

Proyecto Fin de Carrera

Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales

Análisis de flujos de cargas lineales en redes de distribución con generación distribuida

Autor: Gonzalo Luis Muñoz Corona

Tutor: Esther Romero Ramos

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

Sevilla, 2022



Análisis de flujos de cargas lineales en redes de distribución con generación distribuida

Autor:

Gonzalo Luis Muñoz Corona

Tutora:

Esther Romero Ramos

Catedrática

Dpto. de Ingeniería Eléctrica

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2022

Proyecto Fin de Carrera: Análisis de flujos de cargas lineales en redes de distribución con generación distribuida

Autor: Gonzalo Luis Muñoz Corona

Tutor: Esther Romero Ramos

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

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2022

El Secretario del Tribunal

*A mi familia por su apoyo y
comprensión*

A mis amigos

Agradecimientos

Agradezco a todos los profesores que me han enseñado y de los que he aprendido alguna lección. Agradecer especialmente a Esther Romero su facilidad y la libertad que me ha dado para plantear este proyecto. A todos los que me han insistido en presentarlo, porque de no ser así aún estaría programando los códigos o leyendo artículos. Sobre todo, especial mención a todas las personas que he conocido en esta etapa tan increíble y que gracias a ellos he podido lograr el objetivo de finalizar el grado. Sin ese apoyo mutuo en esos duros momentos, que no han sido pocos, pero que se amenizan en compañía sería imposible, esas tardes en bibliotecas, esas charlas por Discord... Al final a todas las circunstancias tanto buenas como malas que se me han planteado durante estos años porque son me han hecho desarrollarme y poder crecer como persona.

Este trabajo muestra varias formas de resolver el llamado problema de flujos de cargas que hay en todas las redes eléctricas de forma lineal. La búsqueda de nuevas formas de resolver este problema es algo que no ha cesado nunca. En particular, aplicaremos dos métodos para resolver estas ecuaciones planteando una serie de hipótesis que nos permiten linealizarlas y agilizar el mencionado problema, que tradicionalmente se resuelve de forma iterativa ya que el sistema es no lineal. Esta no linealidad y la complejidad de construir los métodos iterativos es la causa de la búsqueda de nuevas formas de resolverlo ya que, aunque la tecnología juega a favor pues permite el cálculo de operaciones con mayor celeridad, es cierto también que las redes eléctricas son cada vez más complejas. Este es el gran atractivo de los métodos lineales, la simplicidad y rapidez. Los métodos lineales pueden servir de precálculo antes de realizar un flujo por los métodos tradicionales, que al fin y al cabo, son los que se aceptan como solución verdadera, y que estos tarden menos en encontrar dicha solución, algo muy importante para la correcta operación de cualquier sistema eléctrico; o incluso servir para modelos de optimización de redes, en lo que respecta a su configuración, coste operacional donde realmente no sea necesario hacer un cálculo tan exacto. Sin embargo, veremos que también tienen limitaciones, especialmente según la tipología de red y nudos, y a que las hipótesis de partida pueden no cumplirse.

Además, uno de los métodos que se estudia está específicamente planteado para redes de generación distribuida, esas que, poco a poco, están siendo implementadas en los sistemas eléctricos y cuyo modelado, comportamiento y simulación es necesario conocer. Las redes de generación distribuida, como su nombre indica, modela redes donde los puntos de generación están cerca de los puntos de consumo. Este es el caso de muchos parques fotovoltaicos y eólicos que se encuentran cercanos a grandes puntos de consumo y que por sus características serán modelados de una forma particular, a diferencia de los nudos de generación que se plantean normalmente en los flujos de carga. Comprobaremos el impacto positivo que tienen este tipo de redes ya que al estar los puntos de generación cerca de los puntos de consumo, no es necesario transportar tanta energía eléctrica por la red y que lleva asociada mayores pérdidas de potencia.

Para el análisis de estos métodos se realizan, para cada uno, un programa que lee ficheros de texto similares a los que se utilizan en los programas de sistemas eléctricos de potencia en los que aparece los datos de la red y en base a estos proceder a su resolución y guardar los datos de la solución, para luego ser comparada y analizada.

Por último, veremos como ambos modelos, si se elige convenientemente la red, llega soluciones bastante acertadas pues los errores son muy pequeños, comparada con la solución del flujo de cargas iterativa.

Abstract

This final project shows some ways to solve the Power Flow problem in electric networks with linear equations. The research of new ways to solve this has never stopped. In this case, we will apply two methods to solve the equations making some hypotheses that allow us to linearise them and make easier and faster the problem that traditionally is solved with iterative methods as consequence of the non linear equations of Power Flow. This non linearity and also the complexity of building the iterative methods is the reason of researches of new ways to solve. Despite of new technology with more capacity of process permits get faster the results, is true the electrical networks are more complex nowadays. This is what makes more attractive the linear methods: simplicity and quickness. Linear methods can be useful for a precalculus before doing a power flow with traditional methods., that in the end, their results are considered valid ones, and them take less time to find the solution, something that is so important for the operation of electric systems. Or even they can be useful for optimization models in networks, according to their configuration, operational cost in which it is not necessary an exact calculus. However, we will see some limits, specially related with network topology and node's types and some assumptions can't be achieved.

Moreover, one of the analysed linear methods is specifically designed for distribution electric networks with distributed generation (DG). These networks are little by little taking place in electrical systems whose modeling, behaviors and simulation are necessary to be known. Networks with DGs are those ones where generation points are close to demanding points. This is the case of many PV plants and wind farms that are close to big demanding points, in contrast with big points of generation (nuclear plants or conventional plants) exposed in power flows. We will check the positive impact these kind of networks make because they imply no to transport so much energy in lines causing less losses in them.

For their analysis of these methods, files are created modeling the networks parameters similar to the typical ones used in power systems softwares. These parameters are used to solve the power Flow equations and, then save the data results to be analysed and compared.

Finally, we will see that, if we choose conveniently the network, we will get solutions very close to the iterative methods with small errors.

Índice

Agradecimientos	viii
Resumen	ix
Abstract	x
Índice	xi
Índice de Tablas	xiii
Índice de Figuras	xvi
Notación	xviii
1 Introducción. El problema de Flujo de Cargas	19
2 Objetivos	21
3 Modelos de flujo de cargas lineales	11
3.1 <i>Modelo Lineal 1: ModifiedDistFlow</i>	12
3.1.1 Ecuaciones de ramas entre dos nudos	12
3.1.2 Expresión de potencias en las ramas y ecuación general del modelo	14
3.1.3 Generalización	16
3.2 <i>Modelo Lineal 2 o modelo de generación distribuida (DG)</i>	20
3.2.1 Consideraciones y ecuaciones de partida	20
3.2.2 Tipos de nudos planteados	20
3.2.3 Modelo simplificado de generación distribuida	22
3.2.4 Cálculo de las ecuaciones de flujo de carga lineal	23
3.2.5 Generalización	24
4 Validación de resultados	28
4.1 <i>Programa Modelo lineal 1</i>	29
4.1.1 Validación de resultados Modelo Lineal 1	30
4.2 <i>Programa modelo Lineal 2</i>	32
4.2.1 Validación de resultados de Modelo Lineal 2	33
5 Experimentos	36
5.1 <i>Comparación Modelo Lineal 1 y Modelo Lineal 2</i>	36
5.1.1 Red IEEE 33 BUS SYSTEM	36
5.1.2 Red IEEE 33 BUS SYSTEM Doble Carga	39
5.1.3 Red IEEE 69 BUS SYSTEM con $V_0=1.05$ p.u.	42
5.2 <i>Redes malladas</i>	46
5.2.1 Red IEEE 119 BUS SYSTEM	46
5.3 <i>Redes de generación distribuida (DG)</i>	51
5.3.1 Red IEEE 69 BUS SYSTEM CON DG	51
5.3.2 Red IEEE 119 BUS SYSTEM con DG	57

5.3.3 Red IEEE 119 BUS SYSTEM con DG y sobrecarga	60
6 Conclusiones	64
Referencias	65
Anexos	66
<i>Resultados IEEE 33</i>	66
<i>Resultados IEEE 33 con sobrecarga</i>	71
<i>Resultados IEEE 69</i>	75
<i>Resultados red IEEE 119</i>	85
<i>Red IEEE 69 con DG prueba 1</i>	101
<i>Resultados IEEE 69 con DG prueba 2</i>	108
<i>Resultados IEEE 119 con DG</i>	114
<i>Resultados IEEE 119 con DG y sobrecarga</i>	125
<i>Código 1 Modelo Lineal 1</i>	139
<i>Código Modelo Lineal 2</i>	143
Glosario	150

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de los tipos de nudos en función de los parámetros conocidos (Si) o no (¿?)	19
Tabla 2 Errores en tensión con Modelo Lineal 1 en IEEE 33	30
Tabla 3 Identificación tipos de nudos Modelo Lineal 2 2	33
Tabla 4 Errores en IEEE 33 sin nudos DG	33
Tabla 5 Parámetros nudos DG en IEEE 33	34
Tabla 6 Errores en IEEE 33 con nudos DG (PQ y PV)	34
Tabla 7 Errores en IEEE 33 con todos los nudos DG	34
Tabla 8 Errores en IEEE 69 sin nudos DG	34
Tabla 9 Errores en IEEE 119 sin DG	35
Tabla 10 Errores en potencia activa en ambos modelos para IEEE 33	38
Tabla 11 Errores en potencia reactiva en ambos modelos en IEEE 33	38
Tabla 12 Resumen generación y pérdidas en IEEE 33	39
Tabla 13 Desfase para Modelo Lineal 2 en IEEE 33	39
Tabla 14 Errores relativos en tensión en ambos modelos para red IEEE 33 con sobrecarga	40
Tabla 15 Errores en potencia activa de ambos modelos para IEEE 33 con sobrecarga	41
Tabla 16 Errores relativos de ambos modelos para IEEE 33 con sobrecarga	41
Tabla 17 Generación y pérdidas en IEEE 33 con sobrecarga	42
Tabla 18 Desfase Modelo 2 en IEEE 33 con sobrecarga	42
Tabla 19 Errores en tensión para IEEE 69	43
Tabla 20 Errores potencia activa en ramas en IEEE 69	44
Tabla 21 Errores potencia reactiva en ambos modelos para IEEE 69	45
Tabla 22 Resultados generación y pérdidas para IEEE 69	46
Tabla 23 Error absoluto en desfase Modelo 2 en IEEE 69	46
Tabla 24 Errores en tensión para IEEE 119	48
Tabla 25 Errores en flujo de potencia en ramas en IEEE 119	49
Tabla 26 Errores en potencia reactiva en red IEEE 119	50
Tabla 27 Resultados de generación y pérdidas en IEEE 119	51
Tabla 28 Parámetros DG para IEEE 69	51
Tabla 29 Errores en tensión con respecto al modelo a Matpower del Modelo Lineal 2 en red 69 con DG	53
Tabla 30 Errores en flujo de potencia en las ramas Modelo Lineal 2 con DG	54
Tabla 31 Resultados de generación y pérdidas IEEE 69 con DG	54
Tabla 32 Comparación errores absolutos en desfase con DG y sin DG para IEEE 69	54

Tabla 33	Parámetros nudos de generación Prueba 2	55
Tabla 34	Errores en tensión Modelo lineal 2 en IEEE 69 prueba 2	56
Tabla 35	Errores en flujos de potencia Modelo Lineal 2 en IEEE 69 prueba 2	57
Tabla 36	Resultados generación y pérdidas en IEEE 69 con DG prueba 2	57
Tabla 37	Errores desfase Modelo Lineal 2 para IEEE 69 prueba 2	57
Tabla 38	Parámetros nudos de generación para IEEE 119	58
Tabla 39	Errores en tensión Modelo Lineal 2 en IEEE 119 con DG	58
Tabla 40	Errores flujos de potencia Modelo Lineal 2 en IEEE 119 con DG	59
Tabla 41	Errores en desfase Modelo Lineal 2 en IEEE 69 con DG	60
Tabla 42	Resultados generación y pérdidas en red IEEE 119 con DG	60
Tabla 43	Parámetros nudos generación para IEEE 119 con DG y sobrecarga	61
Tabla 44	Errores en fase y módulo de la tensión en Modelo Lineal 2 para IEEE 119 con DG y sobrecarga	62
Tabla 45	Errores en flujo de potencias en Modelo Lineal 2 para IEEE 119 con DG y sobrecarga	63
Tabla 46	Resultados generación y pérdidas IEEE 119 con DG y sobrecarga	63
Tabla 47	Parámetros nudos IEEE 33 (potencia 'slack' calculada modelo 1)	67
Tabla 48	Parámetros ramas IEEE 33	68
Tabla 49	Tensiones y errores en tensión IEEE 33	68
Tabla 50	Errores en potencia activa en ramas IEEE 33	69
Tabla 51	Errores en potencia reactiva ramas IEEE 33	70
Tabla 52	Desfase y errores absolutos de los mismos en IEEE 33	71
Tabla 53	Parámetros nudos IEEE 33 con sobrecarga (potencia 'slack' calcula en modelo 1)	72
Tabla 54	Tensiones y errores en tensión IEEE 33 con sobrecarga	72
Tabla 55	Desfase y error en desfase IEEE 33 con sobrecarga (Modelo 1, desfase no se tiene en cuenta)	73
Tabla 56	Errores en potencia activa en ramas IEEE 33 con sobrecarga	74
Tabla 57	Errores en potencia reactiva ramas IEEE 33 con sobrecarga	75
Tabla 58	Parámetros nudos IEEE 69 (resultados de tensión modelo 1)	77
Tabla 59	Parámetros ramas IEEE 69	78
Tabla 60	Errores tensiones Modelos 1 y 2 IEEE 69	80
Tabla 61	Errores desfase de tensión Modelo 2 IEEE 69 (Modelo 1 no se tiene en cuenta)	81
Tabla 62	Errores potencia activa en ramas Modelos 1 y 2 IEEE 69	83
Tabla 63	Errores potencia reactiva en ramas Modelo 1 y 2 IEEE 69	84
Tabla 64	Parámetros nudos IEEE 119 (resultado de slack Modelo 2)	87
Tabla 65	Parámetros ramas IEEE 119	90
Tabla 66	Errores tensión (%) IEEE 119	93
Tabla 67	Errores (%) potencia activa en ramas IEEE 119	96
Tabla 68	Errores (%) potencia reactiva en ramas IEEE 119	99
Tabla 69	Errores desfase en nudos IEEE 119	101
Tabla 70	Errores en tensión IEEE 69 con DG modelo 2	103

Tabla 71 Error en desfase para IEEE 69 con DG	104
Tabla 72 Errores en potencias activa IEEE con DG Modelo 2	106
Tabla 73 Errores potencia reactiva con IEEE 69 con DG	108
Tabla 74 Error en tensión IEEE 69 con DG prueba 2	109
Tabla 75 Error absoluto desfase IEEE 69 con DG prueba 2	111
Tabla 76 Errores en IEEE 69 con DG prueba 2	112
Tabla 77 Errores fase nudos IEEE 69 con DG prueba 2	114
Tabla 78 Errores (%) tensión nudos IEEE 119 con DG	117
Tabla 79 Errores absolutos desfase IEEE 119 con DG	119
Tabla 80 Errores en IEEE 119 con DG	122
Tabla 81 Errores en potencia reactiva IEEE 119 con DG	125
Tabla 82 Parámetros nudos IEEE 119 con DG sobrecarga	128
Tabla 83 Errores (%) tensión nudos IEEE 119 con DG y sobrecarga	130
Tabla 84 Errores absolutos desfase tensión en IEEE 119 con DG y sobrecarga	133
Tabla 85 Errores en flujo de potencia activa IEEE 119 con DG y sobrecarga	136
Tabla 86 Errores en potencia reactiva en IEEE 119 con DG y sobrecarga	139

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Ilustración 1 Distribución del error en tensión</i>	12
Ilustración 2 Modelo de rama entre dos nudos	12
Ilustración 3 Triángulo de tensiones entre dos nudos unidos por una rama	13
Ilustración 4	17
Ilustración 5 Fichero de texto con los parámetros de red	28
Ilustración 6 (arriba) errores en tensión con respecto al flujo resuelto con método de Newton con ambos métodos,	
Ilustración 7 errores en potencia activa en las ramas usando solo el método 2 (medio) e Ilustración 8 (abajo) potencia reactiva en ramas utilizando solo el método 2	32
Ilustración 9 Red IEEE 33	36
Ilustración 10 Errores relativos en tensión de Modelos Lineales para IEEE 33	37
Ilustración 11 Flujo de potencia activa en las ramas y errores en ambos modelos para IEEE 33	37
Ilustración 12 Flujo de potencia reactiva en ramas y errores en ambos modelos para IEEE 33	38
Ilustración 13 Pérdidas en las ramas en ambos modelos y en modelo AC en IEEE 33	39
Ilustración 14 Tensión en los nudos IEEE 33 con sobrecarga y errores de los modelos	40
Ilustración 15 Flujo de potencia activa en ramas y errores de ambos modelos para IEEE 33 con sobrecarga	40
Ilustración 16 Flujo de potencia reactiva en ramas y errores de ambos modelos para IEEE 33 con sobrecarga	41
Ilustración 17 Pérdidas en las ramas para IEEE 33 con sobrecarga	42
Ilustración 19 Red IEEE 69	43
Ilustración 19 Tensión en nudos y errores en ambos modelos en IEEE 69	43
Ilustración 20 Flujo de potencia activa en ramas y errores en ambos modelos en IEEE 69	44
Ilustración 22 Flujo de potencia reactiva y errores en ambos modelos en IEEE 69	45
Ilustración 23 Pérdidas en las ramas para modelo AC y modelos lineales para IEEE 69	45
Ilustración 23 Red IEEE 119	47
Ilustración 24 Tensiones en los nudos en IEEE 119 y errores relativos	48
Ilustración 25 Flujo de potencia activa y errores Modelo Lineal 2 y versionado para IEEE 119	49
Ilustración 26 Flujo de potencia reactiva y errores en Modelo Lineal 2 y su versión para IEEE 119	50
Ilustración 27 Pérdidas en las ramas en IEEE 119	51
Ilustración 28 Tensión en nudos en IEEE 69 para el caso de nudos DG y errores con modelo 2	52
Ilustración 29 Flujo de potencia activa en ramas de IEEE 69 con DG	53
Ilustración 30 Flujo de potencia reactiva en IEEE 69 con DG	53
Ilustración 31 Tensión y errores en tensión en IEEE 69 con DG prueba 2	55
Ilustración 32 Flujo de potencia activa en ramas de IEEE 69 con DG prueba 2	55
Ilustración 33 Flujo de potencia reactiva en ramas y error de IEEE 69 con DG prueba 2	56

Ilustración 34 Pérdidas en IEEE 69 con DG prueba 2	56
Ilustración 35 Tensiones y error en los nudos de red IEEE 119 con DG	58
Ilustración 36 Flujo de potencia activa y errores en ramas de IEEE 119 con DG	59
Ilustración 37 Flujo de potencia reactiva errores en ramas de IEEE 119 con DG	59
Ilustración 38 Pérdidas en las ramas para IEEE 119 con DG	60
Ilustración 39 Errores en tensión Modelo Lineal 2 para IEEE 119 con sobrecarga	61
Ilustración 40 Flujo de potencia activa y error en Modelo lineal 2 para IEEE 119 con DG y sobrecarga	62
Ilustración 41 Flujo de potencia reactiva y error en Modelo Lineal 2 para IEEE 119 con DG y sobrecarga	62
Ilustración 42 Pérdidas de potencia activa en las ramas en IEEE 119 con DG y sobrecarga	63

Notación

P_i	Potencia neta activa inyectada en el nudo i
Q_i	Potencia neta reactiva inyectada en el nudo i
V_i	Tensión (módulo) en nudo i
P_{ij}, Q_{ij}	Flujo de potencia activa desde nudo i a nudo j
U_i, \mathcal{U}_i	Tensión compleja en nudo i
δ_i	Tensión (fase) en nudo i
G_{ij}	Componente de matriz de admitancia correspondiente a la conductancia entre i - j
B_{ij}	Componente de matriz de admitancia correspondiente a la susceptancia entre i - j
R_{ij}	Resistencia serie entre i y j
X_{ij}	Reactancia serie entre i y j
Z_{ij}	Impedancia serie entre i y j
δ_{ij}	Desfase entre los ángulos de las tensiones de los nudos i y j
W_i	Inversa de tensión (módulo) en nudo i
N, n, n_G	Número de nudos de la red ($N \equiv n$) y número de nudos de generación sin incluir 'slack' (n_G)
N_c	Conjunto de nudos vecinos
Ω_{ij}	Conjunto de nudos raíces desde el nudo de referencia
T	Matriz de caminos
A	Matriz de incidencias
P_N, Q_N	Matriz diagonal de potencia activa/reactiva del mismo orden que T
W_R	Vector de inversa de tensiones (módulo) excepto 'slack'
V_0	Módulo tensión en nudo 'slack'
R_N, X_N	Matriz diagonal de resistencias/reactancias del mismo orden que T
P_{Br}, Q_{Br}	Vector de flujo de potencias activa/reactiva en ramas
P_G, Q_G	Potencia activa/reactiva generada
V_G, I_G	Tensión e intensidad inyectada en el nudo i
P_{Li}, Q_{Li}	Potencia consumida en nudo i
P_{Gi}	Potencia generada en nudo i
$K_{2,i}, K_{1,i}, K_{0,i}$	Constantes de potencia reactiva para nudos DG
D_P, D_Q	Vector que agrupa términos de potencia activa/reactiva en Modelo Lineal 2
P_S, Q_S	Matriz de potencia activa/reactiva en nudo de referencia
P_F, Q_F	Matriz de potencia activa/reactiva asociada a nudos no-PV
P_M, Q_M	Matriz de potencia activa/reactiva asociada nudos PV
δ	Vector de desfases en nudos de red
G	Matriz de conductancias de dimensiones igual a número de nudos de la red
B	Matriz de susceptancias de dimensiones igual a número de nudos de la red
W	Vector de inversa de tensiones de dimensiones $2n-n_G-1$
$P_{loss\ ij}$	Pérdidas de potencia activa entre nudos i y j
j	Si no es subíndice representa complejo
S_{ij}	Flujo de potencia aparente desde el nudo i a nudo j

1 INTRODUCCIÓN. EL PROBLEMA DE FLUJO DE CARGAS

Este trabajo se va a centrar en los flujos de cargas en redes equilibradas. Antes de exponerlos, es necesario realizar una introducción de las características del problema, para así comprender mejor el por qué de aplicar otros métodos de resolverlo. Al realizar un flujo de cargas en un sistema o red, se obtienen los valores de las tensiones en los nudos, así como los flujos de potencia. Para llegar a la solución hay que saber plantear las ecuaciones de flujo de cargas y definir los tipos de nudos de la red, así como aplicar las restricciones que esta imponga. Obtenidos dichos datos, se pueden obtener otros, como son el flujo de potencia en las ramas, las pérdidas en la red. Basándonos en [1] se exponen las expresiones del balance de flujo de cargas en un nudo, con la potencia neta activa P_i y reactiva Q_i inyectada en el nudo i como:

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

$$Q_i = V_i \sum_{j=1}^n V_j (G_{ij} \sin \delta_{ij} - B_{ij} \cos \delta_{ij}) \quad (2)$$

Es necesario definir los tipos de nudos que podemos encontrar en una red de n nudos:

- Nudos de consumo (PQ): en los que la potencia activa y reactiva consumida es conocida (no hay generación) y, por tanto, las incógnitas son V_i y δ_i .
- Nudos de generación (PV): en los que se conoce su potencia activa neta se conoce y el valor eficaz de la tensión es constante, con lo que se desconoce Q_i y δ_i .
- Nudo slack: es el que se toma como origen de fase de las tensiones pero donde no se conocen las potencias ya que como no se conocen las pérdidas de la red, es este nudo el que asume toda esa demanda desconocida.

Tipo de nudo	P_i	Q_i	V_i	Δ_i
PQ	Sí	Sí	¿?	¿?
PV	Sí	¿?	Sí	¿?
Slack	¿?	¿?	Sí	Sí

Tabla 1 Clasificación de los tipos de nudos en función de los parámetros conocidos (Sí) o no (¿?)

Queda recalcar que en los nudos PV, la expresión de la potencia reactiva no es necesaria en el sistema y se calcula tras resolverlo, bastando solo la expresión de la potencia activa, cuya única incógnita es δ_i . En total hay $2n - n_G - 1$ ecuaciones, dos ecuaciones por cada nudo (una para la potencia activa y otra para la potencia reactiva), restando una por cada nudo PV (la expresión de potencia reactiva que se utilizaría tras haber resuelto el sistema para calcularla) y el '-1' asociado a que una de las potencias activas no se puede especificar ya que hay que tener en cuenta las pérdidas. Las incógnitas en un sistema de potencia han de ser las mismas para poder resolverlo: $2n - n_G - 1$ donde el '-1' se asocia al origen de fases que ha de tomarse. En base a estas ecuaciones se plantean todos los flujos de cargas, incluidos los que se van a estudiar.

Como puede deducirse de las expresiones anteriores, el sistema que resulta es siempre no lineal, con lo cual los métodos que se emplean para resolverlos son métodos iterativos en los que se impone una tolerancia que una vez que se alcanza, se considera que se ha llegado a la convergencia y, por tanto, solución de las ecuaciones. Se expone aquí brevemente los métodos utilizados [2] hasta ahora sin entrar en la forma de plantear cada ecuación, solo diciendo las ventajas e inconvenientes que presentan.

- Método Gauss-Seidel: es un método iterativo ya poco utilizado debido a necesita de muchas iteraciones hasta llegar a la convergencia. Sus ecuaciones son complejas. Se puede aplicar factores de aceleración y se deben hacer correcciones a sus ecuaciones para introducir nudos PV.
- Método Newton-Raphson: también iterativo. La principal ventaja es la forma de obtener nuevos valores en las iteraciones, a partir de sistemas lineales utilizando el jacobiano, que hace que su número se reduzca considerablemente pero tienen un mayor coste computacional
- Método desacoplado rápido: desacopla las variables de tal forma que quedan dos subproblemas P- δ y Q-V. Hace simplificaciones en el jacobiano utilizado en el modelo anterior, que son válidas en redes de transporte y que reducen el coste computacional requerido. Sigue siendo iterativo y válido en redes de transporte (R/X reducido)
- Flujo de cargas en continua: llega a un sistema lineal a partir de simplificaciones similares a las del método de desacoplado rápido. Solo resuelve el problema P- δ .

Podemos concluir que todos tienen sus ventajas e inconvenientes: o son iterativos y con gran coste computacional pero muy exactos en un extremo, o son lineales pero no resuelven el problema completo. Es a partir de aquí donde existe la necesidad de plantear las ecuaciones (1) y (2) de tal forma que se obtenga un método que combine lo mejor de cada uno: lineal y que los resultados sean buenos, sobre todo en el caso de redes de distribución.

2 OBJETIVOS

Los objetivos de este trabajo giran en torno al análisis de la viabilidad en el uso de dos modelos lineales de las ecuaciones de flujo de cargas para redes de distribución equilibradas. En particular, se estudiarán los errores cometidos por ambos modelos en la evolución de diferentes magnitudes eléctricas en relación a la solución exacta y bajo diferentes circunstancias que se resumen a continuación:

- 1) Redes de distinta tipología, radiales o malladas de diferentes tamaños: se estudiarán redes de 33, 69 y 118 nudos.
- 2) Generación distribuida con control de tensión, es decir con implantación de nudos PV.
- 3) Generación distribuida sin control de tensiones ni reactiva, es decir con nudos PQ donde las potencias inyectadas son conocidas
- 4) Redes con diferentes niveles de carga con hasta el doble o triple de carga.
- 5) Redes con diferentes niveles de tensión (con tensión por encima de 1.0 p.u.).

Los dos modelos implementados se han obtenido de la literatura específica [3] y [4].

Los resultados obtenidos se comparan en todo momento con los obtenidos con la herramienta libre de flujo de cargas Matpower [5] cuyos resultados son considerados como válidos.

3 MODELOS DE FLUJO DE CARGAS LINEALES

En este capítulo se va a presentar los dos modelos lineales objeto de estudio. Es conveniente recalcar de nuevo que estos modelos son los resueltos en [3] y [4] habiéndose extendido a otras redes y sistemas con el fin de poner a prueba la idoneidad o no de los mismos y ver cuáles son sus limitaciones. Por otro lado, también sirve de medio de exposición y transmisión de los citados modelos para que así su difusión pueda ser mayor.

Como ya se mencionó estos modelos se realizan en redes equilibradas, lo cual permite un modelado utilizando el circuito equivalente monofásico [2] en por unidad. En ambos modelos tenemos en cuenta las siguientes aproximaciones para obtener los modelos lineales:

El desfase entre dos nudos contiguos se puede aproximar los primeros términos de las series de Taylor de las funciones seno y coseno [3]. Estas aproximaciones se basan en que la diferencia de fase δ_{ij} suele ser de apenas unos pocos grados y, por ello, se toman el primer y segundo término de la serie de Taylor de ambas funciones

$$\begin{cases} \sin \delta_{ij} \approx \delta_{ij} \\ \cos \delta_{ij} \approx 1 - \frac{1}{2} \delta_{ij}^2 \end{cases} \quad (3)$$

Por otro lado, sabiendo que los valores de la tensión de los nudos en redes son cercanos a 1.0 p.u. ($V_i \approx 1$) se toma que ΔV_i es próximo a cero:

$$V_i = 1 + \Delta V_i \quad (4)$$

Conviene recordar el desarrollo en serie de Taylor de la función del tipo:

$$\frac{1}{1+x} = 1 - x + x^2 - x^3 + \dots \quad (5)$$

A partir de (4) y (5) tenemos que:

$$V_i = 1 + \Delta V_i \Rightarrow \frac{1}{V_i} = \frac{1}{1 + \Delta V_i} = 1 + \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^k \Delta V_i^k \quad (6)$$

Eliminando los términos cuadráticos y de mayor grado de la expresión de Taylor y aplicando (4) resulta: la hipótesis de partida de los dos modelos:

$$\frac{1}{V_i} = \frac{1}{1 + \Delta V_i} \approx 1 - \Delta V_i = 1 - (V_i - 1) = 2 - V_i \quad (7)$$

Conviene recalcar aquí el error relativo ϵ de esta hipótesis en función de la tensión.

$$\epsilon = \frac{\left| \frac{1}{V_i} - (2 - V_i) \right|}{\left| \frac{1}{V_i} \right|} \times 100 \quad (8)$$

Podemos comprobar que este error aumenta cuadráticamente *Ilustración 1* conforme se aleja de 1.0 p.u., lo cual ya nos quiere decir que estos métodos serán cuanto más exactos cuanto menores variaciones en tensión con respecto a 1 p.u. haya en los nudos.

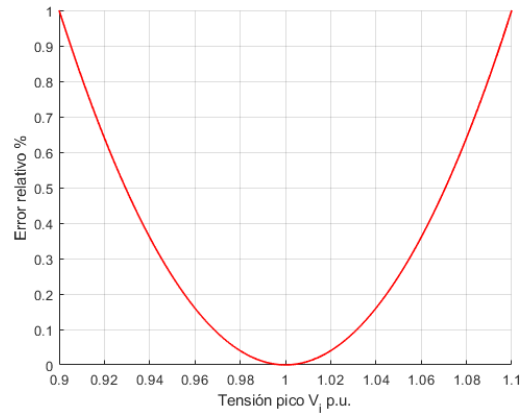


Ilustración 1 Distribución del error en tensión

A partir de estas aproximaciones e hipótesis y otras que se tendrán en cuenta se plantean los dos modelos. Se busca con ellas linealizar los términos que aportan no linealidad a las ecuaciones de flujo de cargas. Se exponen continuación los dos métodos.

3.1 Modelo Lineal 1: ModifiedDistFlow

Al que llamaremos modelo 1 es el modelo desarrollado en [3]. Se desarrollan a continuación, paso a paso, la deducción de sus ecuaciones.

3.1.1 Ecuaciones de ramas entre dos nudos

Vamos a suponer a continuación que tenemos dos nudos como los de la Ilustración 2 unidos por una rama de impedancia Z_{ij} donde en cada extremo hay una tensión (fase y módulo) V_i y un flujo hacia la rama (P_{ij} , Q_{ij}). El flujo de potencia en la rama y la intensidad que circula a través de ella se pueden expresar, de acuerdo a las leyes de Kirchhoff y la definición de potencia S_{ij} como:

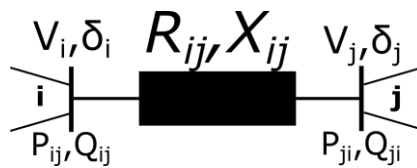


Ilustración 2 Modelo de rama entre dos nudos

$$S_{ij}^* = P_{ij} - jQ_{ij} \quad (4-1)$$

El valor de la tensión entre dos nudos ij , siendo I_{ij} la intensidad que discurre por la rama desde i hasta j :

$$U_i = U_j + Z_{ij} I_{ij} \quad (4-2)$$

Sabiendo la definición de potencia compleja S_{ij} entre dos nudos:

$$I_{ij} = \left(\frac{S_{ij}}{U_i} \right)^* \quad (4-3)$$

Desarrollando (4-1), (4-2) y (4-3) obtenemos las expresiones de los que forman los triángulos de tensiones entre dos nudos contiguos (ver Ilustración 3)

$$\frac{R_{ij}P_{ij}+X_{ij}Q_{ij}}{V_i} = -\frac{R_{ij}P_{ji}+X_{ij}Q_{ji}}{V_j} \quad (4-12)$$

Introduciendo también los términos de (4-5) y (4-6) correspondientes a (4-10) y (4-11) tal que se quede en función de la potencia reactiva Q_{ij} :

$$\begin{cases} V_j\delta_{ij} = \frac{X_{ij}P_{ij}}{V_i} - R_{ij}\frac{Q_{ij}}{V_i}; & \frac{Q_{ij}}{V_i} = \frac{1}{R_{ij}}\left(\frac{X_{ij}P_{ij}}{V_i} - V_j\delta_{ij}\right) \\ V_i\delta_{ij} = -\frac{X_{ij}P_{ji}}{V_j} + R_{ij}\frac{Q_{ji}}{V_j}; & \frac{Q_{ji}}{V_j} = \frac{1}{R_{ij}}\left(\frac{X_{ij}P_{ji}}{V_i} - V_j\delta_{ij}\right) \end{cases} \quad (4-13)$$

Sustituyendo (4-13) en (4-12) tenemos:

$$\frac{R_{ij}P_{ij}}{V_i} + \frac{X_{ij}}{R_{ij}}\left(\frac{X_{ij}P_{ij}}{V_i} - V_j\delta_{ij}\right) = -\frac{R_{ij}P_{ji}}{V_j} - \frac{X_{ij}}{R_{ij}}\left(\frac{X_{ij}P_{ji}}{V_j} + V_i\delta_{ij}\right) \quad (4-14)$$

Como se observa, es posible eliminar de esta forma Q_{ij} y Q_{ji} para que, operando convenientemente, resulte una expresión que solo dependa de las potencia activa en las ramas y tensión en los nudos i y j como la de a continuación:

$$\frac{P_{ij}}{V_i} = -\frac{P_{ji}}{V_j} - \frac{X_{ij}}{R_{ij}^2 + X_{ij}^2}(V_i - V_j)\delta_{ij} \quad (4-15)$$

Realizando lo mismo pero esta vez despejando los cociente de potencia active en ramas entre tensión en nudos P_{ij}/V_i y P_{ji}/V_j en (4-13) e introduciendo ambas en (4-12) resulta:

$$\frac{Q_{ij}}{V_i} = -\frac{Q_{ji}}{V_j} + \frac{R_{ij}}{R_{ij}^2 + X_{ij}^2}(V_i - V_j)\delta_{ij} \quad (4-16)$$

Si se tiene en cuenta $\delta_{ij} \approx 0$ se llega a las ecuaciones básicas del llamado Modelo Lineal 1 (o modified DistFlow):

$$\frac{P_{ij}}{V_i} \approx -\frac{P_{ji}}{V_j} \quad (4-17)$$

$$\frac{Q_{ij}}{V_i} \approx -\frac{Q_{ji}}{V_j} \quad (4-18)$$

Una vez obtenidas estas ecuaciones, que servirán de base en el modelo, pasamos a analizar la expresión de las potencias en una rama. Estas expresiones quieren decir que el flujo de potencia de i a j con respecto a la tensión en i no es más que el flujo de potencia de j a i con respecto a la tensión en j con signo contrario.

3.1.2 Expresión de potencias en las ramas y ecuación general del modelo

Partiendo de (4-1), (4-2) y (4-3) se tiene que la potencia en la rama es:

$$\left(\frac{U_i - U_j}{Z_{ij}}\right) U_i^* = P_{ij} - jQ_{ij} \quad (4-19)$$

Desarrollando (4-19) tal que:

$$\begin{aligned}
P_{ij}-jQ_{ij} &= \left(\frac{U_i-U_j}{Z_{ij}} \right) U_i^* = \\
&= \frac{1}{R_{ij}+jX_{ij}} \left(V_i(\cos \delta_i + j \sin \delta_i) - V_j(\cos \delta_j + j \sin \delta_j) \right) V_i(\cos \delta_i - j \sin \delta_i) = \\
&= \frac{1}{R_{ij}+jX_{ij}} \left(V_i^2 - V_i V_j \left(\cos \frac{(\delta_i - \delta_j)}{\delta_{ij}} + j \sin \frac{(\delta_j - \delta_i)}{-\sin \delta_i - \delta_j} \right) \right) = \quad (4-20) \\
&= \frac{V_i^2 - V_i V_j (\cos \delta_{ij} - j \sin \delta_{ij})}{R_{ij} + jX_{ij}} \frac{R_{ij} - jX_{ij}}{R_{ij} - jX_{ij}} = \\
&= \frac{R_{ij} V_i^2 - R_{ij} V_i V_j \cos \delta_{ij} + j R_{ij} V_i V_j \sin \delta_{ij} - j V_i^2 X_{ij} + j V_i V_j X_{ij} \cos \delta_{ij} + V_i V_j X_{ij} \sin \delta_{ij}}{R_{ij}^2 + X_{ij}^2}
\end{aligned}$$

Agrupando convenientemente se obtienen las expresiones de potencia activa (parte real) y reactiva (parte imaginaria) en las ramas:

$$P_{ij} = \frac{R_{ij}(V_i^2 - V_i V_j \cos \delta_{ij}) + X_{ij} V_i V_j \sin \delta_{ij}}{R_{ij}^2 + X_{ij}^2} \quad (4-21)$$

$$Q_{ij} = \frac{X_{ij}(-V_i^2 + V_i V_j \cos \delta_{ij}) - R_{ij} V_i V_j \sin \delta_{ij}}{R_{ij}^2 + X_{ij}^2} \quad (4-22)$$

Combinando (4-21) y (4-22) de tal forma que pongamos P_{ij}/V_i y Q_{ij}/V_i aseguramos de esta forma que estos términos sean lineales en lugar P_i y Q_i al variar la tensión V_i en la que se produce unas variaciones no lineales, como se puede deducir de las expresiones (4-21) y (4-22). Para empezar reorganizando términos

$$\begin{aligned}
(R_{ij}^2 + X_{ij}^2)P_{ij} &= R_{ij} V_i (V_i - V_j \cos \delta_{ij}) + X_{ij} V_i V_j \sin \delta_{ij}; \quad V_i - V_j \cos \delta_{ij} = \frac{(R_{ij}^2 + X_{ij}^2)P_{ij} - X_{ij} V_i V_j \sin \delta_{ij}}{R_{ij} V_i} \quad (4-23) \\
(R_{ij}^2 + X_{ij}^2)Q_{ij} &= X_{ij} V_i (-V_i + V_j \cos \delta_{ij}) - R_{ij} V_i V_j \sin \delta_{ij}
\end{aligned}$$

Si sustituye la primera expresión de (4-23) en la segunda, queda:

$$V_j \sin \delta_{ij} = X_{ij} \frac{P_{ij}}{V_i} - R_{ij} \frac{Q_{ij}}{V_i} \quad (4-24)$$

Y sustituyendo lo obtenido en (4-24) en la primera expresión de (4-23):

$$V_i - V_j \cos \delta_{ij} = R_{ij} \frac{P_{ij}}{V_i} - X_{ij} \frac{Q_{ij}}{V_i} \quad (4-25)$$

Además teniendo en cuenta la aproximación $\delta_{ij} \approx 0$ aplicada a la expresión del coseno en (3) tal que $\cos \delta_{ij} \approx 1$, podemos simplificar (4-25):

$$V_i - V_j \approx R_{ij} \frac{P_{ij}}{V_i} - X_{ij} \frac{Q_{ij}}{V_i} \quad (4-26)$$

Realizando la siguiente parametrización con el fin de simplificar las expresiones, las potencias en las ramas divididas por la tensión en el nudo desde donde parte el flujo en la rama, se expresan como:

$$\widehat{P}_{ij} = \frac{P_{ij}}{V_i} \quad (4-27)$$

$$\widehat{Q}_{ij} = \frac{Q_{ij}}{V_i} \quad (4-28)$$

Y (4-26) resulta que la diferencia de tensión entre dos nudos adyacentes V_i-V_j :

$$V_i-V_j = R_{ij}\widehat{P}_{ij} - X_{ij}\widehat{Q}_{ij} \quad (4-29)$$

En (4-29) podemos deducir que la tensión varía linealmente con el flujo de potencia en las ramas. Tomamos ahora la hipótesis de partida (6) ($1/V_i \approx 2-V_i$):

$$V_i-V_j = (2-V_j) - (2-V_i) \approx \frac{1}{V_j} - \frac{1}{V_i} = R_{ij}\widehat{P}_{ij} + X_{ij}\widehat{Q}_{ij} \quad (4-30)$$

Donde,

$$\frac{1}{V_j} - \frac{1}{V_i} = R_{ij}\widehat{P}_{ij} + X_{ij}\widehat{Q}_{ij} \quad (4-31)$$

Es la ecuación general de tensiones propuesta del modelo lineal 1. El carácter lineal de esta ecuación se obtiene haciendo este cambio de variables $W_i = 1/V_i$:

$$W_j - W_i = R_{ij}\widehat{P}_{ij} + X_{ij}\widehat{Q}_{ij} \quad (4-32)$$

A partir de (4-32) se construye el sistema que resuelva el flujo de cargas. Nótese que hasta ahora no se ha hecho referencia cómo ha de ser la red, sino que hemos aplicado las ecuaciones a una línea de dos terminales. Es a continuación, cuando generalizamos, donde se va a imponer el carácter radial de la red a la hora de hacer los balances de potencia.

