

Trabajo de Fin de Grado
Grado de Ingeniería en Tecnologías Industriales
Intensificación Electricidad

Algoritmo Eficiente de Análisis de la Topología de
Redes Eléctricas para Estimación de Parámetros

Autor: Fernando Pérez Ramírez

Tutor: Antonio de la Villa Jaén

Dep. Ingeniería Eléctrica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2016



Trabajo de Fin de Grado
Grado de Ingeniería en Tecnologías Industriales
Intensificación Electricidad

Algoritmo Eficiente de Análisis de la Topología de Redes Eléctricas para Estimación de Parámetros

Autor:

Fernando Pérez Ramírez

Tutor:

Antonio de la Villa Jaén

Profesor titular

Dep. Ingeniería Eléctrica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2016

Trabajo de Fin de Grado: Algoritmo Eficiente de Análisis de la Topología de Redes Eléctricas para Estimación de Parámetros

Autor: Fernando Pérez Ramírez

Tutor: Antonio de la Villa Jaén

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2016

El Secretario del Tribunal

A mi familia

A mis maestros

Agradecimientos

Agradezco el apoyo incondicional de mis padres, ya que sin ellos no habría tenido la oportunidad de estudiar en Sevilla. También quiero hacer mención a mi profesor y tutor Antonio de la Villa Jaén por su ayuda con el proyecto, es un placer y un gusto haber realizado esta investigación bajo su tutela.

Finalmente, querría dedicarle este proyecto a mi abuela fallecida este año.

Fernando Pérez Ramírez

Sevilla, 2016

Resumen

En este proyecto se disponen de dos algoritmos que permiten un análisis de redes. Un primer programa se encarga del estudio topológico de la red, en la cuál se identifican las ramas radiales y las que forman cortes dobles. El problema que presenta dicho algoritmo es el elevado tiempo empleado para llevar a cabo el análisis, es por ello que, mediante una división en subgrafos de la red inicial, se procederá a optimizar el programa para que realice el mismo análisis, pero de las sub redes en las que queda dividido el sistema.

Por otro lado, nos planteamos un estudio acerca de las condiciones bajo las cuales sí es posible detectar errores en parámetros en ramas radiales, y bajo las que se permite la identificación de errores en ramas que forman cortes dobles. Disponemos de otro programa que permite realizar repartos de cargas y posteriormente, generar errores en los parámetros de las ramas de la red en estudio.

En otros estudios realizados, se planteó la imposibilidad de esta detección e identificación. Sin embargo, parece ser que con nuestro algoritmo sí es posible. Este motivo incentivó llevar a cabo dicho estudio y determinar de forma cualitativa las circunstancias bajo las cuales sí se pueden detectar o identificar los errores.

Agradecimientos	ix
Resumen	xi
Índice	xiii
Índice de Tablas	xiv
Índice de Ilustraciones	xvi
Notación	xvii
1 Introducción	1
2 Objetivos y Alcance del Proyecto	11
3 Optimización del Algoritmo de Análisis Topológico	13
3.1 <i>Estudio Previo</i>	13
3.1.1 Descripción de la situación	13
3.1.2 Ensayos	15
3.2 <i>Modificaciones en el Algoritmo de Análisis Topológico</i>	27
3.2.1 Breve resumen	27
3.2.2 Eliminación de ramas radiales	28
3.2.3 Identificación de islas	29
3.2.4 Nueva numeración y obtención de cortes dobles	31
3.2.5 Comprobación	32
4 Análisis de Parámetros en Ramas Radiales y K-tuples	34
4.1 <i>Contexto</i>	34
4.2 <i>Investigación</i>	35
4.2.1 Punto de partida	35
4.2.2 Breve descripción del procedimiento del programa	35
4.2.3 Detección de errores en parámetros en ramas radiales	36
4.2.4 Conclusión sobre la detección de errores en ramas radiales	80
4.2.5 Identificación de errores en parámetros en cortes dobles	81
4.2.6 Conclusiones sobre la detección de errores en ramas que son cortes dobles	118
4.2.7 Observación	119
4.3 <i>Conclusión final</i>	124
Referencias	125

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Comparación de redes	13
Tabla 2: Tiempos de Red_prueba_2	17
Tabla 3: Tiempos de Red_prueba_2_1	17
Tabla 4: Tiempos de Red_prueba_2_2	17
Tabla 5: Tiempos de Red_prueba_3	18
Tabla 6: Tiempos de Red_prueba_3	20
Tabla 7: Tiempos de Red_prueba_3_1	20
Tabla 8: Tiempos de Red_prueba_3_2	20
Tabla 9: Tiempos de Red_prueba_3_3	21
Tabla 10: Tiempos de Red_prueba_4	21
Tabla 11: Tiempos de Red_prueba_5	21
Tabla 12: Tiempos de Red_prueba_4	24
Tabla 13: Tabla de tiempos de Red_prueba_4_1	24
Tabla 14: Tiempos de Red_prueba_4_2	24
Tabla 15: Tiempos de Red_prueba_4_3	25
Tabla 16: Tiempos de Red_prueba_4_4	25
Tabla 17: Tiempos de Red_prueba_4_5	25
Tabla 18: Tiempos de Red_prueba_4_6	25
Tabla 19: Comparación de tiempos de los algoritmos	32
Tabla 20: Explicación de la tabla de ensayos	36
Tabla 21: Resultados ensayo Red 1	40
Tabla 22: Resultados ensayo Red 2	45
Tabla 23: Resultados ensayo Red 3	47
Tabla 24: Resultados ensayo Red 4	52
Tabla 25: Resultados ensayo Red 5	56
Tabla 26: Resultados ensayo Red 6	59
Tabla 27: Resultados ensayo Red 7	64
Tabla 28: Resultados ensayo Red 8	67
Tabla 29: Resultados ensayo Red 1	69
Tabla 30: Resultados ensayo Red 2	71
Tabla 31: Resultados ensayo Red 3	72
Tabla 32: Resultados ensayo Red 4	74
Tabla 33: Resultados ensayo Red 5	75
Tabla 34: Resultados ensayo Red 6	76

Tabla 35: Resultados ensayo Red 7	78
Tabla 36: Resultados ensayo Red 8	79
Tabla 37: Explicación de la tabla de ensayos	81
Tabla 38: Resultados ensayo Red 1	84
Tabla 39: Resultados ensayo Red 3	87
Tabla 40: Resultados ensayo Red 4	89
Tabla 41: Resultados ensayo Red 5	93
Tabla 42: Resultados ensayo Red 6	96
Tabla 43: Resultados ensayo Red 8	100
Tabla 44: Resultados ensayo Red 1	104
Tabla 45: Resultados ensayo Red 3	107
Tabla 46: Resultados ensayo Red 4	110
Tabla 47: Resultados ensayo Red 5	113
Tabla 48: Resultados ensayo Red 6	116
Tabla 49: Resultados ejemplo 1	120
Tabla 50: Resultados ejemplo 1	120
Tabla 51: Resultados ejemplo 1	120
Tabla 52: Resultados ejemplo 1	121
Tabla 53: Resultados ejemplo 1	121
Tabla 54: Resultados ejemplo 1	121
Tabla 55: Resultados ejemplo 2	122
Tabla 56: Resultados ejemplo 2	122
Tabla 57: Resultados ejemplo 2	122
Tabla 58: Resultados ejemplo 3	123
Tabla 59: Resultados ejemplo 3	123
Tabla 60: Resultados ejemplo 3	123
Tabla 61: Resultados ejemplo 3	123

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Ejemplo	14
Ilustración 2: Figura 1	16
Ilustración 3: figura 2	16
Ilustración 4: figura 3	19
Ilustración 5: figura 4	19
Ilustración 6: figura 5	23
Ilustración 7: figura 6	23
Ilustración 8: Red_prueba_prueba	27
Ilustración 9:Red_prueba_prueba sin ramas radiales	28
Ilustración 10: Islas	30
Ilustración 11: Caso donde un error es detectable e identificable	38
Ilustración 12: Caso donde un error es detectable pero no identificable	38
Ilustración 13: Red 1	39
Ilustración 14: Red 2	44
Ilustración 15: Red 3	47
Ilustración 16: Red 4	51
Ilustración 17: Red 5	55
Ilustración 18: Red 6	59
Ilustración 19: Red 7	63
Ilustración 20: Red 8	66
Ilustración 21: Red 1	83
Ilustración 22: Red 3	86
Ilustración 23: Red 4	89
Ilustración 24: Red 5	92
Ilustración 25: Red 6	95
Ilustración 26: Red 8	99

Notación

t_{tot}	Tiempo del grafo total, sin dividir
t_i	Tiempos del subgrafo i
t_{cal}	Tiempo de cálculo
*.m	Nombre del archivo y su extensión para matlab
ND	No detectado
SD	Si detectado
SDI	Si detectado e identificado
RN	Error normalizado
R	Resistencia
X	Reactancia
B	Susceptancia
P	Potencia activa
Q	Potencia reactiva
<	Menor
>	Mayor
=	Igual
\leq	Menor o igual
\geq	Mayor o igual
PV	Nudos que tienen definidas la potencia activa y el módulo de la tensión
PQ	Nudos que tienen definidas las potencias activa y reactiva

1 INTRODUCCIÓN

In a measured power network, the parameter error on a single edge cutset cannot be detected with conventional measurements without phasor measurement units (PMUs). The parameter error on a double edge cutset can be detected but not identified without PMUs. Ines una cita al principio de un capítulo.

- Liuxi Zhang, Student Member, IEEE, and Ali Abur, Fellow, IEEE-

En la operación en tiempo real de los sistemas de potencia la obtención de datos es bastante compleja, debido al deterioro o pérdida de la información en el proceso de lectura, transmisión y recepción de los datos. Es prioritario determinar un estado confiable del estado existente de la información.

El estimador de estado es una herramienta utilizada por los centros de control de energía eléctrica para una construcción, en tiempo real, del modelo eléctrico del sistema. Dicho estimador se lleva a cabo teniendo en cuenta que el modelo correcto de la red es conocido. Por lo tanto, las inconsistencias detectadas durante el proceso de estimación de estado son atribuidas a errores en las medidas analógicas. Pero estos errores en el modelo de la red pueden ser debidos tanto a la topología de la red como a errores en los parámetros.

Estudios sobre la influencia de errores en los parámetros sobre la estimación demuestran que los errores en las impedancias de las ramas son poco visibles y pueden producir errores en los datos proporcionados por el estimador de estado continuamente y durante grandes periodos de tiempo sin que dichos errores se detecten. Desde el punto de vista del estimador de estado, un error en un parámetro tiene el mismo efecto que un conjunto de errores correlacionados que actuaran sobre la rama y las inyecciones en los nudos extremos de ella, por lo que será de suma importancia su estimación. El impacto sobre la estimación de estado es similar o superior al de los errores en las medidas. Consecuentemente, los errores en los parámetros no detectados pueden afectar gravemente a la exactitud de las aplicaciones de seguridad y optimización de las redes.

La influencia de los errores en los parámetros sobre la estimación de estado da lugar a la necesidad de estimar los parámetros para poder realizar una buena estimación de estado. Y para ello es necesario identificarlos previamente mediante uno de los métodos existentes, para así posteriormente estimar aquellos que han sido identificados.

Y es en este punto cuando llega el objeto de este proyecto, ya que, al investigar sobre esta identificación previa de los parámetros sospechosos de ser erróneos, se detecta que existen limitaciones en la identificación de parámetros erróneos para ciertas topologías de la red. Estas topologías son las caracterizadas por los cortes simples y dobles de la red. Con objeto de verificar las afirmaciones de Ali Abur acerca de este estudio.

Los cortes simples son aquellos en los que la eliminación de una única rama de la red divide esta en dos. Es decir, la eliminación de esta rama convierte una red conexa en una no-conexa. En la mayoría de los casos, ramas radiales. Por otro lado, un corte doble es aquel en el cual la eliminación de dos ramas de la red simultáneamente convierte esta en no-conexa, es decir, si se añade de nuevo cualquiera de las dos ramas la red se vuelve conexa de nuevo. Partiendo de un algoritmo a optimizar, que, dada una red, obtenga cuáles son los cortes simples, y los dobles de dicha red. Una vez localizadas se realizará un estudio más completo sobre estas limitaciones en la identificación de errores en los parámetros que plantea Ali Abur.

Dicho autor afirma en un estudio que ‘un error en un parámetro en un corte simple no puede ser detectado.’ También comenta que ‘un error en un parámetro en un corte doble puede ser detectado pero no identificado.’

2 OBJETIVOS Y ALCANCE DEL PROYECTO

Se define claramente los objetivos y alcance, con el fin de aclarar qué queda dentro y fuera del proyecto.

- Objetivos
 - Hacer que el algoritmo de análisis topológico de redes sea eficiente. Optimizar al máximo su código evitando así, que, para redes reales de muchos nudos, se demore un tiempo excesivo. Y éste sea lo suficientemente pequeño como para poder emplearse a tiempo real.
 - Comprobar si es cierto que ‘la identificación de errores en los parámetros muestra que errores en los parámetros de ramas que son cortes simples de una red (ramas radiales) no pueden ser detectados’ y que ‘errores en los parámetros de ramas que son cortes dobles de una red (los k-tuples) no pueden ser identificados’.
 - En caso de que la afirmación anterior no sea cierta, identificar bajo qué circunstancias sí es posible la detección e identificación de errores en los parámetros.
- Alcance

El alcance se limita a la realización y comprobación mediante ensayos en varias redes del algoritmo definido en el apartado de objetivos, y la posterior realización del análisis sobre las limitaciones indicadas en la identificación de errores en los parámetros.

Dichos ensayos serán realizados en redes pequeñas de entre 12 y 20 nudos, con el fin de poder realizar el estudio de forma simplificada y más visual a la hora de comparar los resultados obtenidos. Quedando fuera del alcance aplicar éstos análisis para redes de elevada dimensión. Aunque si se aplicarán a las redes reales definidas en el análisis topológico las conclusiones obtenidas del estudio como comprobación de los resultados obtenidos.

Queda fuera del alcance el estudio de los métodos de identificación de cortes en redes de potencia ya existentes.

Queda fuera del alcance el estudio de los métodos existentes para la identificación de errores en los parámetros, uno de estos métodos será utilizado para el análisis indicado anteriormente pero el alcance se limita al estudio de los resultados obtenidos mediante este análisis.

El análisis realizado en ramas radiales se realizará bajo dos perspectivas, una desde la cual se dispone dos pares

de medias de potencia (activa y reactiva), un par en cada extremo. Y otra en la cual sólo se disponga de un par de medidas de potencia en uno de los extremos, ya que en aplicaciones reales esto es muy común. Ambas perspectivas abarcarán también el entorno de lo cargado o no, que pueda estar el sistema.

Por otro lado, el análisis de las ramas que forman cortes dobles, sólo contempla la primera perspectiva antes mencionada, ya que, en la realidad, las redes malladas presentan medidas de potencia en ambos extremos. Es por ello que, se analizarán redes en sistemas muy cargados o poco cargado.

Queda pues fuera del alcance del proyecto, la identificación de errores en ramas que forman un k -tuple en las cuales se dispone sólo de un par de medidas de potencia.

3 OPTIMIZACIÓN DEL ALGORITMO DE ANÁLISIS TOPOLÓGICO

3.1 Estudio Previo

3.1.1 Descripción de la situación

A priori, parece que el algoritmo es óptimo en cuanto a código se refiere, ya que se aprovechan las variables para no tener que buscar dos veces la misma, si previamente ya fue utilizada. Además, el uso de matrices tipo 'Sparse' favorece la reducción de tiempo e implementación de estas cuyos elementos en su mayoría sean nulos.

Todo ello hace que, para redes de pequeño tamaño, el programa emplee un tiempo de cálculo en torno a las decimas o milésimas de segundo, para obtener las ramas radiales y los k-tuples. Si dicho programa se utiliza a tiempo real, estos datos temporales son buenos. Pero, ¿y si el sistema de análisis dispone de un número de nudos elevados, como es el caso de redes reales?

Para sistemas reales, donde el número de nudos y ramas es mucho mayor que los estudiado hasta ahora, el algoritmo se demora un tiempo importante. Véase que las redes estudiadas son una 'Red del Norte' y una 'Red de Provincial' de 525 nudos y 650 ramas, y 206 nudos y 236 ramas respectivamente.

Tabla 1: Comparación de redes

Nombre de la red	Número de nudos	Número de ramas	Tiempo de cálculo (s)
Red Provincial	206	236	11.244294
Red del Norte	525	650	304.103310

Podemos apreciar como aumentando algo más del doble el número de nudos y ramas, en definitiva, la complejidad de la red, los tiempos de cálculo aumentan notablemente. Aunque es cierto que los tiempos de cálculo varían en torno a un $\pm 8\%$ como máximo, aún siguen siendo excesivos si se tratan redes de dimensiones considerables.

Parece pues, un buen comienzo analizar el funcionamiento del algoritmo, es decir, ver si existe otro método similar por el cual se obtengan los mismos resultados, pero consumiendo mucho menos tiempo.

Cabe destacar que funciones como buscar, o recorrer una matriz requieren un cierto tiempo que, aunque no es elevado, debemos evitar usarlas salvo que sea necesario. También es aconsejable no dar pasos que no sean imprescindibles para llegar al objetivo final del algoritmo, "Obtener las ramas radiales y los k-tuples de una red".

Para la implementación del algoritmo se usará el tipo de escenario 3, en el cual nosotros introducimos la red que deseamos analizar. Ello facilitará en un primer momento los pasos a dar por el programa, permitiendo, además, conocer de antemano los valores que van tomando las variables del algoritmo.

Durante el proceso de cálculo de los cortes dobles (k-tuples), se tiene que obtener un árbol de la red completa. Dicho proceso tarda más cuanto más compleja sea la red, es decir, cuanto mayor sea el número de ramas y de nudos.

¿Se tardaría menos tiempo si dividiéramos el sistema en pequeños sub-sistemas? Si con un grafo se tarda un tiempo determinado en obtener el árbol, ¿podría emplear menos tiempo si divido el grafo inicial en varios sub-grafos, obtengo sus respectivos árboles y sumo los tiempos?

Para simplificar el grafo eliminaremos las ramas radiales, ya que estas han sido identificadas previamente.

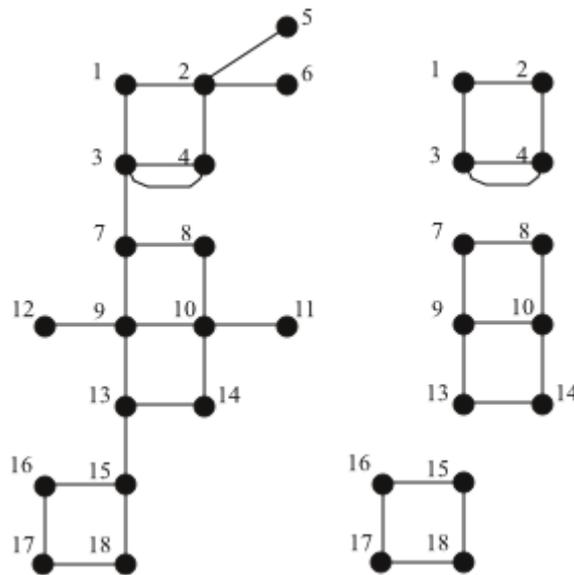


Ilustración 1: Ejemplo

Como vemos en la imagen, ahora tenemos tres pequeños grafos. Aunque el árbol sea distinto del original, para obtener los k-tuples no son necesarias las ramas radiales.

Trataremos pues, de comprobar si:

$$t_{tot} \geq \Sigma t_i \quad (1)$$

Donde:

t_{tot} es el tiempo que emplea el algoritmo en realizar los cálculos y obtener las ramas radiales y k-tuples de la red de estudio.

Σt_i es el sumatorio de todos los tiempos que emplea el algoritmo en realizar los cálculos y obtener las ramas

radiales y k-tuples de cada uno de los subgrafos en los que se divide el grafo de la red de estudio inicial.

Sin embargo, hemos de considerar también que ahora los cálculos que antes se realizaban una sola vez, ahora se realizan más veces. Por lo tanto, el tiempo empleado en obtener el grafo grande debe ser mayor o igual que el tiempo de obtener todos los árboles pequeños y un tiempo de cálculo adicional, ya que puede ser que tarde más. Es por eso que la ecuación a comprobar es:

$$t_{tot} \geq \Sigma t_i + t_{cal} \quad (2)$$

Donde:

t_{tot} es el tiempo que emplea el algoritmo en realizar los cálculos y obtener las ramas radiales y k-tuples de la red de estudio.

Σt_i es el sumatorio de todos los tiempos que emplea el algoritmo en realizar los cálculos y obtener las ramas radiales y k-tuples de cada uno de los subgrafos en los que se divide el grafo de la red de estudio inicial.

t_{cal} es el tiempo extra de cálculo que tomamos como margen ante una posible demora temporal debida a los cálculos del nuevo método que optimiza el algoritmo.

3.1.2 Ensayos

Se realizarán tres ensayos para comprobar si la afirmación anterior es cierta. Para ello plantearemos varios escenarios que irán aumentando la complejidad de la red. En todo momento, los tiempos presentados corresponden al tiempo de cálculo, quedando excluido el tiempo de presentación de resultados.

3.1.2.1 Primer ensayo

Se creó el archivo 'Red_prueba_2.m', que contenía el grafo de la figura 1:

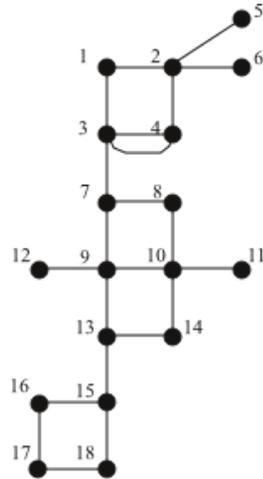


Ilustración 2: Figura 1

Si eliminamos las ramas radiales nos queda el siguiente grafo:

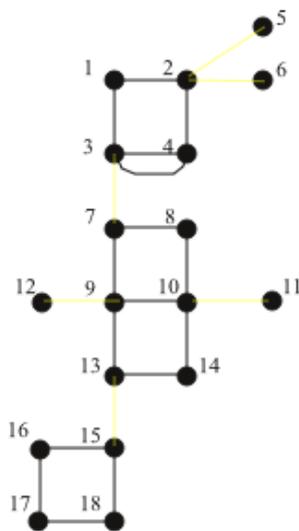


Ilustración 3: figura 2

Se puede apreciar claramente cómo queda dividido en tres sub-grafos. Crearemos un archivo *.m para cada uno de ellos: 'Red_prueba_2_1.m', 'Red_prueba_2_2.m' y 'Red_prueba_2_3.m' nombrados respectivamente desde el sub-grafo superior al inferior.

Utilizando el algoritmo de análisis topológico de redes para calcular sus cortes dobles y simples, nos mostrará unos tiempos de cálculo. Debido a la variación de estos tiempos, realizamos el mismo experimento varias veces, para finalmente hacer la media y obtener así una estimación de tiempo más exacta. Nótese que, si uno de los tiempos difiere en un orden de magnitud con respecto al resto, o es muy distinto de los otros, se considerará erróneo, y no se tendrá en cuenta para la media.

Con el grafo total, 'Red_prueba_2.m', se obtuvieron los siguientes tiempos en segundos:

Tabla 2: Tiempos de Red_prueba_2

0.231495	0.046960	0.041823
0.040190	0.046160	0.040721
0.048564	0.052121	0.042939

La media obtenida de los ensayos es: $t_{tot} = 0.04493475$ segundos.

Nótese que uno de los tiempos difiere mucho de los otros, llegan a ser un orden de magnitud superior al resto (casilla coloreada). Dicho tiempo no es tomado en cuenta para la obtención de la media del tiempo que tarda el programa en obtener los resultados.

Continuando con el grafo superior, 'Red_prueba_2_1.m', los tiempos en segundos fueron:

Tabla 3: Tiempos de Red_prueba_2_1

0.357588	0.019805	0.019849
0.021358	0.018799	0.023981
0.026517	0.024866	0.020127

La media obtenida de los ensayos es: $t_1 = 0.02191275$ segundos.

Nótese que uno de los tiempos difiere mucho de los otros, llegan a ser un orden de magnitud superior al resto (casilla coloreada). Dicho tiempo no es tomado en cuenta para la obtención de la media del tiempo que tarda el programa en obtener los resultados.

El grafo intermedio, 'Red_prueba_2_2.m', dio los tiempos en segundos:

Tabla 4: Tiempos de Red_prueba_2_2

0.048626	0.020881	0.023172
0.017877	0.020486	0.020153
0.020258	0.021942	0.025520

La media es $t_2 = 0.021286125$ segundos.

Nótese que uno de los tiempos difiere mucho de los otros, llegan a ser un orden de magnitud superior al resto (casilla coloreada). Dicho tiempo no es tomado en cuenta para la obtención de la media del tiempo que tarda el programa en obtener los resultados.

Finalmente, con el grafo inferior, 'Red_prueba_2_3.m', obtuvimos los tiempos en segundos:

Tabla 5: Tiempos de Red_prueba_3

0.024939	0.018802	0.018382
0.018971	0.020245	0.018662
0.019397	0.019036	0.018154

La media obtenida de los ensayos es: $t_3 = 0.0196209$ segundos.

$$t_{tot} = 0.04493475 \text{ s}$$

$$\left. \begin{array}{l} t_1 = 0.02191275 \text{ s} \\ t_2 = 0.02128612 \text{ s} \\ t_3 = 0.01962090 \text{ s} \end{array} \right\} \Sigma t_i = 0.062819775 \text{ s}$$

Podemos observar que el tiempo de ramas radiales y cortes dobles en el grafo total es menor que la suma de sus partes calculadas de forma independientes, luego en un primer instante parece no ser factible este método.

$$t_{tot} < \Sigma t_i \quad (3)$$

Donde:

t_{tot} es el tiempo que emplea el algoritmo en realizar los cálculos y obtener las ramas radiales y k-tuples de la red de estudio.

Σt_i es el sumatorio de todos los tiempos que emplea el algoritmo en realizar los cálculos y obtener las ramas radiales y k-tuples de cada uno de los subgrafos en los que se divide el grafo de la red de estudio inicial.

3.1.2.2 Segundo ensayo

Intentemos ahora con una red mayor y mucho más compleja. Se crea el archivo 'Red_prueba_3.m', que contenía el grafo de la figura 3:

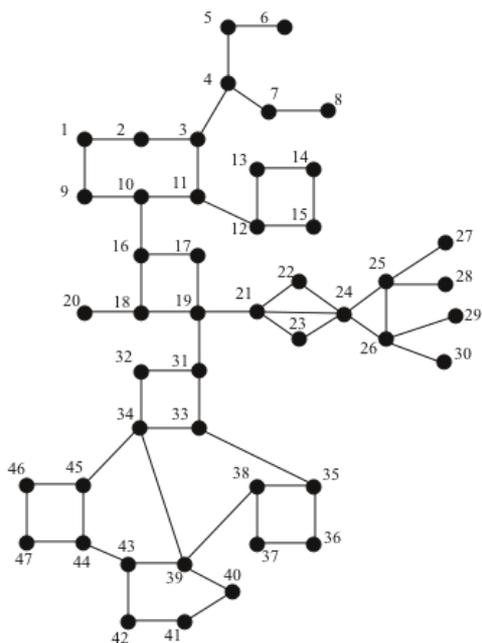


Ilustración 4: figura 3

Parece ser que con una red bastante más complicada que la anterior en cuanto a nudos y ramas se refiere, el método propuesto debería surtir efecto.

Al eliminar las ramas radiales nos quedan 5 sub-grafos:

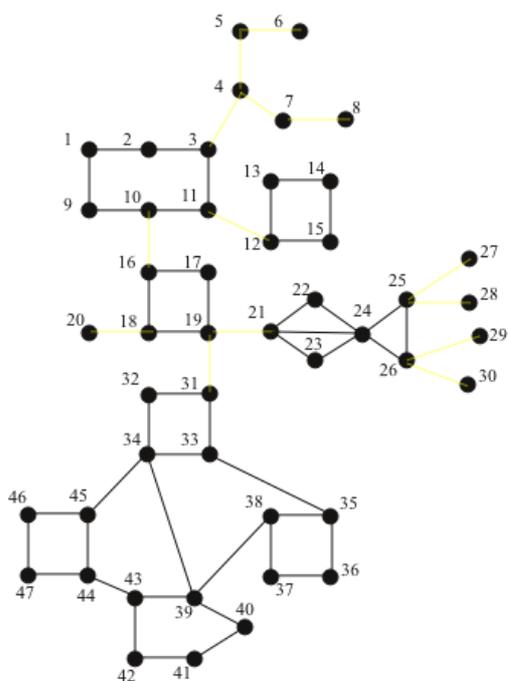


Ilustración 5: figura 4

El grafo inicial queda dividido en cinco sub-grafos. Como en el ensayo anterior, también crearemos sus respectivos archivos *.m: 'Red_prueba_3_1', 'Red_prueba_3_2', 'Red_prueba_3_3', 'Red_prueba_3_4' y

‘Red_prueba_3_5’, respectivamente numerados de arriba abajo y de izquierda a derecha.

Con el grafo total, ‘Red_prueba_3.m’, se obtuvieron los siguientes tiempos en segundos:

Tabla 6: Tiempos de Red_prueba_3

0.263725	0.243299	0.234601
0.210206	0.283172	0.297742
0.280658	0.261850	0.291453

La media obtenida de los ensayos es: $t_{\text{tot}} = 0.262967$ segundos.

Continuando con el grafo superior izquierdo, ‘Red_prueba_3_1.m’, los tiempos en segundos fueron:

Tabla 7: Tiempos de Red_prueba_3_1

0.020530	0.021811	0.019433
0.020139	0.022288	0.021935
0.022974	0.020473	0.020639

La media obtenida de los ensayos es: $t_1 = 0.0211358$ segundos.

El grafo superior derecho, ‘Red_prueba_3_2.m’, dio los tiempos en segundos:

Tabla 8: Tiempos de Red_prueba_3_2

0.017520	0.019689	0.021754
0.019035	0.020304	0.022657
0.021826	0.023381	0.021495

La media es $t_2 = 0.0208512$ segundos.

Con el grafo de en medio izquierda, ‘Red_prueba_3_3.m’, obtuvimos los tiempos en segundos:

Tabla 9: Tiempos de Red_prueba_3_3

0.021146	0.019975	0.021885
0.019634	0.022536	0.020951
0.021700	0.021263	0.021105

La media obtenida de los ensayos es: $t_3 = 0.0211328$ segundos.

El grafo de en medio derecha, 'Red_prueba_3_4.m', dio los tiempos en segundos:

Tabla 10: Tiempos de Red_prueba_4

0.021247	0.028499	0.023924
0.020855	0.025928	0.023457
0.021399	0.022644	0.022619

La media es $t_4 = 0.0233969$ segundos.

Finalmente, con el grafo inferior, 'Red_prueba_3_5.m', obtuvimos los tiempos en segundos:

Tabla 11: Tiempos de Red_prueba_5

0.037988	0.039441	0.039220
0.044375	0.041808	0.038225
0.039864	0.039815	0.040579

La media obtenida de los ensayos es: $t_5 = 0.0401461$ segundos.

$$t_{\text{tot}} = 0.2629670 \text{ s}$$

$$\left. \begin{array}{l} t_1 = 0.0211358 \text{ s} \\ t_2 = 0.0208512 \text{ s} \\ t_3 = 0.0211328 \text{ s} \\ t_4 = 0.0233969 \text{ s} \\ t_5 = 0.0401461 \text{ s} \end{array} \right\} \sum t_i = 0.1266628 \text{ s}$$

Vemos como el tiempo de obtención de ramas radiales y cortes dobles en el grafo total es mayor que la suma de

sus partes calculadas de forma independientes, permitiéndose así un tiempo de cálculo de hasta 0.1363042 segundos.

$$t_{tot} > \sum t_i + t_{cal} \quad (4)$$

Donde:

t_{tot} es el tiempo que emplea el algoritmo en realizar los cálculos y obtener las ramas radiales y k-tuples de la red de estudio.

$\sum t_i$ es el sumatorio de todos los tiempos que emplea el algoritmo en realizar los cálculos y obtener las ramas radiales y k-tuples de cada uno de los subgrafos en los que se divide el grafo de la red de estudio inicial.

t_{cal} es el tiempo extra de cálculo que tomamos como margen ante una posible demora temporal debida a los cálculos del nuevo método que optimiza el algoritmo.

Suponiendo una reducción de tiempos en torno al 48%.

Parece ser que cuando el sistema es algo más grande podemos ahorrar un tiempo importante a la hora de realizar el cálculo de los cortes simples y dobles.

Se puede apreciar también como existe un tiempo mínimo que tarda el programa en realizar los cálculos. Éste ronda los 0.02 segundos. En el caso anterior ocurría esto, con la salvedad de que el tiempo de cálculo del grafo total era del mismo orden de magnitud que dicho tiempo mínimo, y, por tanto, no era mejor el nuevo método.

3.1.2.3 Tercer ensayo

Probemos ahora con una red aún más grande, con la cual esperamos que los tiempos del grafo total sean mucho mayores que los de la suma de los sub-grafos en los que se descomponga. Además, esta diferencia de tiempos debería ser mucho mayor. Si esto es así, cabe de esperar que, con redes reales, donde el número de nudos y ramas es de uno o dos órdenes de magnitud mayores a los tratados en los ensayos, se obtengan tiempos muchísimo menores con este nuevo método.

