones Error_h_max Hora_error_h_max Minuto_error_h_max
mmedfluji=[
  1     2     132     0.816344         8     0.013664         1     30
  1     5     132     0.452939         7     0.009460         1     50
  2     3     132     0.396888         9     0.009768         1     50
  2     4     132     0.374204         7     0.001300         1     50
  2     5     132     0.296408         6     0.013706         0     50
  3     4     132     0.072908         5     0.009444         0     50
  4     5     132     0.347414         9     0.014714         1     30
  4     7     132     0.292751         5     0.013289         1     10
  4     9     132     0.159471         8     0.004810         0     20
  5     6     132     0.353839         6     0.015924         1     10
  6    11     33     0.094163         3     0.008313         1     50
  6    12     33     0.045840         3     0.006332         1     30
  6    13     33     0.111699         5     0.007482         1     20
  7     8     33     0.170593         3     0.019430         1     40
  7     9     33     0.276110         5     0.015897         0     40
  9    10     33     0.033944         1     0.003441         1     10
  9    14     33     0.054074         3     0.009446         1     10
 10    11     33     0.057286         2     0.006713         1     50
 12    13     33     0.011537         3     0.005868         1     20
 13    14     33     0.067803         5     0.004651         1     10
  2     1     132     0.815400         8     0.013477         1     30
  5     1     132     0.460359         7     0.009747         1     50
  3     2     132     0.406212         9     0.009264         1     50
  4     2     132     0.377735         7     0.001343         1     50
  5     2     132     0.301413         7     0.013724         0     40
  4     3     132     0.064588         9     0.008509         1     20
  5     4     132     0.348347         9     0.014741         1     10
  7     4     33     0.286311         6     0.012708         1     30
  9     4     33     0.154528         7     0.006864         1     0
  6     5     33     0.329778         6     0.014858         1     10
 11     6     33     0.094163         3     0.008313         1     50
 12     6     33     0.045840         3     0.006332         1     30
 13     6     33     0.111699         5     0.007482         1     20
  8     7     33     0.170593         3     0.019430         1     40
  9     7     33     0.276110         5     0.015897         0     40
 10     9     33     0.033944         1     0.003441         1     10
 14     9     33     0.054074         3     0.009446         1     10
 11    10     33     0.057286         2     0.006713         1     50
 13    12     33     0.011537         3     0.005868         1     20
 14    13     33     0.067803         5     0.004651         1     10
];

```

Conclusiones:

- Conclusiones de carácter general con respecto al efecto de la variación del umbral de actualización en las medidas:

La primera conclusión que se obtiene es que conforme bajamos el umbral de actualización un 50% con respecto al nivel de referencia el número de actualizaciones es mucho mayor como era de prever. Lo que implica un mayor número de datos enviados al centro de control ha tener en cuenta por las compañías. Como segunda conclusión al bajar el umbral de actualización un 50% con respecto al nivel de referencia es que el error máximo entre el valor exacto y el enviado al centro de control es menor, lo que quiere decir que aumentamos la fiabilidad en las medidas a la vez que se van actualizando.

Para el caso en que aumentemos el umbral de actualización un 50% con respecto al nivel de referencia el número de actualizaciones es mucho menor que con respecto al caso de referencia. Lo que implica un menor número de datos enviados al centro de control, ha tener en cuenta por las compañías. Al aumentar el umbral de actualización un 50% con respecto al nivel de referencia el error máximo entre el valor exacto y el enviado al centro de control es mayor, lo que quiere decir que disminuye la fiabilidad en las medidas.

Todas estas conclusiones deben de ser tenidas en cuenta por las compañías ya que al mejorar en unas características disminuyen en otra.

- Conclusiones relativas a las medidas:

También se obtiene conclusiones importantes en el estudio por medida, ya que para las medidas de tensión, en general, el número de actualizaciones es inferior respecto a las demás medidas estudiadas. Lo que quiere decir que las medidas de tensión en un sistema eléctrico de potencia no son tan variables como lo pueden ser las medidas de inyección y de flujo de potencia e intensidad.

También podemos concluir que existe mayor número de medidas en el centro de control de flujo de potencia activa que de reactiva al ser mayor el número de actualizaciones. Por lo que el error máximo tiende a ser menor para las medidas de flujo de potencia activa que para la reactiva. Nos refleja una mayor importancia en la variación de la potencia activa en el SEP que de reactiva.

4.3.2. Evolución de los Errores en una Medida Determinada

Con objeto de evaluar el error relativo que supone la desviación típica de ruido, de la compañía y el umbral de actualización, se mostrarán representaciones gráficas de aquellas medidas más significativas asociándole un intervalo de incertidumbre entorno a la medida exacta a lo largo de las 24 horas.

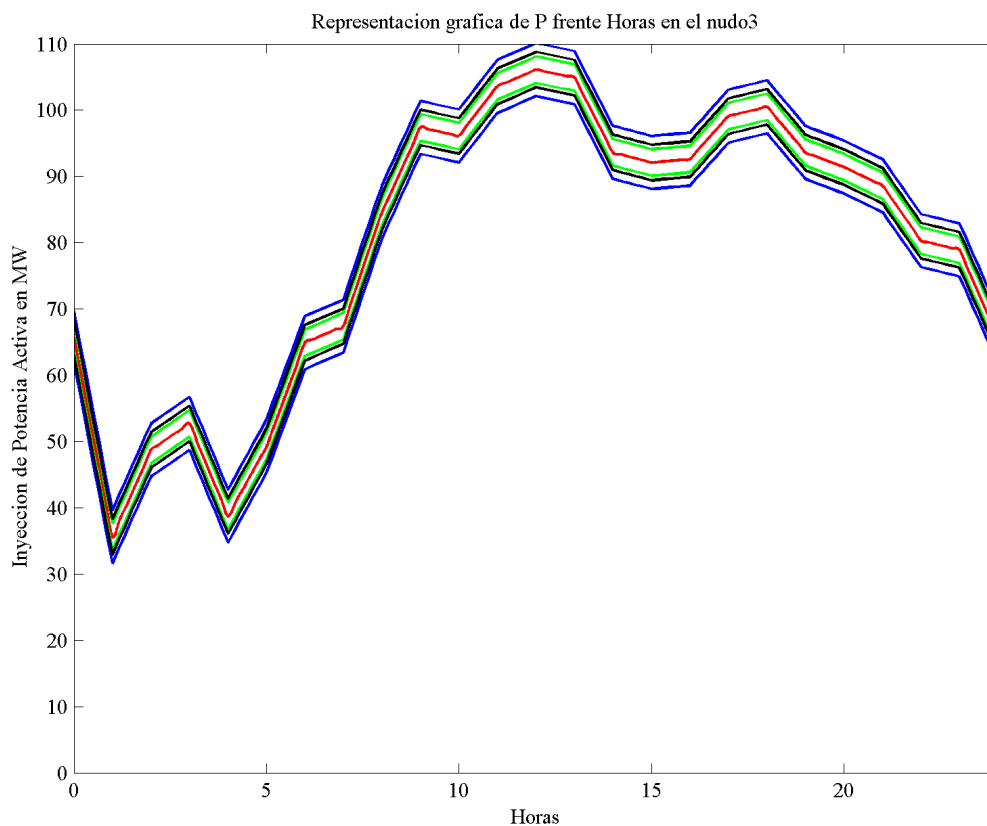
El estudio se realiza en el Nudo 3 de carga de nivel de tensión de 132 kV y en la rama 1-5 con el mismo nivel de tensión. Más información acerca de la Red ver Anexo II.

Para corroborar estos resultados a nivel general en la Red se realizará las mismas gráficas aquí presentadas pero para el Nudo 1 de generación de 132 kV y la rama 13-14 con un nivel de tensión de 33 kV ambos nudos. Esta información se encuentra reflejada en el Anexo IV. Evolución de los Errores de unas Medidas Determinada en el Nudo 1, Rama 13-14.

4.3.2.1. Representación Gráfica de la Inyección de Potencia Activa en MW

- La línea de color rojo representa el valor exacto de la medida.

- La línea de color verde representa el intervalo de incertidumbre asociado al ruido. El valor exacto de la medida más/menos el doble de la desviación típica del ruido.
- La línea de color negra representa el intervalo de incertidumbre asociado al umbral de actualización. El valor exacto de la medida más/menos el umbral de actualización.
- La línea de color azul representa el intervalo de incertidumbre asociado a la compañía. El valor exacto de la medida más/menos el doble de la desviación típica de la compañía.



Conclusión:

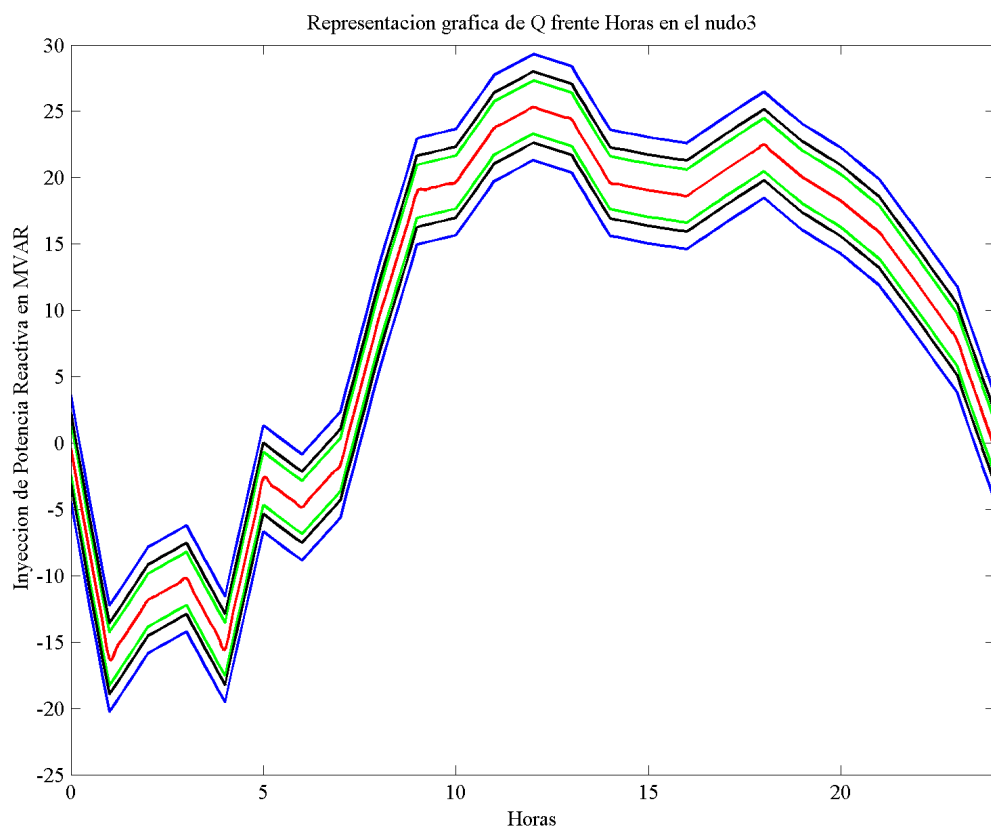
Hablando en término de intervalos de incertidumbre considerado por la compañía, será de dos veces la desviación típica de la compañía mientras que el intervalo de error cometido será de dos veces la desviación típica del ruido más el valor del umbral de actualización.

Con lo cual podemos ver que intervalo del umbral de actualización sumado al intervalo de incertidumbre del ruido, forman un intervalo de incertidumbre de error mayor que el intervalo considerado por la compañía.

El intervalo de incertidumbre propuesto por la compañía quedaría claramente por debajo considerando entonces un error menor que el obtenido en realidad. Lo que sugiere que para paliar este error debe de actuarse directamente sobre el umbral de actualización o de ajustar la desviación típica de la compañía para la medida de inyección de potencia activa.

4.3.2.2. Representación Gráfica de la Inyección de Potencia Reactiva en MVAR

- La línea de color rojo representa el valor exacto de la medida.
- La línea de color verde representa el intervalo de incertidumbre asociado al ruido. El valor exacto de la medida más/menos el doble de la desviación típica del ruido.
- La línea de color negra representa el intervalo de incertidumbre asociado al umbral de actualización. El valor exacto de la medida más/menos el umbral de actualización.
- La línea de color azul representa el intervalo de incertidumbre asociado a la compañía. El valor exacto de la medida más/menos el doble de la desviación típica de la compañía.



Conclusión:

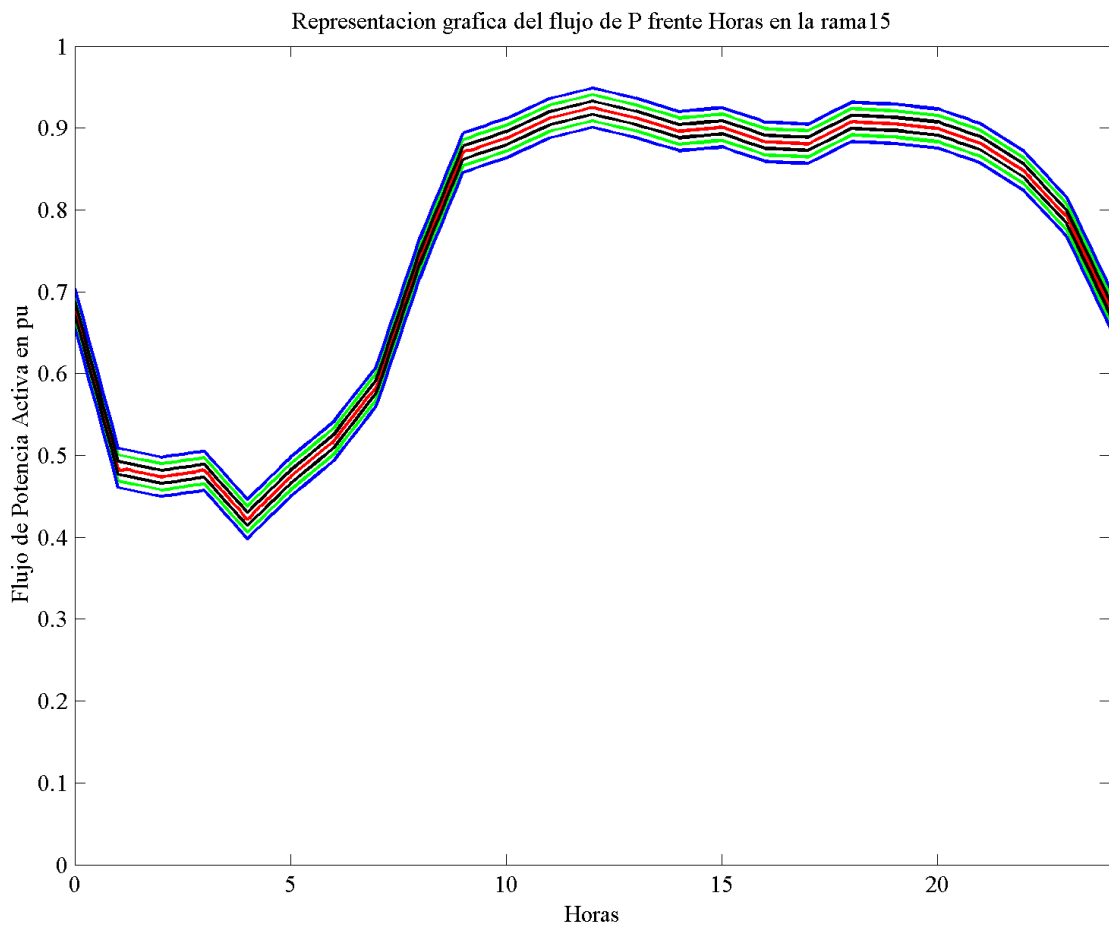
Hablando en término de intervalos de incertidumbre considerado por la compañía, será de dos veces la desviación típica de la compañía mientras que el intervalo de error cometido será de dos veces la desviación típica del ruido más el valor del umbral de actualización.

Con lo cual podemos ver que intervalo del umbral de actualización sumado al intervalo de incertidumbre del ruido, forman un intervalo de incertidumbre de error mayor que el intervalo considerado por la compañía.

El intervalo de incertidumbre propuesto por la compañía quedaría claramente por debajo considerando entonces un error menor que el obtenido en realidad. Lo que sugiere que para paliar este error debe de actuarse directamente, al igual que ocurría en el caso anterior, sobre el umbral de actualización o de ajustar la desviación típica de la compañía para la medida de inyección de potencia reactiva.

4.3.2.3. Representación Gráfica del Flujo de Potencia Activa en pu

- La línea de color rojo representa el valor exacto de la medida.
- La línea de color verde representa el intervalo de incertidumbre asociado al ruido. El valor exacto de la medida más/menos el doble de la desviación típica del ruido.
- La línea de color negra representa el intervalo de incertidumbre asociado al umbral de actualización. El valor exacto de la medida más/menos el umbral de actualización.
- La línea de color azul representa el intervalo de incertidumbre asociado a la compañía. El valor exacto de la medida más/menos el doble de la desviación típica de la compañía.



Conclusión:

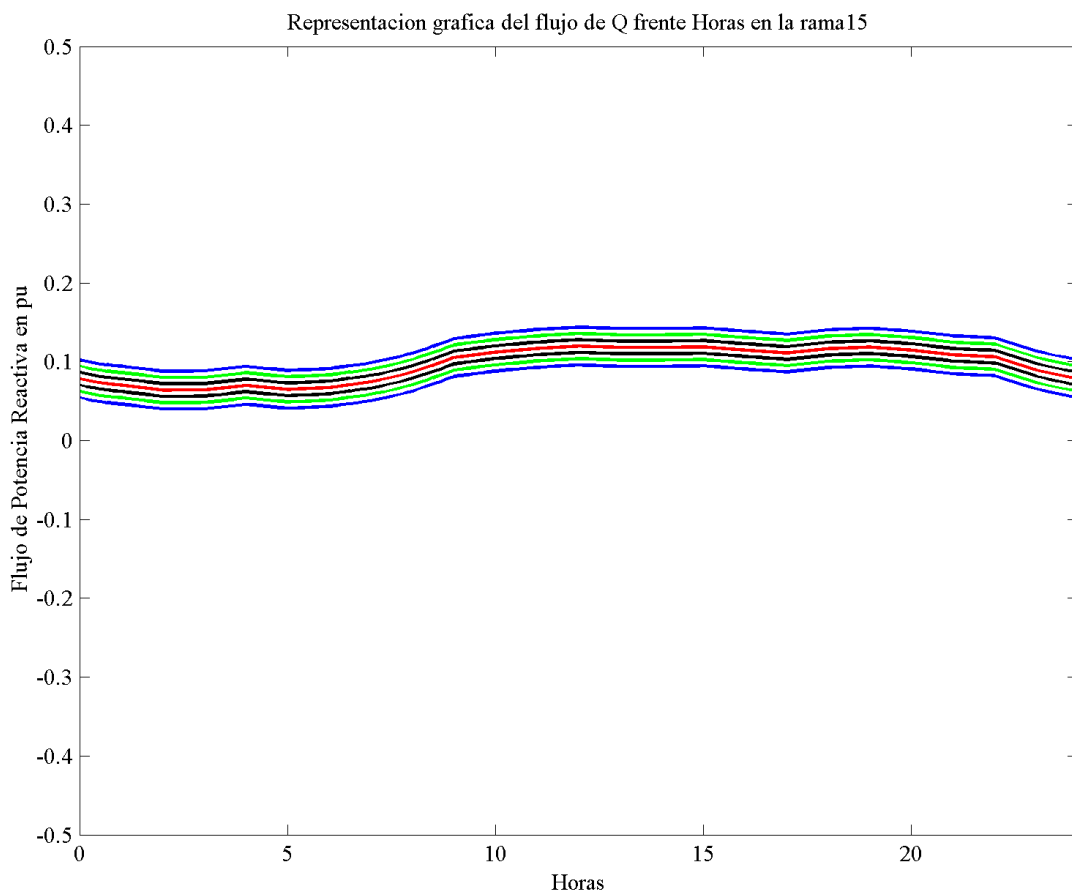
La primera conclusión que se puede sacar es que para la medida de flujo de potencia activa vemos que el efecto de la desviación típica de ruido comete mayor error que el umbral de actualización.

Hablando en término de intervalos de incertidumbre considerado por la compañía, será de dos veces la desviación típica de la compañía mientras que el intervalo de error cometido será de dos veces la desviación típica del ruido más el valor del umbral de actualización.

Con lo cual podemos ver que intervalo del umbral de actualización sumado al intervalo de incertidumbre del ruido, forman un intervalo de incertidumbre aproximado a el intervalo considerado por la compañía. Deduciendo por tanto que el ajuste esta controlado por la compañía sin más que ajustar el umbral de actualización.

4.3.2.4. Representación Gráfica del Flujo de Potencia Reactiva en pu

- La línea de color rojo representa el valor exacto de la medida.
- La línea de color verde representa el intervalo de incertidumbre asociado al ruido. El valor exacto de la medida más/menos el doble de la desviación típica del ruido.
- La línea de color negra representa el intervalo de incertidumbre asociado al umbral de actualización. El valor exacto de la medida más/menos el umbral de actualización.
- La línea de color azul representa el intervalo de incertidumbre asociado a la compañía. El valor exacto de la medida más/menos el doble de la desviación típica de la compañía.

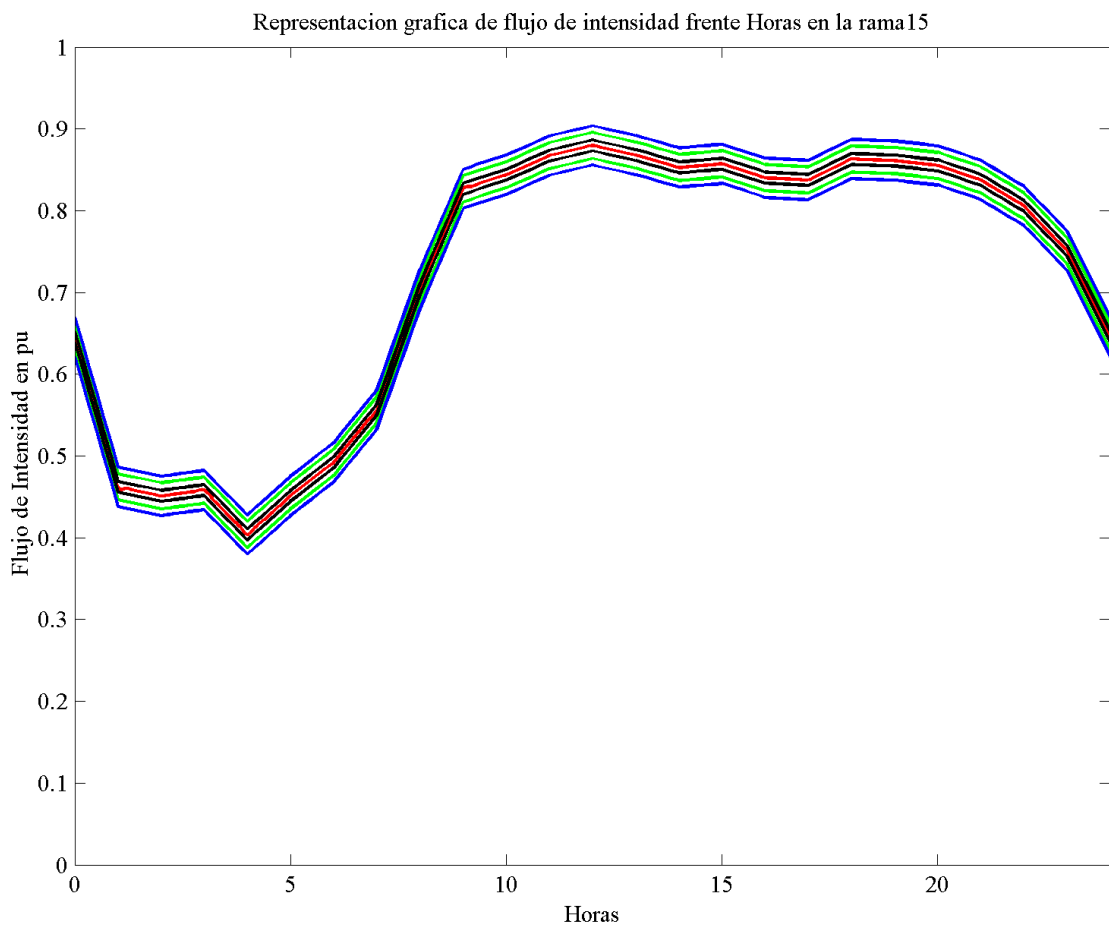


Conclusión:

Las conclusiones son las mismas que para el caso anterior de la medida de flujo de potencia activa pero con la salvedad de que la variación de la medida de flujo de potencia reactiva es mas uniforme en la escala en pu.

4.3.2.5. Representación Gráfica del Flujo de Intensidad en pu

- La línea de color rojo representa el valor exacto de la medida.
- La línea de color verde representa el intervalo de incertidumbre asociado al ruido. El valor exacto de la medida más/menos el doble de la desviación típica del ruido.
- La línea de color negra representa el intervalo de incertidumbre asociado al umbral de actualización. El valor exacto de la medida más/menos el umbral de actualización.
- La línea de color azul representa el intervalo de incertidumbre asociado a la compañía. El valor exacto de la medida más/menos el doble de la desviación típica de la compañía.



Conclusión:

Hablando en término de intervalos de incertidumbre considerado por la compañía, será de dos veces la desviación típica de la compañía mientras que el intervalo de error cometido será de dos veces la desviación típica del ruido más el valor del umbral de actualización.

Con lo cual podemos ver que intervalo del umbral de actualización sumado al intervalo de incertidumbre del ruido, forman un intervalo de incertidumbre aproximadamente a el intervalo considerado por la compañía. El ajuste perfecto lo puede realizar la compañía sin más que ajustar el parámetro del umbral de actualización.

4.4. Análisis Estadístico Dinámico

En este análisis se estudiarán los resultados obtenidos para todos los escenarios cada 10 minutos a lo largo de las 24 horas, asociado un ruido acorde a la desviación típica de ruido calculado. Este proceso se repite un número determinado de veces tal que permita obtener conclusiones estadísticas válidas. Estas conclusiones estadísticas serán el valor medio estimado, la desviación típica media estimada, el valor medio de los residuos, la desviación típica media de los residuos, la diferencia con el valor exacto respecto al estimado y la desviación típica media de la diferencia con el valor exacto respecto al estimado. Estas conclusiones estadísticas descritas se centran en cada medida y escenario de tiempo.

El residuo se obtiene de la diferencia entre el valor medido menos el valor estimado mientras que la diferencia con el valor exacto se obtiene de la diferencia del valor exacto menos el valor estimado. El valor medio y la desviación típica media se obtiene como la media móvil y la varianza móvil explicada en el apartado 8 del Capítulo 3, de la descripción técnica del programa desarrollado.

Una vez realizada la simulación obtenemos un listado para cada medida disponible en los escenarios más significativos y unas determinadas representaciones gráficas.

4.4.1. Listado de la Evolución de las Medidas a lo largo de las 24 Horas

En estos listados de a continuación se mostrarán para las medidas disponibles, el valor exacto, el valor medio estimado, la desviación típica del ruido, el umbral de actualización, la desviación típica media estimada, la desviación típica de la compañía, el valor medio de los residuos, la desviación típica media de los residuos, la diferencia con el valor exacto respecto al estimado y la desviación típica media de la diferencia con el valor exacto respecto al estimado.

Estos listados nos permitirán conocer la estimación que realiza el estimador de estado, el valor de los residuos y los distintos errores cometidos, así como su carácter de importancia.

Los siguientes listados están realizados para los siguientes escenarios de tiempo;

- Listado A equivale al escenario Diez horas y cero minutos.
- Listado B equivale al escenario Veinte horas y diez minutos.

4.4.1.1. Listado A