3.1.3 Generalización

En el caso de una red de n nudos partimos de (4-32), (4-17), (4-18), (4-27) y (4-28) como ecuaciones de aplicación en el modelo que se repiten con el fin de clarificar la generalización. Se hará junto con un ejemplo de red:

$$W_j - W_i = R_{ij}\widehat{P}_{ij} + X_{ij}\widehat{Q}_{ij} \quad (4-33)$$

$$\widehat{P}_{ij} = P_{ij}W_i \quad (4-34)$$

$$\widehat{Q}_{ij} = Q_{ij}W_i \quad (4-35)$$

$$\frac{P_{ij}}{V_i} \approx -\frac{P_{ji}}{V_j} \quad (4-36)$$

$$\frac{Q_{ij}}{V_i} \approx -\frac{Q_{ji}}{V_j} \quad (4-37)$$

Ejemplo red. Para lograr una mayor comprensión de la generalización se va a acompañar esta con una red de ejemplo como la de la figura X. La red posee 6 nudos y se supondrá que el nudo de referencia es el '1'.

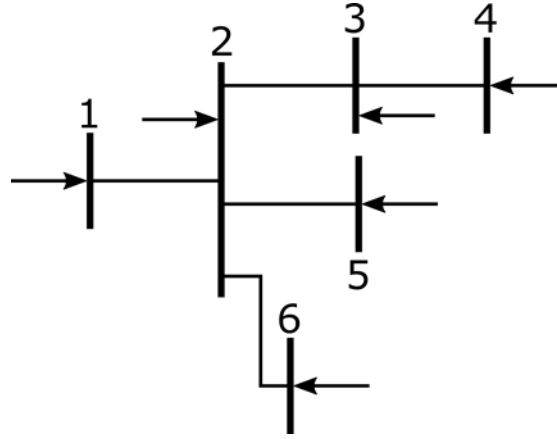


Ilustración 4

Con lo cual la expresión (4-33) aplicada a este ejemplo para cada una de las ramas queda:

$$W_2 - W_1 = R_{12} \widehat{P}_{12} + X_{12} \widehat{Q}_{12} \quad (4-38)$$

$$W_3 - W_2 = R_{23} \widehat{P}_{23} + X_{23} \widehat{Q}_{23} \quad (4-39)$$

$$W_4 - W_3 = R_{34} \widehat{P}_{34} + X_{34} \widehat{Q}_{34} \quad (4-40)$$

$$W_5 - W_2 = R_{25} \widehat{P}_{25} + X_{25} \widehat{Q}_{25} \quad (4-41)$$

$$W_6 - W_2 = R_{26} \widehat{P}_{26} + X_{26} \widehat{Q}_{26} \quad (4-42)$$

A estas ecuaciones hay que añadir que la suma de potencias inyectadas en un nudo es cero.

$$\widehat{P}_{\text{neta } i} = \sum_{j \in N_c(i)} \widehat{P}_{ij} - \widehat{P}_i = 0 \quad (4-43)$$

$$\widehat{Q}_{\text{neta } i} = \sum_{j \in N_c(i)} \widehat{Q}_{ij} - \widehat{Q}_i = 0 \quad (4-44)$$

Siendo j perteneciente a nudo vecino de i con N_c conjunto de nudos complementarios a i . Como las potencias en las ramas no son conocidas (se obtienen a partir de las soluciones de flujo de cargas), ponemos la potencia de una rama en función de la potencia de los nudos raíces, es decir, de la potencia inyectadas en los nudos desde el nudo de generación hasta el nudo que se está analizando. Es aquí donde se impone la restricción de red radial pues, como es lógico, en una red mallada siempre hay más de un camino, cosa que no sucede en una radial. Es decir, el flujo de potencias en las ramas se puede expresar como:

$$\widehat{P}_{ij} = \sum_{k \in \Omega_{ij}} -\widehat{P}_k \quad (4-45)$$

$$\widehat{Q}_{ij} = \sum_{k \in \Omega_{ij}} -\widehat{Q}_k \quad (4-46)$$

Las expresiones (4-45) y (4-46) son equivalentes a (4-43) y (4-44) pero esta equivalencia solo se da en redes radiales. En este caso (4-45) y (4-46) expresan que el flujo de potencia en la rama ij es igual al menos sumatorio de potencias de los nudos raíces k desde el nudo de referencia al nudo j . El motivo de que hay que buscar un nudo de referencia a partir del cual llegamos al resto de nudos y que en definitiva es el 'slack', es porque es en este el único del que se conoce la tensión (normalmente 1.0 p.u.) y su desfase. Aunque en este modelo, como se ha podido comprobar el desfase es una variable que nos hemos quitado.

Si se aplican (4-45) y (4-46) al ejemplo de red y teniendo en cuenta (4-36) y (4-37), el flujo de potencia activa P_{ij} en las ramas se puede expresar como las potencias inyectadas en los nudos P_i , parámetro que conocemos excepto en el caso del nudo de referencia

$$\frac{P_{43}}{V_4} = -\frac{P_{34}}{V_3}; \frac{P_{32}}{V_3} = -\frac{P_{23}}{V_2}; \frac{P_{52}}{V_5} = -\frac{P_{25}}{V_2}; \frac{P_{62}}{V_6} = -\frac{P_{26}}{V_6}; \frac{P_{21}}{V_2} = -\frac{P_{12}}{V_1} \quad (4-47)$$

$$\frac{P_{43}}{V_4} = \frac{P_4}{V_4}; \frac{P_{52}}{V_5} = \frac{P_5}{V_5}; \frac{P_{62}}{V_6} = \frac{P_6}{V_6} \quad (4-48)$$

$$\frac{P_{32}}{V_3} = \frac{P_3}{V_3} - \frac{P_{34}}{V_3} = \frac{P_3}{V_3} + \frac{P_4}{V_4} \quad (4-49)$$

$$\frac{P_{21}}{V_2} + \frac{P_{23}}{V_2} + \frac{P_{25}}{V_2} + \frac{P_{26}}{V_2} = \frac{P_2}{V_2} \Rightarrow \frac{P_{21}}{V_2} = \frac{P_2}{V_2} + \frac{P_3}{V_3} + \frac{P_4}{V_4} + \frac{P_5}{V_5} + \frac{P_6}{V_6} \quad (4-50)$$

Se obtienen así todas las potencias en las ramas en función de las potencias de los nudos las cuales son todas conocidas pues no aparece en ningún momento la del nudo de referencia. De la misma forma se procede con los flujos de potencia reactiva. Como se puede apreciar en las primeras expresiones, las únicas incógnitas que se tienen son las tensiones en los nudos y potencias del de referencia. Por tanto, planteando el cambio de (4-36) se expresa el flujo de potencia en la rama de referencia como (2-1) y, si además, estas expresiones se ponen en función de la tensión en el nudo de referencia, que es conocida, tal que $W_i - W_o$, logramos obtener un sistema lineal de ecuaciones de 5 ecuaciones (5 ramas) con 5 incógnitas (tensiones de nudos distinta de la de referencia). Ahora sí con la ayuda (4-33)-(4-37) y (4-45)-(4-46) podemos plantear las ecuaciones del modelo lineal aplicado a cualquier red siempre que esta sea radial.

A partir de (4-45) y (4-46) sustituidas en (4-34) y (4-35), y a partir de la matriz de caminos \mathbf{T} , se expresa de forma matricial la potencia en las ramas P_{Br} de una red tal que:

$$\widehat{\mathbf{P}}_{Br} = -\mathbf{TP}_N \mathbf{W}_R \quad (4-51)$$

$$\widehat{\mathbf{Q}}_{Br} = -\mathbf{TQ}_N \mathbf{W}_R \quad (4-52)$$

Para el caso de la red de 6 nudos, se obtienen así las expresiones matriciales de las potencias en ramas en función de los nudos deducidas con anterioridad a partir de la definición de potencia inyectadas en nudos.

La matriz \mathbf{T} es una matriz de dimensiones tales que, el número de filas coincide con el número de ramas de la red y el número de columnas coincide con el número de nudos de la red a excepción del de referencia. Esta matriz se completa con '1' cuando para llegar al nudo que coincide con la columna se tenga que atravesar alguna de las ramas de las filas.

La red de la Ilustración 2 tiene un total de 5 ramas, por tanto, $m=5$ y un total de 6 nudos, con lo cual $n=6-1=5$. En este caso, y como también se supondrán en los experimentos, el nudo 'slack' o de referencia será el nudo '1'. Sabiendo esto se construye la matriz \mathbf{T} :

$$\mathbf{T} = \begin{matrix} & \begin{matrix} 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1-2 \\ 2-3 \\ 3-4 \\ 2-5 \\ 2-6 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (4-53)$$

Por otro lado, a partir la expresión (4 - 33) y adaptándola a la forma matricial:

$$\mathbf{A}^T \mathbf{W} = -\mathbf{diag}(\mathbf{R}_{ij}) \mathbf{TP}_N \mathbf{W}_R - \mathbf{diag}(\mathbf{X}_{ij}) \mathbf{TQ}_N \mathbf{W}_R \quad (4-54)$$

Donde \mathbf{A}^T es la llamada matriz de incidencias traspuesta (podemos hacer referencia a apuntes de ampliación de teoría de circuitos) y con el producto $\mathbf{A}^T \mathbf{W}$ obtenemos $W_j - W_i$ de la expresión (4 - 33) para cada una de las ramas de la red. Luego, multiplicamos (4-44) por llegamos la matriz de caminos:

$$\mathbf{T}^T \mathbf{A}^T \mathbf{W} = -\mathbf{T}^T \mathbf{diag}(\mathbf{R}_{ij}) \mathbf{TP}_N \mathbf{W}_R - \mathbf{T}^T \mathbf{diag}(\mathbf{X}_{ij}) \mathbf{TQ}_N \mathbf{W}_R \quad (4-55)$$

En cuanto a la red de 6 nudos el término $\mathbf{A}^T \mathbf{W}$ da como resultado lo obtenido en el término izquierdo de las ecuaciones del modelo planteados anteriormente:

$$\mathbf{A}^T \mathbf{W} = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ W_3 \\ W_4 \\ W_5 \\ W_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_2 - W_1 \\ W_3 - W_2 \\ W_4 - W_3 \\ W_5 - W_2 \\ W_6 - W_2 \end{bmatrix} \quad (4-56)$$

$$\mathbf{T}^T \mathbf{A}^T \mathbf{W} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ W_3 \\ W_4 \\ W_5 \\ W_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_2 - W_1 \\ W_3 - W_1 \\ W_4 - W_1 \\ W_5 - W_1 \\ W_6 - W_1 \end{bmatrix} \quad (4-57)$$

En el término derecho de (4 - 45) resultaría el producto de las resistencias R_{ij} y reactancias X_{ij} por el flujo de potencia en esa ramas expresado como la suma de potencia de los nudos calculada en (4 - 47)-(4 - 50).

Con esta multiplicación como se aprecia en el ejemplo se pone el término izquierdo de tal forma que $W_i - W_0$. Reagrupando y sabiendo que $W_0 = 1/V_0 \approx 2 - V_0$ (hipótesis en (6)), se concluye en el sistema de ecuaciones lineal ya mencionado en el ejemplo y en el que las incógnitas son el vector \mathbf{W}_R , esto es, la inversa de la tensión en los nudos distintos del de referencia.

$$\mathbf{W}_R = (\mathbf{2} - \mathbf{V}_0) - (\mathbf{T}^T \mathbf{diag}(\mathbf{R}_{ij}) \mathbf{TP}_N \mathbf{W}_R + \mathbf{T}^T \mathbf{diag}(\mathbf{X}_{ij}) \mathbf{TQ}_N) \mathbf{W}_R \quad (4-58)$$

El sistema será de N-1 incógnitas, donde N es el número de nudos de la red. Despejándolo adecuadamente se resuelve el sistema de forma directa.

Otra opción para resolverlo sin necesidad de ningún sistema es poner directamente la expresión (4 - 58) en función de las tensiones de los nudos. Para ello, tomando (6) tal que $V_R = 2 - W_R$ y resulta finalmente a:

$$\mathbf{V}_R = \mathbf{2} - (\mathbf{I} + \mathbf{T}^T \mathbf{R}_N \mathbf{TP}_N + \mathbf{T}^T \mathbf{X}_N \mathbf{TQ}_N)^{-1} (\mathbf{2} - \mathbf{V}_0) \quad (4-59)$$

Expresión con la que obtenemos de forma inmediata, sin necesidad de sistema de ecuaciones, la tensión en los nudos. \mathbf{I} denota a la matriz identidad.

Por último para hallar la potencia en las ramas en base a la solución de tensiones obtenida:

$$\mathbf{P}_{Br} = -\mathbf{diag}(\mathbf{2} - \mathbf{V}_S)^{-1} \mathbf{TP}_N (\mathbf{2} - \mathbf{V}_R) \quad (4-60)$$

$$\mathbf{Q}_{Br} = -\mathbf{diag}(\mathbf{2} - \mathbf{V}_S)^{-1} \mathbf{TQ}_N (\mathbf{2} - \mathbf{V}_R) \quad (4-61)$$

La expresión de las pérdidas la planteamos en el siguiente modelo ya que es la misma para ambos.

Con esto, queda planteado el Modelo Lineal 1 o Modified DistFlow como llaman en [3]. En el punto 4 se expondrá cómo se ha realizado el programa que modela este método de resolución, se analizarán para distintas redes y veremos cuáles son los resultados que este modelo plantea valorando si es un modelo que se puede tomar para ciertas aplicaciones en sistemas de potencia.

3.2 Modelo Lineal 2 o modelo de generación distribuida (DG)

Este modelo es el planteado en [4] donde lo más destacado es la implantación de nudos que modelan puntos de generación distribuida (DG, distributed generation). Como en el modelo 1, en este se busca también linealizar los términos no lineales de las ecuaciones de flujo de cargas, así como parte también de las mismas hipótesis (las enunciadas al principio del punto).

Lo atractivo de este método es su versatilidad y adaptabilidad a cualquier tipo de red, radial o mallada, y que la generación distribuida es algo que ya forma parte del presente y es tomada en cuenta en este modelo, fundamental a la hora de hacer un control V o Q.

3.2.1 Consideraciones y ecuaciones de partida

El modelo 2 toma las características típicas de las redes de distribución: $V \approx 1.0$ p.u.; $\delta_{ij} \approx 0$; lo que resulta en (6) y en que (3) queda en $\sin \delta_{ij} \approx \delta_{ij}$ y $\cos \delta_{ij} \approx 1$. Por otro lado, también toma que R/X es mayor que 1 en redes de distribución. Se plantean las ecuaciones de flujo de carga que serán linealizadas para un sistema de n nudos:

$$\begin{cases} \frac{P_i}{V_i} = \frac{P_{Gi} - P_{Li}}{V_i} = \sum_{j=1}^n V_j (G_{ij} \cos \delta_{ij} + B_{ij} \sin \delta_{ij}) \\ \frac{Q_i}{V_i} = \frac{Q_{Gi} - Q_{Li}}{V_i} = \sum_{j=1}^n V_j (G_{ij} \sin \delta_{ij} - B_{ij} \cos \delta_{ij}) \end{cases} \quad (4 - 62)$$

3.2.2 Tipos de nudos planteados

Los nudos planteados se basan en los que aparecen en [5] y son definidos a continuación. Hay que recordar que aparte de estos, están también los nudos de consumo (P_Q) y el nudo de referencia o slack ya descritos en la introducción.

- Nudos de generación tipo PQ: se trata de un nudo de generación en el que la potencia activa y reactiva generada permanecen constantes. Se trata, al fin y al cabo, de los mismos nudos P_Q donde el balance de potencia si la generación supera al consumo, la potencia neta sería negativa. Se emula así algunos generadores distribuidos (cogeneración, eólica, fotovoltaica) donde P_G y Q_G son dados. Las incógnitas en este tipo de nudos para las ecuaciones de flujo de carga seguirán siendo V_i y δ_i .

$$P = -P_G \quad (4 - 63)$$

$$Q = -Q_G \quad (4 - 64)$$

- Nudos de generación tipo PV: en este caso son como los nudos de generación que ya se han introducido. Se conoce la potencia activa generada y la consigna de tensión, que son constantes, es decir existe un control de tensión en estos generadores. La reactiva que generen debe estar además entre unos límites, impuestos por los límites de funcionamiento del propio generador, como en todos los generadores. Este es el caso de aquellos generadores síncronos e inversores con control de tensión, como por ejemplo en algunas plantas fotovoltaicas, baterías y aerogeneradores. Las incógnitas son Q_i y δ_i . Como ya se enuncia en [2], como las incógnitas Q_i son funciones de la tensión y, como esta es conocida, las

ecuaciones de cálculo de reactiva serán ignoradas en el sistema, como se expuso en la introducción.

$$P = -P_G \quad (4 - 65)$$

$$V = V_G \quad (4 - 66)$$

$$Q_{G,\min} \leq Q \leq Q_{G,\max} \quad (4 - 67)$$

- Nudos de generación tipo PI: en este caso son constantes la potencia activa generada y la amplitud de la intensidad inyectada. Se desconocen por tanto V_i , δ_i y Q_i . Este es el caso de aquellos inversores con control de corriente que se da en parques fotovoltaicos y sistemas de almacenamiento de energía.

$$P = -P_G \quad (4 - 68)$$

$$I = I_G \quad (4 - 69)$$

El cálculo de Q_i se hace a través de estos dos parámetros y de la tensión en el nudo una vez deducida:

$$Q_G = \sqrt{V^2 I_G^2 - P_G^2} \quad (4 - 70)$$

- Nudos de generación tipo PQ (V): en ellos la potencia activa es constante y la potencia reactiva puede ser obtenida a partir del valor de tensión V_i en el nudo, es decir, es una función dependiente de la tensión. Esto se da en aquellos generadores síncronos sin control de excitación como las aerogeneradores con inducción.

$$P = -P_G \quad (4 - 71)$$

$$Q = -Q_G = -f(V) \quad (4 - 72)$$

Como vemos, $f(V)$ es una función de V . Estos nudos generadores tienen además una segunda derivada y es que en función de qué tipo de máquina sea, $f(V)$ cambiará:

- Caso de generador síncrono: es necesario definir su fuerza electromotriz (o tensión en vacío) como E_{Gq} y la reactancia síncrona de este X_d . A partir de estos parámetros se calcula la reactiva:

$$f(V) = \sqrt{\left(\frac{E_{Gq} V}{X_d}\right)^2 - P_G^2} - \frac{V^2}{X_d} \quad (4 - 73)$$

- Caso de motor asíncrono: como parámetros del motor están x que denota la reactancia conjunta rotórica y estática mientras que x_p expresa la reactancia capacitiva (o reactancia de magnetización?). A partir de ellos la potencia reactiva queda:

$$f(V) = -\frac{V^2}{x_p} + \frac{-V^2 + \sqrt{V^4 - 4P_G x^2}}{2x} \quad (4 - 74)$$

Quedan así modelados los nuevos tipos de nudos que se añaden a los ya existentes (la deducción de los parámetros es obtenida en [4]), nudos de consumo (P_Q) y nudos de generación (PV), que son iguales a los ya definidos en la literatura y nudo de referencia o 'slack' que se defina su tensión y fase pero que son desconocidas su potencia activa y reactiva.

A partir de ahora en el caso de la generalización se distingue que S denota al nudo de referencia (slack), F denotan a los nudos no-PV, incluyendo por tanto también los PQ(V) y PI, y M comprende los nudos PV. Las expresiones (4 - 95)-(4 - 100), no son más que la expresión matricial de los términos de la izquierda de (4 - 92)

y (4 - 93) clasificados por el tipo de nudo.

3.2.3 Modelo simplificado de generación distribuida

La reactiva generada en los nuevos nudos de generación (PQ, PI, PQ(V)) puede obtenerse a partir de la siguiente expresión:

$$Q = -Q_G \approx -(k_2 V^2 + k_1 V + k_0 + y(V)) \quad (4 - 75)$$

La obtención de las distintas constantes para los distintos nudos se obtienen en [4] a partir de desarrollos en series de Taylor. Lo que se hace es construir una función cuadrática dependiente de unas constantes k_2 , k_1 y k_0 y una función $y(V)$. Por las expresiones de potencia reactiva introducida en estos nudos puede deducirse que las mencionadas constantes son cero, resultando en ellos una función de la tensión. Pues bien, sabiendo que V es cercano a 1.0 p.u. se hace el desarrollo en serie de Taylor tal que:

$$y(V) = y(1) + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{y(1)^k \Delta V^k}{k!} \quad (4 - 76)$$

Donde $y(1)^k$ es el término k -ésimo de la función $y(V)$, $k!$ es el factorial e ΔV es un pequeño incremento de V , lo que hace que solo se tengan en cuenta el término primer orden y cuadrático, resultando la expresión de la potencia reactiva generada Q_G en una función cuadrática:

$$Q_G \approx K_2 V^2 + K_1 V + K_0 \quad (4 - 77)$$

En donde los términos K_2 , K_1 y K_0 para cada uno de los nudos son:

- PI

$$K_2 = \frac{I_G^2}{2\sqrt{I_G^2 - P_G^2}} - \frac{I_G^4}{2^3\sqrt{I_G^2 P_G^2}} \quad (4 - 78)$$

$$K_1 = \frac{I_G^4}{3\sqrt{I_G^2 P_G^2}} \quad (4 - 79)$$

$$K_0 = \frac{I_G^2 - 2P_G^2}{2\sqrt{I_G^2 - P_G^2}} + \frac{I_G^4}{2^3\sqrt{I_G^2 P_G^2}} \quad (4 - 80)$$

- PQ(V) generador síncrono

$$K_2 = -\frac{1}{X_d} + \frac{1}{2} \left(\frac{\frac{E_{Gq}^2}{X_d^2}}{\sqrt{\frac{E_{Gq}^2}{X_d^2} - P_G^2}} - \frac{\frac{E_{Gq}^4}{X_d^4}}{3\sqrt{\frac{E_{Gq}^2}{X_d^2} - P_G^2}} \right) \quad (4 - 81)$$

$$K_1 = \frac{\frac{E_{Gq}^4}{X_d^4}}{\sqrt[3]{\frac{E_{Gq}^2}{X_d^2} - P_G^2}} \quad (4-82)$$

$$K_0 = \sqrt{\frac{E_{Gq}^2}{X_d^2} - P_G^2} - \frac{1}{2} \left(\frac{\frac{E_{Gq}^2}{X_d^2}}{\sqrt{\frac{E_{Gq}^2}{X_d^2} - P_G^2}} - \frac{\frac{E_{Gq}^4}{X_d^4}}{\sqrt[3]{\frac{E_{Gq}^2}{X_d^2} - P_G^2}} \right) \quad (4-83)$$

- PQ(V) motor de inducción

$$K_2 = -\frac{1}{x_p} - \frac{1}{2x} + \frac{3}{2x\sqrt{1-4P_G^2x^2}} - \frac{2}{x^3\sqrt{1-4P_G^2x^2}} \quad (4-84)$$

$$K_1 = \frac{4}{x^3\sqrt{1-4P_G^2x^2}} - \frac{2}{x\sqrt{1-4P_G^2x^2}} \quad (4-85)$$

$$K_0 = \frac{1-P_G^2x^2}{x\sqrt{1-4P_G^2x^2}} - \frac{2}{x^3\sqrt{1-4P_G^2x^2}} \quad (4-86)$$

3.2.4 Cálculo de las ecuaciones de flujo de carga lineal

Para el cálculo de las ecuaciones lineales partimos de (4-62) a la que al aplicar las suposiciones ya mencionadas (3) y particularizadas a este método en 4.2.1, las potencias netas P_i y Q_i quedan como sigue:

$$\begin{cases} \frac{P_i}{V_i} \approx \sum_{j=1}^n V_j G_{ij} + \sum_{j=1}^n V_j B_{ij}(\delta_i - \delta_j) \\ \frac{Q_i}{V_i} \approx -\sum_{j=1}^n V_j B_{ij} + \sum_{j=1}^n V_j G_{ij}(\delta_i - \delta_j) \end{cases} \quad (4-87)$$

Recurriendo a la suposición de [4] en la que afirma que la admitancia a tierra de una red de distribución es próxima a cero, con lo cual hace posible obviarla, la propia admitancia de un nudo en la matriz de admitancias resulta en la suma de las admitancias de las ramas conectadas a ese nudo. En consecuencia, la suma de los elementos en cada fila en la matriz de admitancia es muy próxima a cero y esto, en definitiva, permite que:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n V_j B_{ij} \delta_i \approx 0 \\ \sum_{j=1}^n V_j G_{ij} \delta_i \approx 0 \end{cases} \quad (4-88)$$

Aplicando esto último a (4-87) y considerando que V es próxima a 1 p.u.:

$$\begin{cases} \frac{P_i}{V_i} \approx \sum_{j=1}^n V_j G_{ij} - \sum_{j=1}^n V_j B_{ij} \delta_j \approx \sum_{j=1}^n V_j G_{ij} - \sum_{j=1}^n B_{ij} \delta_j \\ \frac{Q_i}{V_i} \approx - \sum_{j=1}^n V_j B_{ij} - \sum_{j=1}^n V_j G_{ij} \delta_j \approx - \sum_{j=1}^n V_j B_{ij} - \sum_{j=1}^n G_{ij} \delta_j \end{cases} \quad (4-89)$$

Se elimina así V_j en el segundo término de ambas expresiones y obtenemos dos ecuaciones lineales de V y δ .

Para el caso de modelar las potencias a los nudos de generación distribuida, se tiene en cuenta la hipótesis expuesta en (6) y los parámetros expuestos en 4.2.2 y 4.2.3. obteniendo:

$$\frac{P_i}{V_i} = \frac{P_{Gi} - P_{Li}}{V_i} \approx (P_{Li} - P_{Gi}) V_i + 2P_{Gi} - 2P_{Li} \quad (4-90)$$

$$\frac{Q_i}{V_i} = \frac{Q_{Gi} - Q_{Li}}{V_i} = \frac{K_{2,i}^G V_i^2 + K_{1,i}^G V_i + K_{0,i}^G - Q_{Li}}{V_i} \approx (K_{2,i}^G + Q_{Li} - K_{0,i}^G) V_i + K_{1,i}^G + 2K_{0,i}^G - 2Q_{Li} \quad (4-91)$$

Donde P_G , Q_G hacen referencia a potencias generadas y P_L y Q_L a potencias consumidas. Se introducen como puede verse los parámetros de nudos distribuidos K_2 , K_1 y K_0 . Por último, agrupando (4-89), (4-90) y (4-91) se llega a las ecuaciones lineales del flujo de cargas del modelo 2 o modelo de generación distribuida:

$$(P_{Li} - P_{Gi}) V_i + 2P_{Gi} - 2P_{Li} = \sum_{j=1}^n (V_j G_{ij} - B_{ij} \delta_j) \quad (4-92)$$

$$(K_{2,i}^G + Q_{Li} - K_{0,i}^G) V_i + K_{1,i}^G + 2K_{0,i}^G - 2Q_{Li} = - \sum_{j=1}^n (V_j B_{ij} + G_{ij} \delta_j) \quad (4-93)$$

De esta forma se admiten los nuevos nudos de generación distribuida (PQ(V), PI).

3.2.5 Generalización

Queda ya aplicar el modelo a redes y esto no es otra cosa que generalizarlo y expresar las ecuaciones (4-92) y (4-93) de forma matricial, siendo las ecuaciones de flujo de carga:

$$\begin{bmatrix} D_P \\ D_Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -B & G \\ -G & -B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta \\ V \end{bmatrix} \quad (4-94)$$

Desarrollando cada uno de los términos y a partir de ahora se van a dividir las ecuaciones tal que se consideran los nudos PV (se denotan con M) y los no-PV (reconocidos con F) y nudo slack (con S), como ya se ha mencionado. Si la red consta de n nudos, el nudo 1 es el de referencia los nudos de 2-m corresponden a los nudos no-PV y m-n corresponden a los PV. Esto es por organizar de una forma las expresiones y que queden con un cierto orden para resolver el sistema.

Los términos para la parte asociada a la potencia activa:

$$D_P = \begin{bmatrix} P_S + \text{diag}(P_S^*) V_S \\ P_F + \text{diag}(P_F^*) V_F \\ P_M + \text{diag}(P_M^*) V_F \end{bmatrix} \quad (4-95)$$

$$\begin{cases} P_S = 2(P_{G,S} - P_{L,S}) \\ P_F = 2(P_{G,F} - P_{L,F}) \\ P_M = 2(P_{G,M} - P_{L,M}) \end{cases} \quad (4-96)$$

$$\begin{cases} P_S^* = P_{L,S} - P_{G,S} \\ P_F^* = P_{L,F} - P_{G,F} \\ P_M^* = P_{L,M} - P_{G,M} \end{cases} \quad (4-97)$$

Para la reactiva:

$$D_Q = \begin{bmatrix} Q_S + \text{diag}(Q_S^*)V_S \\ Q_F + \text{diag}(Q_F^*)V_F \\ Q_M + \text{diag}(Q_M^*)V_F \end{bmatrix} \quad (4-98)$$

$$\begin{cases} Q_S = K_{1,S} + 2K_{0,S} - 2Q_{L,S} \\ Q_F = K_{1,F} + 2K_{0,F} - 2Q_{L,F} \\ Q_M = K_{1,M} + 2K_{0,M} - 2Q_{L,M} \end{cases} \quad (4-99)$$

$$\begin{cases} Q_S^* = K_{2,S} - K_{0,S} + Q_{L,S} \\ Q_F^* = K_{2,F} - K_{0,F} + Q_{L,F} \\ Q_M^* = K_{2,M} - K_{0,M} + Q_{L,M} \end{cases} \quad (4-100)$$

Los otros términos de (4-94) quedan como vemos a continuación:

$$\delta = \begin{bmatrix} \delta_S \\ \delta_F \\ \delta_M \end{bmatrix} \quad (4-101)$$

$$V = \begin{bmatrix} V_S \\ V_F \\ V_M \end{bmatrix} \quad (4-102)$$

$$G = \begin{bmatrix} G_{SS} & G_{SF} & G_{SM} \\ G_{FS} & G_{FF} & G_{FM} \\ G_{MS} & G_{MF} & G_{MM} \end{bmatrix} \quad (4-103)$$

$$B = \begin{bmatrix} B_{SS} & B_{SF} & B_{SM} \\ B_{FS} & B_{FF} & B_{FM} \\ B_{MS} & B_{MF} & B_{MM} \end{bmatrix} \quad (4-104)$$

En (4-103) y (4-104), por ejemplo, G_{SS} expresan la conductancia propia del nudo 'slack' o G_{FM} la submatriz de conductancia entre nudos no-PV y nudos PV, así con el resto de términos de la matriz G y ocurriendo los mismo en la matriz de susceptancias B . Para una mayor comprensión expresamos G_{FF} y B_{FM} de forma genérica con el orden de nudos que explicamos al principio (1 es slack, 2-m los nudos no-PV y m-n los nudos PV) que al fin y al cabo definen las dimensiones de dichas matrices:

$$G_{FF} = \begin{bmatrix} G_{2,2} & G_{2,3} & \dots & G_{2,m} \\ G_{3,2} & G_{3,3} & \dots & G_{3,m} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ G_{m,2} & G_{m,3} & \dots & G_{m,m} \end{bmatrix} \quad (4-105)$$

$$B_{MF} = \begin{bmatrix} B_{m+1,2} & B_{m+1,3} & \dots & B_{m+1,m} \\ B_{m+2,2} & B_{m+2,3} & \dots & B_{m+2,m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ B_{n,2} & B_{n,3} & \dots & B_{n,m} \end{bmatrix} \quad (4-106)$$

Con lo cual la expresión (4-94) desarrollada junto con las matrices obtenidas quedan:

$$\begin{bmatrix} P_S + \text{diag}(P_S^*)V_S \\ P_F + \text{diag}(P_F^*)V_F \\ P_M + \text{diag}(P_M^*)V_M \\ Q_S + \text{diag}(Q_S^*)V_S \\ Q_F + \text{diag}(Q_F^*)V_F \\ Q_M + \text{diag}(Q_M^*)V_M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -B_{SS} & -B_{SF} & -B_{SM} & G_{SS} & G_{SF} & G_{SM} \\ -B_{FS} & -B_{FF} & -B_{FM} & G_{FS} & G_{FF} & G_{FM} \\ -B_{MS} & -B_{MF} & -B_{MM} & G_{MS} & G_{MF} & G_{MM} \\ -G_{SS} & -G_{SF} & -G_{SM} & -B_{SS} & -B_{SF} & -B_{SM} \\ -G_{FS} & -G_{FF} & -G_{FM} & -B_{FS} & -B_{FF} & -B_{FM} \\ -G_{MS} & -G_{MF} & -G_{MM} & -B_{MS} & -B_{MF} & -B_{MM} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_S \\ \delta_F \\ \delta_M \\ V_S \\ V_F \\ V_M \end{bmatrix} \quad (4-107)$$

En (4-107) es necesario verificar cuáles son los parámetros que conocemos y cuáles no en cualquier red ante los nodos definidos. Aparte de las matrices de conductancias y susceptancias, conocemos:

- la tensión y fase del nudo de referencia (V_S y δ_S),
- las potencias en los activos generadas en los nodos PV y no-PV (esto es la P_{Gi} dentro de los vectores de $P_F P_F^*$, P_M y P_M^*), las reactivas en los nodos no-PV (Q_F y Q_F^*)
- y las tensiones de los nodos PV expresadas en el vector (V_M).

Por tanto, debemos seleccionar aquellas expresiones de (4-102) que nos permitan hallar las incógnitas de forma inmediata. Para ello, es preciso antes mencionar las incógnitas:

- Potencia activa y reactiva generada en 'slack' (P_{GS} , Q_{GS}),
- la potencia reactiva generada en nodos PV (Q_{Gi}),
- la tensión y fase de los nodos no-PV agrupadas en vector (V_F y δ_F) y la fase de los nodos PV agrupadas en vector (δ_M).

Es necesario reagrupar las expresiones para formalizar el sistema. Como ya se hace en los métodos tradicionales, la expresión de la potencia reactiva generada en el caso de los PV, al estar la tensión ya dada en estos y ser dependiente de la reactiva, la expresión correspondiente a este tipo de nodos es inmediata a partir de obtener su desfase con la expresión de la potencia activa. En resumen, teniendo una red de n nodos tendremos que buscar un sistema que va a tener $2n - n_{PV} - 2$ incógnitas con n_{PV} número de nodos PV por lo explicado anteriormente. El último '-2' es por las dos incógnitas del nudo de referencia, las potencias, que al depender de las tensiones y fases pueden ser calculadas una vez obtenidas estas. Esto en definitiva es que son las igualdades de la segunda, tercera y quinta fila las que forman el sistema buscado pues son en las que únicamente las incógnitas son tensiones y fases. Y que constituyen el sistema lineal de $2n - n_{PV} - 2$ incógnitas. Reagrupándolas el sistema sería el siguiente:

$$\begin{bmatrix} W_{P,F} \\ W_{P,M} \\ W_{Q,F} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -B_{FF} & -B_{FM} & G_{FM} - \text{diag}(P_F^*) \\ -B_{MF} & -B_{MM} & G_{MF} \\ -G_{FF} & -G_{FM} & -(B_{FF} + \text{diag}(Q_F^*)) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_F \\ \delta_M \\ V_F \end{bmatrix} \quad (4-108)$$

Donde se tiene finalmente un sistema lineal que resuelve las ecuaciones de flujo de cargas del modelo lineal 2 y en el W es el vector de datos ya conocidos de cada expresión:

$$\begin{cases} W_{P,F} = P_F + B_{FS}\delta_S - G_{FS}V_S - G_{FM}V_M \\ W_{P,M} = P_M + B_{MS}\delta_S - G_{MS}V_S + \text{diag}(P_F^*) - G_{MM}V_M \\ W_{Q,F} = Q_F + G_{FS}\delta_S + B_{FS}V_S + B_{FM}V_M \end{cases} \quad (4-109)$$

Una vez obtenidas las tensiones y desfases de los nudos, pueden hallarse el resto de incógnitas ya mencionadas: reactiva en nudos PV, potencia activa y reactiva 'slack', pérdidas...

Todo el planteamiento de este modelo se ha hecho teniendo en cuenta los nudos y no las ramas durante el proceso. En el artículo tampoco se hace ninguna referencia a ellas, con lo cual para calcularlas se toma la siguiente derivación de (4 - 20) ya que es importante saber el resultado del flujo de potencia en las ramas y las pérdidas en las mismas. Se toma la aproximación (3) con $\cos\delta_{ij}$ y $\sin\delta_{ij} \approx \delta_{ij} \approx \delta_i - \delta_j$:

$$S_{ij}^* = \frac{1}{R_{ij} + jX_{ij}} \left(V_i^2 - V_i V_j (\cos \delta_{ij} - j \sin \delta_{ij}) \right) \approx \frac{1}{R_{ij} + jX_{ij}} \left(V_i^2 - V_i V_j (1 - j(\delta_i - \delta_j)) \right) \quad (4 - 110)$$

Buscando mantener separados, al igual que en el sistema, V y δ , la expresión (4 - 110) se puede reescribir, tomando las hipótesis ya mencionadas:

$$P_{ij} - jQ_{ij} = V_i \frac{R_{ij} - jX_{ij}}{R_{ij}^2 + X_{ij}^2} [(V_i - V_j) + j(\delta_i - \delta_j)] \quad (4 - 111)$$

Una vez realizados el planteamiento de los dos modelos, queda analizarlos.

4 VALIDACIÓN DE RESULTADOS

Antes de proceder a los experimentos como tales es necesario primero explicar cómo funciona cada uno de los programas y validar que estos funcionan. Para considerarlos válidos los resultados obtenidos en ellos han de ser iguales a los obtenidos en [3] y [4]. Tras comprobarlo ya se pueden utilizar estos programas a nuestra conveniencia sabiendo siempre cuáles son sus limitaciones.

Los programas que realizan los flujos lineales leen ficheros .txt en los que se encuentra la información de la red. Estos ficheros están organizados como en la Ilustración 5 apareciendo los datos generales de la red, de los nudos y de las ramas de la misma.

```

bus4_nudos.txt: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
.PU 1
.V_basekV 230
.S_baseMVA 100
.nodes 4
.branches 4
.Node Type P1 Q1 Pg Qg Vg Angle Ig Pmax Pmin Qmax Qmin Xd Eg Xp X
1 3 50 30.99 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
2 1 170 105.35 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
3 1 200 123.94 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
4 2 80 49.58 318 0 1.02 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
.Branch Src_bus Rec_bus R X B
1 1 2 0.01008 0.0504 0.1025
2 1 3 0.00744 0.0372 0.0775
3 2 4 0.00744 0.0372 0.0775
4 3 4 0.01272 0.0636 0.1275

```

Línea 3, columna 11 100% Windows (CRLF) UTF-8

Ilustración 5 Fichero de texto con los parámetros de red

En las primeras cinco líneas se indican parámetros generales de las ramas:

- Parámetros de las ramas en p.u. ('1') o en ohms ('0').
- Tensión base en kV.
- Potencia base en MVA
- Número de nudos.
- Número de ramas.

Datos de los nudos:

- Número de nudo, tipo ('1' si es consumo, '2' si es generación PV, '3' slack...).
- Potencia activa y reactiva consumida en las mismas unidades que la potencia base (P_1 y Q_1).
- Potencia activa y reactiva generada (P_G y Q_G).
- Tensión nudo en p.u. (V_g).

- Ángulo nudo en radianes (Angle).
- Intensidad inyectada en nudo en p.u., exclusivo de los nudos PI del modelo 2 (I_g).
- Potencia activa máxima y mínima a aportar/consumir por el nudo en las mismas unidades que la potencia base (P_{\max} y P_{\min}).
- Potencia activa y reactiva máxima a aportar/consumir por el nudo en la misma unidad que la potencia base (Q_{\max} y Q_{\min}).
- Reactancia síncrona en p.u. para generadores síncronos en nudos tipo PQ(V) del modelo 2 (X_d).
- Fuerza electromotriz en p.u. para generadores síncronos en nudos PQ(V) del modelo 2 (E_g).
- Reactancia conjunta en p.u. para motores de inducción en nudos tipo PQ(V) del modelo 2 (X_p).
- Reactancia de magnetización en p.u. también para estos mismos (X).