Se crea el archivo 'Red_prueba_4.m', que contenía el grafo de la figura 5:

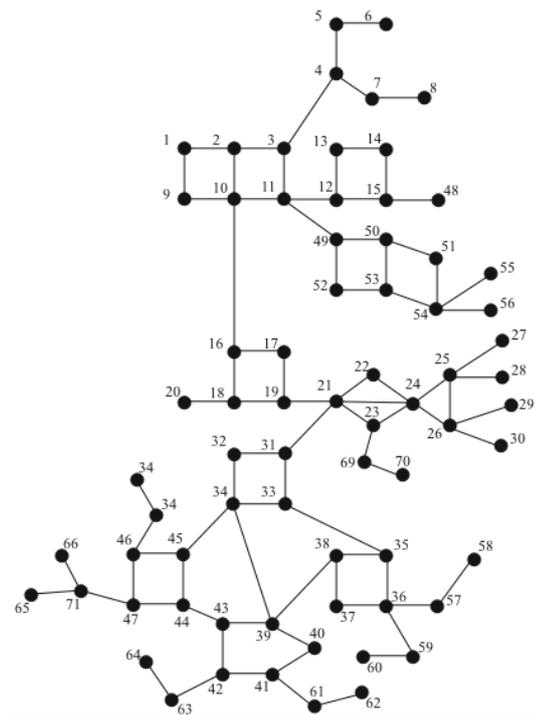


Ilustración 6: figura 5

Donde al eliminar las ramas radiales quedan los seis siguientes sub-grafos:

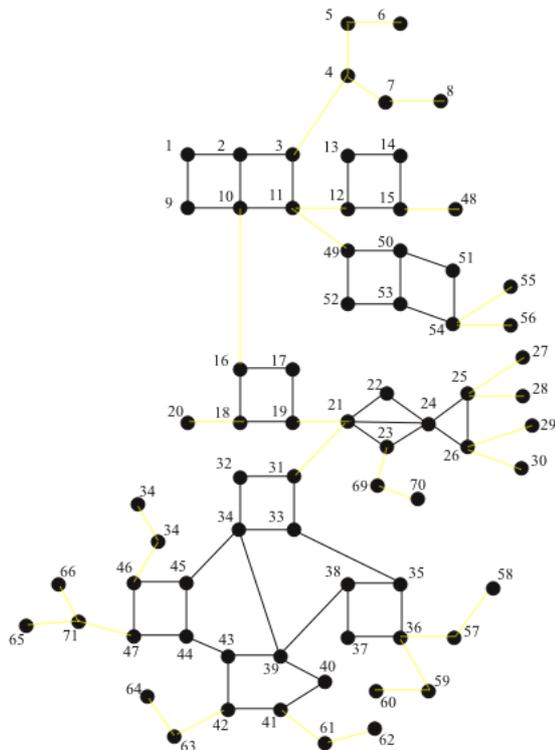


Ilustración 7: figura 6

El grafo inicial queda dividido en seis sub-grafos más pequeños. Creamos sus respectivos archivos *.m: 'Red_prueba_4_1', 'Red_prueba_4_2', 'Red_prueba_4_3', 'Red_prueba_4_4', 'Red_prueba_4_5' y 'Red_prueba_4_6', respectivamente numerados de arriba abajo y de izquierda a derecha.

Con el grafo total, 'Red_prueba_4.m', se obtuvieron los siguientes tiempos en segundos:

Tabla 12: Tiempos de Red_prueba_4

0.694612	0.690183	0.668894
0.708689	0.671153	0.692454
0.688135	0.689346	0.685101

La media obtenida de los ensayos es: $t_{\text{tot}} = 0.687619$ segundos.

Continuando con el grafo superior izquierdo, 'Red_prueba_4_1.m', los tiempos en segundos fueron:

Tabla 13: Tabla de tiempos de Red_prueba_4_1

0.025697	0.023061	0.025508
0.023586	0.027631	0.027407
0.024868	0.024998	0.024784

La media obtenida de los ensayos es: $t_1 = 0.02528222$ segundos.

El grafo superior derecho, 'Red_prueba_4_2.m', dio los tiempos en segundos:

Tabla 14: Tiempos de Red_prueba_4_2

0.023910	0.025830	0.023564
0.024805	0.022984	0.023211
0.024931	0.023381	0.023746

La media es $t_2 = 0.02410489$ segundos.

Con el grafo siguiente, 'Red_prueba_4_3.m', obtuvimos los tiempos en segundos:

Tabla 15: Tiempos de Red_prueba_4_3

0.019806	0.020222	0.023805
0.019634	0.022536	0.022165
0.022869	0.020600	0.021676

La media obtenida de los ensayos es: $t_3 = 0.0214792$ segundos.

El grafo de en medio izquierda, 'Red_prueba_4_4.m', dio los tiempos en segundos:

Tabla 16: Tiempos de Red_prueba_4_4

0.022572	0.024661	0.024271
0.022477	0.022123	0.022384
0.025439	0.024786	0.021549

La media es $t_4 = 0.0233624$ segundos.

Con el grafo de en medio izquierda, 'Red_prueba_4_5.m', obtuvimos los tiempos en segundos:

Tabla 17: Tiempos de Red_prueba_4_5

0.025750	0.025569	0.023989
0.022501	0.022301	0.023095
0.021076	0.021032	0.021420

La media obtenida de los ensayos es: $t_5 = 0.0229703$ segundos.

Finalmente, con el grafo inferior, 'Red_prueba_4_6.m', obtuvimos los tiempos en segundos:

Tabla 18: Tiempos de Red_prueba_4_6

0.042659	0.04242	0.041064
0.037886	0.043266	0.038522
0.042239	0.040049	0.037442

La media obtenida de los ensayos es: $t_6 = 0.0406163$ segundos.

$$\begin{array}{l}
 t_{tot} = 0.687619 \text{ s} \\
 \\
 \left. \begin{array}{l}
 t_1 = 0.0252822 \text{ s} \\
 t_2 = 0.0241049 \text{ s} \\
 t_3 = 0.0214792 \text{ s} \\
 t_4 = 0.0233624 \text{ s} \\
 t_5 = 0.0229703 \text{ s} \\
 t_6 = 0.0406163 \text{ s}
 \end{array} \right\} \sum t_i = 0.1578153 \text{ s}
 \end{array}$$

Vemos como el tiempo de obtención de ramas radiales y cortes dobles en el grafo total es mayor que la suma de sus partes calculadas de forma independientes, permitiéndose así un tiempo de cálculo de hasta 0.529804 segundos.

$$t_{tot} > \sum t_i + t_{cal} \quad (4)$$

Donde:

t_{tot} es el tiempo que emplea el algoritmo en realizar los cálculos y obtener las ramas radiales y k-tuples de la red de estudio.

$\sum t_i$ es el sumatorio de todos los tiempos que emplea el algoritmo en realizar los cálculos y obtener las ramas radiales y k-tuples de cada uno de los subgrafos en los que se divide el grafo de la red de estudio inicial.

t_{cal} es el tiempo extra de cálculo que tomamos como margen ante una posible demora temporal debida a los cálculos del nuevo método que optimiza el algoritmo.

Lo que supondría una reducción de tiempos en torno al 77%.

Por lo tanto, parece que este nuevo método de obtención de los cortes simples y dobles es mucho mejor y reduce considerablemente los tiempos cuanto mayor es la complejidad de la red.

Debe tenerse en cuenta que, para redes simples, éste nuevo método no proporciona tiempos mejores, ya que no se supera el tiempo mínimo de aproximadamente 0.02 segundos. Pero, como prácticamente la diferencia tiempos mediante un método y otro para redes pequeñas es prácticamente inapreciable, consideramos que el nuevo algoritmo servirá para cualquier tipo de red.

3.2 Modificaciones en el Algoritmo de Análisis Topológico

3.2.1 Breve resumen

En primer lugar, debemos situarnos en la parte del código que termina de calcular las ramas radiales. Queremos pues que ahora nuestra matriz ramas, que contiene todas las ramas del grafo de la red a analizar, sólo contenga las ramas no radiales. Por lo tanto, debemos eliminarlas.

Una vez consuido, el siguiente paso consistirá en obtener las islas en las que queda dividido el grafo inicial. Es conveniente guardar a que isla pertenece cada rama, y el número de cada isla a utilizar.

Tras esto último, se procederá a obtener los k-tuples de cada isla. Para ello seleccionaran las ramas que pertenezcan a cada isla y se procederá a la obtención de dichos cortes dobles. El problema reside ahora en la necesidad de tener que poner una numeración consecutiva, ya que, tras la selección de ramas, puede que no se tengan nudos consecutivamente numerados. Es necesario pues renombrar los nudos.

Obtenida ya la nueva numeración, se calculan los k-tuples. La obtención de éstos será con el mismo código que con el algoritmo inicial, con alguna pequeña modificación. Aunque estos k-tuples vengan con la nueva numeración, para cada isla se obtendrán los cortes dobles y almacenados en una matriz de unos, indicando que ramas forman cada k-tuple.

Finalmente, se deshace el cambio de numeración para que la función base, devuelva exactamente los mismos resultados que el programa inicial.

Todos estos pasos se explicarán a continuación con más detalle, siendo estos pasos programados de la manera más eficiente posible. Durante toda la elaboración del nuevo algoritmo, se ensayó con una red muy simple de 15 nudos y 17 ramas para ver poco a poco los progresos y poder anticiparnos fácilmente a qué es lo que debe devolver cada función del algoritmo. "Red_prueba_prueba.m"

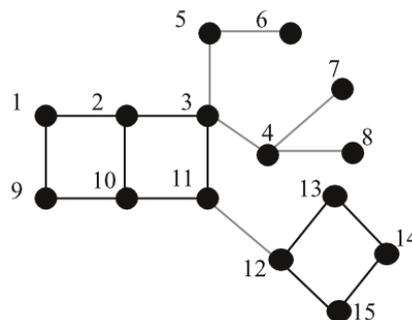


Ilustración 8: Red_prueba_prueba

3.2.2 Eliminación de ramas radiales

La matriz Ramas contiene los nudos origen y destino que forman cada rama del sistema en cuestión. Existe además un vector llamado Csimple que contiene un '1' si la rama que está en la posición de este vector es un corte simple. Mediante la función 'find' buscaremos dentro de este vector todas las posiciones que contengan un '1', para posteriormente eliminar de la matriz Ramas los cortes simples (ramas radiales).

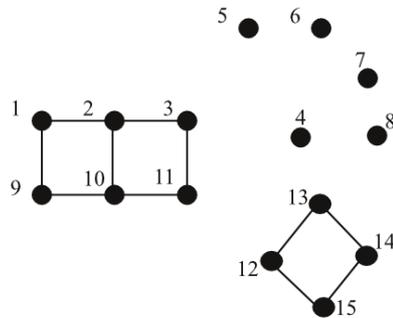


Ilustración 9: Red prueba prueba sin ramas radiales

Nótese que para no perder la matriz Ramas por si más adelante fuera necesario, se copió el contenido de esta matriz en otra denominada 'Ramas2' en la cual realizaremos los cambios antes descritos.

Las matrices Ramas y Ramas2 son las siguientes:

Ramas = [		Ramas2 = [
1 2		1 2	
3 2		3 2	
12 13		12 13	
13 14		13 14	
4 5		4 5	
2 10		2 10	
3 6		3 6	
6 7		6 7	
15 12		15 12	
6 8		6 8	
3 11		3 11	
11 10		11 10	
10 9		10 9	
9 1		9 1	
11 12		11 12	
14 15		14 15	
3 4		3 4	
]]	

3.2.3 Identificación de islas

Este paso puede ser el más importante, ya que una incorrecta identificación de las islas nos da lugar a que no obtengamos los resultados correctos, además de algún error en los pasos posteriores.

Nótese que, al quitar ramas radiales, se tienen algunos nudos aislados, y esos nudos no serán considerados islas. Definiéndose pues isla como aquél conjunto formado por nudos y ramas en los que se puede descomponer un grafo. El número mínimo de elementos que puede tener una isla es dos nudos y una rama.

Se llama a una función llamada 'buscar_islas.m' que realizará lo previamente comentado.

Entradas

Ramas2	Matriz que contiene las ramas no radiales del sistema.
nnudos	Número total de nudos del sistema.
mramas	Número total de ramas del sistema.

Salidas

m_islas	Es una matriz de dimensión igual al número de ramas por 3 columnas. La primera columna contiene el nudo origen, segunda el nudo destino, y tercera la isla a la que pertenece la rama.
Nislas	Número de islas en que se divide el grafo.
isla_asignada	Un vector que contiene el valor asignado a cada isla.

El funcionamiento de este algoritmo es una implementación del método de Kruskal para la obtención de un árbol, con el siguiente funcionamiento.

Partimos de un vector 'v_islas' de dimensiones igual que el número total de nudos. Cada nudo será considerado como una isla. Ahora vamos recorriendo cada rama, a partir de su nudo origen y nudo destino. Miramos el valor del vector isla asignado al nudo origen y al nudo destino, tomando como isla el menor de los dos y sustituyendo ese valor en el vector isla.

Este proceso se realizará hasta completar todas las ramas que forman la matriz 'Ramas2'. Cabe recordar que esta matriz no contiene las ramas que son cortes simples, añadiendo una tercera columna con la isla a la que pertenece cada rama. Comprobaremos además que todos los nudos de 'v_islas' y de islas asociadas a las ramas que tengan asignada esa isla mayor, sean sustituidos por el valor de la isla menor. Este proceso de búsqueda deberá utilizar una función 'find'.

Por ejemplo, si analizamos la rama 2-3, miraremos el valor del vector isla de 2, y de 3. En este caso, como el vector islas tendrá en la posición 2 el número 2, y en la posición 3 un 3, indicando así la isla a la que pertenece, se tomará como isla el menor de los 2 al existir una rama que conecta ambas islas, por tanto, forman la misma isla. Comprobamos si alguno de los nudos existentes contiene en el 'v_islas' un 3, y si en la matriz Ramas2 hay asociada alguna isla=3, para así sustituirla por un 2, que es la isla menor.

Una vez realizado este proceso, ¿Cómo identificamos las islas? Creamos un código adicional que identifique cuantas veces se repite un número (una isla asociada) a cada nudo de mi red. De esta forma si ese valor aparece más de una vez, significa que tenemos una isla, excluyendo así los posibles nudos aislados que queden al eliminar las ramas radiales.

Será necesario que nos devuelva un vector con el número de la isla que ha detectado, ya que mediante este método no se asocia un número a la isla de forma ordenada y consecutiva. De hecho, realizar el código de esta manera suponía un aumento innecesario del tiempo de trabajo. Por lo tanto, cada isla tendrá un número asociado que coincidirá con el valor del nudo más pequeño que contenga.

Por último, necesitamos el número total de islas en los que se divide el grafo total de mi red, ya que más adelante necesitaremos realizar el proceso de identificación de cortes dobles para cada isla. Este último paso se realiza al mismo tiempo que el paso anterior donde se identifican las islas, incrementándose una variable cada vez que se encuentre una isla.

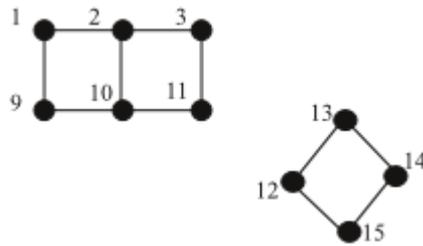


Ilustración 10: Islas

La matriz de islas quedaría:

```
m_islas = [
    1  2  1
    3  2  1
    12 13 12
    13 14 12
    2  10  1
    15 12 12
    3  11  1
    11 10  1
    10  9  1
    9  1  1
    14 15 12
]
```

3.2.4 Nueva numeración y obtención de cortes dobles

Este paso no es muy intuitivo, ya que se puede cuestionar la necesidad de tener que dar una nueva nomenclatura a unos nudos que ya tenían una asignada. Sin embargo, el algoritmo identificador de k-tuples necesita que los nudos estén distribuidos de forma consecutiva. Al eliminar de la red a analizar sus ramas radiales y dividirla en pequeños grafos, algunos de los nudos quedan aislados, y la numeración de los nudos deja de ser consecutiva. Queda pues definida la necesidad de dar esta nueva numeración de los nudos y consecuentemente, de las ramas.

Definimos una función llamada ‘renombrar_y_ktuples.m’ con las siguientes entradas y salidas:

Entradas

m_islas	Es una matriz de dimensión igual al número de ramas por 3 columnas. La primera columna contiene el nudo origen, sunda el nudo destino, y tercera la isla a la que pertenece la rama.
nislal	El número de islas en que se divide el grafo.
mramas	Número de ramas no radiales.
isla_asignada	Un vector que contiene el valor asignado a cada isla.

Salidas

Ktuples	Matriz que tiene almacenada los k-tuples. Tiene tantas filas como k-tuples haya, y tantas columnas como ramas. Cada rama que pertenezca al k-tuple i llevara un ‘1’, el resto de valores son ‘0’.
---------	---

Para cada isla se realizará el siguiente proceso.

3.2.4.1 Nueva numeración

Almacenamos en un vector ‘a’ la posición de las ramas de ‘m_isla’ que forman la isla i, y formamos una matriz ‘Mred’ con las ramas que forman dicha isla. Creamos un vector de ceros de longitud igual al mayor valor de los nudos que haya en la matriz ‘Mred’.

Recorremos la matriz ‘Mred’ comprobando si la posición del primer valor de ‘Mred’ del vector de ceros es ‘0’. Si es así, en un nuevo vector, al que llamaremos ‘num_new’, en la posición 1 (en este caso por ser el primer elemento de la matriz) guardamos el valor del nudo de ‘Mred estudiado’, y así sucesivamente hasta terminar de recorrer la matriz.

Tenemos pues la numeración antigua en el vector ‘a’, y la numeración nueva que tienen los nudos es la posición que ocupan en el vector ‘num_new’.

3.2.4.2 Obtención de cortes dobles (k-tuples)

El algoritmo a utilizar es exactamente el mismo que el del programa de partida, con la única salvedad que la condición de 'Csimple' que identifica si era corte simple, evitando que así esa rama sea k-tuple, ya que no tiene validez al haber eliminado de mi red de análisis todas las ramas simples.

Para no cambiar mucho el código, simplemente hacemos que todos los elementos del vector 'Csimple' sean '0', indicando así que no hay ninguna rama radial.

El programa suirá el proceso de obtención de k-tuples tal cual hacía antes. Pero ahora tenemos los k-tuples con una nueva numeración que no corresponde con los que eran, luego tendremos que deshacer el cambio de numeración.

3.2.4.3 Deshacer cambio de numeración

Se crea una matriz de ceros 'Ktuple2' con número de filas igual al número de K-tuples encontrados en la isla analizada, y tantas columnas como ramas tenga la matriz 'Ramas2'.

Recorremos la matriz 'Ktuples' con la numeración nueva buscando que elementos son igual a '1'. Por cada elemento que encuentre, la posición 'j' de la matriz 'Ktuples' donde se encuentre dicho elemento, corresponderá con la posición del vector 'a' donde se encuentra la numeración antigua, volviéndose así la anterior numeración.

En la nueva matriz 'Ktuple2' en la posición 'i' 'a(j)', correspondiente al número de ktuple analizado y a la posición donde se encontraba la rama en la numeración antigua, se coloca un '1' indicando que esa rama pertenece al k-tuple, ya sí con la numeración antigua.

Se crea una matriz vacía 'Ktuplef' a la que se irán añadiendo las matrices 'ktuple2' creadas para cada isla.

3.2.5 Comprobación

Finalmente, tras lograr optimizar el algoritmo probamos las dos redes anteriores que tardaban mucho tiempo y comparamos los resultados obtenidos.

Tabla 19: Comparación de tiempos de los algoritmos

Nombre de la red	Número de nudos	Número de ramas	Tiempo de cálculo antiguo (s)	Tiempo de cálculo nuevo (s)
Red Provincial	206	236	11.244294	1.081196
Red del Norte	525	650	304.103310	29.536447

Se puede apreciar la considerable reducción del tiempo de cálculo que se produce sobre todo en la Red del Norte, que es más llamativo la diferencia temporal entre un algoritmo y otro. En la red de Provincial la reducción de tiempos es de un 90.38 % mientras que en la red del Norte es de un 90.29%.

Queda pues cumplido el primer objetivo del proyecto.

4 ANÁLISIS DE PARÁMETROS EN RAMAS RADIALES Y K-TUPLES

4.1 Contexto

Como se ha mencionado anteriormente con un reparto de cargas se puede obtener el perfil de tensiones (módulo y ángulo) de un sistema en un momento determinado en régimen permanente. Una vez se realiza éste primer análisis, se pueden calcular los flujos de potencia, intensidades que circulan, pérdidas, y demás magnitudes de la red y del instante en cuestión.

Ahora bien, con este conjunto completo de medidas, se puede realizar una estimación de cuánto valen los parámetros que definen mi red de análisis. Esto tiene utilidad para detectar posibles errores en las medidas que nos proporcionan los elementos de medida. No disponemos de elementos que puedan medir directamente los valores de los parámetros de una línea, pero sí que es posible estimarlos.

¿Qué ocurre si por ciertos motivos el elemento de medida da una medida errónea, ya sea en una medida de potencia, de intensidad o incluso de tensión? Para cualquier magnitud medible dispondremos de una serie de medidas. Supongamos: 9.8, 9.9, 9.85, 9.7 y 5. Como se puede apreciar esta medida es muy distinta al resto por lo tanto es fácilmente excluible para mi conjunto de medidas desde un principio.

Pero, y si la medida errónea no difiere tanto: 9.8, 9.9, 9.85, 9.7 y 9.1. La medida no es excluible pues las medidas son del mismo orden de magnitud y próximas entre sí. Definimos pues el concepto de error normalizado, con un límite establecido a partir del cual, se considera que la medida es errónea.

Con el mismo análisis con el que se lleva a cabo la estimación de parámetros, se realiza una estimación del conjunto completo de medidas del sistema. De tal forma que, una vez obtenidos los resultados, si la medida calculada difiere de la que se estima, se obtiene un error, el cuál puede ser normalizado 'R.N.'.

Atendiendo a la distribución de Gaussiana, vemos que tiene una cierta desviación típica que la define. ¿Entonces cuándo se considera que una medida es realmente errónea? Se toma como criterio que un error normalizado menor o igual a 3 no será "importante." La probabilidad de que $R.N. \leq 3$ es relativamente alta, por lo tanto, obtener un R.N. que sea mayor, implicará que en esa medida determinada tendremos un error.

Sin embargo, este método de estimación de parámetros no es infalible. Para ramas radiales y k-tuples, cortes simples y cortes dobles respectivamente, no siempre se puede detectar un error en los parámetros de dichas líneas.

Queda así definido el planteamiento del segundo objetivo del proyecto. ¿En qué casos puede detectarse un error de un parámetro en una línea que forma un corte simple o un corte doble? ¿Qué circunstancias deben darse para ello?

4.2 Investigación

4.2.1 Punto de partida

Partimos de un programa (óptimo) que me permite realizar un reparto de cargas, con su consiguiente análisis de los flujos de carga, basado en el método de resolución de Newton Raphson. Además, me permite realizar una estimación de parámetros para detectar posibles errores que en ellos se produzcan. El programa permite, si se desea, generar ruido, el cual aleatoriamente generará un cierto error en las medidas, sún el valor que permita la desviación típica.

Para poder realizar esta investigación, forzaremos un error en un parámetro en una línea que nosotros conoceremos, y veremos como son los errores normalizados que se producen, analizando si es detectado o no en ramas radiales y en k-tuples. En nuestro análisis no contemplamos la opción de que se genere ruido, con el fin de poder ver más claramente si se detecta o no el error en los parámetros.

El procedimiento a suir será el descrito a continuación.

4.2.2 Breve descripción del procedimiento del programa

- 1- Se debe crear un archivo *.m con la red que se desee analizar, definiendo los nudos con sus tensiones y las ramas con los parámetros correspondientes. Se debe subir el modelo establecido.
- 2- Definir las medidas conocidas de los nudos en otro archivo *.m, ya sea tensión y fase para el Slack (siendo este obligatorio), tensión y potencia para los nudos PV y potencias activa y reactiva para los nudos PQ. Se debe subir el modelo establecido.
- 3- Establecer la configuración deseada para llevar a cabo el análisis. Se debe subir el modelo establecido.
- 4- Abrir el archivo 'Inf_ficheros_v15.m' e indicarle que red va a analizar, de qué medidas dispone y la configuración que siguen, para ejecutar posteriormente la obtención de medidas para un reparto de cargas. Se debe subir el modelo establecido para realizar la obtención de medidas exactas.
- 5- Ejecutar el archivo 'SEE_std_V2.m' para que se ejecute todo el programa.
- 6- Crear el conjunto completo de medidas con el archivo 'Crea_conj_complet_medidas_v11.m' y guardar los datos obtenidos en un nuevo archivo, quedando así recogido el conjunto completo de medidas para posteriormente llevar a cabo la estimación de parámetros.
- 7- Repetir pasos 4 y 5 pero indicándose ahora la nueva configuración (si se desea) y el conjunto completo de medidas para realizar la estimación de parámetros.
- 8- Crear un error en alguno de los parámetros en el archivo de red de forma intencionada para proceder a su análisis.

9- Repetir paso 5

Nota: cada vez que se desee generar un nuevo error, bastará con repetir los pasos 8 y 9.

4.2.3 Detección de errores en parámetros en ramas radiales

En teoría en las ramas que son cortes simples de una red no siempre se puede detectar los fallos en sus parámetros. Sin embargo, hay circunstancias bajo las que sí es posible definirlos. En el siguiente estudio se procederá a plantear una serie de redes con ramas radiales y se le simularán una serie de fallos en los parámetros.

A medida que vayamos haciendo los ensayos, iremos comentando los resultados de cara a la búsqueda de futuras conclusiones.

Ejecutando el programa optimizado en el apartado 2 obtenemos qué ramas son radiales en nuestros sistemas a analizar.

Los ensayos se realizarán de forma tal que la red esté muy cargada, normalmente cargada y poco cargada, intentando en todo momento que los niveles de tensión de los nudos no superen un rango del $\pm 10\%$. Esta última restricción dará lugar a que, para mantener las tensiones en los niveles establecidos, un caso de red cargada tenga algo de menos potencia circulando por una rama comparándola con una red normal cargada.

El estudio contemplará todo lo anterior bajo el punto de vista del número de pares de medidas de potencia de las que se dispone, es decir, si disponemos de medidas tanto de potencia activa y reactiva en uno o ambos extremos de la rama radial a estudiar.

Por dotar de un mayor carácter real al estudio, dado que, en la mayoría de ramas no radiales, en sistemas reales, se suelen tener dos pares de medidas de potencia, cuando se plantea el estudio detección de errores en los parámetros en ramas radiales con un solo par de medidas, únicamente se dispondrá de un par de medidas en cada rama radial, mientras que en el resto de ramas se dispondrán de dos.

Tabla 20: Explicación de la tabla de ensayos

					RN
R715	0,07999	x1,5	SDI	24,2	
		x1.2	SDI	9,7	
X715	0,0185	x1,5	SD	6,2	
		x1.3	SD	3,9	
B715	0,0185	x1,5	ND	2	
		x2	ND	2,9	

Durante todo el estudio se presentará una tabla (ver **Tabla 20**) en la que se recogerán los datos del análisis en cuestión. Tal y como apreciamos, se disponen de cinco columnas. Una primera donde se muestra el tipo de parámetro R, X o B según sea una resistencia, reactancia o susceptancia, seguidas de dos o tres cifra que indican el número de los nudos que determinan la línea eléctrica.

La segunda columna hace referencia al valor que tiene el parámetro sobre el que forzamos el error. En tercer lugar, tenemos el valor del error. Tal y como vemos en la **Tabla 20**, el error forzado está en por unidad, x1,2 implicará que el error forzado en el parámetro será de un 20%. Consecuentemente, x2 implicará un error del 100%.

La cuarta columna recoge si se detectó, identificó, o no, el error en el parámetro donde se forzó el error. La notación utilizada es:

- ND: No detectado.
- SD: Si detectado.
- SDI: Si detectado e identificado.

Finalmente, la última columna recoge el valor del error normalizado.

Por ejemplo, R₇₁₅ significa que analizamos un error en la Resistencia de la rama 7-15, la cual tiene un valor de 0.07999 en pu. Con un error de un 50% superior al valor de la resistencia. El error normalizado detectado fue de 24.2, además es un error detectado e identificado.

Para cada elemento de la columna primera, se realizaron 3 experimentos, es decir, se simuló un error en ese parámetro concreto con 3 valores distintos.

Un error en un parámetro no es detectable, si tras haberlo inducido modificando el valor del parámetro, el algoritmo de detección de errores no le asocia un error normalizado (RN) superior a 3. Por otro lado, si el error normalizado es superior a dicha cifra, se considerará que el error en el parámetro es detectable.

¿Cuándo consideramos que un error en un parámetro es identificable?

Al inducir un error en un parámetro, no sólo este parámetro se ve afectado, sino que, además, involuntariamente, se inducen errores en otros parámetros, normalmente en ramas cercanas a la rama donde se encuentre el parámetro con el error. Estos errores inducidos también tienen asociados por el algoritmo un error normalizado, los cuales podrán ser mayor, menor o igual a 3.

Ante esta circunstancia, no sólo el parámetro donde se produce el error va a ser detectado como error en el algoritmo, sino que los otros parámetros donde se inducen errores también serán marcados como que presentan error.

Si el parámetro donde inducimos el error presenta un error normalizado > 3 , y además destaca por encima de los otros errores detectados, con un margen que tomaremos igual a 0.5, se podrá determinar que el error que generamos en el parámetro es identificable.

Nota: Para que un error en un parámetro sea identificable, el error normalizado debe ser forzosamente mayor que 3, es decir debe ser detectado.

Medida	Valor	Desv.std	Estimado	Desv.std	R.N.
X ser 7 8 0	0.1080	0.0022	0.0984	0.0019	8.8
X ser 12 6 0	0.1650	0.0033	0.1624	0.0032	5.1
P ij. 8 7 0	0.1832	0.0050	0.1717	0.0023	3.6
P ij. 7 8 0	-0.1807	0.0050	-0.1695	0.0022	2.5
P ij. 6 8 0	0.0234	0.0050	0.0127	0.0020	2.3

Ilustración 11: Caso donde un error es detectable e identificable

Medida	Valor	Desv.std	Estimado	Desv.std	R.N.
R ser 2 4 0	0.0697	0.0014	0.0673	0.0012	3.8
X ser 4 5 0	0.0421	0.0010	0.0418	0.0010	3.4
R ser 2 5 0	0.0570	0.0011	0.0584	0.0011	3.3
Q ij. 2 4 0	0.1576	0.0119	0.1415	0.0055	1.5
Q ij. 4 2 0	-0.1119	0.0119	-0.0963	0.0054	1.5
Q ij. 2 5 0	0.2186	0.0119	0.2337	0.0055	1.4

Ilustración 12: Caso donde un error es detectable pero no identificable

Tal y como apreciamos en la **Ilustración 11** un error en la reactancia de la rama 7-8 es detectable e identificable, ya que su error normalizado es mayor que 3, y destaca por encima del siguiente error normalizado. Sin embargo, en la **Ilustración 12** podemos apreciar que el error normalizado de la resistencia de la rama 2-4, pese a ser mayor que 3, no difiere mucho del error normalizado siguiente. Por lo tanto, es detectable pero no identificable.

Nota 1: el hecho de que una red esté más o menos cargada, se refiere en su conjunto, aumentando o disminuyendo las generaciones y las cargas. NO significa que una rama vaya a estar más cargada en un caso que en otro, ya que se aumentarán las cargas de la red en su conjunto.

Nota 2: obviamos el paso previo que es la construcción de la red, ya que el procedimiento es el mismo para todas y, además, está descrito en el apartado anterior.