```

% Formato para las medidas: mmedten,mmedinyp,mmedinyq
% Nudo Medida_Exa V_Medio_Est Sigma_ruido Umbral_actul. Sigma_Est Sigma_Comp. V_Medio_Res Sigma_Res V_Medio_Exa Sigma_Medio_exa
mmedten=[
  1 1.060000 1.057725 0.004003 0.005862 0.000899 0.020000 0.001933 0.002398 0.002275 0.000899
  2 1.045000 1.042904 0.003978 0.005862 0.001163 0.020000 0.003037 0.003275 0.002096 0.001163
  3 1.010000 1.008112 0.003921 0.005862 0.001161 0.020000 0.003241 0.005109 0.001888 0.001161
  4 0.993900 0.992461 0.003896 0.005862 0.001138 0.020000 0.003299 0.001493 0.001439 0.001279
  5 1.001600 1.000067 0.003908 0.005862 0.001071 0.020000 -0.000438 0.003961 0.001533 0.001186
  6 1.070000 1.069565 0.004019 0.005862 0.001251 0.020000 -0.000176 0.002760 0.000435 0.001251
  7 1.039300 1.039773 0.003969 0.005862 0.001272 0.020000 0.001477 0.002548 -0.000473 0.001417
  8 1.090000 1.089232 0.004053 0.005862 0.001454 0.020000 0.004896 0.003584 0.000768 0.001454
  9 1.022800 1.023303 0.003942 0.005862 0.001199 0.020000 -0.002218 0.004422 -0.000503 0.001441
  10 1.021400 1.021704 0.003940 0.005862 0.001267 0.020000 -0.000034 0.002889 -0.000304 0.001499
  11 1.040300 1.040232 0.003971 0.005862 0.001245 0.020000 0.000902 0.001577 0.000068 0.001362
  12 1.052500 1.052185 0.003990 0.005862 0.001118 0.020000 0.003135 0.003168 0.000315 0.001112
  13 1.039000 1.038710 0.003969 0.005862 0.001049 0.020000 0.002424 0.001794 0.000290 0.001031
  14 0.999900 0.999778 0.003905 0.005862 0.001162 0.020000 0.005947 0.002124 0.000122 0.001202
  1 1.060000 1.056492 0.004003 0.005862 0.003102 0.020000 0.000000 0.000000 0.003508 0.003102
  2 1.045000 1.044064 0.003978 0.005862 0.005561 0.020000 0.000000 0.000000 0.000936 0.005561
  3 1.010000 1.009477 0.003921 0.005862 0.002639 0.020000 0.000000 0.000000 0.000523 0.002639
  4 0.993900 0.996229 0.003896 0.005862 0.004875 0.020000 0.000000 0.000000 -0.002329 0.004875
  5 1.001600 1.001270 0.003908 0.005862 0.004241 0.020000 0.000000 0.000000 0.000330 0.004273
  6 1.070000 1.068100 0.004019 0.005862 0.005312 0.020000 0.000000 0.000000 0.001900 0.005312
  7 1.039300 1.036209 0.003969 0.005862 0.003748 0.020000 0.000000 0.000000 0.000391 0.003680
  8 1.090000 1.090259 0.004053 0.005862 0.004316 0.020000 0.000000 0.000000 -0.000259 0.004316
  9 1.022800 1.024250 0.003942 0.005862 0.004187 0.020000 0.000000 0.000000 -0.001450 0.004212
  10 1.021400 1.023664 0.003940 0.005862 0.004901 0.020000 0.000000 0.000000 -0.002264 0.005107
  11 1.040300 1.043127 0.003971 0.005862 0.004554 0.020000 0.000000 0.000000 -0.002827 0.004443
  12 1.052500 1.053679 0.003990 0.005862 0.003385 0.020000 0.000000 0.000000 -0.001179 0.003389
  13 1.039000 1.040195 0.003969 0.005862 0.005621 0.020000 0.000000 0.000000 -0.001195 0.005597
  14 0.999900 1.001387 0.003905 0.005862 0.002920 0.020000 0.000000 0.000000 -0.001487 0.002953
];

% Formato para las medidas: mmedten,mmedinyp,mmedinyq
% Nudo Medida_Exa V_Medio_Est Sigma_ruido Umbral_actul. Sigma_Est Sigma_Comp. V_Medio_Res Sigma_Res V_Medio_Exa Sigma_Medio_exa
mmedinyp=[
  1 2.504246 2.493056 0.011259 0.053638 0.002354 0.020000 -0.004266 0.022410 0.011190 0.003210
  2 0.587990 0.584474 0.005398 0.032183 0.007296 0.020000 -0.012267 0.006826 0.003516 0.005413
  3 -0.960984 -0.958956 0.008075 0.053638 0.002311 0.020000 0.019224 0.014716 -0.002028 0.003039
  4 -0.569339 -0.560477 0.002801 0.013409 0.002863 0.020000 -0.002853 0.002187 -0.008862 0.004162
  5 -0.097624 -0.102011 0.000455 0.002146 0.004541 0.020000 0.004412 0.003369 0.004387 0.004145
];

% Formato para las medidas: mmedten,mmedinyp,mmedinyq
% Nudo Medida_Exa V_Medio_Est Sigma_ruido Umbral_actul. Sigma_Est Sigma_Comp. V_Medio_Res Sigma_Res V_Medio_Exa Sigma_Medio_exa
mmedinyq=[
  1 -0.103116 -0.107980 0.028646 0.053638 0.010466 0.020000 -0.009486 0.028197 0.004864 0.010579
  2 0.481350 0.475523 0.005514 0.032183 0.006957 0.020000 -0.009196 0.006225 0.005827 0.005861
  3 0.196558 0.194768 0.009424 0.053638 0.003191 0.020000 0.002082 0.012650 0.001790 0.003403
  4 -0.226116 -0.226959 0.002992 0.013409 0.002249 0.020000 0.002351 0.003183 0.000843 0.002529
  5 -0.036705 -0.029767 0.000424 0.002146 0.002737 0.020000 -0.005526 0.002760 -0.006938 0.002797
];

```

```
% Formato para las medidas: mmedten,mmedinyq,mmedinyq
% Nudo Medida_Exa V_Medio_Est Sigma_ruido Umbral_actul. Sigma_Est Sigma_Comp. V_Medio_Res Sigma_Res V_Medio_Exa Sigma_Medio_exa
mmedinyi=[
1 2.364498 2.359231 0.006418 0.044676 0.002421 0.020000 -0.017972 0.010763 0.005267 0.004150
2 0.727165 0.722493 0.003432 0.026806 0.008339 0.020000 0.002468 0.007238 0.004672 0.006157
3 0.971169 0.970667 0.004141 0.044676 0.001831 0.020000 -0.009234 0.016021 0.000502 0.002178
4 0.616357 0.609280 0.002937 0.011169 0.003694 0.020000 0.006024 0.005133 0.007077 0.005309
5 0.104130 0.106290 0.002513 0.001787 0.004613 0.020000 -0.002561 0.004867 -0.002160 0.004195
6 0.296154 0.288529 0.002724 0.022338 0.003495 0.020000 0.006669 0.008965 0.007625 0.002753
7 0.000253 0.010167 0.002500 0.000112 0.003040 0.020000 -0.009834 0.003069 -0.009914 0.003048
8 0.287823 0.280781 0.002714 0.022338 0.001633 0.020000 -0.003118 0.005197 0.007042 0.002232
9 0.536955 0.531648 0.002837 0.006701 0.004006 0.020000 0.003495 0.002309 0.005307 0.001349
10 0.147527 0.145899 0.002527 0.001396 0.001220 0.020000 0.000199 0.003421 0.001628 0.001135
11 0.052942 0.051936 0.002503 0.000838 0.001501 0.020000 0.000524 0.002743 0.001006 0.001518
12 0.033752 0.033825 0.002503 0.001396 0.001098 0.020000 -0.001609 0.002647 -0.000073 0.001091
13 0.184000 0.185982 0.002542 0.003351 0.002086 0.020000 -0.002095 0.004405 -0.001982 0.002165
14 0.221852 0.222486 0.002561 0.003351 0.001709 0.020000 -0.000618 0.002679 -0.000634 0.002082
```

```
% Formato para las medidas: mmedflujop,mmedfluji,mmedfluqj
% Nudo_0 Nudo_D Medida_Exa V_Medio_Est Sigma_ruido Umbral_actul. Sigma_Est Sigma_Comp. V_Medio_Res Sigma_Res V_Medio_Exa Sigma_Medio_exa
mmedflujop=[
1 2 1.713214 1.712721 0.006575 0.013409 0.002044 0.010000 -0.000070 0.002914 0.000493 0.002001
1 5 0.896198 0.898322 0.003887 0.016091 0.002945 0.012000 0.005044 0.006617 -0.002124 0.001524
2 3 0.805315 0.810359 0.003164 0.010728 0.004758 0.008000 0.000428 0.005276 -0.005044 0.002573
2 4 0.720190 0.723709 0.002926 0.010728 0.004131 0.008000 -0.001316 0.002639 -0.003519 0.001962
2 5 0.556162 0.558930 0.002434 0.010728 0.003504 0.008000 0.002013 0.003467 -0.002768 0.001854
3 4 -0.132018 -0.133186 0.001318 0.008046 0.001061 0.006000 -0.000292 0.002623 0.001168 0.001037
4 5 -0.685777 -0.688793 0.003795 0.021455 0.002847 0.016000 -0.001202 0.008788 0.003016 0.001263
4 7 0.429790 0.427792 0.002110 0.010728 0.001402 0.008000 -0.000085 0.001667 0.001998 0.001542
4 9 0.243958 0.242976 0.001103 0.005364 0.000484 0.004000 0.001022 0.001816 0.000982 0.000470
5 6 0.605971 0.605399 0.002753 0.013409 0.000763 0.010000 -0.004254 0.003028 0.000572 0.000729
6 11 0.162832 0.161718 0.001120 0.006705 0.000622 0.005000 -0.000604 0.002352 0.001114 0.000806
6 12 0.086605 0.085287 0.000792 0.005364 0.001058 0.004000 -0.000057 0.001535 0.001318 0.001039
6 13 0.212484 0.213553 0.001378 0.008046 0.001521 0.006000 0.001830 0.001343 -0.001069 0.001436
7 8 0.000000 0.001420 0.002532 0.016762 0.001222 0.012000 0.000088 0.001342 -0.001420 0.001222
7 9 0.429786 0.428547 0.002474 0.013409 0.001628 0.010000 -0.000384 0.003844 0.001239 0.001531
9 10 0.098943 0.099901 0.000805 0.005364 0.000855 0.004000 0.000777 0.000968 -0.000958 0.001037
9 14 0.083509 0.085873 0.001102 0.008046 0.001410 0.006000 0.001664 0.002008 -0.002364 0.001643
10 11 -0.085000 -0.085283 0.000799 0.005364 0.000978 0.004000 -0.000162 0.001000 0.000283 0.000897
12 13 0.024725 0.027152 0.000705 0.005364 0.000986 0.004000 -0.000118 0.001810 -0.002427 0.001157
13 14 0.103084 0.103852 0.000833 0.005364 0.000500 0.004000 0.001600 0.001358 -0.000768 0.000612
2 1 -1.661847 -1.661407 0.006342 0.013409 0.002017 0.010000 0.000516 0.006884 -0.000440 0.001957
5 1 -0.856616 -0.858557 0.003662 0.016091 0.002754 0.012000 -0.000719 0.006431 0.001941 0.001479
3 2 -0.777289 -0.781992 0.003078 0.010728 0.004491 0.008000 0.003709 0.003463 0.004703 0.002477
4 2 -0.691961 -0.695216 0.002811 0.010728 0.003852 0.008000 0.000393 0.004605 0.003255 0.001867
5 2 -0.539466 -0.542077 0.002365 0.010728 0.003321 0.008000 -0.003740 0.003096 0.002611 0.001774
4 3 0.134705 0.135945 0.001358 0.008046 0.001097 0.006000 0.000268 0.001395 -0.001240 0.001064
5 4 0.692165 0.695240 0.003809 0.021455 0.002886 0.016000 0.002908 0.008630 -0.003075 0.001264
7 4 -0.429790 -0.427792 0.002115 0.010057 0.001402 0.008000 0.002579 0.003212 -0.001998 0.001542
9 4 -0.243958 -0.242976 0.001104 0.005364 0.000484 0.004000 0.000051 0.001167 -0.000982 0.000470
6 5 -0.605971 -0.605399 0.002749 0.013409 0.000763 0.010000 0.002511 0.003574 -0.000572 0.000729
11 6 -0.159924 -0.158870 0.001105 0.006705 0.000607 0.005000 0.002718 0.000991 -0.001054 0.000783
12 6 -0.085607 -0.084322 0.000788 0.005364 0.001038 0.004000 0.001505 0.000956 -0.001285 0.001020
13 6 -0.209166 -0.210177 0.001364 0.008046 0.001467 0.006000 -0.000298 0.001666 0.001011 0.001385
8 7 0.000000 -0.001420 0.002428 0.016762 0.001222 0.012000 0.000088 0.001349 0.001420 0.001222
9 7 -0.429786 -0.428547 0.002407 0.013409 0.001628 0.010000 0.002932 0.003535 -0.001239 0.001531
10 9 -0.098635 -0.099590 0.000806 0.005364 0.000849 0.004000 0.000413 0.001031 0.000955 0.001030
14 9 -0.082460 -0.084749 0.001100 0.008046 0.001368 0.006000 0.001396 0.001690 0.002289 0.001591
11 10 0.085750 0.086046 0.000793 0.005364 0.000981 0.004000 -0.001030 0.000866 -0.000296 0.000900
13 12 -0.024594 -0.026991 0.000705 0.005364 0.000976 0.004000 0.000816 0.001422 0.002397 0.001145
14 13 -0.100809 -0.101531 0.000827 0.005364 0.000475 0.004000 -0.000112 0.001269 0.000722 0.000579
```

```
% Formato para las medidas: mmedflujiop,mmedfluji,mmedflujiq
% Nudo_0 Nudo_D Medida_Exa V_Medio_Est Sigma_ruido Umbral_actul. Sigma_Est Sigma_Comp. V_Medio_Res Sigma_Res V_Medio_Exa Sigma_Medio_exa
mmedflujiq=[
1 2 -0.215211 -0.216751 0.012464 0.013409 0.008093 0.010000 0.001932 0.006120 0.001540 0.007902
1 5 0.112095 0.108770 0.007079 0.016091 0.002548 0.012000 0.002421 0.009929 0.003325 0.002800
2 3 0.025989 0.025175 0.004369 0.010728 0.001808 0.008000 -0.000288 0.002945 0.000814 0.001817
2 4 0.080869 0.077670 0.003909 0.010728 0.001118 0.008000 0.003430 0.003107 0.003199 0.001290
2 5 0.078281 0.075300 0.003162 0.010728 0.001213 0.008000 0.003011 0.003860 0.002981 0.001261
3 4 0.139753 0.137500 0.001368 0.008046 0.001469 0.006000 -0.002091 0.001250 0.002253 0.001679
4 5 0.041672 0.041966 0.004090 0.021455 0.001619 0.016000 -0.005278 0.006182 -0.000294 0.001734
4 7 -0.093271 -0.096892 0.002370 0.010728 0.000734 0.008000 -0.003304 0.001463 0.003621 0.000899
4 9 0.021518 0.019140 0.001282 0.005364 0.001819 0.004000 0.000438 0.001384 0.002378 0.001619
5 6 0.061074 0.063206 0.002950 0.013409 0.001898 0.010000 0.002769 0.003821 -0.002132 0.001850
6 11 0.091084 0.090104 0.001057 0.006705 0.001396 0.005000 -0.001937 0.001171 0.000980 0.001152
6 12 0.034576 0.033815 0.000755 0.005364 0.000856 0.004000 -0.001740 0.001084 0.000761 0.000864
6 13 0.134893 0.132717 0.001411 0.008046 0.002558 0.006000 0.002128 0.001000 0.002176 0.002630
7 8 -0.299134 -0.291944 0.002491 0.016762 0.001919 0.012000 0.002803 0.002151 -0.007190 0.002336
7 9 0.165647 0.165266 0.002760 0.013409 0.002497 0.010000 0.001145 0.002256 0.000381 0.002496
9 10 -0.000209 0.002907 0.000702 0.005364 0.001231 0.004000 0.000043 0.000258 -0.003116 0.001237
9 14 0.043528 0.045519 0.001090 0.008046 0.000826 0.006000 0.002352 0.001672 -0.001991 0.001051
10 11 -0.060647 -0.058917 0.000824 0.005364 0.001373 0.004000 0.000720 0.000924 -0.001730 0.001571
12 13 0.017643 0.017168 0.000708 0.005364 0.000566 0.004000 -0.001667 0.000956 0.000475 0.000576
13 14 0.064362 0.064404 0.000822 0.005364 0.000685 0.004000 -0.001648 0.001298 -0.000042 0.000707
2 1 0.296210 0.297377 0.007993 0.013409 0.007884 0.010000 0.001117 0.007191 -0.001167 0.007574
5 1 -0.004247 -0.001584 0.003904 0.016091 0.002474 0.012000 0.003515 0.004459 -0.002663 0.002480
3 2 0.056804 0.057269 0.004080 0.010728 0.001859 0.008000 0.002591 0.001222 -0.000465 0.001893
4 2 -0.029439 -0.026917 0.003407 0.010728 0.001153 0.008000 -0.000545 0.001838 -0.002522 0.001220
5 2 -0.059589 -0.056873 0.002587 0.010728 0.001178 0.008000 0.002055 0.004638 -0.002716 0.001225
4 3 -0.166595 -0.164257 0.001390 0.008046 0.001415 0.006000 0.001654 0.001533 -0.002338 0.001626
5 4 -0.033943 -0.034516 0.003872 0.021455 0.001665 0.016000 -0.001314 0.003530 0.000573 0.001838
7 4 0.133225 0.136736 0.002481 0.010057 0.000984 0.008000 -0.003379 0.001669 -0.003511 0.001002
9 4 0.010849 0.012848 0.001058 0.005364 0.001641 0.004000 0.000669 0.001233 -0.001999 0.001566
6 5 0.021264 0.018048 0.002699 0.013409 0.002073 0.010000 0.000591 0.003635 0.003216 0.002013
```