Cabe destacar que hay parámetros con vistas a futuras mejoras del código y que en estos no será implementada como es el caso de los límites de potencia de cada nudo.

Por último, aparece la caracterización de las ramas en cuanto a las ramas:

- Número de rama
- Nudo origen
- Nudo final de las misma
- Parámetros, resistencia, reactancia, y susceptancia paralelo en caso de modelo en π de la línea. Normalmente en redes de distribución este último parámetro es cero.

Una vez explicado el fichero de datos de partida se procede a la explicación de cada programa.

4.1 Programa Modelo lineal 1

El programa de este modelo realiza los siguientes pasos:

- Lectura fichero .txt como el explicado anteriormente. En este modelo solo es necesario los datos de los nudos hasta sus tensiones. Aunque el programa los lee todo y esto puede ser útil en el caso de que se añadan los límites.
- Paso a p.u., tanto potencia de los nudos como unidades de las ramas si así se indica en el fichero.
- Construcción de las matrices del problema: la matriz de incidencias-caminos T, las matrices diagonales de potencias en los nudos excluyendo el slack, matrices diagonales de resistencia y reactancia en las ramas y vector con la tensión del nudo slack. En cuanto a la construcción de la matriz T hay que destacar que lo que se hace es buscar el slack y a partir de ahí, con el resto de nudos se va recorriendo la líneas que atraviesa desde el slack hasta los mismos. Hay un solo camino para llegar a él, de ahí la limitación a red radial.
- Resolución del sistema: se hace por dos métodos. El primero resolviendo el sistema a partir de haber reagrupando (4 – 46), el segundo simplemente introduciendo la expresión (4 – 47). Tomaremos el segundo método a la hora de realizar los experimentos ya que es el que parece que se toma en el artículo como veremos en la validación de datos.
- Cálculos del resto de parámetros: se calcula la potencia en las ramas a partir de (4 -48) y (4 – 49), las pérdidas en las mismas y la potencia aportada por el nudo de referencia a partir de a suma de las potencias de aquellas ramas en las que este sea el nudo origen. Para las pérdidas se aplican las siguientes expresiones y hacemos uso (4 – 36):

$$P_{\text{loss}} = P_{ij} + P_{ji} \quad (5-1)$$

La misma expresión se hace para la reactiva.

- Impresión de resultados y exportación a hoja de Excel©: los nudos se vuelven a poner en las mismas unidades a las de la potencia base, al igual que las pérdidas y los flujos por las ramas. Todos estos resultados se exportan a una hoja para después ser agrupados con los del modelo 2 y así compararlos.

Hay que reseñar que en ningún momento se realiza ninguna iteración en la búsqueda de la solución de estos flujos. Esta era la idea de la que partíamos, linealizar las ecuaciones para que así fuesen obtenidas las soluciones de manera directa (Ver Código anexos)

4.1.1 Validación de resultados Modelo Lineal 1

El modelo lineal 1 se resuelve en [3] partiendo de una tensión en el nudo de referencia de 1.05 p.u. en es sistema IEEE 33 bus system [6] y [7], cuyos parámetros son los que nos aporta Matpower y que nosotros introducimos en nuestro fichero. Tal como enuncia [3] se aprecia que el error relativo en la magnitud de la tensión que obtenemos es el mismo (Tabla 2): un máximo de 0.014% y un error relativo medio de 0.008 %. Este error se consigue resolviendo el flujo (4 - 59) y es el denominado primer método. Si se aplica el segundo el error aumenta levemente. Es por esto, y porque es el que se aplica en el artículo, el motivo de utilizar la segunda forma de resolverlo (ver Ilustración 6).

Para hallar el error relativo de las distintas variables (V, P y Q) se calculan de la siguiente forma, tomando como variable X:

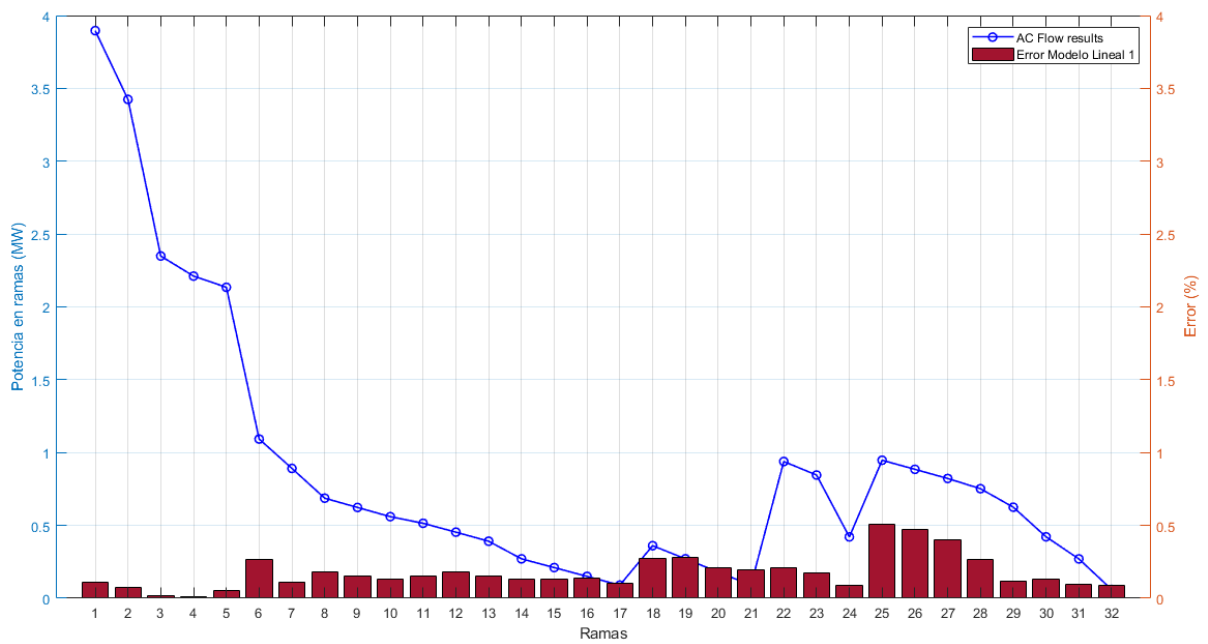
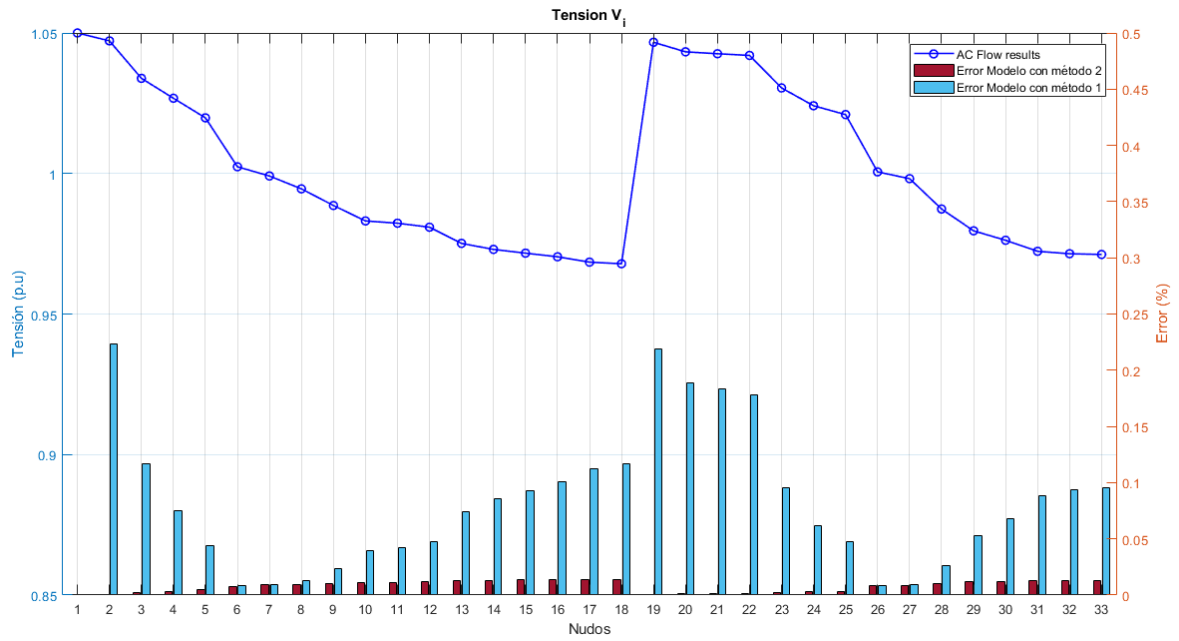
$$\varepsilon(\%) = \frac{|X_{L\text{PF}} - X_{\text{PF}}|}{|X_{\text{PF}}|} \times 100 \quad (5-2)$$

Tabla 2 Errores en tensión con Modelo Lineal 1 en IEEE 33

ERRORES RELATIVOS	MÉTODO 1	MÉTODO 2
ERROR MEDIO (%)	0.008055	0.080038
MAX ERROR (%)	0.013954	0.223652

Los datos obtenidos se pueden ver en los apéndices

Para confirmar la validez de nuestros resultados adjuntamos también las gráficas de tensiones y potencias en las ramas.



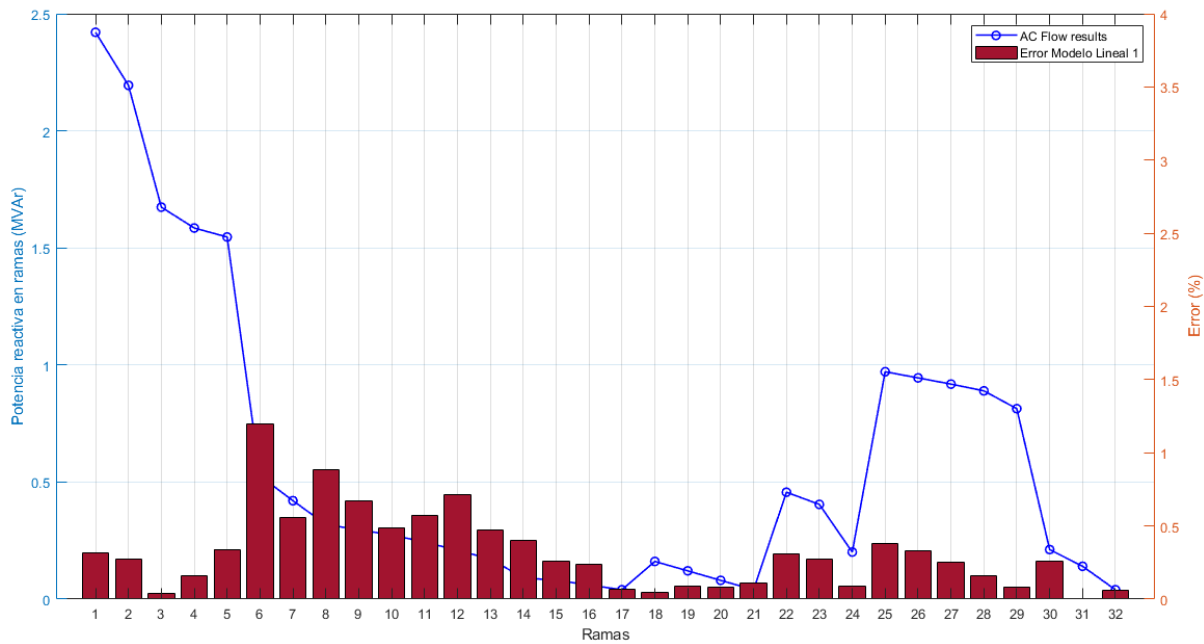


Ilustración 6 (arriba) errores en tensión con respecto al flujo resuelto con método de Newton con ambos métodos, Ilustración 7 errores en potencia activa en las ramas usando solo el método 2 (medio) e Ilustración 8 (abajo) potencia reactiva en ramas utilizando solo el método 2

En comparación con el artículos se puede decir que las gráficas son idénticas. Valorando también los resultados obtenidos se pueden considerar bastante acertados dadas las pequeñas cifras de error que hay. En la tensión en los nudos apenas afecta (Ilustración 6). No ocurre lo mismo con las potencias donde ya se deja ver algo más de error. Por ejemplo, en la activa llega a estar en torno al 0,5 % (ver Ilustración 6), mientras que en la reactiva llega sobrepasar el 1% en algún caso aislado. Este aumento de error en las potencias se debe a que para su cálculo se hace uso de nuevo a la hipótesis (6). Además en la reactiva este error es algo más significativo pues si nos fijamos en (4 - 21) y (4 - 22), vemos que el término de reactiva en ramas la resistencia R va asociada a $\sin\delta_{ij}$, término este último que hemos aproximado a $\sin\delta_{ij}\approx\delta_{ij}\approx 0$. Y como en las redes de distribución el término de R es mayor que X , en general, esto aumenta el error en Q . Sin embargo, recalcar que estos errores son muy bajos y los resultados son bastante parecidos a los obtenidos con Matpower.

4.2 Programa modelo Lineal 2

Este modelo basado en [4] realiza los siguientes pasos:

- Lee los datos de una red del fichero .txt, creando para ello las variables oportunas: una tabla con la información de cada nudos y otra para la información de las ramas al que se hace en el Modelo Lineal 1. Se identifica los nudos como en la Tabla 3:

1 Nudos de consumo (P_O)

2 Nudos de generación (P_V)

3 Nudo de referencia (P_S)

4 Nudo de generación (P_Q)

5	Nudo de generación tipo $P_Q(V)$
6	Nudo de generación tipo P_I

Tabla 3 Identificación tipos de nudos Modelo Lineal 2 2

- Se pasan todos los parámetros de nudos y ramas p.u. (potencias en nudos y parámetros ramas).
- Se implementan las matrices del problema: matriz de admitancias a partir de la cual se obtienen las submatrices de (4 - 103) y (4 - 104). Esto es quizá lo más destacado del programa. Gracias a la identificación del tipo de nudos en la tabla en la que están almacenados se pueden construir dichas matrices. Son las submatrices de conductancias y admitancias en función de si el nudo es 'slack', no-PV, y PV. Solo se utilizan algunas de ellas para resolver el sistema. En este paso también se parametrizan los distintos nudos tipo DG. Se calculan las K_2 , K_I y K_0 de los nudos de generación distribuida (DG). En el caso de no tenerlas se toman como cero. Se calculan también las submatrices de (4 - 95)-(4 - 100).
- Formación de las matrices del sistema lineal de ecuaciones y resolución del mismo. La solución sigue este orden: δ_F (desfase nudos no-PV), δ_M (desfase nudos PV), y V_F (tensión nudos no PV).
- Incorporación los datos a las tablas de nudos a la tabla de nudos. Para ello se divide la solución en nudos datos de nudos PV y datos de nudos no PV. Se recorre la tabla y se van añadiendo las soluciones en ellas. Todas las unidades en p.u.
- Cálculo del resto de parámetros: potencias activa y reactiva del 'slack', potencia reactiva nudos PV y las añadimos a las tablas de nudo. Por otro lado, también se halla el flujo de potencia en ramas y las pérdidas en las mismas (estos sí van en MW o MVA).
- Impresión de resultados y exportación de los mismos a una hoja Excel©.

Al igual que en el Modelo Lineal 1 no hay ningún proceso iterativo a la hora de obtener la solución, objetivo final de nuestro problema. Para más información acerca del programa ver código en Apéndices.

4.2.1 Validación de resultados de Modelo Lineal 2

Uno de los problemas encontrados es la escasa información y aportación de resultados en [4]. Sin embargo, se aportan errores máximos y medios en tensión para distintas redes aunque con un poco de complicación e incertidumbre pues no se especifica en los artículos de referencia de las redes datos como la potencia base o tensión. Los resultados obtenidos son los siguientes, teniendo en cuenta que los errores relativos de la solución se han hecho aplicando Método de Newton con una tolerancia de 10^{-5} .

Para la red IEEE 33 [6] [7] con una tensión base de 12.66 kV y una potencia base de 1MVA y 10 MVA (1 en nuestro fichero y 10 en caso de Matpower, de ahí el paso a p.u. de todos los parámetros), ver Tabla 4:

Tabla 4 Errores en IEEE 33 sin nudos DG

ERRORES (p.u.)	Este Proyecto	Artículo
Error medio	0.000363	0.000337
Error máximo	0.000669	0.000611

Se consideran los resultados como válidos ya que en el artículo tampoco especifica con qué herramienta se resuelve el flujo por el Método de Newton.

El siguiente caso ya aparecen nudos tipo DG. Estos son los nudos de generación tipo P_Q y los tipo P_V cuya información, que es la misma que la de [4] se recoge en la Tabla 5. Partiendo de los mismos datos de partida,

dan lugar a los resultados en la Tabla 6:

Tabla 5 Parámetros nudos DG en IEEE 33

Nudos	Tipo	Parámetros (p.u.)
18	Nudo de generación (P_Q)	$P_G=0.02, Q_G=0.02$
32	Nudo de generación (P_Q)	$P_G=0.02, Q_G=0.02$
14	Nudos de generación (P_V)	$P_G=0.012, V_G=1.00$
20	Nudos de generación (P_V)	$P_G=0.01, V_G=1.00$
5	Nudo de generación tipo P_I	$P_G=0.01, I_G=0.015$
26	Nudo generación tipo $P_Q(V)$	$P_G=0.01, X_G=0.50, E_{Gq}=1.00$

Tabla 6 Errores en IEEE 33 con nudos DG (PQ y PV)

ERRORES (p.u.)	Este proyecto	Artículo
Error medio	0.000455	0.000443
Error máximo	0.000899	0.000857

El siguiente supuesto, se incluyen también los nudos P_I y $P_Q(V)$ (ver Tabla 5). Hay que destacar aquí que los resultados obtenidos difieren más que los obtenidos en [4] y que estos se calculan a partir (6) ya que Matpower no modela este tipo de nudos. Es por ello, por lo que no será objeto de este proyecto estos nudos en la fase de experimentación. Los errores obtenidos en la Tabla 7:

Tabla 7 Errores en IEEE 33 con todos los nudos DG

ERRORES (p.u.)	Este proyecto	Artículo
Error medio	0.000905	0.000337
Error máximo	0.003483	0.000641

Probando también con la red IEEE 69 o citada en el artículo como PG&IE [6] [7]. Los parámetros de partida son: tensión base 12.66 kV y potencia base 10 MVA. Se utiliza la misma tolerancia. Ver la Tabla 8:

Tabla 8 Errores en IEEE 69 sin nudos DG

ERRORES (p.u.)	Este proyecto	Artículo
Error medio	0.000198	0.000196
Error máximo	0.000967	0.000882

Aunque los errores máximos difieren algo, no sucede lo mismo con el error medio que son prácticamente iguales.

Como última prueba se utiliza el sistema IEEE 119. Los datos de partida son tensión base 11 kV, potencia base 1 MVA en fichero .txt y 10 MVA en Matpower 'case118zh', con las tie lines desconectadas y utilizando la misma tolerancia dando lugar a los errores de la Tabla 9 y unos resultados prácticamente iguales a los del artículo.

Tabla 9 Errores en IEEE 119 sin DG

ERRORES (p.u.)	Este proyecto	Artículo
Error medio	0.000372	0.000339
Error máximo	0.002234	0.001941

Como conclusión, se consideran válidos todos los resultados del Modelo Lineal 2, exceptuando para los de DG tipo P_I y $P_Q(V)$ que, a pesar de no obtener malos resultados, estos sí que difieren más de los del artículo.

5 EXPERIMENTOS

Tras validar ambos programas con los de sus respectivos artículos es hora de llevar estos modelos a distintas situaciones para ver cómo responden y cuáles son las ventajas y aportaciones prácticas que pueden dar cada uno de ellos. Se empezará comparando ambos modelos en redes radiales, tras lo cual se pasará al estudio del Modelo Lineal 2 en redes malladas concluyendo con el estudio de generación distribuida que permite dar el Modelo Lineal 2 en algunas redes. Los resultados detallados de cada uno de los modelos se encuentran en los Apéndices mientras que aquí se expondrán solo los resultados más destacados con el objetivo de hacer más comprensible el análisis e interpretación de los mismos.

5.1 Comparación Modelo Lineal 1 y Modelo Lineal 2

La comparación de ambos modelos se hará con las redes IEEE 33 e IEEE 69 [6] y [7].

5.1.1 Red IEEE 33 BUS SYSTEM

La red IEEE 33 [6] [7] como en la Ilustración 9, destaca su tipología radial. Como datos de partida la tensión base es 12.66 kV valor típico de red de distribución y la potencia base con que se modela es de 1 MVA en nuestro fichero, mientras el caso equivalente empleado en Matpower 'case33bw' parte de una potencia de 10 MVA. Esto nos dará igual por lo explicado anteriormente, y es que los nudos se pasan a p.u. y los parámetros son los mismos en ambos casos.

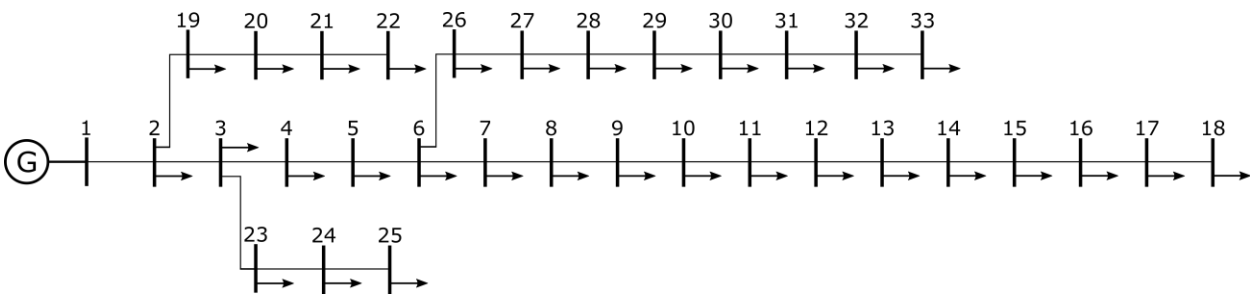


Ilustración 9 Red IEEE 33

Los errores relativos en tensión para ambos modelos ver en Ilustración 10, donde se puede apreciar que ambos contienen los mismos errores y que estos son muy pequeños (el máximo es 0.0669 % y el error relativo medio 0.0363 %). El que posean los mismos errores en tensión se debe en gran medida a que ambos parten de la hipótesis (3) y, como consecuencia, los errores en ambos son los mismos.

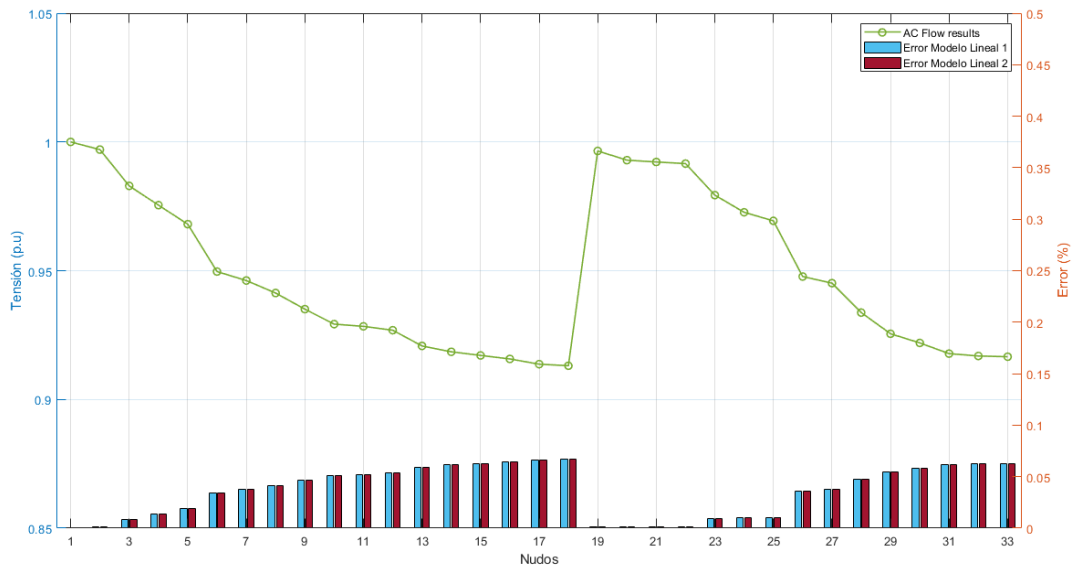


Ilustración 10 Errores relativos en tensión de Modelos Lineales para IEEE 33

En cuanto al comportamiento de ambas se puede afirmar y, como ya se podía predecir en el punto 4, el error aumenta cuanto más difiere la tensión de 1.0 p.u.

En cuanto a la potencia activa por las ramas Ilustración 11 es apreciable en este caso que se aprecian mayores errores que en el caso de la tensión pero siguen siendo pequeños en ambos casos. En el Modelo Lineal 1 el error aumenta en las ramas más alejadas del nudo de referencia que transportan cierta potencia. Esto se traduce en mayor error en tensión y además este se intensifica en estas ramas pues el Modelo no tiene en cuenta el desfase. En el caso del Modelo Lineal 2 el error es mayor en aquellas ramas en las que se transporta más potencia aunque permanece más o menos constante apenas superando el 1% en algún caso (ver Tabla 10).

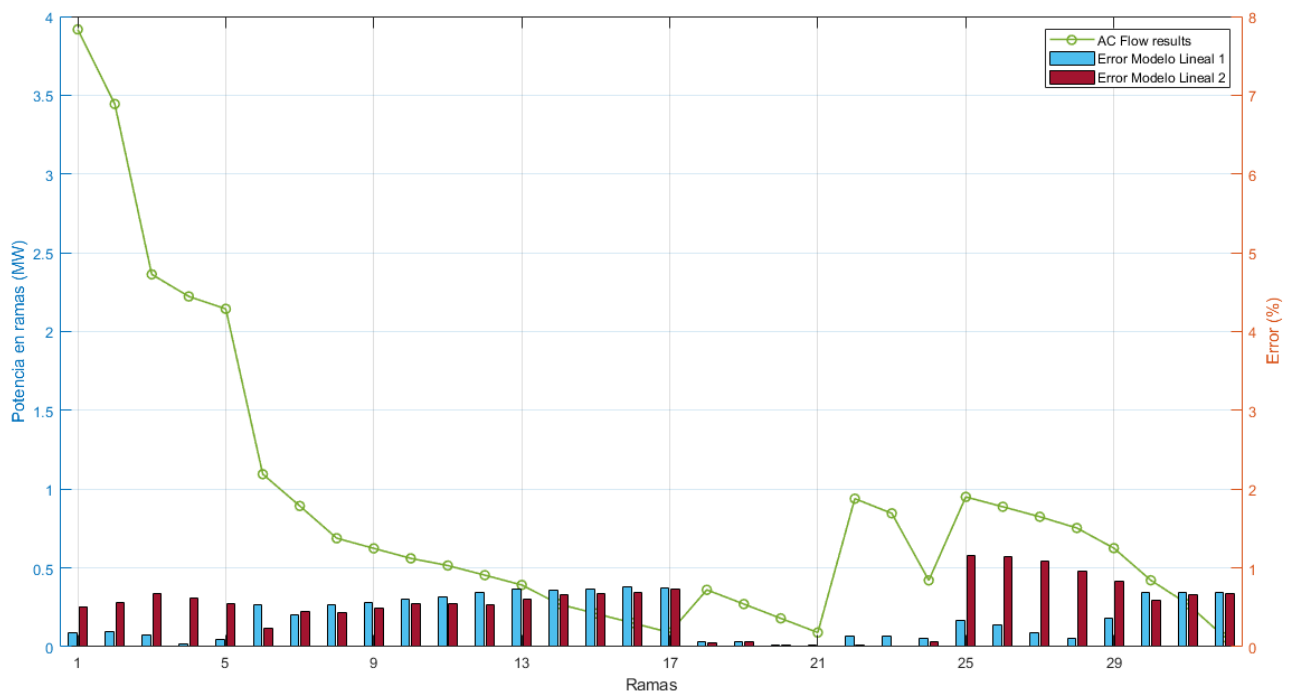


Ilustración 11 Flujo de potencia activa en las ramas y errores en ambos modelos para IEEE 33

Hay que reseñar que los errores siguen siendo realmente bajos (ver Tabla 10) con valores mejores a los que se llega en otros modelos lineales [3].

Tabla 10 Errores en potencia activa en ambos modelos para IEEE 33

Errores (%)	MODELO 1	RAMA M2	MODELO 2	RAMA M2
MÁXIMO	0.7619	16	1.1563	25
MEDIO	0.38128		0.5262	

En cuanto a la potencia reactiva (Ilustración 12), estos errores aumentan algo más con respecto a la activa, sobre todo en el Modelo Lineal 2. Esto se aprecia más en las ramas que conectan nudos con mayor subtensión y se hace más visible en la reactiva por el mayor acoplamiento de esta con la tensión, a diferencia de la potencia activa. Sin embargo, esto mismo no afecta al Modelo Lineal 1, donde los errores son menores que en el caso del Modelo 2.

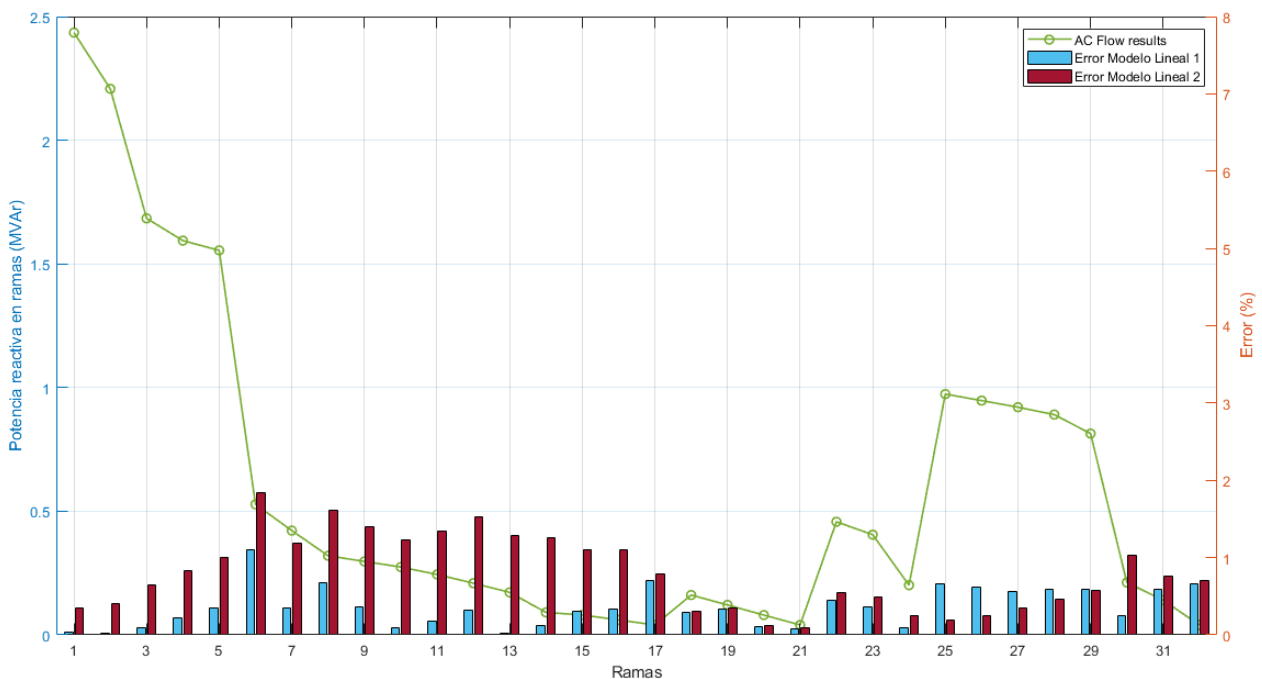


Ilustración 12 Flujo de potencia reactiva en ramas y errores en ambos modelos para IEEE 33

Tabla 11 Errores en potencia reactiva en ambos modelos en IEEE 33

Errores (%)	MODELO 1	RAMA M2	MODELO 2	RAMA M2
MÁXIMO	1.1033	6	1.8437	6
MEDIO	0.3606		0.7930	

Ambos coinciden en mayor error en esta rama pues no se cumple $R/X > 1$ que se plantea en las hipótesis y, por tanto da más error. El error no supera el 2%, con los cual siguen siendo cifras buenas.

Por último, queda analizar las pérdidas de potencia activa en las ramas (ver Ilustración 13). Ambos modelos se aproximan a la solución real.

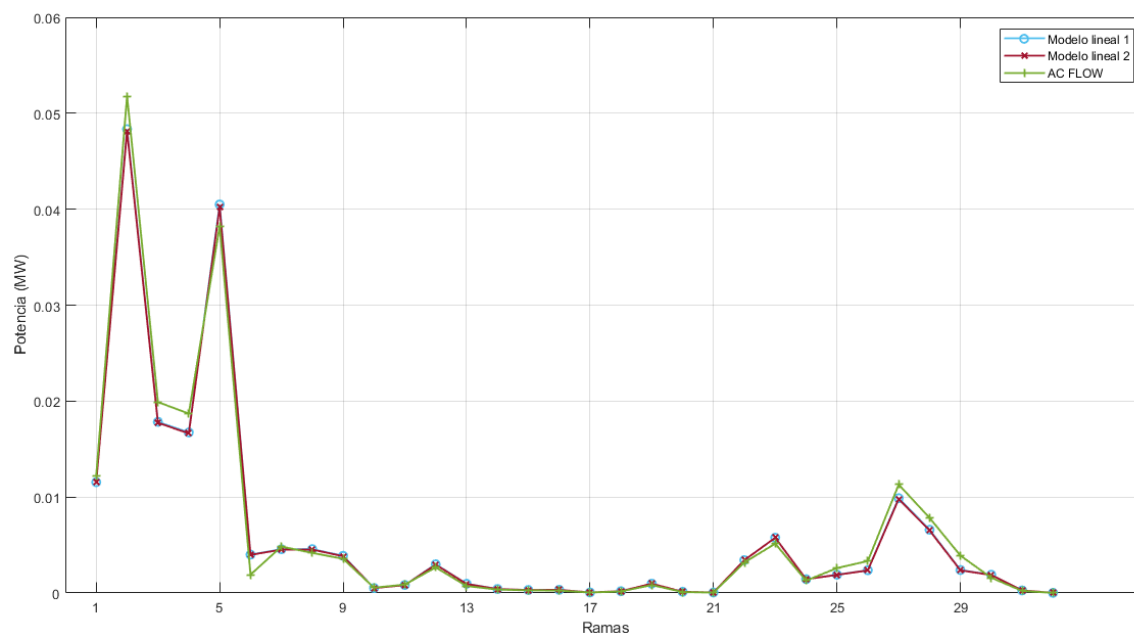


Ilustración 13 Pérdidas en las ramas en ambos modelos y en modelo AC en IEEE 33

Otros datos de interés a tener en cuenta:

Tabla 12 Resumen generación y pérdidas en IEEE 33

	Matpower	Modelo 1	Modelo 2
Pgen Slack (MW)	3.9177	3.9105	3.8977
Qgen Slack (MVar)	2.4351	2.4362	2.4268
Pérdidas	0.2027	0.1957	0.1945

Como conclusión, el Modelo Lineal 1 ofrece mejores resultados en todos los aspectos (tensión, flujo de potencia en ramas y pérdidas), aunque los ofrecidos por el Modelo Lineal 2 son también bastante buenos. El error en fase es muy bajo como se puede confirmar en los Apéndices y en la Tabla 13:

Errores (%)	MODELO 1	NUDO M1	MODELO 2	NUDO M2
MÁXIMO	-	-	3.7980812	33
MEDIO	-	-	1.1274573	

Tabla 13 Desfase para Modelo Lineal 2 en IEEE 33

5.1.2 Red IEEE 33 BUS SYSTEM Doble Carga

Dadas las pocas diferencias entre ambos modelos y las bajas cifras de error, se vuelven a poner a prueba partiendo de la misma red pero aumentando al doble los valores de carga en los nudos (véase Apéndices).

En cuanto a la tensión, (ver Ilustración 14) se alcanza mayor subtensión en compensación a ese nuevo nivel de carga. Al tener mayor subtensión los errores se ven incrementado de igual forma en ambos modelos. Esto tiene sentido pues parten de la misma hipótesis.

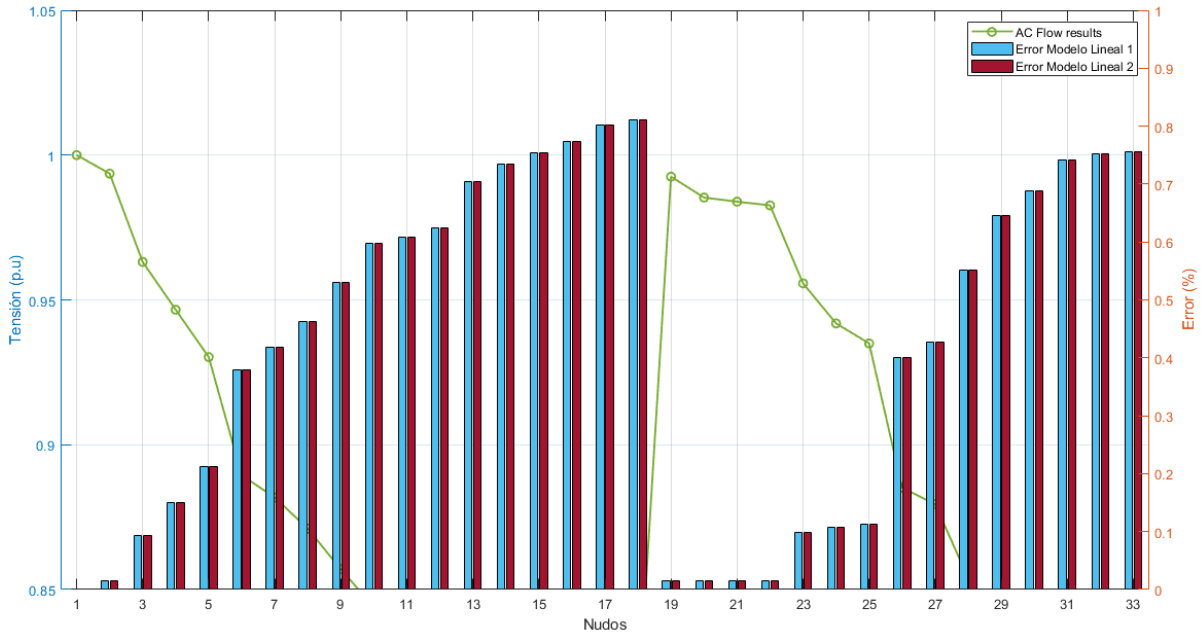


Ilustración 14 Tensión en los nudos IEEE 33 con sobrecarga y errores de los modelos

Errores (%)	MODELO 1	MODELO 2	NUDO
MÁXIMO	0.8106	0.8106	18
MEDIO	0.4247	0.4247	

Tabla 14 Errores relativos en tensión en ambos modelos para red IEEE 33 con sobrecarga

Para las potencias activa y reactiva en Ilustración 15 e Ilustración 16 muestran también unos incrementos de las cifras de error (véanse Tabla 15 y Tabla 16), siguiendo el mismo patrón en cuanto a potencia activa: mayores errores en Modelo 2 en las rmas que transportan más potencia e incremento del error en Modelo 1 cuanto mayor diferencia de tensión con respecto a 1.0 p.u. hay.