4.2.3.1 Se dispone de medidas de potencia en ambos extremos de la línea

4.2.3.1.1 Estudio de la RED 1

La red 1 a analizar tiene 14 nudos y presenta la siguiente topología:

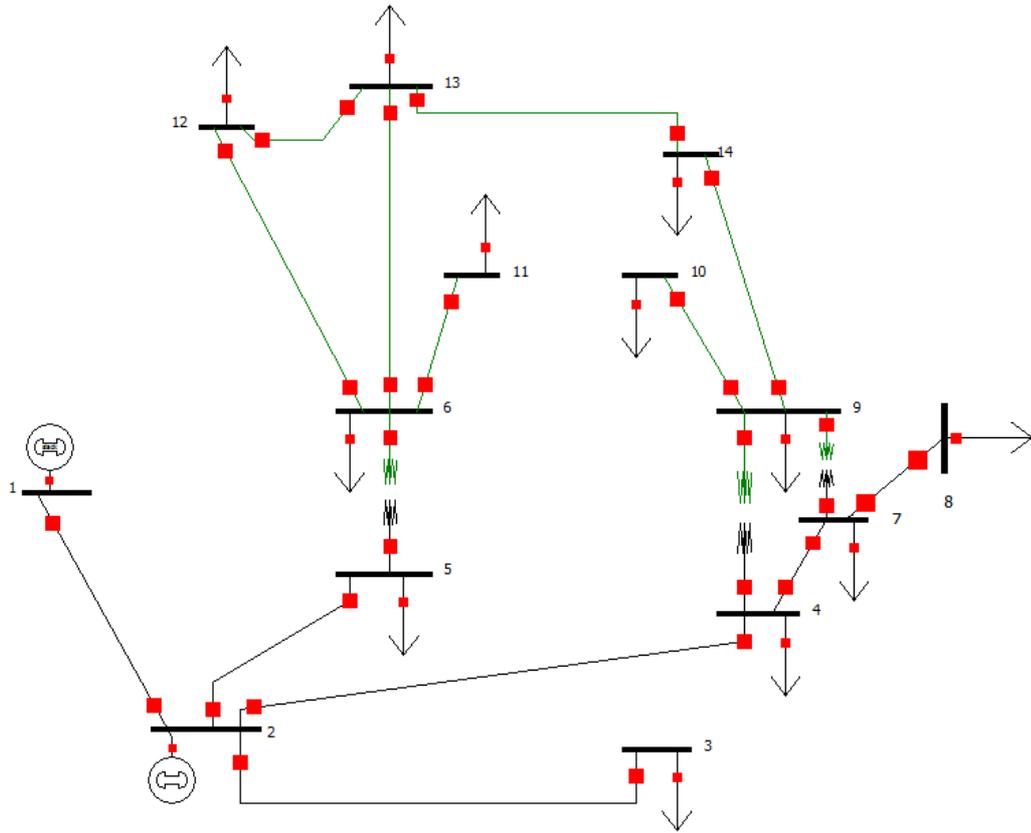


Ilustración 13: Red 1

Tras la simulación de errores en los parámetros (R, X y B) en las ramas radiales, se obtuvieron los siguientes resultados de los errores normalizados (R.N.) para la misma red en tres estados de carga distintos:

Tabla 21: Resultados ensayo Red 1

Muy cargada				Normal cargada				Poco cargada			
RN				RN				RN			
R611	0.09498	x1,5	ND	R611	0.09498	x1,5	ND	R611	0.09498	x1,5	ND
		x2	ND			x2	ND			x2	ND
		x5	SD			x5	ND			x5	ND
			0.8				2.2				1.8
R23	0.04699	x1,5	SDI	R23	0.04699	x1,5	SDI	R23	0.04699	x1,5	ND
		x1,2	ND			x1,2	ND			x2	ND
		x1,3	SD			x1,3	SD				0.8
			5.9				5.9				
			2.4				2.4				
			3.6				3.6				
R12	0.01938	x1,5	ND	R12	0.01938	x1,5	SDI	R12	0.01938	x1,5	ND
		x1,6	SD			x1,3	SDI			x1,2	ND
			2.8			x1,2	SDI			x2	ND
			3.3				5				
							3.6				
							2				
R910	0.03181	x1,5	ND	R910	0.03181	x1,5	ND	R910	0.03181	x1,5	ND
		x2	ND			x2	ND			x2	ND
R78	0			R78	0			R78	0		
	0.1	SDI	14.3		0.1	ND			0.1	ND	
	0.04	SDI	5.7		0.04	ND			0.04	ND	

RN					RN					RN				
X ₆₁₁	0.1989	x1,5	ND	0.5	X ₆₁₁	0.1989	x1,5	ND	0.4	X ₆₁₁	0.1989	x1,5	ND	
		x2	ND	1.1			x2	ND	0.8			x2	ND	
X ₂₃	0.19797	x1,5	SDI	11.7	X ₂₃	0.19797	x1,5	SDI	12.5	X ₂₃	0.19797	x1,5	ND	2.3
		x1,2	SDI	5.1			x1,2	SDI	5.2			x2	SD	4.5
X ₁₂	0.05917	x1,5	SDI	8	X ₁₂	0.05917	x1,5	SDI	12.5	X ₁₂	0.05917	x1,5	SD	4.7
		x1,2	SD	3.3			x1,2	SDI	5.6			x1,2	ND	1.9
X ₉₁₀	0.0845	x1,5	ND	0.7	X ₉₁₀	0.0845	x1,5	ND		X ₉₁₀	0.0845	x1,5	ND	
		x2	ND	1.4			x2	ND	1.1			x2	ND	
X ₇₈	0.17615	x1,5	SDI	17.2	X ₇₈	0.17615	x1,5	ND		X ₇₈	0.17615	x1,5	ND	
		x1,2	SDI	7			x1,2	ND				x1,2	ND	
		x1,1	SDI	3.5			x1,1	ND				x1,1	ND	

RN					RN					RN				
B ₆₁₁	0				B ₆₁₁	0				B ₆₁₁	0			
B ₂₃	0.0438	x1,5	ND	1.5	B ₂₃	0.0438	x1,5	ND	1.4	B ₂₃	0.0438	x1,5	ND	2.1
		x2	ND	3			x2	ND	2.7			x2	SDI	4.2
		x3	SD	6			x3	SD	5.4			x3	SDI	8.2
B ₁₂	0.0528	x1,5	SDI	7.2	B ₁₂	0.0528	x1,5	SDI	2.2	B ₁₂	0.0528	x1,5	SD	6.6
		x1,3	SD	4.3			x1,3	ND	1.3			x1,3	SD	4
		x1,2	ND	2.9			x1,2	ND	1			x1,2	ND	2.6
B ₉₁₀	0				B ₉₁₀	0				B ₉₁₀	0			
B ₇₈	0				B ₇₈	0				B ₇₈	0			

Los flujos de potencias activa y reactiva obtenidos, seguidos de su desviación son los siguientes:

1c mmedflujop=					1n mmedflujop=					1d mmedflujop=				
1	2	0	-1.556472	0.023800	1	2	0	2.841355	0.023800	1	2	0	0.469177	0.023800
2	3	0	1.596644	0.023800	2	3	0	1.364125	0.023800	2	3	0	0.121594	0.023800
2	4	0	0.752045	0.023800	2	4	0	0.889705	0.023800	2	4	0	0.572567	0.023800
2	5	0	0.748764	0.023800	2	5	0	0.850793	0.023800	2	5	0	0.567687	0.023800
4	5	0	-0.033054	0.023800	4	5	0	-0.174831	0.023800	4	5	0	-0.039951	0.023800
4	7	0	-0.249860	0.023800	4	7	0	0.206215	0.023800	4	7	0	0.163091	0.023800
4	9	0	0.085953	0.023800	4	9	0	0.175529	0.023800	4	9	0	0.132133	0.023800
5	6	0	0.570728	0.023800	5	6	0	0.521878	0.023800	5	6	0	0.410731	0.023800
6	11	0	0.050308	0.005000	6	11	0	0.030154	0.005000	6	11	0	0.030109	0.005000
6	12	0	0.111276	0.005000	6	12	0	0.098079	0.005000	6	12	0	0.075725	0.005000
6	13	0	0.179144	0.005000	6	13	0	0.183645	0.005000	6	13	0	0.104897	0.005000
7	8	0	-0.800000	0.005000	7	8	0	-0.200000	0.005000	7	8	0	-0.100000	0.005000
7	9	0	0.900140	0.005000	7	9	0	0.506215	0.005000	7	9	0	0.363091	0.005000
9	10	0	0.201302	0.005000	9	10	0	0.100529	0.005000	9	10	0	0.100381	0.005000
9	14	0	0.284791	0.005000	9	14	0	0.181215	0.005000	9	14	0	0.154842	0.005000
12	13	0	-0.006416	0.005000	12	13	0	0.001892	0.005000	12	13	0	-0.015077	0.005000
13	14	0	-0.040952	0.005000	13	14	0	0.013859	0.005000	13	14	0	0.028440	0.005000

1c mmedflujq=				1n mmedflujq=				1d mmedflujq=						
1	2	0	-0.916981	0.011900	1	2	0	0.393250	0.011900	1	2	0	-0.858820	0.011900
2	3	0	0.178861	0.011900	2	3	0	0.319366	0.011900	2	3	0	-0.174717	0.011900
2	4	0	0.157607	0.011900	2	4	0	0.118998	0.011900	2	4	0	-0.046707	0.011900
2	5	0	0.218637	0.011900	2	5	0	0.156830	0.011900	2	5	0	-0.004234	0.011900
4	5	0	0.212033	0.011900	4	5	0	0.152984	0.011900	4	5	0	0.158970	0.011900
4	7	0	-0.002694	0.011900	4	7	0	-0.099634	0.011900	4	7	0	-0.135909	0.011900
4	9	0	0.042561	0.011900	4	9	0	-0.000429	0.011900	4	9	0	-0.018841	0.011900
5	6	0	0.310739	0.011900	5	6	0	0.166304	0.011900	5	6	0	0.121235	0.011900
6	11	0	0.030645	0.002500	6	11	0	0.020322	0.002500	6	11	0	0.020227	0.002500
6	12	0	0.105215	0.002500	6	12	0	0.039775	0.002500	6	12	0	0.042098	0.002500
6	13	0	0.266572	0.002500	6	13	0	0.104150	0.002500	6	13	0	0.104450	0.002500
7	8	0	-0.271387	0.002500	7	8	0	-0.289394	0.002500	7	8	0	-0.286094	0.002500
7	9	0	0.166959	0.002500	7	9	0	0.096164	0.002500	7	9	0	0.061654	0.002500
9	10	0	0.063458	0.002500	9	10	0	0.061406	0.002500	9	10	0	0.061013	0.002500
9	14	0	0.158952	0.002500	9	14	0	0.079167	0.002500	9	14	0	0.060172	0.002500
12	13	0	0.036612	0.002500	12	13	0	0.015266	0.002500	12	13	0	0.019429	0.002500
13	14	0	0.080357	0.002500	13	14	0	0.017743	0.002500	13	14	0	0.026788	0.002500

Nota: sólo se muestran los flujos de un lado de las líneas, ya que sólo nos interesan los valores de P y Q de forma cualitativa.

En primer lugar, analizando errores en los parámetros de las ramas radiales, parece que sólo se detectan dichos errores en ramas radiales que presentan un generador en uno de sus extremos, como son los casos de 1-2 y 2-3. Las otras sin embargo parece casi imposible detectarlo, salvo que el error en el parámetro sea extremadamente anómalo, del orden de dos o tres veces el valor del parámetro. Esto lo consideraremos inaceptable, ya que un error de un parámetro no oscila más de un 50-60% el valor de este. Ya, aun así, un error de un 50% mayor o menor del valor del parámetro es algo exagerado.

El hecho de que una rama tenga un generador en uno de sus extremos implica un flujo de potencia por dicha rama menor o mayor según la potencia que inyecte la fuente.

Por otro lado, parece que cuando una red está más cargada es más fácil detectar un error en un parámetro que cuando la red presenta un estado descargado. Claro ejemplo de ello es la rama 7-8, que sólo cuando la red está cargada, circula por ella una potencia activa elevada. La resistencia y la reactancia sigue estos patrones, sin embargo, la susceptancia no.

Pero, ¿qué influencia tiene en la capacidad para detectar errores que haya conectado o no un generador en uno de los extremos de estas ramas radiales?

Tabla 22: Resultados ensayo Red 2

Normal cargada

RN					RN				
R612	0.12291	x1,5	ND	1.6	X612	0.25581	x1,5	ND	1.2
		x2	SD	3.1			x2	ND	2.3
R613	0.06615	x1,5	ND	1.7	X613	0.13027	x1,5	ND	2.4
		x2	SD	3.3			x1,2	SDI	4.7
R914	0.12711	x1,5	SD	4.3	X914	0.27038	x1,5	SDI	6.5
		x1,2	ND	1.7			x1,2	ND	2.7
R910	0.03181	x1,5	ND	2.3	X910	0.0845	x1,5	SDI	4.5
		x2	SDI	4.7			x1,2	ND	1.8
R1011	0.08205	x1,5	ND		X1011	0.19207	x1,5	ND	0.4
		x2	ND	0.8			x2	ND	0.8
R78	0				X78	0.17615	x1,5	SDI	23.4
		0.1	SDI	20.8			x1,2	SDI	9.6
		0.04	SDI	8.3			x1,1	SDI	4.9

Los flujos de potencias activa y reactiva obtenidos, seguidos de su desviación son los siguientes:

2n mmedflujop=					2n mmedflujq=[
1	2	0	2.283494	0.005000	1	2	0	0.097106	0.002500
1	5	0	1.100871	0.005000	1	5	0	0.327080	0.002500
2	3	0	1.373693	0.005000	2	3	0	0.391579	0.002500
2	4	0	0.810648	0.005000	2	4	0	0.177540	0.002500
2	5	0	0.639798	0.005000	2	5	0	0.176303	0.002500
3	4	0	-0.649481	0.005000	3	4	0	0.113529	0.002500
4	5	0	-0.694502	0.005000	4	5	0	0.067135	0.002500
4	7	0	-0.299648	0.005000	4	7	0	0.066377	0.002500
4	9	0	0.112306	0.005000	4	9	0	0.073921	0.002500
5	6	0	0.780134	0.005000	5	6	0	0.210058	0.002500
6	12	0	0.137832	0.005000	6	12	0	0.033894	0.002500
6	13	0	0.262302	0.005000	6	13	0	0.120410	0.002500
7	8	0	-0.800000	0.005000	7	8	0	-0.292746	0.002500
7	9	0	1.100352	0.005000	7	9	0	0.255553	0.002500
9	10	0	0.506286	0.005000	9	10	0	0.109893	0.002500
9	14	0	0.306372	0.005000	9	14	0	0.135079	0.002500
10	11	0	0.045279	0.005000	10	11	0	0.020654	0.002500

Nota: sólo se muestran los flujos de un lado de las líneas, ya que sólo nos interesan los valores de P y Q de forma cualitativa.

En este caso, la red presenta ramas radiales no presentan un flujo de potencia alto, luego apenas es posible detectar un error en los parámetros salvo que el error sea elevado. El hecho de tener un generador cerca facilita que esa rama radial tenga un mayor flujo de potencia.

La única rama radial que presenta un flujo de potencia activa relativamente alto es 7-8. Tanto errores en la resistencia (aunque fuera cero), como en la reactancia se detectan errores en los parámetros con relativa facilidad, luego se puede afirmar que para ramas con un transporte alto de potencia activa se pueden detectar errores en los parámetros. No obstante, suiremos contrastando esta afirmación con otras redes a estudiar.

4.2.3.1.3 Estudio de la RED 3

A continuación, intentaremos comprobar cómo afecta el que una rama esté más o menos cargada, y que los parámetros de resistencia y reactancia sean elevados. La red 3 a analizar tiene 13 nudos, con los parámetros de resistencia y reactancia de las ramas radiales con un valor elevado, presenta la siguiente topología:

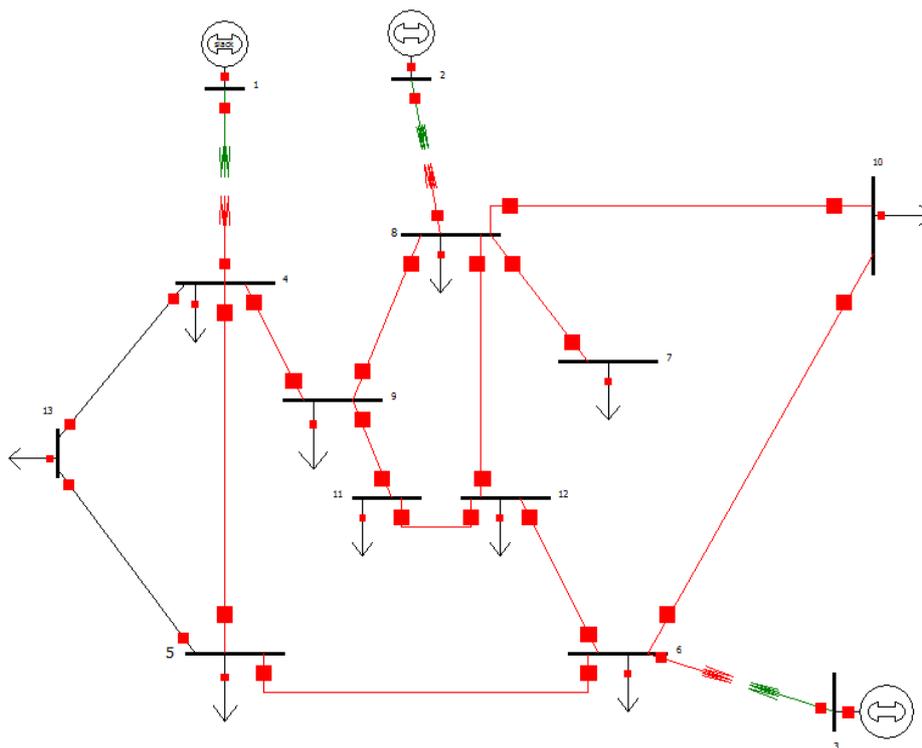


Ilustración 15: Red 3

Tras la simulación de errores en los parámetros (R, X y B) en las ramas radiales, se obtuvieron los siguientes resultados de los errores normalizados (R.N.) para la misma red en tres estados de carga distintos:

Tabla 23: Resultados ensayo Red 3

Muy cargada				Normal cargada				Poco cargada			
RN				RN				RN			
R14	0.09938	x1,5	SDI 12	R14	0.09938	x1,5	SDI 10.5	R14	0.09938	x1,5	SDI 6.9
		x1,2	SDI 4.8			x1,2	SDI 4.2			x1,2	ND 2.8
		x1,1	ND 2.4			x1,1	ND 2.1			x1,1	ND 1.4
R28	0.0899	x1,5	SDI 30.8	R28	0.0899	x1,5	SDI 28.9	R28	0.0899	x1,5	SDI 12.6
		x1,1	SDI 6.2			x1,1	SDI 5.8			x1,2	SDI 5
		x1,05	SD 3.1			x1,05	ND 2.9			x1,1	ND 2.5
R36	0.11701	x1,5	SDI 26.5	R36	0.11701	x1,5	SDI 20.8	R36	0.11701	x1,5	SDI 9.4
		x1,2	SDI 10.6			x1,2	SDI 8.4			x1,2	SDI 4
		x1,1	SDI 5.3			x1,1	SDI 3.2			x1,1	ND 2.1
R78	0.085	x1,5	ND 2.8	R78	0.085	x1,5	ND 2.3	R78	0.085	x1,5	ND 2.2
		x2	SD 5.5			x2	SD 4.5			x2	SD 4.4
		x1,6	SD 3.3			x1,6	ND 2.7			x1,6	ND 2.6

RN				RN				RN			
X14	0.1576	x1,5	SDI 22.2	X14	0.1576	x1,5	SDI 19	X14	0.1576	x1,5	SDI 10.9
		x1,2	SDI 9.1			x1,2	SDI 7.8			x1,2	SDI 4.4
		x1,1	SD 4.6			x1,1	SDI 3.9			x1,1	ND 2.2
X28	0.14625	x1,5	SDI 54	X28	0.14625	x1,5	SDI 49.8	X28	0.14625	x1,5	SDI 21.3
		x1,1	SDI 11.4			x1,1	SDI 10.4			x1,1	SDI 4.3
X36	0.1686	x1,5	SDI 42.3	X36	0.1686	x1,5	SD 29.7	X36	0.1686	x1,5	SDI 11.5
		x1,2	SDI 18.3			x1,2	SD 12.4			x1,2	SDI 5.1
		x1,1	SDI 9.2			x1,1	SD 5.8			x1,1	ND 2.6
X78	0.072	x1,5	SDI 12.6	X78	0.072	x1,5	SDI 11.1	X78	0.072	x1,5	SD 9.4
		x1,2	SDI 5.4			x1,2	SDI 4.9			x1,2	SD 4.1
		x1,1	ND 2.8			x1,1	ND 2.5			x1,1	ND 2.1

RN				RN				RN			
B14	0.0528	x1,5	SDI 7.4	B14	0.0528	x1,5	SDI 8	B14	0.0528	x1,5	SDI 6.2
		x1,3	SDI 4.5			x1,3	SDI 4.8			x1,3	SD 3.7
		x1,2	ND 3			x1,2	SDI 3.2			x1,2	ND 2.5
B28	0.0438	x1,5	SD 3.8	B28	0.0438	x1,5	SD 4	B28	0.0438	x1,5	SD 5.2
		x1,4	SD 3.1			x1,4	SD 3.2			x1,4	SD 4.2
B36	0.0346	x1,5	ND 2.2	B36	0.0346	x1,5	ND 2.8	B36	0.0346	x1,5	SD 3.7
		x1,8	SD 3.5			x1,8	SD 4.5			x1,8	SD 6
		x2	SD 4.4			x2	SD 5.6			x2	SD 7.4
B78	0.149	x1,5	SDI 12.5	B78	0.149	x1,5	SDI 12.6	B78	0.149	x1,5	SDI 12.7
		x1,2	SDI 5.6			x1,2	SDI 5.7			x1,2	SDI 5.7
		x1,1	ND 2.9			x1,1	ND 2.9			x1,1	ND 3

Los flujos de potencias activa y reactiva obtenidos, seguidos de su desviación son los siguientes:

3c mmedflujop=

1	4	0	0.947778	0.005000
2	8	0	2.238590	0.005000
3	6	0	1.613669	0.005000
4	5	0	0.245348	0.005000
4	13	0	0.359949	0.005000
5	6	0	0.108046	0.005000
6	7	0	0.819721	0.005000
7	8	0	-0.750841	0.005000
8	9	0	0.272712	0.005000
8	6	0	-0.204357	0.005000
9	4	0	-1.312078	0.005000
9	11	0	0.222314	0.005000
8	10	0	0.672890	0.005000
8	12	0	0.411299	0.005000
10	11	0	0.013414	0.005000
11	12	0	-0.338768	0.005000
12	6	0	-0.276236	0.005000
13	5	0	-0.191945	0.005000

3n mmedflujop=

1	4	0	0.821962	0.005000
2	8	0	2.095008	0.005000
3	6	0	1.341953	0.005000
4	5	0	0.247348	0.005000
4	13	0	0.343740	0.005000
5	6	0	-0.074273	0.005000
6	7	0	0.590287	0.005000
7	8	0	-0.500288	0.005000
8	9	0	0.367581	0.005000
8	6	0	-0.182732	0.005000
9	4	0	-1.074125	0.005000
9	11	0	0.059088	0.005000
8	10	0	0.604727	0.005000
8	12	0	0.504545	0.005000
10	11	0	0.122028	0.005000
11	12	0	-0.413902	0.005000
12	6	0	-0.285211	0.005000
13	5	0	-0.224252	0.005000

3d mmedflujop=

1	4	0	0.567689	0.005000
2	8	0	1.035002	0.005000
3	6	0	0.803119	0.005000
4	5	0	0.155680	0.005000
4	13	0	0.137373	0.005000
5	6	0	-0.109012	0.005000
6	7	0	0.314799	0.005000
7	8	0	-0.271929	0.005000
8	9	0	0.173843	0.005000
8	6	0	-0.082248	0.005000
9	4	0	-0.426709	0.005000
9	11	0	-0.009886	0.005000
8	10	0	0.275085	0.005000
8	12	0	0.263281	0.005000
10	11	0	0.089294	0.005000
11	12	0	-0.206842	0.005000
12	6	0	-0.133002	0.005000
13	5	0	-0.043735	0.005000

3c mmedflujq=					3n mmedflujq=					3d mmedflujq=				
1	4	0	0.405026	0.002500	1	4	0	0.625720	0.002500	1	4	0	-0.229351	0.002500
2	8	0	0.131574	0.002500	2	8	0	0.146811	0.002500	2	8	0	-0.124237	0.002500
3	6	0	0.166464	0.002500	3	6	0	0.171809	0.002500	3	6	0	-0.141244	0.002500
4	5	0	-0.032748	0.002500	4	5	0	0.004619	0.002500	4	5	0	-0.115787	0.002500
4	13	0	0.013347	0.002500	4	13	0	0.173108	0.002500	4	13	0	-0.070456	0.002500
5	6	0	-0.051863	0.002500	5	6	0	-0.129276	0.002500	5	6	0	-0.283411	0.002500
6	7	0	0.219311	0.002500	6	7	0	0.193326	0.002500	6	7	0	-0.036568	0.002500
7	8	0	-0.144947	0.002500	7	8	0	-0.069395	0.002500	7	8	0	-0.085417	0.002500
8	9	0	-0.170281	0.002500	8	9	0	-0.088234	0.002500	8	9	0	-0.028593	0.002500
8	6	0	-0.193963	0.002500	8	6	0	-0.239448	0.002500	8	6	0	-0.115932	0.002500
9	4	0	-0.470208	0.002500	9	4	0	-0.548201	0.002500	9	4	0	0.053281	0.002500
9	11	0	0.015592	0.002500	9	11	0	0.110226	0.002500	9	11	0	-0.199097	0.002500
8	10	0	-0.037363	0.002500	8	10	0	0.059633	0.002500	8	10	0	-0.041870	0.002500
8	12	0	-0.243337	0.002500	8	12	0	-0.162268	0.002500	8	12	0	-0.140301	0.002500
10	11	0	-0.033310	0.002500	10	11	0	0.050993	0.002500	10	11	0	0.012685	0.002500
11	12	0	0.141426	0.002500	11	12	0	0.052823	0.002500	11	12	0	-0.014436	0.002500
12	6	0	-0.089375	0.002500	12	6	0	-0.145592	0.002500	12	6	0	-0.064233	0.002500
13	5	0	-0.064389	0.002500	13	5	0	-0.183895	0.002500	13	5	0	-0.096935	0.002500

Nota: sólo se muestran los flujos de un lado de las líneas, ya que sólo nos interesan los valores de P y Q de forma cualitativa.

Se puede comprobar claramente como en las ramas radiales 1-4, 2-8 y 3-6 donde el flujo de potencia activa es bastante alto, se detecta con cierta facilidad, mientras que en la rama 7-8 donde el flujo no es tan alto la capacidad de detección de error en el parámetro disminuye. Siendo necesario aumentar el porcentaje de error para detectar un error.

Puede apreciarse además que, al disminuir el nivel de carga de la red, los parámetros de resistencia y reactancia disminuyen su error normalizado pese al mismo porcentaje de error.

Una vez más la susceptancia parece no suir el mismo patrón que la resistencia y la reactancia.

4.2.3.1.4 Estudio de la RED 4

Ahora repetiremos el mismo ensayo. Intentaremos comprobar cómo afecta el hecho de que una rama esté más o menos cargada, y que los parámetros de resistencia y reactancia serán algo más reducidos que en el caso anterior. La red 4 a analizar es la misma red anterior de 13 nudos, con la salvedad de que los parámetros resistencia y reactancia de las ramas radiales tiene un valor intermedio.

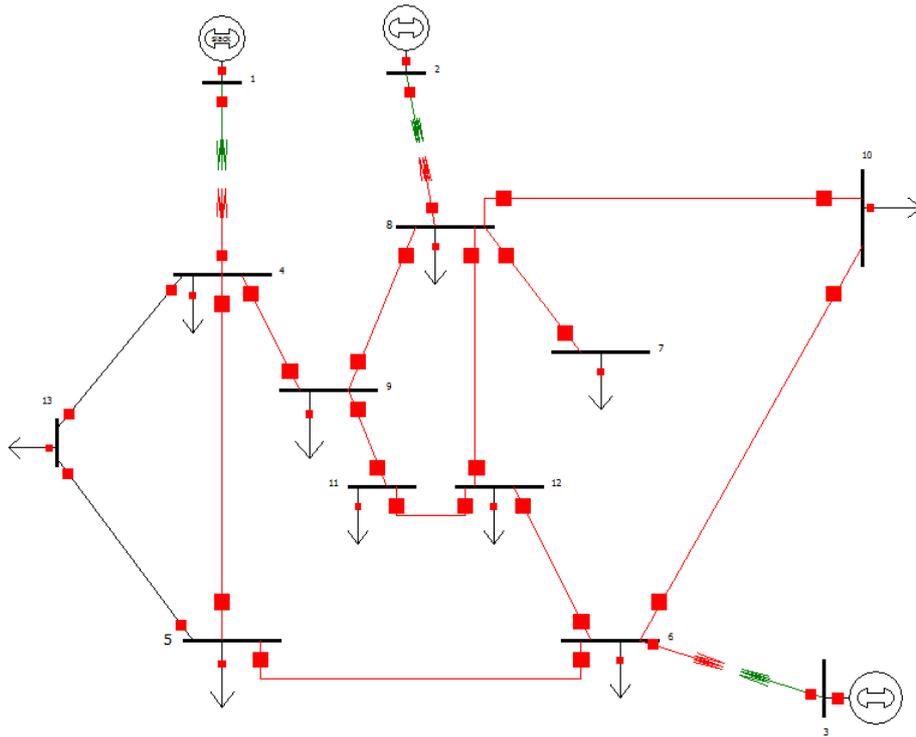


Ilustración 16: Red 4

Tras la simulación de errores en los parámetros (R y X) en las ramas radiales, se obtuvieron los siguientes resultados de los errores normalizados (R.N.) para la misma red en tres estados de carga distintos:

Tabla 24: Resultados ensayo Red 4

Muy cargado					Normal cargado					Poco cargada				
RN					RN					RN				
R14	0.05938	x1,5	SDI	14.3	R14	0.05938	x1,5	SDI	9.8	R14	0.05938	x1,5	SDI	6.5
		x1,2	SDI	5.7			x1,2	SDI	3.9			x1,2	ND	2.6
		x1,1	ND	2.9			x1,1	ND	2			x1,1	ND	1.3
R28	0.04999	x1,5	SDI	22.1	R28	0.04999	x1,5	SDI	19.6	R28	0.04999	x1,5	SDI	5.5
		x1,2	SDI	8.9			x1,2	SDI	7.8			x1,2	ND	2.2
		x1,1	SDI	4.4			x1,1	SD	3.9			x1,1	ND	1.1
R36	0.06701	x1,5	SDI	21.2	R36	0.06701	x1,5	SDI	16.3	R36	0.06701	x1,5	SDI	5.4
		x1,2	SDI	8.5			x1,2	SDI	6.5			x1,2	ND	2.2
		x1,1	SDI	4.2			x1,1	SDI	3.3			x1,1	ND	1.1
R78	0.085	x1,5	ND	2.5	R78	0.085	x1,5	ND	2.2	R78	0.085	x1,5	ND	2.1
		x1,7	SD	3.5			x1,7	SD	3.1			x1,7	ND	3
		x2	SD	5			x2	SD	4.4			x2	SD	4.2
RN					RN					RN				
X14	0.0576	x1,5	SDI	14.9	X14	0.0576	x1,5	SDI	10	X14	0.0576	x1,5	SDI	10.8
		x1,2	SDI	5.9			x1,2	SD	4			x1,2	SD	4.3
		x1,1	ND	3			x1,1	ND	2			x1,1	ND	2.2
X28	0.04625	x1,5	SDI	21.3	X28	0.04625	x1,5	SD	19.3	X28	0.04625	x1,5	SD	4.7
		x1,2	SD	8.5			x1,2	SD	7.7			x1,2	ND	1.9
		x1,1	SD	4.3			x1,1	SD	3.9			x1,1	ND	0.9
X36	0.0686	x1,5	SDI	22.7	X36	0.0686	x1,5	SDI	17.6	X36	0.0686	x1,5	SD	4.7
		x1,1	SDI	4.5			x1,1	SDI	3.5			x1,1	ND	0.8
		x1,05	ND	2.3			x1,05	ND	1.8			x1,05	ND	0.5
X78	0.072	x1,5	SDI	11.6	X78	0.072	x1,5	SDI	10.4	X78	0.072	x1,5	SDI	9.1
		x1,2	SDI	5.1			x1,2	SDI	4.5			x1,2	SDI	3.9
		x1,1	ND	2.6			x1,1	ND	2.3			x1,1	ND	2

Los flujos de potencias activa y reactiva obtenidos, seguidos de su desviación son los siguientes:

4c mmedflujop=

1	4	0	1.662475	0.005000
2	8	0	3.499144	0.005000
3	6	0	2.186224	0.005000
4	5	0	0.463459	0.005000
4	13	0	0.611363	0.005000
5	6	0	-0.218444	0.005000
6	7	0	0.909744	0.005000
7	8	0	-0.747436	0.005000
8	9	0	0.656651	0.005000
8	6	0	-0.277397	0.005000
9	4	0	-1.695311	0.005000
9	11	0	0.015438	0.005000
8	10	0	1.027725	0.005000
8	12	0	0.925828	0.005000
10	11	0	0.236076	0.005000
11	12	0	-0.709565	0.005000
12	6	0	-0.466094	0.005000
13	5	0	-0.362210	0.005000

4n mmedflujop=

1	4	0	1.196783	0.005000
2	8	0	2.650256	0.005000
3	6	0	1.686594	0.005000
4	5	0	0.292537	0.005000
4	13	0	0.480894	0.005000
5	6	0	-0.187405	0.005000
6	7	0	0.676432	0.005000
7	8	0	-0.515211	0.005000
8	9	0	0.565753	0.005000
8	6	0	-0.232676	0.005000
9	4	0	-1.338855	0.005000
9	11	0	-0.097868	0.005000
8	10	0	0.795399	0.005000
8	12	0	0.752771	0.005000
10	11	0	0.214226	0.005000
11	12	0	-0.591577	0.005000
12	6	0	-0.385690	0.005000
13	5	0	-0.356908	0.005000

4d mmedflujop=

1	4	0	0.554133	0.005000
2	8	0	0.889242	0.005000
3	6	0	0.717109	0.005000
4	5	0	0.154442	0.005000
4	13	0	0.119309	0.005000
5	6	0	-0.057602	0.005000
6	7	0	0.317403	0.005000
7	8	0	-0.264543	0.005000
8	9	0	0.132471	0.005000
8	6	0	-0.087234	0.005000
9	4	0	-0.469944	0.005000
9	11	0	-0.001362	0.005000
8	10	0	0.247208	0.005000
8	12	0	0.264001	0.005000
10	11	0	0.066862	0.005000
11	12	0	-0.216594	0.005000
12	6	0	-0.137299	0.005000
13	5	0	-0.054107	0.005000

4c mmedflujq=					4n mmedflujq=					4d mmedflujq=				
1	4	0	0.400470	0.002500	1	4	0	0.358023	0.002500	1	4	0	-0.781287	0.002500
2	8	0	0.215218	0.002500	2	8	0	0.156634	0.002500	2	8	0	-0.124344	0.002500
3	6	0	0.236626	0.002500	3	6	0	0.170448	0.002500	3	6	0	-0.118710	0.002500
4	5	0	-0.126785	0.002500	4	5	0	-0.090120	0.002500	4	5	0	-0.270664	0.002500
4	13	0	0.163332	0.002500	4	13	0	0.188530	0.002500	4	13	0	-0.141259	0.002500
5	6	0	-0.245569	0.002500	5	6	0	-0.273158	0.002500	5	6	0	-0.447801	0.002500
6	7	0	0.236783	0.002500	6	7	0	0.196978	0.002500	6	7	0	-0.058075	0.002500
7	8	0	-0.063064	0.002500	7	8	0	-0.088752	0.002500	7	8	0	-0.081307	0.002500
8	9	0	0.022567	0.002500	8	9	0	0.040620	0.002500	8	9	0	0.066541	0.002500
8	6	0	-0.266990	0.002500	8	6	0	-0.242644	0.002500	8	6	0	-0.128028	0.002500
9	4	0	-0.448544	0.002500	9	4	0	-0.409689	0.002500	9	4	0	0.336660	0.002500
9	11	0	0.071488	0.002500	9	11	0	0.040247	0.002500	9	11	0	-0.360009	0.002500
8	10	0	0.199086	0.002500	8	10	0	0.171352	0.002500	8	10	0	-0.009958	0.002500
8	12	0	-0.173885	0.002500	8	12	0	-0.115714	0.002500	8	12	0	-0.102392	0.002500
10	11	0	0.142268	0.002500	10	11	0	0.131476	0.002500	10	11	0	0.064072	0.002500
11	12	0	0.110162	0.002500	11	12	0	0.047026	0.002500	11	12	0	-0.100820	0.002500
12	6	0	-0.146169	0.002500	12	6	0	-0.149708	0.002500	12	6	0	-0.084871	0.002500
13	5	0	-0.231922	0.002500	13	5	0	-0.219348	0.002500	13	5	0	-0.154746	0.002500

Nota: sólo se muestran los flujos de un lado de las líneas, ya que sólo nos interesan los valores de P y Q de forma cualitativa.