```
% Formato para las medidas: mmedflujiop,mmedfluji,mmedflujiq
% Nudo_0 Nudo_D Medida_Exa V_Medio_Est Sigma_ruido Umbral_actul. Sigma_Est Sigma_Comp. V_Medio_Res Sigma_Res V_Medio_Exa Sigma_Medio_exa
mmedfluji=[
1 2 1.538850 1.535491 0.004588 0.011169 0.002057 0.010000 0.002935 0.002663 0.003359 0.003176
1 5 0.843751 0.841573 0.003271 0.013403 0.001159 0.012000 0.004416 0.001904 0.002178 0.000955
2 3 0.806348 0.804715 0.003212 0.008935 0.001208 0.008000 -0.000766 0.001807 0.001633 0.001011
2 4 0.713346 0.710195 0.003071 0.008935 0.001377 0.008000 0.003687 0.003833 0.003151 0.000444
2 5 0.556210 0.554274 0.002861 0.008935 0.001797 0.008000 0.001052 0.003010 0.001936 0.000507
3 4 0.202538 0.202293 0.002580 0.006701 0.001148 0.006000 0.000492 0.002601 0.000245 0.000917
4 5 0.696843 0.691413 0.003202 0.017870 0.002221 0.016000 -0.003666 0.006085 0.005430 0.003307
4 7 0.446932 0.446853 0.002745 0.008935 0.001740 0.008000 -0.001118 0.002816 0.000079 0.001410
4 9 0.248955 0.247682 0.002576 0.004468 0.001192 0.004000 0.001745 0.001802 0.001273 0.000576
5 6 0.613290 0.610284 0.002933 0.011169 0.000798 0.010000 0.002618 0.004813 0.003006 0.000896
6 11 0.160669 0.158442 0.002552 0.005585 0.001139 0.005000 0.001080 0.002002 0.002227 0.001070
6 12 0.082633 0.082829 0.002517 0.004468 0.000883 0.004000 0.000000 0.001380 -0.000196 0.000919
6 13 0.256608 0.257248 0.002608 0.006701 0.001719 0.006000 -0.000851 0.000995 -0.000640 0.001831
7 8 0.287823 0.280781 0.002688 0.013961 0.001633 0.012000 -0.001275 0.003309 0.007042 0.002232
7 9 0.447259 0.443634 0.002804 0.011169 0.002400 0.010000 -0.000949 0.005373 0.003625 0.000729
9 10 0.044776 0.043018 0.002506 0.004468 0.000666 0.004000 0.002306 0.001051 0.001758 0.000875
9 14 0.100538 0.102104 0.002526 0.006701 0.001080 0.006000 -0.003359 0.002764 -0.001566 0.001574
10 11 0.108188 0.106810 0.002526 0.004468 0.001102 0.004000 -0.000033 0.003270 0.001378 0.000769
12 13 0.048966 0.049097 0.002507 0.004468 0.000522 0.004000 -0.000333 0.002126 -0.000131 0.000507
13 14 0.121543 0.120575 0.002531 0.004468 0.000879 0.004000 0.001815 0.001780 0.000968 0.000706
2 1 1.530059 1.526633 0.004570 0.011169 0.002177 0.010000 0.000233 0.002959 0.003426 0.003319
5 1 0.847179 0.844835 0.003277 0.013403 0.001168 0.012000 -0.001392 0.005748 0.002344 0.001063
3 2 0.805532 0.803862 0.003210 0.008935 0.001193 0.008000 0.001516 0.003256 0.001670 0.000986
4 2 0.716257 0.712969 0.003075 0.008935 0.001364 0.008000 -0.000159 0.004005 0.003288 0.000462
5 2 0.560431 0.558336 0.002866 0.008935 0.001793 0.008000 0.001413 0.004050 0.002095 0.000524
4 3 0.227224 0.226655 0.002593 0.006701 0.001195 0.006000 0.002802 0.003149 0.000569 0.000979
5 4 0.697537 0.692120 0.003203 0.017870 0.002213 0.016000 -0.001246 0.003634 0.005417 0.003290
7 4 0.437099 0.436498 0.002728 0.008377 0.001850 0.008000 -0.000066 0.000986 0.000601 0.001502
9 4 0.241238 0.239817 0.002572 0.004468 0.001045 0.004000 0.000274 0.001173 0.001421 0.000478
6 5 0.571586 0.567812 0.002880 0.011169 0.000898 0.010000 -0.000535 0.004719 0.003774 0.000951
11 6 0.160669 0.158442 0.002552 0.005585 0.001139 0.005000 0.001862 0.001193 0.002227 0.001070
12 6 0.082633 0.082829 0.002517 0.004468 0.000883 0.004000 -0.000714 0.001663 -0.000196 0.000919
13 6 0.256608 0.257248 0.002608 0.006701 0.001719 0.006000 -0.001655 0.001309 -0.000640 0.001831
8 7 0.287823 0.280781 0.002688 0.013961 0.001633 0.012000 0.004938 0.001782 0.007042 0.002232
9 7 0.447259 0.443634 0.002804 0.011169 0.002400 0.010000 -0.000669 0.002153 0.003625 0.000729
10 9 0.044776 0.043018 0.002506 0.004468 0.000666 0.004000 0.000541 0.001357 0.001758 0.000875
14 9 0.100538 0.102104 0.002526 0.006701 0.001080 0.006000 0.000092 0.003721 -0.001566 0.001574
11 10 0.108188 0.106810 0.002526 0.004468 0.001102 0.004000 0.001217 0.002999 0.001378 0.000769
13 12 0.048966 0.049097 0.002507 0.004468 0.000522 0.004000 -0.001248 0.003104 -0.000131 0.000507
14 13 0.121543 0.120575 0.002531 0.004468 0.000879 0.004000 0.000609 0.001577 0.000968 0.000706
```

Comentario:

Como ya adelantamos anteriormente estos listados nos permitirán conocer la estimación que realiza el estimador de estado, el valor de los residuos y los distintos errores cometidos, así como su carácter de importancia, para las distintas medidas disponibles en el sistema. Los resultados se pueden extender a nivel general, por lo que estudiaremos los resultados para la magnitud de tensión en el nudo de carga 4 de 132 kV.

Siendo el valor medido exacto de 0.993900 mientras que el estimado de 0.992461, lo que se concluye de estos resultados que el error es del orden de 0.001, es decir una buena estimación de estado.

Los resultado obtenidos para la desviación típica de la compañía, umbral de actualización y desviación típica de ruido de la mediad ya se han estudiado en el Análisis Estático pero cabe destacar de este análisis el valor de la desviación típica del valor medio estimado 0.001138, el cual es menor que la desviación típica del ruido, es decir es un valor más preciso aún.

Con respecto al valor del residuo hemos obtenido un valor medio del residuo de 0.003299 y un valor de la desviación típica del valor medio del residuo de 0.001493.

Los resultados de la diferencia con el valor exacto respecto al estimado y la desviación típica media de la diferencia con el valor exacto respecto al estimado hemos obtenido unos valores de 0.001439 y 0.001279 respectivamente.

4.4.1.2. Listado B

```

% Formato para las medidas: mmedten,mmedinypp,mmedinyq
% Nudo Medida_Exa V_Medio_Est Sigma_ruido Umbral_actul. Sigma_Est Sigma_Comp. V_Medio_Res Sigma_Res V_Medio_Exa Sigma_Medio_exa
mmedten=[
1 1.060000 1.060122 0.004003 0.005862 0.001761 0.020000 0.001178 0.005593 -0.000122 0.001761
2 1.045000 1.045023 0.003978 0.005862 0.001926 0.020000 0.001621 0.005543 -0.000023 0.001926
3 1.018080 1.018033 0.003921 0.005862 0.001923 0.020000 0.000902 0.002293 0.000033 0.001923
4 0.993350 0.993327 0.003894 0.005862 0.001815 0.020000 0.001143 0.003388 0.000023 0.001864
5 1.001150 1.001113 0.003907 0.005862 0.001854 0.020000 -0.001484 0.004488 0.000037 0.001890
6 1.070000 1.069861 0.004019 0.005862 0.001155 0.020000 0.002459 0.006233 0.000139 0.001155
7 1.042117 1.041885 0.003973 0.005862 0.001026 0.020000 0.001007 0.002936 0.000232 0.001028
8 1.090000 1.090389 0.004053 0.005862 0.000936 0.020000 -0.000365 0.005208 -0.000389 0.000936
9 1.027383 1.027357 0.003949 0.005862 0.001235 0.020000 0.000294 0.003817 0.000026 0.001281
10 1.022650 1.022722 0.003942 0.005862 0.001248 0.020000 -0.004686 0.002897 -0.000072 0.001311
11 1.038600 1.038934 0.003967 0.005862 0.001227 0.020000 0.003137 0.002841 -0.000334 0.001249
12 1.050033 1.050290 0.003986 0.005862 0.001178 0.020000 0.002920 0.002495 -0.000257 0.001241
13 1.043550 1.043052 0.003976 0.005862 0.001140 0.020000 0.003005 0.002233 0.000498 0.001146
14 1.006217 1.005262 0.003915 0.005862 0.001280 0.020000 0.004098 0.003558 0.000955 0.001282
1 1.060000 1.061768 0.004003 0.005862 0.001967 0.020000 0.000000 0.000000 -0.001768 0.001967
2 1.045000 1.048285 0.003978 0.005862 0.005065 0.020000 0.000000 0.000000 -0.003285 0.005065
3 1.010000 1.007953 0.003921 0.005862 0.003842 0.020000 0.000000 0.000000 0.002047 0.003842
4 0.993350 0.994704 0.003894 0.005862 0.003283 0.020000 0.000000 0.000000 -0.001354 0.003201
5 1.001150 1.003146 0.003907 0.005862 0.001937 0.020000 0.000000 0.000000 -0.001996 0.002025
6 1.070000 1.067279 0.004019 0.005862 0.003040 0.020000 0.000000 0.000000 0.000000 0.003040
7 1.042117 1.042071 0.003973 0.005862 0.003598 0.020000 0.000000 0.000000 0.000046 0.003591
8 1.090000 1.090845 0.004053 0.005862 0.001773 0.020000 0.000000 0.000000 -0.000845 0.001773
9 1.027383 1.025188 0.003949 0.005862 0.003216 0.020000 0.000000 0.000000 0.0002195 0.003242
10 1.022650 1.023429 0.003942 0.005862 0.002086 0.020000 0.000000 0.000000 -0.000779 0.002158
11 1.038600 1.036795 0.003967 0.005862 0.002965 0.020000 0.000000 0.000000 0.001805 0.002998
12 1.050033 1.049458 0.003986 0.005862 0.004407 0.020000 0.000000 0.000000 0.000575 0.004557
13 1.043550 1.044299 0.003976 0.005862 0.002997 0.020000 0.000000 0.000000 -0.000749 0.002990
14 1.006217 1.004787 0.003915 0.005862 0.001786 0.020000 0.000000 0.000000 0.001430 0.001783
];

% Formato para las medidas: mmedten,mmedinypp,mmedinyq
% Nudo Medida_Exa V_Medio_Est Sigma_ruido Umbral_actul. Sigma_Est Sigma_Comp. V_Medio_Res Sigma_Res V_Medio_Exa Sigma_Medio_exa
mmedinypp=[
1 2.609412 2.611044 0.011584 0.053638 0.004246 0.020000 -0.004251 0.011683 -0.001632 0.002777
2 0.419821 0.431591 0.005218 0.032183 0.011752 0.020000 -0.004206 0.011312 -0.011770 0.006404
3 -0.909307 -0.915178 0.007955 0.053638 0.005205 0.020000 -0.014900 0.012690 0.005871 0.003324
4 -0.569284 -0.577297 0.002863 0.013409 0.006522 0.020000 0.000960 0.009072 0.008013 0.002978
5 -0.097945 -0.099996 0.000462 0.002146 0.003094 0.020000 0.002010 0.003040 0.002051 0.003155
];

% Formato para las medidas: mmedten,mmedinypp,mmedinyq
% Nudo Medida_Exa V_Medio_Est Sigma_ruido Umbral_actul. Sigma_Est Sigma_Comp. V_Medio_Res Sigma_Res V_Medio_Exa Sigma_Medio_exa
mmedinyq=[
1 -0.123473 -0.121014 0.030879 0.053638 0.005214 0.020000 0.001402 0.022562 -0.002459 0.005254
2 0.538205 0.533439 0.005133 0.032183 0.005077 0.020000 -0.002104 0.010619 0.004766 0.004904
3 0.178412 0.184506 0.009046 0.053638 0.003553 0.020000 0.011272 0.019617 -0.006094 0.001645
4 -0.265843 -0.270290 0.003054 0.013409 0.004231 0.020000 0.002102 0.005800 0.004447 0.003129
5 -0.044432 -0.045659 0.000434 0.002146 0.002787 0.020000 0.001290 0.002782 0.001227 0.002723
];

% Formato para las medidas: mmedten,mmedinypp,mmedinyq
% Nudo Medida_Exa V_Medio_Est Sigma_ruido Umbral_actul. Sigma_Est Sigma_Comp. V_Medio_Res Sigma_Res V_Medio_Exa Sigma_Medio_exa
mmedinyi=[
1 2.464464 2.465620 0.006649 0.044676 0.003296 0.020000 -0.016468 0.012485 -0.001156 0.002827
2 0.653186 0.656621 0.003309 0.026806 0.007994 0.020000 0.005213 0.006901 -0.003437 0.004350
3 0.917470 0.924041 0.004023 0.044676 0.004614 0.020000 0.018181 0.013353 -0.006571 0.002103
4 0.632503 0.641728 0.002958 0.011169 0.007285 0.020000 -0.005259 0.005149 -0.009225 0.003532
5 0.107429 0.109843 0.002514 0.001787 0.002130 0.020000 -0.003728 0.003134 -0.002414 0.002209
6 0.284547 0.285011 0.002710 0.022338 0.002153 0.020000 -0.003551 0.005614 -0.000464 0.002025
7 0.015102 0.012930 0.002500 0.000112 0.004496 0.020000 -0.000045 0.006099 0.002172 0.005629
8 0.271831 0.275365 0.002694 0.022338 0.002209 0.020000 -0.004515 0.002397 -0.003534 0.002185
9 0.480273 0.474600 0.002774 0.006701 0.002693 0.020000 0.005256 0.002584 0.005673 0.002745
10 0.191502 0.192546 0.002545 0.001396 0.000732 0.020000 -0.002072 0.002512 -0.001044 0.001141
11 0.079529 0.077023 0.002508 0.000838 0.000749 0.020000 0.003222 0.001907 0.002506 0.000685
12 0.066211 0.062099 0.002506 0.001396 0.001323 0.020000 0.006611 0.002634 0.004112 0.001664
13 0.133634 0.136954 0.002529 0.003351 0.002041 0.020000 -0.003327 0.003568 -0.003320 0.002064
14 0.206086 0.210414 0.002552 0.003351 0.002899 0.020000 -0.005333 0.002835 -0.004328 0.003444
];
    
```

```
% Formato para las medidas: mmedflujop,mmedfluji,mmedflujq
% Nudo_0 Nudo_D Medida_Exa V_Medio_Est Sigma_ruido Umbral_actul. Sigma_Est Sigma_Comp. V_Medio_Res Sigma_Res V_Medio_Exa Sigma_Medio_exa
mmedflujop=[
1 2 1.713214 1.712721 0.006575 0.013409 0.002044 0.010000 -0.000070 0.002914 0.000493 0.002001
1 5 0.896198 0.898322 0.003887 0.016091 0.002945 0.012000 0.005044 0.006617 -0.002124 0.001524
2 3 0.805315 0.810359 0.003164 0.010728 0.004758 0.008000 0.000428 0.005276 -0.005044 0.002573
2 4 0.720190 0.723709 0.002926 0.010728 0.004131 0.008000 -0.001316 0.002639 -0.003519 0.001962
2 5 0.556162 0.558930 0.002434 0.010728 0.003504 0.008000 0.002013 0.003467 -0.002768 0.001854
3 4 -0.132018 -0.133186 0.001318 0.008046 0.001061 0.006000 -0.000292 0.002623 0.001168 0.001037
4 5 -0.685777 -0.688793 0.003795 0.021455 0.002847 0.016000 -0.001202 0.008788 0.003016 0.001263
4 7 0.429790 0.427792 0.002110 0.010728 0.001402 0.001402 -0.000085 0.001667 0.001998 0.001542
4 9 0.243958 0.242976 0.001103 0.005364 0.000484 0.004000 0.001022 0.001816 0.000982 0.000470
5 6 0.605971 0.605399 0.002753 0.013409 0.000763 0.010000 -0.004254 0.003028 0.000572 0.000729
6 11 0.162832 0.161718 0.001120 0.006705 0.000622 0.005000 -0.000604 0.002352 0.001114 0.000806
6 12 0.086605 0.085287 0.000792 0.005364 0.001058 0.004000 -0.000057 0.001535 0.001318 0.001039
6 13 0.212484 0.213553 0.001378 0.008046 0.001521 0.006000 0.001830 0.001343 -0.001069 0.001436
7 8 0.000000 0.001420 0.002532 0.016762 0.001222 0.012000 0.000088 0.001342 -0.001420 0.001222
7 9 0.429786 0.428547 0.002474 0.013409 0.001628 0.010000 -0.000384 0.003844 0.001239 0.001531
9 10 0.098943 0.099901 0.000805 0.005364 0.000855 0.004000 0.000777 0.000968 -0.000958 0.001037
9 14 0.083509 0.085873 0.001102 0.008046 0.001410 0.006000 0.001664 0.002008 -0.002364 0.001643
10 11 -0.085000 -0.085283 0.000799 0.005364 0.000978 0.004000 -0.000162 0.001000 0.000283 0.000897
12 13 0.024725 0.027152 0.000705 0.005364 0.000986 0.004000 -0.000118 0.001810 -0.002427 0.001157
13 14 0.103084 0.103852 0.000833 0.005364 0.000500 0.004000 0.001600 0.001358 -0.000768 0.000612
2 1 -1.661847 -1.661407 0.006342 0.013409 0.002017 0.010000 0.000516 0.006884 -0.000440 0.001957
5 1 -0.856616 -0.858557 0.003662 0.016091 0.002754 0.012000 -0.000719 0.006431 0.001941 0.001479
3 2 -0.777289 -0.781992 0.003078 0.010728 0.004491 0.008000 0.003709 0.003463 0.004073 0.002477
4 2 -0.691961 -0.695216 0.002811 0.010728 0.003852 0.008000 0.000393 0.004605 0.003255 0.001867
5 2 -0.539466 -0.542077 0.002365 0.010728 0.003321 0.008000 -0.003740 0.003096 0.002611 0.001774
4 3 0.134705 0.135945 0.001358 0.008046 0.001097 0.006000 0.000268 0.001395 -0.001240 0.001064
5 4 0.692165 0.695240 0.003809 0.021455 0.002886 0.016000 0.002908 0.008630 -0.003075 0.001264
7 4 -0.429790 -0.427792 0.002115 0.010057 0.001402 0.008000 0.002579 0.003212 -0.001998 0.001542
9 4 -0.243958 -0.242976 0.001104 0.005364 0.000484 0.004000 0.000051 0.001167 -0.000982 0.000470
6 5 -0.605971 -0.605399 0.002749 0.013409 0.000763 0.010000 0.002511 0.003574 -0.000572 0.000729
11 6 -0.159924 -0.158870 0.001105 0.006705 0.000607 0.005000 0.002718 0.000991 -0.001054 0.000783
12 6 -0.085607 -0.084322 0.000788 0.005364 0.001038 0.004000 0.001505 0.000956 -0.001285 0.001020
13 6 -0.209166 -0.210177 0.001364 0.008046 0.001467 0.006000 -0.000298 0.001666 0.001011 0.001385
8 7 0.000000 -0.001420 0.002428 0.016762 0.001222 0.012000 0.000080 0.001349 0.001420 0.001222
9 7 -0.429786 -0.428547 0.002407 0.013409 0.001628 0.010000 0.002932 0.003535 -0.001239 0.001531
10 9 -0.098635 -0.099590 0.000806 0.005364 0.000849 0.004000 0.000413 0.001031 0.000955 0.001030
14 9 -0.082460 -0.084749 0.001100 0.008046 0.001368 0.006000 0.001396 0.001690 0.002289 0.001591
11 10 0.085750 0.086046 0.000793 0.005364 0.000981 0.004000 -0.001030 0.000866 -0.000296 0.000900
13 12 -0.024594 -0.026991 0.000705 0.005364 0.000976 0.004000 0.000816 0.001422 0.002397 0.001145
14 13 -0.100809 -0.101531 0.000827 0.005364 0.000475 0.004000 -0.000112 0.001269 0.000722 0.000579
```

```
% Formato para las medidas: mmedflujop,mmedfluji,mmedflujq
% Nudo_0 Nudo_D Medida_Exa V_Medio_Est Sigma_ruido Umbral_actul. Sigma_Est Sigma_Comp. V_Medio_Res Sigma_Res V_Medio_Exa Sigma_Medio_exa
mmedflujq=[
1 2 -0.237149 -0.235314 0.013841 0.013409 0.004421 0.010000 0.002526 0.010509 -0.001835 0.004382
1 5 0.113676 0.114300 0.007471 0.016091 0.001022 0.012000 0.000914 0.005513 -0.000624 0.000910
2 3 0.028957 0.026936 0.004219 0.010728 0.000611 0.008000 0.001277 0.001809 0.002021 0.000441
2 4 0.088254 0.087803 0.003835 0.010728 0.000806 0.008000 0.004775 0.002018 0.000451 0.000475
2 5 0.085506 0.085217 0.003092 0.010728 0.000697 0.008000 0.002320 0.002063 0.000289 0.000595
3 4 0.135547 0.138202 0.001316 0.008046 0.001978 0.006000 0.001068 0.003837 -0.002655 0.001051
4 5 0.037463 0.038864 0.004039 0.021455 0.001981 0.016000 -0.001962 0.005845 -0.001401 0.001902
4 7 -0.110050 -0.113171 0.002341 0.010728 0.001979 0.008000 -0.000970 0.001619 0.003121 0.001728
4 9 0.011626 0.010127 0.001258 0.005364 0.000975 0.004000 0.000761 0.001044 0.001499 0.001026
5 6 0.058318 0.057412 0.002908 0.013409 0.001762 0.010000 0.001456 0.002692 0.000906 0.001947
6 11 0.092423 0.090386 0.001084 0.006705 0.000533 0.005000 -0.000074 0.001749 0.002037 0.000543
6 12 0.042406 0.041363 0.000767 0.005364 0.000779 0.004000 0.001065 0.001427 0.001043 0.000699
6 13 0.110779 0.113155 0.001330 0.008046 0.002110 0.006000 -0.000516 0.000503 -0.002376 0.002029
7 8 -0.283280 -0.286891 0.002461 0.016762 0.002205 0.012000 -0.000239 0.003343 0.003611 0.002178
7 9 0.149069 0.147033 0.002728 0.013409 0.004533 0.010000 -0.000066 0.001162 0.002036 0.005064
9 10 0.020633 0.019082 0.000763 0.005364 0.000725 0.004000 -0.000202 0.000449 0.001551 0.000731
9 14 0.041701 0.044136 0.001081 0.008046 0.003010 0.006000 0.000035 0.001622 -0.002435 0.003252
10 11 -0.048237 -0.049521 0.000797 0.005364 0.001256 0.004000 -0.000470 0.000843 0.001284 0.001361
12 13 0.006756 0.008050 0.000692 0.005364 0.000778 0.004000 0.001605 0.000946 -0.001294 0.000933
13 14 0.062187 0.063133 0.000810 0.005364 0.001111 0.004000 0.001017 0.001166 -0.000946 0.001200
2 1 0.335489 0.333483 0.008492 0.013409 0.004269 0.010000 0.002021 0.007184 0.002006 0.004212
5 1 -0.002575 -0.002448 0.003894 0.016091 0.000695 0.012000 0.001161 0.004621 -0.000127 0.000658
3 2 0.042865 0.046304 0.003838 0.010728 0.001665 0.008000 0.002507 0.002482 -0.003439 0.000776
4 2 -0.041474 -0.040222 0.003291 0.010728 0.000802 0.008000 -0.000650 0.002755 -0.001252 0.000800
5 2 -0.070133 -0.069364 0.002506 0.010728 0.000818 0.008000 0.004355 0.002158 -0.000769 0.000821
4 3 -0.163408 -0.165889 0.001349 0.008046 0.001939 0.006000 -0.000012 0.002610 0.002481 0.001091
5 4 -0.030041 -0.031258 0.003831 0.021455 0.002023 0.016000 -0.004572 0.003565 0.001217 0.001901
7 4 0.149949 0.152933 0.002473 0.010057 0.001975 0.008000 -0.000267 0.002322 -0.002984 0.001741
9 4 0.019944 0.021221 0.001055 0.005364 0.000900 0.004000 0.001415 0.001147 -0.001277 0.000980
6 5 0.022624 0.023409 0.002676 0.013409 0.001897 0.010000 0.002069 0.002430 -0.000785 0.002165
```