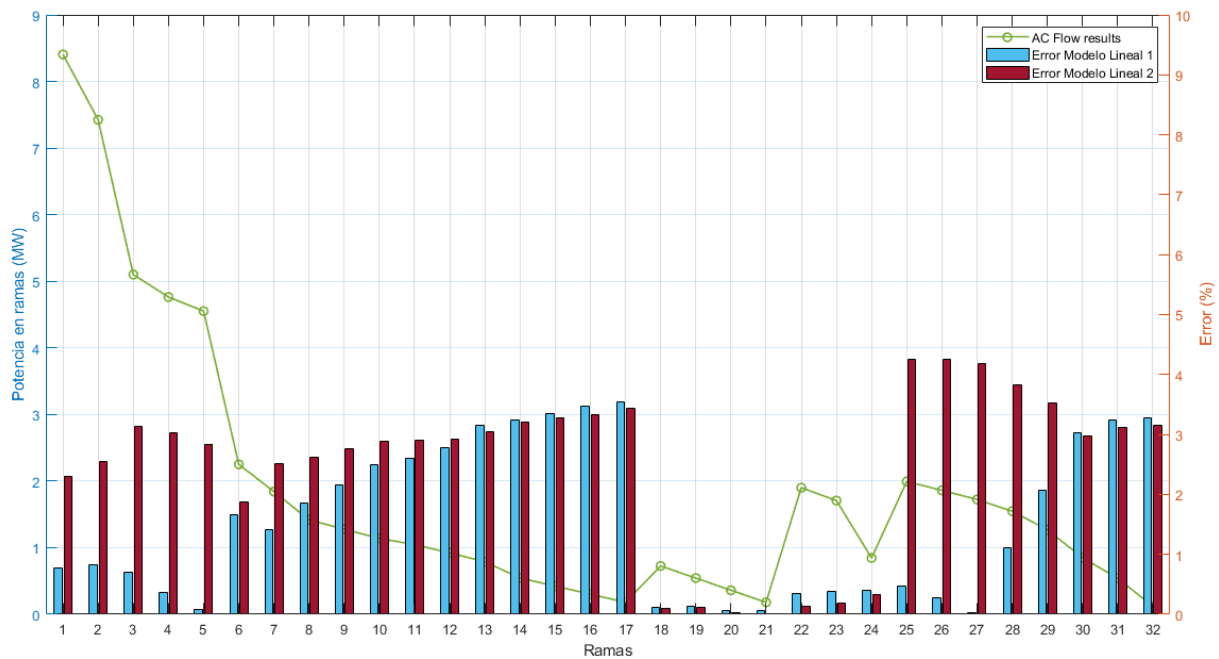


Ilustración 15 Flujo de potencia activa en ramas y errores de ambos modelos para IEEE 33 con sobrecarga

Errores (%)	MODELO 1	RAMA M1	MODELO 2	RAMA M2
-------------	----------	---------	----------	---------

MÁXIMO	3.5363	17	4.2522	26
MEDIO	1.5460		2.4629	

Tabla 15 Errores en potencia activa de ambos modelos para IEEE 33 con sobrecarga

Para la reactiva también se sigue el mismo patrón: un mayor error para el Modelo Lineal 2 en los nudos de más subtensión y lo mismo para el Modelo 1 aunque en menor medida y al igual que en el experimento anterior este error va aumentando en ramas que transportan cierta potencia y conforme se alejan del ‘slack’ (ver Ilustración 16)

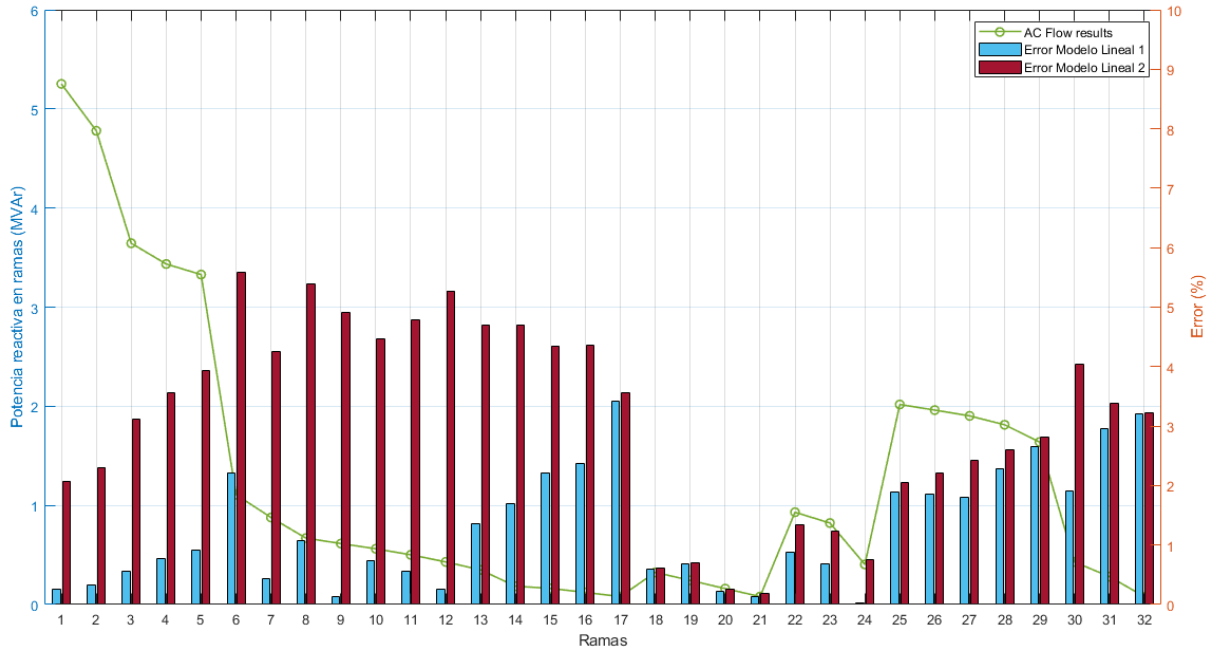


Ilustración 16 Flujo de potencia reactiva en ramas y errores de ambos modelos para IEEE 33 con sobrecarga

Errores (%)	MODELO 1	RAMA M1	MODELO 2	RAMA M2
MÁXIMO	3.4172	17	5.5870	6
MEDIO	1.2836		3.1000	

Tabla 16 Errores relativos de ambos modelos para IEEE 33 con sobrecarga

Son predecibles esas mayores cifras de error pero en el peor de los casos no llegan a superar más del 6%. Para las pérdidas la aproximación dada por ambos modelos difiere más (Ilustración 17), así como se obtienen unos mayores valores de pérdidas pues el transporte de potencia es mayor.

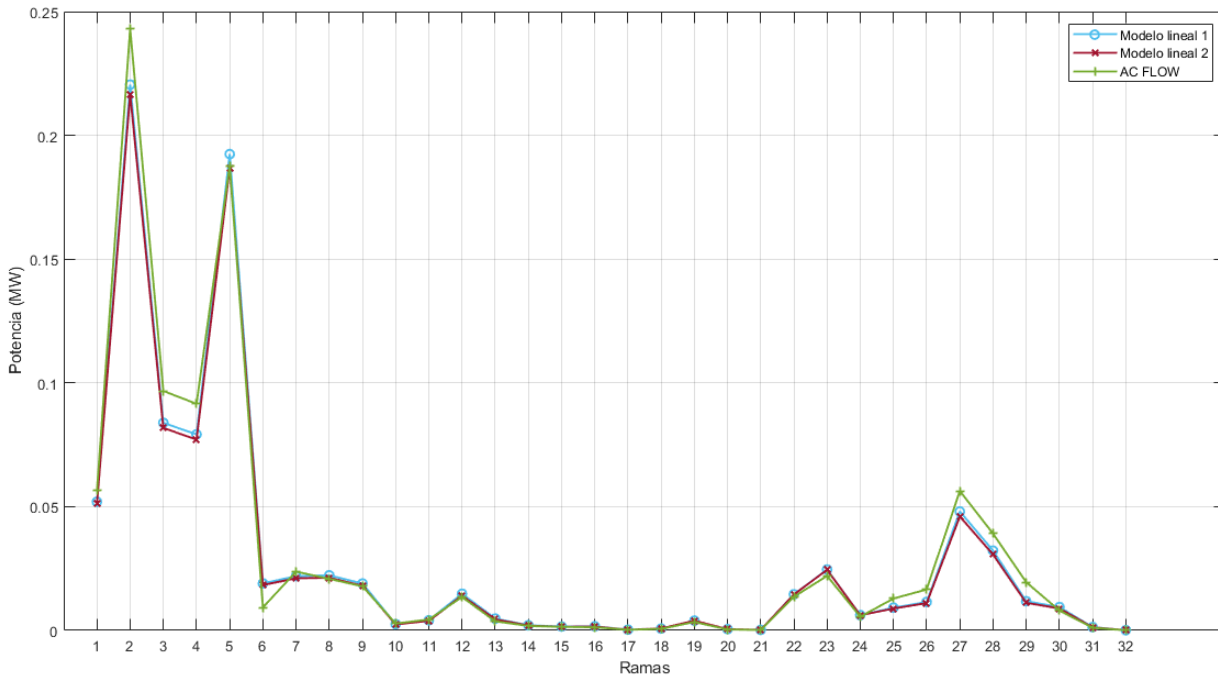


Ilustración 17 Pérdidas en las ramas para IEEE 33 con sobrecarga

Por último, los datos de generación en el ‘slack’ y pérdidas en la red, se pueden ver en la Tabla 17. Puede decirse que la aproximación de ambos Modelos es buena, con algo más de acierto del Modelo Lineal 1, en general en todos los aspectos, pues el error del desfase en el Modelo Lineal 2 se vuelve en su contra; aunque hay que tener presente redes muy grandes donde el modelo Lineal 1 pueda volverse en contra con los flujos de potencia el desprecio del desfase.

	Matpower	Modelo 1	Modelo 2
Pgen Slack (MW)	8.4057	8.3410	8.2121
Qgen Slack (MW)	5.2525	5.2389	5.1436
Pérdidas (MW)	0.9757	0.9165	0.8909

Tabla 17 Generación y pérdidas en IEEE 33 con sobrecarga

Errores (%)	MODELO 1	MODELO 2	NUDO
MÁXIMO	-	22.2991	18
MEDIO	-	6.6194	

Tabla 18 Desfase Modelo 2 en IEEE 33 con sobrecarga

5.1.3 Red IEEE 69 BUS SYSTEM con $V_0=1.05$ p.u.

Se trata de una red algo más compleja que la anterior pero que también es de tipología radial (ver Ilustración 18). Los datos de partida son: tensión base 12.66 kV, potencia base 10 MVA tanto nuestro fichero como ‘case69’ de Matpower. Partimos de una tensión en el nudo de referencia $V_0=1.05$ p.u.

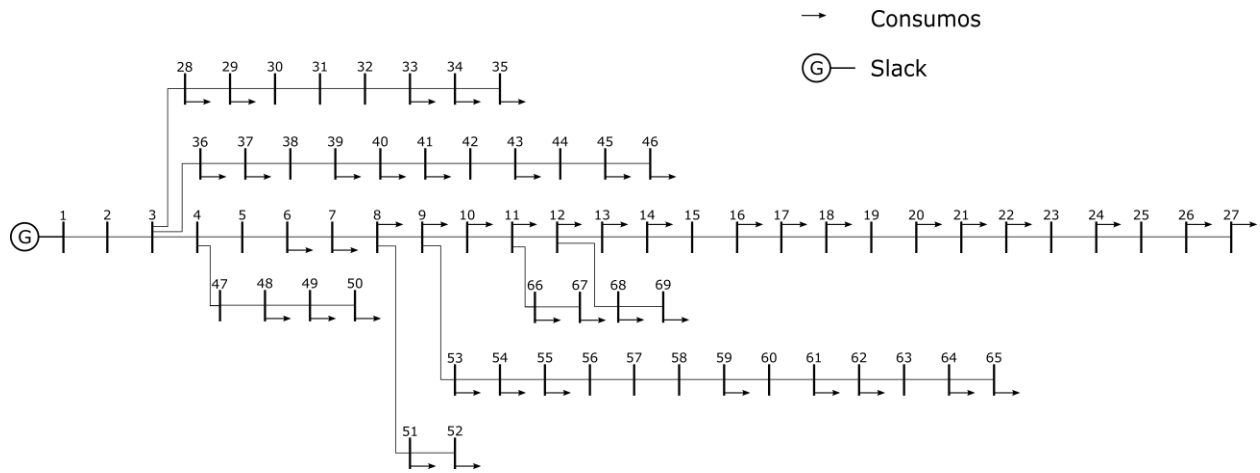


Ilustración 18 Red IEEE 69

Seguimos la misma tónica que para la red anterior. En este caso los errores en tensión son incluso menores (ver Tabla 19) y también la diferencia entre los resultados obtenidos por un modelo y el otro apenas varía (ver Ilustración 19). Al haber menos subtensión en general debido a nudos con menos cargas, sobre todo en los primeros 27 hace que ese valor medio disminuya, pero, en cuanto que esto cambia, (nudos 57-63) el error aumenta con valores más parecidos a los de la anterior red.

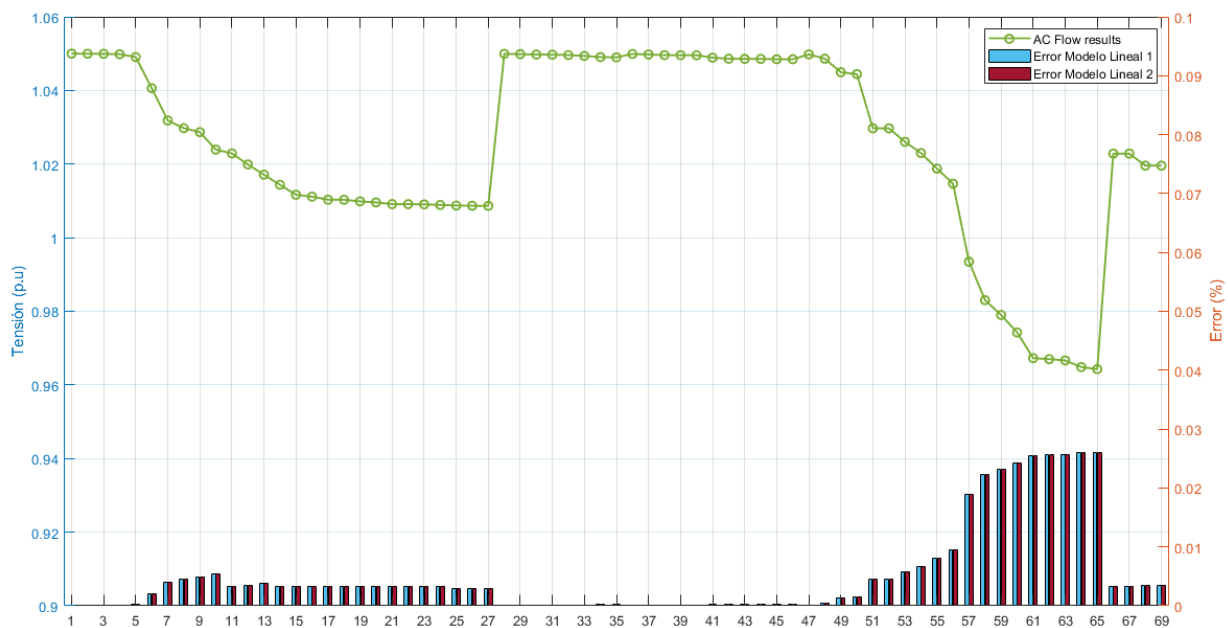


Ilustración 19 Tensión en nudos y errores en ambos modelos en IEEE 69

Errores (%)	MODELO 1	MODELO 2	NUDO M2
MÁXIMO	0.0261	0.0261	65
MEDIO	0.0051	0.0051	

Tabla 19 Errores en tensión para IEEE 69

Para el flujo de potencia activa en ramas los resultados son bastante buenos en ambos modelos (ver Ilustración 20 y Tabla 20), siendo mejores en el Modelo Lineal 1. Solo en algunos casos aumenta del 1% sin existir mucha diferencia entre uno y otro modelo. En este caso sí hay errores apreciables en Modelo 1 en ramas que transportan más potencia y en las que hay mayor diferencia de tensiones así como también en aquellas con poco flujo alejadas del ‘slack’, donde apenas hay error de tensión y este es consecuencia de no tener en cuenta el desfase. Mayor error en ramas de mucha potencia activa en el caso del Modelo Lineal 2 en los casos ya enunciados excepto en los de poco transporte de potencia alejados del ‘slack’.

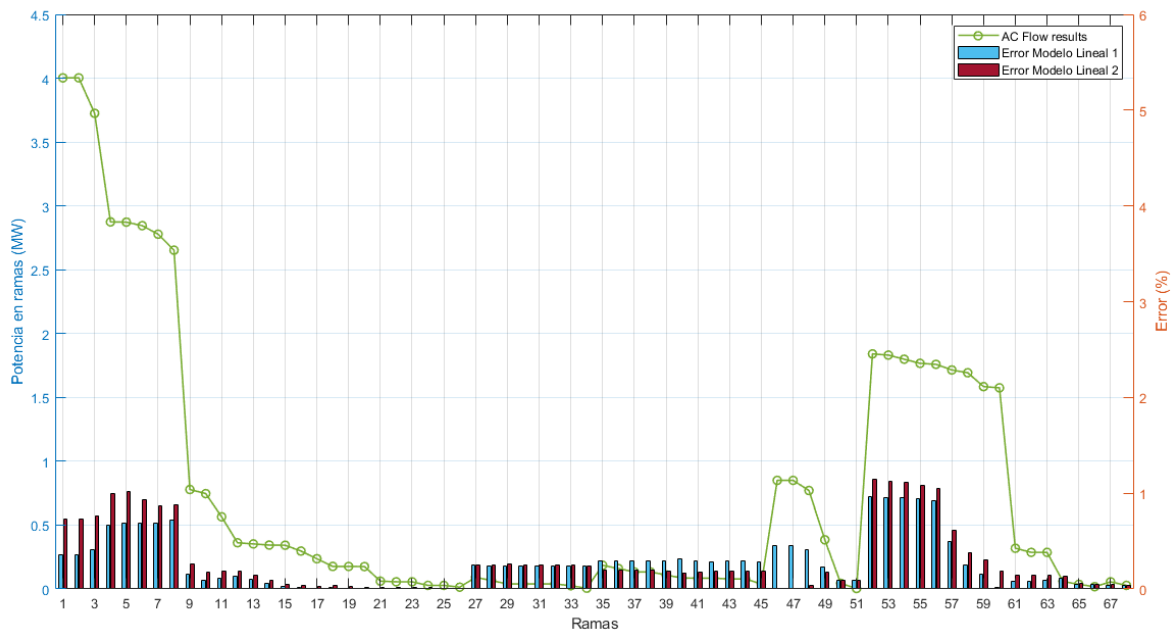


Ilustración 20 Flujo de potencia activa en ramas y errores en ambos modelos en IEEE 69

Tabla 20 Errores potencia activa en ramas en IEEE 69

Errores (%)	MODELO 1	MODELO 2	RAMA
MÁXIMO	0.9620	1.1456	51
MEDIO	0.2707	0.3008	

En cuanto a la reactiva (Ilustración 21), son destacables errores superiores en el Modelo Lineal 1 con respecto al Modelo Lineal 2 en muchas ramas. Aquí influye el hecho de que un modelo tiene en cuenta el desfase δ_{ij} entre nudos y otro no y, por tanto, en ramas donde circule gran flujo de reactiva, al haber sobretensión en esta, el desfase sea más condicionante al no haber grandes diferencias de tensión entre nudos (errores apenas apreciables) ocurriendo justo lo contrario que en el flujo de activa

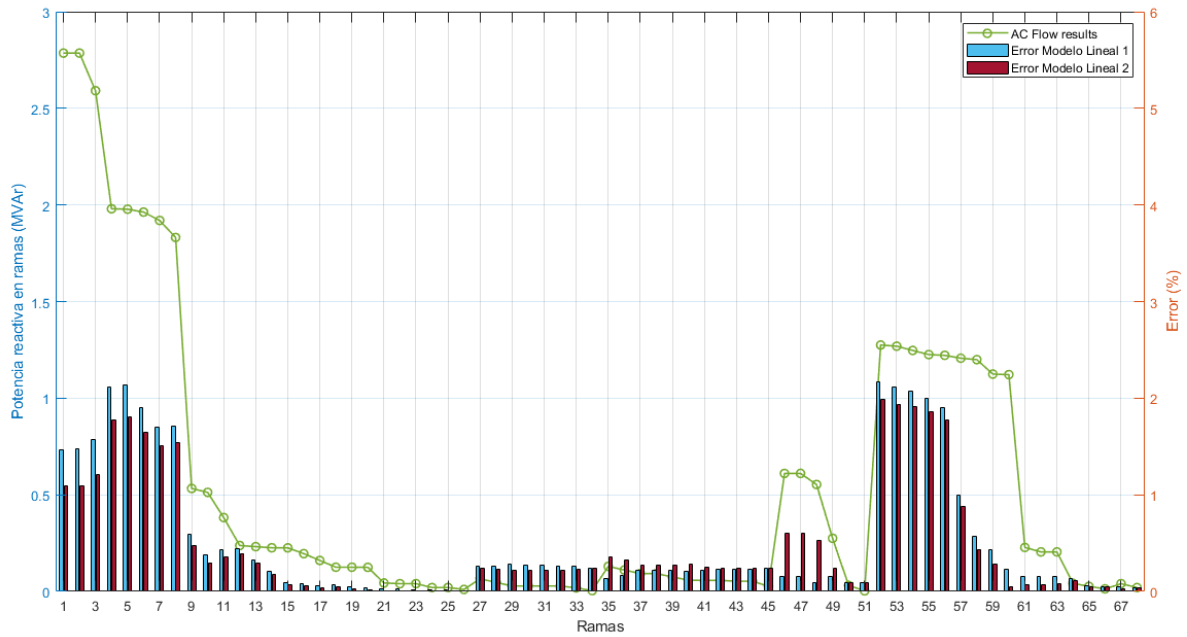


Ilustración 21 Flujo de potencia reactiva y errores en ambos modelos en IEEE 69

Tabla 21 Errores potencia reactiva en ambos modelos para IEEE 69

Errores (%)	MODELO 1	MODELO 2	RAMA
MÁXIMO	2.1729	1.9835	52
MEDIO	0.5198	0.4781	

Los errores de potencia reactiva en ramas, se consideran bajos. En este caso, son mayores los del Modelo Lineal 1 por lo ya mencionado anteriormente.

Queda por analizar las pérdidas (ver Ilustración 22). Ambos modelos obtienen similares cifras de pérdidas, que también pueden verse en Tabla 22 de generación y pérdidas.

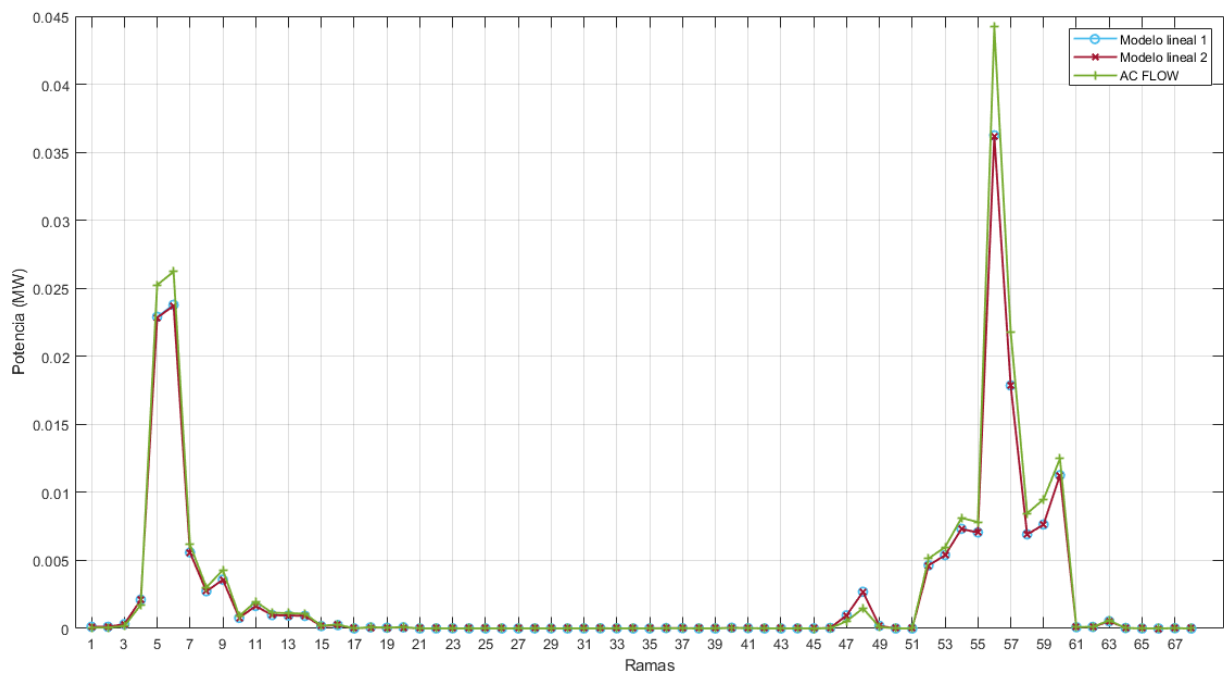


Ilustración 22 Pérdidas en las ramas para modelo AC y modelos lineales para IEEE 69

Otros datos para tener en cuenta, entre ellos el de las pérdidas totales podemos ver en la Tabla 22:

Tabla 22 Resultados generación y pérdidas para IEEE 69

	Matpower	Modelo 1	Modelo 2
Pgen Slack (MW)	4.0027	3.9884	3.7844
Qgen Slack (MW)	2.7859	2.8268	2.6822
Pérdidas (MW)	0.2006	0.1764	0.1760

Podemos concluir que en este caso los resultados de uno y otro modelo son parecidos entre sí, aportando buenas soluciones al flujo de cargas, en el caso de tensiones resultados muy parecidos y en potencia mejor el Modelo 1 y lo contrario ocurre con la reactiva. Cabe destacar el menor error absoluto en desfase y de ahí los resultados más parecidos entre ambos modelos.

Errores (%)	MODELO 1	MODELO 2	NUDO
MÁXIMO	-	4.7008	58
MEDIO	-	1.6776	

Tabla 23 Error absoluto en desfase Modelo 2 en IEEE 69

Con los resultados de los tres experimentos puede decirse que la solución obtenida por ambos es igual de aproximadas acercándose algunas veces un modelo más que otro, pero con diferencias mínimas. Cabe destacar que cuanto mayor es la diferencia de tensión con respecto a 1.0 p.u. mayor es el error y mayor será en el resto de parámetros. Normalmente el Modelo lineal 1 aporta mejores soluciones, tanto para casos con red en estado normal, como con sobrecarga y sobretensión. Con sobrecarga los errores se ven incrementados al igual que con sobretensión pero ambos dentro de unos resultados aceptables.

Como conclusión, el empleo de estos métodos en redes radiales es válido y puede llegarse a implementar de forma general para este tipo de redes y en estados fuera de lo normal (sobrecarga, sobretensión...)

5.2 Redes malladas

Pasamos ahora a analizar redes malladas. Como ya se comentó en apartado 4, el Modelo lineal 1 no está pensado para este tipo de redes dado que su planteamiento de balance de potencias en una rama se hace a través de los nudos raíces siguiendo el camino desde el nudo de referencia. Si hay más de una camino, como pasa con las redes malladas, no podemos resolverlo. Por tanto, solo se analizará el Modelo Lineal 2 que no impone ninguna restricción acerca de la topología de la red. La red a analizar será IEEE 119 [6] [7].

5.2.1 Red IEEE 119 BUS SYSTEM

La red IEEE 119 consta realmente de 118 nudos aunque su nombre indique que hay uno más. La red se muestra en la Ilustración 23 y, como podemos apreciar, para darle el carácter mallado a la red conectamos las denominadas ‘tie lines’. En cuanto a los datos de partida de la red: tensión base 11 kV, potencia base 1 MVA en nuestro fichero y 10 MVA en resolución de Matpower fichero ‘case118zh’.

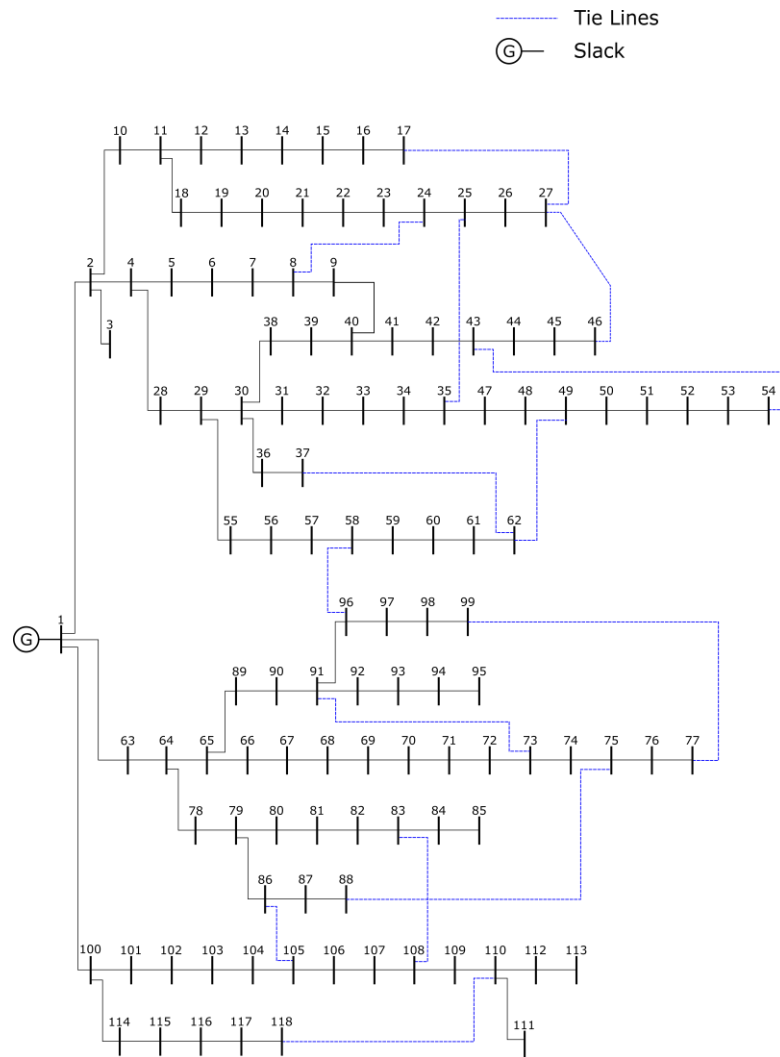


Ilustración 23 Red IEEE 119

Analizamos los resultados obtenidos de la misma forma que en las redes anteriores solo que esta vez hay un modelo a analizar, el Modelo Lineal 2, solo que con dos versiones. Con el objetivo de conocer mejor las limitaciones y funcionamiento del Modelo Lineal 2 se hace aquí una versión alternativa que parte de no igualar a cero los términos de (4 - 89) quedando la ecuación de flujo de cargas con el que se implementa este modelo versionado como:

$$\begin{cases} \frac{P_i}{V_i} \approx \sum_{j=1}^n V_j G_{ij} + \sum_{j=1}^n V_j B_{ij} (\delta_i - \delta_j) \approx \sum_{j=1}^n V_j G_{ij} + \sum_{j=1}^n B_{ij} (\delta_i - \delta_j) \\ \frac{Q_i}{V_i} \approx - \sum_{j=1}^n V_j B_{ij} + \sum_{j=1}^n V_j G_{ij} (\delta_i - \delta_j) \approx - \sum_{j=1}^n V_j B_{ij} + \sum_{j=1}^n G_{ij} (\delta_i - \delta_j) \end{cases} \quad (6 - 1)$$

En este caso tendremos en cuenta la diferencia de fase entre el nudo i y el resto de nudos contiguos. La potencia será calculada como en la fórmula (4 - 92) teniendo en cuenta todos los parámetros.

Para el caso de tensiones obtenemos los resultados (ver Ilustración 24), donde se aprecia que el error en ambos modelos es el mismo y que estos errores relativos son muy bajos (no llegan al 0.02 %). Esto es debido a que no hay grandes subtensiones, lo que hace que este error sea pequeño (ver Tabla 24).

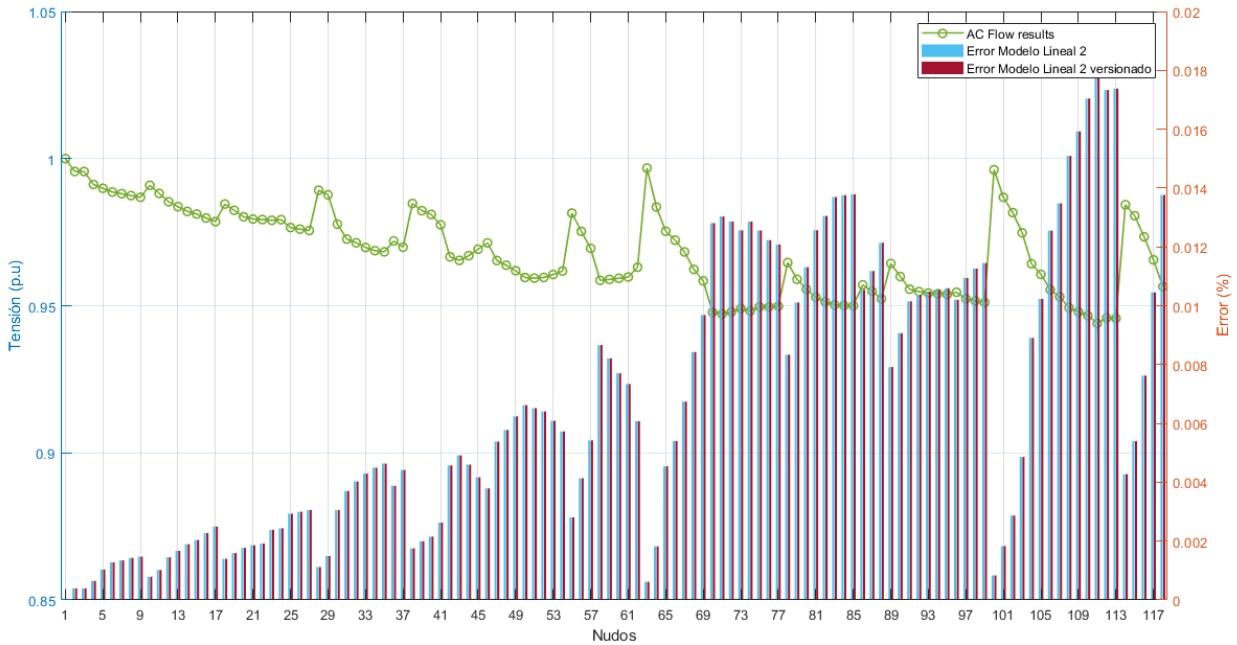


Ilustración 24 Tensiones en los nudos en IEEE 119 y errores relativos

Tabla 24 Errores en tensión para IEEE 119

ERROR (%)	Modelo 2	Modelo 2 versionado
Error máximo	0.00775	0.00775
Error medio	0.00279	0.00279

Pasando a la potencia activa en ramas, los resultados obtenidos para el Modelo Lineal 2 y el versionado son prácticamente iguales (ver apéndices). Podemos apreciar en ambos unos errores en general bajos (ver Tabla 25) con algunos picos que superan el 4%. Vemos que todos ellos coinciden en que precisamente el flujo en esas ramas es próximo a cero (ver Ilustración 25) lo cual hace que cualquier diferencia en potencia sea más sensible a error.

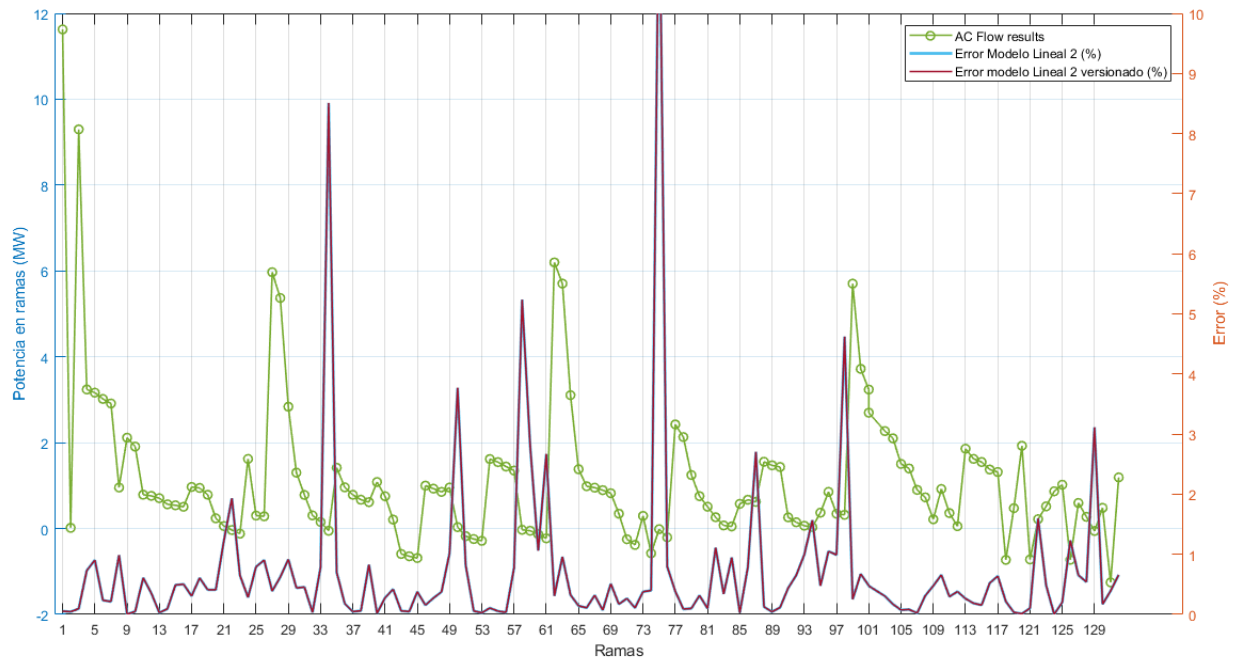


Ilustración 25 Flujo de potencia activa y errores Modelo Lineal 2 y versionado para IEEE 119

Sin embargo, debemos quedarnos con el dato de que el error medio es de 0.56%.

Tabla 25 Errores en flujo de potencia en ramas en IEEE 119

ERROR (%)	Modelo 2	Modelo 2 versionado
Error máximo	9.54115659	9.54115659
Error medio	0.5681736	0.5681736

Para el caso de flujo de potencia reactiva ocurre algo parecido, pero como es de prever, mayores cifras de error en términos generales (ver Ilustración 26). Esto se debe a las relaciones de R y X, como ya se ha mencionado con V y δ .

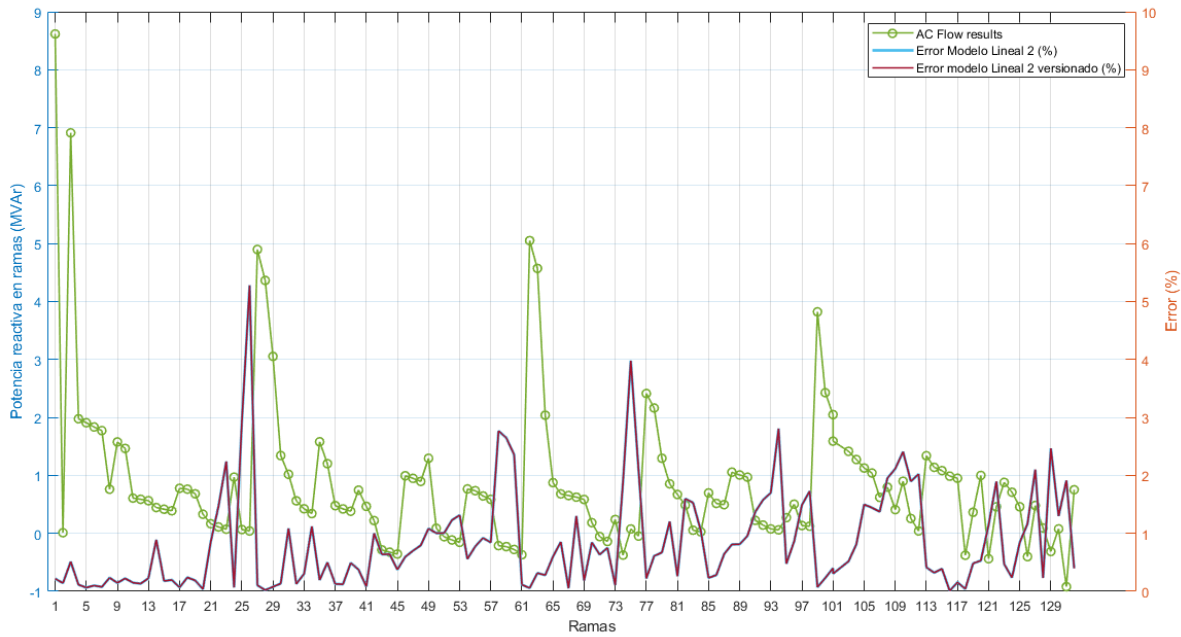


Ilustración 26 Flujo de potencia reactiva y errores en Modelo Lineal 2 y su versión para IEEE 119

En este caso, además de aumentar el error en las ramas donde el flujo es próximo a cero, también puede darse este hecho junto con que $R/X > 1$ como es el caso de la rama 27. Fijémonos que pudiera parecer ahora que nada tiene que ver las gráficas de flujo de potencias con las de tensiones en nudos a la hora de identificar los errores. Sigue teniendo que ver el hecho de mayor error cuanto mayor diferencia de tensión, solo que hay que tener en cuenta la identificación de la rama con los nudos que une (ver apéndices). Esto se debe al carácter mallado de la red.

Tabla 26 Errores en potencia reactiva en red IEEE 119

ERROR (%)	Modelo 2	Modelo 2 versionado
Error máximo	5.28020237	5.28020237
Error medio	0.86015985	0.86015985

Queda por analizar las pérdidas en las ramas. Por la Ilustración 27 podemos decir que los resultados del modelo se acercan a los obtenidos con la herramienta salvo alguna ramas con mayor diferencia.