Se obtienen resultados similares a los del ensayo anterior. Para errores en los parámetros resistencia y reactancia se detectan dichos errores si las ramas están cargadas, disminuyendo la capacidad para detectarlos si las redes pasan a un nivel de carga menor.

Sin embargo, puede apreciarse como el error normalizado R.N. es menor cuanto menor es el parámetro al cual se le pretende detectar el error.

Podemos observar muy claramente como dicho error normalizado también disminuye si disminuimos la potencia activa que circula por la rama radial.

En este caso no analizamos la susceptancia puesto que, se trata de la misma red del caso anterior.

4.2.3.1.5 Estudio de la RED 5

La red 5 a analizar es la misma red anterior de 13 nudos, con la salvedad de que los parámetros resistencia y

reactancia de las ramas radiales tiene un valor reducido. Se pretende comprobar cómo se ve afectada la capacidad de detección de errores en los valores de los parámetros son pequeños.

Se espera que no sean detectados tan fácilmente y con ello poder afirmar que, para valores altos y medios de dichos parámetros, si es posible detectar errores de parámetros en ramas radiales, siempre y cuando dicha rama tenga un flujo de potencia activa relativamente alto.

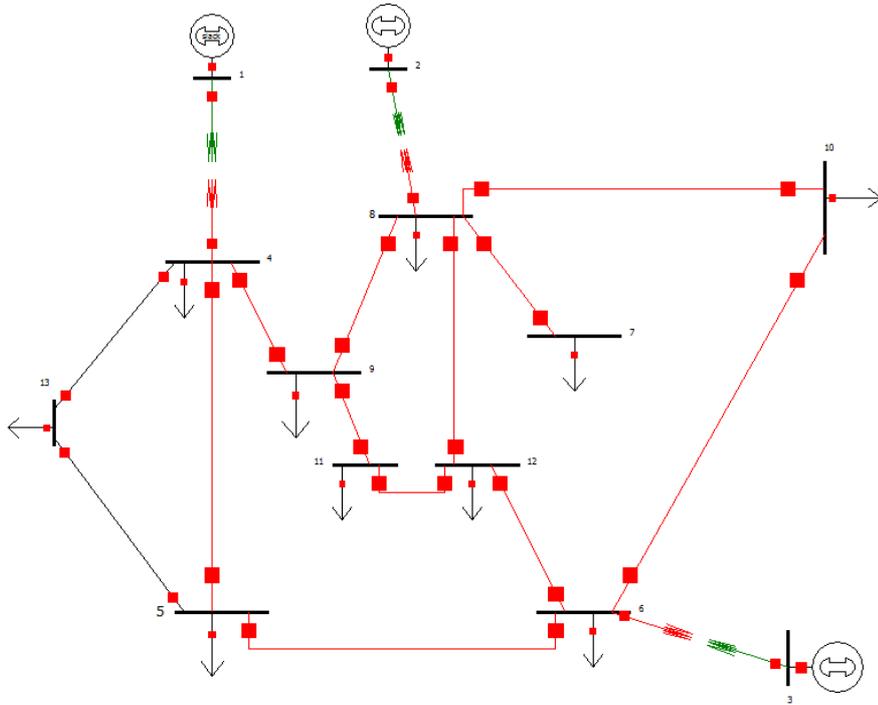


Ilustración 17: Red 5

Tras la simulación de errores en los parámetros (R y X) en las ramas radiales, se obtuvieron los siguientes resultados de los errores normalizados (R.N.) para la misma red en tres estados de carga distintos:

Tabla 25: Resultados ensayo Red 5

Muy cargada					Normal cargada					Poco cargada				
RN					RN					RN				
R14	0.02938	x1,5	SDI	7.7	R14	0.02938	x1,5	SDI	5.2	R14	0.02938	x1,5	ND	1.9
		x1,3	SDI	4.6			x1,3	SD	3.1			x1,3	ND	1.2
		x1,2	SD	3.1			x1,2	ND	2.1			x2	SDI	3.9
R28	0.01999	x1,5	SDI	8.5	R28	0.01999	x1,5	SDI	8.3	R28	0.01999	x1,5	ND	1.8
		x1,2	SD	3.4			x1,2	SD	3.3			x1,2	ND	0.7
		x1,1	ND	1.7			x1,1	ND	1.7			x2	SDI	3.6
R36	0.00701	x1,5	ND	2.6	R36	0.00701	x1,5	ND	2.1	R36	0.00701	x1,5	ND	0.4
		x1,6	SD	3.1			x1,6	ND	2.5			x1,6	ND	0.5
		x1,7	SD	3.6			x1,7	ND	2.9			x5	SDI	3.4
R78	0.0985	x1,5	SDI	13.1	R78	0.0985	x1,5	SD	12	R78	0.0985	x1,5	SDI	11
		x1,2	SD	5.9			x1,2	SD	5.4			x1,2	SD	4.9
		x1,1	SD	3.1			x1,1	ND	2.8			x1,1	ND	2.6
RN					RN					RN				
X14	0.0176	x1,5	SD	5.1	X14	0.0176	x1,5	SD	3.3	X14	0.0176	x1,5	ND	1
		x1,3	ND	3			x1,3	ND	2			x3	SD	3.8
X28	0.01462	x1,5	SD	6.6	X28	0.01462	x1,5	SD	6.4	X28	0.01462	x1,5	ND	1.6
		x1,2	ND	2.6			x1,2	ND	2.5			x2	ND	2.6
X36	0.0286	x1,5	SDI	11.2	X36	0.0286	x1,5	SDI	8.8	X36	0.0286	x1,5	SDI	1.6
		x1,2	SD	4.5			x1,2	SD	3.5			x1,8	SD	2.5
		x1,1	ND	2.2			x1,1	ND	1.8			x2	SD	3.2
X78	0.072	x1,5	SDI	8.7	X78	0.072	x1,5	SDI	10.1	X78	0.072	x1,5	SDI	7.9
		x1,2	SD	3.7			x1,2	SD	4.3			x1,2	SDI	3.3
		x1,1	ND	1.9			x1,1	ND	2.2			x1,1	ND	1.7

Los flujos de potencias activa y reactiva obtenidos, seguidos de su desviación son los siguientes:

5c mmedflujop=

1	4	0	1.674680	0.005000
2	8	0	2.931472	0.005000
3	6	0	2.372446	0.005000
4	5	0	0.455204	0.005000
4	13	0	0.577372	0.005000
5	6	0	-0.297048	0.005000
6	7	0	1.043937	0.005000
7	8	0	-0.535286	0.005000
8	9	0	0.623411	0.005000
8	6	0	-0.373041	0.005000
9	4	0	-1.619452	0.005000
9	11	0	-0.005879	0.005000
8	10	0	1.021109	0.005000
8	12	0	0.960664	0.005000
10	11	0	0.195407	0.005000
11	12	0	-0.808570	0.005000
12	6	0	-0.528316	0.005000
13	5	0	-0.365817	0.005000

5n mmedflujop=

1	4	0	1.256992	0.005000
2	8	0	2.887055	0.005000
3	6	0	1.884226	0.005000
4	5	0	0.325417	0.005000
4	13	0	0.481941	0.005000
5	6	0	-0.303372	0.005000
6	7	0	0.819627	0.005000
7	8	0	-0.430428	0.005000
8	9	0	0.647077	0.005000
8	6	0	-0.240351	0.005000
9	4	0	-1.300642	0.005000
9	11	0	-0.070130	0.005000
8	10	0	0.967839	0.005000
8	12	0	0.930327	0.005000
10	11	0	0.222184	0.005000
11	12	0	-0.747658	0.005000
12	6	0	-0.431398	0.005000
13	5	0	-0.366824	0.005000

5d mmedflujop=

1	4	0	0.552378	0.005000
2	8	0	0.720457	0.005000
3	6	0	0.510222	0.005000
4	5	0	0.183859	0.005000
4	13	0	0.182338	0.005000
5	6	0	-0.006904	0.005000
6	7	0	0.296178	0.005000
7	8	0	-0.178250	0.005000
8	9	0	0.111171	0.005000
8	6	0	-0.070369	0.005000
9	4	0	-0.547343	0.005000
9	11	0	0.060199	0.005000
8	10	0	0.254047	0.005000
8	12	0	0.238615	0.005000
10	11	0	0.030687	0.005000
11	12	0	-0.183657	0.005000
12	6	0	-0.114252	0.005000
13	5	0	-0.065758	0.005000

5c mmedflujq=					5n mmedflujq=					5d mmedflujq=				
1	4	0	0.392920	0.002500	1	4	0	0.415612	0.002500	1	4	0	-0.129460	0.002500
2	8	0	0.941135	0.002500	2	8	0	0.213454	0.002500	2	8	0	-0.223504	0.002500
3	6	0	0.176793	0.002500	3	6	0	0.218476	0.002500	3	6	0	-0.232037	0.002500
4	5	0	-0.070491	0.002500	4	5	0	-0.096998	0.002500	4	5	0	-0.054331	0.002500
4	13	0	0.292600	0.002500	4	13	0	0.259222	0.002500	4	13	0	-0.016371	0.002500
5	6	0	-0.422059	0.002500	5	6	0	-0.327204	0.002500	5	6	0	-0.354088	0.002500
6	7	0	0.405207	0.002500	6	7	0	0.383864	0.002500	6	7	0	0.006192	0.002500
7	8	0	-0.022800	0.002500	7	8	0	0.081560	0.002500	7	8	0	-0.024295	0.002500
8	9	0	0.295237	0.002500	8	9	0	0.160740	0.002500	8	9	0	-0.010730	0.002500
8	6	0	-0.047999	0.002500	8	6	0	-0.222587	0.002500	8	6	0	-0.078240	0.002500
9	4	0	-0.309818	0.002500	9	4	0	-0.530953	0.002500	9	4	0	0.152571	0.002500
9	11	0	-0.103915	0.002500	9	11	0	0.006109	0.002500	9	11	0	-0.181267	0.002500
8	10	0	0.420746	0.002500	8	10	0	0.311104	0.002500	8	10	0	-0.007171	0.002500
8	12	0	0.168886	0.002500	8	12	0	-0.007847	0.002500	8	12	0	-0.069444	0.002500
10	11	0	0.328888	0.002500	10	11	0	0.242864	0.002500	10	11	0	0.041922	0.002500
11	12	0	-0.068325	0.002500	11	12	0	-0.025079	0.002500	11	12	0	-0.071688	0.002500
12	6	0	-0.047285	0.002500	12	6	0	-0.157430	0.002500	12	6	0	-0.052618	0.002500
13	5	0	-0.312482	0.002500	13	5	0	-0.309698	0.002500	13	5	0	-0.093930	0.002500

Nota: sólo se muestran los flujos de un lado de las líneas, ya que sólo nos interesan los valores de P y Q de forma cualitativa.

Tal y como vaticinamos, no se puede detectar un error en un parámetro pequeño (resistencia o reactancia) tan fácilmente como en los casos anteriores. Aunque sea más favorable su detección cuando la red está más cargada, los errores de los parámetros deben ser superior al 20% para que sean detectados, mientras que ante con el 20% era suficiente para ello.

Se sigue confirmando que cuanto mayor es el nivel de carga de la red, más fácil es detectar dichos errores. Y si este nivel de carga disminuye, también lo hace el error normalizado.

Una vez más la susceptancia no sigue el mismo patrón que la resistencia y la reactancia.

4.2.3.1.6 Estudio de la RED 6

En este ejemplo, intentaremos corroborar algunas de las afirmaciones antes comentadas. La red 6 a analizar está compuesta por 16 nudos y presenta la siguiente topología:

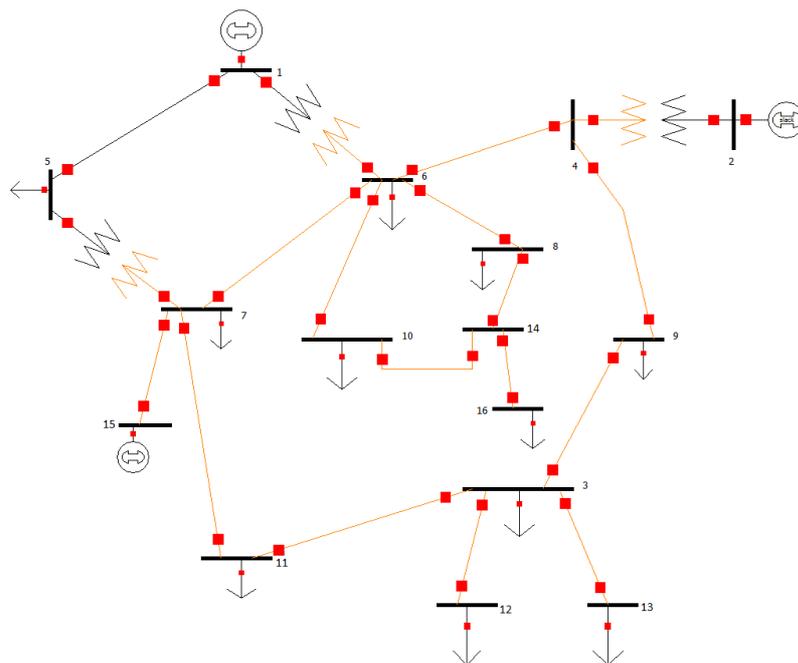


Ilustración 18: Red 6

Tras la simulación de errores en los parámetros (R, X y B) en las ramas radiales, se obtuvieron los siguientes resultados de los errores normalizados (R.N.) para la misma red en tres estados de carga distintos:

Tabla 26: Resultados ensayo Red 6

Muy cargada				Normal cargada				Poco cargada			
		RN				RN				RN	
R24	0.07999	x1,5	SDI 24.2	R24	0.07999	x1,5	SDI 30	R24	0.07999	x1,5	SDI 33.4
		x1.2	SDI 9.7			x1.2	SDI 12			x1.2	SDI 13.4
		x1.05	ND 2.4			x1.05	ND 3			x1.05	SDI 3.3
R715	0.0185	x1,5	SD 6.8	R715	0.0185	x1,5	SDI 4.8	R715	0.0185	x1,5	ND
		x1.3	SD 3.9			x1.35	SDI 3.4			x2	ND
		x1.2	ND 2.6			x1.3	ND 2.9			x5	SD 4.3
R1416	0.0265	x1,5	ND	R1416	0.0265	x1,5	ND	R1416	0.0265	x1,5	ND
		x2	ND			x2	ND			x2	ND
R312	0.03242	x1,5		R312	0.03242	x1,5	ND 0.1	R312	0.03242	x1,5	ND
		x2	ND 2.2			x2	ND 2.3			x2	ND
R313	0.04701	x1,5	ND 2.1	R313	0.04701	x1,5	ND 2.2	R313	0.04701	x1,5	ND
		x2	SD 4.2			x2	SD 4.4			x2	ND 2

RN					RN					RN				
X ₂₄	0.05825	x1,5	SDI	21.6	X ₂₄	0.05825	x1,5	SDI	25.3	X ₂₄	0.05825	x1,5	SDI	27
		x1,2	SDI	8.6			x1,2	SDI	10.1			x1,2	SDI	10.8
		x1,05	ND	2.2			x1,05	ND	2.5			x1,05	ND	2.7
X ₇₁₅	0.0854	x1,5	SDI	15.6	X ₇₁₅	0.0854	x1,5	SDI	13.9	X ₇₁₅	0.0854	x1,5	ND	1.4
		x1,2	SDI	7.5			x1,2	SDI	6.4			x2	ND	2.7
		x1,1	SDI	4			x1,1	SD	3.4			x5	SDI	10.3
X ₁₄₁₆	0.0635	x1,5	ND	1.2	X ₁₄₁₆	0.0635	x1,5	ND		X ₁₄₁₆	0.0635	x1,5	ND	
		x2	ND	2.4			x2	ND	1.7			x2	ND	
X ₃₁₂	0.06976	x1,5	ND	1.8	X ₃₁₂	0.06976	x1,5	ND	1.5	X ₃₁₂	0.06976	x1,5	ND	0.8
		x2	SD	3.6			x2	ND	3			x2	ND	1.7
X ₃₁₃	0.0686	x1,5	ND	2.1	X ₃₁₃	0.0686	x1,5	ND	2	X ₃₁₃	0.0686	x1,5	ND	
		x2	SD	4.1			x2	SD	4.1			x2	ND	1
RN					RN					RN				
B ₂₄	0.0438	x1,5	SDI	6.5	B ₂₄	0.0438	x1,5	SDI	6.8	B ₂₄	0.0438	x1,5	SDI	7.4
		x1,3	SDI	3.9			x1,3	SDI	4.1			x1,3	SD	4.4
		x1,2	ND	2.6			x1,2	ND	2.7			x1,2	ND	3
B ₇₁₅	0.149	x1,5	SDI	10.7	B ₇₁₅	0.149	x1,5	SDI	11.3	B ₇₁₅	0.149	x1,5	SDI	13.6
		x1,2	SDI	4.6			x1,2	SD	4.9			x1,2	SDI	6.2
		x1,1	ND	2.4			x1,1	ND	2.5			x1,1	SD	3.3
B ₁₄₁₆	0.1256	x1,5	SDI	12.5	B ₁₄₁₆	0.1256	x1,5	SDI	12.5	B ₁₄₁₆	0.1256	x1,5	SDI	12.6
		x1,2	SDI	5.6			x1,2	SDI	5.6			x1,2	SDI	5.7
B ₃₁₂	0.0346	x1,5	SDI	3.9	B ₃₁₂	0.0346	x1,5	SDI	3.9	B ₃₁₂	0.0346	x1,5	SDI	4.2
		x2	SDI	7.9			x2	SDI	7.9			x2	SDI	8.4
B ₃₁₃	0.0346	x1,5	SD	3.9	B ₃₁₃	0.0346	x1,5	SD	4	B ₃₁₃	0.0346	x1,5	SDI	4.2
		x2	SDI	7.8			x2	SDI	7.8			x2	SD	8.4

Los flujos de potencias activa y reactiva obtenidos, seguidos de su desviación son los siguientes:

6c mmedflujop=

1	6	0	1.324758	0.005000
1	5	0	0.785242	0.005000
2	4	0	1.801942	0.005000
3	11	0	-0.782739	0.005000
3	12	0	0.294404	0.005000
3	13	0	0.389296	0.005000
4	6	0	0.688805	0.005000
4	9	0	0.811425	0.005000
5	7	0	0.118216	0.005000
6	7	0	-0.226584	0.005000
6	8	0	0.730355	0.005000
6	10	0	0.688346	0.005000
7	11	0	1.393438	0.005000
7	15	0	-2.156392	0.005000
8	9	0	0.131030	0.005000
8	14	0	0.061672	0.005000
9	3	0	0.428496	0.005000
10	14	0	0.264196	0.005000
14	16	0	0.323148	0.005000

6n mmedflujop=

1	6	0	0.928073	0.005000
1	5	0	0.601927	0.005000
2	4	0	2.316447	0.005000
3	11	0	-0.665401	0.005000
3	12	0	0.324406	0.005000
3	13	0	0.420037	0.005000
4	6	0	0.930646	0.005000
4	9	0	0.904523	0.005000
5	7	0	0.161514	0.005000
6	7	0	-0.045250	0.005000
6	8	0	0.652836	0.005000
6	10	0	0.679837	0.005000
7	11	0	1.256199	0.005000
7	15	0	-1.592376	0.005000
8	9	0	0.146296	0.005000
8	14	0	0.070928	0.005000
9	3	0	0.509750	0.005000
10	14	0	0.255333	0.005000
14	16	0	0.322867	0.005000

6d mmedflujop=

1	6	0	0.049354	0.005000
1	5	0	0.280646	0.005000
2	4	0	2.747466	0.005000
3	11	0	-0.185295	0.005000
3	12	0	0.222022	0.005000
3	13	0	0.212383	0.005000
4	6	0	1.292316	0.005000
4	9	0	0.780782	0.005000
5	7	0	0.047835	0.005000
6	7	0	0.339517	0.005000
6	8	0	0.280829	0.005000
6	10	0	0.374441	0.005000
7	11	0	0.433279	0.005000
7	15	0	-0.298026	0.005000
8	9	0	-0.014392	0.005000
8	14	0	0.070941	0.005000
9	3	0	0.479772	0.005000
10	14	0	0.152624	0.005000
14	16	0	0.221324	0.005000

6c mmedflujq=

1	6	0	0.329038	0.002500
1	5	0	0.270962	0.002500
2	4	0	-0.845744	0.002500
3	11	0	-0.240757	0.002500
3	12	0	0.141895	0.002500
3	13	0	0.086138	0.002500
4	6	0	-0.681399	0.002500
4	9	0	-0.341892	0.002500
5	7	0	0.110062	0.002500
6	7	0	-0.339884	0.002500
6	8	0	-0.104736	0.002500
6	10	0	-0.098217	0.002500
7	11	0	0.430976	0.002500
7	15	0	-0.279800	0.002500
8	9	0	0.095355	0.002500
8	14	0	-0.247770	0.002500
9	3	0	-0.021237	0.002500
10	14	0	-0.135608	0.002500
14	16	0	0.038595	0.002500

6n mmedflujq=

1	6	0	0.197977	0.002500
1	5	0	0.152023	0.002500
2	4	0	-0.968237	0.002500
3	11	0	-0.115036	0.002500
3	12	0	0.071373	0.002500
3	13	0	0.006690	0.002500
4	6	0	-0.787778	0.002500
4	9	0	-0.489778	0.002500
5	7	0	-0.000960	0.002500
6	7	0	-0.295770	0.002500
6	8	0	-0.246104	0.002500
6	10	0	-0.259565	0.002500
7	11	0	0.262622	0.002500
7	15	0	-0.195177	0.002500
8	9	0	0.086681	0.002500
8	14	0	-0.278739	0.002500
9	3	0	-0.138311	0.002500
10	14	0	-0.202790	0.002500
14	16	0	-0.063123	0.002500

6d mmedflujq=

1	6	0	0.229277	0.002500
1	5	0	-0.149277	0.002500
2	4	0	-1.128536	0.002500
3	11	0	-0.233721	0.002500
3	12	0	0.063952	0.002500
3	13	0	-0.006997	0.002500
4	6	0	-0.944536	0.002500
4	9	0	-0.634514	0.002500
5	7	0	-0.192989	0.002500
6	7	0	-0.305383	0.002500
6	8	0	-0.284348	0.002500
6	10	0	-0.314810	0.002500
7	11	0	0.141992	0.002500
7	15	0	-0.199797	0.002500
8	9	0	0.059358	0.002500
8	14	0	-0.262710	0.002500
9	3	0	-0.286903	0.002500
10	14	0	-0.237162	0.002500
14	16	0	-0.069484	0.002500

Nota: sólo se muestran los flujos de un lado de las líneas, ya que sólo nos interesan los valores de P y Q de forma cualitativa.

En este caso se siguen repitiendo las conclusiones antes comentadas.

4.2.3.1.7 Estudio de la RED 7

Una vez más repetimos el caso anterior, aunque ahora cambiamos un poco la configuración de las ramas, a fin de comprobar si es sólo en ramas radiales con generadores donde se puede detectar un error en un parámetro, o bien, si depende de la cantidad de potencia activa que transporte dichas ramas. Para ello, forzaremos que el flujo de potencia activa por ramas radiales que no tengan generador en sus extremos sea alto.

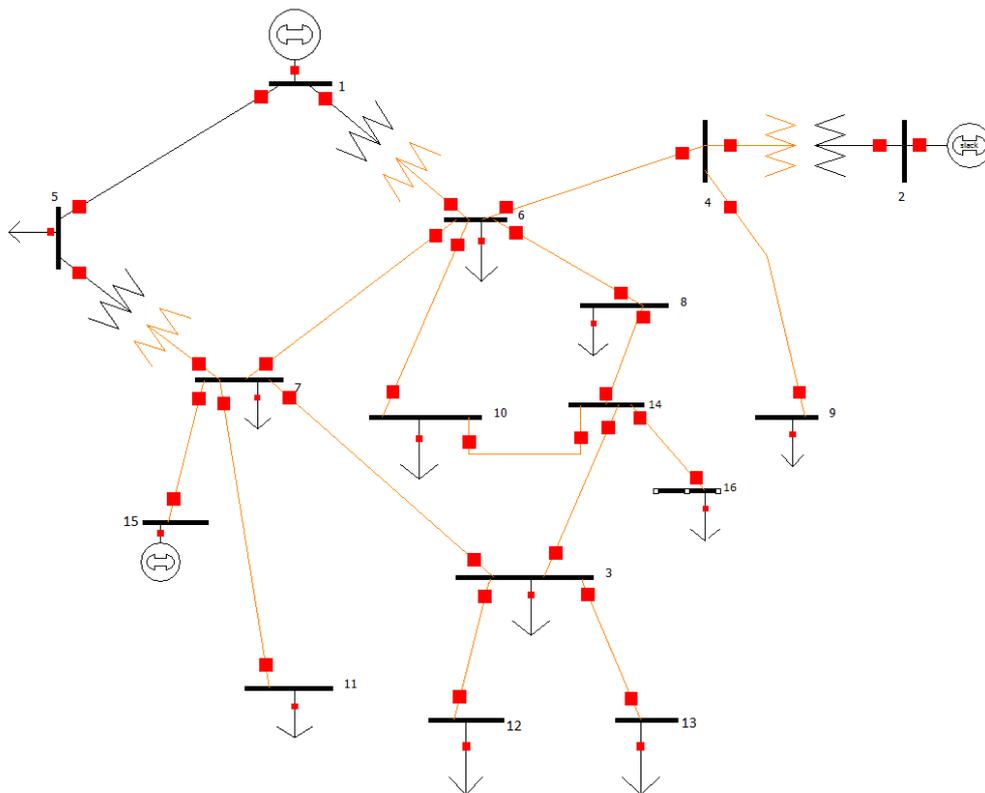


Ilustración 19: Red 7

Tras la simulación de errores en los parámetros (R y X) en las ramas radiales, se obtuvieron los siguientes resultados de los errores normalizados (R.N.) para la misma red en tres estados de carga distinto:

Tabla 27: Resultados ensayo Red 7

Normal cargada									
RN					RN				
R24	0.07999	x1,5	SDI	26	X24	0.05825	x1,5	SDI	22.9
		x1.2	SDI	10.4			x1,2	SDI	9.1
		x1.05	ND	2.6			x1,1	SDI	4.6
R715	0.0185	x1,5	SDI	7.5	X715	0.0854	x1,5	SDI	16.1
		x1.3	SDI	4.5			x1,2	SDI	7.9
		x1.2	ND	3			x1,1	SDI	4.3
R1416	0.0265	x1,5			X1416	0.0635	x1,5	ND	1.1
		x2					x2	ND	2.2
		x3	SD	3.4			x3	SD	4.3
R312	0.03242	x1,5			X312	0.06976	x1,5	ND	1.4
		x2	ND	2.1			x2	ND	2.7
		x2.5	SD	3.1			x2.2	SD	3.3
R313	0.04701	x1,5	ND	2	X313	0.0686	x1,5	ND	1.9
		x2	SD	4.1			x2	SD	3.9
R49	0.0776	x1,5	SDI	13.3	X49	0.15154	x1,5	SDI	15.2
		x1.2	SDI	6.1			x1.2	SDI	7.3
		x1.1	SDI	3.2			x1.1	SDI	3.9
R711	0.0115	x1,5	ND	1.3	X711	0.072	x1,5	SD	5.7
		x2	ND	2.5			x1.3	SD	3.4
		x2.3	SDI	3.3			x1.2	ND	2.3

Los flujos de potencias activa y reactiva obtenidos, seguidos de su desviación son los siguientes:

7 mmedflujop=					7 mmedflujq=				
1	6	0	1.394638	0.005000	1	6	0	0.309979	0.002500
1	5	0	0.960362	0.005000	1	5	0	0.260021	0.002500
2	4	0	1.943035	0.005000	2	4	0	-0.888278	0.002500
3	7	0	-1.262384	0.005000	3	7	0	-0.323210	0.002500
3	12	0	0.293759	0.005000	3	12	0	0.089665	0.002500
3	13	0	0.388935	0.005000	3	13	0	0.074869	0.002500
4	6	0	0.724469	0.005000	4	6	0	-0.854564	0.002500
4	9	0	0.870708	0.005000	4	9	0	-0.245127	0.002500
5	7	0	0.286707	0.005000	5	7	0	0.137471	0.002500
6	7	0	-0.002909	0.005000	6	7	0	-0.287989	0.002500
6	8	0	0.617431	0.005000	6	8	0	-0.246259	0.002500
6	10	0	0.665147	0.005000	6	10	0	-0.189330	0.002500
7	11	0	0.868403	0.005000	7	11	0	-0.000360	0.002500
7	15	0	-2.618026	0.005000	7	15	0	-0.143746	0.002500
8	14	0	0.084163	0.005000	8	14	0	-0.238820	0.002500
9	3	0	-0.058458	0.005000	9	3	0	-0.230343	0.002500
10	14	0	0.241251	0.005000	10	14	0	-0.180595	0.002500
14	16	0	0.322947	0.005000	14	16	0	0.022697	0.002500

Nota: sólo se muestran los flujos de un lado de las líneas, ya que sólo nos interesan los valores de P y Q de forma cualitativa.

Una vez más, las ramas radiales con elevada potencia activa circulando por ellas, permiten detectar fácilmente el error de uno de sus parámetros. Al disminuir el nivel de carga del sistema, disminuye la capacidad de detección de dichos errores.

En este caso, se pretendía comprobar si se podía detectar un error en una rama radial sin generadores en los extremos, pero sí con un flujo de potencia activa suficiente para poder detectar el error.

Nota: normalmente en todos los ensayos anteriores, las ramas radiales disponían de un generador en uno de sus extremos para facilitar así un flujo de potencia elevado o bajo por dicha rama. Con este ensayo se pretende simular un caso donde la rama radial no tenga generadores en los extremos, pero sí un flujo de potencia alto.

Las ramas que presentan un generador en sus extremos, tienen un elevado flujo de potencia activa, por ello la detección de errores es relativamente fácil. Sin embargo, las ramas 4-9, 7-11, 3-12 y 3-13 no tienen generador. Las dos primeras sí presentan un flujo de potencia activa alto, las dos siguientes bajo, por lo tanto, la detección de errores es sólo factible en las dos primeras.

4.2.3.1.8 Estudio de la RED 8

Además de los resultados obtenidos en el caso 7 de estudio, se repite el experimento cargando aún más la red, sobre todo esas ramas radiales que no presentan generadores en sus extremos.