```

% Formato para las medidas: mmedflujiop,mmedfluji,mmedflujiq
% Nudo_0 Nudo_D Medida_Exa V_Medio_Est Sigma_ruido Umbral_actul. Sigma_Est Sigma_Comp. V_Medio_Res Sigma_Res V_Medio_Exa Sigma_Medio_exa
mmedfluji=[
1 2 1.631651 1.630775 0.004784 0.011169 0.001996 0.010000 0.001192 0.001853 0.000876 0.002273
1 5 0.852244 0.854210 0.003285 0.013403 0.002460 0.012000 -0.000715 0.005304 -0.001966 0.001293
2 3 0.771135 0.775875 0.003157 0.008935 0.003837 0.008000 -0.004003 0.003162 -0.004740 0.001578
2 4 0.694332 0.697609 0.003044 0.008935 0.003591 0.008000 -0.000928 0.004570 -0.003277 0.001555
2 5 0.538466 0.541032 0.002839 0.008935 0.003075 0.008000 0.000265 0.004572 -0.002566 0.001541
3 4 0.187340 0.189968 0.002571 0.006701 0.001666 0.006000 -0.002161 0.003515 -0.002628 0.001046
4 5 0.691397 0.694528 0.003197 0.017870 0.002319 0.016000 0.002779 0.010033 -0.003131 0.000594
4 7 0.446626 0.445488 0.002745 0.008935 0.001452 0.008000 0.000112 0.003803 0.001138 0.001717
4 9 0.245870 0.244823 0.002575 0.004468 0.000426 0.004000 0.000874 0.001093 0.001047 0.000453
5 6 0.608072 0.607445 0.002926 0.011169 0.001547 0.010000 -0.000518 0.003830 0.000627 0.001660
6 11 0.174985 0.173167 0.002558 0.005585 0.000578 0.005000 0.000344 0.001325 0.001818 0.000782
6 12 0.090121 0.088605 0.002519 0.004468 0.000933 0.004000 0.000010 0.003554 0.001516 0.000904
6 13 0.223951 0.225902 0.002591 0.006701 0.001954 0.006000 0.000238 0.000576 -0.001951 0.001842
7 8 0.271831 0.275365 0.002672 0.013961 0.002209 0.012000 0.004629 0.002252 -0.003534 0.002185
7 9 0.436519 0.434876 0.002796 0.011169 0.001038 0.010000 0.000997 0.003294 0.001643 0.001331
9 10 0.098378 0.099005 0.002522 0.004468 0.000877 0.004000 0.001338 0.002257 -0.000627 0.001097
9 14 0.090854 0.094011 0.002522 0.006701 0.002102 0.006000 -0.002805 0.001103 -0.003157 0.002467
10 11 0.095569 0.096442 0.002521 0.004468 0.000256 0.004000 0.000818 0.002787 -0.000873 0.000448
12 13 0.024410 0.026983 0.002504 0.004468 0.000834 0.004000 -0.002769 0.005329 -0.002573 0.001075
13 14 0.115365 0.116523 0.002528 0.004468 0.000812 0.004000 0.000819 0.004265 -0.001158 0.000978
2 1 1.622366 1.621548 0.004765 0.011169 0.002013 0.010000 0.003942 0.001699 0.000818 0.002297
5 1 0.855636 0.857609 0.003290 0.013403 0.002465 0.012000 0.003325 0.005632 -0.001973 0.001304
3 2 0.770762 0.775350 0.003156 0.008935 0.003780 0.008000 -0.000530 0.003754 -0.004588 0.001554
4 2 0.697844 0.701059 0.003049 0.008935 0.003579 0.008000 -0.000312 0.002729 -0.003215 0.001530
5 2 0.543381 0.545892 0.002845 0.008935 0.003044 0.008000 -0.000529 0.003037 -0.002511 0.001505
4 3 0.213190 0.215916 0.002585 0.006701 0.001773 0.006000 -0.002375 0.003066 -0.002726 0.001084
5 4 0.692021 0.695173 0.003197 0.017870 0.002300 0.016000 0.001508 0.005630 -0.003152 0.000579
7 4 0.436800 0.436049 0.002728 0.008377 0.001267 0.008000 -0.000247 0.004082 0.000751 0.001499
9 4 0.238248 0.237408 0.002570 0.004468 0.000366 0.004000 0.001207 0.001929 0.000840 0.000425
6 5 0.566723 0.566294 0.002877 0.011169 0.001151 0.010000 -0.000637 0.003064 0.000429 0.001303
11 6 0.174985 0.173167 0.002558 0.005585 0.000578 0.005000 0.001657 0.002022 0.001818 0.000782
12 6 0.090121 0.088605 0.002519 0.004468 0.000933 0.004000 0.002422 0.002318 0.001516 0.000904
13 6 0.223951 0.225902 0.002591 0.006701 0.001954 0.006000 -0.000198 0.002459 -0.001951 0.001842
8 7 0.271831 0.275365 0.002672 0.013961 0.002209 0.012000 -0.003259 0.003652 -0.003534 0.002185
9 7 0.436519 0.434876 0.002796 0.011169 0.001038 0.010000 -0.000455 0.002596 0.001643 0.001331
10 9 0.098378 0.099005 0.002522 0.004468 0.000877 0.004000 0.001137 0.002415 -0.000627 0.001097
14 9 0.090854 0.094011 0.002522 0.006701 0.002102 0.006000 -0.003643 0.003470 -0.003157 0.002467
11 10 0.095569 0.096442 0.002521 0.004468 0.000256 0.004000 -0.002176 0.001729 -0.000873 0.000448
13 12 0.024410 0.026983 0.002504 0.004468 0.000834 0.004000 -0.003104 0.002473 -0.002573 0.001075
14 13 0.115365 0.116523 0.002528 0.004468 0.000812 0.004000 -0.002375 0.005153 -0.001158 0.000978

```

Comentario:

Como ya adelantamos anteriormente estos listados nos permitirán conocer la estimación que realiza el estimador de estado, el valor de los residuos y los distintos errores cometidos, así como su carácter de importancia, para las distintas medidas disponibles en el sistema. Los resultados se pueden extender a nivel general, por lo que estudiaremos los resultados para la magnitud de tensión en el nudo de carga 4 de 132 kV.

Siendo el valor medido exacto de 0.993350 mientras que el estimado de 0.993327, lo que se concluye de estos resultados que el error es del orden de 0.00001, es decir una buena estimación de estado.

Los resultados obtenidos para la desviación típica de la compañía, umbral de actualización y desviación típica de ruido de la medid ya se han estudiado en el Análisis Estático pero cabe destacar de este análisis el valor de la desviación típica del valor medio estimado 0.001815, el cual es menor que la desviación típica del ruido, es decir es un valor más preciso aún.

Con respecto al valor del residuo hemos obtenido un valor medio del residuo de 0.001143 y un valor de la desviación típica del valor medio del residuo de 0.003388.

Los resultados de la diferencia con el valor exacto respecto al estimado y la desviación típica media de la diferencia con el valor exacto respecto al estimado hemos obtenido unos valores de 0.000023 y 0.001864 respectivamente.

4.4.2. Representación Gráfica de la Evolución de las Medidas

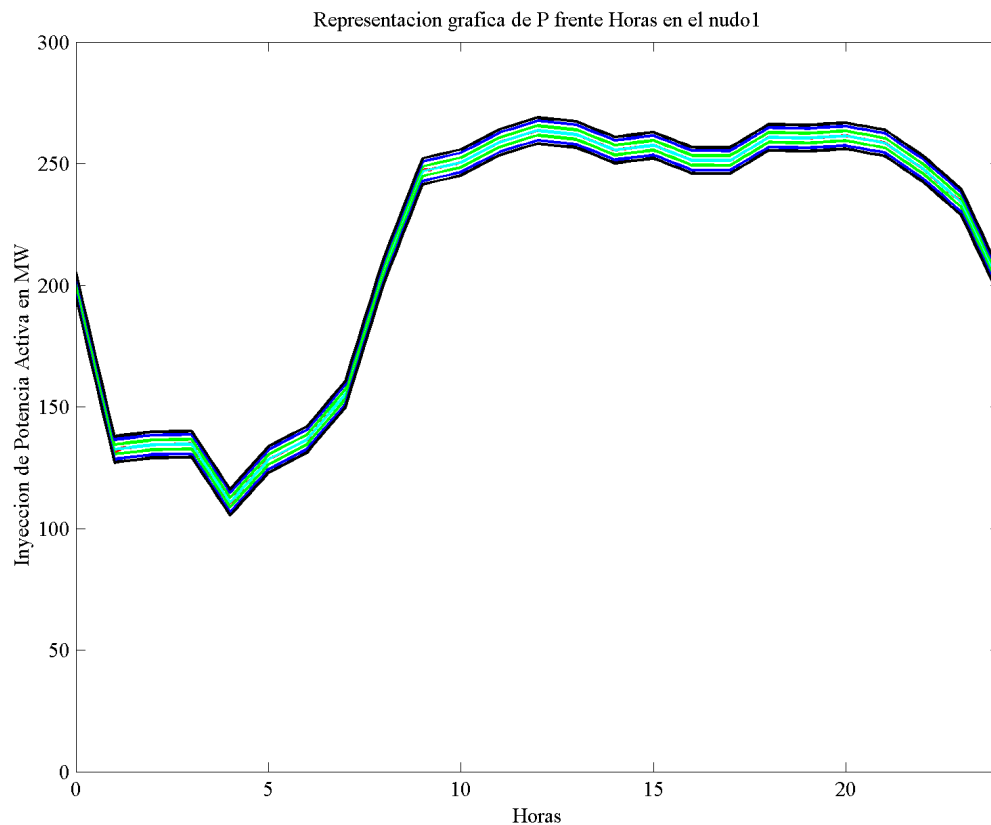
Con objeto de visualizar el error relativo, como ya hicimos en el apartado 3.2 del Análisis Dinámico pero esta vez con lo que supone el Análisis Estadístico Dinámico, la desviación típica de ruido, la desviación típica de la compañía y el umbral de actualización, se mostrarán unas representaciones gráficas de aquellas medidas más significativas asociándole un intervalo de incertidumbre entorno a la medida exacta a lo largo de las 24 horas. Además se trazará los valores correspondientes al valor medio estimado de aquellas medidas disponibles más significativas en el nudo 1 y rama 1-5.

El estudio se realiza en el Nudo 1 de generación de nivel de tensión de 132 kV y en la rama 1-5 con el mismo nivel de tensión. Más información acerca de la Red ver Anexo II.

Para corroborar estos resultados a nivel general en la Red se realizarán las mismas gráficas aquí presentadas pero para el Nudo 3 de 132 kV y la rama 13-14 con el mismo nivel de tensión ambos nudos de 33 kV. Esta información se encuentra reflejada en el Anexo V. Evolución de las Medidas en el Nudo 3, Rama 13-14.

4.4.2.1. Representación Gráfica de la Inyección de Potencia Activa en MW

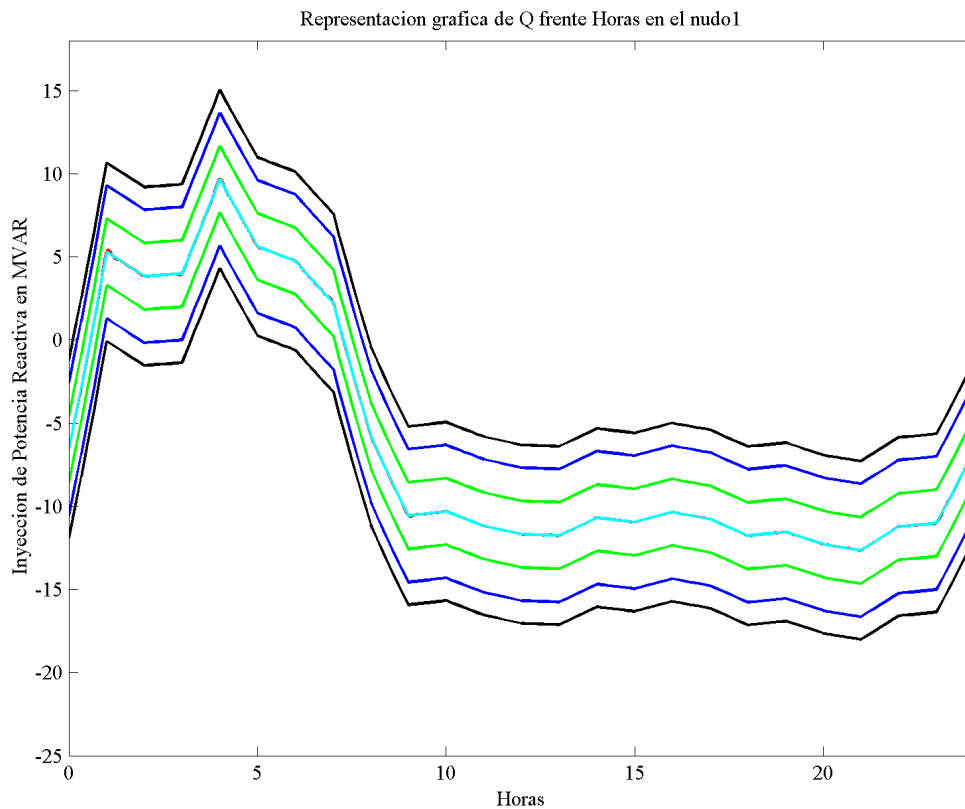
- La línea de color rojo representa el valor exacto de la medida.
- La línea de color azul cielo representa el valor medio estimado de la medida.
- La línea de color verde representa el intervalo de incertidumbre asociado al ruido. El valor exacto de la medida más/menos el doble de la desviación típica del ruido.
- La línea de color negra representa el intervalo de incertidumbre asociado al umbral de actualización. El valor exacto de la medida más/menos el umbral de actualización.
- La línea de color azul representa el intervalo de incertidumbre asociado a la compañía. El valor exacto de la medida más/menos el doble de la desviación típica de la compañía.

**Comentario:**

Concluimos de esta gráfica que las diferencias entre el valor medio estimado y el valor exacto son muy pequeñas.

4.4.2.2. Representación Gráfica de la Inyección de Potencia Reactiva en MVAR

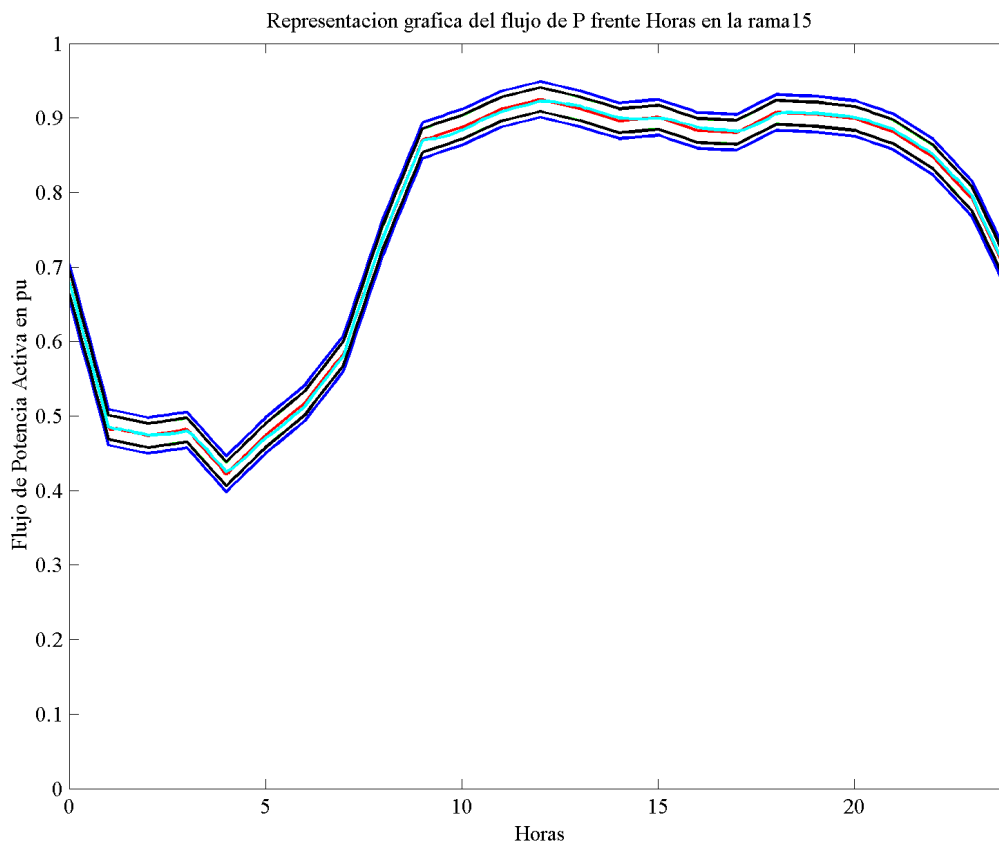
- La línea de color rojo representa el valor exacto de la medida.
- La línea de color azul cielo representa el valor medio estimado de la medida.
- La línea de color verde representa el intervalo de incertidumbre asociado al ruido. El valor exacto de la medida más/menos el doble de la desviación típica del ruido.
- La línea de color negra representa el intervalo de incertidumbre asociado al umbral de actualización. El valor exacto de la medida más/menos el umbral de actualización.
- La línea de color azul representa el intervalo de incertidumbre asociado a la compañía. El valor exacto de la medida más/menos el doble de la desviación típica de la compañía.

**Comentario:**

Concluimos de esta gráfica que las diferencias entre el valor medio estimado y el valor exacto son muy pequeñas,

4.4.2.3. Representación Gráfica del Flujo de Potencia Activa en pu

- La línea de color rojo representa el valor exacto de la medida.
- La línea de color azul cielo representa el valor medio estimado de la medida.
- La línea de color verde representa el intervalo de incertidumbre asociado al ruido. El valor exacto de la medida más/menos el doble de la desviación típica del ruido.
- La línea de color negra representa el intervalo de incertidumbre asociado al umbral de actualización. El valor exacto de la medida más/menos el umbral de actualización.
- La línea de color azul representa el intervalo de incertidumbre asociado a la compañía. El valor exacto de la medida más/menos el doble de la desviación típica de la compañía.



Comentario:

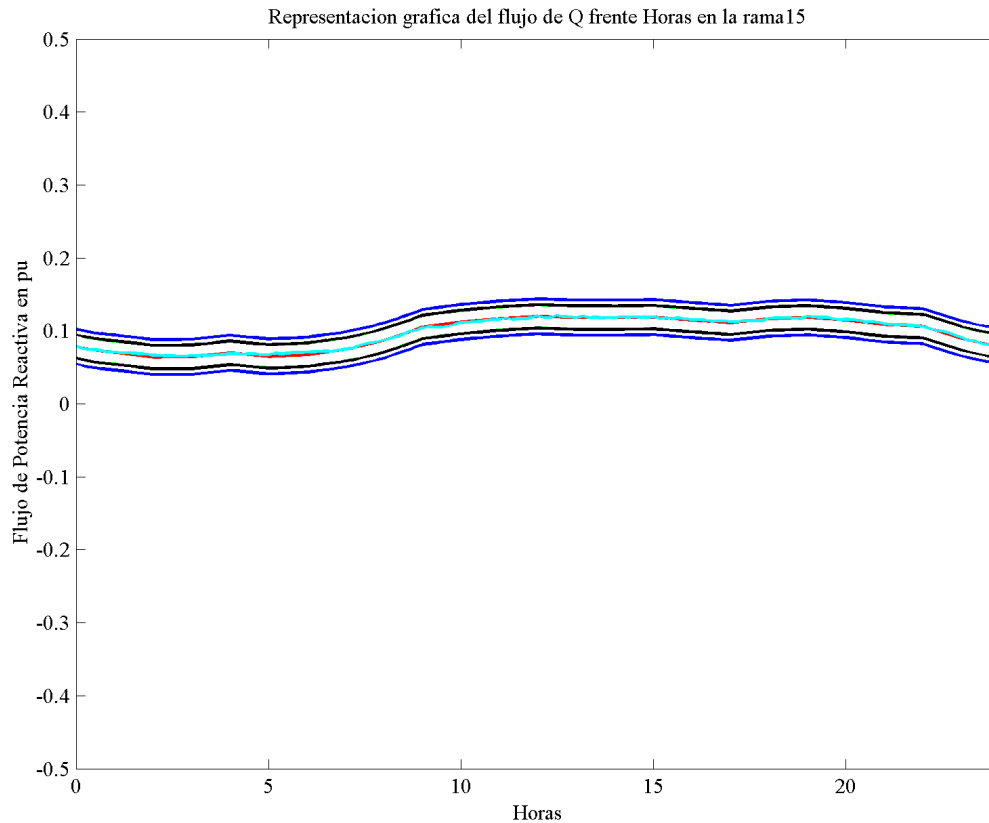
El intervalo de incertidumbre del umbral de actualización prácticamente coincide con el intervalo de incertidumbre de la desviación típica de ruido jugando por tanto la desviación típica del ruido un papel importante.

También concluimos de esta gráfica que el valor medio estimado se asemeja bien al valor exacto.

4.4.2.4. Representación Gráfica del Flujo de Potencia Reactiva en pu

- La línea de color rojo representa el valor exacto de la medida.
- La línea de color azul cielo representa el valor medio estimado de la medida.
- La línea de color verde representa el intervalo de incertidumbre asociado al ruido. El valor exacto de la medida más/menos el doble de la desviación típica del ruido.
- La línea de color negra representa el intervalo de incertidumbre asociado al umbral de actualización. El valor exacto de la medida más/menos el umbral de actualización.

- La línea de color azul representa el intervalo de incertidumbre asociado a la compañía. El valor exacto de la medida más/menos el doble de la desviación típica de la compañía.

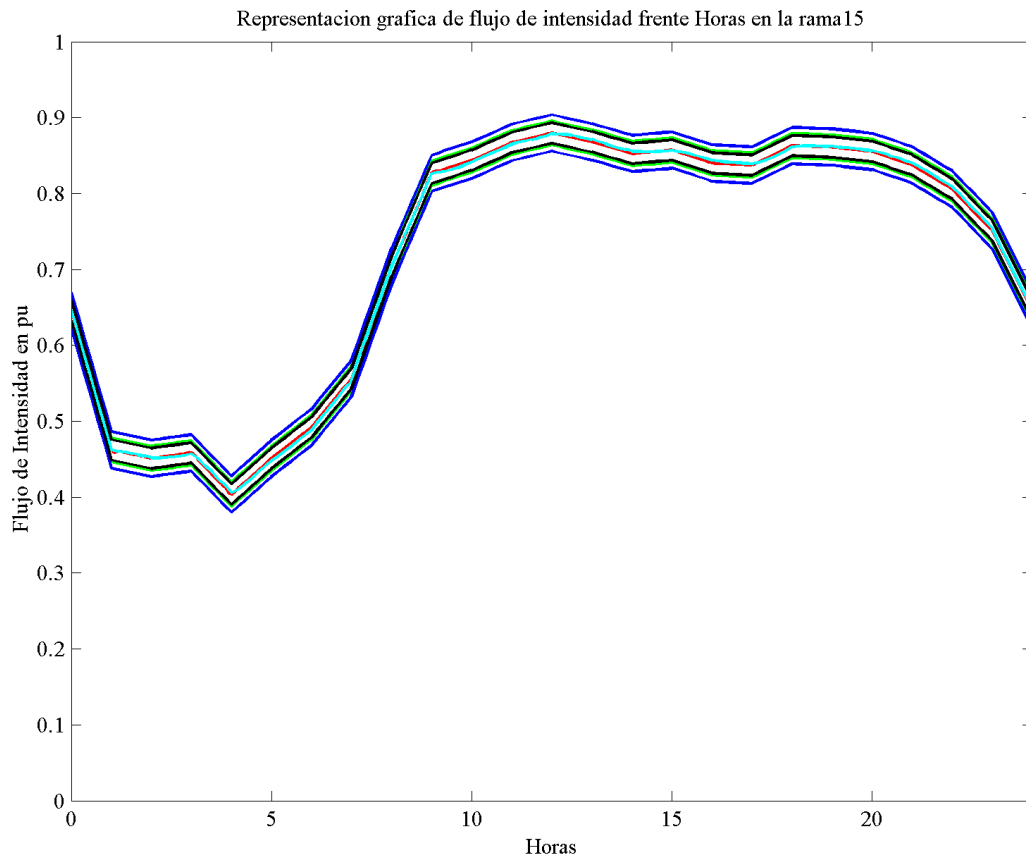
**Comentario:**

Concluimos de esta gráfica que el valor medio estimado se asemeja bien al valor exacto.

4.4.2.5. Representación Gráfica del Flujo de Intensidad en pu

- La línea de color rojo representa el valor exacto de la medida.
- La línea de color azul cielo representa el valor medio estimado de la medida.
- La línea de color verde representa el intervalo de incertidumbre asociado al ruido. El valor exacto de la medida más/menos el doble de la desviación típica del ruido.
- La línea de color negra representa el intervalo de incertidumbre asociado al umbral de actualización. El valor exacto de la medida más/menos el umbral de actualización.

- La línea de color azul representa el intervalo de incertidumbre asociado a la compañía. El valor exacto de la medida más/menos el doble de la desviación típica de la compañía.



Comentario:

Concluimos de esta gráfica que el valor medio estimado se asemeja bien al valor exacto.

5. Capítulo 5. Conclusiones

5. Capítulo 5. Conclusiones

5.1. Introducción

En este Capítulo se resume todo el trabajo llevado a cabo en el estudio y determinación del Análisis de los Errores en la Cadena de Medida en los Estimadores de Estado y de las conclusiones derivadas tras las simulaciones utilizando el programa que se ha desarrollado en este proyecto.

5.1.1. Análisis de Errores

El estudio realizado se ha basado en la determinación uno a uno de los errores asociados en la cadena de medida así como su posterior evaluación de los errores durante las simulaciones.

Para cada tipo de error se ha realizado una función con la herramienta Matlab. Los tipos de errores se han dividido en función de la siguiente cadena de medida;

Cadena de medida



Por tanto este estudio del Análisis de Errores en la Cadena de Medida nos ha permitido conocer de que orden son estos errores y poder desarrollar un importante campo de investigación en la desviación típica de los errores, así como permitir a las compañías la elaboración de un estudio para permitirles realizar un ajuste preciso en la sintonización de pesos de medidas en los estimadores de estado del sistema eléctrico de potencia.

5.1.2. Conclusiones de las Simulaciones

A la vista de estos resultados tanto para las desviaciones típicas de los errores en la cadena de medida como en las simulaciones llevadas a cabo, permiten concluir se está cometiendo errores importantes en el ajuste de las desviaciones típicas de la compañía. Con lo que por medio de la aplicación desarrollada en este proyecto, sus simulaciones y un estudio profundo y exhaustivo en la materia, les permitirá a las compañías, un ajuste preciso en sus desviaciones típicas y con ello un ajuste preciso de los pesos de las medidas, confinándole por tanto una mejor **fiabilidad y precisión al estimador de estado**.

5.1.3. Aportaciones Personales

Como aportaciones personales al estudio llevado a cabo en este proyecto cabe mencionar:

- La aplicación programada en Matlab que permite determinar y evaluar la magnitud de los errores que interviene durante el proceso de la cadena de medida, para analizar los errores en la cadena de medida durante la estimación de estado del SEP.
- Un estudio que permite valorar la influencia que producen unos rangos de valores dados para las medidas de nudos y ramas en un escenario determinado en la evolución de los errores de estas medidas.
- Una aplicación que nos permite conocer la sensibilidad de la información entrante al SCADA mediante la variación del umbral de actualización, y con ello las consecuencias pertinentes.
- Un estudio que se centra fundamentalmente en la influencia del error introducido por el umbral de actualización debido a su carácter de importancia y por la posibilidad de control por parte de las compañías.
- Un estudio que permite obtener las conclusiones estadísticas de los errores para las siguientes medidas; el valor medio estimado, la desviación típica media estimada, el valor medio de los residuos, la desviación típica media de los residuos, la diferencia con el valor exacto respecto al estimado y la desviación típica media de la diferencia con el valor exacto respecto al estimado.
- El formato y representación de los valores tomados de la Red IEEE – 14 desarrollado en el proyecto.

5.1.4. Líneas Futuras de Investigación

En este apartado se sugieren posibles líneas de mejoras de la aplicación desarrollada en este proyecto, así como un nuevo análisis frente a medidas erróneas.

5.1.4.1. Nuevos Criterios para los Pesos de la Compañía

A raíz de los resultados de los análisis anteriormente descritos, podríamos desarrollar un estudio profundo de obtención de nuevos criterios para la asignación de pesos de la compañía y para el valor del umbral de actualización.

Para estos nuevos criterios planteados, repetiríamos el análisis estático, dinámico y el análisis estadístico dinámico con el fin de volver a analizar los errores en la cadena de medida y por tanto ajustar la sintonización adecuada de los pesos en las medidas del sistema eléctrico de potencia.

5.1.4.2. Expansión de la Red

Adecuar este programa a una Red de mayor número de nudos con el fin de obtener un mayor abanico de resultados y una aproximación mejor a la realidad.

5.1.4.3. Comportamiento Frente a Medidas Erróneas

Este posible análisis consiste en tomar todas las medidas exactas excepto una, donde se tomará un error para detectar el efecto de la variación del umbral de actualización sobre los residuos normalizados.

Para ello se estudiaría primero dicho comportamiento, variando el umbral de actualización para ver el efecto que provoca en los residuos normalizados sin introducir error.

Con esta referencia frente al comportamiento de la variación del umbral de actualización sobre los residuos normalizados sin introducir error, estaríamos en disposición de ver lo que ocurriría en el caso de introducir un error en una determinada variable.

Se estudiaría este comportamiento frente a errores en:

- La magnitud de Tensión.
- La magnitud de Flujo de Potencia Activa y Reactiva.
- La magnitud de Intensidad.

Los órdenes de magnitud de los errores podrían ser:

- $\pm 3 \cdot \sigma_R$ (*Desviación típica de ruido*) para la magnitud de tensión y de Flujo de Potencia Activa y Reactiva, y de $+ 3 \cdot \sigma_R$ (*Desviación típica de ruido*) en la magnitud de Intensidad.
- $\pm 5 \cdot \sigma_R$ (*Desviación típica de ruido*) para la magnitud de tensión y de Flujo de Potencia Activa y Reactiva, y de $+ 5 \cdot \sigma_R$ (*Desviación típica de ruido*) en la magnitud de Intensidad.

6. Capítulo 6. Bibliografía

6. Capítulo 6. Bibliografía

- [1] Zarco P., Gómez A., “Estimación de Estado y de parámetros en Redes Eléctricas”. *Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla*, 1999.
- [2] V.C. Ramesh, X. Li, “A Fuzzy Multiobjective Approach to Contingency Constrained OPF”, *IEEE Trans. Power System* Vol. 12, No. 3, Aug 1997, 1348-1354.
- [3] UNE_21302-300:2004 *Vocabulario electrotécnico*. Medidas e instrumentos de medida eléctricos y electrónicos. Parte 311: Términos generales relativos a las medidas. Parte 312: Términos generales relativos a las medidas eléctricas. Parte 313: Tipos de instrumentos de medida eléctricos. Parte 314: Términos específicos de acuerdo con el tipo de instrumento.
- [4] Norma UNE EN 60044-1 Parte 1- *Transformadores de Intensidad*.
- [5] Norma UNE EN 60044-2 Parte 2- *Transformadores de Tensión*.
- [6] Norma UNE EN 60688:1996 – *Traductores de medidas eléctricas para convertir la magnitudes eléctricas de corriente alterna en señales analógicas o digitales*.
- [7] ISO/IEC Guide 98-3:2008.
- [8] Abur A., Gomez A., “*Power System State estimation: Theory and implementation*”. Marcel Dekker, 2002.

7. Anexos

7. Anexos

7.1. Anexo I. Definiciones

Incertidumbre: Parámetro asociado al resultado de una medida, que caracteriza la dispersión de los valores que podrían razonablemente ser atribuidos al mesurando [3].

Intensidad Primaria asignada: Valor de la intensidad primaria que figura en la designación del transformador y de acuerdo con el cual se determinan sus condiciones de funcionamiento [3].

Intensidad secundaria asignada: Valor de la intensidad secundaria que figura en la designación del transformador y de acuerdo con el cual se determinan sus condiciones de funcionamiento [3].

Relación de transformación asignada de intensidad: Relación entre la intensidad primaria asignada y la intensidad secundaria asignada [3].

Error de intensidad (error de relación): Error que el transformador introduce en la medida de una intensidad y que proviene del hecho de que la relación de transformación real no es igual a la relación de transformación asignada [3].

Clase de precisión: Designación aplicada a un transformador de intensidad cuyos errores permanecen dentro de los límites especificados para las condiciones de utilización específica [3].

Desfase: Diferencia de fase entre los vectores de las intensidades primaria y secundaria, con el sentido de los vectores elegido de forma que este ángulo sea cero para un transformador perfecto [3].

El desfase se considera positivo cuando el vector de intensidad secundaria está adelantado con respecto al vector de la intensidad primaria. Se expresa habitualmente en minutos o centirradiares.

Relación de transformación asignada de tensión: Relación entre la tensión primaria asignada a la tensión secundaria asignada [3].

Tensión primaria asignada: Los valores normales de la tensión primaria asignada de los transformadores trifásicos y de los transformadores monofásicos para la utilización de una red monofásica o entre fases en una red trifásica, se elegirán entre los valores normales de las tensiones asignadas de la red indicados en la norma CEI 60038. Los valores normales de la tensión primaria asignada de los transformadores monofásicos utilizados entre una fase de una red trifásica y tierra, o

entre el neutro de la red y tierra son los valores normales de las tensiones de la red dividido por $\sqrt{3}$ [3].

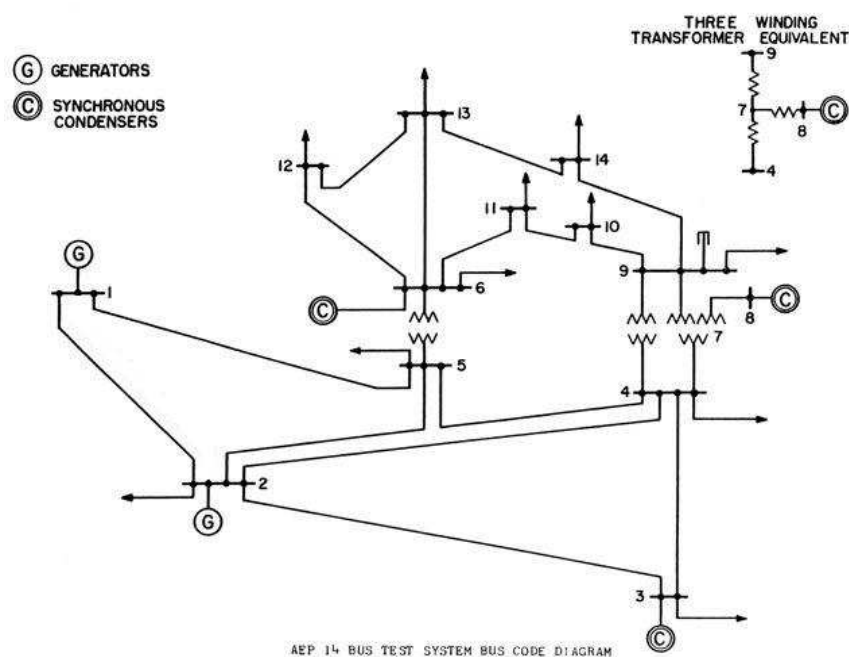
Tensión secundaria asignada: Los valores de la tensión secundaria asignada deben ser elegidos según la practica del lugar donde el transformador será utilizado [3].

Error de Tensión: error que el transformador de tensión introduce en la medida de una tensión y que proviene del hecho de que la relación de transformación real no es igual a la relación de transformación asignada [3].

7.2. Anexo II. Datos Adquiridos de la Red IEEE-14

Se ha empleado la red IEEE de 14 nudos. Esta red sintética está compuesta de dos niveles de tensión 132 kV y 33 kV.

7.2.1. Esquema Unifilar



7.2.2. Potencias nominales

Para las líneas/transformadores los valores se han tomado de la referencia [2]

Line Flow Limits

Line	From/To Buses	MW
1	1-----2	50
2	1-----5	60
3	2-----3	40
4	2-----4	40
5	2-----5	40
6	3-----4	30
7	4-----7	40
8	4-----5	80
9	4-----9	20
10	5-----6	50
11	6-----11	25
12	6-----12	20
13	6-----13	30
14	7-----9	50
15	7-----8	60
16	9-----14	30
17	9-----10	20
18	10-----11	20
19	12-----13	20
20	13-----14	20

En las inyecciones de carga

Load Data

Bus No.	Load	
	P (p.u.)	Q (p.u.)
1	.000	.000
2	.117	.127
3	.642	.140
4	.478	-.039
5	.076	.016
6	.212	.075
7	.000	.000
8	.300	.050
9	.295	.166
10	.009	.058
11	.035	.018
12	.061	.016
13	.135	.058
14	.149	.050

Para los generadores:

Generation Bounds

P/ Q	Limits (MW/MVAR)	
	lower	upper
P1	10	100
P2	20	50
P3	15	80
P6	10	45
P8	10	45
Q1	-30	200
Q2	-20	100
Q3	-15	80
Q6	-15	60
Q8	-10	50

7.3. Anexo III. Resultados de la Simulación Análisis Estático del Nudo 14 de la Red

En este Anexo se incluyen los resultados obtenidos para el Análisis Estático en el Nudo de carga 14 de 33 kV y para la rama del Nudo Origen 14 al Nudo Destino 13, ambos de 33 kV.

7.3.1. Listado para las Medidas Nodales