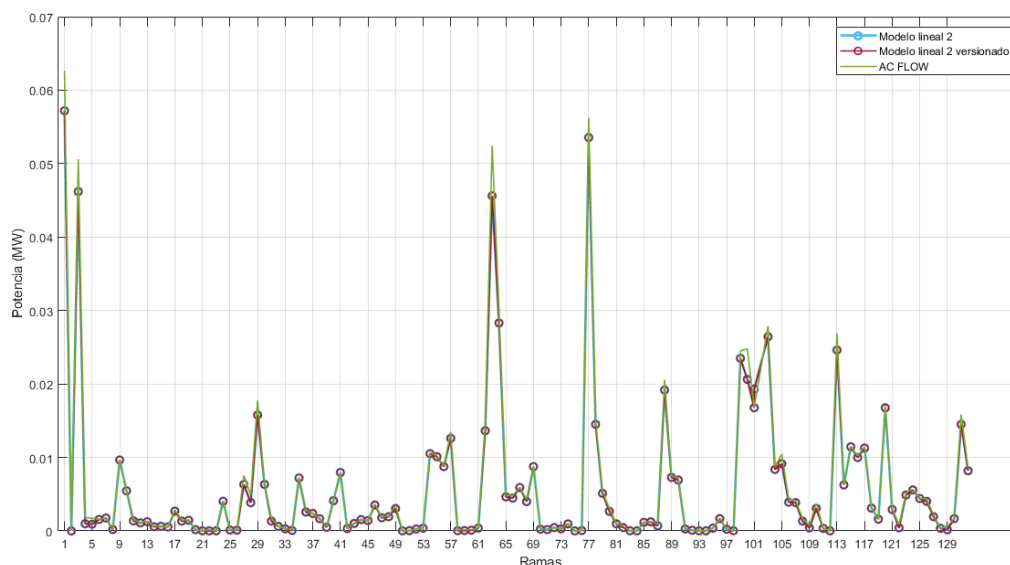


Ilustración 27 Pérdidas en las ramas en IEEE 119

Cabe destacar algunos datos de interés para validar los resultados en la Tabla 27 adjunta:

Tabla 27 Resultados de generación y pérdidas en IEEE 119

	Matpower	Modelo 2	Modelo 2 versionado
Pgen slack (MW)	23.3149612	23.29101262	23.2910126
Qgen (MVar)	17.491367	17.48032992	17.4803299
Pérdidas (MW)	0.605	0.564509388	0.56450939

Los valores de pérdidas resultante así como la potencia del ‘slack’ son bastante próximos. Como conclusión, el Modelo Lineal 2 también tiene un buen comportamiento en redes malladas de distribución y con unos resultados similares a los obtenidos en redes radial. El hecho de tener en cuenta la versión del modelo no ayuda a tener mejores resultados. Además, es necesario señalar que este tipo de redes utiliza más de un nudo de generación normalmente. Con lo cual, aparte de ser necesario seguir probando con más redes de este tipo, es conveniente plantearlas con nudos de generación. Por ello, se implementa la generación distribuida (DG), es decir que haya pequeños nudos de generación que ayuden a sufragar los consumos de la red. Cabe destacar que en ambos casos se utiliza la fórmula (4 - 110) para el cálculo de potencia en ambos casos, cosa que no se hará en la generación distribuida.

5.3 Redes de generación distribuida (DG)

Uno de los atractivos del modelo expuesto en [4] es que se podían aportar nudos de generación distribuida como los expuestos en el apartado 4. Vamos a implementar redes de este tipo para ver el funcionamiento del Modelo Lineal 2. Para ello nos vamos a servir de la red IEEE 69 e IEEE 119.

5.3.1 Red IEEE 69 BUS SYSTEM CON DG

Los parámetros son de nuevo los mismos que en 6.1.2 solo que añadiendo nudos de generación distribuida y en este caso con tensión base 12.66 kV. Las especificaciones de estos nudos se indica en la Tabla 28:

Tabla 28 Parámetros DG para IEEE 69

Nudos	Tipo	Parámetros
--------------	-------------	-------------------

8	Nudo de generación (P_Q)	$P_G=0.1$ MW, $Q_G=0.1$ MVar
45	Nudo de generación (P_Q)	$P_G=0.1$ MW, $Q_G=0.02$ MVar
21	Nudos de generación (P_V)	$P_G=0.4$ MW, $V_G=1.00$ p.u.
58	Nudos de generación (P_V)	$P_G=0.2$ MW, $V_G=1.00$ p.u.

Los resultados que obtenemos de la tensión van en consonancia con los de la validación del modelo. Podemos afirmar que los niveles de tensión poseen un error pequeño con respecto a la herramienta. Por otro lado, cabe destacar los mejores niveles de tensión al introducir estos nudos que sin ellos (mirar Ilustración 19 sin DG y comparar con Ilustración 28). El error medio no supera el 0,05 % lo cual es un resultado casi exacto.

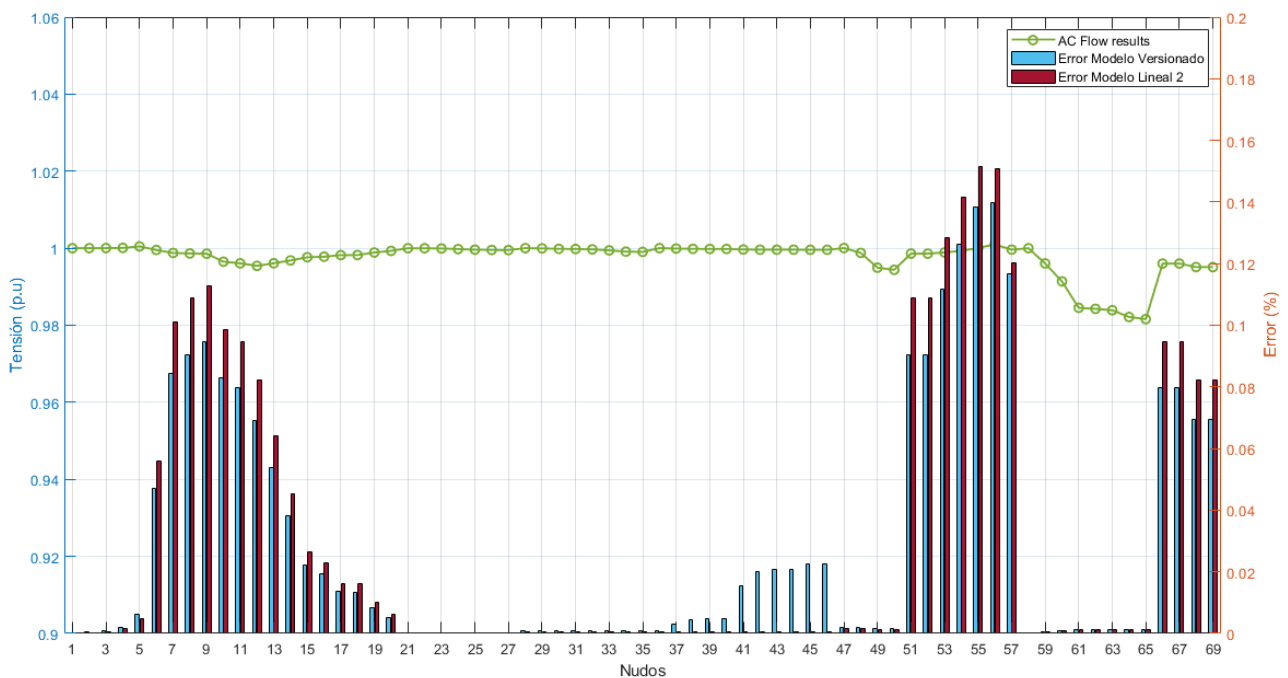


Ilustración 28 Tensión en nudos en IEEE 69 para el caso de nudos DG y errores con modelo 2

En el caso de flujos de potencia activa y reactiva en las ramas difieren bastante en uno y otro caso (ver Ilustración 20 e Ilustración 29) y esto lleva a grandes errores en muchos puntos de la red (ver Tabla 29).

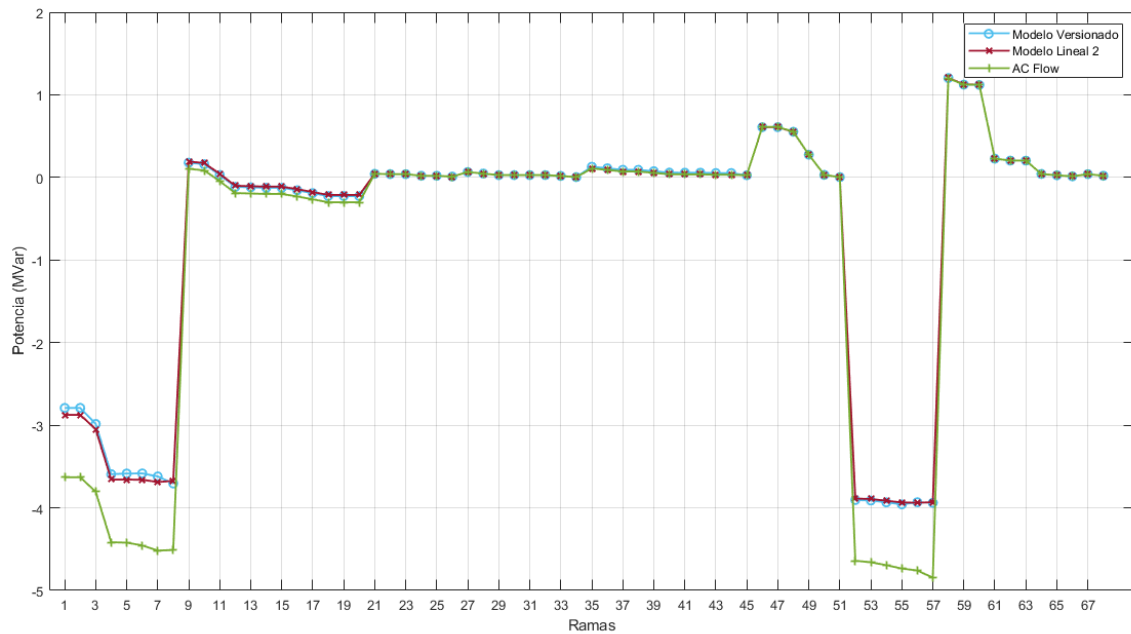


Ilustración 29 Flujo de potencia activa en ramas de IEEE 69 con DG

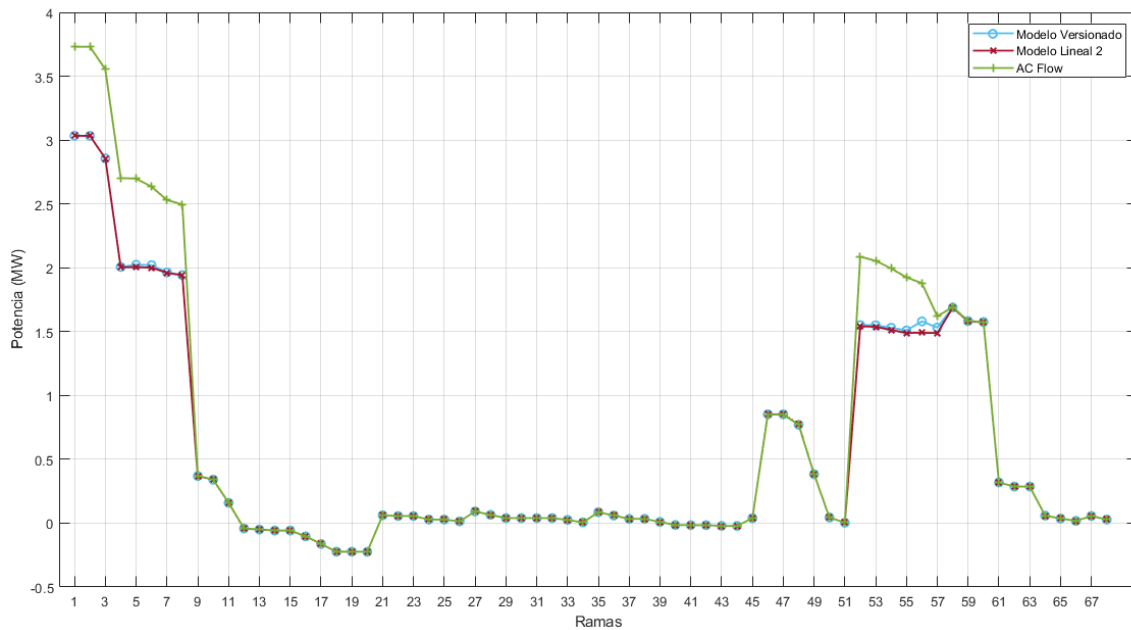


Ilustración 30 Flujo de potencia reactiva en IEEE 69 con DG

Se comprueba que tanto para activa como para reactiva pasa lo mismo en ambos casos: mayor diferencia en los flujos de ramas que son las que van desde el nudo de referencia al nudo 58 que es de tipo PV.

Tabla 29 Errores en tensión con respecto al modelo a Matpower del Modelo Lineal 2 en red 69 con DG

Errores (%)	MODELO 1	NUDO M1	MODELO 2	NUDO M2
MÁXIMO	0.1398	56	0.1514	55
MEDIO	0.0291		0.0313	

Errores (%)	PACTIVA				P REACTIVA		
	MOD 2V	RAMA M2V	MOD 2	RAMA M2	MOD 2V	MOD 2	RAMA M2
MÁXIMO	25.7642	4	26.1336	52	165.3554	195.5528	11
MEDIO	4.5002		4.6597		19.0774	14.4371	

Tabla 30 Errores en flujo de potencia en las ramas Modelo Lineal 2 con DG

Para ver los errores en cada rama ver apéndices, pero en resumen salen unos valores muy dispares que se consideran inaceptables ya que como podemos ver, no se acercan a los resultados de la herramienta.

En cuanto a las pérdidas tenemos unos resultados similares a los de la gráfica de potencia activa y que trae consigo la gran diferencia de pérdidas totales que hay entre el modelo y el flujo no lineal de Matpower (ver Tabla 31). El Modelo Lineal 2 versionado (Modelo 2 V) consigue unos resultados más cercanos a los valores reales en las pérdidas aunque no consigue aproximar el flujo por las ramas ni las potencias generadas.

Tabla 31 Resultados de generación y pérdidas IEEE 69 con DG

	Matpower	Modelo 2 v	Modelo 2
Pgen Slack (MW)	3.7308	3.0336	3.0334
Qgen Slack (MW)	-3.6303	-2.7903	-2.8742
Pérdidas (MW)	0.7287	0.5009	0.0316
Pgen 21 (MW)	0.4000	0.4000	0.4000
Qgen 21 (MVar)	0.4260	0.3512	0.3375
Pgen 58 (MW)	0.2000	0.2000	0.2000
Qgen 58 (MVar)	6.0873	5.1713	5.1336

Finalmente, aunque parecidos, las potencias aportadas por los generadores difieren entre uno y otro método y es esto lo que hace que los flujos por las ramas varíen tanto. Cabe destacar que la aportación de nudos de generación no hace disminuir las pérdidas (0,2 MW pérdidas de activa en red IEEE 69 estado normal), incluso hace que se tenga que generar más reactiva para compensar un generador con otro (el 'slack' pasa de generar a consumir reactiva) lo que provoca que haya más potencia reactiva neta en el sistema, la cual siempre hay que mantener en los mínimos necesarios para el correcto funcionamiento de la red. Por lo tanto, la primera conclusión es que los nuevos nudos de generación no se han ubicado en el lugar adecuado, pues el objetivo final de la generación distribuida es disminuir las pérdidas, algo que no se consigue en este caso.

Cabe destacar como se muestra en la Tabla 32 el incremento del error en el desfase con respecto al del estudio anterior. Este es sin duda el detonante de todos estos errores:

FASE	CON DG			SIN DG	
	MOD 2V	MOD 2	NUDO M2	MODELO 2	NUDO
Errores (%)					
MÁXIMO	153.1178	153.8751	59	4.7008	58
MEDIO	42.1924	42.0057		1.6776	

Tabla 32 Comparación errores absolutos en desfase con DG y sin DG para IEEE 69

Por ello, después de algunos tanteos se realiza otro flujo de cargas en la misma red con los siguientes parámetros, con el fin de encontrar unas generaciones que hagan reducir en parte las pérdidas sin aumentar la potencia reactiva en el sistema. Los parámetros en este caso son los de la Tabla 33:

Nudos	Tipo	Parámetros
8	Nudo de generación (P_G)	$P_G=0.1$ MW, $Q_G=0.1$ MVar
45	Nudo de generación (P_G)	$P_G=0.1$ MW, $Q_G=0.02$ MVar

67	Nudos de generación (P_V)	$P_G=1$ MW, $V_G=1.00$ p.u.
58	Nudos de generación (P_V)	$P_G=0.8$ MW, $V_G=1.00$ p.u.

Tabla 33 Parámetros nudos de generación Prueba 2

Y los resultados obtenidos se resumen en las Ilustración 31-34:

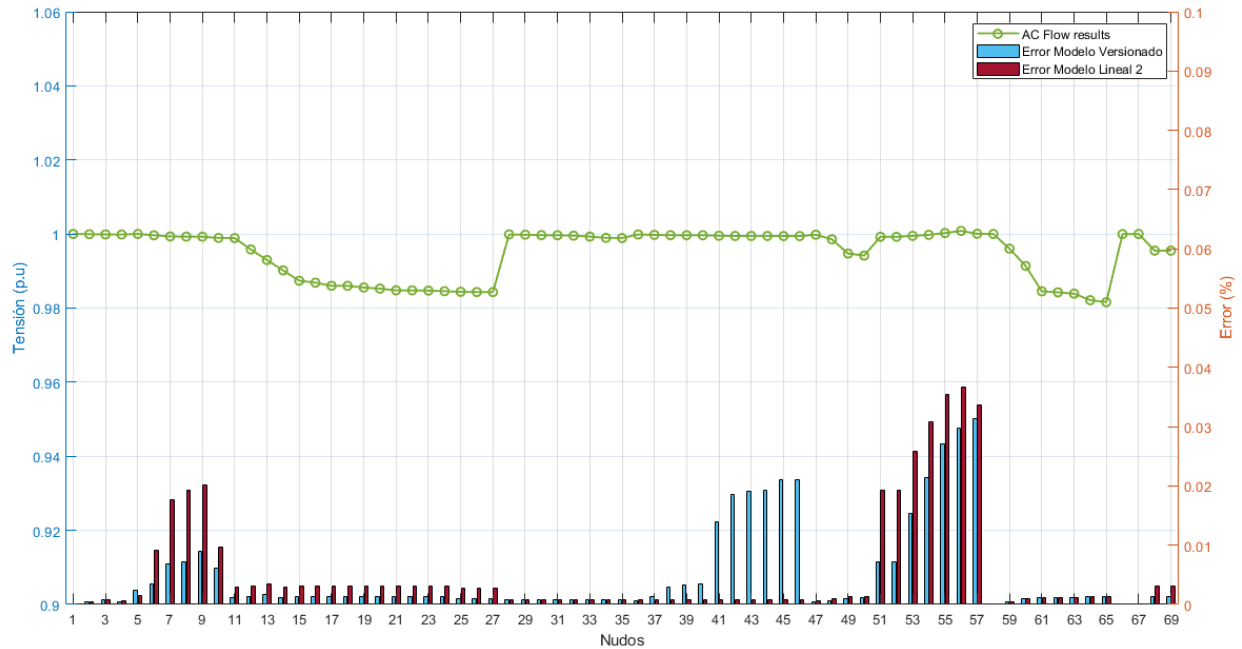


Ilustración 31 Tensión y errores en tensión en IEEE 69 con DG prueba 2

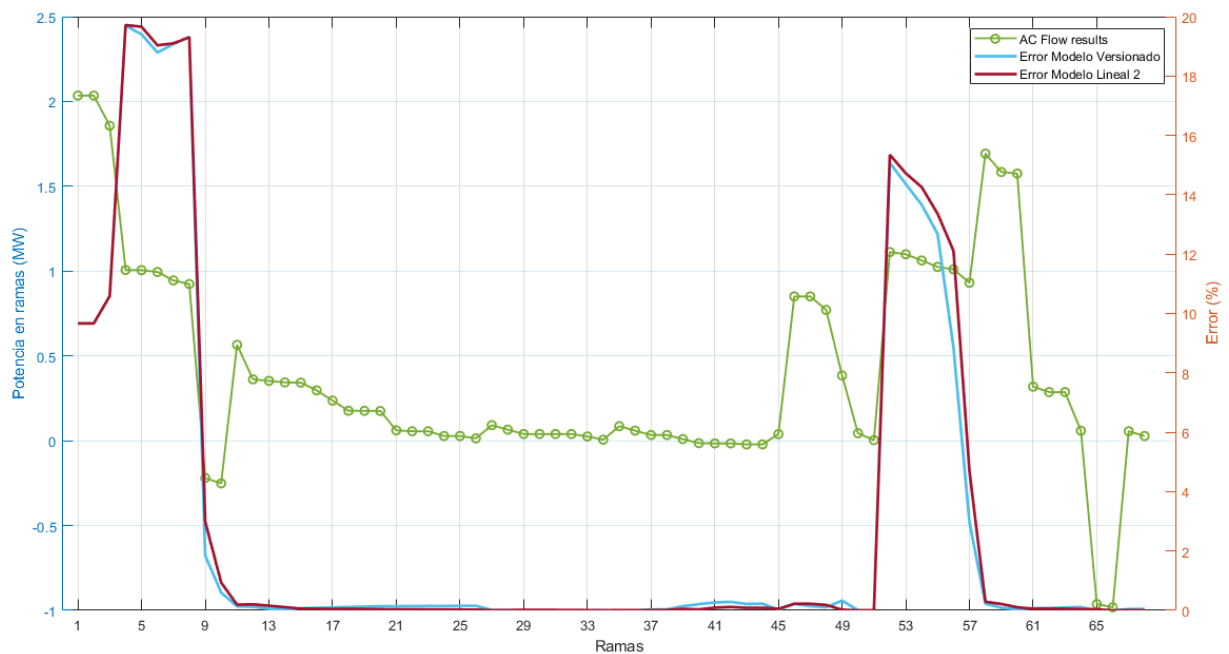


Ilustración 32 Flujo de potencia activa en ramas de IEEE 69 con DG prueba 2

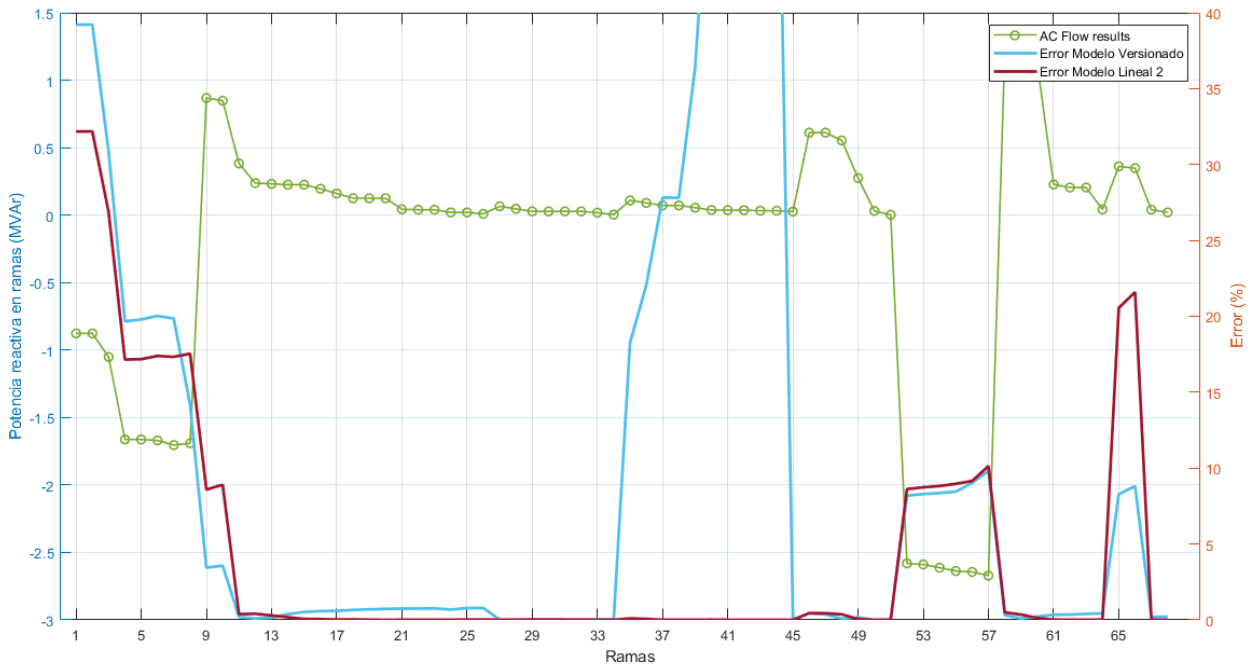


Ilustración 33 Flujo de potencia reactiva en ramas y error de IEEE 69 con DG prueba 2

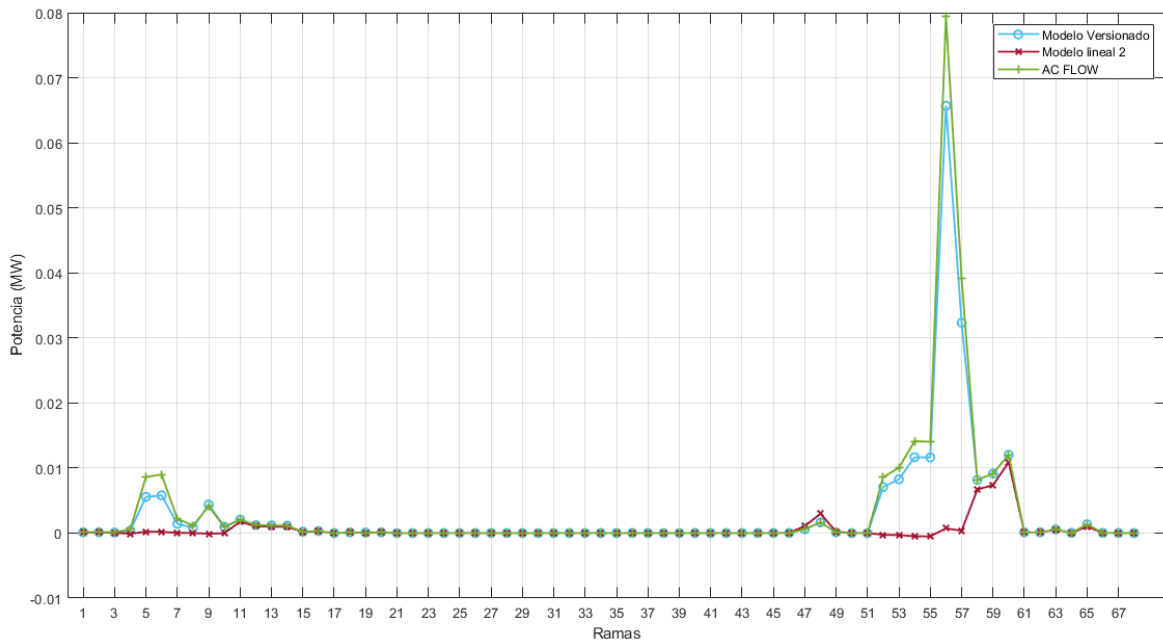


Ilustración 34 Pérdidas en IEEE 69 con DG prueba 2

Se puede deducir de las gráficas que, aunque sigue habiendo diferencias con la solución de Matpower que tienen similitudes con la prueba anterior: errores muy bajos (apenas alcanza 0,05% en tensión), coincidentes los errores en potencia en ramas con mayor error de tensión y de mayor error en desfase (ver tablas Apéndices). Puede verse esto reflejado en la Tabla 34 y Tabla 37:

Errores (%)	MOD 2V	NUDO M2V	MODELO 1	NUDO M2
MÁXIMO	0.0314	57	0.0367	56
MEDIO	0.0049		0.0053	

Tabla 34 Errores en tensión Modelo lineal 2 en IEEE 69 prueba 2

Errores (%)	P ACTIVA				P REACTIVA			
	MOD 2V	RAMA M1	MOD 2	RAMA M2	MOD 2V	RAMA M1	MOD 2	RAMA M2
MÁXIMO	19.6995	4	19.7177	4	61.2797	44	32.1799	2
MEDIO	2.9589		3.0647		10.4099		4.3550	

Tabla 35 Errores en flujos de potencia Modelo Lineal 2 en IEEE 69 prueba 2

Al haber disminuido el flujo de reactiva en el sistema, la solución ha mejorado. Puede decirse que hemos conseguido un doble objetivo: mejorar la solución con menor flujo de reactiva en la red y aproximarla más a los valores reales.

	Matpower	Mod 2V	Modelo 2
Pgen Slack (MW)	2.0348	1.8381	1.8381
Qgen Slack (MW)	-0.8767	-0.5329	-0.5946
Pérdidas	0.2327	0.1967	0.0364
Pgen 58 (MW)	0.8000	0.8000	0.8000
Qgen 58(MVAr)	3.8835	3.6227	3.6046
Pgen 67 (MW)	1.0000	1.0000	1.0000
Qgen 67 (MVAr)	-0.3349	-0.3655	-0.4100

Tabla 36 Resultados generación y pérdidas en IEEE 69 con DG prueba 2

Aunque en cuanto a pérdidas y reactiva de los nudos PV el resultado más fiable lo ofrece el modelo versionado como se ve en la Tabla 36 y en la Tabla 37, hay otros parámetros como la reactiva generada que se acerca más el Modelo 2. Hay que recalcar que los errores pueden llegar a estar cerca del 20% en el caso de flujo de activa y a sobrepasar el 40% en los flujos de reactiva, siendo peores los obtenidos por el modelo versionado. Ahora sí se podría hablar de cómo es el flujo y de unos resultados aproximados pues como se ve en las tablas los valores promedios son menores del 5%, excepto en el caso de la reactiva en el modelo versionado con un promedio del 10% debido a mayor error absoluto de desfase (ver tablas Apéndices).

Errores (%)	MOD 2V	NUDO M2V	MODELO 2	NUDO M2
MÁXIMO	47.1363	59	47.5855	59
MEDIO	13.2780		13.2099	

Tabla 37 Errores desfase Modelo Lineal 2 para IEEE 69 prueba 2

En este caso el error absoluto del desfase disminuye drásticamente, al haber elegido convenientemente los nudos de generación y sus parámetros.

5.3.2 Red IEEE 119 BUS SYSTEM con DG

Queda ahora llevar al extremo el Modelo, es decir poner nudos PV en una red mallada y ver cómo se comporta y qué resultados se obtienen. Los parámetros de partida son: tensión base 12.66 kV y potencia base 1 MVA. Los nudos de generación se muestran en la Tabla 38:

Nudos	Tipo	Parámetros
21	Nudo de generación (P _Q)	P _G =0.2 MW, Q _G =0.1 MVAr
81	Nudo de generación (P _Q)	P _G =0.2 MW, Q _G =0.1 MVAr
105	Nudo de generación (P _Q)	P _G =0.2 MW, Q _G =0.15 MVAr
28	Nudos de generación (P _V)	P _G =5.7 MW, V _G =1.00 p.u.

69	Nudos de generación (P _V)	P _G =2.5 MW, V _G =1.00 p.u.
92	Nudos de generación (P _V)	P _G =2.5 MW, V _G =1.00 p.u.

Tabla 38 Parámetros nudos de generación para IEEE 119

Cabe mencionar que estos parámetros se han introducido después de algunos tanteos con el fin de que el ‘slack’ no absorba reactiva sino que genere y así no haya más reactiva de la necesaria en el sistema. Los resultados obtenidos tanto con el Modelo como con Matpower se muestran a continuación:

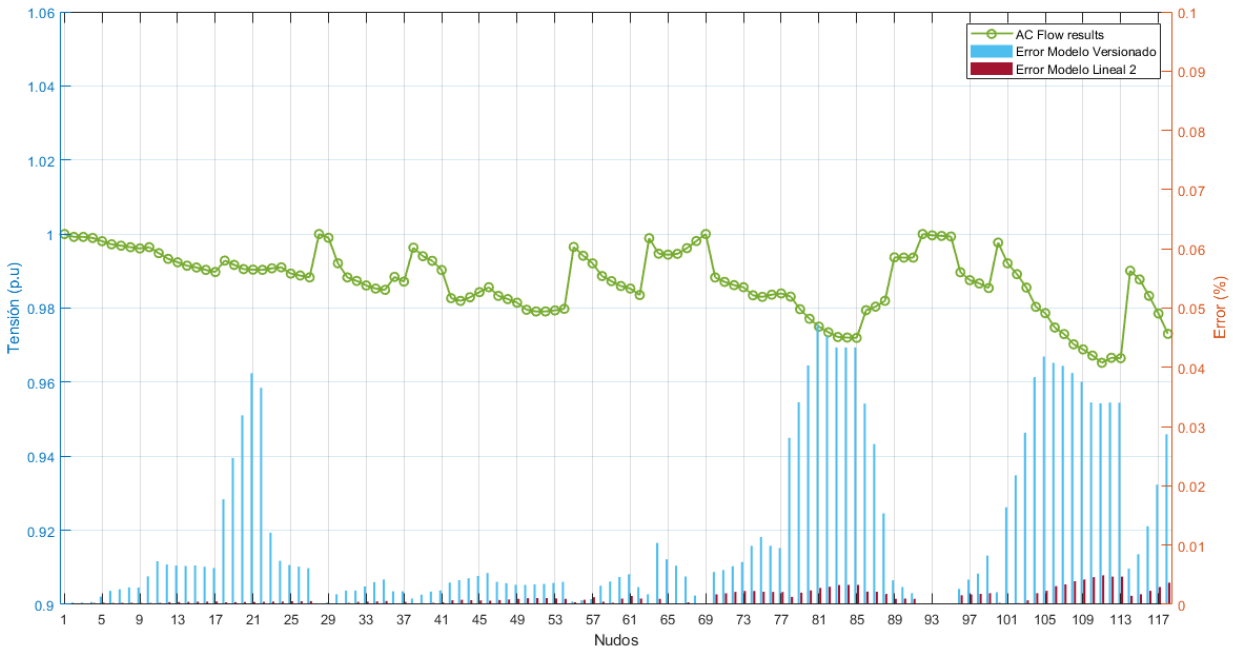


Ilustración 35 Tensiones y error en los nudos de red IEEE 119 con DG

Similares resultados en cuanto a errores con el caso sin DG y mejorando las subtensiones gracias a la presencia de los nudos PV. Ver también la tabla de errores Tabla 39 en los que se puede confirmar el mayor error del modelo versionado del orden de 10 veces superior. Sin embargo, como estos errores son pequeños siguen considerándose una cifra bastante pequeña.

Errores (%)	MOD 2V	NUDO M2V	MODELO 2	NUDO M2
MÁXIMO	0.04722046	81	0.00490615	111
MEDIO	0.01187808		0.00115985	

Tabla 39 Errores en tensión Modelo Lineal 2 en IEEE 119 con DG

En cuanto a los flujos de potencia en ramas los podemos ver en las ilustraciones Ilustración 36 e Ilustración 37:

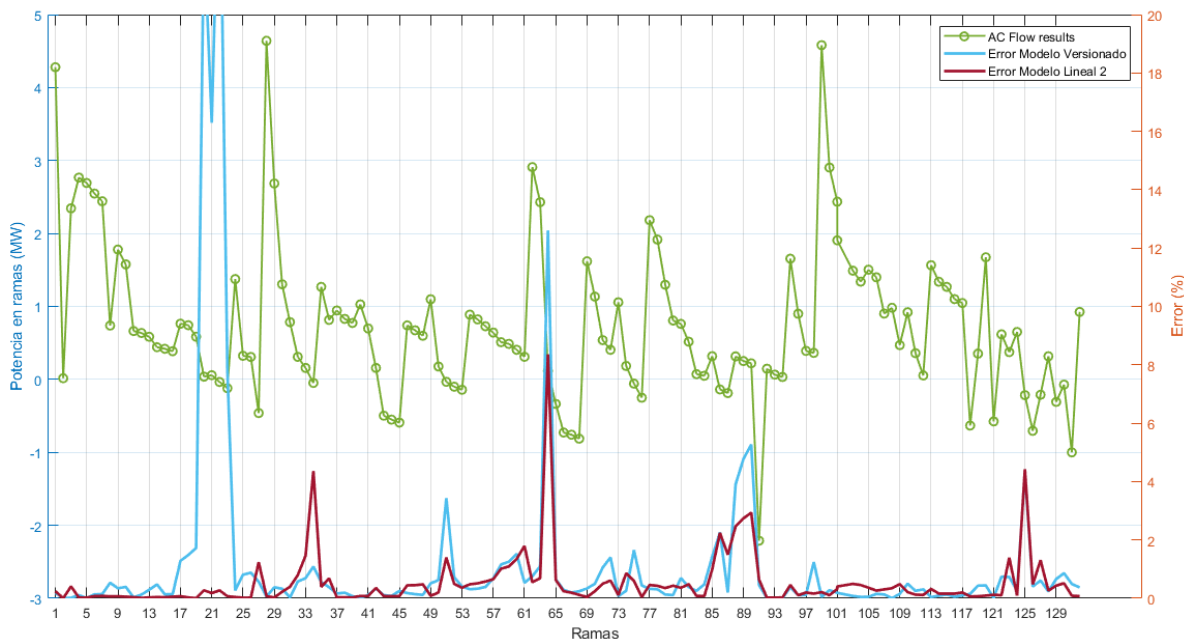


Ilustración 36 Flujo de potencia activa y errores en ramas de IEEE 119 con DG

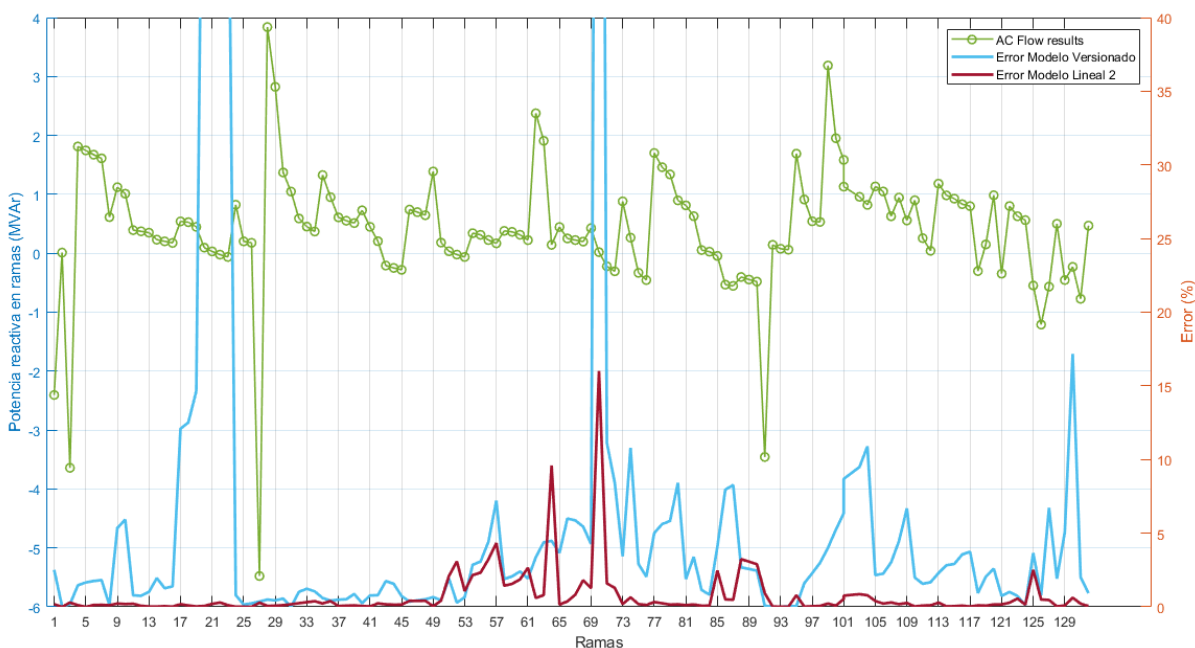


Ilustración 37 Flujo de potencia reactiva errores en ramas de IEEE 119 con DG

Los resultados de flujos parecen aceptables pues los errores son bajos (ver Tabla 40):

Errores (%)	MOD 2V	RAMA M2V	MOD 2	RAMA M2	MOD 2V	RAMA M2V	MOD 2	RAMA M2
MÁXIMO	26.5320	22	8.3602	64	150.8152	22	16.0110	70
MEDIO	1.2062		0.5285		6.7960		0.7281	

Tabla 40 Errores flujos de potencia Modelo Lineal 2 en IEEE 119 con DG

Se obtienen mejores resultados, es decir con menor error que en la red IEEE 69. Esto tiene que ver con que los errores en las dos incógnitas V y δ son menores (comprobar en Apéndices y ver Tabla 39 y Tabla 41), y lleva en consecuencia a disminuciones de error en el resto de parámetros, incluyendo las pérdidas (ver Ilustración 38) calculados a partir de dichas incógnitas.