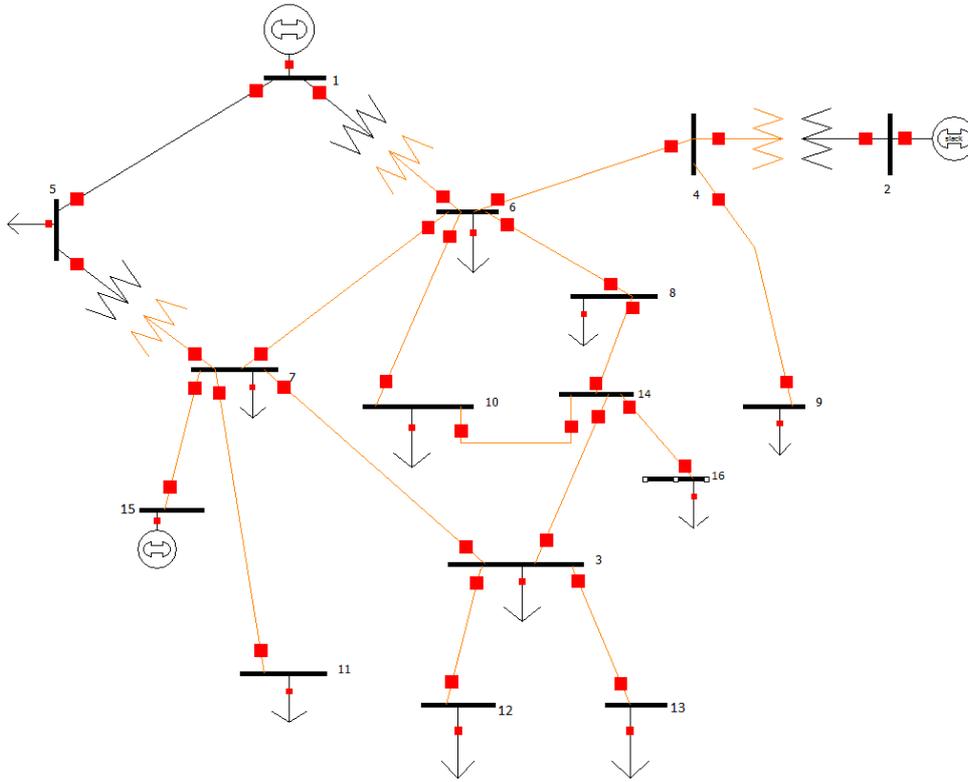


Ilustración 20: Red 8

Tabla 28: Resultados ensayo Red 8

Muy cargada

				RN					RN		
R24	0.07999	x1,5	SDI	26.9	X24	0.05825	x1,5	SDI	23.4		
			x1.2	SDI			10.7		x1,2	SDI	9.4
			x1.05	ND			2.7		x1,1	SDI	4.7
R715	0.0185	x1,5	SDI	7.5	X715	0.0854	x1,5	SDI	16.1		
			x1.3	SDI			4.5		x1,2	SDI	7.9
			x1.2	ND			3		x1,1	SDI	4.3
R1416	0.0265	x1,5			X1416	0.0635	x1,5	ND	1		
			x2						x2	ND	2
			x3	SD			3.4		x3	SD	3.9
R312	0.03242	x1,5			X312	0.06976	x1,5	ND	1.4		
			x2	ND			2.1		x2	ND	2.8
			x2.5	SD			3.1		x2.2	SD	3.3
R313	0.04701	x1,5	ND	2.1	X313	0.0686	x1,5	ND	2		
			x2	SD			4.1		x2	SD	3.9
R49	0.0586	x1,5	SDI	13.1	X49	0.06754	x1,5	SDI	13.2		
			x1.2	SDI			6		x1.2	SDI	6
			x1.1	SD			3.1		x1.1	SDI	3.1
R711	0.0475	x1,5	SDI	5.4	X711	0.058	x1,5	SD	5.1		
			x1.3	SDI			3.3		x1.3	SD	3.1
			x1.2	ND			2.2		x1.2	ND	2.1

Los flujos de potencias activa y reactiva obtenidos, seguidos de su desviación son los siguientes:

8 mmedflujop=					8 mmedflujq=				
1	6	0	1.415805	0.005000	1	6	0	0.220793	0.002500
1	5	0	0.924195	0.005000	1	5	0	0.259207	0.002500
2	4	0	1.991091	0.005000	2	4	0	-0.932515	0.002500
3	7	0	-1.101061	0.005000	3	7	0	-0.408626	0.002500
3	12	0	0.293791	0.005000	3	12	0	0.089961	0.002500
3	13	0	0.389011	0.005000	3	13	0	0.075208	0.002500
4	6	0	0.580322	0.005000	4	6	0	-0.790167	0.002500
4	9	0	1.042337	0.005000	4	9	0	-0.368744	0.002500
5	7	0	0.251841	0.005000	5	7	0	0.148325	0.002500
6	7	0	-0.119803	0.005000	6	7	0	-0.240839	0.002500
6	8	0	0.616572	0.005000	6	8	0	-0.261376	0.002500
6	10	0	0.666415	0.005000	6	10	0	-0.208836	0.002500
7	11	0	0.897645	0.005000	7	11	0	0.000062	0.002500
7	15	0	-2.616286	0.005000	7	15	0	-0.133234	0.002500
8	14	0	0.083054	0.005000	8	14	0	-0.245432	0.002500
9	3	0	0.104694	0.005000	9	3	0	-0.309489	0.002500
10	14	0	0.242431	0.005000	10	14	0	-0.191684	0.002500
14	16	0	0.322874	0.005000	14	16	0	0.002726	0.002500

Nota: sólo se muestran los flujos de un lado de las líneas, ya que sólo nos interesan los valores de P y Q de forma cualitativa.

Finalmente, con este ensayo a un nivel de carga alto, se consiguen los mismos resultados para ramas radiales con generador que sin generador. La única diferencia es que una rama radial que presente un generador en uno de sus extremos, con suma facilidad tendrá un flujo de potencia activa alto, por lo tanto, será mucho más fácil detectar el error de un parámetro en estas ramas.

Como comentario, se aprecia una ligera facilidad en la detección de la reactancia frente a la resistencia, aunque no se consigue encontrar esa explicación. Una posible explicación es que la reactancia suele ser mayor que la resistencia de las líneas.

Se comprueba que los factores más determinantes en la detección de errores son el nivel de carga y el valor del parámetro.

4.2.3.2 Se dispone de medias de potencia en sólo uno de los extremos de la línea

Ahora repetiremos los ensayos anteriores, con la salvedad de que sólo dispondremos de una medida P y Q en uno de los dos extremos. No comentaremos los ejemplos como en el caso anterior, ya que se repiten los mismos resultados, pero con una salvedad. Lo que haremos será comentar la mitad de las medidas de P y Q de las ramas

radiales, de forma que sólo tengamos medidas en uno de los extremos.

Dado que las redes son las mismas, y lo único que cambia es la cantidad de medias de P y Q de las cuales disponemos, los flujos antes mostrados de P y Q se mantienen constantes.

4.2.3.2.1 Estudio de RED 1

Esta red es la misma que en la **Ilustración 13**. Realizando los mismos ensayos que en el caso de dos medidas, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 29: Resultados ensayo Red 1

Muy cargada				Normal cargada				Poco cargada			
RN				RN				RN			
R611	0.09498	x1,5	ND	R611	0.09498	x1,5	ND	R611	0.09498	x1,5	ND
		x2	ND 0.8			x2	ND			x2	ND
		x5	SD 3.2			x5	ND 0.8			x5	ND 1.8
R23	0.04699	x1,5	SDI 5.8	R23	0.04699	x1,5	SDI 5.7	R23	0.04699	x1,5	ND 0.4
		x1,2	ND 2.4			x1,2	ND 2.3			x2	ND 0.9
		x1,3	SD 3.5			x1,3	SD 3.5			x5	ND 2.6
R12	0.01938	x1,5	ND 2.6	R12	0.01938	x1,5	SDI 4.6	R12	0.01938	x1,5	ND
		x1,6	SD 3.1			x1,2	ND 1.8			x2	ND
						x1,3	ND 2.8			x5	ND 1.2
R910	0.03181	x1,5	ND	R910	0.03181	x1,5	ND	R910	0.03181	x1,5	ND
		x2	ND			x2	ND			x2	ND
RN				RN				RN			
X611	0.1989	x1,5	ND 0.5	X611	0.1989	x1,5	ND 0.4	X611	0.1989	x1,5	ND
		x2	ND 1.1			x2	ND 0.8			x2	ND
X23	0.19797	x1,5	SDI 9.9	X23	0.19797	x1,5	SDI 10.1	X23	0.19797	x1,5	ND 2.3
		x1,2	SD 4.3			x1,2	SDI 4.3			x2	SD 4.3
X12	0.05917	x1,5	SDI 6.6	X12	0.05917	x1,5	SD 10.7	X12	0.05917	x1,5	SD 4.3
		x1,2	ND 2.7			x1,2	SD 4.6			x1,2	ND 1.8
X910	0.0845	x1,5		X910	0.0845	x1,5		X910	0.0845	x1,5	
		x2	ND 1.1			x2	ND 1			x2	

RN					RN					RN				
B611	0				B611	0				B611	0			
B23	0.0438	x1,5	ND	1.3	B23	0.0438	x1,5	ND	1.2	B23	0.0438	x1,5	ND	1.7
		x2	ND	2.5			x2	ND	2.3			x2	SDI	3.5
		x3	SD	5.1			x3	SDI	4.4			x3	SDI	7.1
B12	0.0528	x1,5	SDI	7.2	B12	0.0528	x1,5	ND	1.9	B12	0.0528	x1,5	SD	6.6
		x1,3	SD	4.3			x1,3	ND	1.1			x1,3	SD	3.9
		x1,2	ND	2.9			x1,2	ND	0.8			x1,2	ND	2.6
B910	0				B910	0				B910	0			

Las conclusiones obtenidas con este ensayo, son las mismas que obtuvimos con el ensayo sobre la misma red pero con medidas de potencia activa y reactiva en ambos extremos. La única diferencia es que el error normalizado disminuye cuando se dispone de un solo par de medidas en uno de los extremos, con respecto a cuando se dispone de dos pares de medidas, una en cada extremo.

4.2.3.2.2 Estudio de RED 2

Esta red es la misma que en la **Ilustración 14**. Realizando los mismos ensayos que en el caso de dos medidas, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 30: Resultados ensayo Red 2

Normal cargada									
RN					RN				
R612	0.12291	x1,5	ND	1.6	X612	0.25581	x1,5	ND	0.9
		x2	SD	3.1			x2	ND	1.9
R613	0.06615	x1,5	ND	1.7	X613	0.13027	x1,5	ND	1.8
		x2	SD	3.3			x2	SDI	3.7
R914	0.12711	x1,5	SD	4.2	X914	0.27038	x1,5	SD	5
		x1,2	ND	1.7			x1,2	ND	2
R910	0.03181	x1,5	ND	2.3	X910	0.0845	x1,5	ND	2.7
		x2	SDI	4.6			x2	SDI	5.4
R1011	0.08205	x1,5	ND	0.2	X1011	0.19207	x1,5	ND	0.4
		x2	ND	0.8			x2	ND	0.8
							x2	ND	0.8

Las conclusiones obtenidas con este ensayo, son las mismas que obtuvimos con el ensayo sobre la misma red pero con medidas de potencia activa y reactiva en ambos extremos. La única diferencia es que el error normalizado disminuye cuando se dispone de un solo par de medidas en uno de los extremos, con respecto a cuando se dispone de dos pares de medidas, una en cada extremo.

4.2.3.2.3 Estudio de RED 3

Esta red es la misma que en la **Ilustración 15**. Realizando los mismos ensayos que en el caso de dos medidas, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 31: Resultados ensayo Red 3

Muy cargada					Normal cargada					Poco cargado				
RN					RN					RN				
R14	0.09938	x1,5	SDI	8.8	R14	0.09938	x1,5	SDI	7.9	R14	0.09938	x1,5	SD	6
		x1,2	SD	3.5			x1,2	SDI	3.2			x1,2	ND	2.4
		x1,1	ND	1.8								x1,1	ND	1.2
R28	0.0899	x1,5	SDI	22.5	R28	0.0899	x1,5	SDI	21	R28	0.0899	x1,5	SDI	9.7
		x1,05	ND	2.3			x1,1	SDI	4.2			x1,2	SDI	3.9
		x1,1	SDI	4.5								x1,1	ND	1.9
R36	0.11701	x1,5	SDI	12.8	R36	0.11701	x1,5	SDI	11.5	R36	0.11701	x1,5	SDI	8.2
		x1,2	SDI	5.8			x1,2	SD	5.1			x1,2	SD	3.4
		x1,1	ND	3								x1,1	ND	1.7
R78	0.085	x1,5	ND	2.7	R78	0.085	x1,5	ND	2.2	R78	0.085	x1,5	ND	2.1
		x2	SD	5.4			x2	SD	4.5			x2	SD	4.2
		x1,6	SD	3.2								x1,6	ND	2.5
RN					RN					RN				
X14	0.1576	x1,5	SDI	12.9	X14	0.1576	x1,5	SDI	14.4	X14	0.1576	x1,5	SDI	7.3
		x1,2	SD	5.2			x1,2	SDI	5.8			x2	ND	2.7
		x1,1	ND	2.6								x1,1	ND	1.3
X28	0.14625	x1,5	SD	43.1	X28	0.14625	x1,5	SD	40.1	X28	0.14625	x1,5	SD	14.5
		x1,1	SD	8.9			x1,1	SD	8.3			x1,1	ND	2.9
X36	0.1686	x1,5	SD	14.8	X36	0.1686	x1,5	SD	13.4	X36	0.1686	x1,5	SD	8.9
		x1,2	SD	7			x1,2	SD	6.1			x1,2	SD	3.8
		x1,1	SD	3.7								x1,1	ND	1.9
X78	0.072	x1,5	SDI	12.1	X78	0.072	x1,5	SDI	11.1	X78	0.072	x1,5	SD	9.2
		x1,2	SDI	5.4			x1,2	SDI	4.9			x1,2	SD	4
		x1,1	ND	2.8								x1,1	ND	2

RN					RN					RN				
B14	0.0528	x1,5	SDI	5.7	B14	0.0528	x1,5	SDI	6.6	B14	0.0528	x1,5	SDI	4.5
		x1,3	SDI	3.4			x1,3	SDI	4			x1,3	ND	2.7
		x1,2	ND	2.3			x1,2	ND	2.6			x1,2	ND	1.8
B28	0.0438	x1,5	SD	3.2	B28	0.0438	x1,5	SD	3.2	B28	0.0438	x1,5	SD	3.7
		x1,4	ND	2.6			x1,4	ND	2.6			x1,4	ND	3
B36	0.0346	x1,5	ND	2	B36	0.0346	x1,5	ND	2.4	B36	0.0346	x1,5	ND	2.8
		x1,8	SD	3.1			x1,8	SD	3.8			x1,8	SD	4.5
		x2	SD	3.9			x2	SD	4.7			x2	SDI	5.7
B78	0.149	x1,5	SDI	9.9	B78	0.149	x1,5	SDI	9.8	B78	0.149	x1,5	SDI	9.8
		x1,2	SDI	4.2			x1,2	SDI	4.2			x1,2	SDI	4.2
		x1,1	ND	2.1			x1,1	ND	2.1			x1,1	ND	2.1

Las conclusiones obtenidas con este ensayo, son las mismas que obtuvimos con el ensayo sobre la misma red pero con medidas de potencia activa y reactiva en ambos extremos. La única diferencia es que el error normalizado disminuye cuando se dispone de un solo par de medidas en uno de los extremos, con respecto a cuando se dispone de dos pares de medidas, una en cada extremo.

4.2.3.2.4 Estudio de RED 4

Esta red es la misma que en la **Ilustración 16**. Realizando los mismos ensayos que en el caso de dos medidas, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 32: Resultados ensayo Red 4

Muy cargada					Normal cargada					Poco cargada				
RN					RN					RN				
R14	0.05938	x1,5	SDI	10.2	R14	0.05938	x1,5	SDI	7.2	R14	0.05938	x1,5	SDI	4.6
		x1,2	SDI	4.1			x1,2	ND	2.9			x1,2	ND	1.8
		x1,1	ND	2			x1,1	ND	1.4					
R28	0.04999	x1,5	SDI	18.5	R28	0.04999	x1,5	SDI	14.9	R28	0.04999	x1,5	SD	4.4
		x1,2	SDI	7.4			x1,2	SDI	6			x1,2	ND	1.8
		x1,1	SDI	3.7			x1,1	ND	3					
R36	0.06701	x1,5	SDI	15.1	R36	0.06701	x1,5	SDI	11.6	R36	0.06701	x1,5	SD	4.6
		x1,2	SDI	6			x1,2	SDI	4.6			x1,2	ND	1.8
		x1,05	ND	1.5			x1,1	ND	2.3					
R78	0.085	x1,5	ND	2.4	R78	0.085	x1,5	ND	2.2	R78	0.085	x1,5	ND	2
		x2	SD	4.9			x2	SD	4.3			x2	SD	4.1
		x1,7	SD	3.4										
RN					RN					RN				
X14	0.0576	x1,5	SD	11	X14	0.0576	x1,5	SD	7.1	X14	0.0576	x1,5	SDI	7.5
		x1,2	SD	4.4			x1,2	ND	2.8			x1,2	ND	3
		x1,1	ND	2.2			x1,1	ND	1.4					
X28	0.04625	x1,5	SD	19.7	X28	0.04625	x1,5	SD	16.7	X28	0.04625	x1,5	SD	3.2
		x1,2	SD	7.9			x1,1	SD	3.3			x1,2	ND	1.3
		x1,1	SD	3.9										
X36	0.0686	x1,5	SD	18	X36	0.0686	x1,5	SD	13	X36	0.0686	x1,5	ND	0.7
		x1,1	SD	3.6			x1,1	ND	2.6			x2	ND	1.4
		x1,05	ND	1.8										
X78	0.072	x1,5	SDI	11.5	X78	0.072	x1,5	SDI	10.3	X78	0.072	x1,5	SD	8.9
		x1,2	SDI	5.1			x1,2	SDI	4.5			x1,2	SD	3.8
		x1,1	ND	2.6			x1,1	ND	2.3					

Las conclusiones obtenidas con este ensayo, son las mismas que obtuvimos con el ensayo sobre la misma red,

pero con medidas de potencia activa y reactiva en ambos extremos. La única diferencia es que el error normalizado disminuye cuando se dispone de un solo par de medidas en uno de los extremos, con respecto a cuando se dispone de dos pares de medidas, una en cada extremo.

4.2.3.2.5 Estudio de RED 5

Esta red es la misma que en la **Ilustración 17**. Realizando los mismos ensayos que en el caso de dos medidas, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 33: Resultados ensayo Red 5

Muy cargada					Normal cargada					Poco cargada				
RN					RN					RN				
R14	0.02938	x1,5	SDI	5.4	R14	0.02938	x1,5	SD	3.8	R14	0.02938	x1,5	ND	1.7
		x1,3	SDI	3.3			x1,2	ND	1.5			x1,3	ND	1
		x1,2	ND	2.2			x1,3	ND	2.3			x1,2	ND	0.7
R28	0.01999	x1,5	SDI	6.8	R28	0.01999	x1,5	SDI	6.5	R28	0.01999	x1,5	ND	1.5
		x1,2	ND	2.7			x1,2	ND	2.6			x1,2	ND	0.6
		x1,1	ND	1.4			x1,1	ND	1.3			x1,1	ND	0.3
R36	0.00701	x1,5	ND	1.9	R36	0.00701	x1,5	ND	1.4	R36	0.00701	x1,5	ND	0.4
		x1,7	ND	2.7			x1,7	ND	2			x1,7	ND	0.5
		x1,6	ND	2.3			x1,8	ND	2.3			x1,6	ND	0.5
R78	0.0985	x1,5	SDI	12.9	R78	0.0985	x1,5	SDI	11.9	R78	0.0985	x1,5	SDI	10.4
		x1,2	SD	5.9			x1,2	SDI	5.3			x1,2	SD	4.7
		x1,1	SD	3.1			x1,1	ND	2.7			x1,1	ND	2.4
RN					RN					RN				
X14	0.0176	x1,5	SD	3.8	X14	0.0176	x1,5	ND	2.4	X14	0.0176	x1,5	ND	
		x1,3	ND	2.3			x1,3	ND	1.4			x1,3	ND	
												x1,2	ND	
X28	0.01462	x1,5	SD	5.9	X28	0.01462	x1,5	SD	5.6	X28	0.01462	x1,5	ND	0.9
		x1,2	ND	2.4			x1,2	ND	2.3			x1,2	ND	0.4
X36	0.0286	x1,5	SD	9.4	X36	0.0286	x1,5	SD	6.8	X36	0.0286	x1,5	ND	
		x1,2	SD	3.7			x1,2	ND	2.7			x1,2	ND	
		x1,1	ND	1.9			x1,1	ND	1.4			x1,1	ND	
X78	0.072	x1,5	SDI	8.7	X78	0.072	x1,5	SDI	10	X78	0.072	x1,5	SDI	7.5
		x1,2	SD	3.7			x1,2	SD	4.3			x1,2	SD	3.2
		x1,1	ND	1.9			x1,1	ND	2.2			x1,1	ND	1.6

Las conclusiones obtenidas con este ensayo, son las mismas que obtuvimos con el ensayo sobre la misma red, pero con medidas de potencia activa y reactiva en ambos extremos. La única diferencia es que el error normalizado disminuye cuando se dispone de un solo par de medidas en uno de los extremos, con respecto a cuando se dispone de dos pares de medidas, una en cada extremo.

4.2.3.2.6 Estudio de RED 6

Esta red es la misma que en la **Ilustración 18**. Realizando los mismos ensayos que en el caso de dos medidas, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 34: Resultados ensayo Red 6

Muy cargada					Normal cargada					Poco cargada				
RN					RN					RN				
R24	0.07999	x1,5	SDI	17.5	R24	0.07999	x1,5	SDI	23.2	R24	0.07999	x1,5	SDI	27.5
		x1.2	SDI	7			x1.2	SDI	9.3			x1.2	SDI	11
		x1.05	ND	1.8			x1.05	ND	2.3			x1.05	ND	2.7
R715	0.0185	x1,5	SDI	6.4	R715	0.0185	x1,5	SDI	4.7	R715	0.0185	x1,5		
		x1.3	SD	3.8			x1.35	SDI	3.3			x2		
		x1.2	ND	2.6			x1.3	ND	2.8			x5	SD	4.2
R1416	0.0265	x1,5			R1416	0.0265	x1,5			R1416	0.0265	x1,5		
		x2					x2					x2		
R312	0.03242	x1,5			R312	0.03242	x1,5			R312	0.03242	x1,5		
		x2	ND	2.1			x2	ND	2.3			x2		
R313	0.04701	x1,5	ND	2.1	R313	0.04701	x1,5	ND	2.2	R313	0.04701	x1,5		
		x2	SD	4.2			x2	SD	4.4			x2	ND	2

RN					RN					RN				
X24	0.05825	x1,5	SD	16.9	X24	0.05825	x1,5	SD	21.8	X24	0.05825	x1,5	SDI	14.6
		x1,2	SD	6.8			x1,2	SD	8.7			x1,2	SD	9.8
		x1,05	ND	1.7			x1,05	ND	2.2			x1,05	ND	2.5
X715	0.0854	x1,5	SDI	14.2	X715	0.0854	x1,5	SDI	11.4	X715	0.0854	x1,5	ND	1.2
		x1,2	SDI	6.6			x1,2	SDI	5			x2	ND	2.3
		x1,1	SD	3.5			x1,1	ND	2.6			x5	SD	8.6
X1416	0.0635	x1,5	ND	0.9	X1416	0.0635	x1,5			X1416	0.0635	x1,5		
		x2	ND	1.8			x2	ND	1.1			x2		
X312	0.06976	x1,5	ND	1.4	X312	0.06976	x1,5	ND	1	X312	0.06976	x1,5	ND	0.5
		x2	ND	2.8			x2	ND	2			x2	ND	1.3
X313	0.0686	x1,5	ND	1.3	X313	0.0686	x1,5	ND	1.1	X313	0.0686	x1,5		
		x2	ND	2.6			x2	ND	2.2			x2		

RN					RN					RN				
B24	0.0438	x1,5	SDI	6.3	B24	0.0438	x1,5	SDI	6.7	B24	0.0438	x1,5	SDI	7.4
		x1,3	SD	3.7			x1,3	SDI	4			x1,3	SD	4.4
		x1,2	ND	2.5			x1,2	ND	2.7			x1,2	ND	2.9
B715	0.149	x1,5	SDI	10.4	B715	0.149	x1,5	SDI	9.9	B715	0.149	x1,5	SDI	10.2
		x1,2	SDI	4.4			x1,2	SDI	4.2			x1,2	SDI	4.3
		x1,1	ND	2.1			x1,1	ND	2.1			x1,1	ND	2.2
B1416	0.1256	x1,5	SD	8.5	B1416	0.1256	x1,5	SD	8.6	B1416	0.1256	x1,5	SD	8.8
		x1,2	SD	3.6			x1,2	SD	3.6			x1,2	SD	3.7
B312	0.0346	x1,5	ND	2.2	B312	0.0346	x1,5	ND	2.1	B312	0.0346	x1,5	ND	2.3
		x2	SD	4.4			x2	SD	4.3			x2	SD	4.6
B313	0.0346	x1,5	ND	2.1	B313	0.0346	x1,5	ND	2.1	B313	0.0346	x1,5	ND	2.3
		x2	SD	4.2			x2	SD	4.2			x2	SD	4.6

Las conclusiones obtenidas con este ensayo, son las mismas que obtuvimos con el ensayo sobre la misma red pero con medidas de potencia activa y reactiva en ambos extremos. La única diferencia es que el error normalizado disminuye cuando se dispone de un solo par de medidas en uno de los extremos, con respecto a cuando se dispone de dos pares de medidas, una en cada extremo.

4.2.3.2.7 Estudio de RED 7

Esta red es la misma que en la **Ilustración 19**. Realizando los mismos ensayos que en el caso de dos medidas, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 35: Resultados ensayo Red 7

Normal cargada									
RN					RN				
R24	0.07999	x1,5	SDI	19.1	X24	0.05825	x1,5	SD	18.4
		x1.2	SDI	7.6			x1,2	SD	7.4
		x1.05	ND	1.9			x1,1	SD	3.7
R715	0.0185	x1,5	SDI	7.4	X715	0.0854	x1,5	SDI	15
		x1.3	SDI	4.5			x1,2	SD	7.1
		x1.2	ND	3			x1,1	SD	3.8
R1416	0.0265	x1,5			X1416	0.0635	x1,5		
		x2					x2	ND	1.6
		x3	SD	3.4			x3	SDI	3.2
R312	0.03242	x1,5			X312	0.06976	x1,5	ND	1
		x2	ND	2			x2	ND	2
		x2.5	SD	3.1			x2.2	ND	2.4
R313	0.04701	x1,5	ND	2	X313	0.0686	x1,5	ND	1.2
		x2	SD	4			x2	ND	2.4
R49	0.0776	x1,5	SDI	13.1	X49	0.15154	x1,5	SDI	15.1
		x1.2	SDI	6			x1,2	SDI	7.2
		x1.1	SDI	3.1			x1,1	SDI	3.8
R711	0.0115	x1,5	ND	1.2	X711	0.072	x1,5	ND	2.2
		x2	ND	2.5			x1,3	ND	1.3
		x2.3	SDI	3.2			x1,2	ND	0.9

Las conclusiones obtenidas con este ensayo, son las mismas que obtuvimos con el ensayo sobre la misma red pero con medidas de potencia activa y reactiva en ambos extremos. La única diferencia es que el error normalizado disminuye cuando se dispone de un solo par de medidas en uno de los extremos, con respecto a cuando se dispone de dos pares de medidas, una en cada extremo.

4.2.3.2.8 Estudio de RED 8

Esta red es la misma que en la **Ilustración 20**. Realizando los mismos ensayos que en el caso de dos medidas, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 36: Resultados ensayo Red 8

Muy cargada

RN					RN				
R24	0.07999	x1,5	SDI	19.8	X24	0.05825	x1,5	SD	19
		x1.2	SDI	7.9			x1,2	SD	7.6
		x1.05	ND	2			x1,1	SD	3.8
R715	0.0185	x1,5	SDI	7.5	X715	0.0854	x1,5	SDI	15.1
		x1.3	SDI	4.5			x1,2	SDI	7.2
		x1.2	ND	3			x1,1	SD	3.8
R1416	0.0265	x1,5			X1416	0.0635	x1,5		
		x2					x2	ND	1.4
		x3	SD	3.4			x3	ND	2.8
R312	0.03242	x1,5			X312	0.06976	x1,5	ND	1
		x2	ND	2.1			x2	ND	2
		x2.5	SD	3.1			x2.2	ND	2.4
R313	0.04701	x1,5	ND	2	X313	0.0686	x1,5	ND	1.2
		x2	SD	4.1			x2	ND	2.4
R49	0.0586	x1,5	SDI	13	X49	0.06754	x1,5	SDI	12.9
		x1.2	SDI	5.9			x1.2	SDI	5.8
		x1.1	SD	3.1			x1.1	ND	3
R711	0.0475	x1,5	SDI	5.3	X711	0.058	x1,5	ND	1.9
		x1.3	SDI	3.2			x1.3	ND	1.1
		x1.2	ND	2.2			x1.2	ND	0.8

Las conclusiones obtenidas con este ensayo, son las mismas que obtuvimos con el ensayo sobre la misma red pero con medidas de potencia activa y reactiva en ambos extremos. La única diferencia es que el error normalizado disminuye cuando se dispone de un solo par de medidas en uno de los extremos, con respecto a cuando se dispone de dos pares de medidas, una en cada extremo.

4.2.4 Conclusión sobre la detección de errores en ramas radiales

Si se pueden detectar errores en los parámetros en ramas radiales.

Dos medidas

- En un sistema muy cargado, se pueden detectar errores de parámetros en ramas radiales, siempre y cuando por dichas ramas circule un elevado flujo de potencia activa.
- Cuanto mayor sea el error producido, o mayor sea el valor del parámetro donde se produce el error, más fácil será detectarse el error.
- Si en la rama radial existe un generador en uno de sus extremos (siempre y cuando el generador esté en funcionamiento y con un nivel de generación aceptable), el flujo de potencia activa que circule por la rama será elevado. Por lo tanto, se podrán detectar los errores en los parámetros.
- Según va disminuyendo el nivel de carga de la red, o bien, la potencia activa que circula por las ramas radiales, va disminuyendo la capacidad de detección de errores en los parámetros.
- Cuanto menor sea el valor del parámetro donde se produzca el error, mayor dificultad para detectar error en dicho parámetro en una rama radial.
- Siempre que una rama radial posea un nivel de carga medio-alto, y el valor del parámetro donde se produzca el error sea también medio-alto será posible de detectar. Incluso, si ambos son altos puede ser identificado. Aunque esta última afirmación es mucho más sensible al valor del parámetro y al nivel de carga de la red.
- Un error en la susceptancia de una rama radial no siempre puede detectarse, ya sea alto el valor de este parámetro o el flujo de potencia activa o reactiva sea alto.
- En una rama radial un error en la resistencia o reactancia puede ser detectado siempre y cuando el valor de dichos parámetros sea medio o alto y el flujo de potencia activa también lo sea. No siempre podrá afirmarse esto si alguno de los factores posee un valor bajo.
- Normalmente el valor de la reactancia es mayor o mucho mayor que el de la resistencia, como es el caso de las redes de transporte, por lo tanto, resultará mucho más fácil detectar errores en la reactancia aun cuando las condiciones no sean las más favorables para ello.

Una medida

- Al tener sólo una medida de potencia, la precisión a la hora de detectar el error en el parámetro disminuye.

- Basándonos, en la primera afirmación, el error normalizado SIEMPRE disminuye o permanece inalterado con respecto al error obtenido cuando disponemos de dos medidas de potencia (al principio y final de la línea). Nunca aumenta.
- Si el error normalizado disminuye, un error en un parámetro será siempre más difícil de detectar con una sola medida de potencia que con dos. Por lo tanto, para casos donde con dos medidas el error en un parámetro era detectado, pero su error normalizado era próximo al límite de detección de error, 3, ahora puede que no se detecte el error en el parámetro.
- Ahora la capacidad de detección disminuye, pero más aún lo hace la capacidad para identificarlo.
- Todo lo anterior nombrado se cumple para distintos niveles de carga y distintos valores de parámetros y valor de los errores, aunque el flujo de potencia mínimo deberá ser mayor.

4.2.5 Identificación de errores en parámetros en cortes dobles

A diferencia del análisis de errores en ramas radiales, la dinámica de análisis será diferente. Se analizará por un lado el comportamiento de las redes en un estado bastante cargado del sistema, y por otro lado las mismas redes con un sistema menos cargado, pero de forma independiente. Se irán comentando las distintas conclusiones que se vayan obteniendo de los distintos ensayos.

Ejecutando el programa optimizado en el apartado 2 obtenemos qué ramas forman cortes dobles en nuestros sistemas a analizar.

Trataremos de comprobar si es cierto que en cortes dobles se detectan los errores en los parámetros, pero no permite su identificación. Intentaremos con este estudio acotar bajo qué condiciones si es posible.

Tabla 37: Explicación de la tabla de ensayos

RN				
R715	0,07999	x1,5	SDI	24,2
		x1.2	SDI	9,7
X715	0,0185	x1,5	SD	6,2
		x1.3	SD	3,9
B715	0,0185	x1,5	ND	2
		x2	ND	2,9

Durante todo el estudio se presentará una tabla (ver **Tabla 37**) en la que se recogerán los datos del análisis en cuestión. Tal y como apreciamos, se disponen de cinco columnas. Una primera donde se muestra el tipo de parámetro R, X o B según sea una resistencia, reactancia o susceptancia, seguidas de dos o tres cifra que indican

el número de los nudos que determinan la línea eléctrica.