```

% Formato para las medidas: mmedten,mmedinyp,mmedinyq
% Valor_Exa Sigma_intrum. Sigma_conv. Sigma_ruido Error_CAD Umbral_actualiza. Sigma_compa.
mmedten=[
    0.8    0.002000    0.003000    0.003606    0.000586    0.005862    0.020000
    0.9    0.002250    0.003000    0.003750    0.000586    0.005862    0.020000
    1.0    0.002500    0.003000    0.003905    0.000586    0.005862    0.020000
    1.1    0.002750    0.003000    0.004070    0.000586    0.005862    0.020000
    1.2    0.003000    0.003000    0.004243    0.000586    0.005862    0.020000
];

% Formato para las medidas: mmedten,mmedinyp,mmedinyq
% Valor_Exa Sigma_intrum. Sigma_conv. Sigma_ruido Error_CAD Umbral_actualiza. Sigma_compa.
mmedinyp=[
    -3    0.017511    0.000514    0.017519    0.000201    0.004023    0.020000
    -2    0.011734    0.000514    0.011745    0.000201    0.004023    0.020000
     1    0.006027    0.000514    0.006049    0.000201    0.004023    0.020000
     2    0.011734    0.000514    0.011745    0.000201    0.004023    0.020000
     3    0.017511    0.000514    0.017519    0.000201    0.004023    0.020000
];

% Formato para las medidas: mmedten,mmedinyp,mmedinyq
% Valor_Exa Sigma_intrum. Sigma_conv. Sigma_ruido Error_CAD Umbral_actualiza. Sigma_compa.
mmedinyq=[
    -3    0.017511    0.000514    0.017519    0.000201    0.004023    0.020000
    -2    0.011734    0.000514    0.011745    0.000201    0.004023    0.020000
     1    0.006027    0.000514    0.006049    0.000201    0.004023    0.020000
     2    0.011734    0.000514    0.011745    0.000201    0.004023    0.020000
     3    0.017511    0.000514    0.017519    0.000201    0.004023    0.020000
];

% Formato para las medidas: mmedten,mmedinyp,mmedinyq
% Valor_Exa Sigma_intrum. Sigma_conv. Sigma_ruido Error_CAD Umbral_actualiza. Sigma_compa.
mmedinyi=[
     0    0.000000    0.002500    0.002500    0.000084    0.003351    0.020000
     1    0.002500    0.002500    0.003536    0.000084    0.003351    0.020000
     2    0.005000    0.002500    0.005590    0.000084    0.003351    0.020000
     3    0.007500    0.002500    0.007906    0.000084    0.003351    0.020000
     4    0.010000    0.002500    0.010308    0.000084    0.003351    0.020000
];

```

7.3.2. Listado para las Medidas Ramales

```

% Formato para las medidas: mmedflujop,mmedfluji,mmedflujq
% Valor_Exa Sigma_intrum. Sigma_conv. Sigma_ruido Error_CAD Umbral_actualiza. Sigma_compa.
mmedflujop=[
  -3  0.072345  0.000686  0.072348  0.000268  0.005364  0.004000
  -2  0.032566  0.000686  0.032573  0.000268  0.005364  0.004000
   1  0.008686  0.000686  0.008713  0.000268  0.005364  0.004000
   2  0.032576  0.000686  0.032583  0.000268  0.005364  0.004000
   3  0.072352  0.000686  0.072355  0.000268  0.005364  0.004000
];

% Formato para las medidas: mmedflujop,mmedfluji,mmedflujq
% Valor_Exa Sigma_intrum. Sigma_conv. Sigma_ruido Error_CAD Umbral_actualiza. Sigma_compa.
mmedflujq=[
  -3  0.072345  0.000686  0.072348  0.000268  0.005364  0.004000
  -2  0.032566  0.000686  0.032573  0.000268  0.005364  0.004000
   1  0.008686  0.000686  0.008713  0.000268  0.005364  0.004000
   2  0.032576  0.000686  0.032583  0.000268  0.005364  0.004000
   3  0.072352  0.000686  0.072355  0.000268  0.005364  0.004000
];