Errores (%)	MODELO 1	NUDO M1	MODELO 2	NUDO M2
-------------	----------	---------	----------	---------

MÁXIMO	4.3903	81	1.6503	93
MEDIO	1.2464		0.3451	

Tabla 41 Errores en desfase Modelo Lineal 2 en IEEE 69 con DG

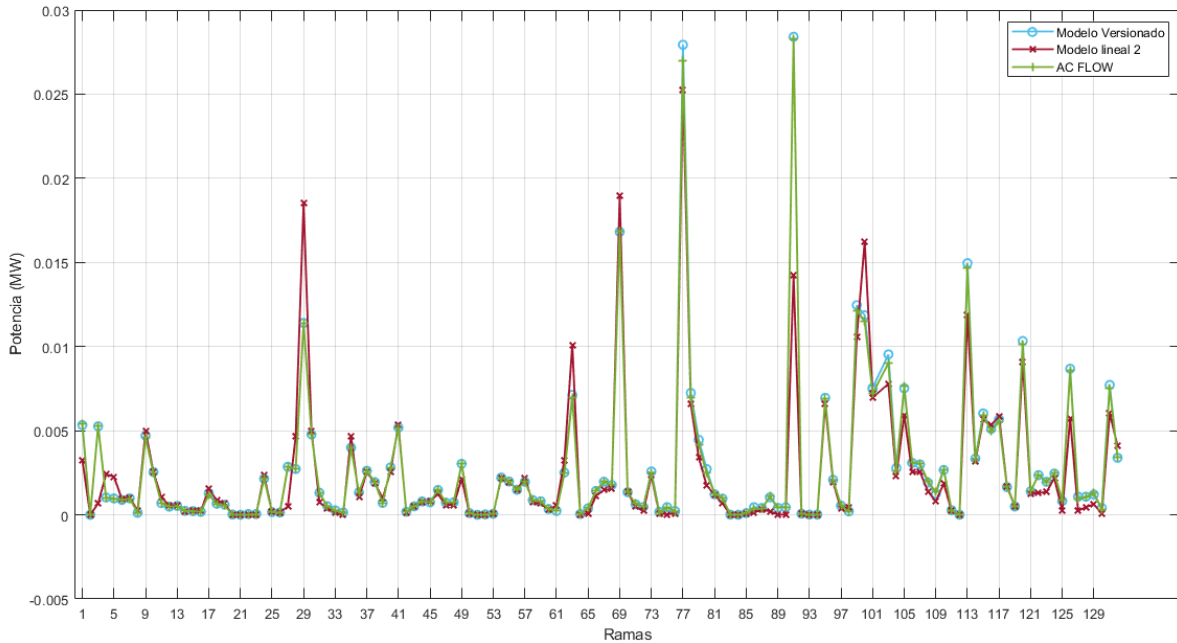


Ilustración 38 Pérdidas en las ramas para IEEE 119 con DG

Mostramos también como las generaciones se parecen a las alcanzadas con la herramienta (ver

	Matpower	Mod 2V	Modelo 2
Pgen Slack (MW)	11.7699	11.7381	11.7338
Qgen Slack (MW)	3.1577	3.4255	3.1833
Pérdidas (MW)	0.3602	0.3654	0.3306
Pgen 28 (MW)	5.7000	5.7000	5.7000
Qgen 28 (MVar)	9.8439	9.8825	9.8308
Pgen 92 (MW)	2.5000	2.5000	2.5000
Qgen 92 (MVar)	3.6946	3.6973	3.6715
Pgen 69 (MW)	2.5000	2.5000	2.5000
Qgen 69(MVar)	0.2690	0.2979	0.2590

Tabla 42 Resultados generación y pérdidas en red IEEE 119 con DG

):

	Matpower	Mod 2V	Modelo 2
Pgen Slack (MW)	11.7699	11.7381	11.7338
Qgen Slack (MW)	3.1577	3.4255	3.1833
Pérdidas (MW)	0.3602	0.3654	0.3306
Pgen 28 (MW)	5.7000	5.7000	5.7000
Qgen 28 (MVar)	9.8439	9.8825	9.8308
Pgen 92 (MW)	2.5000	2.5000	2.5000
Qgen 92 (MVar)	3.6946	3.6973	3.6715
Pgen 69 (MW)	2.5000	2.5000	2.5000

Qgen 69(MVAr)	0.2690	0.2979	0.2590
----------------------	--------	--------	--------

Tabla 42 Resultados generación y pérdidas en red IEEE 119 con DG

Estos resultados, a diferencia de los obtenidos con la red IEEE 69 (Tabla 31 y Tabla 42), se aproximan bastante a la solución real. Ocurre lo mismo que en la segunda prueba de la red 69: hay parámetros más cercanos a la solución real obtenidos por el Modelo 2 como algunas generaciones de reactiva y otros más acertados por la versión del mismo como son las pérdidas o algunas generaciones de reactiva en los nudos PV. Esto va a depender los errores de V y δ calculados en cada nudo al resolver estos modelos.

5.3.3 Red IEEE 119 BUS SYSTEM con DG y sobrecarga

Se procede ahora a analizar los resultados de flujo de carga en una red igual que en el caso anterior (IEEE 119) y con los mismos parámetros: tensión base 12.66 kV y potencia base 1 MVA. Como novedad, las cargas se dimensionan con el triple de la potencia que ya consumían (ver Apéndices) y se parte de una tensión en el nudo de referencia de 1.02 p.u. Los parámetros de los nudos generadores se muestran en Tabla 43:

Nudos	Tipo	Parámetros
21	Nudo de generación (P_Q)	$P_G=0.2$ MW, $Q_G=0.1$ MVAr
81	Nudo de generación (P_Q)	$P_G=0.2$ MW, $Q_G=0.1$ MVAr
105	Nudo de generación (P_Q)	$P_G=0.2$ MW, $Q_G=0.15$ MVAr
28	Nudos de generación (P_V)	$P_G=5.7$ MW, $V_G=1.00$ p.u.
69	Nudos de generación (P_V)	$P_G=4$ MW, $V_G=1.00$ p.u.
92	Nudos de generación (P_V)	$P_G=4$ MW, $V_G=1.00$ p.u.

Tabla 43 Parámetros nudos generación para IEEE 119 con DG y sobrecarga

Los resultados de tensiones en nudos y flujo de potencia en ramas se muestran en Ilustración 39- 40 y 41. De la tensión puede afirmarse que se obtienen de nuevo resultados favorables y que estos aumentan conforme más subtensión hay rozando un máximo de 0,12 %.

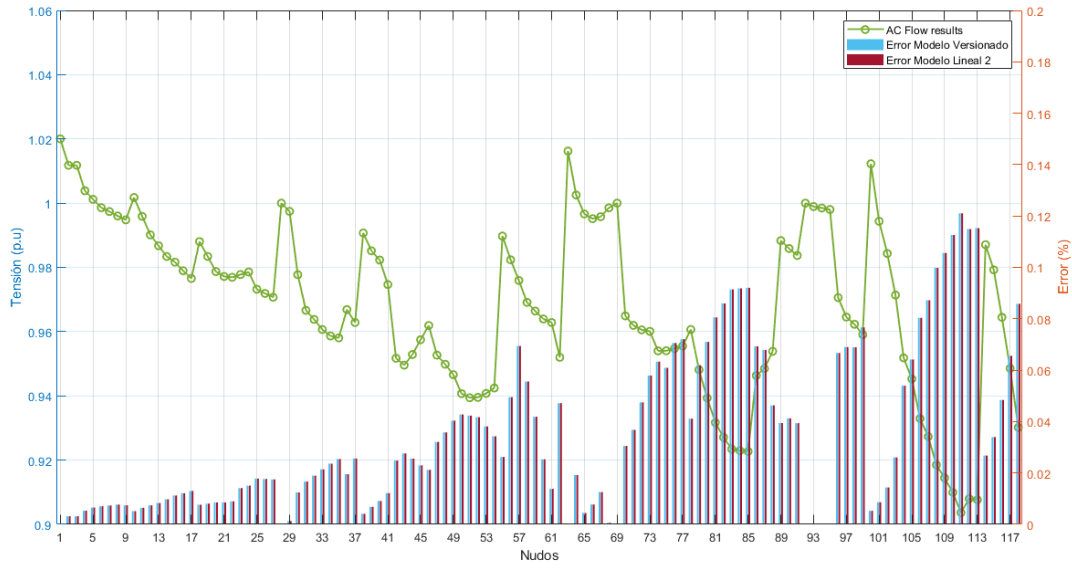


Ilustración 39 Errores en tensión Modelo Lineal 2 para IEEE 119 con sobrecarga

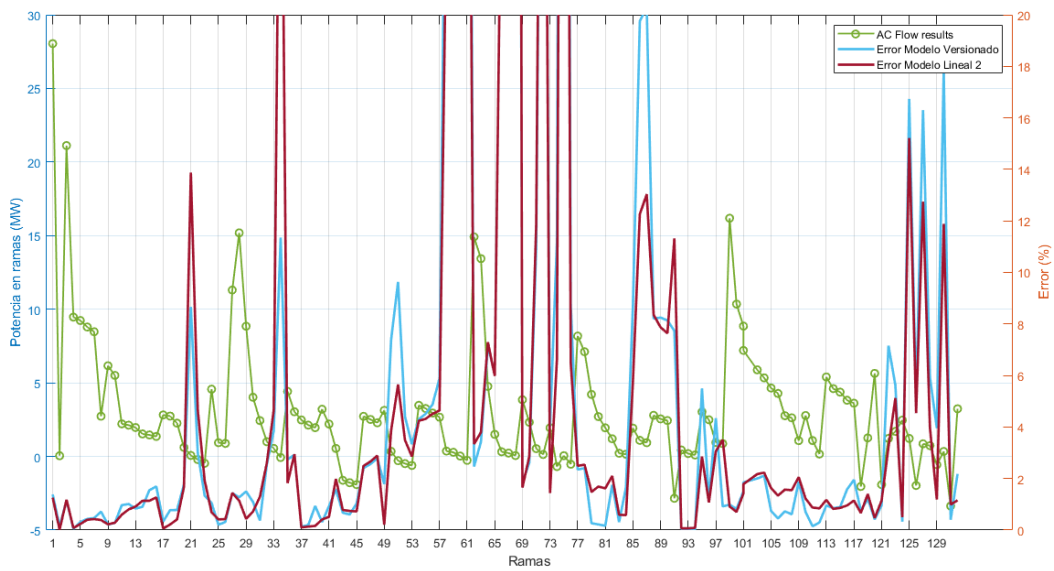


Ilustración 40 Flujo de potencia activa y error en Modelo lineal 2 para IEEE 119 con DG y sobrecarga

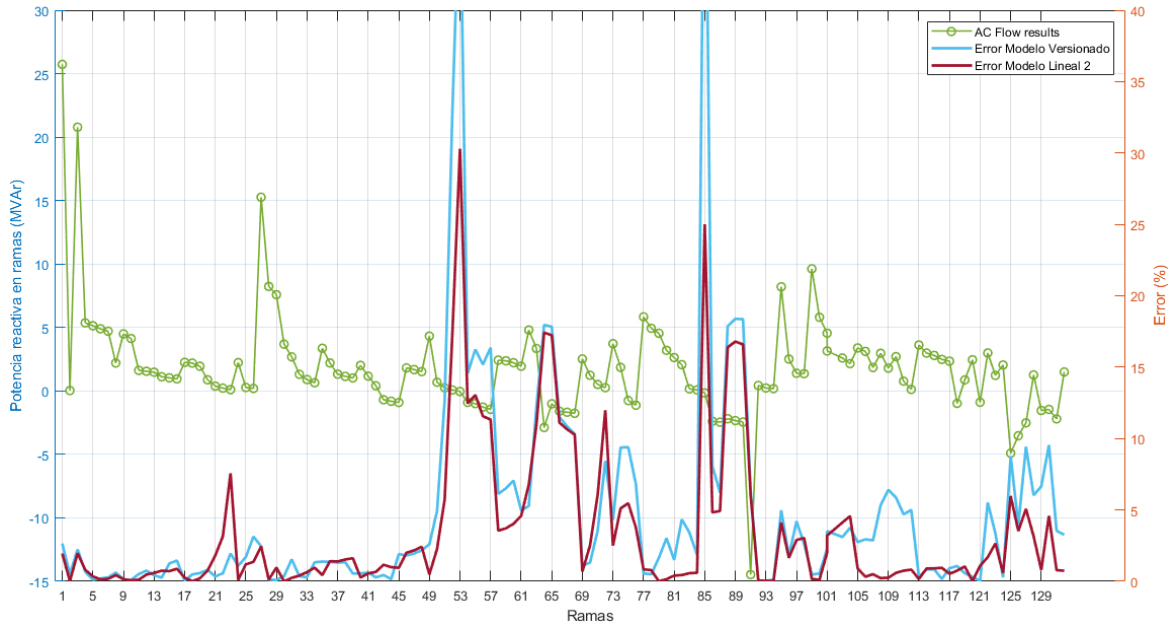


Ilustración 41 Flujo de potencia reactiva y error en Modelo Lineal 2 para IEEE 119 con DG y sobrecarga

Por ambas ilustraciones cuando estos flujos son cercanos a cero y en los cuales, los errores del desfase y tensión hacen que con una pequeña variación en el flujo con respecto a la herramienta se traduzca en grandes errores. Puede comprobarse que así es (ver Apéndices). Además hay que decir que en ambos caso el error aumenta con respecto al experimento anterior.

Errores (%)	TENSIÓN (E.RELATIVO)			FASE (E. ABSOLUTO)		
	MOD 2V	MODELO 2	NUDO	MOD 2V	MODELO 2	NUDO
MÁXIMO	0.1211	0.1211	111	43.4685	43.4685	93
MEDIO	0.0352	0.0352		9.2113	9.2113	

Tabla 44 Errores en fase y módulo de la tensión en Modelo Lineal 2 para IEEE 119 con DG y sobrecarga

Errores (%)	P. ACTIVA			P. REACTIVA		
	MOD 2V	MODELO 2	RAMA	MOD 2V	MODELO 2	NUDO
MÁXIMO	470.3526	378.8469	60	58.4026	30.2900	52
MEDIO	9.7980	8.6569		4.8782	3.4298	

Tabla 45 Errores en flujo de potencias en Modelo Lineal 2 para IEEE 119 con DG y sobrecarga

En algunas ramas los errores en flujos de potencia son altísimos pero si estos flujos son próximos a cero, como ocurre en los caso más extremos se considera que es normal tales cifras. Quitando estos resultados el resto de errores están entorno a la media (10% en activa y 5% en reactiva), cifras que permiten realizar una aproximación del flujo en esta red antes estas condiciones. Cabe destacar, que estas cifras son consecuencia de los buenos resultados tanto de fase como de tensión obtenidos (Tabla 44).

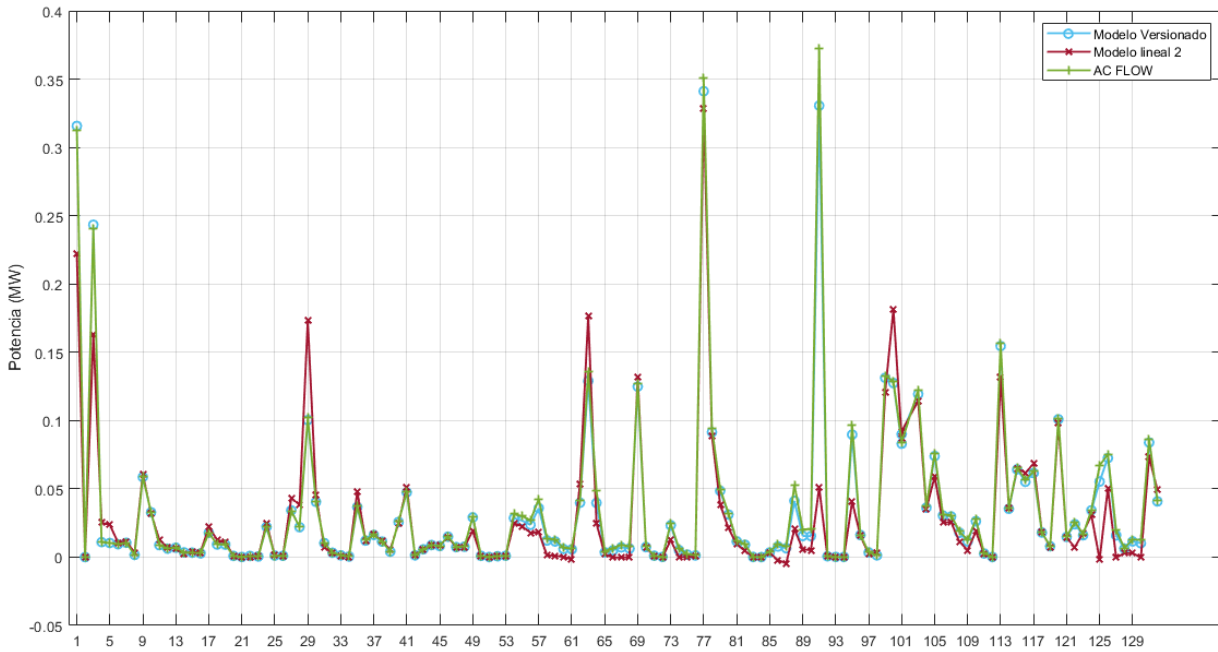


Ilustración 42 Pérdidas de potencia activa en las ramas en IEEE 119 con DG y sobrecarga

Como se puede ver en la Ilustración 42, las pérdidas son algo mejores en la versión del modelo, como ha venido siendo habitual en otros experimentos. Por otro lado, los resultados de generación y pérdidas de la red se indican en la Ta:

	Matpower	Mod 2V	Modelo 2
Pgen Slack (MW)	59.1383	58.2232	56.9995
Qgen Slack (MW)	40.1539	41.1337	40.1917
Pérdidas (MW)	4.7091	4.5137	3.8567
Pgen 28 (MW)	5.7000	5.7000	5.7000
Qgen 28 (MVAR)	-5.3954	-5.7585	-5.7844
Pgen 92 (MW)	4.0000	4.0000	4.0000
Qgen 92 (MVAR)	15.3128	14.3744	14.4899
Pgen 69 (MW)	4.0000	4.0000	4.0000
Qgen 69(MVAR)	4.3977	4.2430	4.2339

Tabla 46 Resultados generación y pérdidas IEEE 119 con DG y sobrecarga

Y se obtienen las mismas conclusiones que en el experimento anterior: pérdidas mejor aproximadas del modelo versionado así como algunas generaciones y otras mejor por el Modelo 2., aunque ambos con un comportamiento similar. Preocupa en este caso que el Modelo 2 ha alcanzado 2MW de diferencia con respecto a la solución real (un 3,6 % de error).

Puede concluirse tras realizar los cuatro experimentos con nudos de generación distribuida que se obtienen resultados desconcertantes en algunos casos y mejores en otros. Si se tienen en cuenta los siguientes matices los resultados que se obtienen son mejores: si aumenta la reactiva en el sistema, esto es, que aparte de las cargas, que algún nudo generador pase a consumir ha implicado un empeoramiento de los resultados con un mayor error, sobre todo, en desfase. Si se aumenta la carga del sistema también se ven incrementados estos errores pero si se eligen bien los generadores se puede llegar a simular un comportamiento muy cercano al real, como se ha visto en los experimentos con la red IEEE 119.

La siguiente conclusión es que, pese a que los valores de tensiones son muy acertados en el modelo, puede no ocurrir lo mismo con el resto de parámetros.

6 CONCLUSIONES

Gracias a los experimentos realizados podemos finalizar diciendo que la búsqueda de una solución lineal al problema de flujo de cargas es complicada pero posible, siempre teniendo en cuenta algunos matices que vamos a comentar a continuación. Los planteamientos que ofrecen los dos Modelos lineales dan lugar a resultados muy muy cercanos a los reales en el caso del módulo de la tensión, donde en el peor de los casos (sobrecarga en IEEE 33) apenas alcanzaba el 0,8 %. Con lo cual el cálculo de tensiones de una red con ambos modelos puede considerarse válido y ser de gran utilidad a la hora de, por ejemplo un precálculo de un Flujo de cargas más complejo.

Los otros parámetros, como es el caso del desfase de tensión, su error absoluto aumenta cuando las condiciones de la red empeoran, sobre todo al añadir nudos con control de tensión que aumenten la reactiva, sobrecargas en la red. Tanto la tensión como el desfase no se ven muy afectados por sobretensiones ni por la tipología de la red, funcionando a la perfección en redes radiales en estado normal. Los errores en estos dos parámetros se reflejan luego en el resto de parámetros que se calculan en el flujo de cargas: potencia activa y reactiva en las ramas, potencia generada por 'slack', pérdidas y potencia reactiva nudos PV.

Cuanto más extremas son las condiciones, mayores errores hay en los dos parámetros de cálculo, afectando en gran medida al resto de parámetros. Puede decirse que los resultados en estos casos no son fiables con nudos de generación distribuida si estos están mal dimensionados, y aunque lo estén el error puede llegar a ser cercano al 10%. Con estos errores un problema de optimización de la red puede no ser la mejor forma partir de la base de estos modelos, aunque todo depende de cuán exacto se quiera ser, pues llegan a aportar una buena estimación de cómo es el flujo y la generación.

En el caso específico de la generación distribuida, un caso se puede decir que ha tenido mala respuesta (IEEE 69 primera prueba). El resto de los casos presentan una solución buena (segunda prueba IEEE 69 con DG o IEEE 119 con DG) en el que los errores en todas las variables se han mantenido en unos límites aceptables. Además en el experimento con IEEE 119 se ha podido confirmar el buen funcionamiento para redes malladas con generación distribuida y el efecto positivo que esta tiene disminuyendo las pérdidas si los nudos de generación se plantean en las zonas adecuadas. El funcionamiento es correcto en nudos P_Q y no tanto en nudos P_V .

Con lo anteriormente expuesto, y los resultados conseguidos, los siguientes pasos han de ir encaminados a obtener una mejor solución en los parámetros de potencias del Modelo Lineal 2. Una vez que se consiguiese esto, el siguiente paso sería buscar una forma de encontrar dónde instalar nudos de generación en una red que haga disminuir las pérdidas. Si se logra esto, el Modelo Lineal 2 podría ser un modelo ejemplo a la hora de modelar redes con generación distribuida.

Otro aspecto y atractivo de estos modelos, es aplicarlos a tareas de reconfiguración de la red y conexión de líneas que aporten una mayor eficiencia, con menores pérdidas. Este sería otro de los pasos a realizar.

REFERENCIAS

- [1] A. G. y. otros, «Análisis y Operación de Sistemas de Energía Eléctrica,» vol. 2, nº 13.
- [2] A. G. Expósito, «Sistemas eléctricos de potencia: prontuario y problemas resueltos,» p. 12, 2002.
- [3] Y. G. L. D. H. S. a. W. W. T. Yang, «A Linear Branch Flow Model for Radial Distribution Networks and Its Application to Reactive Power Optimization and Network Reconfiguration,» *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 12, no. 3, pp. 2027-2036, May 2021, 2021.
- [4] C. W. W. Y. C. a. H. W. K. Liu, «Linear Power Flow Calculation of Distribution Networks With Distributed Generation,» *IEEE Access*, vol. 7, pp. 44686-44695, 2019, 2019.
- [5] H. G. Y. A. X. C. a. J. Y. C. Cheng, «Calculation method and analysis of power flow for distribution network with distributed generation,» *2015 5th International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies (DRPT)*, 2015.
- [6] H. Ahmadi, «people.ece.ubc blog,» [En línea]. Available: <https://people.ece.ubc.ca/hameda/downloads.htm>.
- [7] Varios, «Matpower Free, open-source tools for electric power system simulation and optimization,» [En línea]. Available: <https://matpower.app/manual/matpower/ExamplematpowerCases.html>.

ANEXOS

Mostramos a continuación los pasos de cálculo así como los códigos de los Modelos Lineales:

Resultados IEEE 33

Datos de red de tensiones y fases obtenidos con modelo 1:

Num. Nudo	Tipo	Sbase=10MVA		Pg p.u.	Qg p.u.
		Pl p.u.	Ql p.u.		
1	3	0	0	3.910459684	2.436170046
2	1	0.1	0.06	0	0
3	1	0.09	0.04	0	0
4	1	0.12	0.08	0	0
5	1	0.06	0.03	0	0
6	1	0.06	0.02	0	0
7	1	0.2	0.1	0	0
8	1	0.2	0.1	0	0
9	1	0.06	0.02	0	0
10	1	0.06	0.02	0	0
11	1	0.045	0.03	0	0
12	1	0.06	0.035	0	0
13	1	0.06	0.035	0	0
14	1	0.12	0.08	0	0
15	1	0.06	0.01	0	0
16	1	0.06	0.02	0	0
17	1	0.06	0.02	0	0
18	1	0.09	0.04	0	0
19	1	0.09	0.04	0	0
20	1	0.09	0.04	0	0
21	1	0.09	0.04	0	0
22	1	0.09	0.04	0	0
23	1	0.09	0.05	0	0
24	1	0.42	0.2	0	0
25	1	0.42	0.2	0	0
26	1	0.06	0.025	0	0
27	1	0.06	0.025	0	0
28	1	0.06	0.02	0	0
29	1	0.12	0.07	0	0

30	1	0.2	0.6	0	0
31	1	0.15	0.07	0	0
32	1	0.21	0.1	0	0
33	1	0.06	0.04	0	0

Tabla 47 Parámetros nudos IEEE 33 (potencia ‘slack’ calculada modelo 1)

Num Rama	EN PU				
	Origen	Fin	R	X	B
1	1	2	0.000575259	0.000293245	0
2	2	3	0.003075952	0.001566676	0
3	3	4	0.002283567	0.001162997	0
4	4	5	0.002377779	0.001211039	0
5	5	6	0.005109948	0.004411152	0
6	6	7	0.001167988	0.00386085	0
7	7	8	0.004438605	0.001466848	0
8	8	9	0.00642643	0.004617047	0
9	9	10	0.00651378	0.004617047	0
10	10	11	0.001226637	0.000405551	0
11	11	12	0.002335976	0.00077242	0
12	12	13	0.009159223	0.007206337	0
13	13	14	0.003379179	0.004447963	0
14	14	15	0.003687398	0.003281847	0
15	15	16	0.004656354	0.003400393	0
16	16	17	0.008042397	0.010737754	0
17	17	18	0.004567133	0.003581331	0
18	2	19	0.001023237	0.000976443	0
19	19	20	0.009385084	0.008456683	0
20	20	21	0.002554974	0.002984859	0
21	21	22	0.004423006	0.005848052	0
22	3	23	0.002815151	0.001923562	0
23	23	24	0.005602849	0.004424254	0
24	24	25	0.005590371	0.00437434	0
25	6	26	0.001266568	0.000645139	0
26	26	27	0.001773196	0.00090282	0
27	27	28	0.006607369	0.00582559	0
28	28	29	0.005017607	0.004371221	0
29	29	30	0.003166421	0.001612847	0
30	30	31	0.006079528	0.006008401	0
31	31	32	0.001937288	0.002257986	0
32	32	33	0.002127585	0.003308052	0

Tabla 48 Parámetros ramas IEEE 33

NUDOS	pu	pu	pu	Relativos (%)	
	V MAT	V MOD 1	V MOD 2	ERROR 1	ERROR 2
1	1	1	1	0	0

2	0.99703226	0.997046145	0.997046145	0.001392624	0.001392624
3	0.982937984	0.983024743	0.983024743	0.008826505	0.008826505
4	0.975456414	0.97559319	0.97559319	0.014021763	0.014021763
5	0.968059233	0.968246477	0.968246477	0.019342171	0.019342171
6	0.949658179	0.949980437	0.949980437	0.033934157	0.033934157
7	0.946172615	0.946531049	0.946531049	0.03788253	0.03788253
8	0.941328439	0.94171497	0.94171497	0.041062364	0.041062364
9	0.935059374	0.935493562	0.935493562	0.046434305	0.046434305
10	0.929244424	0.929722903	0.929722903	0.051491166	0.051491166
11	0.928384419	0.928868847	0.928868847	0.052179675	0.052179675
12	0.926884839	0.927379793	0.927379793	0.053399743	0.053399743
13	0.92077175	0.921317461	0.921317461	0.059266728	0.059266728
14	0.918504995	0.919070447	0.919070447	0.061562261	0.061562261
15	0.917092682	0.917670005	0.917670005	0.062951453	0.062951453
16	0.915724762	0.916313394	0.916313394	0.064280465	0.064280465
17	0.913697548	0.914303483	0.914303483	0.066316763	0.066316763
18	0.913090482	0.913701353	0.913701353	0.066901503	0.066901503
19	0.996503896	0.996518046	0.996518046	0.001420024	0.001420024
20	0.9929263	0.992941803	0.992941803	0.001561426	0.001561426
21	0.992221796	0.992237473	0.992237473	0.001580021	0.001580021
22	0.991584377	0.991600172	0.991600172	0.001592906	0.001592906
23	0.979352258	0.979443349	0.979443349	0.009301155	0.009301155
24	0.972681101	0.972780222	0.972780222	0.010190418	0.010190418
25	0.969356113	0.969458969	0.969458969	0.010610831	0.010610831
26	0.947728911	0.948067516	0.948067516	0.035728011	0.035728011
27	0.945165165	0.945525469	0.945525469	0.038120703	0.038120703
28	0.933725582	0.934171565	0.934171565	0.047763761	0.047763761
29	0.92550748	0.926014655	0.926014655	0.054799635	0.054799635
30	0.92195006	0.922483678	0.922483678	0.057879339	0.057879339
31	0.917788889	0.918354596	0.918354596	0.061638002	0.061638002
32	0.916873468	0.917446074	0.917446074	0.062452029	0.062452029
33	0.916589824	0.917164561	0.917164561	0.062703856	0.062703856

Tabla 49 Tensiones y errores en tensión IEEE 33

RAMAS	Origen	Fin	(MW)			Relativos (%)	
			Pmat	Pmod1	Pmod2	Error 1	Error 2
1	1	2	3.917677069	3.910459684	3.897738206	0.184226151	0.508946076
2	2	3	3.444299123	3.437588578	3.424892985	0.194830481	0.563427782
3	3	4	2.362895136	2.35926694	2.346875417	0.153548738	0.677969936
4	4	5	2.222994662	2.222080127	2.209204794	0.041139796	0.620328425
5	5	6	2.144295717	2.146197005	2.132628855	0.088667282	0.544088261
6	6	7	1.095267324	1.101094912	1.092760679	0.532069945	0.228861494
7	7	8	0.893352844	0.896916157	0.88936464	0.398869604	0.44643096
8	8	9	0.688514874	0.692152696	0.685518861	0.528357841	0.435141333
9	9	10	0.624334337	0.627856766	0.621239668	0.564189591	0.495674887

10	10	11	0.560773432	0.564173721	0.557703839	0.606356976	0.54738557
11	11	12	0.515219731	0.518495041	0.512419209	0.635711277	0.543558776
12	12	13	0.454338587	0.457457146	0.45191418	0.686395459	0.53361236
13	13	14	0.391672337	0.394512409	0.389331449	0.725114133	0.597664977
14	14	15	0.270943191	0.272901172	0.269167854	0.722653686	0.655243164
15	15	16	0.210586225	0.212138592	0.209164401	0.737164862	0.675174039
16	16	17	0.150304753	0.151449856	0.149275396	0.761854072	0.684847102
17	17	18	0.09005313	0.090725589	0.089388597	0.746735555	0.73793445
18	2	19	0.361137523	0.36135332	0.361332739	0.059754674	0.054055677
19	19	20	0.270976569	0.271162061	0.271142445	0.068453012	0.061214197
20	20	21	0.180144393	0.180194632	0.18017387	0.027888581	0.016363017
21	21	22	0.090043634	0.09006327	0.090051489	0.021806559	0.008722738
22	3	23	0.939612756	0.940900432	0.939879431	0.137043254	0.028381364
23	23	24	0.846431127	0.847560524	0.846493258	0.13343048	0.007340293
24	24	25	0.421287452	0.421751353	0.421045771	0.110115044	0.057367155
25	6	26	0.950779747	0.947616562	0.939786096	0.332693862	1.156277366
26	26	27	0.888178853	0.885731081	0.878055522	0.275594559	1.139785203
27	27	28	0.824849857	0.823417249	0.815879246	0.173681036	1.087544668
28	28	29	0.753549008	0.754384534	0.746342142	0.11087872	0.956389868
29	29	30	0.625715677	0.627994514	0.620482162	0.364196879	0.836404587
30	30	31	0.421819977	0.424727581	0.419317965	0.689299891	0.593146852
31	31	32	0.270226343	0.272099617	0.268440972	0.693223782	0.660694597
32	32	33	0.060013163	0.060430258	0.059606587	0.695004863	0.677477824

Tabla 50 Errores en potencia activa en ramas IEEE 33

RAMAS	Origen	Fin	(MW)			Relativos (%)	
			Qmat	Qmod1	Qmod2	Error 1	Error 2
1	1	2	2.435140928	2.436170046	2.42679725	0.042261098	0.342636381
2	2	3	2.207822379	2.208393146	2.199037037	0.025852059	0.397918876
3	3	4	1.68420047	1.682714843	1.673396053	0.088209615	0.641516059
4	4	5	1.594065361	1.590459915	1.580793029	0.226179324	0.832609031
5	5	6	1.554541715	1.549104593	1.538919102	0.349757223	1.004965844
6	6	7	0.527887733	0.52206361	0.518155308	1.103288207	1.843654255
7	7	8	0.421559175	0.420067497	0.416559774	0.353847783	1.18593093
8	8	9	0.319960362	0.317814967	0.314779976	0.670518928	1.619071286
9	9	10	0.296956871	0.295873958	0.292783614	0.364670215	1.405341227
10	10	11	0.274432836	0.274179414	0.271076335	0.092343777	1.223068289
11	11	12	0.244249772	0.243808239	0.24097911	0.180771153	1.339064592
12	12	13	0.208958434	0.208284216	0.205777379	0.322656104	1.522338317
13	13	14	0.17186069	0.1718956	0.169648884	0.020313254	1.286975632
14	14	15	0.090900903	0.091010845	0.089759093	0.120947798	1.256103979
15	15	16	0.080583185	0.08082484	0.079690104	0.299882755	1.10827253
16	16	17	0.060377641	0.060582603	0.059712365	0.339466867	1.101857623
17	17	18	0.040041669	0.040322484	0.039728265	0.701307261	0.782693283
18	2	19	0.161078853	0.160601476	0.160592328	0.296362469	0.302041184

19	19	20	0.120925259	0.120516471	0.120507754	0.338049995	0.345259405
20	20	21	0.080175404	0.080086503	0.080077275	0.110882932	0.122392506
21	21	22	0.040057693	0.04002812	0.040022884	0.073826272	0.086897583
22	3	23	0.457243045	0.455218867	0.45472758	0.442692059	0.550137496
23	23	24	0.405069073	0.40360025	0.403092028	0.362610667	0.488076228
24	24	25	0.201007403	0.200833978	0.200497986	0.08627801	0.253431647
25	6	26	0.973635937	0.980042744	0.971782013	0.658028987	0.19041247
26	26	27	0.947311143	0.953192946	0.944892616	0.620894509	0.25530444
27	27	28	0.920616202	0.925820653	0.917433268	0.565322555	0.345739495
28	28	29	0.890652448	0.895871159	0.886503364	0.585942446	0.465847732
29	29	30	0.813828185	0.818681748	0.809145847	0.596386622	0.575347287
30	30	31	0.211843964	0.212371899	0.20966577	0.249209481	1.028206886
31	31	32	0.14026897	0.141091439	0.139193913	0.586351513	0.766425274
32	32	33	0.040020477	0.040286838	0.039737725	0.665563976	0.706517429

Tabla 51 Errores en potencia reactiva ramas IEEE 33

Nudos	GRADOS			Absoluto (%)	
	ANG MAT	ANG MOD1	ANG MOD2	ERROR 1	ERROR 2
1	0	0	0	0	0
2	0.014481414	0	0.014498436	1.448141362	0.001702249
3	0.096041578	0	0.094860101	9.604157809	0.118147695
4	0.161651443	0	0.158501859	16.16514426	0.314958372
5	0.228285355	0	0.222125741	22.82853545	0.615961385
6	0.133853255	0	0.13078633	13.38532553	0.30669255
7	-0.096474029	0	-0.087170427	9.647402888	0.930360141
8	-0.06040303	0	-0.054217747	6.040303044	0.618528375
9	-0.133484473	0	-0.123709071	13.34844733	0.977540265
10	-0.196014019	0	-0.182577124	19.60140185	1.343689422
11	-0.188761056	0	-0.176024065	18.87610561	1.273699134
12	-0.177268954	0	-0.165715605	17.72689535	1.155334849
13	-0.268586499	0	-0.250473995	26.85864989	1.811250387
14	-0.347267455	0	-0.3225173	34.72674554	2.47501549
15	-0.384950205	0	-0.356953862	38.49502047	2.79963428
16	-0.408204882	0	-0.378193126	40.82048824	3.001175666
17	-0.485473106	0	-0.448390964	48.54731061	3.708214214
18	-0.495062672	0	-0.45708186	49.50626718	3.798081201
19	0.003650895	0	0.003666371	0.365089527	0.001547552
20	-0.063327683	0	-0.063143403	6.332768339	0.01842802
21	-0.082685562	0	-0.082369956	8.268556218	0.031560592
22	-0.103033133	0	-0.102557513	10.30331332	0.047561997
23	0.065079956	0	0.064097805	6.507995623	0.098215159
24	-0.02365393	0	-0.022867979	2.365392996	0.078595092
25	-0.067354548	0	-0.065330587	6.735454831	0.202396173
26	0.173309605	0	0.168453707	17.33096051	0.485589829
27	0.229463145	0	0.221802281	22.94631453	0.766086446
28	0.31240911	0	0.301113843	31.24091097	1.129526682

29	0.390314419	0	0.373836649	39.03144188	1.64777694
30	0.495585552	0	0.470443079	49.55855516	2.5142473
31	0.411177667	0	0.393130521	41.11776669	1.804714583
32	0.388134938	0	0.372137845	38.8134938	1.599709341
33	0.380405046	0	0.365103552	38.04050459	1.530149357

Tabla 52 Desfase y errores absolutos de los mismos en IEEE 33

Resultados IEEE 33 con sobrecarga

Datos de ramas son los mismos que en el caso anterior.