La segunda columna hace referencia al valor que tiene el parámetro sobre el que forzamos el error. En tercer lugar, tenemos el valor del error. Tal y como vemos en la **Tabla 37**, el error forzado está en por unidad, x1,2 implicará que el error forzado en el parámetro será de un 20%. Consecuentemente, x2 implicará un error del 100%.

La cuarta columna recoge si se detectó, identificó, o no, el error en el parámetro donde se forzó el error. La notación utilizada es:

- ND: No detectado.
- SD: Si detectado.
- SDI: Si detectado e identificado.

Finalmente, la última columna recoge el valor del error normalizado.

Durante los distintos ensayos realizados, una vez identificados los k-tuples, en cada rama perteneciente a cada k-tuples se forzarán un error, correspondiendo cada error forzado en cada rama con un “sub-ensayo” distinto. En otras palabras, para un ensayo en la Red X, para cada rama perteneciente a los distintos k-tuples, se forzarán un error cuyo porcentaje irá variando según los distintos “sub-ensayos” que se realicen.

4.2.5.1 Redes muy cargadas

4.2.5.1.1 Estudio de la RED 1

En esta red de 14 nudos, ya antes utilizada para el análisis de parámetros en ramas radiales, se plantea ahora ver como son estos errores cuando se producen en una rama que forma un corte doble.

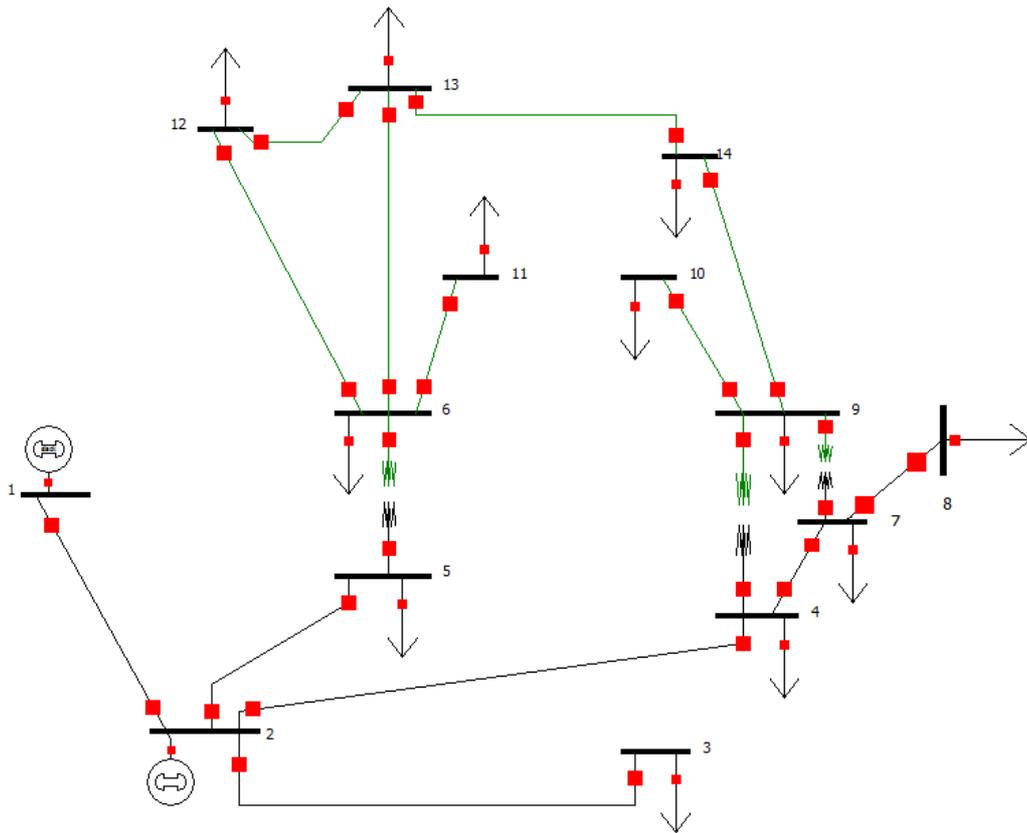


Ilustración 21: Red 1

Tras detectar los k-tuples con el algoritmo optimizado del apartado 2, se obtuvieron los siguientes k-tuples:

- 2-4, 2-5, 5-6, 9-14, 13-14
- 4-7, 7-9
- 6-12, 12-13

Los resultados obtenidos del ensayo fueron los siguientes:

Tabla 38: Resultados ensayo Red 1

Red 1														
				RN					RN					RN
R24	0.05811	x1,5	SDI	9	X24	0.17839	x1,5	SDI	13.6	B24	0.0374	x1,5	ND	1.8
		x1,2	SD	3.8			x1,2	SDI	6.3			x1,2	ND	0.7
		x1,1	ND	1.9			x1,1	SD	3.3			x1,1	ND	0.3
R25	0.05695	x1,5	SDI	8.9	X25	0.17388	x1,5	SDI	13.8	B25	0.034	x1,5	ND	1.7
		x1,2	SDI	3.8			x1,2	SDI	6.4			x1,2	ND	0.7
		x1,1	SD	1.9			x1,1	SD	3.3			x1,1	ND	0.3
R47	0				X47	0.20912	x1,5	SDI	11.5	B47	0			
	0.05		ND				x1,2	SDI	4.9		0.06		SDI	6.5
	0.09		ND				x1,1	ND	2.5		0.15		SDI	15.7
R79	0				X79	0.11001	x1,5	SDI	25.5	B79	0			
	0.05		SDI	9.9			x1,2	SDI	10.3		0.06		SDI	16.7
	0.01		ND	2			x1,1	SDI	5.2		0.15		SDI	35.3
R56	0				X56	0.25202	x1,5	SDI	20.6	B56	0			
	0.05		SDI	6.5			x1,2	SDI	8.8		0.06		SDI	8.6
	0.01		ND	1.3			x1,1	SDI	4.5		0.15		SDI	19.5
R914	0.12711	x1,5	SDI	6.3	X914	0.27038	x1,5	SDI	11.6	B914	0			
		x1,3	SDI	3.9			x1,3	SDI	7.5		0.06		SDI	16.1
		x1,2	ND	2.6			x1,2	SDI	5.2		0.15		SDI	34.5
R1314	0.17093	x1,5	ND	2.5	X1314	0.34802	x1,5	SDI	5.2	B1314	0			
		x1,7	SD	3.5			x1,7	SDI	7.5		0.06		SDI	15.7
		x2	SD	5			x2	SDI	9.5		0.15		SDI	33.9
R612	0.12291	x1,5	SDI	8.5	X612	0.25581	x1,5	SDI	9	B612	0			
		x1,2	SD	3.6			x1,2	SDI	3.9		0.06		SDI	16.3
		x1,1	ND	1.8			x1,1	ND	2		0.15		SDI	34.8
R1213	0.22092	x1,5	ND	2.8	X1213	0.19988	x1,5	SD	3.2	B1213	0			
		x1,7	SDI	3.8			x1,7	SD	4.4		0.06		SDI	15.9
		x2	SDI	5.3			x2	SD	6		0.15		SDI	34.2

Los flujos de P y Q por las ramas, seguidos de su desviación son:

1c mmedflujop=[				1c mmedflujq=[
1	2	0	-1.556472	0.023800	1	2	0	-0.916981	0.011900
2	3	0	1.596644	0.023800	2	3	0	0.178861	0.011900
2	4	0	0.752045	0.023800	2	4	0	0.157607	0.011900
2	5	0	0.748764	0.023800	2	5	0	0.218637	0.011900
4	5	0	-0.033054	0.023800	4	5	0	0.212033	0.011900
4	7	0	-0.249860	0.023800	4	7	0	-0.002694	0.011900
4	9	0	0.085953	0.023800	4	9	0	0.042561	0.011900
5	6	0	0.570728	0.023800	5	6	0	0.310739	0.011900
6	11	0	0.050308	0.005000	6	11	0	0.030645	0.002500
6	12	0	0.111276	0.005000	6	12	0	0.105215	0.002500
6	13	0	0.179144	0.005000	6	13	0	0.266572	0.002500
7	8	0	-0.800000	0.005000	7	8	0	-0.271387	0.002500
7	9	0	0.900140	0.005000	7	9	0	0.166959	0.002500
9	10	0	0.201302	0.005000	9	10	0	0.063458	0.002500
9	14	0	0.284791	0.005000	9	14	0	0.158952	0.002500
12	13	0	-0.006416	0.005000	12	13	0	0.036612	0.002500
13	14	0	-0.040952	0.005000	13	14	0	0.080357	0.002500

Nota: sólo se muestran los flujos de un lado de las líneas, ya que sólo nos interesan los valores de P y Q de forma cualitativa.

Al realizar los experimentos para cada una de las ramas que forman los 2 k-tuples, se puede ver como errores en la resistencia apenas se consiguen identificar, pero sí detectar, independientemente de que el valor de la resistencia sea grande o pequeño. Es decir, independientemente del valor de la resistencia, si el error normalizado de inducir un error en ese parámetro es > 3 , se detecta. Para que sea identificado dicho error, su error normalizado debe ser mayor que el resto con un margen establecido de 0.5.

Nótese que el flujo de potencia activa P por los k-tuples analizados no es nunca alto, siempre es pequeño o muy pequeño, y en los mejores casos toma un valor intermedio en torno a 0.8 pu. Esto induce a pensar que quizás el flujo de potencia tenga una gran repercusión en la capacidad de identificación de errores en resistencias de ramas que formen cortes dobles.

Con la reactancia, pese a tener el mismo escenario de flujos de potencia, parece que siempre se detecta e identifica un error en dicho parámetro, salvo en los casos cuando el flujo de P es muy pequeño como son los casos de las ramas 13-14 y 12-13. Estas dos ramas forman un corte doble junto con 6-12 y 9-14. Sin embargo, estas dos últimas mencionadas, al tener un flujo de potencia activa alto, si permiten tanto la detección como la identificación del error en la reactancia.

Por lo tanto, dentro de un mismo k-tuple, parece ser que sólo será identificable el error en una reactancia si la rama perteneciente al k-tuple, presenta un flujo de P medio o alto. Esta afirmación se tratará de confirmar en

- 4-13, 13-5
- 5-6, 9-4
- 6-7, 7-8
- 8-10, 10-11

Los resultados obtenidos del ensayo son los siguientes:

Tabla 39: Resultados ensayo Red 3

Red 3														
R413	0,0256	x1,5	SD	7,8	X413	0,1154	x1,5	SDI	14,1	B413	0,238	x1,5	SDI	15
		x1,2	SD	3,1			x1,2	SDI	6,6			x1,2	SDI	7,2
		x1,1	ND	1,6			x1,1	SD	3,5			x1,1	SDI	3,8
R135	0,0665	x1,5	SD	9,2	X135	0,094	x1,5	SDI	7,4	B135	0,096	x1,5	SDI	10,7
		x1,2	SD	3,9			x1,2	SD	3,1			x1,2	SDI	4,6
		x1,1	ND	2			x1,1	ND	1,6			x1,1	ND	2,4
R56	0,039	x1,5	ND	2,1	X56	0,1702	x1,5	SDI	7,3	B56	0,358	x1,5	SDI	15,8
		x1,7	ND	2,9			x1,3	SDI	4,5			x1,2	SDI	7,7
		x2	SDI	4,2			x1,2	ND	3			x1,1	SDI	4,1
R94	0,01	x1,5	SDI	4,5	X94	0,085	x1,5	SDI	16	B94	0,176	x1,5	SDI	13,9
		x1,3	ND	2,7			x1,2	SDI	7,8			x1,2	SDI	6,4
		x1,2	ND	1,8			x1,1	SDI	4,2			x1,1	SDI	3,4
R67	0,0119	x1,5	SDI	4,3	X67	0,1008	x1,5	SDI	15,2	B67	0,209	x1,5	SDI	14,3
		x1,3	ND	2,6			x1,3	SDI	10,2			x1,3	SDI	9,5
		x1,2	ND	1,7			x1,2	SDI	7,2			x1,2	SDI	6,7
R78	0,0085	x1,5	ND	2,7	X78	0,072	x1,5	SDI	12,2	B78	0,149	x1,5	SDI	12,5
		x1,7	SD	3,8			x1,2	SDI	5,4			x1,2	SDI	5,6
		x2	SDI	5,5			x1,1	ND	2,8			x1,1	ND	2,9
R810	0,00901	x1,5	SD	3,7	X810	0,082	x1,5	SDI	15,6	B810	0,149	x1,5	SDI	12,6
		x1,3	ND	2,2			x1,3	SDI	10,6			x1,3	SDI	8,1
		x1,2	ND	1,5			x1,2	SDI	7,5			x1,2	SDI	5,6

Los flujos de P y Q por las ramas, seguidos de su desviación son:

3c mmedflujop=[					3c mmedflujq=[
1	4	0	0.947778	0.005000	1	4	0	0.405026	0.002500
2	8	0	2.238590	0.005000	2	8	0	0.131574	0.002500
3	6	0	1.613669	0.005000	3	6	0	0.166464	0.002500
4	5	0	0.245348	0.005000	4	5	0	-0.032748	0.002500
4	13	0	0.359949	0.005000	4	13	0	0.013347	0.002500
5	6	0	0.108046	0.005000	5	6	0	-0.051863	0.002500
6	7	0	0.819721	0.005000	6	7	0	0.219311	0.002500
7	8	0	-0.750841	0.005000	7	8	0	-0.144947	0.002500
8	9	0	0.272712	0.005000	8	9	0	-0.170281	0.002500
8	6	0	-0.204357	0.005000	8	6	0	-0.193963	0.002500
9	4	0	-1.312078	0.005000	9	4	0	-0.470208	0.002500
9	11	0	0.222314	0.005000	9	11	0	0.015592	0.002500
8	10	0	0.672890	0.005000	8	10	0	-0.037363	0.002500
8	12	0	0.411299	0.005000	8	12	0	-0.243337	0.002500
10	11	0	0.013414	0.005000	10	11	0	-0.033310	0.002500
11	12	0	-0.338768	0.005000	11	12	0	0.141426	0.002500
12	6	0	-0.276236	0.005000	12	6	0	-0.089375	0.002500
13	5	0	-0.191945	0.005000	13	5	0	-0.064389	0.002500

Nota: sólo se muestran los flujos de un lado de las líneas, ya que sólo nos interesan los valores de P y Q de forma cualitativa.

Una vez más parece difícil identificar un error en una resistencia perteneciente a un k-tuple, ya que los flujos de P son por lo general de valor medio, salvo por la rama 6-7 que tiene un valor alto. Pese a ello, tampoco identifica un error en un parámetro tipo resistencia. Sí es cierto que los valores de la resistencia son pequeños, lo que significa que quizás para valores de resistencia alto o medios y con flujos de P altos, si sea posible identificar los errores en este parámetro en ramas que formen un k-tuple.

En principio, podríamos concluir que para detectar el error en una resistencia que pertezca a corte doble, no sólo será necesario que el flujo de potencia activa sea de valor medio o alto, sino que, además, el valor de la resistencia tendrá que ser elevado. Ambas condiciones deben estar presentes en la cada rama perteneciente al k-tuple para que dicho error en dicha rama sea identificable.

La reactancia en este caso presenta valores medios o altos. Ante los mismos flujos de P y Q, parece detectar e identificar el error en un parámetro, siempre y cuando el flujo de potencia activa no sea muy pequeño. Por lo tanto, dentro de un mismo k-tuple, parece ser que sólo será identificable el error en una reactancia si la rama perteneciente al k-tuple, presenta un flujo de P medio o alto. Tal y como se comentó en el ensayo anterior.

En la susceptancia, una vez más, parece ser muy fácil detectar errores en estos parámetros. Aunque como antes

se mencionó, los valores de este parámetro son medio o altos.

4.2.5.1.3 Estudio de la RED 4

Esta red de 13 nudos, ya antes utilizada para el análisis de parámetros en ramas radiales, es la misma que en el caso anterior, con la salvedad de que ahora las resistencias y reactancias tienen un valor elevado. Nos planteamos ver como son estos errores cuando se producen en una rama que forma un corte doble.

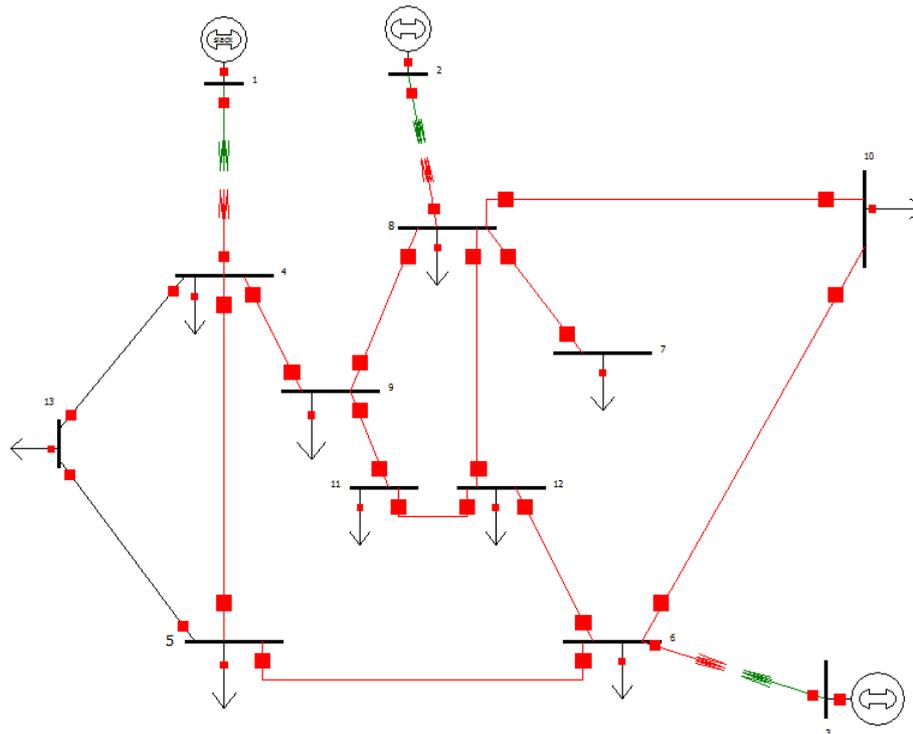


Ilustración 23: Red 4

Tras detectar los k-tuples con el algoritmo optimizado del apartado 2, se obtuvieron los siguientes k-tuples:

- 4-13, 13-5
- 5-6, 9-4
- 6-7, 7-8
- 8-10, 10-11

Los resultados obtenidos del ensayo son los siguientes:

Tabla 40: Resultados ensayo Red 4

Red 4														
RN				RN				RN						
R413	0,09985	x1,5	SDI	14,3	X413	0,1154	x1,5	SDI	14	B413	0,238	x1,5	SDI	15
		x1,2	SDI	6,7			x1,2	SDI	6,5			x1,2	SDI	7,1
		x1,1	SDI	3,5			x1,1	SDI	3,4			x1,1	SDI	3,58
R135	0,08856	x1,5	SDI	11,8	X135	0,094	x1,5	SDI	11,2	B135	0,196	x1,5	SDI	14,4
		x1,2	SDI	5,2			x1,2	SDI	4,9			x1,2	SDI	6,8
		x1,1	ND	2,7			x1,1	ND	2,5			x1,1	SDI	3,6
R56	0,0739	x1,5	SDI	7,2	X56	0,1702	x1,5	SDI	12,4	B56	0,358	x1,5	SDI	12,6
		x1,3	SDI	4,3			x1,3	SDI	9,2			x1,2	SDI	10,1
		x1,2	ND	3			x1,2	SDI	7,1			x1,1	SDI	8,3
R94	0,081	x1,5	SDI	8,6	X94	0,085	x1,5	SDI	10,4	B94	0,176	x1,5	SDI	8,6
		x1,3	SDI	5,1			x1,2	SDI	7,5			x1,2	SDI	5,4
		x1,2	SDI	3,4			x1,1	SDI	5,9			x1,1	SDI	4,2
R67	0,0867	x1,5	SDI	14,7	X67	0,1008	x1,5	SDI	14,9	B67	0,209	x1,5	SDI	14,5
		x1,3	SDI	6,9			x1,3	SDI	10			x1,3	SDI	9,6
		x1,2	SDI	3,7			x1,2	SDI	7,1			x1,2	SDI	6,8
R78	0,0785	x1,5	SDI	13,2	X78	0,072	x1,5	SDI	11,8	B78	0,149	x1,5	SDI	12,9
		x1,2	SDI	6			x1,2	SDI	5,2			x1,2	SDI	5,8
		x1,1	SDI	3,1			x1,1	ND	2,7			x1,1	ND	3
R810	0,0901	x1,5	SDI	15,4	X810	0,0982	x1,5	SDI	15	B810	0,249	x1,5	SDI	15
		x1,2	SDI	7,4			x1,2	SDI	7,2			x1,2	SDI	7,1
		x1,1	SDI	3,9			x1,1	SDI	3,8			x1,1	SDI	3,8
R1011	0,115	x1,5	ND	1,6	X1011	0,185	x1,5	ND	2	B1011	0,376	x1,5	SDI	15,8
		x1,7	ND	2,2			x1,7	ND	2,8			x1,7	SDI	19,8
		x2	ND	3,1			x2	SD	3,8			x2	SDI	24,3

Los flujos de P y Q por las ramas, seguidos de su desviación son:

4c mmedflujop=[					4c mmedflujq=[
1	4	0	1.481233	0.005000	1	4	0	0.340713	0.002500
2	8	0	3.115942	0.005000	2	8	0	0.133441	0.002500
3	6	0	1.816546	0.005000	3	6	0	0.157139	0.002500
4	5	0	0.468543	0.005000	4	5	0	-0.034971	0.002500
4	13	0	0.554003	0.005000	4	13	0	0.050825	0.002500
5	6	0	-0.192305	0.005000	5	6	0	-0.308789	0.002500
6	7	0	0.825326	0.005000	6	7	0	0.141148	0.002500
7	8	0	-0.697750	0.005000	7	8	0	-0.175299	0.002500
8	9	0	0.536626	0.005000	8	9	0	0.082531	0.002500
8	6	0	-0.184739	0.005000	8	6	0	-0.224535	0.002500
9	4	0	-1.376552	0.005000	9	4	0	-0.415996	0.002500
9	11	0	0.166105	0.005000	9	11	0	0.092048	0.002500
8	10	0	0.740411	0.005000	8	10	0	-0.193755	0.002500
8	12	0	0.920186	0.005000	8	12	0	-0.039327	0.002500
10	11	0	0.034994	0.005000	10	11	0	-0.144601	0.002500
11	12	0	-0.674114	0.005000	11	12	0	-0.010467	0.002500
12	6	0	-0.385478	0.005000	12	6	0	-0.152528	0.002500
13	5	0	-0.349115	0.005000	13	5	0	-0.364178	0.002500

Nota: sólo se muestran los flujos de un lado de las líneas, ya que sólo nos interesan los valores de P y Q de forma cualitativa.

Como mencionamos en el caso anterior, para valores de resistencia altos o muy altos, si parece relativamente fácil identificar un error en la resistencia de una rama perteneciente a un k-tuple, incluso para valores de flujo de P medios, ya que para valores altos es más fácil su identificación. Es más, el único caso donde no se consigue identificar un error en un parámetro es en la rama 10-11 que presenta un flujo de P muy pequeño.

Es por ello que, al igual que ocurre con la reactancia, si el flujo de potencia activa por una de las ramas que forman el k-tuple es bajo, en dicha rama no podrá identificarse un error en la resistencia. La detección e identificación de un error en este parámetro en las otras ramas del k-tuple dependerá del flujo de potencia que circule por esas ramas y del valor alto que deberá tener la resistencia de cada rama del k-tuple.

Las ramas 6-7 y 8-10, que forman un k-tuple con las ramas 7-8 y 10-11, tienen un flujo de potencia activa alto, por lo tanto, como antes comentamos, para ramas que presentan cortes dobles, con valores de resistencias grande o muy grandes y un flujo de P alto, se consigue identificar errores en este parámetro. Por el contrario, 7-8 y 10-11 presentan un flujo de P medio y bajo respectivamente, aunque los valores de las resistencias sean medio-altos, deben darse también condiciones de flujo de potencia activa alto para poder identificar un error en estas ramas.

Un error en la reactancia que presenta valores altos o muy altos, se identifica siempre, con excepción de que dicho flujo de P sea muy pequeño. De hecho, en este ensayo el único caso donde no es detectable es en la rama 10-11 que su flujo de P es bastante pequeño. Por lo tanto, dentro de un mismo k-tuple, sólo es identificable el error en una reactancia si la rama perteneciente al k-tuple, presenta un flujo de P medio o alto, y además, el valor de la reactancia es medio o alta.

De nuevo, la susceptancia parece ser identificada siempre que presente un error en su valor.

4.2.5.1.4 Estudio de la RED 5

Esta red de 13 nudos, ya antes utilizada para el análisis de parámetros en ramas radiales, es la misma que en el caso anterior, con la salvedad de que ahora las resistencias y reactancias tienen un valor intermedio.

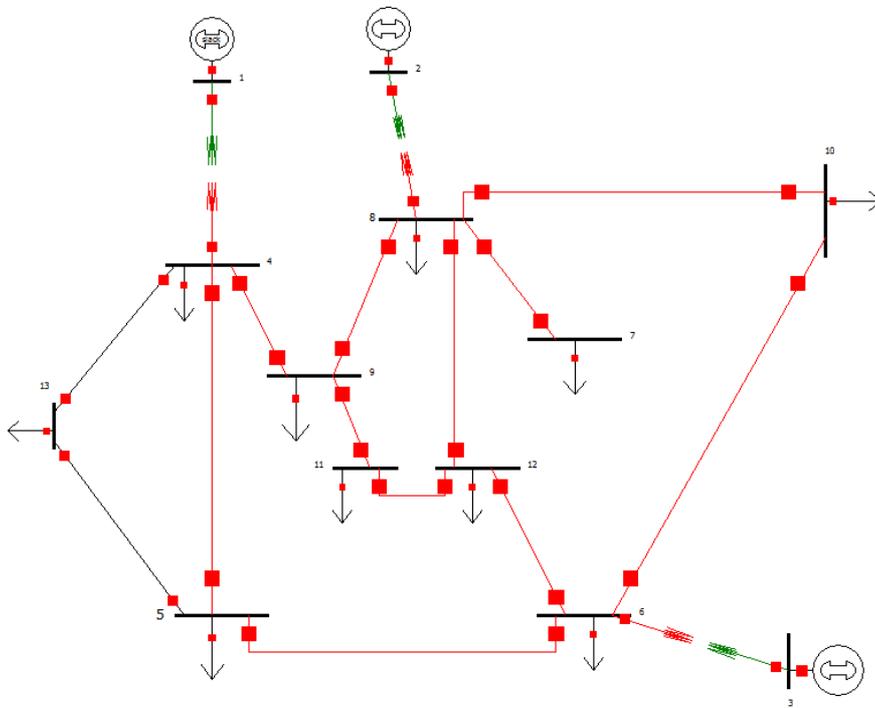


Ilustración 24: Red 5

Tras detectar los k-tuples con el algoritmo optimizado del apartado 2, se obtuvieron los siguientes k-tuples:

- 4-13, 13-5
- 5-6, 9-4
- 6-7, 7-8
- 8-10, 10-11

Los resultados obtenidos del ensayo son los siguientes:

Tabla 41: Resultados ensayo Red 5

Red 5														
RN				RN				RN						
R413	0,05985	x1,5	SDI	13,6	X413	0,07154	x1,5	SDI	13,7	B413	0,0938	x1,5	SDI	11,3
		x1,2	SDI	6,2			x1,2	SDI	6,3			x1,2	SDI	4,9
		x1,1	SDI	3,3			x1,1	SDI	3,3			x1,1	ND	2,5
R135	0,06856	x1,5	SDI	12	X135	0,064	x1,5	SDI	11,3	B135	0,076	x1,5	SDI	10,2
		x1,2	SDI	5,3			x1,2	SDI	5			x1,2	SDI	4,3
		x1,1	ND	2,8			x1,1	SDI	2,6			x1,1	ND	2,1
R56	0,0639	x1,5	SDI	6,5	X56	0,0702	x1,5	SDI	10,2	B56	0,0658	x1,5	SDI	9,9
		x1,3	SDI	3,7			x1,3	SDI	8,4			x1,2	SDI	7,5
		x1,2	ND	2,4			x1,2	SDI	5,1			x1,1	SDI	6,2
R94	0,0671	x1,5	SDI	7,5	X94	0,0685	x1,5	SDI	8,6	B94	0,0686	x1,5	SDI	7
		x1,3	SDI	4,2			x1,2	SDI	6,5			x1,2	SDI	4,6
		x1,2	ND	2,8			x1,1	SDI	4,2			x1,1	SDI	3,3
R67	0,0467	x1,5	SDI	15,1	X67	0,0508	x1,5	SDI	14,5	B67	0,0809	x1,5	SDI	10,4
		x1,2	SDI	7,2			x1,2	SDI	6,8			x1,2	SDI	4,4
		x1,1	SDI	3,8			x1,1	SDI	3,6			x1,1	ND	2,2
R78	0,0685	x1,5	SDI	10,5	X78	0,072	x1,5	SDI	10,3	B78	0,0749	x1,5	SDI	10,1
		x1,2	SDI	4,5			x1,2	SDI	4,4			x1,2	SDI	4,2
		x1,1	ND	2,3			x1,1	SDI	2,3			x1,1	ND	2,1
R810	0,0701	x1,5	SDI	15,8	X810	0,0582	x1,5	SDI	14,5	B810	0,0849	x1,5	SDI	10,2
		x1,2	SDI	7,7			x1,2	SDI	6,8			x1,2	SDI	4,4
		x1,1	SDI	4,1			x1,1	SD	3,6			x1,1	ND	2,2
R1011	0,0415	x1,5	SDI	3,8	X1011	0,0585	x1,5	SDI	6	B1011	0,0876	x1,5	SDI	10,2
		x1,7	SDI	5,3			x1,7	SDI	8,2			x1,7	SDI	13,6
		x2	SDI	7,5			x2	SDI	11,3			x2	SDI	18

Los flujos de P y Q por las ramas, seguidos de su desviación son:

5c mmedflujop=[				5c mmedflujq=[
1	4	0	1.678673	0.005000	1	4	0	0.445630	0.002500
2	8	0	2.942665	0.005000	2	8	0	0.997671	0.002500
3	6	0	2.358599	0.005000	3	6	0	0.228995	0.002500
4	5	0	0.446392	0.005000	4	5	0	-0.052517	0.002500
4	13	0	0.654328	0.005000	4	13	0	0.253457	0.002500
5	6	0	-0.200289	0.005000	5	6	0	-0.502752	0.002500
6	7	0	1.237517	0.005000	6	7	0	0.194073	0.002500
7	8	0	-0.393666	0.005000	7	8	0	-0.305900	0.002500
8	9	0	0.577808	0.005000	8	9	0	0.341556	0.002500
8	6	0	-0.311812	0.005000	8	6	0	-0.162889	0.002500
9	4	0	-1.579192	0.005000	9	4	0	-0.448403	0.002500
9	11	0	-0.078784	0.005000	9	11	0	0.093089	0.002500
8	10	0	1.180379	0.005000	8	10	0	0.106919	0.002500
8	12	0	0.954912	0.005000	8	12	0	0.260617	0.002500
10	11	0	0.294612	0.005000	10	11	0	-0.015940	0.002500
11	12	0	-0.768936	0.005000	11	12	0	-0.286910	0.002500
12	6	0	-0.487577	0.005000	12	6	0	-0.167713	0.002500
13	5	0	-0.302180	0.005000	13	5	0	-0.458808	0.002500

Nota: sólo se muestran los flujos de un lado de las líneas, ya que sólo nos interesan los valores de P y Q de forma cualitativa.

Resistencia y reactancia pertenecientes a un corte doble con valores medios, se siguen comportando igual.

Dentro de un mismo k-tuple, en las ramas donde no se presente un flujo de potencia activa alto, en el caso de las resistencias, o medio o alto, para el caso de la reactancia, no será posible la identificación de un error de estos parámetros. Además de esta primera afirmación, debe cumplirse que el valor de la resistencia sea alto, y el de la reactancia medio o alto.

Como se aprecia en el ensayo, en el k-tuples formado por las ramas 6-7, 8-10, 7-8 y 10-11, sólo las dos primeras presentan un flujo medio-alto de potencia activa, además de valores de resistencia y reactancia alto y medio o altos respectivamente, por lo tanto, sí es identificable un error en estos parámetros. 10-11 y 7-8 presentan flujos de P medio-bajos, y valores de resistencia y reactancia medios, es por ello que en la rama 10-11 no es posible la identificación. La rama 7-8 si permite la identificación de errores en los parámetros, pero esto no ocurrirá en el 100% de las veces, por lo tanto, no podemos asegurar que sea posible su identificación en futuros casos bajo estas circunstancias.

Podemos concluir que, para valores medios de resistencia se podrá identificar un error, siempre y cuando presente un flujo de P alto, o bien el flujo sea medio pero el valor de la resistencia elevado. En caso de que ambos factores sean de valor medio, no siempre se podrá identificar un error en una rama que forma un corte doble.

La reactancia es algo más sensible a errores en su valor, ya que para valores medios o altos ya sea de P o de la reactancia, siempre se va a poder identificar. Aunque para valores pequeños de P también se puede identificar, no siempre será posible, ya que, entre otros factores, dependerá de cuán pequeño sea el flujo de potencia activa, y de cuán grande o medio sea el valor de dicho parámetro. Por lo tanto, dentro de un mismo k -tuple, sólo será identificable el error en una reactancia si la rama perteneciente al k -tuple, presenta un flujo de P medio o alto, y además el valor de dicho parámetro es medio o alto. Tal y como se comentó en el ensayo anterior.