% Formato para las medidas: mmedflujop,mmedfluji,mmedflujq
% Valor_Exa Sigma_intrum. Sigma_conv. Sigma_ruido Error_CAD Umbral_actualiza. Sigma_compa.
mmedfluji=[
   0  0.000000  0.002500  0.002500  0.000112  0.004468  0.004000
   0  0.000143  0.002500  0.002504  0.000112  0.004468  0.004000
   0  0.000714  0.002500  0.002600  0.000112  0.004468  0.004000
   1  0.001429  0.002500  0.002880  0.000112  0.004468  0.004000
   1  0.001715  0.002500  0.003032  0.000112  0.004468  0.004000

```

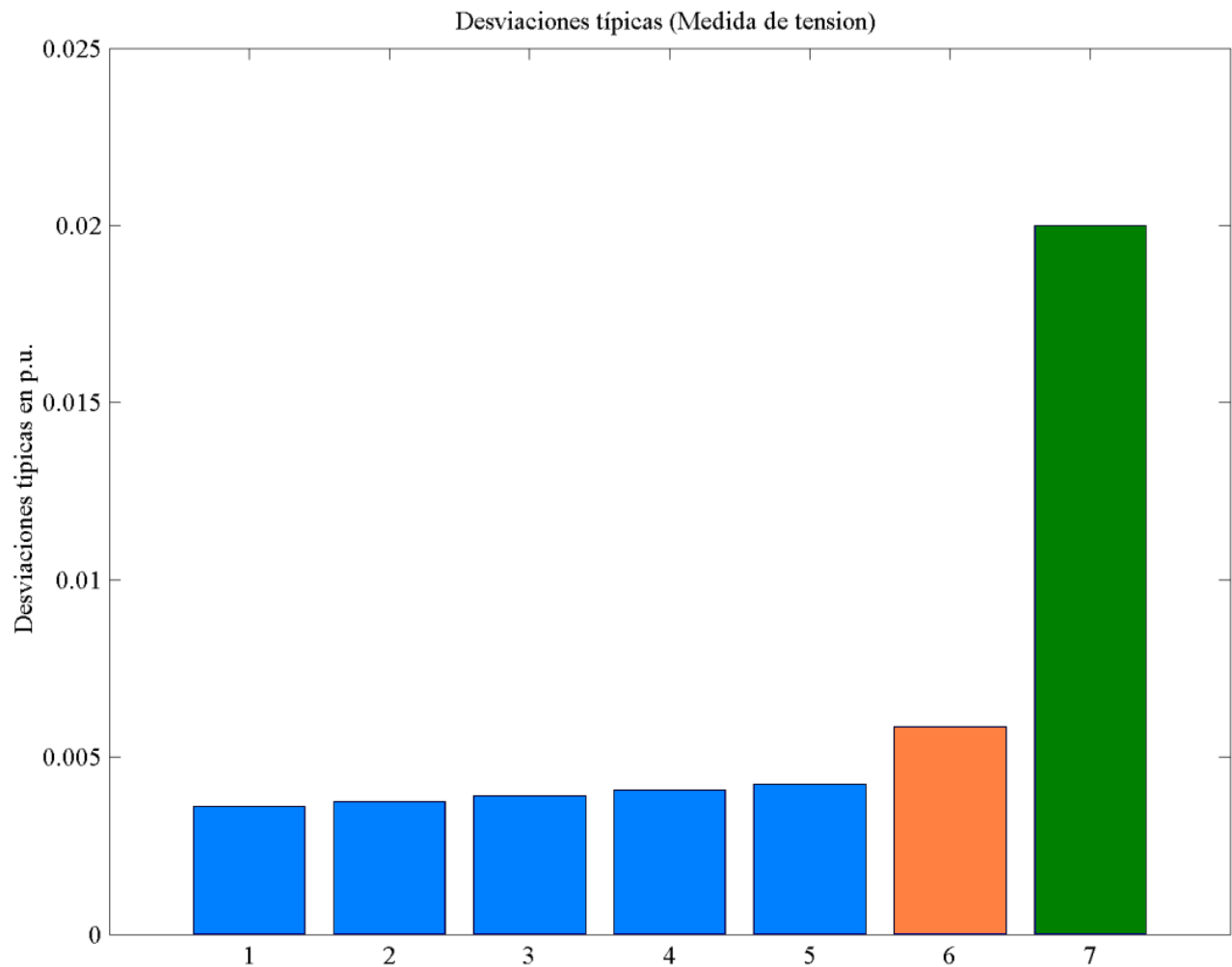
7.3.3. Gráficas de los Resultados de la Simulación Análisis Estático del Nudo 14 de la Red

A continuación se muestran las gráficas para la simulación del análisis estático para un nudo de 33 kV.

7.3.3.1. Resultados para la Medida de Tensión

- En color azul se representan los valores de la desviación típica para el rango de valores de tensión;
 - Diagrama de Barra 1 equivale 0.8 pu de tensión.
 - Diagrama de Barra 2 equivale 0.9 pu de tensión.
 - Diagrama de Barra 3 equivale 1 pu de tensión.
 - Diagrama de Barra 4 equivale 1.1 pu de tensión.
 - Diagrama de Barra 5 equivale 1.2 pu de tensión.

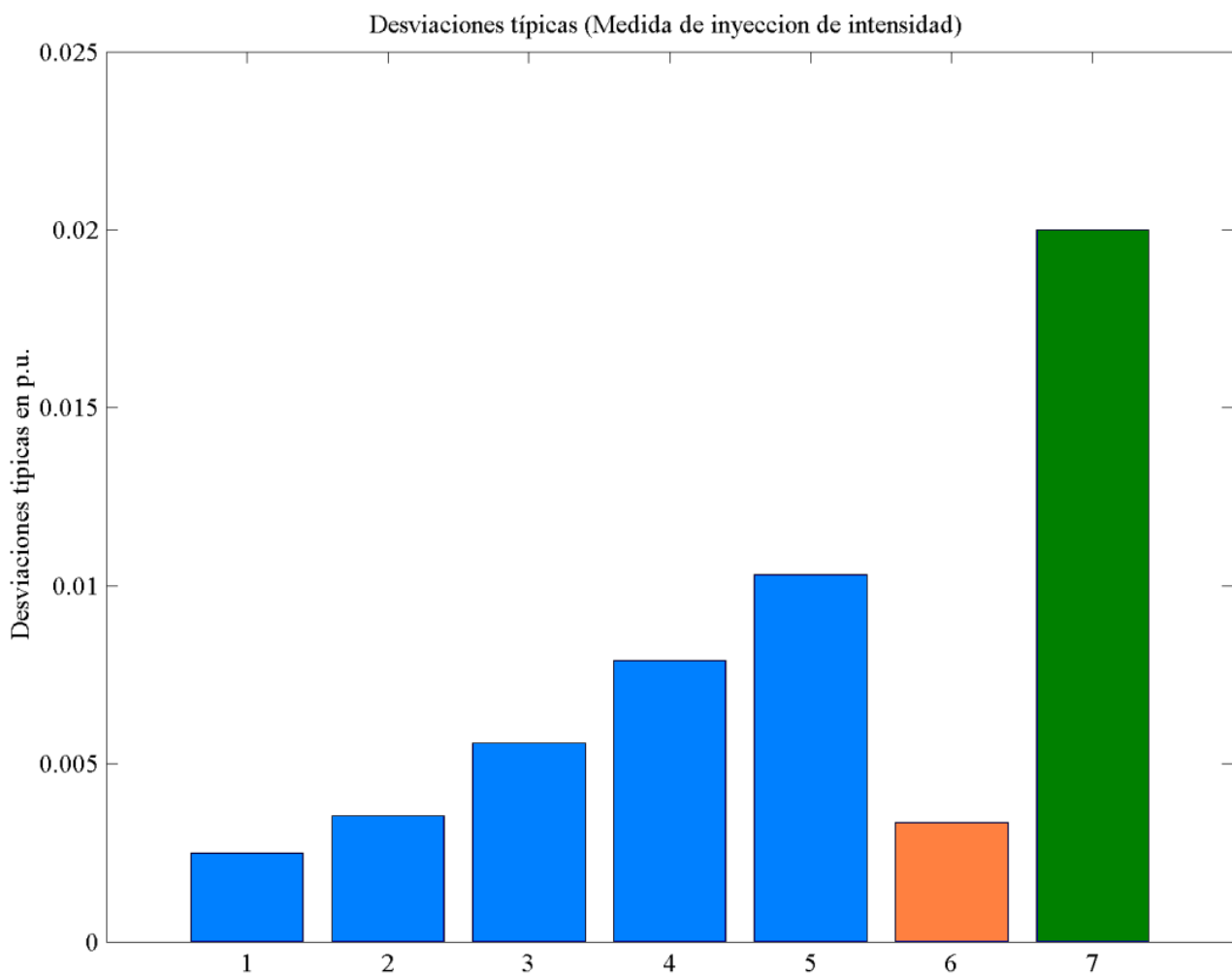
- En color naranja se representa el valor correspondiente al umbral de actualización. Equivalente también a la representación 6.
- En color verde se representa el valor correspondiente a la desviación típica de la compañía. Equivalente también a la representación 7.



7.3.3.2. Resultados para la Medida de Inyección de Intensidad

- En color azul representa los valores de la desviación típica para el rango de valores de inyección de intensidad;
 - Diagrama de Barra 1 equivale 0 pu de inyección de intensidad.
 - Diagrama de Barra 2 equivale 1 pu de inyección de intensidad.
 - Diagrama de Barra 3 equivale 2 pu de inyección de intensidad.

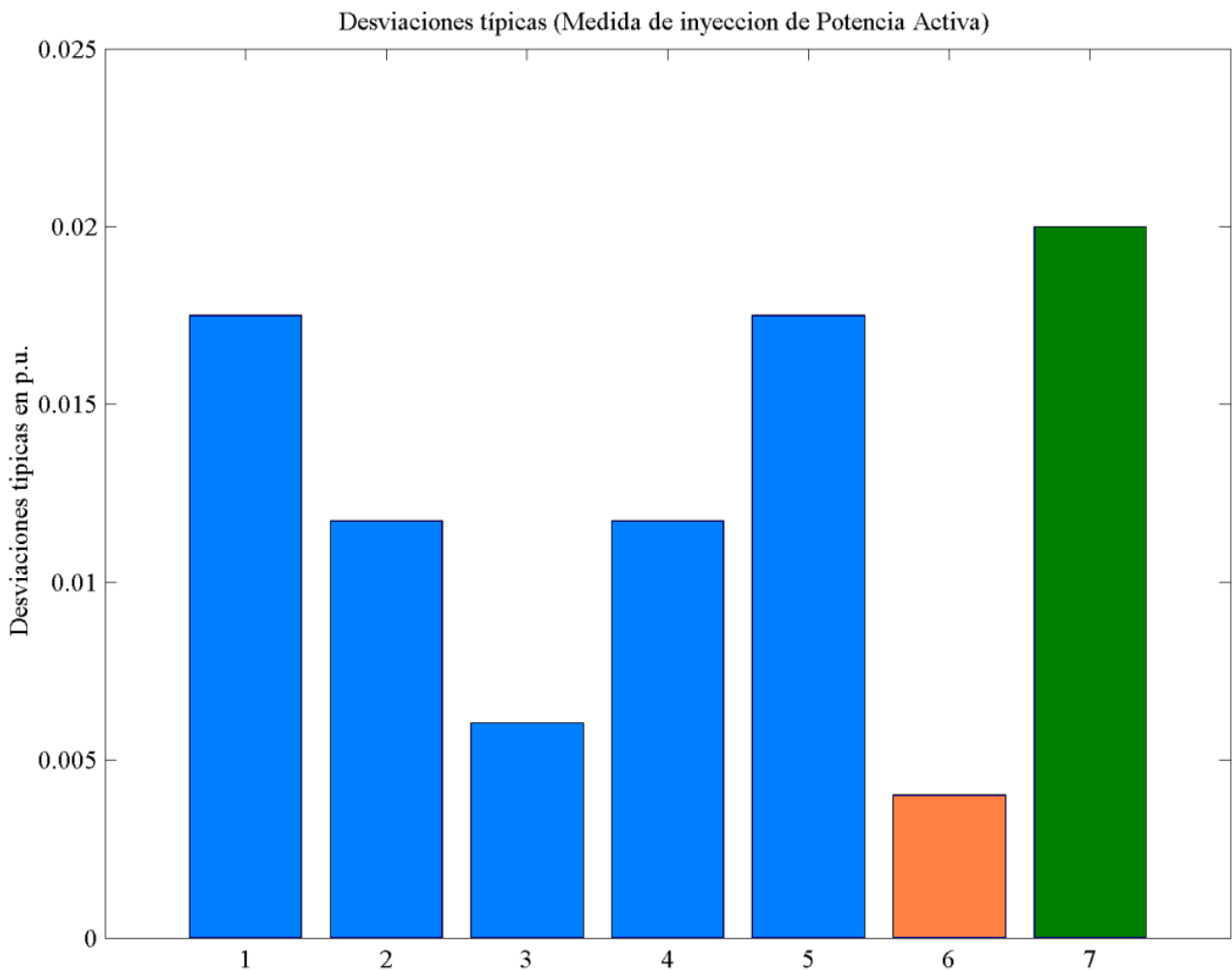
- Diagrama de Barra 4 equivale 3 pu de inyección de intensidad.
- Diagrama de Barra 5 equivale 4 pu de inyección de intensidad.
- En color naranja se representa el valor correspondiente al umbral de actualización. Equivalente también a la representación 6.
- En color verde se representa el valor correspondiente a la desviación típica de la compañía. Equivalente también a la representación 7.



7.3.3.3. Resultados para la Medida de Inyección de Potencia Activa

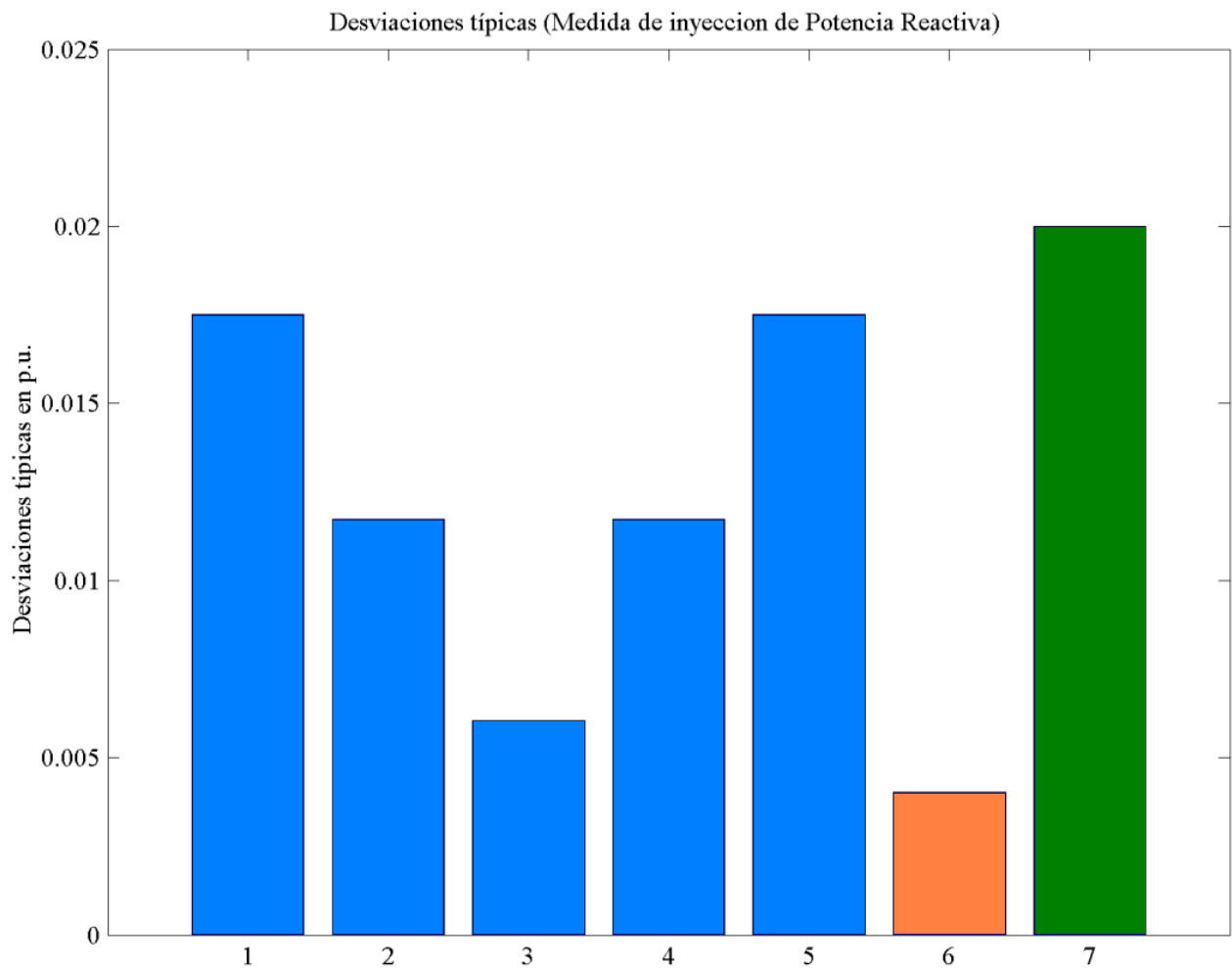
- En color azul representa los valores de la desviación típica para el rango de valores de inyección de potencia activa;
 - Diagrama de Barra 1 equivale -3 pu de inyección de potencia activa.

- Diagrama de Barra 2 equivale -2 pu de inyección de potencia activa.
- Diagrama de Barra 3 equivale 1 pu de inyección de potencia activa.
- Diagrama de Barra 4 equivale 2 pu de inyección de potencia activa.
- Diagrama de Barra 5 equivale 3 pu de inyección de potencia activa.
- En color naranja se representa el valor correspondiente al umbral de actualización. Equivalente también a la representación 6.
- En color verde se representa el valor correspondiente a la desviación típica de la compañía. Equivalente también a la representación 7.



7.3.3.4. Resultados para la Medida de Inyección de Potencia Reactiva

- En color azul representa los valores de la desviación típica para el rango de valores de inyección de potencia reactiva;
 - Diagrama de Barra 1 equivale -3 pu de inyección de potencia reactiva.
 - Diagrama de Barra 2 equivale -2 pu de inyección de potencia reactiva.
 - Diagrama de Barra 3 equivale 1 pu de inyección de potencia reactiva.
 - Diagrama de Barra 4 equivale 2 pu de inyección de potencia reactiva.
 - Diagrama de Barra 5 equivale 3 pu de inyección de potencia reactiva.
- En color naranja se representa el valor correspondiente al umbral de actualización. Equivalente también a la representación 6.
- En color verde se representa el valor correspondiente a la desviación típica de la compañía. Equivalente también a la representación 7.

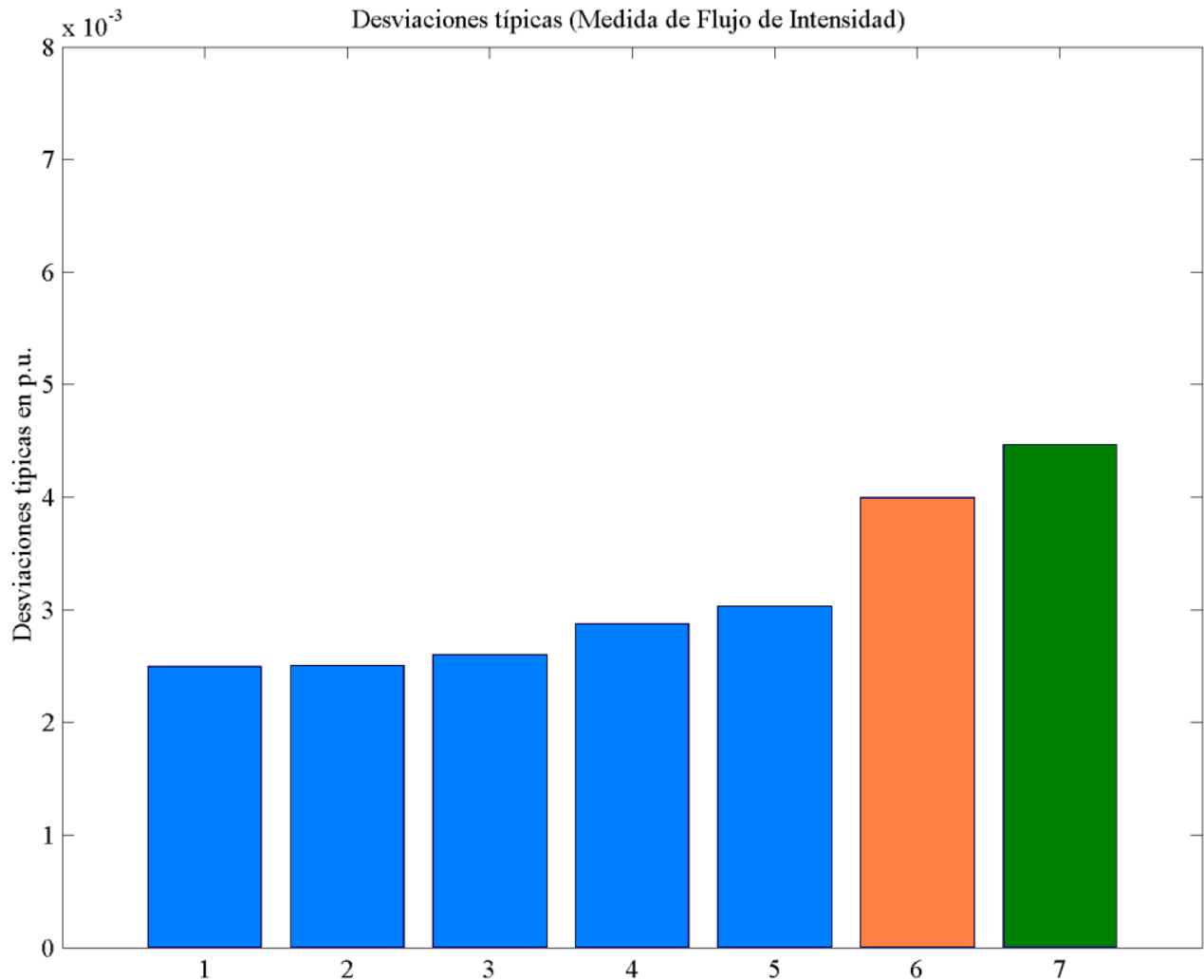


7.3.3.5. Resultados para la Medida de Flujo de Intensidad

- En color azul representa los valores de la desviación típica para el rango de valores de medida de flujo de intensidad;
 - Diagrama de Barra 1 equivale 0 pu de medida de flujo de intensidad.
 - Diagrama de Barra 2 equivale 0.1 pu de medida de flujo de intensidad.
 - Diagrama de Barra 3 equivale 0.5 pu de medida de flujo de intensidad.
 - Diagrama de Barra 4 equivale 1 pu de medida de flujo de intensidad.
 - Diagrama de Barra 5 equivale 1.2 pu de medida de flujo de intensidad.

- En color naranja se representa el valor correspondiente al umbral de actualización. Equivalente también a la representación 6.

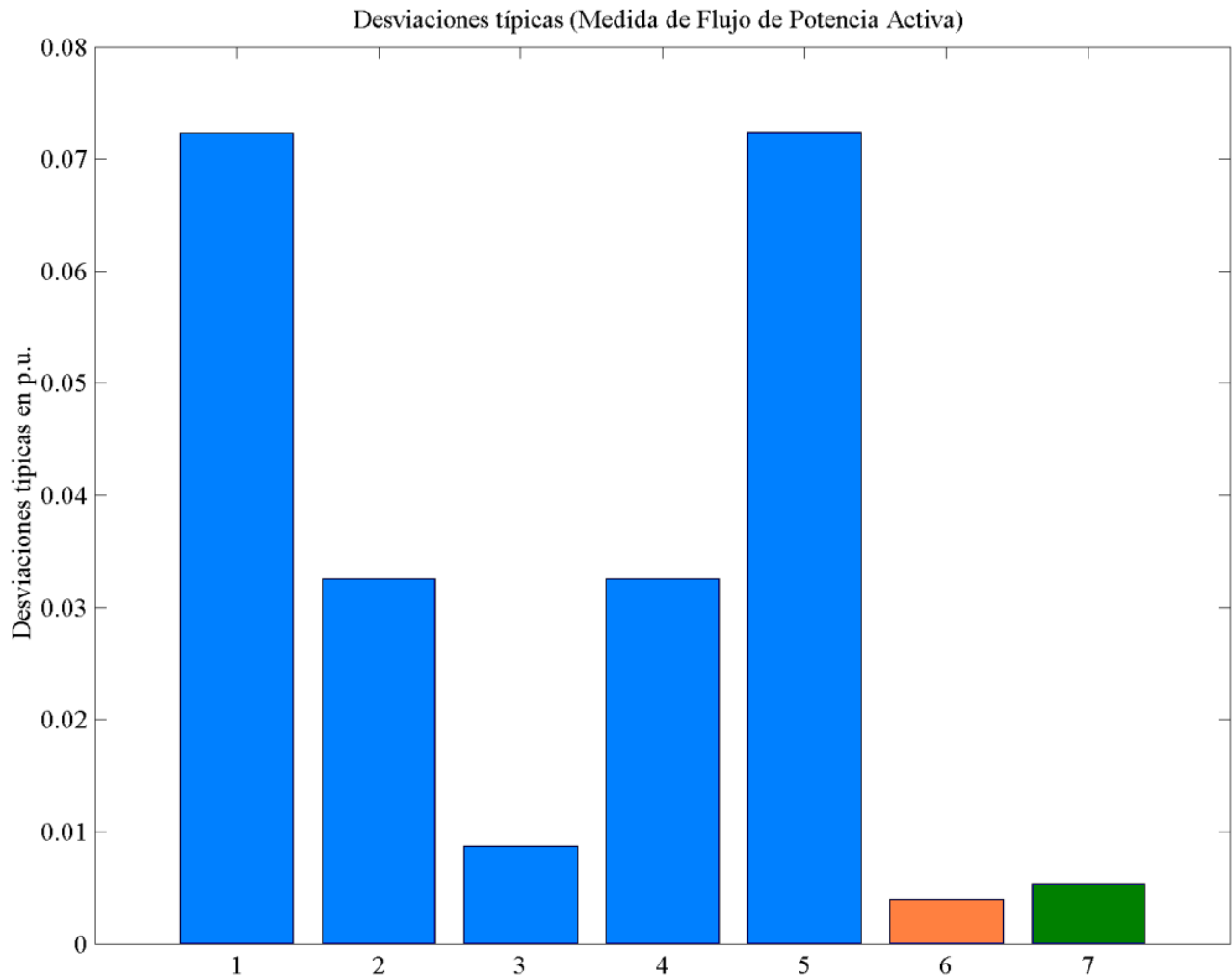
- En color verde se representa el valor correspondiente a la desviación típica de la compañía. Equivalente también a la representación 7.



7.3.3.6. Resultados para la Medida de Flujo de Potencia Activa

- En color azul representa los valores de la desviación típica para el rango de valores de medida de flujo de potencia activa;
 - Diagrama de Barra 1 equivale -3 pu de medida de flujo de potencia activa.
 - Diagrama de Barra 2 equivale -2 pu de medida de flujo de potencia activa.
 - Diagrama de Barra 3 equivale 1 pu de medida de flujo de potencia activa.
 - Diagrama de Barra 4 equivale 2 pu de medida de flujo de potencia activa.

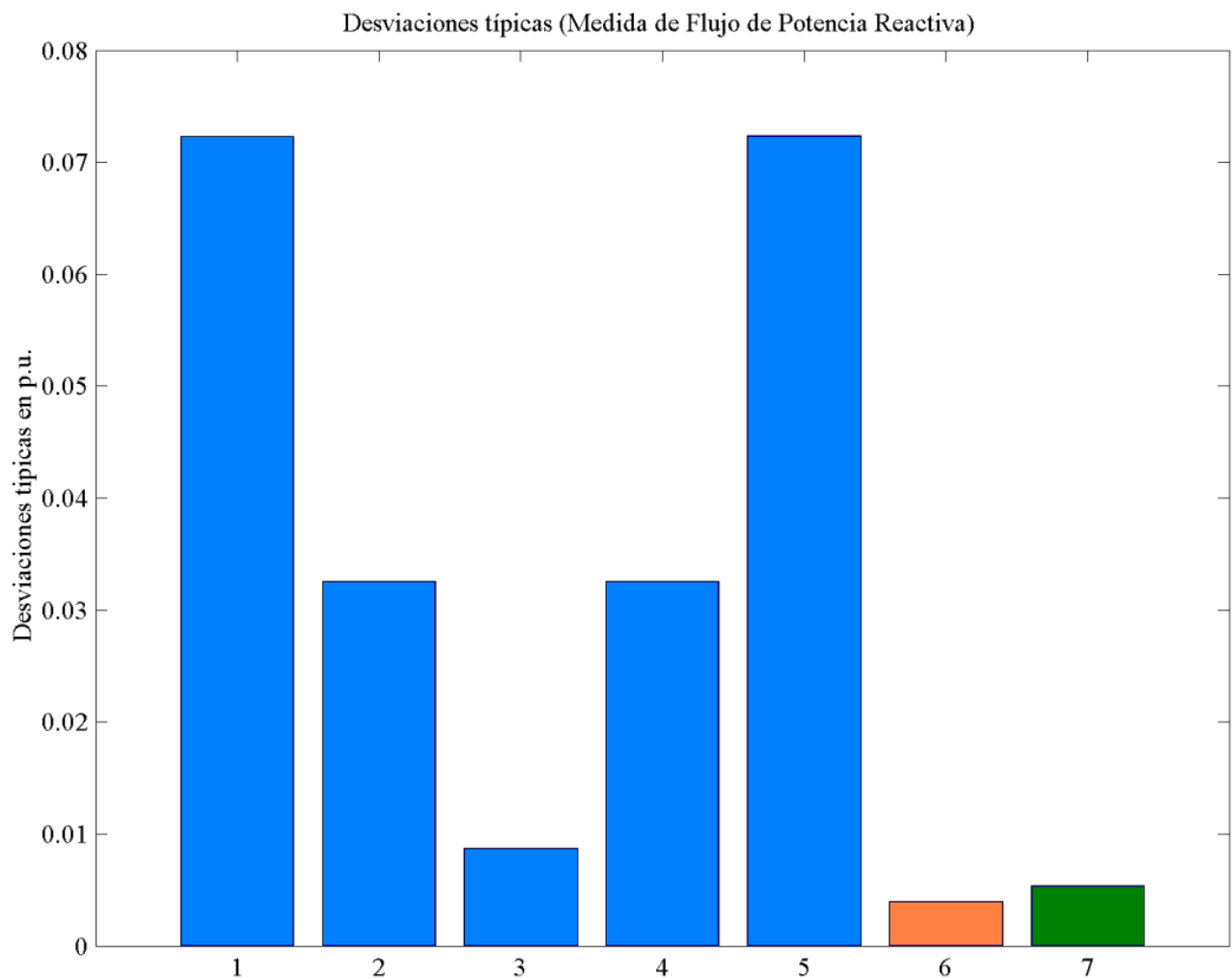
- Diagrama de Barra 5 equivale 3 pu de medida de flujo de potencia activa.
- En color naranja se representa el valor correspondiente al umbral de actualización. Equivalente también a la representación 6.
- En color verde se representa el valor correspondiente a la desviación típica de la compañía. Equivalente también a la representación 7.



7.3.3.7. Resultados para la Medida de Flujo de Potencia Reactiva

- En color azul representa los valores de la desviación típica para el rango de valores de medida de flujo de potencia reactiva;
 - Diagrama de Barra 1 equivale -3 pu de medida de flujo de potencia reactiva.
 - Diagrama de Barra 2 equivale -2 pu de medida de flujo de potencia reactiva.

- Diagrama de Barra 3 equivale 1 pu de medida de flujo de potencia reactiva.
- Diagrama de Barra 4 equivale 2 pu de medida de flujo de potencia reactiva.
- Diagrama de Barra 5 equivale 3 pu de medida de flujo de potencia reactiva.
- En color naranja se representa el valor correspondiente al umbral de actualización. Equivalente también a la representación 6.
- En color verde se representa el valor correspondiente a la desviación típica de la compañía. Equivalente también a la representación 7.

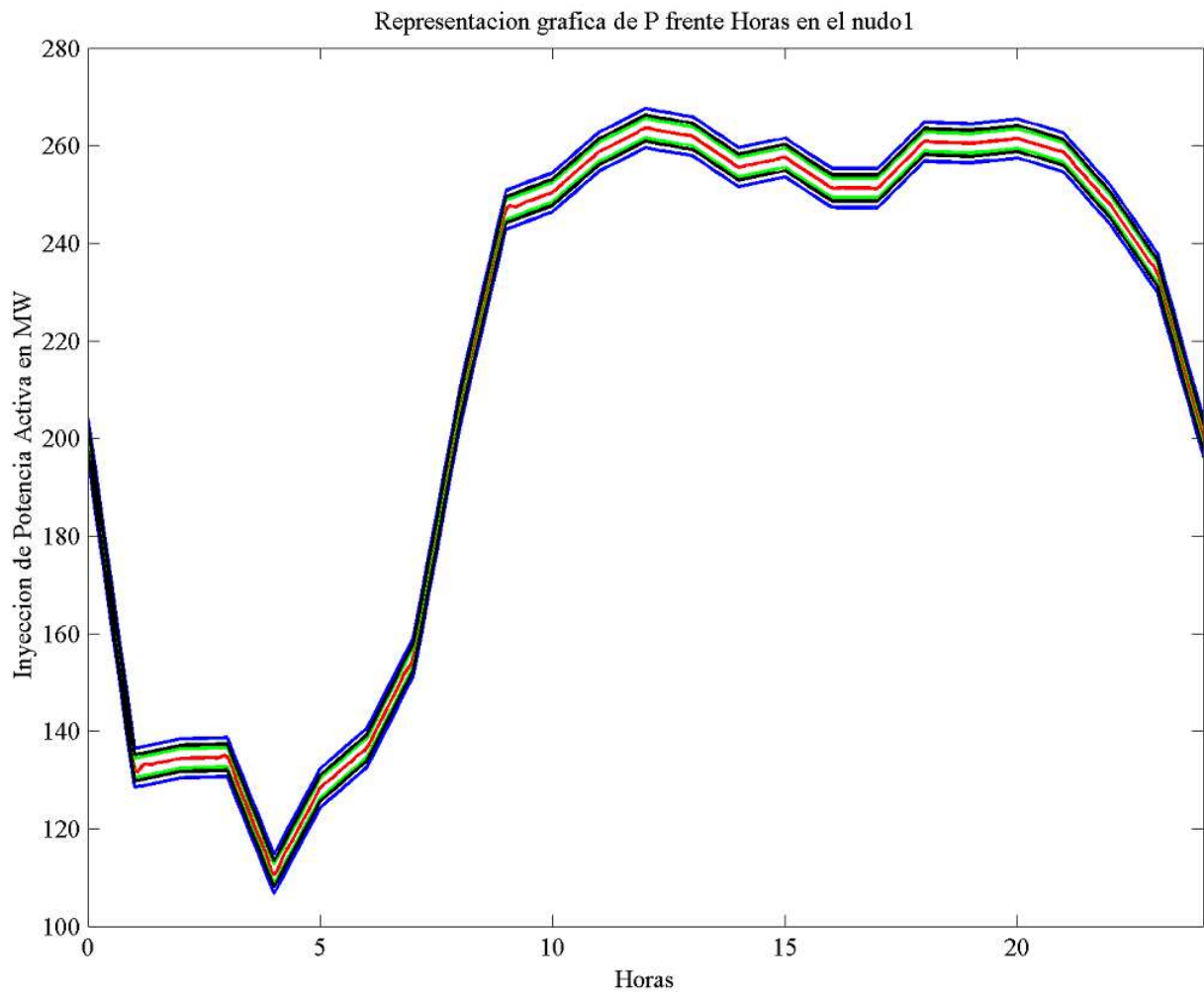


7.4. Anexo IV. Evolución de los Errores de unas Medidas Determinada en el Nudo 1, Rama 13-14

En este Anexo se incluyen las representaciones gráficas llevadas a cabo para el análisis dinámico de la evolución de los errores de unas medidas determinadas en el Nudo 1 de generación de 132 kV y la rama 13-14 con un nivel de tensión de 33 kV ambos nudos.

7.4.1. Representación Gráfica de la Inyección de Potencia Activa en MW

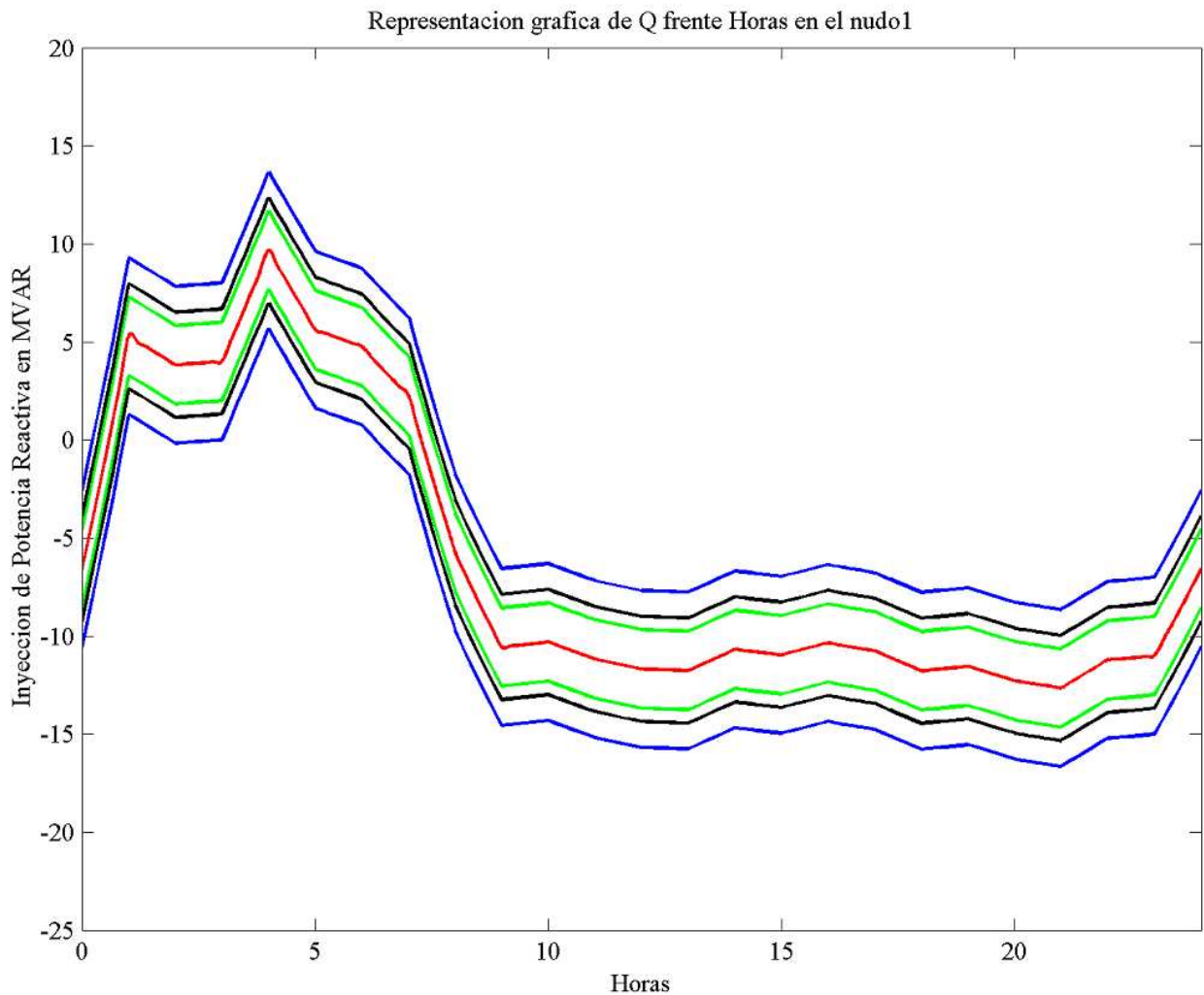