Num. Nudo	Tipo	Sbase=10MVA		Pg p.u.	Qg p.u.
		PI p.u.	QI p.u.		
1	3	0	0	8.341006199	5.238881492
2	1	0.2	0.12	0	0
3	1	0.18	0.08	0	0
4	1	0.24	0.16	0	0
5	1	0.12	0.06	0	0
6	1	0.12	0.04	0	0
7	1	0.4	0.2	0	0
8	1	0.4	0.2	0	0
9	1	0.12	0.04	0	0
10	1	0.12	0.04	0	0
11	1	0.09	0.06	0	0
12	1	0.12	0.07	0	0
13	1	0.12	0.07	0	0
14	1	0.24	0.16	0	0
15	1	0.12	0.02	0	0
16	1	0.12	0.04	0	0
17	1	0.12	0.04	0	0
18	1	0.18	0.08	0	0
19	1	0.18	0.08	0	0
20	1	0.18	0.08	0	0
21	1	0.18	0.08	0	0
22	1	0.18	0.08	0	0
23	1	0.18	0.1	0	0
24	1	0.84	0.4	0	0
25	1	0.84	0.4	0	0
26	1	0.12	0.05	0	0
27	1	0.12	0.05	0	0
28	1	0.12	0.04	0	0
29	1	0.24	0.14	0	0
30	1	0.4	1.2	0	0
31	1	0.3	0.14	0	0
32	1	0.42	0.2	0	0
33	1	0.12	0.08	0	0

Tabla 53 Parámetros nudos IEEE 33 con sobrecarga (potencia 'slack' calcula en modelo 1)

NUDOS	pu	pu	pu	Relativos (%)	
	V MAT	V MOD 1	V MOD 2	ERROR 1	ERROR 2
1	1	1	1	0	0
2	0.993624425	0.993767573	0.993767573	0.014406655	0.014406655
3	0.963109557	0.964010677	0.964010677	0.093563617	0.093563617
4	0.946618381	0.948047555	0.948047555	0.150976846	0.150976846
5	0.930261042	0.932229771	0.932229771	0.21163184	0.21163184
6	0.889477654	0.892854025	0.892854025	0.379590338	0.379590338
7	0.881749137	0.885438899	0.885438899	0.418459405	0.418459405
8	0.87101938	0.875045852	0.875045852	0.462271125	0.462271125
9	0.85701062	0.861561822	0.861561822	0.531055416	0.531055416
10	0.84399384	0.849040086	0.849040086	0.597900806	0.597900806
11	0.84206795	0.84718507	0.84718507	0.60768494	0.60768494
12	0.838705169	0.843948156	0.843948156	0.625128811	0.625128811
13	0.824947713	0.830755497	0.830755497	0.704018442	0.704018442
14	0.819838485	0.825862717	0.825862717	0.734807185	0.734807185
15	0.816650283	0.82280936	0.82280936	0.754187897	0.754187897
16	0.813560295	0.819849923	0.819849923	0.773099271	0.773099271
17	0.808974745	0.815462622	0.815462622	0.801987642	0.801987642
18	0.807601977	0.814147998	0.814147998	0.810550426	0.810550426
19	0.992559496	0.992703969	0.992703969	0.01455558	0.01455558
20	0.985341859	0.985493697	0.985493697	0.015409641	0.015409641
21	0.983920248	0.984073175	0.984073175	0.015542611	0.015542611
22	0.982633667	0.982787433	0.982787433	0.015648375	0.015648375
23	0.955693626	0.956633543	0.956633543	0.098349217	0.098349217
24	0.941883853	0.942897336	0.942897336	0.107601759	0.107601759
25	0.934988773	0.936039422	0.936039422	0.112370158	0.112370158
26	0.885176499	0.888717915	0.888717915	0.400080177	0.400080177
27	0.879451081	0.883214816	0.883214816	0.427964179	0.427964179
28	0.853897082	0.858607185	0.858607185	0.551600695	0.551600695
29	0.83552404	0.840917888	0.840917888	0.645564745	0.645564745
30	0.827560399	0.833253773	0.833253773	0.687970906	0.687970906
31	0.818210695	0.824272022	0.824272022	0.740802682	0.740802682
32	0.816153389	0.822295142	0.822295142	0.752524362	0.752524362
33	0.815515764	0.821682471	0.821682471	0.756172561	0.756172561

Tabla 54 Tensiones y errores en tensión IEEE 33 con sobrecarga

Nudos	GRADOS			Absoluto (%)	
	ANG MAT	ANG MOD1	ANG MOD2	ERROR 1	ERROR 2
1	0	0	0	0	0
2	0.032096393	0	0.031553694	3.209639272	0.05426986
3	0.215844515	0	0.206027814	21.5844515	0.98167008
4	0.366091153	0	0.343756494	36.60911525	2.23346586
5	0.522198521	0	0.481737419	52.21985208	4.04611019
6	0.309536154	0	0.286978726	30.95361535	2.25574276

7	-0.230743058	0	-0.181756166	23.07430576	4.89868916
8	-0.141574294	0	-0.110741644	14.15742943	3.08326498
9	-0.313528218	0	-0.261404608	31.35282176	5.21236092
10	-0.46320697	0	-0.38929827	46.320697	7.39086998
11	-0.444832919	0	-0.375102714	44.48329185	6.97302045
12	-0.415361099	0	-0.352742286	41.53610995	6.26188137
13	-0.639371842	0	-0.53733032	63.93718415	10.2041522
14	-0.836452661	0	-0.694249253	83.64526614	14.2203409
15	-0.931212941	0	-0.769305326	93.12129414	16.1907616
16	-0.989807897	0	-0.815632203	98.98078971	17.4175695
17	-1.186331849	0	-0.968857966	118.6331849	21.7473883
18	-1.210823213	0	-0.987832704	121.0823213	22.2990509
19	0.010273881	0	0.009737633	1.027388097	0.05362478
20	-0.125199324	0	-0.124961451	12.51993239	0.02378726
21	-0.164540154	0	-0.163738351	16.45401543	0.08018036
22	-0.205952468	0	-0.204466316	20.59524683	0.14861522
23	0.151352177	0	0.142642393	15.1352177	0.8709784
24	-0.036463121	0	-0.036639792	3.646312074	0.01766713
25	-0.13003984	0	-0.124319058	13.00398396	0.57207817
26	0.401938216	0	0.368607324	40.1938216	3.33308923
27	0.534278952	0	0.484186189	53.42789521	5.00927627
28	0.727282279	0	0.655741199	72.7282279	7.15410797
29	0.914620307	0	0.812846682	91.46203066	10.1773624
30	1.175170781	0	1.022055149	117.5170781	15.3115632
31	0.964282194	0	0.853889044	96.42821936	11.0393149
32	0.90621112	0	0.808211358	90.62111205	9.79997621
33	0.886690941	0	0.792902236	88.66909411	9.37887047

Tabla 55 Desfase y error en desfase IEEE 33 con sobrecarga (Modelo 1, desfase no se tiene en cuenta)

RAMAS	Origen	Fin	(MW)			Relativos (%)	
			Pmat	Pmod1	Pmod2	Error 1	Error 2
1	1	2	8.405712423	8.341006199	8.212132091	0.769788699	2.302961625
2	2	3	7.424570142	7.363819167	7.235617815	0.818242322	2.54495982
3	3	4	5.100498858	5.064303806	4.940572969	0.70963748	3.135495033
4	4	5	4.76375309	4.746804705	4.619409442	0.355778002	3.030040509
5	5	6	4.552221197	4.555932589	4.422887628	0.081529245	2.841109069
6	6	7	2.250897533	2.288244895	2.208558767	1.659220914	1.880972605
7	7	8	1.841603526	1.86770179	1.79546645	1.417148866	2.505266476
8	8	9	1.417841742	1.444102288	1.380637155	1.852149256	2.624029584
9	9	10	1.277010609	1.30465312	1.241662026	2.164626561	2.768072824
10	10	11	1.139192733	1.167660856	1.106350671	2.498973371	2.882924119
11	11	12	1.04641322	1.073629981	1.016035189	2.600957344	2.903062594
12	12	13	0.921977308	0.947628645	0.895075396	2.782209221	2.917849638
13	13	14	0.788500814	0.813397889	0.764520757	3.157520562	3.041221603

14	14	15	0.544807256	0.562503057	0.52729578	3.248084725	3.214251481
15	15	16	0.422991964	0.437154349	0.409113859	3.348145289	3.280938108
16	16	17	0.301557296	0.31203299	0.291536866	3.473864988	3.322894143
17	17	18	0.180271694	0.186646726	0.174063237	3.536346479	3.443944659
18	2	19	0.72462609	0.725516531	0.725340527	0.122882839	0.098593975
19	19	20	0.543972829	0.544740876	0.544573796	0.141192037	0.110477304
20	20	21	0.360587867	0.360831422	0.36065629	0.067543855	0.018975371
21	21	22	0.180177732	0.180281218	0.180182088	0.057435232	0.002417543
22	3	23	1.90116425	1.9077697	1.898618146	0.347442334	0.133923405
23	23	24	1.707564005	1.713941639	1.704427406	0.373493129	0.183688541
24	24	25	0.84553535	0.848922373	0.8426927	0.400577371	0.336195229
25	6	26	1.993533887	1.984261914	1.9088915	0.465102355	4.245846394
26	26	27	1.860652731	1.855371959	1.781534681	0.28381287	4.252166349
27	27	28	1.72411182	1.724570097	1.652139757	0.026580499	4.174442878
28	28	29	1.547781263	1.5649416	1.488507804	1.108705527	3.829575935
29	29	30	1.268668721	1.294826884	1.223914805	2.061859207	3.527628226
30	30	31	0.849180395	0.874881636	0.823881783	3.026593839	2.97917994
31	31	32	0.541143017	0.558638852	0.524265149	3.233125927	3.118929227
32	32	33	0.12006654	0.124005446	0.116270974	3.280601934	3.161219416

Tabla 56 Errores en potencia activa en ramas IEEE 33 con sobrecarga

RAMAS	Origen	Fin	(MVar)			Relativos (%)	
			Qmat	Qmod1	Qmod2	Error 1	Error 2
1	1	2	5.252499746	5.238881492	5.143563146	0.259271864	2.07399533
2	2	3	4.779302339	4.763976324	4.669137356	0.320674728	2.305043198
3	3	4	3.644563373	3.624159766	3.530957898	0.559836794	3.117121688
4	4	5	3.435291758	3.408731008	3.312920363	0.773173045	3.562183483
5	5	6	3.328673179	3.297957751	3.197921214	0.922752913	3.928050542
6	6	7	1.108613596	1.084003141	1.046674961	2.219930762	5.587035416
7	7	8	0.87789174	0.87413156	0.840607206	0.428319399	4.247053746
8	8	9	0.670039062	0.662883534	0.633863089	1.067926968	5.399084189
9	9	10	0.615073005	0.614250543	0.584862173	0.133717847	4.911747394
10	10	11	0.562443476	0.566635061	0.53727348	0.745245606	4.475115593
11	11	12	0.501524512	0.504288632	0.477500768	0.551143519	4.790143423
12	12	13	0.430057723	0.431129437	0.407380992	0.249202354	5.272950429
13	13	14	0.349454623	0.354200791	0.333017842	1.358164368	4.703552324
14	14	15	0.184592847	0.187721258	0.175908322	1.694762884	4.704692111
15	15	16	0.162977207	0.166586069	0.155885889	2.2143354	4.351110175
16	16	17	0.121929513	0.124826619	0.116623369	2.376049607	4.351812733
17	17	18	0.08021305	0.0829541	0.077361439	3.417212666	3.555046619
18	2	19	0.324387635	0.322451792	0.322373568	0.596768472	0.620882756
19	19	20	0.243764249	0.242107056	0.242032798	0.679834346	0.710297259
20	20	21	0.160714137	0.160369521	0.160291684	0.214428207	0.262859834
21	21	22	0.080234996	0.080124986	0.080080928	0.137109664	0.192020381
22	3	23	0.931018973	0.922876311	0.918472685	0.8745968	1.347586765

23	23	24	0.821726075	0.816162685	0.811632098	0.677037058	1.228387147
24	24	25	0.404331287	0.404248749	0.401282238	0.020413585	0.754096814
25	6	26	2.017950459	2.056197904	1.976630897	1.895360926	2.04760041
26	26	27	1.961389319	1.997917937	1.918093419	1.862384897	2.207409756
27	27	28	1.902967539	1.937381578	1.856898184	1.808440684	2.42092173
28	28	29	1.813301967	1.854796994	1.765962014	2.288368296	2.610704319
29	29	30	1.639228046	1.682855079	1.593122104	2.661437682	2.81266187
30	30	31	0.42930148	0.43748136	0.411967574	1.905392837	4.03770003
31	31	32	0.281358136	0.289678301	0.271850167	2.957143972	3.379312038
32	32	33	0.08010346	0.082670297	0.077513982	3.204402751	3.2326659

Tabla 57 Errores en potencia reactiva ramas IEEE 33 con sobrecarga

Resultados IEEE 69

Sbase=10MVA						
Num. Nudo	Tipo	Pl p.u.	Ql p.u.	Pg p.u.	Qg p.u.	
1	3	0	0	0.398836158	0.282678979	
2	0	0	0	0	0	
3	0	0	0	0	0	
4	0	0	0	0	0	
5	0	0	0	0	0	
6	0	0.00026	0.00022	0	0	
7	0	0.00404	0.003	0	0	
8	0	0.0075	0.0054	0	0	
9	0	0.003	0.0022	0	0	
10	0	0.0028	0.0019	0	0	
11	0	0.0145	0.0104	0	0	
12	0	0.0145	0.0104	0	0	
13	0	0.0008	0.00055	0	0	
14	0	0.0008	0.00055	0	0	
15	0	0	0	0	0	
16	0	0.00455	0.003	0	0	
17	0	0.006	0.0035	0	0	
18	0	0.006	0.0035	0	0	
19	0	0	0	0	0	
20	0	0.0001	0.00006	0	0	
21	0	0.0114	0.0081	0	0	
22	0	0.00053	0.00035	0	0	
23	0	0	0	0	0	
24	0	0.0028	0.002	0	0	
25	0	0	0	0	0	
26	0	0.0014	0.001	0	0	

27	0	0.0014	0.001	0	0
28	0	0.0026	0.00186	0	0
29	0	0.0026	0.00186	0	0
30	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0
32	0	0	0	0	0
33	0	0.0014	0.001	0	0
34	0	0.00195	0.0014	0	0
35	0	0.0006	0.0004	0	0
36	0	0.0026	0.001855	0	0
37	0	0.0026	0.001855	0	0
38	0	0	0	0	0
39	0	0.0024	0.0017	0	0
40	0	0.0024	0.0017	0	0
41	0	0.00012	0.0001	0	0
42	0	0	0	0	0
43	0	0.0006	0.00043	0	0
44	0	0	0	0	0
45	0	0.003922	0.00263	0	0
46	0	0.003922	0.00263	0	0
47	0	0	0	0	0
48	0	0.0079	0.00564	0	0
49	0	0.03847	0.02745	0	0
50	0	0.03847	0.02745	0	0
51	0	0.00405	0.00283	0	0
52	0	0.00036	0.00027	0	0
53	0	0.000435	0.00035	0	0
54	0	0.00264	0.0019	0	0
55	0	0.0024	0.00172	0	0
56	0	0	0	0	0
57	0	0	0	0	0
58	0	0	0	0	0
59	0	0.01	0.0072	0	0
60	0	0	0	0	0
61	0	0.1244	0.0888	0	0
62	0	0.0032	0.0023	0	0
63	0	0	0	0	0
64	0	0.0227	0.0162	0	0
65	0	0.0059	0.0042	0	0
66	0	0.0018	0.0013	0	0
67	0	0.0018	0.0013	0	0
68	0	0.0028	0.002	0	0
69	0	0.0028	0.002	0	0

Tabla 58 Parámetros nudos IEEE 69 (resultados de tensión modelo 1)

Num Rama	Origen	Fin	R	X	B
1	1	2	3.11963E-05	7.4871E-05	0
2	2	3	3.11963E-05	7.4871E-05	0
3	3	4	9.35888E-05	0.000224613	0
4	4	5	0.001566052	0.00183434	0
5	5	6	0.022835666	0.011629967	0
6	6	7	0.023777793	0.01211039	0
7	7	8	0.005752591	0.002932449	0
8	8	9	0.003075952	0.001566052	0
9	9	10	0.051099481	0.016889658	0
10	10	11	0.011679881	0.004311324	0
11	11	12	0.044386045	0.014668484	0
12	12	13	0.064264305	0.02121346	0
13	13	14	0.0651378	0.021525422	0
14	14	15	0.066011296	0.021812428	0
15	15	16	0.012266371	0.004055514	0
16	16	17	0.023359763	0.007724195	0
17	17	18	0.000293245	9.9828E-05	0
18	18	19	0.020439792	0.006757111	0
19	19	20	0.013139867	0.00434252	0
20	20	21	0.021313288	0.007044117	0
21	21	22	0.000873495	0.000287006	0
22	22	23	0.009926651	0.003281847	0
23	23	24	0.021606533	0.007143945	0
24	24	25	0.046719526	0.017126749	0
25	25	26	0.019273052	0.006370277	0
26	26	27	0.010806386	0.003568853	0
27	3	28	0.000274527	0.000673839	0
28	28	29	0.003993122	0.009764431	0
29	29	30	0.024819748	0.008204618	0
30	30	31	0.004379956	0.001447507	0
31	31	32	0.021899778	0.007237533	0
32	32	33	0.052347332	0.017569736	0
33	33	34	0.106566439	0.035226822	0
34	34	35	0.091966588	0.030403879	0
35	3	36	0.000274527	0.000673839	0
36	36	37	0.003993122	0.009764431	0
37	37	38	0.006569933	0.007674281	0
38	38	39	0.001896733	0.002214935	0
39	39	40	0.000112307	0.000131024	0
40	40	41	0.045440479	0.053089803	0
41	41	42	0.019341684	0.022604813	0
42	42	43	0.002558094	0.002982363	0
43	43	44	0.000574011	0.000723753	0
44	44	45	0.006794546	0.008566494	0
45	45	46	5.61533E-05	7.4871E-05	0

46	4	47	0.000212135	0.000524097	0
47	47	48	0.005309604	0.012996364	0
48	48	49	0.018081355	0.044242542	0
49	49	50	0.005128666	0.012547138	0
50	8	51	0.005790027	0.002951167	0
51	51	52	0.02070808	0.006950528	0
52	9	53	0.0108563	0.005527978	0
53	53	54	0.012665683	0.006451387	0
54	54	55	0.017731957	0.009028199	0
55	55	56	0.017551018	0.008940849	0
56	56	57	0.099204121	0.033298893	0
57	57	58	0.048897025	0.016409235	0
58	58	59	0.018979807	0.006276688	0
59	59	60	0.024089755	0.007312404	0
60	60	61	0.031664208	0.016128469	0
61	61	62	0.006077032	0.003094669	0
62	62	63	0.009046917	0.004604569	0
63	63	64	0.044329892	0.022579856	0
64	64	65	0.064950623	0.033080519	0
65	11	66	0.012553377	0.003812184	0
66	66	67	0.000293245	8.73495E-05	0
67	12	68	0.046133036	0.015248734	0
68	68	69	0.000293245	9.9828E-05	0

Tabla 59 Parámetros ramas IEEE 69

NUDOS	pu	pu	pu	Relativos (%)	
	V MAT	V MOD 1	V MOD 2	ERROR 1	ERROR 2
1	1.05	1.05	1.05	0	0
2	1.049968243	1.049968112	1.049968112	1.24838E-05	1.24838E-05
3	1.049936486	1.049936224	1.049936224	2.50055E-05	2.50055E-05
4	1.049847849	1.049847172	1.049847172	6.45455E-05	6.45455E-05
5	1.049073096	1.049070545	1.049070545	0.000243247	0.000243247
6	1.040627266	1.040647885	1.040647885	0.001981375	0.001981375
7	1.031844381	1.031886104	1.031886104	0.004043525	0.004043525
8	1.029749879	1.029796879	1.029796879	0.004564221	0.004564221
9	1.028678831	1.028728582	1.028728582	0.004836433	0.004836433
10	1.023934499	1.023989536	1.023989536	0.005375105	0.005375105
11	1.022889357	1.022922777	1.022922777	0.003267194	0.003267194
12	1.019890379	1.019926263	1.019926263	0.003518483	0.003518483
13	1.017116186	1.017154174	1.017154174	0.003734808	0.003734808
14	1.014374263	1.014406705	1.014406705	0.003198232	0.003198232
15	1.011652833	1.011686303	1.011686303	0.003308468	0.003308468
16	1.011147138	1.011180741	1.011180741	0.003323259	0.003323259
17	1.010312158	1.010345952	1.010345952	0.003344849	0.003344849
18	1.010303709	1.010337504	1.010337504	0.003345052	0.003345052

19	1.009862755	1.009896645	1.009896645	0.003355887	0.003355887
20	1.009579775	1.009613252	1.009613252	0.003315948	0.003315948
21	1.009122256	1.009156104	1.009156104	0.003324084	0.003324084
22	1.009116015	1.00914956	1.00914956	0.003324196	0.003324196
23	1.009047894	1.009081449	1.009081449	0.003325352	0.003325352
24	1.008899621	1.008933195	1.008933195	0.003327717	0.003327717
25	1.008739309	1.008769562	1.008769562	0.002999063	0.002999063
26	1.008673177	1.008703437	1.008703437	0.002999979	0.002999979
27	1.008654639	1.008684901	1.008684901	0.003000229	0.003000229
28	1.049929907	1.049929661	1.049929661	2.34869E-05	2.34869E-05
29	1.04986163	1.049861546	1.049861546	7.99963E-06	7.99963E-06
30	1.049746284	1.049746485	1.049746485	1.91966E-05	1.91966E-05
31	1.049725929	1.049726181	1.049726181	2.39846E-05	2.39846E-05
32	1.049624159	1.049624661	1.049624661	4.78744E-05	4.78744E-05
33	1.049380179	1.049381279	1.049381279	0.0001048	0.0001048
34	1.049060691	1.049062565	1.049062565	0.000178612	0.000178612
35	1.048996495	1.048998523	1.048998523	0.000193342	0.000193342
36	1.049923336	1.049923113	1.049923113	2.12553E-05	2.12553E-05
37	1.049759704	1.049759932	1.049759932	2.1715E-05	2.1715E-05
38	1.049608772	1.049609345	1.049609345	5.45653E-05	5.45653E-05
39	1.049565204	1.049565876	1.049565876	6.40222E-05	6.40222E-05
40	1.049563095	1.049563771	1.049563771	6.44717E-05	6.44717E-05
41	1.048898906	1.04890101	1.04890101	0.000200578	0.000200578
42	1.048620533	1.048623225	1.048623225	0.000256663	0.000256663
43	1.048583756	1.048586525	1.048586525	0.000264033	0.000264033
44	1.048575833	1.048578618	1.048578618	0.000265612	0.000265612
45	1.04848205	1.048485031	1.048485031	0.000284263	0.000284263
46	1.048481653	1.048484634	1.048484634	0.000284342	0.000284342
47	1.049800181	1.049799687	1.049799687	4.70444E-05	4.70444E-05
48	1.0486144	1.048618189	1.048618189	0.000361256	0.000361256
49	1.044954841	1.04496889	1.04496889	0.001344524	0.001344524
50	1.044436118	1.044451252	1.044451252	0.001448944	0.001448944
51	1.029716197	1.029763229	1.029763229	0.004567418	0.004567418
52	1.029707092	1.029754175	1.029754175	0.00457241	0.00457241
53	1.026050732	1.026109216	1.026109216	0.005699905	0.005699905
54	1.022992024	1.023060591	1.023060591	0.006702551	0.006702551
55	1.018773104	1.018855478	1.018855478	0.008085607	0.008085607
56	1.014653408	1.014749098	1.014749098	0.009430805	0.009430805
57	0.993462943	0.993650494	0.993650494	0.018878478	0.018878478
58	0.983033298	0.983251574	0.983251574	0.022204361	0.022204361
59	0.978998955	0.979226501	0.979226501	0.023242631	0.023242631
60	0.974260528	0.974497547	0.974497547	0.024328169	0.024328169
61	0.967284106	0.967531123	0.967531123	0.025537246	0.025537246
62	0.967011028	0.967258461	0.967258461	0.02558737	0.02558737
63	0.966645446	0.966893439	0.966893439	0.02565504	0.02565504
64	0.964853771	0.965104467	0.965104467	0.025982788	0.025982788

65	0.964312297	0.964563817	0.964563817	0.02608286	0.02608286
66	1.022835483	1.022868933	1.022868933	0.00327031	0.00327031
67	1.022834856	1.022868306	1.022868306	0.003270346	0.003270346
68	1.019577166	1.019613186	1.019613186	0.003532921	0.003532921
69	1.019576164	1.019612186	1.019612186	0.003532966	0.003532966

Tabla 60 Errores tensiones Modelos 1 y 2 IEEE 69

Nudos	GRADOS			Absoluto (%)	
	ANG MAT	ANG MOD1	ANG MOD2	ERROR 1	ERROR 2
1		0	0	0	0
2	-0.001105824		0	-0.001144017	0.110582439
3	-0.002211716		0	-0.002288035	0.221171567
4	-0.005300682		0	-0.005480005	0.530068249
5	-0.016600983		0	-0.016747111	1.66009826
6	0.045107746		0	0.05376481	4.510774621
7	0.110249553		0	0.12706194	11.02495526
8	0.125860949		0	0.144454848	12.58609486
9	0.133858046		0	0.153368185	13.3858046
10	0.210385958		0	0.232642825	21.03859576
11	0.227347829		0	0.248245575	22.73478295
12	0.274987218		0	0.297255693	27.49872181
13	0.31686679		0	0.340267442	31.686679
14	0.359077033		0	0.382768146	35.90770331
15	0.40041404		0	0.424777236	40.04140401
16	0.408115521		0	0.432579043	40.81155206
17	0.420840296		0	0.445455506	42.08402964
18	0.420971413		0	0.445588102	42.09714125
19	0.428641052		0	0.453342413	42.8641052
20	0.433613524		0	0.458328666	43.36135239
21	0.441591995		0	0.466383526	44.15919952
22	0.441706796		0	0.466499397	44.17067961
23	0.442906918		0	0.467710645	44.29069176
24	0.44551949		0	0.470346876	44.55194903
25	0.448345726		0	0.472930269	44.83457258
26	0.449511889		0	0.47410651	44.95118887
27	0.449839083		0	0.474436507	44.98390826
28	-0.002439242		0	-0.002526314	0.243924249
29	-0.004797854		0	-0.004996162	0.479785373
30	-0.002869751		0	-0.00297571	0.286975086
31	-0.002529378		0	-0.002619081	0.2529378
32	-0.000827316		0	-0.000835934	0.082731569
33	0.003187029		0	0.003368295	0.31870288
34	0.008495285		0	0.008925334	0.849528461
35	0.009460799		0	0.009935783	0.946079866
36	-0.002677707		0	-0.002776598	0.267770667
37	-0.008487646		0	-0.008866928	0.848764643

38	-0.010679474	0	-0.011165652	1.067947353	0.04861783
39	-0.011311936	0	-0.011828838	1.131193644	0.05169014
40	-0.011342875	0	-0.011861288	1.134287548	0.0518413
41	-0.021301502	0	-0.022304642	2.130150153	0.10031401
42	-0.025506853	0	-0.026710787	2.550685301	0.12039339
43	-0.026059998	0	-0.027290172	2.605999842	0.12301734
44	-0.026198346	0	-0.02743507	2.619834621	0.12367243
45	-0.0278359	0	-0.029149997	2.783590015	0.13140969
46	-0.0278435	0	-0.029157955	2.784349977	0.13144547
47	-0.006944639	0	-0.007210135	0.694463947	0.02654958
48	-0.047602554	0	-0.049950367	4.760255384	0.23478131
49	-0.173689688	0	-0.181933657	17.36896885	0.82439687
50	-0.191639116	0	-0.200652666	19.16391158	0.90135499
51	0.12612758	0	0.144729156	12.61275796	1.86015764
52	0.126291344	0	0.144900876	12.62913438	1.86095324
53	0.153756881	0	0.175963025	15.37568812	2.22061436
54	0.176989849	0	0.202211824	17.69898487	2.52219752
55	0.209244069	0	0.238446297	20.92440689	2.92022283
56	0.240900259	0	0.273772708	24.09002588	3.28724492
57	0.596762941	0	0.642883156	59.67629406	4.61202151
58	0.777842104	0	0.824850121	77.78421037	4.70080177
59	0.850102401	0	0.896393355	85.01024006	4.62909549
60	0.943237471	0	0.987760705	94.32374709	4.45232344
61	1.00472262	0	1.04761201	100.472262	4.28893907
62	1.007144506	0	1.049956153	100.7144506	4.28116469
63	1.01038496	0	1.053091211	101.038496	4.27062516
64	1.026267925	0	1.068423369	102.6267925	4.21554444
65	1.031047655	0	1.073028118	103.1047655	4.19804628
66	0.228383669	0	0.249304537	22.83836695	2.09208673
67	0.228395936	0	0.249317077	22.83959365	2.09211405
68	0.280449758	0	0.302824548	28.04497577	2.237479
69	0.280466677	0	0.302841791	28.04666769	2.2375114

Tabla 61 Errores desfase de tensión Modelo 2 IEEE 69 (Modelo 1 no se tiene en cuenta)

RAMAS	Origen	Fin	(MW)			Relativos (%)	
			Pmat	Pmod1	Pmod2	Error 1	Error 2
1	1	2	4.002726797	3.988361585	3.97365649	0.35888564	0.726262581
2	2	3	4.0026595	3.988227714	3.973535811	0.360554941	0.727608474
3	3	4	3.725351513	3.71009043	3.696778819	0.40965483	0.766979795
4	4	5	2.874642387	2.855343779	2.845921891	0.671339423	0.999098055
5	5	6	2.872911174	2.853011811	2.843816613	0.692654999	1.012720522
6	6	7	2.845067191	2.825359409	2.818388794	0.692700062	0.937707097
7	7	8	2.77844008	2.759347766	2.75430032	0.687159475	0.868824225
8	8	9	2.653176525	2.634198506	2.629727963	0.715294267	0.883792
9	9	10	0.779142933	0.777968646	0.777097369	0.150715255	0.262540294
10	10	11	0.746840368	0.746175074	0.745533627	0.089081124	0.174969262
11	11	12	0.564924104	0.564263346	0.563850067	0.116964013	0.190120687

12	12	13	0.361929789	0.361441077	0.361260242	0.135029301	0.184993436
13	13	14	0.352772116	0.352419288	0.352280716	0.100015825	0.139296732
14	14	15	0.34365088	0.343435213	0.343330819	0.062757423	0.093135241
15	15	16	0.342566415	0.342489884	0.342410086	0.022340402	0.045634429
16	16	17	0.296864897	0.296809088	0.296744664	0.018799567	0.04050074
17	17	18	0.236576411	0.236552301	0.236506106	0.010191027	0.02971738
18	18	19	0.176574066	0.176543869	0.176510541	0.017101131	0.035976306
19	19	20	0.176480246	0.176465261	0.176433521	0.008491522	0.02647643
20	20	21	0.175419934	0.175414674	0.175384103	0.002998702	0.020425787
21	21	22	0.061323154	0.061324184	0.061314247	0.001679492	0.014525085
22	22	23	0.05602267	0.056023336	0.056014293	0.00118895	0.014951543
23	23	24	0.05601805	0.056019485	0.056010513	0.002561804	0.013454743
24	24	25	0.028007994	0.02800887	0.028004518	0.003127433	0.012411512
25	25	26	0.028002557	0.028004246	0.027999976	0.006032234	0.009217492
26	26	27	0.014000314	0.014001318	0.013999201	0.007167377	0.007950867
27	3	28	0.091534557	0.091759833	0.091306002	0.246110473	0.249692393
28	28	29	0.065534243	0.06569422	0.065370249	0.244112998	0.250241296
29	29	30	0.0395319	0.039624709	0.039430648	0.234770709	0.256125401
30	30	31	0.039526614	0.039619911	0.039426327	0.236036427	0.253719852
31	31	32	0.039525681	0.039619065	0.039425564	0.236260232	0.253295182
32	32	33	0.039521017	0.039614832	0.039421752	0.237380791	0.251171538
33	33	34	0.025509869	0.025570467	0.02544675	0.2375499	0.247429642
34	34	35	0.006000435	0.006014845	0.00598596	0.240153478	0.241220922
35	3	36	0.185706134	0.186243588	0.18533031	0.289410866	0.202375787
36	36	37	0.15970486	0.160176056	0.159392796	0.295041902	0.195400111
37	37	38	0.133691186	0.134084012	0.1334324	0.293831124	0.193569754
38	38	39	0.133675483	0.134062767	0.13341326	0.289719339	0.196164434
39	39	40	0.10967095	0.109997528	0.109466697	0.297779647	0.186241661
40	40	41	0.08567077	0.085938181	0.085525435	0.312138313	0.169643597
41	41	42	0.084426626	0.08467542	0.084274298	0.294686624	0.180425954
42	42	43	0.084408397	0.084650696	0.08425198	0.287056012	0.185309948
43	43	44	0.078405986	0.078633233	0.078263195	0.289834501	0.182117422
44	44	45	0.07840552	0.07863258	0.078262605	0.289596374	0.182277561
45	45	46	0.039200011	0.03931243	0.039127818	0.286783232	0.184166684
46	4	47	0.850534303	0.854398927	0.850543381	0.454376033	0.001067264
47	47	48	0.850513204	0.85435623	0.85050491	0.451847928	0.000975088
48	48	49	0.770985091	0.774108049	0.770734443	0.405060729	0.032510024
49	49	50	0.384805006	0.385670564	0.38413015	0.224934071	0.175376262
50	8	51	0.044101626	0.044140663	0.044062407	0.088515767	0.088928494
51	51	52	0.00360004	0.003603224	0.003596845	0.088443965	0.088750257
52	9	53	1.841018621	1.823307737	1.819927311	0.962015476	1.145632602
53	53	54	1.831573313	1.81405082	1.810946347	0.956690781	1.126188429
54	54	55	1.799200129	1.781975868	1.779179967	0.95732876	1.112725644
55	55	56	1.767080711	1.750329916	1.74787549	0.947936046	1.086833266
56	56	57	1.759260345	1.7430348	1.740830879	0.922293557	1.047569004
57	57	58	1.715057065	1.706491233	1.704635625	0.499448824	0.607643932
58	58	59	1.693269575	1.689037884	1.686795983	0.249912425	0.382313113

59	59	60	1.58481257	1.582334564	1.579934008	0.15635958	0.307832071
60	60	61	1.575320564	1.575037861	1.572304074	0.017945752	0.191484222
61	61	62	0.318844022	0.319097693	0.31837555	0.079559584	0.146928507
62	62	63	0.286744397	0.286979105	0.286320131	0.081852457	0.147959556
63	63	64	0.286624437	0.286877708	0.286212081	0.088363202	0.143866531
64	64	65	0.059036635	0.059105042	0.058958941	0.115873064	0.131602578
65	11	66	0.03600238	0.036020833	0.035983078	0.051255797	0.053613168
66	66	67	0.018000014	0.01800943	0.017990598	0.052310687	0.052311403
67	12	68	0.056021051	0.056039473	0.055995675	0.032884623	0.045297166
68	68	69	0.028000033	0.028010803	0.027989258	0.03846137	0.038484912

Tabla 62 Errores potencia activa en ramas Modelos 1 y 2 IEEE 69

RAMAS	Origen	Fin	(MW)			Relativos (%)	
			Qmat	Qmod1	Qmod2	Error 1	Error 2
1	1	2	2.785884316	2.826789789	2.816351691	1.468311982	1.093633888
2	2	3	2.785722806	2.826694907	2.816266159	1.47078889	1.096424732
3	3	4	2.591100543	2.631797591	2.622336414	1.570647206	1.20550592
4	4	5	1.98005772	2.021870326	2.015184638	2.111686251	1.774035056
5	5	6	1.978029924	2.020219058	2.0136939	2.132886544	1.803004852
6	6	7	1.962973426	2.000278846	1.995330216	1.900454673	1.648355986
7	7	8	1.919612055	1.952145066	1.948560946	1.69477006	1.508059432
8	8	9	1.83147012	1.862864766	1.859690129	1.714177362	1.5408392
9	9	10	0.532842963	0.535999359	0.535395511	0.592369034	0.479043308
10	10	11	0.512420857	0.514385859	0.513940038	0.383474172	0.296471335
11	11	12	0.382117947	0.383754537	0.3834715	0.428294371	0.354223865
12	12	13	0.237458874	0.238511726	0.238392556	0.443382982	0.393197164
13	13	14	0.23157673	0.232337392	0.23224624	0.328470806	0.289109282
14	14	15	0.225711576	0.22618858	0.226120053	0.211333149	0.180973039
15	15	16	0.225353231	0.22556598	0.225513652	0.094406714	0.071186399
16	16	17	0.195286605	0.195446902	0.195404708	0.082082791	0.060476676
17	17	18	0.160191214	0.160278293	0.160247136	0.054359275	0.034909897
18	18	19	0.125190415	0.125273184	0.125249537	0.066113969	0.047225105
19	19	20	0.1251594	0.125217404	0.125194884	0.046343973	0.028351221
20	20	21	0.12453964	0.124581518	0.124559808	0.033626796	0.01619443
21	21	22	0.043507654	0.043517249	0.043510199	0.022053798	0.005849532
22	22	23	0.040007494	0.040016668	0.040010209	0.022930625	0.006786623
23	23	24	0.040005967	0.040013918	0.040007509	0.019873921	0.003854601
24	24	25	0.020002642	0.020006336	0.020003227	0.018465618	0.002924289
25	25	26	0.020000845	0.020003033	0.019999983	0.010939675	0.004310799
26	26	27	0.010000104	0.010000941	0.009999429	0.008374859	0.006743568
27	3	28	0.065217102	0.065385008	0.065061609	0.257456913	0.238424406
28	28	29	0.04661633	0.046738071	0.046507571	0.261155826	0.233306163
29	29	30	0.028010601	0.028088363	0.027950797	0.277615082	0.21350505
30	30	31	0.028008854	0.028084962	0.027947734	0.271728033	0.218216827
31	31	32	0.028008545	0.028084362	0.027947193	0.270689195	0.219048563
32	32	33	0.028007004	0.028081362	0.02794449	0.265496033	0.223207521
33	33	34	0.018003262	0.018049727	0.017962396	0.258092354	0.226994788

34	34	35	0.004000144	0.004009897	0.00399064	0.243813476	0.2375785
35	3	36	0.129243649	0.129417431	0.128782605	0.134460788	0.35672491
36	36	37	0.11064052	0.110819297	0.110277229	0.161583831	0.328352452
37	37	38	0.092007084	0.092204222	0.091756021	0.214263829	0.272874193
38	38	39	0.091988742	0.092189613	0.091742858	0.218364277	0.267297622
39	39	40	0.074983448	0.075143528	0.074780824	0.213487121	0.27022513
40	40	41	0.057983238	0.058101497	0.057822436	0.20395384	0.277325835
41	41	42	0.056931663	0.057058613	0.056788314	0.222986353	0.251791033
42	42	43	0.056910359	0.057041953	0.056773275	0.231230859	0.240876621
43	43	44	0.052607548	0.052729578	0.052481439	0.231962865	0.239716729
44	44	45	0.052606961	0.05272914	0.052481043	0.232247976	0.239356136
45	45	46	0.026300015	0.026361982	0.026238185	0.23561384	0.235095793
46	4	47	0.61062325	0.609680603	0.606929358	0.154374467	0.604937832
47	47	48	0.610571121	0.609650135	0.606901907	0.150840037	0.600947852
48	48	49	0.552878455	0.552359395	0.549952183	0.093883082	0.52927941
49	49	50	0.274756895	0.275192539	0.274093387	0.158556165	0.241489045
50	8	51	0.031000822	0.031028586	0.030973576	0.089556493	0.08788932
51	51	52	0.002700014	0.002702418	0.002697633	0.089039962	0.088155318
52	9	53	1.275092151	1.302798278	1.300383559	2.172872491	1.983496436
53	53	54	1.268972184	1.295791898	1.293574886	2.113498935	1.938789652
54	54	55	1.246929685	1.272738156	1.27074171	2.069761502	1.909652526
55	55	56	1.225595696	1.250077177	1.248324662	1.997516889	1.854523938
56	56	57	1.221611841	1.244867041	1.243293433	1.903648836	1.774834769
57	57	58	1.206774551	1.218767801	1.217442948	0.993826882	0.884042256
58	58	59	1.19946294	1.206302703	1.204701958	0.570235514	0.436780316
59	59	60	1.124666179	1.129514974	1.127801418	0.431131949	0.278770606
60	60	61	1.121784897	1.124306382	1.122354955	0.22477444	0.050817105
61	61	62	0.22742985	0.227783157	0.227267692	0.155347457	0.071300121
62	62	63	0.204379117	0.204698335	0.204228302	0.156189149	0.073791993
63	63	64	0.204318062	0.20462601	0.204151231	0.150720197	0.081652655
64	64	65	0.042018659	0.042074776	0.041970772	0.133552922	0.113966423
65	11	66	0.026000723	0.026015046	0.025987779	0.055089307	0.049783704
66	66	67	0.013000004	0.01300681	0.012993209	0.052355805	0.052266352
67	12	68	0.040006959	0.040028195	0.039996911	0.053082633	0.02511493
68	68	69	0.020000011	0.020007716	0.019992327	0.038523822	0.038422502

Tabla 63 Errores potencia reactiva en ramas Modelo 1 y 2 IEEE 69

Resultados red IEEE 119

EN PU O MVA YA SBASE 1 MVA						
Num. Nudo	Tipo	Pl	Ql	Pg	Qg	
1	3		0	0	23.29101262	17.48032992
2	1	0.13384	0.10114		0	0
3	1	0.016214	0.011292		0	0

4	1	0.034315	0.021845	0	0
5	1	0.073016	0.063602	0	0
6	1	0.1442	0.068604	0	0
7	1	0.10447	0.061725	0	0
8	1	0.028547	0.011503	0	0
9	1	0.08756	0.051073	0	0
10	1	0.1982	0.10677	0	0
11	1	0.1468	0.075995	0	0
12	1	0.02604	0.018687	0	0
13	1	0.0521	0.02322	0	0
14	1	0.1419	0.1175	0	0
15	1	0.02187	0.02879	0	0
16	1	0.03337	0.02645	0	0
17	1	0.03243	0.02523	0	0
18	1	0.020234	0.011906	0	0
19	1	0.15694	0.078523	0	0
20	1	0.54629	0.3514	0	0
21	1	0.18031	0.1642	0	0
22	1	0.093167	0.054594	0	0
23	1	0.08518	0.03965	0	0
24	1	0.1681	0.095178	0	0
25	1	0.12511	0.15022	0	0
26	1	0.01603	0.02462	0	0
27	1	0.02603	0.02462	0	0
28	1	0.59456	0.52262	0	0
29	1	0.12062	0.059117	0	0
30	1	0.10238	0.099554	0	0
31	1	0.5134	0.3185	0	0
32	1	0.47525	0.45614	0	0
33	1	0.15143	0.13679	0	0
34	1	0.20538	0.083302	0	0
35	1	0.1316	0.093082	0	0
36	1	0.4484	0.36979	0	0
37	1	0.44052	0.32164	0	0
38	1	0.11254	0.055134	0	0
39	1	0.053963	0.038998	0	0
40	1	0.39305	0.3426	0	0
41	1	0.32674	0.27856	0	0
42	1	0.53626	0.24024	0	0
43	1	0.076247	0.066562	0	0
44	1	0.05352	0.03976	0	0
45	1	0.040328	0.031964	0	0
46	1	0.039653	0.020758	0	0
47	1	0.066195	0.042361	0	0
48	1	0.073904	0.051653	0	0
49	1	0.11477	0.057965	0	0

50	1	0.91837	1.2051	0	0
51	1	0.2103	0.14666	0	0
52	1	0.06668	0.056608	0	0
53	1	0.042207	0.040184	0	0
54	1	0.43374	0.28341	0	0
55	1	0.0621	0.02686	0	0
56	1	0.09246	0.08838	0	0
57	1	0.085188	0.055436	0	0
58	1	0.3453	0.3324	0	0
59	1	0.0225	0.01683	0	0
60	1	0.080551	0.049156	0	0
61	1	0.09586	0.090758	0	0
62	1	0.06292	0.0477	0	0
63	1	0.4788	0.46374	0	0
64	1	0.12094	0.052006	0	0
65	1	0.13911	0.10034	0	0
66	1	0.39178	0.1935	0	0
67	1	0.027741	0.026713	0	0
68	1	0.052814	0.025257	0	0
69	1	0.06689	0.038713	0	0
70	1	0.4675	0.39514	0	0
71	1	0.59485	0.23974	0	0
72	1	0.1325	0.084363	0	0
73	1	0.052699	0.022482	0	0
74	1	0.86979	0.614775	0	0
75	1	0.031349	0.029817	0	0
76	1	0.19239	0.12243	0	0
77	1	0.06575	0.04537	0	0
78	1	0.23815	0.22322	0	0
79	1	0.29455	0.16247	0	0
80	1	0.48557	0.43792	0	0
81	1	0.24353	0.18303	0	0
82	1	0.24353	0.18303	0	0
83	1	0.13425	0.11929	0	0
84	1	0.02271	0.02796	0	0
85	1	0.049513	0.026515	0	0
86	1	0.38378	0.25716	0	0
87	1	0.04964	0.0206	0	0
88	1	0.022473	0.011806	0	0
89	1	0.06293	0.04296	0	0
90	1	0.03067	0.03493	0	0
91	1	0.06253	0.06679	0	0
92	1	0.11457	0.081748	0	0
93	1	0.081292	0.066526	0	0
94	1	0.031733	0.01596	0	0
95	1	0.03332	0.06048	0	0
96	1	0.53128	0.22485	0	0