En la susceptancia se sigue cumpliendo lo mismo. Es identificable un error en ésta, siempre y cuando presente valores medios o altos.

4.2.5.1.5 Estudio de la RED 6

En esta red de 16 nudos, ya antes utilizada para el análisis de parámetros en ramas radiales, nos planteamos verificar las conclusiones antes obtenidas cuando se producen errores en una rama que forma un corte doble.

En este caso plantearemos distintas condiciones de P y de valores de resistencia y reactancia, para ir verificando lo antes mencionado. Y si cabe, excluir algún caso no siempre se cumpla.

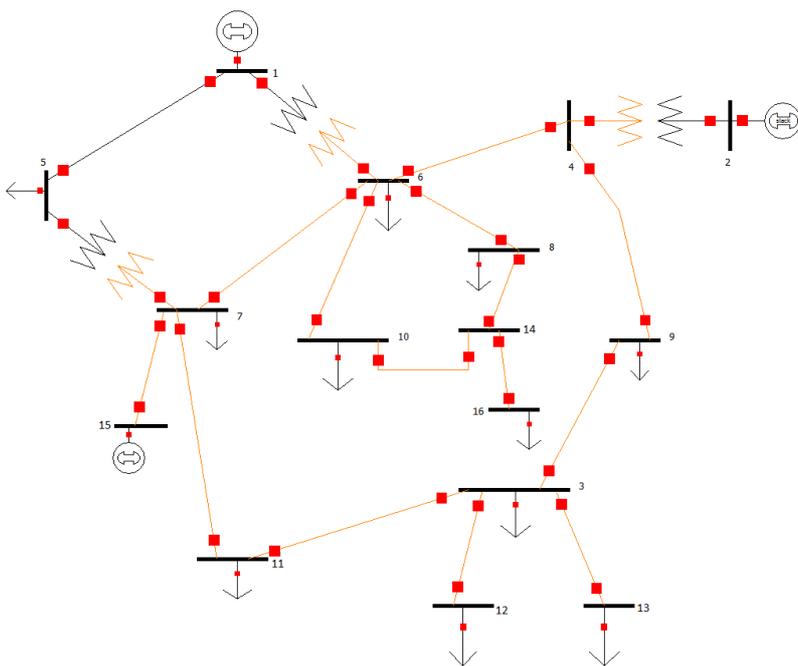


Ilustración 25: Red 6

Tras detectar los k -tuples con el algoritmo optimizado del apartado 2, se obtuvieron los siguientes k -tuples:

- 1-5, 1-6, 5-7
- 3-11, 7-11, 9-3

- 4-6, 4-9
- 6-10, 8-14, 10-14

Los resultados obtenidos del ensayo son los siguientes:

Tabla 42: Resultados ensayo Red 6

Red 6

				RN					RN					RN
R15	0.02938	x1,5	SDI	7.5	X15	0.0576	x1,5	SDI	11.1	B15	0.0528	x1,5	SDI	8
		x1,3	SDI	4.5			x1,3	SDI	7.1			x1,3	SDI	4.8
		x1,2	ND	3			x1,2	SDI	4.9			x1,2	SDI	3.2
R16	0.08142	x1,5	SDI	32	X16	0.07456	x1,5	SDI	27	B16	0.0528	x1,5	SDI	7.3
		x1,2	SDI	12.8			x1,2	SDI	10.9			x1,2	ND	2.9
		x1,1	SDI	6.4			x1,1	SDI	5.4			x1,1	ND	1.5
R57	0.033	x1,5	SDI	3.3	X57	0.1602	x1,5	SDI	16.2	B57	0.358	x1,5	SDI	16.1
		x1,3	ND	2			x1,3	SDI	9.8			x1,3	SDI	11
		x1,2	ND	1.3			x1,2	SDI	6.6			x1,2	SDI	7.9
R311	0.05701	x1,5	SDI	11.5	X311	0.0686	x1,5	SDI	11.5	B311	0.0346	x1,5	SDI	4.2
		x1,2	SDI	5.1			x1,2	SDI	5.1			x1,2	ND	1.7
		x1,1	ND	2.6			x1,1	ND	2.6			x1,1	ND	0.8
R711	0.0115	x1,5	SDI	4.2	X711	0.072	x1,5	SDI	14.8	B711	0.149	x1,5	SDI	13.1
		x1,3	ND	2.5			x1,3	SDI	9.9			x1,3	SDI	8.6
		x1,2	ND	1.7			x1,2	SDI	7			x1,2	SDI	6
R93	0.0345	x1,5	SDI	4.6	X93	0.085	x1,5	SDI	8	B93	0.176	x1,5	SDI	13.4
		x1,3	ND	2.8			x1,3	SDI	5			x1,3	SDI	8.8

		x1,2	ND	1.9			x1,2	SDI	3.4			x1,2	SDI	6.1
R46	0.027	x1,5	SDI	7	X46	0.094	x1,5	SDI	14.2	B46	0.158	x1,5	SDI	13.9
		x1,3	SDI	4.2			x1,3	SDI	9.4			x1,3	SDI	9.2
		x1,2	ND	2.8			x1,2	SDI	6.6			x1,2	SDI	6.4
R49	0.0776	x1,5	SDI	14.1	X49	0.15154	x1,5	SDI	15.6	B49	0.2238	x1,5	SDI	14.7
		x1,2	SDI	6.5			x1,2	SDI	7.5			x1,2	SDI	6.9
		x1,1	SDI	3.4			x1,1	SDI	4			x1,1	SDI	3.7
R610	0.0085	x1,5	ND	2.7	X610	0.065	x1,5	SDI	12.6	B610	0.149	x1,5	SDI	13.3
		x1,7	SD	3.8			x1,2	SD	5.6			x1,2	SDI	6.1
		x2	SD	5.4			x1,1	ND	2.9			x1,1	SDI	3.2
R814	0.044	x1,5	ND	2.2	X814	0.141	x1,5	SDI	7.9	B814	0.276	x1,5	SDI	15.4
		x1,7	SDI	3.1			x1,2	SDI	3.3			x1,2	SDI	7.4
		x2	SDI	4.3			x1,1	ND	1.7			x1,1	SDI	4
R1014	0.025	x1,5	SD	3.1	X1014	0.085	x1,5	SDI	7.4	B1014	0.176	x1,5	SDI	14.1
		x1,7	SD	4.3			x1,2	SDI	3.1			x1,2	SDI	6.6
		x2	SD	6.1			x1,1	ND	1.6			x1,1	SDI	3.5

Los flujos de P y Q por las ramas, seguidos de su desviación son:

6c mmedflujop=[					6c mmedflujq=[
1	6	0	1.324758	0.005000	1	6	0	0.329038	0.002500
1	5	0	0.785242	0.005000	1	5	0	0.270962	0.002500
2	4	0	1.801942	0.005000	2	4	0	-0.845744	0.002500
3	11	0	-0.782739	0.005000	3	11	0	-0.240757	0.002500
3	12	0	0.294404	0.005000	3	12	0	0.141895	0.002500
3	13	0	0.389296	0.005000	3	13	0	0.086138	0.002500
4	6	0	0.688805	0.005000	4	6	0	-0.681399	0.002500
4	9	0	0.811425	0.005000	4	9	0	-0.341892	0.002500
5	7	0	0.118216	0.005000	5	7	0	0.110062	0.002500
6	7	0	-0.226584	0.005000	6	7	0	-0.339884	0.002500
6	8	0	0.730355	0.005000	6	8	0	-0.104736	0.002500
6	10	0	0.688346	0.005000	6	10	0	-0.098217	0.002500
7	11	0	1.393438	0.005000	7	11	0	0.430976	0.002500
7	15	0	-2.156392	0.005000	7	15	0	-0.279800	0.002500
8	9	0	0.131030	0.005000	8	9	0	0.095355	0.002500
8	14	0	0.061672	0.005000	8	14	0	-0.247770	0.002500
9	3	0	0.428496	0.005000	9	3	0	-0.021237	0.002500
10	14	0	0.264196	0.005000	10	14	0	-0.135608	0.002500
14	16	0	0.323148	0.005000	14	16	0	0.038595	0.002500

Nota: sólo se muestran los flujos de un lado de las líneas, ya que sólo nos interesan los valores de P y Q de forma cualitativa.

En este ensayo, los flujos de P son de valores medios o grandes, con excepción de alguna rama que presenta valores pequeños. La identificación de errores en la reactancia, en este caso, se produce en todos los cortes dobles, pese a que los valores de la reactancia sean pequeños, o los flujos no sean grandes. Incluso para los casos donde el flujo de P era pequeño se identifica el error, ya que se ve favorecido por el valor relativamente alto o medio del parámetro.

Para el caso de la resistencia, cuando el flujo de potencia activa es muy pequeño, no se puede identificar el error en ramas que forman cortes dobles, a veces sí, y a veces no es identificable. Cuando el valor del flujo es medio y el valor de la resistencia es medio, vimos en casos anteriores que no era posible la identificación de un error en la resistencia de una rama que forma un corte doble, en el 100% de los casos, en este sí. Al igual que ocurre cuando ambos valores son pequeños. Cabe mencionar por último que cuando el flujo de P es medio y el valor de la resistencia es muy pequeño, o pequeño, la identificación del error es muy complicada.

Nota: hay otros factores que también influyen en la identificación de parámetros como los factores topológicos, no solo el hecho de que el valor de parámetro sea grande o el flujo de potencia activa.

La susceptancia sigue teniendo el mismo comportamiento en cuanto a la identificación de errores.

Por lo tanto, a estas alturas del estudio se puede concluir que, un error en la resistencia de una rama que forma un k-tuples es identificable si el valor de la resistencia es medio o alto, y además el flujo de potencia activa es alto. En el resto de casos no siempre será identificable con total seguridad.

La reactancia, ofrece mayor flexibilidad con estos límites, ya que para poder identificar un error en una reactancia de una rama que forme un k-tuple, el valor de la reactancia debe ser medio o alto, y el valor del flujo de P medio y alto también. Incluso es posible identificar dichos errores si el flujo de potencia activa es pequeño, nunca muy pequeño, aunque para ello, el valor de la reactancia debe ser medio-alto.

4.2.5.1.6 Estudio de la RED 8

En esta red de 16 nudos, ya antes utilizada para el análisis de parámetros en ramas radiales, nos planteamos verificar las conclusiones antes obtenidas cuando se producen errores en una rama que forma un corte doble. Este ensayo repite los mismos objetivos que el caso anterior. Analicemos los resultados.

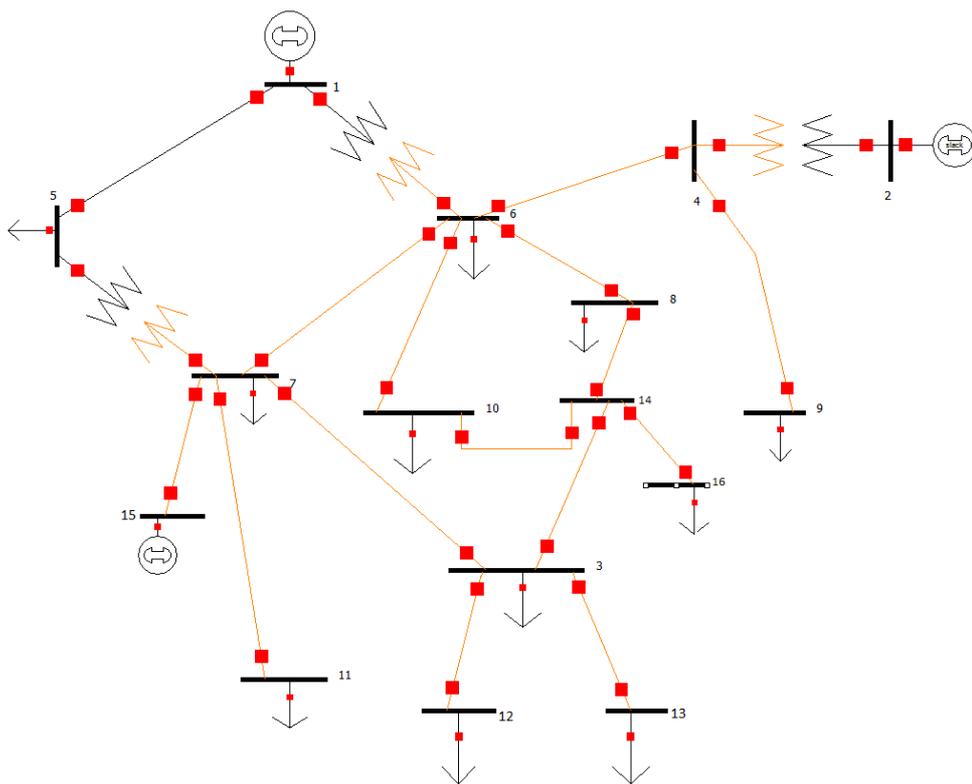


Ilustración 26: Red 8

Tras detectar los k-tuples con el algoritmo optimizado del apartado 2, se obtuvieron los siguientes k-tuples:

- 1-5, 1-6, 5-7
- 3-7, 9-3

- 4-6, 4-9
- 6-8, 6-10, 8-14, 10-14

Los resultados obtenidos del ensayo son los siguientes:

Tabla 43: Resultados ensayo Red 8

Red 8

				RN					RN					RN
R15	0.02938	x1,5	SDI	8.2	X15	0.0576	x1,5	SDI	12.2	B15	0.0528	x1,5	SDI	7.9
		x1,2	SDI	3.3			x1,2	SDI	5.4			x1,3	SDI	4.8
		x1,1	ND	1.6			x1,1	ND	2.8			x1,2	SDI	3.2
R16	0.08142	x1,5	SDI	32	X16	0.07456	x1,5	SDI	27.7	B16	0.0528	x1,5	SDI	7.2
		x1,2	SDI	12.8			x1,2	SDI	11.1			x1,3	SDI	4.3
		x1,1	SDI	6.4			x1,1	SDI	5.6			x1,2	ND	2.9
R57	0.033	x1,5	SDI	4.3	X57	0.1602	x1,5	SDI	19.9	B57	0.358	x1,5	SDI	16.1
		x1,3	ND	2.6			x1,2	SDI	8.1			x1,2	SDI	7.9
		x1,2	ND	1.7			x1,1	SDI	4.1			x1,1	SDI	4.3
R37	0.05701	x1,5	SDI	13.6	X37	0.0686	x1,5	SDI	14.3	B37	0.0346	x1,5	SDI	4.3
		x1,2	SDI	6.2			x1,2	SDI	6.7			x1,3	ND	2.6
		x1,1	SDI	3.3			x1,1	SDI	3.5			x1,2	ND	1.7
R46	0.027	x1,5	SDI	6.6	X46	0.094	x1,5	SDI	14.8	B46	0.158	x1,5	SDI	14.2
		x1,3	SDI	3.9			x1,2	SDI	7			x1,2	SDI	6.6
		x1,2	ND	2.6			x1,1	SDI	3.7			x1,1	SDI	3.5
R49	0.0776	x1,5	SDI	13.1	X49	0.15154	x1,5	SDI	13.2	B49	0.238	x1,5	SDI	14.6
		x1,2	SDI	6			x1,2	SDI	6			x1,2	SDI	6.9

		x1,1	SDI	3.1			x1,1	SDI	3.1			x1,1	SDI	3.6
R93	0.0345	x1,5	ND	2.2	X93	0.085	x1,5	SDI	5.7	B93	0.176	x1,5	SDI	13.5
		x1,7	SDI	3.1			x1,3	SDI	3.5			x1,2	SDI	6.2
		x2	SDI	4.4			x1,2	ND	2.3			x1,1	SDI	3.2
R68	0.0321	x1,5	SDI	9.5	X68	0.072	x1,5	SDI	12.9	B68	0.149	x1,5	SDI	13.5
		x1,2	SD	3.8			x1,2	SDI	5.8			x1,2	SDI	6.2
		x1,1	ND	1.9			x1,1	ND	3			x1,1	SDI	3.2
R610	0.0085	x1,5	ND	2.7	X610	0.065	x1,5	SDI	12.5	B610	0.149	x1,5	SDI	13.5
		x1,7	SD	3.8			x1,2	SD	5.6			x1,2	SDI	6.2
		x2	SD	5.4			x1,1	ND	2.9			x1,1	SDI	3.2
R814	0.044	x1,5	ND	2.5	X814	0.141	x1,5	SDI	7.4	B814	0.276	x1,5	SDI	15.5
		x1,7	SDI	3.5			x1,3	SDI	4.6			x1,2	SDI	7.5
		x2	SDI	4.9			x1,2	SDI	3.1			x1,1	SDI	4
R1014	0.025	x1,5	ND	3	X1014	0.085	x1,5	SD	7.3	B1014	0.176	x1,5	SDI	14.2
		x1,7	SD	4.2			x1,3	SD	4.5			x1,2	SDI	6.6
		x2	SD	6			x1,2	ND	3			x1,1	SDI	3.5

Los flujos de P y Q por las ramas, seguidos de su desviación son:

8c mmedflujop=[				8c mmedflujq=[
1	6	0	1.415805	0.005000	1	6	0	0.220793	0.002500
1	5	0	0.924195	0.005000	1	5	0	0.259207	0.002500
2	4	0	1.991091	0.005000	2	4	0	-0.932515	0.002500
3	7	0	-1.101061	0.005000	3	7	0	-0.408626	0.002500
3	12	0	0.293791	0.005000	3	12	0	0.089961	0.002500
3	13	0	0.389011	0.005000	3	13	0	0.075208	0.002500
4	6	0	0.580322	0.005000	4	6	0	-0.790167	0.002500
4	9	0	1.042337	0.005000	4	9	0	-0.368744	0.002500
5	7	0	0.251841	0.005000	5	7	0	0.148325	0.002500
6	7	0	-0.119803	0.005000	6	7	0	-0.240839	0.002500
6	8	0	0.616572	0.005000	6	8	0	-0.261376	0.002500
6	10	0	0.666415	0.005000	6	10	0	-0.208836	0.002500
7	11	0	0.897645	0.005000	7	11	0	0.000062	0.002500
7	15	0	-2.616286	0.005000	7	15	0	-0.133234	0.002500
8	14	0	0.083054	0.005000	8	14	0	-0.245432	0.002500
9	3	0	0.104694	0.005000	9	3	0	-0.309489	0.002500
10	14	0	0.242431	0.005000	10	14	0	-0.191684	0.002500
14	16	0	0.322874	0.005000	14	16	0	0.002726	0.002500

Nota: sólo se muestran los flujos de un lado de las líneas, ya que sólo nos interesan los valores de P y Q de forma cualitativa.

En este caso para flujos de potencia activa elevados y resistencia de valor medio o alto sí es posible llevar a cabo la identificación de un error en la resistencia de una rama que forme corte doble. Incluso cuando el flujo es pequeño, aunque éste último no se cumple en el 100% de los casos, como se vio anteriormente. Sin embargo, cuando el flujo de P es medio o bajo y el valor de la resistencia no es alto, no se consigue identificar el error. Aunque hay casos en los que sí, no es en el 100% de las veces, luego no podemos concluir que cuando el flujo que circula es de valor medio y la resistencia de valor medio, se puedan identificar los errores producidos en una rama que forme un k-tuple.

Con la reactancia, sin embargo, esto sí se cumple ya que no se consigue identificar el error sólo cuando el flujo de P que circula por la rama que forma el corte doble es muy pequeño.

En la susceptancia una vez más, se permite identificar un error en el parámetro sin problema alguno sea cual sea el flujo de P, salvo cuando los valores de dicho parámetro son bastante pequeños.

Nota: los flujos de Q son pequeños o muy pequeños en todas las redes estudiadas, luego no influyen en la detección o identificación de errores en los parámetros.

4.2.5.2 Redes poco cargadas

Con redes muy poco cargadas, cabe esperar que, si el flujo de potencia activa que circula por la rama que forma el k-tuple es pequeño o muy pequeño, no se consiga identificar el error. Bien es cierto que, cuanto mayor sea el valor del parámetro donde se produce el error, más fácil era identificarlo cuando la red estaba cargada.

4.2.5.2.1 Estudio de la RED 1

En este ensayo tratamos la red de la **Ilustración 21** donde realizaremos los mismos ensayos que en el apartado anterior, pero con un nivel de carga bastante menor.

Tras detectar los k-tuples con el algoritmo optimizado del apartado 2, se obtuvieron los siguientes k-tuples:

- 2-4, 2-5, 5-6, 9-14, 13-14
- 4-7, 7-9
- 6-12, 12-13

Los resultados obtenidos del ensayo fueron los siguientes:

Tabla 44: Resultados ensayo Red 1

Red 1														
RN					RN					RN				
R24	0,05811	x1,5	SDI	7,2	X24	0,17839	x1,5	SD	13,3	B24	0,0374	x1,5	ND	1,5
		x1,3	SDI	4,5			x1,2	SD	6,1			x1,7	ND	2,1
		x1,2	ND	3			x1,1	SD	3,2			x2	ND	3
R25	0,05695	x1,5	SDI	7,1	X25	0,17388	x1,5	SD	13,2	B25	0,034	x1,5	ND	1,3
		x1,3	SDI	4,4			x1,2	SD	6			x1,7	ND	1,9
		x1,2	SD	2,9			x1,1	SD	3,2			x2	ND	2,6
R47	0				X47	0,20912	x1,5	SD	8,3	B47	0			
	0,05		SDI	3,7			x1,2	SD	3,6		0,06		SDI	7,4
	0,09		SDI	7,2			x1,1	ND	1,8		0,15		SDI	18,2
R79	0				X79	0,11001	x1,5	SDI	10,3	B79	0			
	0,05		ND	1,9			x1,2	SDI	4,2		0,06		SDI	17,5
	0,09		ND	1,9			x1,1	ND	2,1		0,15		SDI	36,5
R56	0				X56	0,25202	x1,5	SD	18,6	B56	0			
	0,05		ND	2,5			x1,2	SD	7,9		0,06		SDI	7,1
	0,09		SD	4,4			x1,1	SD	4,1		0,15		SDI	16,4
R914	0,12711	x1,5	SD	3,1	X914	0,27038	x1,5	SD	7,6	B914	0			
		x1,7	SDI	4,3			x1,3	SD	4,8		0,06		SDI	17,2
		x2	SDI	6,1			x1,2	SD	3,3		0,15		SDI	36,1
R1314	0,17093	x1,5	ND	1,3	X1314	0,34802	x1,5	ND	1,9	B1314	0			
		x1,7	ND	1,9			x1,7	ND	2,5		0,06		SDI	17,1
		x2	ND	2,7			x2	SDI	3,4		0,15		SDI	36
R612	0,12291	x1,5	SD	5,8	X612	0,25581	x1,5	SDI	5,8	B612	0			
		x1,3	SD	3,6			x1,3	SDI	3,7		0,06		SDI	17,3
		x1,2	ND	2,4			x1,2	ND	2,6		0,15		SDI	36,3
R1213	0,22092	x1,5	ND	1,5	X1213	0,19988	x1,5	ND	2,7	B1213	0			
		x1,7	ND	2,1			x1,7	SD	3,6		0,06		SDI	17,2
		x2	ND	2,8			x2	SD	4,8		0,15		SDI	36,2

Los flujos de P y Q, seguidos de su desviación son:

1d mmedflujop=[					1d mmedflujq=[
1	2	0	0.469177	0.023800	1	2	0	-0.858820	0.011900
2	3	0	0.121594	0.023800	2	3	0	-0.174717	0.011900
2	4	0	0.572567	0.023800	2	4	0	-0.046707	0.011900
2	5	0	0.567687	0.023800	2	5	0	-0.004234	0.011900
4	5	0	-0.039951	0.023800	4	5	0	0.158970	0.011900
4	7	0	0.163091	0.023800	4	7	0	-0.135909	0.011900
4	9	0	0.132133	0.023800	4	9	0	-0.018841	0.011900
5	6	0	0.410731	0.023800	5	6	0	0.121235	0.011900
6	11	0	0.030109	0.005000	6	11	0	0.020227	0.002500
6	12	0	0.075725	0.005000	6	12	0	0.042098	0.002500
6	13	0	0.104897	0.005000	6	13	0	0.104450	0.002500
7	8	0	-0.100000	0.005000	7	8	0	-0.286094	0.002500
7	9	0	0.363091	0.005000	7	9	0	0.061654	0.002500
9	10	0	0.100381	0.005000	9	10	0	0.061013	0.002500
9	14	0	0.154842	0.005000	9	14	0	0.060172	0.002500
12	13	0	-0.015077	0.005000	12	13	0	0.019429	0.002500
13	14	0	0.028440	0.005000	13	14	0	0.026788	0.002500

Nota: sólo se muestran los flujos de un lado de las líneas, ya que sólo nos interesan los valores de P y Q de forma cualitativa.

Cuando la red está muy poco cargada, un error en la resistencia de una rama que forma un corte doble, es prácticamente inidentificable, sea pequeño o mediano el valor de dicho parámetro. Cabe destacar que cuando la resistencia tiene un valor alto, y el flujo de potencia activa es pequeño o medio (nunca muy pequeño), sigue siendo posible identificar un error en este parámetro, aunque no en el 100% de los casos será esto posible.

Con la reactancia, parece que un error en este parámetro en una rama que forme un k-tuple, es identificable siempre y cuando el flujo de P no sea muy pequeño. En el resto de casos siempre se identifica. Aunque en este caso los valores de la reactancia son relativamente grandes. Sería interesante comprobar esta afirmación con experimentos en los que los valores de la reactancia no sean elevados.

Un error en la susceptancia de una rama que forma un k-tuple, independientemente del flujo de potencia activa, es detectado e identificado siempre, salvo en dos casos donde parece ser que el valor del parámetro es pequeño o muy pequeño.

Con el siguiente ensayo se tratará de verificar estas afirmaciones.

4.2.5.2.2 Estudio de la RED 3

En este ensayo se trata la red de la **Ilustración 22** donde se realizarán los mismos ensayos que en el apartado anterior, pero con un nivel de carga bastante menor. Se intentará verificar si se sigue cumpliendo lo planteado en el ejemplo anterior. Para este caso los valores de la resistencia son pequeños o muy pequeños, mientras que la reactancia toma valores medianos.

Tras detectar los k-tuples con el algoritmo optimizado del apartado 2, se obtuvieron los siguientes k-tuples:

- 4-13, 13-5
- 5-6, 9-4
- 6-7, 7-8
- 8-10, 10-11

Los resultados obtenidos del ensayo son los siguientes:

Tabla 45: Resultados ensayo Red 3

Red 3														
RN				RN				RN						
R413	0,0256	x1,5	SD	4	X413	0,1154	x1,5	SDI	8,9	B413	0,238	x1,5	SDI	14,5
		x1,3	ND	2,4			x1,2	SDI	4			x1,2	SDI	6,8
		x1,2	ND	1,6			x1,1	SD	2,1			x1,1	SDI	3,6
R135	0,0665	x1,5	SDI	4,6	X135	0,094	x1,5	SDI	5,5	B135	0,096	x1,5	SDI	9,8
		x1,3	ND	2,8			x1,3	SD	3,4			x1,2	SDI	4,2
		x1,2	ND	1,9			x1,2	ND	2,3			x1,1	ND	2,1
R56	0,039	x1,5	ND	1,8	X56	0,1702	x1,5	SDI	6,2	B56	0,358	x1,5	SDI	14,3
		x1,7	ND	2,5			x1,3	SDI	3,1			x1,2	SDI	7,1
		x2	SDI	3,9			x1,2	ND	2,4			x1,1	SDI	3,9
R94	0,01	x1,5	SDI	3,7	X94	0,085	x1,5	SDI	16	B94	0,176	x1,5	SDI	12,1
		x1,3	ND	2,1			x1,2	SDI	7,8			x1,2	SDI	5,3
		x1,2	ND	1,1			x1,1	SDI	4,2			x1,1	SDI	3,1
R67	0,0119	x1,5	SD	3,6	X67	0,1008	x1,5	SD	13,4	B67	0,209	x1,5	SDI	14,2
		x1,3	ND	2,1			x1,3	SD	8,8			x1,3	SDI	9,5
		x1,2	ND	1,4			x1,2	SD	6,2			x1,2	SDI	6,6
R78	0,0085	x1,5	ND	2,2	X78	0,072	x1,5	SD	9,4	B78	0,149	x1,5	SDI	12,7
		x1,7	SD	3,1			x1,2	SD	4,1			x1,2	SDI	5,7
		x2	SD	4,4			x1,1	ND	2,1			x1,1	ND	3
R810	0,00901	x1,5	ND	2,6	X810	0,082	x1,5	SDI	12,5	B810	0,149	x1,5	SDI	12,6
		x1,7	SDI	3,6			x1,3	SDI	8,2			x1,3	SDI	8,2
		x2	SDI	5,1			x1,2	SDI	5,7			x1,2	SDI	5,7
R1011	0,015	x1,5	ND	1,8	X1011	0,085	x1,5	SDI	7,5	B1011	0,176	x1,5	SDI	13,5
		x1,7	ND	2,5			x1,3	SDI	4,7			x1,2	SDI	6,2
		x2	SD	3,6			x1,2	SDI	3,2			x1,1	SDI	3,2

Los flujos de P y Q, seguidos de su desviación son:

3d mmedflujop=[					3d mmedflujq=[
1	4	0	0.567689	0.005000	1	4	0	-0.229351	0.002500
2	8	0	1.035002	0.005000	2	8	0	-0.124237	0.002500
3	6	0	0.803119	0.005000	3	6	0	-0.141244	0.002500
4	5	0	0.155680	0.005000	4	5	0	-0.115787	0.002500
4	13	0	0.137373	0.005000	4	13	0	-0.070456	0.002500
5	6	0	-0.109012	0.005000	5	6	0	-0.283411	0.002500
6	7	0	0.314799	0.005000	6	7	0	-0.036568	0.002500
7	8	0	-0.271929	0.005000	7	8	0	-0.085417	0.002500
8	9	0	0.173843	0.005000	8	9	0	-0.028593	0.002500
8	6	0	-0.082248	0.005000	8	6	0	-0.115932	0.002500
9	4	0	-0.426709	0.005000	9	4	0	0.053281	0.002500
9	11	0	-0.009886	0.005000	9	11	0	-0.199097	0.002500
8	10	0	0.275085	0.005000	8	10	0	-0.041870	0.002500
8	12	0	0.263281	0.005000	8	12	0	-0.140301	0.002500
10	11	0	0.089294	0.005000	10	11	0	0.012685	0.002500
11	12	0	-0.206842	0.005000	11	12	0	-0.014436	0.002500
12	6	0	-0.133002	0.005000	12	6	0	-0.064233	0.002500
13	5	0	-0.043735	0.005000	13	5	0	-0.096935	0.002500

Nota: sólo se muestran los flujos de un lado de las líneas, ya que sólo nos interesan los valores de P y Q de forma cualitativa.

En este ensayo, un error en la resistencia de una rama k-tuple no es identificable, ya que el flujo de P y el valor de la resistencia son pequeños o muy pequeños. En la reactancia, por el contrario, donde el valor de esta es mediano, se consigue identificar en todos los casos. En este ensayo si se identifica un error en la reactancia de una rama que pertenece a un corte doble, aunque el flujo de P sea muy pequeño, aunque esto no es válido para el 100% de los casos (ver ensayo anterior).

Puede afirmarse, a priori que, para valores altos o medios de la reactancia, un error en dicho parámetro en ramas que forman cortes dobles, se puede identificar siempre y cuando el flujo de potencia activa no sea pequeño.

En la susceptancia, que vuelve a tomar valores medios o altos, sigue siendo factible la identificación de errores, sea cuál sea el valor del flujo de P.

4.2.5.2.3 Estudio de la RED 4

En este ensayo tratamos la red de la **Ilustración 23** donde realizaremos los mismos ensayos que en el apartado anterior, pero con un nivel de carga bastante menor. Aunque se trata de la misma red que en el ensayo anterior,

ahora se plantea una red con parámetros de resistencia y reactancia altos.