- La línea de color rojo representa el valor exacto de la medida.
- La línea de color verde representa el intervalo de incertidumbre asociado al ruido. El valor exacto de la medida más/menos el doble de la desviación típica del ruido.
- La línea de color negra representa el intervalo de incertidumbre asociado al umbral de actualización. El valor exacto de la medida más/menos el umbral de actualización.
- La línea de color azul representa el intervalo de incertidumbre asociado a la compañía. El valor exacto de la medida más/menos el doble de la desviación típica de la compañía.



7.4.2. Representación Gráfica de la Inyección de Potencia Reactiva en MVAR

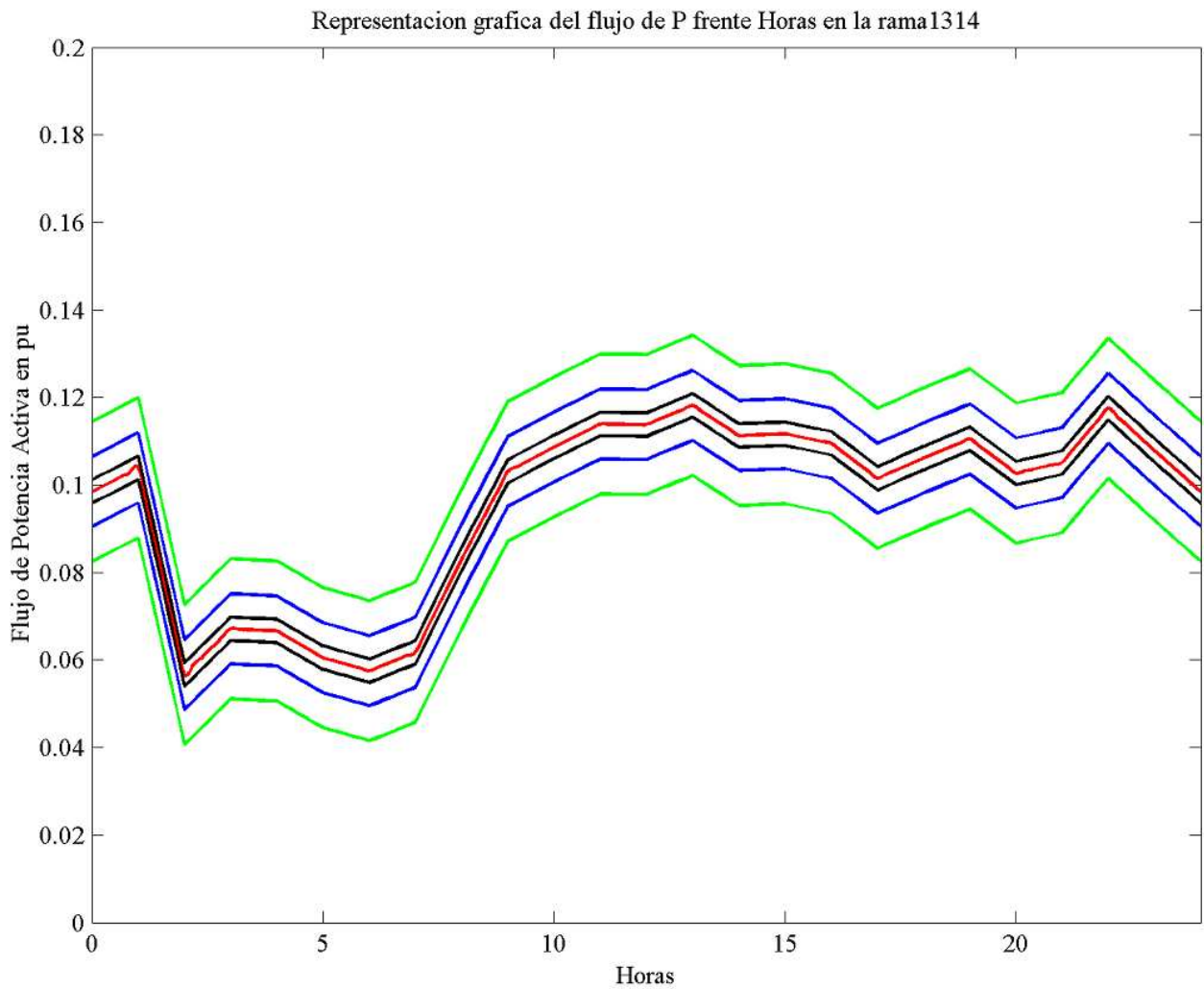
- La línea de color rojo representa el valor exacto de la medida.
- La línea de color verde representa el intervalo de incertidumbre asociado al ruido. El valor exacto de la medida más/menos el doble de la desviación típica del ruido.
- La línea de color negra representa el intervalo de incertidumbre asociado al umbral de actualización. El valor exacto de la medida más/menos el umbral de actualización.

La línea de color azul representa el intervalo de incertidumbre asociado a la compañía. El valor exacto de la medida más/menos el doble de la desviación típica de la compañía.



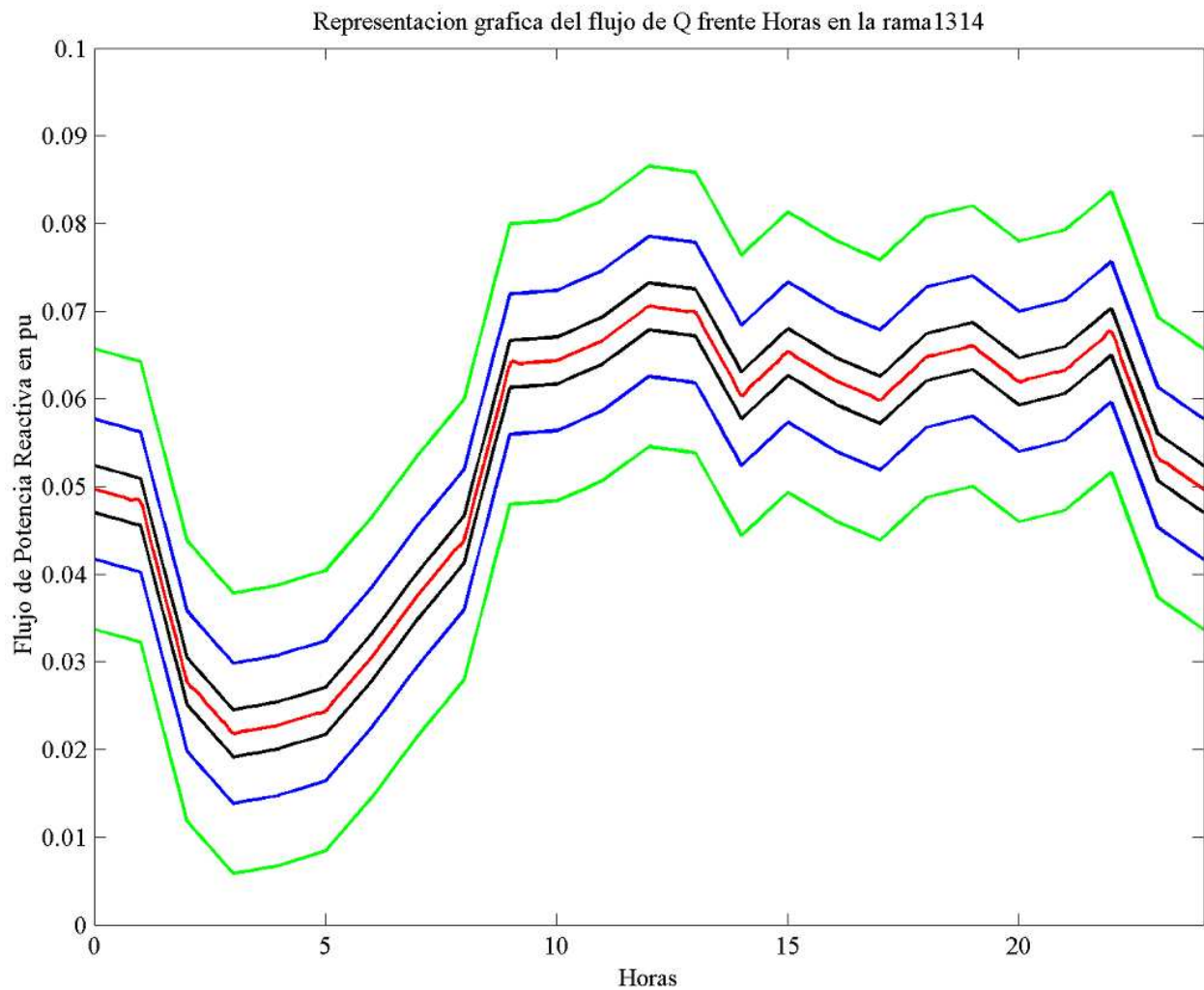
7.4.3. Representación Gráfica del Flujo de Potencia Activa en pu

- La línea de color rojo representa el valor exacto de la medida.
- La línea de color verde representa el intervalo de incertidumbre asociado al ruido. El valor exacto de la medida más/menos el doble de la desviación típica del ruido.
- La línea de color negra representa el intervalo de incertidumbre asociado al umbral de actualización. El valor exacto de la medida más/menos el umbral de actualización.
- La línea de color azul representa el intervalo de incertidumbre asociado a la compañía. El valor exacto de la medida más/menos el doble de la desviación típica de la compañía.



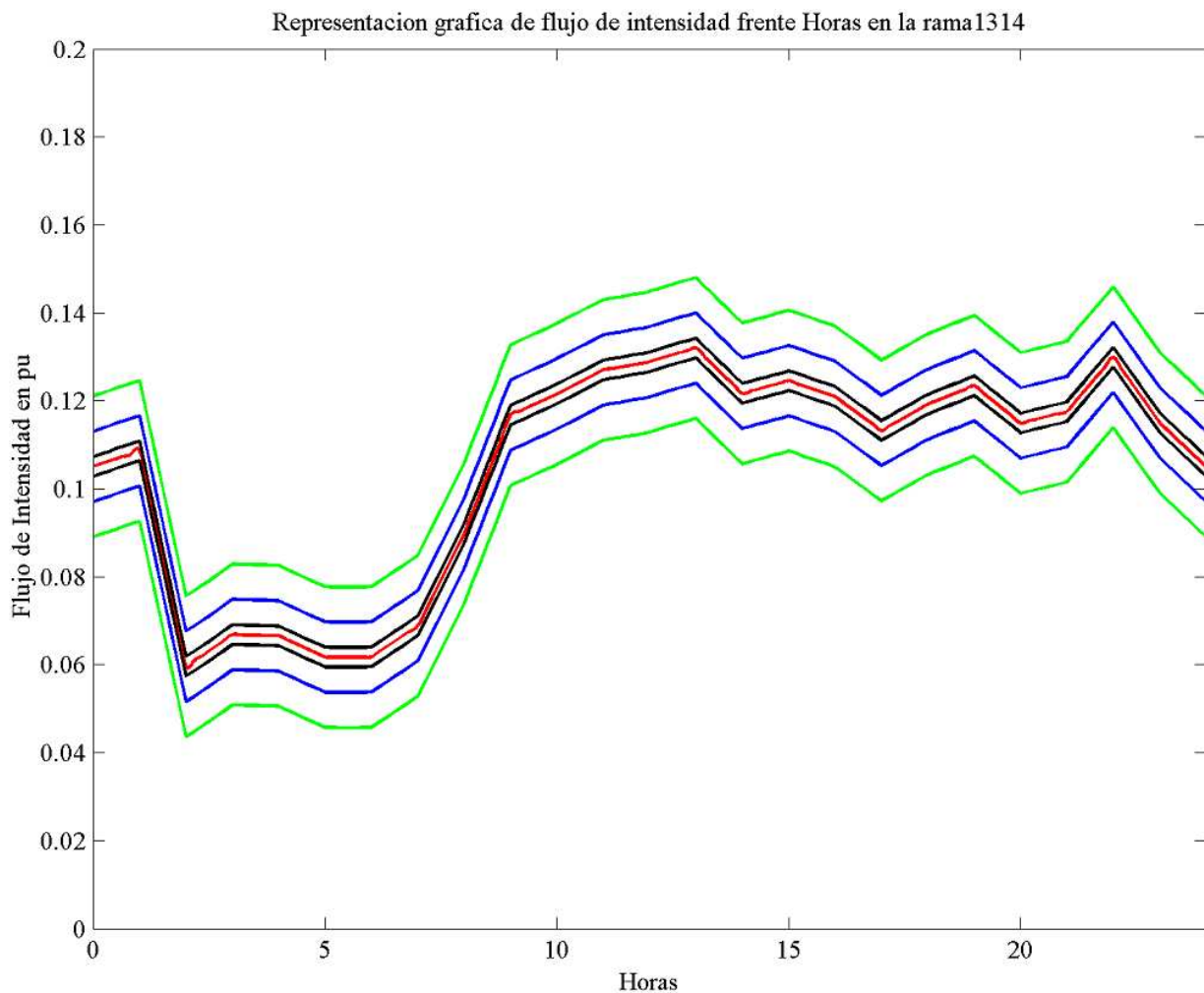
7.4.4. Representación Gráfica del Flujo de Potencia Reactiva en pu

- La línea de color rojo representa el valor exacto de la medida.
- La línea de color verde representa el intervalo de incertidumbre asociado al ruido. El valor exacto de la medida más/menos el doble de la desviación típica del ruido.
- La línea de color negra representa el intervalo de incertidumbre asociado al umbral de actualización. El valor exacto de la medida más/menos el umbral de actualización.
- La línea de color azul representa el intervalo de incertidumbre asociado a la compañía. El valor exacto de la medida más/menos el doble de la desviación típica de la compañía.



7.4.5. Representación Gráfica del Flujo de Intensidad en pu

- La línea de color rojo representa el valor exacto de la medida.
- La línea de color verde representa el intervalo de incertidumbre asociado al ruido. El valor exacto de la medida más/menos el doble de la desviación típica del ruido.
- La línea de color negra representa el intervalo de incertidumbre asociado al umbral de actualización. El valor exacto de la medida más/menos el umbral de actualización.
- La línea de color azul representa el intervalo de incertidumbre asociado a la compañía. El valor exacto de la medida más/menos el doble de la desviación típica de la compañía.



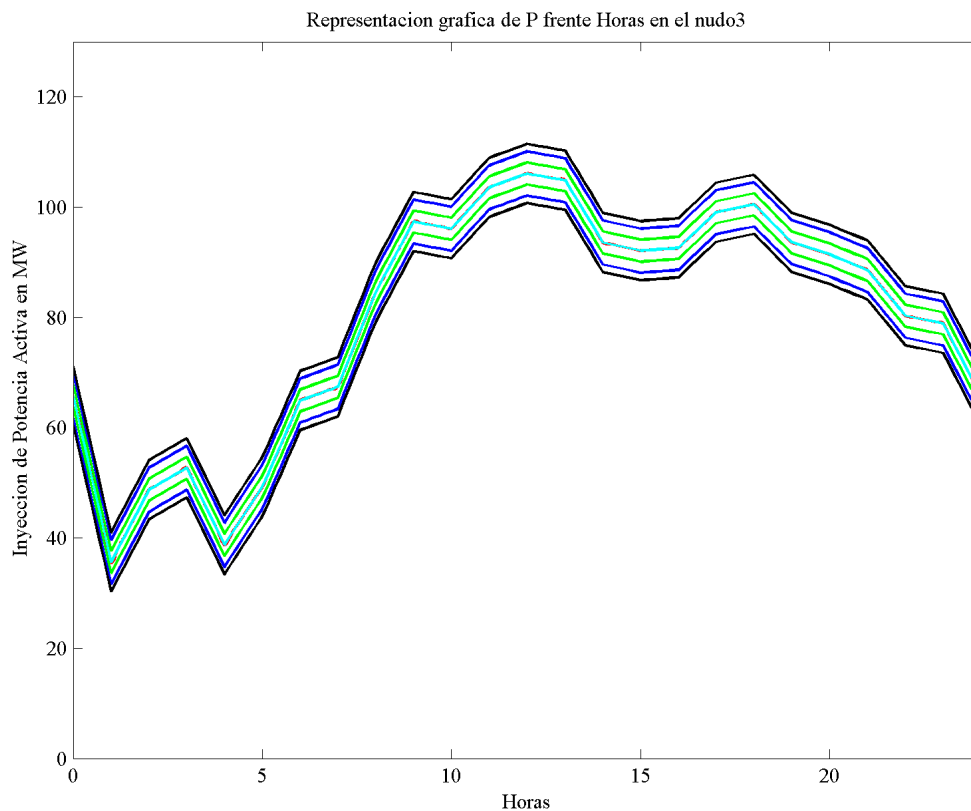
7.5. Anexo V. Evolución de las Medidas en el Nudo 3, Rama 13-14

En este Anexo se incluyen las representaciones gráficas llevadas a cabo para el análisis estadístico dinámico de la evolución de los errores de unas medidas determinadas en el Nudo 3 de 132 kV y la rama 13-14 con el mismo nivel de tensión ambos nudos de 33 kV.

7.5.1. Representación Gráfica de la Inyección de Potencia Activa en MW

- La línea de color rojo representa el valor exacto de la medida.
- La línea de color azul cielo representa el valor medio estimado de la medida.
- La línea de color verde representa el intervalo de incertidumbre asociado al ruido. El valor exacto de la medida más/menos el doble de la desviación típica del ruido.

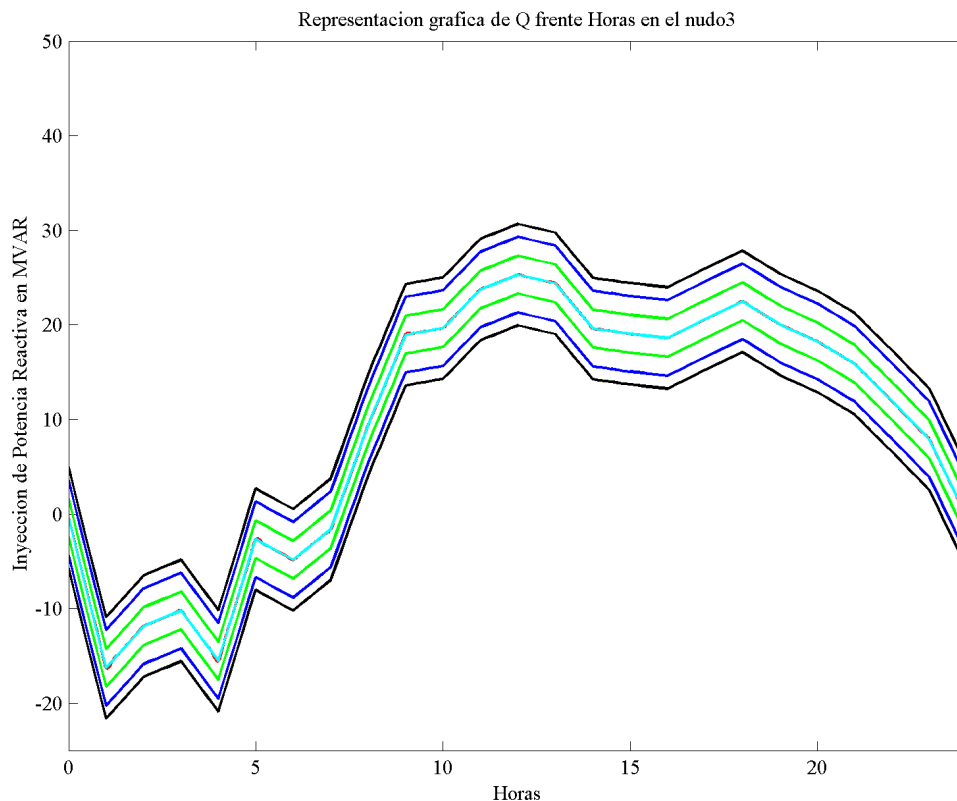
- La línea de color negra representa el intervalo de incertidumbre asociado al umbral de actualización. El valor exacto de la medida más/menos el umbral de actualización.
- La línea de color azul representa el intervalo de incertidumbre asociado a la compañía. El valor exacto de la medida más/menos el doble de la desviación típica de la compañía.



7.5.2. Representación Gráfica de la Inyección de Potencia Reactiva en MVAR

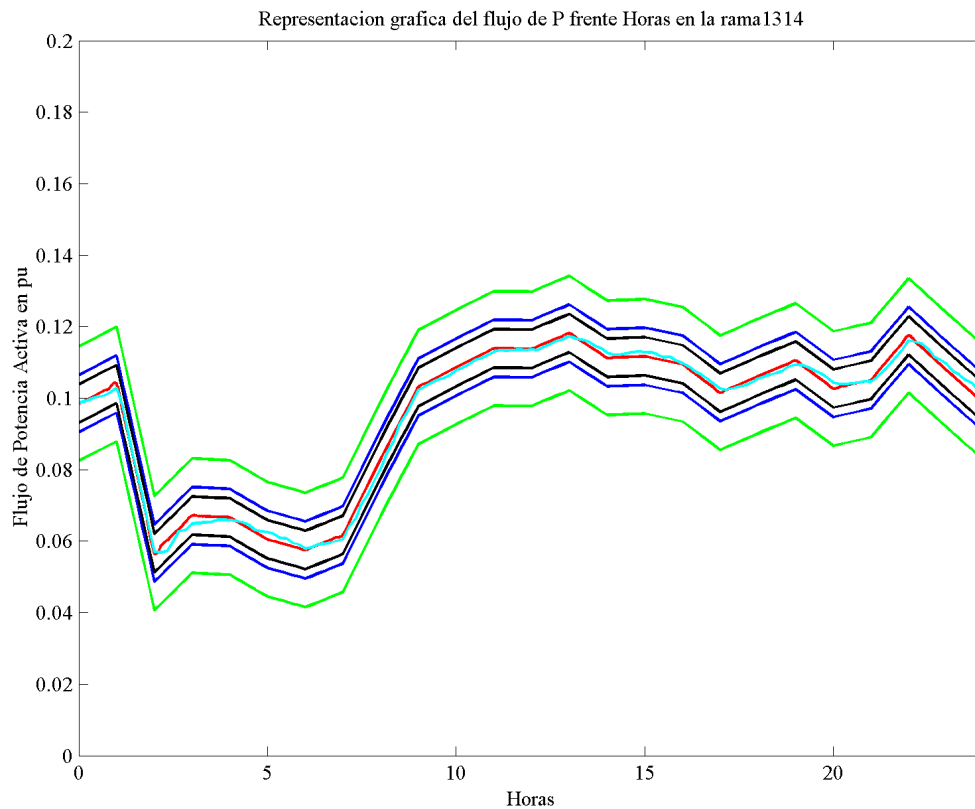
- La línea de color rojo representa el valor exacto de la medida.
- La línea de color azul cielo representa el valor medio estimado de la medida.
- La línea de color verde representa el intervalo de incertidumbre asociado al ruido. El valor exacto de la medida más/menos el doble de la desviación típica del ruido.
- La línea de color negra representa el intervalo de incertidumbre asociado al umbral de actualización. El valor exacto de la medida más/menos el umbral de actualización.

- La línea de color azul representa el intervalo de incertidumbre asociado a la compañía. El valor exacto de la medida más/menos el doble de la desviación típica de la compañía.



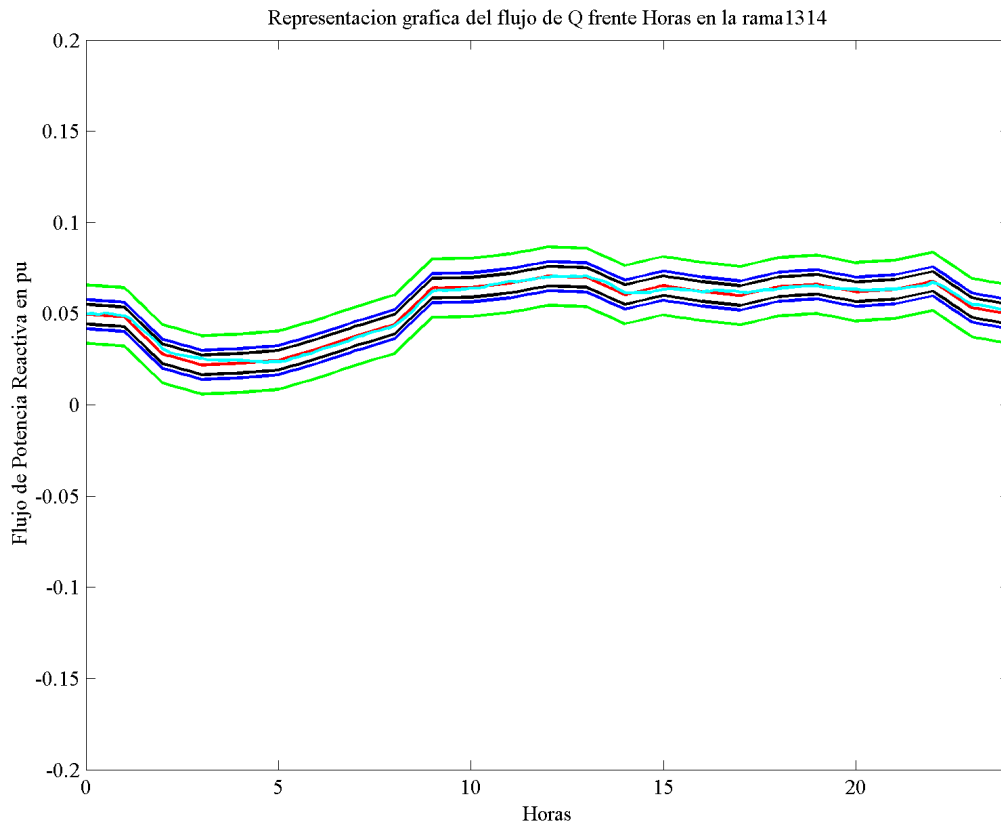
7.5.3. Representación Gráfica del Flujo de Potencia Activa en pu

- La línea de color rojo representa el valor exacto de la medida.
- La línea de color azul cielo representa el valor medio estimado de la medida.
- La línea de color verde representa el intervalo de incertidumbre asociado al ruido. El valor exacto de la medida más/menos el doble de la desviación típica del ruido.
- La línea de color negra representa el intervalo de incertidumbre asociado al umbral de actualización. El valor exacto de la medida más/menos el umbral de actualización.
- La línea de color azul representa el intervalo de incertidumbre asociado a la compañía. El valor exacto de la medida más/menos el doble de la desviación típica de la compañía.



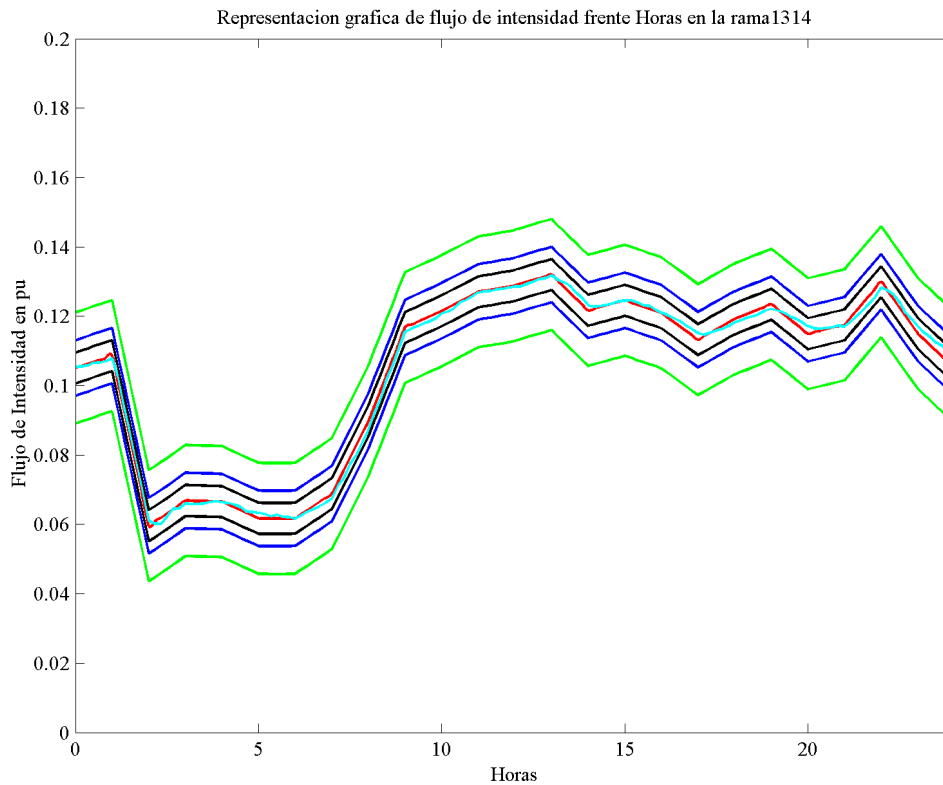
7.5.4. Representación Gráfica del Flujo de Potencia Reactiva en pu

- La línea de color rojo representa el valor exacto de la medida.
- La línea de color azul cielo representa el valor medio estimado de la medida.
- La línea de color verde representa el intervalo de incertidumbre asociado al ruido. El valor exacto de la medida más/menos el doble de la desviación típica del ruido.
- La línea de color negra representa el intervalo de incertidumbre asociado al umbral de actualización. El valor exacto de la medida más/menos el umbral de actualización.
- La línea de color azul representa el intervalo de incertidumbre asociado a la compañía. El valor exacto de la medida más/menos el doble de la desviación típica de la compañía.



7.5.5. Representación Gráfica del Flujo de Intensidad en pu

- La línea de color rojo representa el valor exacto de la medida.
- La línea de color azul cielo representa el valor medio estimado de la medida.
- La línea de color verde representa el intervalo de incertidumbre asociado al ruido. El valor exacto de la medida más/menos el doble de la desviación típica del ruido.
- La línea de color negra representa el intervalo de incertidumbre asociado al umbral de actualización. El valor exacto de la medida más/menos el umbral de actualización.
- La línea de color azul representa el intervalo de incertidumbre asociado a la compañía. El valor exacto de la medida más/menos el doble de la desviación típica de la compañía.



7.6. Anexo VI. Cálculo de Intensidad Primaria Asignada

7.6.1. TIs instalados en inyecciones

En primer lugar necesitamos conocer la Potencia Nominal (S_n) en los 14 nudos de la Red. Para ello partimos de los valores de la potencia activa y reactiva en nudos de generación y carga. Todos estos valores se encuentran definidos en el Anexo II. Este primer cálculo se describe de forma general para cada nudo de la red con las siguientes ecuaciones:

- P_i : Potencia Activa Total en el nudo i en MW.
- Q_i : Potencia Reactiva Total en el nudo i en MVAR.
- P_l : Potencia Activa Carga en el nudo i en pu.
- P_g : Potencia Activa Generada en el nudo i en MW.
- Q_l : Potencia Reactiva Carga en el nudo i en pu.
- Q_g : Potencia Reactiva Generada en el nudo i en MVAR.

- S_b : Potencia Base de 1000 MVA.
- S_i : Potencia Aparenta en el nudo i en MVA.
- V_n : Tensión Nominal en el nudo i .

Ecuación para la Potencia Activa en el nudo i ;

$$P_i = P_l * S_b + P_g$$

Ecuación para la Potencia Reactiva en el nudo i ;

$$Q_i = Q_l * S_b + Q_g$$

Ecuación para la Potencia Aparente en el nudo i ;

$$S_i = \sqrt{P_i^2 + Q_i^2}$$

Con estos valores determinamos la Intensidad Inyectada y la Intensidad Base en el nudo i ;

$$I_i = (S_i / (\sqrt{3} * V_n)) * 1000 \text{ en A}$$

$$I_b = (S_b / (\sqrt{3} * V_n)) * 1000 \text{ en A}$$

Nuestro objetivo es ahora obtener a partir de la intensidad inyectada (I_i) el valor estándar del transformador de intensidad o intensidad primaria asignada (I_{ti}). Esto último se consigue con una función elaborada a tal fin. El rango de valores estándares del transformador de intensidad varía entre los siguientes valores y en múltiplos y submúltiplos decimales. Estos valores son 10, 12.5, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 75.

7.6.2. TIs instalados en líneas o transformadores

El procedimiento a seguir es exactamente igual que el anteriormente descrito con la salvedad que para el cálculo de I_{ij} Intensidad de Flujo en la rama ij se calcula a través de la potencia nominal aparente de la rama con origen en el nudo i y destino en j . Este último dato se encuentran definidos en el Anexo II.

Con estos valores determinamos la Intensidad Flujo en la rama ij y la Intensidad Base en el nudo i ;

$$I_{ij} = (S_{ij} / (\sqrt{3} * V_n)) * 1000 \text{ en A}$$

$$I_b = (S_b / (\sqrt{3} * V_n)) * 1000 \text{ en A}$$

Nuestro objetivo es ahora obtener a partir de la intensidad de flujo (I_{ij}) el valor estándar del transformador de intensidad o intensidad primaria asignada (It_{ij}). Esto último se consigue con una función elaborada a tal fin.

Transformadores de simple transformación:

Los valores nominales de las intensidades primarias asignadas en amperios son: 10, 12.5, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 75, y sus múltiplos o submúltiplos decimales.

7.7. Anexo VII. Otras Funciones Utilizadas en el Proyecto

A continuación se describirá una serie de funciones, que por su carácter auxiliar no han sido descritas en el **Capítulo 3** pero que sin ellas no sería posible haber alcanzado las metas de este proyecto.

7.7.1. Función que realiza la Estimación de Estado

Esta función tiene como misión realizar la estimación de estado procedente de un fichero de medidas .m. Esta a su vez esta formada por varias funciones. La primera de ellas tiene la función de administrar los ficheros de datos (de la red, de medidas, del modo de fichero, etc...). La segunda realiza la lectura de datos y la última realiza el cálculo estimado.

7.7.2. Función Auxiliar utilizada para crear un conjunto de medidas a partir de la función del estimador de estado en un fichero .m

Esta función tiene la finalidad de adecuar los datos obtenidos de la estimación en un fichero .m con todas las medidas estimadas.

7.7.3. Función Auxiliar utilizada para guardar las medidas en un fichero .m

Esta función se denomina `salva_medidas` y se encarga de guardar unas determinadas medidas en un fichero .m.

Esta función tiene muchas variantes debido a la flexibilidad del programa.

7.7.4. Función Auxiliar utilizada para almacenar la potencia nominal de las líneas y la tensión de los nudos de la Red IEEE-14

Esta función almacena en columnas del fichero de medidas la tensión en los nudos de la red y la potencia nominal en el conjunto de ramas. Los valores introducidos son los vistos en el Anexo II.

7.7.5. Función Auxiliar utilizada para realizar gráficas

Esta función tiene una serie finita de variantes ya que para cada simulación era preciso obtener una determinadas gráficas.

7.7.6. Función llamada parámetros estadísticos

Es aquella función que determina un fichero .mat para el posterior cálculo de la media móvil y la varianza móvil en la función parámetros globales.

Así como una variante de esta para el cálculo en el análisis estadístico dinámico para el valor medio estimado, la desviación típica media estimada, el valor medio de los residuos, la desviación típica media de los residuos, la diferencia con el valor exacto respecto al estimado y la desviación típica media de la diferencia con el valor exacto respecto al estimado.

7.7.7. Función Auxiliar utilizada para realizar la función parámetros estadísticos

Esta función se encarga de dar formato a las variables que conforman todas las medidas y en donde posteriormente se guardarán las variables anteriormente nombradas en el apartado 8.4 del Anexo VIII.

7.7.8. Función encargada de guardar el valor exacto de las medidas

Esta función se encarga de guardar el valor exacto de las medidas administrando una nueva columna al fichero de medidas de estudio.

7.7.9. Función Auxiliar utilizada para calcular el error de intensidad

Esta función determina el error de intensidad según la intensidad asignada considerada [4].

7.7.10. Función Auxiliar utilizada para calcular el error desfase

Esta función determina el desfase, para los valores de intensidad expresados en % de la intensidad asignada dados en centiradianes.

7.7.11. Función Auxiliar utilizada para obtener el valor de intensidad asignada

Esta función se encarga de calcular los valores nominales de las intensidades primarias asignadas en amperios a partir de la intensidad de flujo e inyecciones en nudos.

$$[Iti]=\text{obt_trafo_int}(I)$$

7.7.12. Función del Análisis Estático

Esta función ha sido creada con el fin de obtener los resultados numéricos y gráficos de este análisis.

7.7.13. Función del Análisis Dinámico

Esta función ha sido creada con el fin de obtener los resultados numéricos y gráficos de este análisis.

7.7.14. Función del Análisis Estadístico Dinámico

Esta función ha sido creada con el fin de obtener los resultados numéricos y gráficos de este análisis.