Tras detectar los k-tuples con el algoritmo optimizado del apartado 2, se obtuvieron los siguientes k-tuples:

- 4-13, 13-5
- 5-6, 9-4
- 6-7, 7-8
- 8-10, 10-11

Los resultados obtenidos del ensayo son los siguientes:

Tabla 46: Resultados ensayo Red 4

Red 4														
RN					RN					RN				
R413	0,09985	x1,5	SD	6,4	X413	0,1154	x1,5	SD	8,3	B413	0,238	x1,5	SDI	14,5
		x1,3	SD	4			x1,2	SD	3,6			x1,2	SDI	6,8
		x1,2	ND	2,7			x1,1	ND	1,8			x1,1	SDI	3,6
R135	0,08856	x1,5	SD	8,1	X135	0,094	x1,5	SD	7,4	B135	0,196	x1,5	SDI	13,9
		x1,2	SD	3,4			x1,2	SD	3,2			x1,2	SDI	6,4
		x1,1	ND	1,7			x1,1	ND	1,6			x1,1	SDI	3,4
R56	0,0739	x1,5	SDI	5,4	X56	0,1702	x1,5	SDI	8,7	B56	0,358	x1,5	SDI	10,4
		x1,3	SDI	3,9			x1,3	SDI	5,2			x1,2	SDI	7,2
		x1,2	ND	2,1			x1,2	SDI	3,5			x1,1	SDI	6,3
R94	0,081	x1,5	SDI	7,1	X94	0,085	x1,5	SDI	7,1	B94	0,176	x1,5	SDI	6,6
		x1,3	SDI	4,6			x1,2	SDI	5,9			x1,2	SDI	3,9
		x1,2	SDI	2,8			x1,1	SDI	4,2			x1,1	SDI	3,1
R67	0,0867	x1,5	SDI	12,5	X67	0,1008	x1,5	SDI	12,9	B67	0,209	x1,5	SDI	14,5
		x1,3	SDI	8,2			x1,3	SD	8,4			x1,3	SDI	9,7
		x1,2	SD	5,7			x1,2	SD	5,9			x1,2	SDI	6,8
R78	0,0785	x1,5	SDI	11,6	X78	0,072	x1,5	SDI	9,6	B78	0,149	x1,5	SDI	13,1
		x1,2	SD	5,1			x1,2	SD	4,1			x1,2	SDI	6
		x1,1	ND	2,7			x1,1	ND	2,1			x1,1	SDI	3,1
R810	0,0901	x1,5	SDI	9	X810	0,0982	x1,5	SDI	11,6	B810	0,249	x1,5	SDI	15,2
		x1,2	SDI	3,9			x1,2	SD	5,2			x1,2	SDI	7,2
		x1,1	ND	2			x1,1	ND	2,7			x1,1	SDI	3,9
R1011	0,115	x1,5	SD	6,3	X1011	0,185	x1,5	SDI	9,1	B1011	0,376	x1,5	SDI	15,9
		x1,3	ND	3,9			x1,2	SDI	3,9			x1,2	SDI	7,8
		x1,2	ND	2,6			x1,1	ND	2			x1,1	SDI	4,2

Los flujos de P y Q, seguidos de su desviación son:

4d mmedflujop=[					4d mmedflujq=[
1	4	0	0.621934	0.005000	1	4	0	-0.915821	0.002500
2	8	0	0.880158	0.005000	2	8	0	-0.153705	0.002500
3	6	0	0.722438	0.005000	3	6	0	-0.145795	0.002500
4	5	0	0.193866	0.005000	4	5	0	-0.315187	0.002500
4	13	0	0.089652	0.005000	4	13	0	-0.177965	0.002500
5	6	0	-0.057052	0.005000	5	6	0	-0.493747	0.002500
6	7	0	0.307684	0.005000	6	7	0	-0.095074	0.002500
7	8	0	-0.283839	0.005000	7	8	0	-0.125907	0.002500
8	9	0	0.120251	0.005000	8	9	0	0.128193	0.002500
8	6	0	-0.092082	0.005000	8	6	0	-0.090583	0.002500
9	4	0	-0.511270	0.005000	9	4	0	0.455635	0.002500
9	11	0	0.026357	0.005000	9	11	0	-0.426260	0.002500
8	10	0	0.206793	0.005000	8	10	0	-0.242520	0.002500
8	12	0	0.284831	0.005000	8	12	0	-0.049872	0.002500
10	11	0	0.018310	0.005000	10	11	0	-0.076378	0.002500
11	12	0	-0.240634	0.005000	11	12	0	-0.129881	0.002500
12	6	0	-0.143712	0.005000	12	6	0	-0.066424	0.002500
13	5	0	-0.086027	0.005000	13	5	0	-0.201744	0.002500

Nota: sólo se muestran los flujos de un lado de las líneas, ya que sólo nos interesan los valores de P y Q de forma cualitativa.

Para valores de la resistencia altos, mientras el flujo de P no sea muy pequeño (sólo pequeño), si será identificable un error en este parámetro en una rama k-tuple. Aunque en este caso también se identifica cuando el flujo de potencia activa es muy pequeño, esto no se cumple para el 100% de los casos.

Con la reactancia ocurre exactamente igual. Para valores altos de la reactancia, se consigue identificar un error en un parámetro, siempre que el flujo que circula por la rama que forma un corte doble no sea muy pequeño. Aunque en este caso si lo identificaba, no ocurre igual en el 100% de los ensayos.

En la susceptancia, una vez más, parece ser muy fácil detectar errores en estos parámetros.

4.2.5.2.4 Estudio de la RED 5

En este ensayo tratamos la red de la **Ilustración 24** donde realizaremos los mismos ensayos que en el apartado anterior, pero con un nivel de carga bastante menor. Aunque es la misma red que en el ensayo anterior, ahora se plantea una red con parámetros de resistencia y reactancia altos.

Tras detectar los k-tuples con el algoritmo optimizado del apartado 2, se obtuvieron los siguientes k-tuples:

- 4-13, 13-5
- 5-6, 9-4
- 6-7, 7-8
- 8-10, 10-11

Los resultados obtenidos del ensayo son los siguientes:

Tabla 47: Resultados ensayo Red 5

Red 5														
RN					RN					RN				
R413	0,05985	x1,5	SDI	10,8	X413	0,07154	x1,5	SDI	10	B413	0,0938	x1,5	SDI	10,1
		x1,2	SDI	4,7			x1,2	SDI	4,3			x1,2	SDI	4,3
		x1,1	ND	2,4			x1,1	ND	2,2			x1,1	ND	2,2
R135	0,06856	x1,5	SDI	8,6	X135	0,064	x1,5	SDI	9,4	B135	0,076	x1,5	SDI	9,1
		x1,2	SDI	3,7			x1,2	SDI	4			x1,2	SDI	3,8
		x1,1	ND	1,9			x1,1	ND	2			x1,1	ND	1,9
R56	0,0639	x1,5	SDI	4,1	X56	0,0702	x1,5	SDI	8,2	B56	0,0658	x1,5	SDI	7,5
		x1,3	SDI	3,2			x1,3	SDI	5,6			x1,2	SDI	4,3
		x1,2	ND	1,8			x1,2	SDI	4,3			x1,1	SDI	3,5
R94	0,0671	x1,5	SDI	5,2	X94	0,0685	x1,5	SDI	7,7	B94	0,0686	x1,5	SDI	6,2
		x1,3	SD	3,8			x1,2	SDI	5,3			x1,2	SDI	4,1
		x1,2	ND	2,1			x1,1	SDI	3,8			x1,1	ND	3
R67	0,0467	x1,5	SD	12,1	X67	0,0508	x1,5	SD	10,7	B67	0,0809	x1,5	SDI	9,9
		x1,2	SD	5,5			x1,2	SD	4,7			x1,2	SDI	4,2
		x1,1	ND	2,8			x1,1	ND	2,4			x1,1	ND	2,1
R78	0,0685	x1,5	SD	10,2	X78	0,072	x1,5	SD	8,8	B78	0,0749	x1,5	SDI	9,3
		x1,2	SD	4,5			x1,2	SD	3,8			x1,2	SDI	3,9
		x1,1	ND	2,3			x1,1	ND	2			x1,1	ND	1,9
R810	0,0701	x1,5	SD	11,1	X810	0,0582	x1,5	SD	7,6	B810	0,0849	x1,5	SDI	10,1
		x1,2	SD	5			x1,2	SD	3,3			x1,2	SDI	4,3
		x1,1	ND	2,6			x1,1	ND	1,7			x1,1	ND	2,2
R1011	0,0415	x1,5	SD	4,8	X1011	0,0585	x1,5	SD	7,5	B1011	0,0876	x1,5	SDI	10,3
		x1,3	ND	2,9			x1,3	SD	4,7			x1,2	SDI	4,4
		x1,2	ND	2			x1,2	ND	3,2			x1,1	ND	2,2

Los flujos de P y Q, seguidos de su desviación son:

5d mmedflujop=[					5d mmedflujq=[
1	4	0	2.460737	0.005000	1	4	0	-0.784927	0.002500
2	8	0	0.350000	0.005000	2	8	0	-0.031727	0.002500
3	6	0	0.150000	0.005000	3	6	0	0.060144	0.002500
4	5	0	0.691344	0.005000	4	5	0	-0.192833	0.002500
4	13	0	0.390015	0.005000	4	13	0	-0.184052	0.002500
5	6	0	0.320732	0.005000	5	6	0	-0.553083	0.002500
6	7	0	0.324445	0.005000	6	7	0	0.032068	0.002500
7	8	0	-0.180748	0.005000	7	8	0	-0.069710	0.002500
8	9	0	-0.173546	0.005000	8	9	0	0.071829	0.002500
8	6	0	-0.023344	0.005000	8	6	0	-0.152369	0.002500
9	4	0	-1.162720	0.005000	9	4	0	0.471959	0.002500
9	11	0	0.361587	0.005000	9	11	0	-0.370256	0.002500
8	10	0	0.176155	0.005000	8	10	0	0.047467	0.002500
8	12	0	0.160114	0.005000	8	12	0	-0.006444	0.002500
10	11	0	-0.076617	0.005000	10	11	0	0.077723	0.002500
11	12	0	-0.022251	0.005000	11	12	0	-0.268450	0.002500
12	6	0	-0.060751	0.005000	12	6	0	-0.134922	0.002500
13	5	0	0.098142	0.005000	13	5	0	-0.352770	0.002500

Nota: sólo se muestran los flujos de un lado de las líneas, ya que sólo nos interesan los valores de P y Q de forma cualitativa.

Para valores de la resistencia medios, mientras el flujo de P que circula por la rama que pertenezca a un corte doble no sea muy pequeño (sólo pequeño), si será identificable un error en este parámetro. Aunque en este caso también se identifica cuando el flujo de potencia activa es muy pequeño, esto no se cumple para el 100% de los casos. Esto contrasta con algunos ejemplos del ensayo de la Red 1 donde pese a que la resistencia tenía valores medios y el flujo de P era pequeño, no era identificable.

Con la reactancia ocurre exactamente igual. Para valores medianos de la reactancia, se consigue identificar un error en un parámetro, siempre que el flujo circulante por la rama k-tuple en cuestión no sea muy pequeño. Aunque en este caso si lo identificaba, no ocurre igual en el 100% de los ensayos. En el resto de casos, en los cuales el flujo es alto o medio, siempre se identificará un error en una reactancia de una rama que forme un corte doble.

En la susceptancia, una vez más, parece ser muy fácil detectar errores en estos parámetros.

Podemos llegar a ciertas conclusiones, un error en la susceptancia es identificable siempre y cuando el valor de esta sea medio o grande.

Para valores medios y altos de la reactancia, un error en este parámetro será identificable siempre que el flujo de potencia activa no sea muy pequeño. Cuando el flujo es pequeño y el parámetro de reactancia es de valor medio sí es identificable un error. En caso de ser muy pequeño, la mayoría de las veces será identificable, pero no el 100% de ellas.

Un error en la resistencia es algo más restrictivo a la hora de identificarlo, ya que sólo es suro identificar dicho error cuando el valor de la resistencia es alto y el flujo de P no es muy pequeño, cuando es pequeño sí; O bien, cuando la resistencia tiene un valor medio y el flujo de P es de valor medio. Cuando es pequeño, es identificable pero no en el 100% de los casos.

4.2.5.2.5 Estudio de la RED 6

En este ensayo tratamos la red de la **Ilustración 25** donde realizaremos los mismos ensayos que en el apartado anterior, pero con un nivel de carga bastante menor. En este caso plantearemos distintas condiciones de P y de valores de resistencia y reactancia, para suir verificando lo antes mencionado. Y si cabe, excluir algún caso no siempre se cumpla.

Tras detectar los k-tuples con el algoritmo optimizado del apartado 2, se obtuvieron los siguientes k-tuples:

- 1-5, 1-6, 5-7
- 3-11, 7-11, 9-3
- 4-6, 4-9
- 6-10, 8-14,10-14

Los resultados obtenidos del ensayo son los siguientes:

Tabla 48: Resultados ensayo Red 6

Red 6														
RN					RN					RN				
R15	0,02938	x1,5	SD	5,4	X15	0,0576	x1,5	SD	7,6	B15	0,0528	x1,5	SDI	7
		x1,3	SD	3,3			x1,3	SD	4,7			x1,3	SDI	4,2
		x1,2	ND	2,2			x1,2	SD	3,2			x1,2	ND	2,8
R16	0,08142	x1,5	SDI	9,6	X16	0,07456	x1,5	SD	11,6	B16	0,0528	x1,5	SDI	6,9
		x1,2	SD	3,8			x1,2	SD	4,7			x1,3	ND	4,1
		x1,1	ND	1,9			x1,1	ND	2,4			x1,2	ND	2,8
R57	0,033	x1,5	ND	1	X57	0,1602	x1,5	SD	3,4	B57	0,358	x1,5	SDI	15,9
		x1,7	ND	1,4			x1,3	ND	2,1			x1,2	SDI	7,8
		x2	ND	2			x1,2	ND	1,5			x1,1	SDI	4,2
R311	0,05701	x1,5	SDI	5,9	X311	0,0686	x1,5	SDI	7,2	B311	0,0346	x1,5	SDI	4,4
		x1,3	SD	3,6			x1,2	ND	3			x1,3	ND	2,6
		x1,2	ND	2,4			x1,1	ND	1,5			x1,2	ND	1,7
R711	0,0115	x1,5	ND	2,2	X711	0,072	x1,5	SDI	10,6	B711	0,149	x1,5	SDI	13,4
		x1,7	ND	3			x1,3	SDI	6,7			x1,3	SDI	8,8
		x2	SDI	4,3			x1,2	SDI	4,6			x1,2	SDI	6,1
R93	0,0345	x1,5	SDI	7,3	X93	0,085	x1,5	SDI	12,9	B93	0,176	x1,5	SDI	13,8
		x1,3	SD	4,4			x1,3	SDI	8,4			x1,2	SDI	6,4
		x1,2	ND	3			x1,2	SDI	5,8			x1,1	SDI	3,3
R46	0,027	x1,5	SDI	10,6	X46	0,094	x1,5	SDI	15,9	B46	0,158	x1,5	SDI	14,3
		x1,3	SDI	6,3			x1,2	SDI	7,8			x1,2	SDI	6,6
		x1,2	SDI	4,2			x1,1	SDI	4,2			x1,1	SDI	3,5
R49	0,0776	x1,5	SDI	14,2	X49	0,15154	x1,5	SDI	15,8	B49	0,2238	x1,5	SDI	15
		x1,2	SDI	6,6			x1,2	SDI	7,7			x1,2	SDI	7,1
		x1,1	SDI	3,5			x1,1	SDI	4,1			x1,1	SDI	3,8
R610	0,0085	x1,5	ND	2,3	X610	0,065	x1,5	SDI	11,9	B610	0,149	x1,5	SDI	13,4
		x1,7	SD	3,2			x1,2	SD	5,3			x1,2	SDI	6,1
		x2	SD	4,5			x1,1	ND	2,7			x1,1	SDI	3,2
R814	0,044	x1,5	SD	3,5	X814	0,141	x1,5	SDI	10	B814	0,276	x1,5	SDI	15,5
		x1,7	SDI	4,8			x1,2	SD	4,3			x1,2	SDI	7,4
		x2	SDI	6,7			x1,1	ND	2,2			x1,1	SDI	4
R1014	0,025	x1,5	ND	3	X1014	0,085	x1,5	SD	8,4	B1014	0,176	x1,5	SDI	14,2
		x1,7	SD	4,3			x1,3	SD	5,2			x1,2	SDI	6,6
		x2	SD	6			x1,2	ND	3,5			x1,1	SDI	3,5

Los flujos de P y Q, seguidos de su desviación son:

6d mmedflujop=[					6d mmedflujq=[
1	6	0	0.049354	0.005000	1	6	0	0.229277	0.002500
1	5	0	0.280646	0.005000	1	5	0	-0.149277	0.002500
2	4	0	2.747466	0.005000	2	4	0	-1.128536	0.002500
3	11	0	-0.185295	0.005000	3	11	0	-0.233721	0.002500
3	12	0	0.222022	0.005000	3	12	0	0.063952	0.002500
3	13	0	0.212383	0.005000	3	13	0	-0.006997	0.002500
4	6	0	1.292316	0.005000	4	6	0	-0.944536	0.002500
4	9	0	0.780782	0.005000	4	9	0	-0.634514	0.002500
5	7	0	0.047835	0.005000	5	7	0	-0.192989	0.002500
6	7	0	0.339517	0.005000	6	7	0	-0.305383	0.002500
6	8	0	0.280829	0.005000	6	8	0	-0.284348	0.002500
6	10	0	0.374441	0.005000	6	10	0	-0.314810	0.002500
7	11	0	0.433279	0.005000	7	11	0	0.141992	0.002500
7	15	0	-0.298026	0.005000	7	15	0	-0.199797	0.002500
8	9	0	-0.014392	0.005000	8	9	0	0.059358	0.002500
8	14	0	0.070941	0.005000	8	14	0	-0.262710	0.002500
9	3	0	0.479772	0.005000	9	3	0	-0.286903	0.002500
10	14	0	0.152624	0.005000	10	14	0	-0.237162	0.002500
14	16	0	0.221324	0.005000	14	16	0	-0.069484	0.002500

Nota: sólo se muestran los flujos de un lado de las líneas, ya que sólo nos interesan los valores de P y Q de forma cualitativa.

Con este ensayo queda esclarecido que cuando la susceptancia toma valores bastante pequeños, no sólo no se consigue identificar un error en los parámetros, si no que no es detectable incluso. Mientras que, cuando los valores de dicho parámetro son medios o relativamente altos, se detecta e identifica el error sea cual sea el flujo de potencia activa que circule por la rama que forma un k-tuple.

Para valores altos o medios de la resistencia, sigue siendo factible identificar el error de este parámetro en ramas k-tuple si los flujos de P no son muy pequeños, o pequeños o muy pequeños respectivamente. Verificándose así las conclusiones antes obtenidas.

Con la reactancia, salvo que el valor del flujo por la rama que forma el corte doble sea muy pequeño, si el valor del parámetro es medio o alto, se podrá identificar un error en dicho parámetro.

Nota: los flujos de Q son pequeños o muy pequeños en todas las redes estudiadas, luego no influyen en la detección o identificación de errores en los parámetros.

4.2.6 Conclusiones sobre la detección de errores en ramas que son cortes dobles

Sí es posible identificar errores en los parámetros de ramas que formen cortes dobles.

Redes cargadas

- Un error en una resistencia puede identificarse siempre que el flujo de potencia activa por la rama que forma un corte doble sea alto, y además el valor de la resistencia no sea pequeño.
- Una resistencia de valor alto o muy alto permite la identificación de un error si el flujo de potencia activa es pequeño o mayor, nunca si es muy pequeño.
- Si el valor de la resistencia es medio, se identificará un error en este parámetro si el flujo de potencia activa es medio o alto. Nunca si el flujo es pequeño.
- Cuando el error se produce en una reactancia, sea de valor medio o grande, permite la identificación de dicho error siempre que el flujo de potencia activa no sea muy pequeño. Sí cuando el flujo sea grande, medio o incluso pequeño.
- Parece ser que la reactancia es más sensible a errores que la resistencia.
- Un error en la susceptancia se identifica para cualquier flujo de potencia activa siempre y cuando el valor de dicho parámetro no sea pequeño. Incluso hay casos donde no son ni detectados los errores.
- Cuanto mayor sea el valor del parámetro (donde se produce el error) o el flujo de potencia activa más fácil será identificar un error en la rama k-tuples.
- Cuanto mayor es el error producido en un parámetro, más fácil resulta identificar el error.

Redes poco cargadas

- Un error en una resistencia puede identificarse siempre que el flujo de potencia activa por la rama que forma un corte doble sea alto, y además el valor de la resistencia no sea pequeño.
- Una resistencia de valor alto o muy alto permite la identificación de un error si el flujo de potencia activa es medio o mayor, nunca si es pequeño.
- Si el valor de la resistencia es medio, se identificará un error en este parámetro si el flujo de potencia activa es alto. Nunca si el flujo es medio o menor.
- Cuando el error se produce en una reactancia, sea de valor medio o grande, permite la identificación de dicho error siempre que el flujo de potencia activa no sea pequeño. Sí cuando el flujo sea grande o medio.
- Parece ser que la reactancia es más sensible a errores que la resistencia.

- Un error en la susceptancia se identifica para cualquier flujo de potencia activa siempre y cuando el valor de dicho parámetro no sea pequeño. Incluso hay casos donde no son ni detectados los errores.
- Cuanto mayor sea el valor del parámetro (donde se produce el error) o el flujo de potencia activa más fácil será identificar un error en la rama k-tuples.
- Cuanto mayor es el error producido en un parámetro, más fácil resulta identificar el error.

Nota: las redes poco cargadas con respecto a las más cargadas imponen condiciones más restrictivas en los valores de los flujos de potencia activa o en el tamaño del parámetro.

4.2.7 Observación

Como hemos observado, si es posibles identificar un error en un parámetro de una rama que forma un corte doble. Sin embargo, esto está supeditado a unas condiciones de flujo de potencia activa y tamaño del parámetro. ¿Cuál es el problema que impide la identificación de cualquier error en una rama que forma un corte doble?

Tras el estudio anterior de los distintos casos, se ha llegado a la conclusión de que el principal problema es la relación existente entre las ramas que forman un k-tuple. Esto se traduce en que, al producirse un error en uno de los parámetros de dichas ramas, se induce a la vez un error de valor normalizado similar en otra de las ramas que forma el corte doble.

Puede concluirse, además, que cuando en una rama se produce un corte doble y no es identificado, sino únicamente detectado, se debe a este fenómeno de inducción de error.

Aplicado a un ejemplo, lo que se explica es: dada una red con un determinado número de nudos donde las ramas 2-3, 3-4 y 4-5 forman un corte. Al producirse en un error en uno de los parámetros de la rama 2-3, por ejemplo, si las condiciones del valor del error, el parámetro o la potencia no son favorables, no se identifica el error, sólo de detecta.

Esto se debe a que el error inducido en una de las otras ramas que componen el k-tuple (3-4 o 4-5) tienen un error normalizado similar al generado en la rama 2-3, lo que imposibilita la identificación de dicho error.

Nota: el error inducido en este otro parámetro puede producirse en una resistencia o en una reactancia. En ninguno de los casos estudiado se ha producido el error en una susceptancia.

A continuación, se mostrarán algunos de los ejemplos donde esto queda reflejado.

4.2.7.1 Ejemplo 1

En este caso, se produce un error del 20% en la rama 2-4 que forma un corte doble junto con las ramas 2-5, 4-7, 7-9 y 5-6.

Tabla 49: Resultados ejemplo 1

Medida	Valor	Desv.std	Estimado	Desv.std	R.N.
R ser 2 4 0	0.0697	0.0014	0.0673	0.0012	3.8
X ser 4 5 0	0.0421	0.0010	0.0418	0.0010	3.4
R ser 2 5 0	0.0570	0.0011	0.0584	0.0011	3.3
Q ij. 2 4 0	0.1576	0.0119	0.1415	0.0055	1.5
Q ij. 4 2 0	-0.1119	0.0119	-0.0963	0.0054	1.5
Q ij. 2 5 0	0.2186	0.0119	0.2337	0.0055	1.4

Tal y como puede verse en la **Tabla 49** el error que se produce en la resistencia de la rama 2-4 se detecta, pero no puede identificar, ya que se induce un error similar en la resistencia de la rama 2-5 que forma k-tuples. En este caso además se induce uno en otra rama que no forma k-tuples, pero esto no siempre es así.

Cuando se produce un error de un 10% en la rama 2-5 ocurre algo similar, pero con la rama 2-4:

Tabla 50: Resultados ejemplo 1

Medida	Valor	Desv.std	Estimado	Desv.std	R.N.
R ser 2 5 0	0.0626	0.0013	0.0616	0.0011	1.9
X ser 4 5 0	0.0421	0.0010	0.0423	0.0010	1.7
R ser 2 4 0	0.0581	0.0012	0.0589	0.0011	1.7
Q ij. 2 5 0	0.2186	0.0119	0.2101	0.0055	0.8
Q ij. 5 2 0	-0.1671	0.0119	-0.1592	0.0054	0.8
Q ij. 2 4 0	0.1576	0.0119	0.1651	0.0054	0.7

Cuando analizamos que ocurre en la reactancia, el resultado es similar:

Tabla 51: Resultados ejemplo 1

Medida	Valor	Desv.std	Estimado	Desv.std	R.N.
X ser 2 4 0	0.1940	0.0039	0.1847	0.0027	3.3
X ser 2 5 0	0.1739	0.0035	0.1811	0.0026	3.1
Iij ² 2 4 0	0.4928	0.0050	0.4910	0.0029	0.5
Iij ² 4 2 0	0.5030	0.0050	0.5012	0.0029	0.4
Q ij. 5 2 0	-0.1671	0.0119	-0.1631	0.0054	0.4
R ser 2 4 0	0.0581	0.0012	0.0579	0.0011	0.4

Tabla 52: Resultados ejemplo 1

Medida	Valor	Desv.std	Estimado	Desv.std	R.N.	
X ser	2 5 0	0.1913	0.0038	0.1818	0.0026	3.3
X ser	2 4 0	0.1763	0.0035	0.1836	0.0026	3.1
X ser	4 5 0	0.0421	0.0010	0.0422	0.0010	0.6
R ser	2 5 0	0.0570	0.0011	0.0567	0.0011	0.6
R ser	2 4 0	0.0581	0.0012	0.0584	0.0011	0.6
Iij ²	2 5 0	0.5079	0.0050	0.5062	0.0029	0.4

Vemos que ocurre exactamente lo mismo que en el caso de la resistencia.

Mostramos a continuación un par de ejemplos más con otras ramas que forman k-tuples.

Tabla 53: Resultados ejemplo 1

Medida	Valor	Desv.std	Estimado	Desv.std	R.N.	
R ser	6 12 0	0.1475	0.0029	0.1429	0.0027	3.6
X ser	12 13 0	0.1999	0.0040	0.1982	0.0040	3.4
R ser	6 13 0	0.0662	0.0013	0.0679	0.0012	3.3
R ser	12 13 0	0.2209	0.0044	0.2197	0.0044	2.6
Q ij.	6 12 0	0.1052	0.0025	0.1022	0.0014	1.5
X ser	6 13 0	0.1303	0.0026	0.1322	0.0023	1.5

Tabla 54: Resultados ejemplo 1

X ser	12 13 0	0.3398	0.0068	0.3339	0.0067	4.4
R ser	6 12 0	0.1229	0.0025	0.1196	0.0023	4.1
R ser	6 13 0	0.0662	0.0013	0.0680	0.0012	3.6
X ser	6 13 0	0.1303	0.0026	0.1341	0.0023	3.0
Q ij.	13 12 0	-0.0363	0.0025	-0.0319	0.0012	2.0
Q ij.	12 13 0	0.0366	0.0025	0.0323	0.0012	2.0

4.2.7.2 Ejemplo 2

En este caso, se produce un error del 50% en la rama 4-13 que forma un corte doble junto con la rama 13-5.

Tabla 55: Resultados ejemplo 2

Medida	Valor	Desv.std	Estimado	Desv.std	R.N.
R ser 4 13 0	0.0384	0.0010	0.0337	0.0008	7.8
R ser 13 5 0	0.0665	0.0013	0.0708	0.0012	7.7
R ser 4 5 0	0.0170	0.0010	0.0199	0.0009	7.0
Q ij. 4 13 0	0.0133	0.0025	0.0089	0.0020	3.0
Q ij. 13 4 0	-0.2175	0.0025	-0.2128	0.0019	2.9
X ser 13 5 0	0.0940	0.0019	0.0925	0.0018	2.4

Tabla 56: Resultados ejemplo 2

Medida	Valor	Desv.std	Estimado	Desv.std	R.N.
R ser 13 5 0	0.0998	0.0020	0.0899	0.0017	9.2
R ser 4 13 0	0.0256	0.0010	0.0306	0.0008	9.0
R ser 4 5 0	0.0170	0.0010	0.0140	0.0009	8.1
Q ij. 4 13 0	0.0133	0.0025	0.0183	0.0020	3.4
Q ij. 13 4 0	-0.2175	0.0025	-0.2223	0.0019	3.0
Q ij. 5 13 0	-0.0205	0.0025	-0.0249	0.0017	2.4

Tal y como puede verse en la **Tabla 55**, el error que se produce en la resistencia de la rama 4-13 se detecta, pero no puede identificar, ya que se induce un error similar en la resistencia de la rama 13-5 que forma k-tuples. Ocurre lo mismo cuando el error se produce en la rama 13-5, **Tabla 56**, donde el error normalizado en la resistencia es similar al de la rama del mismo k-tuple, 4-13.

Vemos que le ocurre a la reactancia de la rama 13-5:

Tabla 57: Resultados ejemplo 2

Medida	Valor	Desv.std	Estimado	Desv.std	R.N.
X ser 13 5 0	0.1128	0.0023	0.1102	0.0021	3.1
X ser 4 13 0	0.1154	0.0023	0.1202	0.0016	2.9
X ser 4 5 0	0.0920	0.0018	0.0900	0.0017	2.7
R ser 4 13 0	0.0256	0.0010	0.0250	0.0008	1.0
R ser 13 5 0	0.0665	0.0013	0.0669	0.0012	0.7
R ser 4 5 0	0.0170	0.0010	0.0173	0.0009	0.7

El resultado es igual que en los casos anteriores, se induce un error de valor normalizado similar en otra de las ramas que forman el corte doble.

4.2.7.3 Ejemplo 3

Concluyendo con este último ejemplo, se produce un error del 50% en la rama 6-7 que forma un corte doble junto con la rama 7-8, 8-10 y 10-11. Consecuentemente, en el resto de ramas que componen el corte doble se irá provocando un error una por una.

Tabla 58: Resultados ejemplo 3

Medida	Valor	Desv.std	Estimado	Desv.std	R.N.
X ser 6 7 0	0.0762	0.0015	0.0661	0.0012	10.7
X ser 7 8 0	0.0720	0.0014	0.0776	0.0013	10.6
X ser 8 6 0	0.1410	0.0028	0.1433	0.0028	5.5
X ser 12 6 0	0.1650	0.0033	0.1688	0.0032	3.8
P ij. 6 8 0	0.0234	0.0050	0.0361	0.0021	2.8
P ij. 8 6 0	-0.0233	0.0050	-0.0360	0.0021	2.8

Tabla 59: Resultados ejemplo 3

Medida	Valor	Desv.std	Estimado	Desv.std	R.N.
X ser 7 8 0	0.1080	0.0022	0.0984	0.0019	8.8
X ser 6 7 0	0.0508	0.0010	0.0549	0.0009	8.8
X ser 12 6 0	0.1650	0.0033	0.1624	0.0032	3.1
P ij. 8 7 0	0.1832	0.0050	0.1717	0.0023	2.6
P ij. 7 8 0	-0.1807	0.0050	-0.1695	0.0022	2.5
P ij. 6 8 0	0.0234	0.0050	0.0127	0.0020	2.3

Tabla 60: Resultados ejemplo 3

Medida	Valor	Desv.std	Estimado	Desv.std	R.N.
X ser 8 10 0	0.0780	0.0016	0.0728	0.0014	7.6
R ser 10 11 0	0.0415	0.0010	0.0432	0.0010	7.5
R ser 11 12 0	0.0654	0.0013	0.0625	0.0011	4.5
X ser 8 12 0	0.0420	0.0010	0.0434	0.0009	4.1
P ij. 8 10 0	0.1762	0.0050	0.1644	0.0025	2.7
P ij. 10 8 0	-0.1734	0.0050	-0.1618	0.0024	2.6

Tabla 61: Resultados ejemplo 3

Medida	Valor	Desv.std	Estimado	Desv.std	R.N.
X ser 10 11 0	0.0878	0.0018	0.0819	0.0016	7.5
R ser 8 10 0	0.0701	0.0014	0.0650	0.0012	7.5
X ser 11 12 0	0.0650	0.0013	0.0682	0.0011	5.1
R ser 11 12 0	0.0654	0.0013	0.0685	0.0011	4.8
R ser 8 12 0	0.0190	0.0010	0.0207	0.0009	3.6
Q ij. 11 10 0	-0.1596	0.0025	-0.1557	0.0017	2.1

No sólo se puede apreciar este fenómeno de por qué bajo ciertas condiciones de potencia y valor del parámetro no se puede identificar el error, sino también que en algunos casos las ramas están aparejadas dos a dos. En otras palabras, un error en un parámetro en la rama 6-7 induce un error de valor normalizado similar en 7-8, y viceversa. Lo mismo ocurre con 8-10 y 10-11, aunque estas cuatro ramas mencionadas pertenezcan al mismo k-tuple.

4.3 Conclusión final

Parecen no ser del todo ciertas las afirmaciones que Ali Abur presentaba en su estudio. Ya que, bajo ciertas circunstancias si es posible detectar errores en parámetros de ramas radiales e identificar errores en parámetros en ramas que forman cortes dobles.

Existen determinadas circunstancias bajo las cuales, si se identifican o detectan dichos errores, aunque bien es cierto que, bajo otras, no es posible, y se cumple lo afirmado por el nombrado autor.

REFERENCIAS

- [1] Liuxi Zhang, Student Member, IEEE, and Ali Abur, Fellow, IEEE, «Single and Double Edge Cutset Identification in Large Scale Power Networks» IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, VOL. 27, NO. 1, FEBRUARY 2012

- [2] Jun Zhu and Ali Abur, Fellow, IEEE, «Improvements in Network Parameter Error Identification via Synchronized Phasors» IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, VOL. 27, NO. 1, FEBRUARY 2010.

- [3] M^a José Toronjo Márquez estudiante ETSI Sevilla y Antonio de la Villa Jaén, tutor, «Análisis de la estimación de parámetros críticos en sistemas de potencia empleando la topología de red» Proyecto Fin de Carrera de Ingeniería Industrial, Dep. Ingeniería Eléctrica, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla, 2015.