97	1	0.50703	0.36742	0	0
98	1	0.02639	0.0117	0	0
99	1	0.04599	0.030392	0	0
100	1	0.10066	0.047572	0	0
101	1	0.45648	0.3503	0	0
102	1	0.52256	0.44929	0	0
103	1	0.40843	0.16846	0	0
104	1	0.14148	0.13425	0	0
105	1	0.10443	0.066024	0	0
106	1	0.096793	0.083647	0	0
107	1	0.49392	0.41934	0	0
108	1	0.22538	0.13588	0	0
109	1	0.50921	0.38721	0	0
110	1	0.1885	0.17346	0	0
111	1	0.91803	0.89855	0	0
112	1	0.30508	0.21537	0	0
113	1	0.05438	0.04097	0	0
114	1	0.21114	0.1929	0	0
115	1	0.067009	0.053336	0	0
116	1	0.16207	0.090321	0	0
117	1	0.048785	0.029156	0	0
118	1	0.0339	0.01898	0	0

Tabla 64 Parámetros nudos IEEE 119 (resultado de slack Modelo 2)

Num Rama	EN PU					B
	Origen	Fin	R	X		
1	1	2	0.000224613	8.08607E-05	0	
2	2	3	0.000205895	7.41223E-05	0	
3	2	4	0.000280766	0.000101076	0	
4	4	5	9.35888E-05	0.00033692	0	
5	5	6	9.35888E-05	0.00033692	0	
6	6	7	9.35888E-05	7.79907E-05	0	
7	7	8	0.000112307	8.73495E-05	0	
8	8	9	0.000131024	0.000393073	0	
9	2	10	0.001035716	0.000838556	0	
10	10	11	0.000698796	0.000492277	0	
11	11	12	0.00116674	0.001952886	0	
12	12	13	0.000885974	0.000943375	0	
13	13	14	0.001123066	0.000736232	0	
14	14	15	0.000935888	0.000280766	0	
15	15	16	0.00099828	0.001123066	0	
16	16	17	0.000979563	0.001066912	0	
17	11	18	0.001360157	0.001778187	0	
18	18	19	0.000736232	0.001154262	0	
19	19	20	0.00099828	0.001222894	0	
20	20	21	0.00074871	0.001179219	0	

21	21	22	0.00074871	0.000492277	0
22	22	23	0.008797347	0.00451098	0
23	23	24	0.001828101	0.000841051	0
24	24	25	0.000829821	0.000648882	0
25	25	26	0.001110587	0.00083606	0
26	26	27	0.001110587	0.00083606	0
27	4	28	9.35888E-05	0.000184682	0
28	28	29	7.4871E-05	0.000172203	0
29	29	30	0.00074871	0.001725777	0
30	30	31	0.001310243	0.001516138	0
31	31	32	0.00074871	0.00033692	0
32	32	33	0.001110587	0.001459985	0
33	33	34	0.001110587	0.001459985	0
34	34	35	0.000960845	0.001010759	0
35	30	36	0.00116674	0.001628445	0
36	36	37	0.000829821	0.000617686	0
37	29	38	0.002058953	0.001210415	0
38	38	39	0.001934168	0.001210415	0
39	39	40	0.000811103	0.001210415	0
40	40	41	0.001746991	0.000935888	0
41	41	42	0.007362318	0.005303365	0
42	42	43	0.002620486	0.001519882	0
43	43	44	0.001684598	0.000606455	0
44	44	45	0.002115107	0.000761813	0
45	45	46	0.001684598	0.001109963	0
46	35	47	0.001310243	0.000862889	0
47	47	48	0.00074871	0.000492277	0
48	48	49	0.000935888	0.000615814	0
49	49	50	0.000935888	0.000615814	0
50	50	51	0.001497421	0.000986426	0
51	51	52	0.00074871	0.000492277	0
52	52	53	0.002526897	0.000909683	0
53	53	54	0.002526897	0.000909683	0
54	29	55	0.002439548	0.000879735	0
55	55	56	0.002533137	0.000911555	0
56	56	57	0.002533137	0.000911555	0
57	57	58	0.004404913	0.003407256	0
58	58	59	0.002108867	0.000759941	0
59	59	60	0.002108867	0.000759941	0
60	60	61	0.001291525	0.000466072	0
61	61	62	0.001541095	0.005566661	0
62	1	63	0.000174699	0.000260801	0
63	63	64	0.000729993	0.001257833	0
64	64	65	0.001591009	0.000572763	0
65	65	66	0.001310243	0.000473559	0
66	66	67	0.002389634	0.000861017	0
67	67	68	0.003144583	0.002060825	0

68	68	69	0.002533137	0.000911555	0
69	69	70	0.006002161	0.004748071	0
70	70	71	0.001029477	0.000374355	0
71	71	72	0.001890494	0.000681326	0
72	72	73	0.001890494	0.000681326	0
73	73	74	0.001285286	0.000898452	0
74	74	75	0.001453746	0.000524097	0
75	75	76	0.003687398	0.00110622	0
76	76	77	0.000786146	0.000282638	0
77	64	78	0.003487742	0.002300413	0
78	78	79	0.001160501	0.000765556	0
79	79	80	0.001160501	0.000765556	0
80	80	81	0.001622206	0.000867256	0
81	81	82	0.000960845	0.000923409	0
82	82	83	0.001435028	0.000798624	0
83	83	84	0.001572292	0.000661361	0
84	84	85	0.001123066	0.000923409	0
85	79	86	0.00099828	0.001135544	0
86	86	87	0.001247851	0.001435028	0
87	87	88	0.00099828	0.002452026	0
88	65	89	0.00417406	0.001504908	0
89	89	90	0.001659641	0.000765556	0
90	90	91	0.001659641	0.000765556	0
91	91	92	0.001659641	0.000765556	0
92	92	93	0.001659641	0.000765556	0
93	93	94	0.001453746	0.000717514	0
94	94	95	0.003094669	0.000861017	0
95	91	96	0.001222894	0.001123066	0
96	96	97	0.001222894	0.001123066	0
97	97	98	0.001164245	0.000761189	0
98	98	99	0.000465448	0.001984082	0
99	1	100	0.000389953	0.00016534	0
100	100	101	0.000936512	0.001459985	0
101	101	102	0.000840427	0.000554046	0
101	102	103	0.001439396	0.000750582	0
103	103	104	0.002788946	0.001003272	0
104	104	105	0.001018246	0.000366868	0
105	105	106	0.002058953	0.000617686	0
106	106	107	0.000973323	0.000350022	0
107	107	108	0.002382771	0.000857273	0
108	108	109	0.001014503	0.000364996	0
109	109	110	0.002382771	0.000857273	0
110	110	111	0.001525497	0.00054843	0
111	110	112	0.001302756	0.000469816	0
112	112	113	0.001435652	0.00051661	0
113	100	114	0.003807192	0.00137014	0

114	114	115	0.001164245	0.000792385	0
115	115	116	0.002328489	0.001534856	0
116	116	117	0.002526897	0.002289806	0
117	117	118	0.003050995	0.002732793	0
118	46	27	0.003280599	0.001824981	0
119	17	27	0.003280599	0.001819366	0
120	8	24	0.002665409	0.000960221	0
121	54	43	0.002994841	0.001078143	0
122	62	49	0.002246131	0.000808607	0
123	37	62	0.003556374	0.003568853	0
124	9	40	0.003306804	0.002088902	0
125	58	96	0.002468872	0.000889094	0
126	73	91	0.004242692	0.004043036	0
127	88	75	0.002534385	0.000913427	0
128	99	77	0.002886278	0.001044451	0
129	108	83	0.004061754	0.001459985	0
130	105	86	0.005069393	0.001824981	0
131	110	118	0.004423006	0.001592881	0
132	25	35	0.003119626	0.003119626	0

Tabla 65 Parámetros ramas IEEE 119

TENSIONES (P.U.)					
Nº Nudo	MODELO 2				
	MATPOWER	MODELO 2	V	ERROR 2	ERROR 2 V
1	1.00000	1.00000	1.00000	0.00000	0.00000
2	0.99671	0.99671	0.99671	0.00015	0.00015
3	0.99671	0.99671	0.99671	0.00015	0.00015
4	0.99341	0.99341	0.99341	0.00022	0.00022
5	0.99244	0.99244	0.99244	0.00041	0.00041
6	0.99149	0.99150	0.99150	0.00053	0.00053
7	0.99106	0.99107	0.99107	0.00056	0.00056
8	0.99058	0.99059	0.99059	0.00059	0.00059
9	0.99015	0.99016	0.99016	0.00061	0.00061
10	0.99320	0.99320	0.99320	0.00032	0.00032
11	0.99113	0.99114	0.99114	0.00041	0.00041
12	0.98901	0.98902	0.98902	0.00061	0.00061
13	0.98777	0.98778	0.98778	0.00070	0.00070
14	0.98655	0.98656	0.98656	0.00079	0.00079
15	0.98589	0.98590	0.98590	0.00085	0.00085
16	0.98487	0.98488	0.98488	0.00095	0.00095
17	0.98395	0.98396	0.98396	0.00105	0.00105
18	0.98841	0.98842	0.98842	0.00059	0.00059
19	0.98682	0.98683	0.98683	0.00067	0.00067
20	0.98518	0.98519	0.98519	0.00075	0.00075
21	0.98460	0.98461	0.98461	0.00078	0.00078
22	0.98448	0.98448	0.98448	0.00081	0.00081
23	0.98429	0.98430	0.98430	0.00100	0.00100

24	0.98445	0.98446	0.98446	0.00101	0.00101
25	0.98245	0.98246	0.98246	0.00123	0.00123
26	0.98206	0.98207	0.98207	0.00126	0.00126
27	0.98170	0.98171	0.98171	0.00128	0.00128
28	0.99194	0.99195	0.99195	0.00044	0.00044
29	0.99078	0.99079	0.99079	0.00062	0.00062
30	0.98333	0.98335	0.98335	0.00129	0.00129
31	0.97953	0.97955	0.97955	0.00156	0.00156
32	0.97859	0.97860	0.97860	0.00172	0.00172
33	0.97740	0.97742	0.97742	0.00182	0.00182
34	0.97660	0.97661	0.97661	0.00190	0.00190
35	0.97630	0.97631	0.97631	0.00196	0.00196
36	0.97904	0.97906	0.97906	0.00162	0.00162
37	0.97747	0.97749	0.97749	0.00186	0.00186
38	0.98857	0.98858	0.98858	0.00073	0.00073
39	0.98674	0.98675	0.98675	0.00083	0.00083
40	0.98577	0.98578	0.98578	0.00090	0.00090
41	0.98315	0.98316	0.98316	0.00110	0.00110
42	0.97502	0.97504	0.97504	0.00192	0.00192
43	0.97412	0.97414	0.97414	0.00207	0.00207
44	0.97532	0.97534	0.97534	0.00193	0.00193
45	0.97697	0.97699	0.97699	0.00175	0.00175
46	0.97856	0.97857	0.97857	0.00159	0.00159
47	0.97408	0.97410	0.97410	0.00228	0.00228
48	0.97289	0.97291	0.97291	0.00245	0.00245
49	0.97150	0.97153	0.97153	0.00264	0.00264
50	0.96976	0.96979	0.96979	0.00280	0.00280
51	0.96962	0.96965	0.96965	0.00275	0.00275
52	0.96979	0.96981	0.96981	0.00270	0.00270
53	0.97053	0.97055	0.97055	0.00256	0.00256
54	0.97141	0.97144	0.97144	0.00241	0.00241
55	0.98615	0.98616	0.98616	0.00116	0.00116
56	0.98152	0.98153	0.98153	0.00169	0.00169
57	0.97721	0.97723	0.97723	0.00221	0.00221
58	0.96910	0.96914	0.96914	0.00359	0.00359
59	0.96933	0.96936	0.96936	0.00341	0.00341
60	0.96961	0.96964	0.96964	0.00320	0.00320
61	0.96992	0.96995	0.96995	0.00304	0.00304
62	0.97239	0.97242	0.97242	0.00255	0.00255
63	0.99761	0.99761	0.99761	0.00025	0.00025
64	0.98773	0.98773	0.98773	0.00051	0.00051
65	0.98158	0.98160	0.98160	0.00177	0.00177
66	0.97932	0.97934	0.97934	0.00215	0.00215
67	0.97633	0.97636	0.97636	0.00273	0.00273
68	0.97190	0.97194	0.97194	0.00343	0.00343
69	0.96900	0.96903	0.96903	0.00396	0.00396

70	0.96105	0.96110	0.96110	0.00523	0.00523
71	0.96060	0.96066	0.96066	0.00533	0.00533
72	0.96113	0.96118	0.96118	0.00528	0.00528
73	0.96198	0.96203	0.96203	0.00518	0.00518
74	0.96136	0.96142	0.96142	0.00531	0.00531
75	0.96244	0.96249	0.96249	0.00521	0.00521
76	0.96241	0.96245	0.96245	0.00506	0.00506
77	0.96259	0.96264	0.96264	0.00499	0.00499
78	0.97363	0.97366	0.97366	0.00344	0.00344
79	0.96940	0.96944	0.96944	0.00420	0.00420
80	0.96689	0.96693	0.96693	0.00472	0.00472
81	0.96486	0.96491	0.96491	0.00528	0.00528
82	0.96371	0.96377	0.96377	0.00547	0.00547
83	0.96292	0.96297	0.96297	0.00576	0.00576
84	0.96276	0.96282	0.96282	0.00579	0.00579
85	0.96268	0.96274	0.96274	0.00580	0.00580
86	0.96799	0.96803	0.96803	0.00438	0.00438
87	0.96636	0.96640	0.96640	0.00465	0.00465
88	0.96446	0.96451	0.96451	0.00508	0.00508
89	0.97339	0.97342	0.97342	0.00327	0.00327
90	0.97009	0.97013	0.97013	0.00375	0.00375
91	0.96688	0.96692	0.96692	0.00420	0.00420
92	0.96625	0.96629	0.96629	0.00428	0.00428
93	0.96589	0.96593	0.96593	0.00433	0.00433
94	0.96573	0.96578	0.96578	0.00435	0.00435
95	0.96557	0.96562	0.96562	0.00438	0.00438
96	0.96610	0.96614	0.96614	0.00422	0.00422
97	0.96443	0.96447	0.96447	0.00452	0.00452
98	0.96391	0.96395	0.96395	0.00466	0.00466
99	0.96350	0.96355	0.96355	0.00473	0.00473
100	0.99717	0.99717	0.99717	0.00036	0.00036
101	0.99016	0.99016	0.99016	0.00068	0.00068
102	0.98628	0.98630	0.98630	0.00110	0.00110
103	0.98117	0.98119	0.98119	0.00196	0.00196
104	0.97332	0.97336	0.97336	0.00376	0.00376
105	0.97065	0.97069	0.97069	0.00433	0.00433
106	0.96676	0.96681	0.96681	0.00536	0.00536
107	0.96498	0.96503	0.96503	0.00576	0.00576
108	0.96221	0.96227	0.96227	0.00644	0.00644
109	0.96115	0.96121	0.96121	0.00681	0.00681
110	0.96025	0.96033	0.96033	0.00731	0.00731
111	0.95828	0.95835	0.95835	0.00775	0.00775
112	0.95964	0.95971	0.95971	0.00743	0.00743
113	0.95954	0.95961	0.95961	0.00745	0.00745
114	0.98830	0.98832	0.98832	0.00188	0.00188
115	0.98549	0.98552	0.98552	0.00237	0.00237
116	0.98018	0.98021	0.98021	0.00332	0.00332

117	0.97435	0.97439	0.97439	0.00454	0.00454
118	0.96757	0.96763	0.96763	0.00596	0.00596

Tabla 66 Errores tensión (%) IEEE 119

Nº Rama	POTENCIA ACTIVA RAMAS (MW)			ERROR 2	ERROR 2 V
	MATPOWER	MODELO 2	MODELO 2 V		
1	11.53716	11.53499	11.53499	0.01877	0.01877
2	0.01621	0.01622	0.01622	0.03412	0.03412
3	9.23418	9.24284	9.24284	0.09377	0.09377
4	3.22411	3.20707	3.20707	0.52859	0.52859
5	3.14974	3.12901	3.12901	0.65804	0.65804
6	3.00425	2.99958	2.99958	0.15544	0.15544
7	2.89860	2.89456	2.89456	0.13936	0.13936
8	0.95139	0.94454	0.94454	0.72101	0.72101
9	2.10634	2.10659	2.10659	0.01197	0.01197
10	1.90092	1.90192	1.90192	0.05269	0.05269
11	0.78427	0.78086	0.78086	0.43522	0.43522
12	0.75706	0.75522	0.75522	0.24266	0.24266
13	0.70413	0.70414	0.70414	0.00235	0.00235
14	0.56129	0.56185	0.56185	0.09885	0.09885
15	0.53893	0.53711	0.53711	0.33774	0.33774
16	0.50508	0.50333	0.50333	0.34648	0.34648
17	0.96577	0.96368	0.96368	0.21642	0.21642
18	0.94341	0.93924	0.93924	0.44198	0.44198
19	0.78536	0.78306	0.78306	0.29254	0.29254
20	0.23796	0.23731	0.23731	0.27461	0.27461
21	0.05752	0.05812	0.05812	1.03966	1.03966
22	-0.03567	-0.03512	-0.03512	1.54343	1.54343
23	-0.12097	-0.12035	-0.12035	0.51737	0.51737
24	1.61553	1.61256	1.61256	0.18408	0.18408
25	0.30046	0.29874	0.29874	0.57120	0.57120
26	0.28432	0.28246	0.28246	0.65422	0.65422
27	5.93816	5.92234	5.92234	0.26649	0.26649
28	5.33798	5.31455	5.31455	0.43895	0.43895
29	2.82400	2.80528	2.80528	0.66273	0.66273
30	1.29862	1.29459	1.29459	0.31000	0.31000
31	0.78049	0.78335	0.78335	0.36614	0.36614
32	0.30395	0.30400	0.30400	0.01573	0.01573
33	0.15205	0.15305	0.15305	0.65549	0.65549
34	-0.05357	-0.05018	-0.05018	6.31431	6.31431
35	1.40981	1.40283	1.40283	0.49551	0.49551
36	0.95600	0.95762	0.95762	0.16983	0.16983
37	0.78337	0.78321	0.78321	0.02007	0.02007
38	0.66906	0.66887	0.66887	0.02882	0.02882
39	0.61386	0.61015	0.61015	0.60426	0.60426
40	1.07980	1.08020	1.08020	0.03669	0.03669

41	0.74996	0.74862	0.74862	0.17920	0.17920
42	0.20777	0.20852	0.20852	0.36264	0.36264
43	-0.59045	-0.59037	-0.59037	0.01331	0.01331
44	-0.64473	-0.64469	-0.64469	0.00567	0.00567
45	-0.68622	-0.68448	-0.68448	0.25325	0.25325
46	0.99526	0.99680	0.99680	0.15474	0.15474
47	0.92635	0.92860	0.92860	0.24353	0.24353
48	0.85105	0.85379	0.85379	0.32149	0.32149
49	0.95492	0.96247	0.96247	0.79014	0.79014
50	0.03398	0.03489	0.03489	2.66833	2.66833
51	-0.17633	-0.17534	-0.17534	0.56057	0.56057
52	-0.24304	-0.24305	-0.24305	0.00579	0.00579
53	-0.28544	-0.28563	-0.28563	0.06615	0.06615
54	1.60637	1.60574	1.60574	0.03938	0.03938
55	1.53640	1.53640	1.53640	0.00016	0.00016
56	1.43638	1.43662	1.43662	0.01649	0.01649
57	1.34467	1.33746	1.33746	0.53635	0.53635
58	-0.02632	-0.02766	-0.02766	5.09296	5.09296
59	-0.04892	-0.05021	-0.05021	2.63568	2.63568
60	-0.12960	-0.13088	-0.13088	0.98861	0.98861
61	-0.22559	-0.22134	-0.22134	1.88392	1.88392
62	6.13332	6.12160	6.12160	0.19102	0.19102
63	5.64349	5.60536	5.60536	0.67572	0.67572
64	3.08209	3.07582	3.07582	0.20352	0.20352
65	1.37464	1.37370	1.37370	0.06809	0.06809
66	0.97925	0.97891	0.97891	0.03443	0.03443
67	0.94796	0.94615	0.94615	0.19105	0.19105
68	0.89078	0.89168	0.89168	0.10067	0.10067
69	0.82072	0.81798	0.81798	0.33318	0.33318
70	0.34672	0.34643	0.34643	0.08361	0.08361
71	-0.24830	-0.24797	-0.24797	0.13238	0.13238
72	-0.38093	-0.38086	-0.38086	0.01905	0.01905
73	0.29379	0.29310	0.29310	0.23508	0.23508
74	-0.57620	-0.57822	-0.57822	0.35022	0.35022
75	-0.01334	-0.01207	-0.01207	9.54116	9.54116
76	-0.20575	-0.20468	-0.20468	0.51882	0.51882
77	2.40177	2.39599	2.39599	0.24051	0.24051
78	2.12217	2.12457	2.12457	0.11317	0.11317
79	1.24193	1.24351	1.24351	0.12701	0.12701
80	0.75238	0.75461	0.75461	0.29645	0.29645
81	0.50660	0.50657	0.50657	0.00677	0.00677
82	0.26234	0.26476	0.26476	0.92181	0.92181
83	0.07224	0.07246	0.07246	0.30155	0.30155
84	0.04952	0.04919	0.04919	0.66134	0.66134
85	0.57445	0.57480	0.57480	0.06145	0.06145
86	0.67030	0.66664	0.66664	0.54523	0.54523
87	0.61970	0.60744	0.60744	1.97926	1.97926

88	1.54607	1.54524	1.54524	0.05369	0.05369
89	1.46796	1.46901	1.46901	0.07187	0.07187
90	1.43174	1.43355	1.43355	0.12639	0.12639
91	0.26123	0.26219	0.26219	0.36733	0.36733
92	0.14645	0.14722	0.14722	0.52672	0.52672
93	0.06508	0.06559	0.06559	0.78279	0.78279
94	0.03334	0.03374	0.03374	1.21358	1.21358
95	0.37178	0.37048	0.37048	0.35071	0.35071
96	0.85272	0.84647	0.84647	0.73332	0.73332
97	0.34441	0.34207	0.34207	0.67727	0.67727
98	0.31784	0.30706	0.30706	3.39316	3.39316
99	5.64448	5.63602	5.63602	0.14989	0.14989
100	3.68551	3.66828	3.66828	0.46744	0.46744
101	3.21069	3.20046	3.20046	0.31854	0.31854
102	2.67569	2.66745	2.66745	0.30819	0.30819
103	2.25292	2.24897	2.24897	0.17561	0.17561
104	2.09094	2.08937	2.08937	0.07489	0.07489
105	1.49829	1.49831	1.49831	0.00166	0.00166
106	1.39381	1.39546	1.39546	0.11844	0.11844
107	0.89674	0.89716	0.89716	0.04675	0.04675
108	0.72325	0.72550	0.72550	0.31045	0.31045
109	0.21277	0.21383	0.21383	0.49754	0.49754
110	0.92077	0.92586	0.92586	0.55306	0.55306
111	0.35974	0.36074	0.36074	0.27672	0.27672
112	0.05439	0.05457	0.05457	0.33992	0.33992
113	1.84019	1.83738	1.83738	0.15282	0.15282
114	1.60921	1.60774	1.60774	0.09174	0.09174
115	1.53757	1.53651	1.53651	0.06904	0.06904
116	1.36702	1.36238	1.36238	0.33952	0.33952
117	1.31076	1.30516	1.30516	0.42720	0.42720
118	-0.72693	-0.72596	-0.72596	0.13286	0.13286
119	0.47224	0.47251	0.47251	0.05704	0.05704
120	1.91734	1.91761	1.91761	0.01432	0.01432
121	-0.71946	-0.72028	-0.72028	0.11359	0.11359
122	0.22076	0.22335	0.22335	1.16995	1.16995
123	0.51344	0.51554	0.51554	0.41064	0.41064
124	0.86364	0.86380	0.86380	0.01949	0.01949
125	1.01576	1.01486	1.01486	0.08888	0.08888
126	-0.72775	-0.72145	-0.72145	0.86655	0.86655
127	0.59656	0.59972	0.59972	0.53051	0.53051
128	0.27180	0.27089	0.27089	0.33414	0.33414
129	-0.05494	-0.05637	-0.05637	2.60702	2.60702
130	0.48177	0.48135	0.48135	0.08747	0.08747
131	-1.25679	-1.26104	-1.26104	0.33843	0.33843
132	1.18693	1.18143	1.18143	0.46329	0.46329

Tabla 67 Errores (%) potencia activa en ramas IEEE 119

Nº Rama	POTENCIA REACTIVA EN RAMAS (MVar)				
	MATPOWER	MODELO 2	MODELO 2 V	ERROR 2	ERROR 2 V
1	8.61740	8.59854	8.59854	0.21886	0.21886
2	0.01129	0.01128	0.01128	0.14163	0.14163
3	6.91065	6.87525	6.87525	0.51231	0.51231
4	1.97729	1.97503	1.97503	0.11443	0.11443
5	1.90880	1.91003	1.91003	0.06402	0.06402
6	1.83556	1.83739	1.83739	0.09981	0.09981
7	1.77285	1.77419	1.77419	0.07520	0.07520
8	0.76138	0.76317	0.76317	0.23497	0.23497
9	1.57755	1.57525	1.57525	0.14554	0.14554
10	1.46493	1.46167	1.46167	0.22287	0.22287
11	0.60853	0.60943	0.60943	0.14831	0.14831
12	0.58788	0.58866	0.58866	0.13205	0.13205
13	0.56378	0.56250	0.56250	0.22710	0.22710
14	0.44566	0.44170	0.44170	0.88933	0.88933
15	0.41672	0.41747	0.41747	0.17819	0.17819
16	0.38974	0.39050	0.39050	0.19630	0.19630
17	0.77754	0.77806	0.77806	0.06758	0.06758
18	0.76285	0.76468	0.76468	0.23995	0.23995
19	0.68258	0.68386	0.68386	0.18732	0.18732
20	0.32983	0.32995	0.32995	0.03720	0.03720
21	0.16542	0.16401	0.16401	0.85289	0.85289
22	0.11081	0.10919	0.10919	1.46715	1.46715
23	0.07110	0.06951	0.06951	2.24175	2.24175
24	0.97027	0.97091	0.97091	0.06614	0.06614
25	0.06563	0.06755	0.06755	2.91877	2.91877
26	0.04093	0.04309	0.04309	5.28020	5.28020
27	4.89798	4.89286	4.89286	0.10462	0.10462
28	4.36428	4.36341	4.36341	0.01984	0.01984
29	3.05282	3.05520	3.05520	0.07797	0.07797
30	1.34260	1.34440	1.34440	0.13442	0.13442
31	1.01863	1.00757	1.00757	1.08588	1.08588
32	0.56191	0.56119	0.56119	0.12715	0.12715
33	0.42450	0.42321	0.42321	0.30221	0.30221
34	0.34088	0.33707	0.33707	1.12009	1.12009
35	1.58026	1.58333	1.58333	0.19418	0.19418
36	1.20292	1.19692	1.19692	0.49856	0.49856
37	0.47795	0.47734	0.47734	0.12768	0.12768
38	0.42178	0.42127	0.42127	0.12111	0.12111
39	0.38201	0.38388	0.38388	0.49045	0.49045
40	0.74581	0.74301	0.74301	0.37527	0.37527
41	0.46559	0.46597	0.46597	0.08180	0.08180
42	0.22108	0.21886	0.21886	1.00085	1.00085
43	-0.28448	-0.28266	-0.28266	0.63853	0.63853
44	-0.32452	-0.32244	-0.32244	0.64018	0.64018
45	-0.35690	-0.35823	-0.35823	0.37402	0.37402

46	0.99334	0.98744	0.98744	0.59371	0.59371
47	0.94919	0.94254	0.94254	0.70002	0.70002
48	0.89662	0.88952	0.88952	0.79215	0.79215
49	1.29581	1.28178	1.28178	1.08333	1.08333
50	0.08902	0.08813	0.08813	1.00306	1.00306
51	-0.05765	-0.05823	-0.05823	1.00529	1.00529
52	-0.11427	-0.11287	-0.11287	1.22694	1.22694
53	-0.15453	-0.15249	-0.15249	1.31463	1.31463
54	0.76607	0.76179	0.76179	0.55840	0.55840
55	0.73637	0.73068	0.73068	0.77353	0.77353
56	0.64527	0.63932	0.63932	0.92143	0.92143
57	0.58749	0.59244	0.59244	0.84228	0.84228
58	-0.21183	-0.20596	-0.20596	2.76867	2.76867
59	-0.22869	-0.22264	-0.22264	2.64706	2.64706
60	-0.27789	-0.27134	-0.27134	2.35781	2.35781
61	-0.36870	-0.36912	-0.36912	0.11357	0.11357
62	5.05157	5.04873	5.04873	0.05607	0.05607
63	4.57136	4.58580	4.58580	0.31595	0.31595
64	2.03928	2.03360	2.03360	0.27869	0.27869
65	0.87549	0.87025	0.87025	0.59904	0.59904
66	0.68069	0.67489	0.67489	0.85232	0.85232
67	0.65270	0.65237	0.65237	0.05121	0.05121
68	0.62458	0.61646	0.61646	1.30004	1.30004
69	0.58472	0.58581	0.58581	0.18501	0.18501
70	0.18445	0.18289	0.18289	0.84303	0.84303
71	-0.05535	-0.05570	-0.05570	0.63366	0.63366
72	-0.13976	-0.13872	-0.13872	0.75002	0.75002
73	0.23942	0.23916	0.23916	0.10716	0.10716
74	-0.37550	-0.36841	-0.36841	1.88693	1.88693
75	0.07539	0.07239	0.07239	3.98108	3.98108
76	-0.04704	-0.04803	-0.04803	2.08947	2.08947
77	2.41341	2.40808	2.40808	0.22091	0.22091
78	2.16285	2.14966	2.14966	0.60995	0.60995
79	1.29553	1.28684	1.28684	0.67078	0.67078
80	0.85499	0.84468	0.84468	1.20523	1.20523
81	0.67076	0.66901	0.66901	0.26100	0.26100
82	0.48703	0.47924	0.47924	1.59952	1.59952
83	0.05448	0.05365	0.05365	1.53015	1.53015
84	0.02652	0.02680	0.02680	1.04655	1.04655
85	0.69744	0.69582	0.69582	0.23181	0.23181
86	0.51671	0.51816	0.51816	0.28066	0.28066
87	0.49501	0.49820	0.49820	0.64348	0.64348
88	1.05543	1.04688	1.04688	0.80945	0.80945
89	1.00699	0.99882	0.99882	0.81204	0.81204
90	0.96950	0.96024	0.96024	0.95601	0.95601
91	0.22486	0.22178	0.22178	1.37092	1.37092

92	0.14301	0.14076	0.14076	1.57774	1.57774
93	0.07645	0.07515	0.07515	1.69921	1.69921
94	0.06048	0.05879	0.05879	2.80819	2.80819
95	0.27062	0.27191	0.27191	0.47558	0.47558
96	0.50357	0.50792	0.50792	0.86278	0.86278
97	0.13497	0.13698	0.13698	1.48948	1.48948
98	0.12316	0.12529	0.12529	1.72960	1.72960
99	3.82240	3.81967	3.81967	0.07144	0.07144
100	2.42759	2.43318	2.43318	0.23037	0.23037
101	2.04869	2.05688	2.05688	0.39971	0.39971
102	1.59121	1.59604	1.59604	0.30380	0.30380
103	1.41527	1.40793	1.40793	0.51819	0.51819
104	1.27364	1.26330	1.26330	0.81200	0.81200
105	1.12741	1.11053	1.11053	1.49776	1.49776
106	1.04146	1.02643	1.02643	1.44304	1.44304
107	0.62099	0.61247	0.61247	1.37249	1.37249
108	0.79684	0.78128	0.78128	1.95333	1.95333
109	0.40918	0.40052	0.40052	2.11563	2.11563
110	0.89954	0.87786	0.87786	2.40921	2.40921
111	0.25644	0.25158	0.25158	1.89655	1.89655
112	0.04097	0.04014	0.04014	2.02379	2.02379
113	1.33955	1.33401	1.33401	0.41352	0.41352
114	1.13951	1.13586	1.13586	0.32069	0.32069
115	1.08302	1.07880	1.07880	0.39003	0.39003
116	0.98711	0.98720	0.98720	0.00830	0.00830
117	0.95118	0.95267	0.95267	0.15610	0.15610
118	-0.37835	-0.37850	-0.37850	0.04057	0.04057
119	0.36406	0.36231	0.36231	0.48081	0.48081
120	0.99894	0.99365	0.99365	0.52973	0.52973
121	-0.43804	-0.43302	-0.43302	1.14465	1.14465
122	0.45837	0.44969	0.44969	1.89530	1.89530
123	0.87975	0.87562	0.87562	0.46945	0.46945
124	0.70971	0.70804	0.70804	0.23563	0.23563
125	0.45923	0.45537	0.45537	0.84172	0.84172
126	-0.40178	-0.40646	-0.40646	1.16417	1.16417
127	0.48155	0.47144	0.47144	2.10094	2.10094
128	0.09252	0.09273	0.09273	0.22997	0.22997
129	-0.31283	-0.30511	-0.30511	2.46702	2.46702
130	0.07788	0.07889	0.07889	1.29915	1.29915
131	-0.92046	-0.90285	-0.90285	1.91269	1.91269
132	0.75204	0.75502	0.75502	0.39604	0.39604

Tabla 68 Errores (%) potencia reactiva en ramas IEEE 119

	DESFASE			
	MATPOWER	RAD MATP	MODELO 2	ERROR
1	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
2	0.05764	0.00101	0.00100	0.40520

3	0.05770	0.00101	0.00100	0.40512
4	0.11591	0.00202	0.00201	0.74166
5	0.06353	0.00111	0.00110	0.84667
6	0.01214	0.00021	0.00021	1.02239
7	0.00850	0.00015	0.00015	1.09295
8	0.00534	0.00009	0.00009	1.18911
9	-0.01068	-0.00019	-0.00018	1.01047
10	0.04998	0.00087	0.00087	0.76715
11	0.05509	0.00096	0.00095	0.98909
12	0.00707	0.00012	0.00012	1.31902
13	-0.00427	-0.00007	-0.00007	1.14473
14	0.00248	0.00004	0.00004	1.47252
15	0.01776	0.00031	0.00031	1.48849
16	0.00660	0.00012	0.00011	1.51352
17	-0.00269	-0.00005	-0.00005	2.04473
18	0.01651	0.00029	0.00028	1.72869
19	-0.01447	-0.00025	-0.00025	0.53165
20	-0.03091	-0.00054	-0.00053	1.02863
21	-0.03290	-0.00057	-0.00057	1.12140
22	-0.02725	-0.00048	-0.00047	1.06048
23	0.03990	0.00070	0.00068	1.76612
24	0.05361	0.00094	0.00092	1.69467
25	0.03920	0.00068	0.00067	1.94443
26	0.02861	0.00050	0.00049	1.92375
27	0.01719	0.00030	0.00029	1.83326
28	0.07879	0.00138	0.00136	0.91040
29	0.04425	0.00077	0.00076	1.09713
30	-0.10794	-0.00188	-0.00186	1.40987
31	-0.12042	-0.00210	-0.00207	1.68239
32	-0.09055	-0.00158	-0.00155	1.62604
33	-0.07975	-0.00139	-0.00137	1.78091
34	-0.06478	-0.00113	-0.00111	1.92486
35	-0.04184	-0.00073	-0.00072	1.96002
36	-0.13484	-0.00235	-0.00231	1.78924
37	-0.11043	-0.00193	-0.00189	1.85978
38	0.04635	0.00081	0.00080	1.18206
39	0.04670	0.00082	0.00080	1.26814
40	0.02119	0.00037	0.00037	1.12256
41	0.03847	0.00067	0.00066	1.42750
42	0.00563	0.00010	0.00010	0.80745
43	0.02152	0.00038	0.00037	1.73781
44	0.01422	0.00025	0.00024	1.35110
45	0.00248	0.00004	0.00004	2.85915
46	0.01209	0.00021	0.00021	1.48671
47	-0.01517	-0.00026	-0.00026	1.80217
48	0.00023	0.00000	0.00000	41.43771

49	0.01933	0.00034	0.00033	3.11134
50	0.05732	0.00100	0.00097	2.93961
51	0.06340	0.00111	0.00107	2.87269
52	0.06606	0.00115	0.00112	2.84216
53	0.06194	0.00108	0.00105	2.68139
54	0.05399	0.00094	0.00092	2.47835
55	0.07098	0.00124	0.00122	1.50096
56	0.09849	0.00172	0.00169	1.94949
57	0.11792	0.00206	0.00201	2.40285
58	-0.00271	-0.00005	-0.00005	0.77314
59	-0.02874	-0.00050	-0.00049	2.77445
60	-0.05587	-0.00098	-0.00095	2.92999
61	-0.07406	-0.00129	-0.00125	2.95725
62	-0.03229	-0.00056	-0.00055	2.20333
63	-0.04118	-0.00072	-0.00072	0.35738
64	-0.25990	-0.00454	-0.00447	1.36648
65	-0.17249	-0.00301	-0.00295	1.87113
66	-0.14292	-0.00249	-0.00244	1.98940
67	-0.09597	-0.00167	-0.00164	2.11271
68	-0.09000	-0.00157	-0.00153	2.43233
69	-0.04314	-0.00075	-0.00074	2.05035
70	-0.06697	-0.00117	-0.00113	3.11343
71	-0.06324	-0.00110	-0.00107	3.14997
72	-0.05923	-0.00103	-0.00100	3.26927
73	-0.05952	-0.00104	-0.00100	3.45451
74	-0.05681	-0.00099	-0.00096	3.65058
75	-0.07192	-0.00126	-0.00121	3.86403
76	-0.05381	-0.00094	-0.00090	3.72701
77	-0.05250	-0.00092	-0.00088	3.69314
78	-0.08758	-0.00153	-0.00147	3.68596
79	-0.03384	-0.00059	-0.00055	6.45214
80	-0.00005	0.00000	0.00003	2887.85536
81	0.04506	0.00079	0.00079	0.75491
82	0.05594	0.00098	0.00098	0.42412
83	0.08616	0.00150	0.00149	0.66795
84	0.08850	0.00154	0.00153	0.75217
85	0.08752	0.00153	0.00152	0.71714
86	-0.03116	-0.00054	-0.00051	6.61199
87	-0.05058	-0.00088	-0.00084	4.93044
88	-0.11361	-0.00198	-0.00190	3.99961
89	-0.04783	-0.00083	-0.00081	2.42028
90	-0.01462	-0.00026	-0.00025	1.93596
91	0.01672	0.00029	0.00028	4.44871
92	0.02734	0.00048	0.00046	4.03594
93	0.03503	0.00061	0.00059	3.91175
94	0.03899	0.00068	0.00065	3.87057
95	0.04872	0.00085	0.00082	3.80551

96	0.01141	0.00020	0.00019	4.88279
97	-0.00962	-0.00017	-0.00016	2.11560
98	-0.01609	-0.00028	-0.00027	2.84487
99	-0.05146	-0.00090	-0.00087	3.58002
100	0.03202	0.00056	0.00056	0.05956
101	-0.14830	-0.00259	-0.00256	1.20348
102	-0.15165	-0.00265	-0.00260	1.66242
103	-0.13495	-0.00236	-0.00230	2.44460
104	-0.03374	-0.00059	-0.00055	6.82818
105	-0.00162	-0.00003	0.00000	105.11531
106	0.08361	0.00146	0.00145	0.51918
107	0.11590	0.00202	0.00200	1.18327
108	0.15977	0.00279	0.00274	1.65986
109	0.19350	0.00338	0.00331	1.90459
110	0.24270	0.00424	0.00415	2.07208
111	0.29670	0.00518	0.00505	2.44999
112	0.25297	0.00442	0.00432	2.15582
113	0.25488	0.00445	0.00435	2.17115
114	0.18194	0.00318	0.00316	0.54224
115	0.18497	0.00323	0.00321	0.63152
116	0.19457	0.00340	0.00337	0.85080
117	0.15642	0.00273	0.00271	0.64086
118	0.11510	0.00201	0.00201	0.17993

Tabla 69 Errores desfase en nudos IEEE 119

Red IEEE 69 con DG prueba 1

Los parámetros de las ramas son los mismos a los ya introducidos anteriormente. Los parámetros de los nudos generadores se presentan en 6.2.1

NUDOS	pu	pu	pu	Relativos (%)	
	V MAT	V MOD 2V	V MOD 2	ERROR 2V	ERROR 2
1	1	1	1	0	0
2	1.000015543	1.000011429	1.000012056	0.00041141	0.000348638
3	1.000031087	1.000022857	1.000024112	0.000822961	0.00069742
4	1.000083303	1.000063164	1.000065853	0.002013678	0.001744811
5	1.000470957	1.000408461	1.000422863	0.006246653	0.004807137
6	0.999539823	1.000011567	1.000100344	0.047196154	0.056077974
7	0.998765848	0.999607363	0.999773587	0.084255484	0.100898454
8	0.998640483	0.999542547	0.999727519	0.090329148	0.108851548
9	0.998580681	0.999526378	0.999705694	0.0947041	0.112661191
10	0.996508002	0.997335327	0.997491724	0.08302241	0.098716887
11	0.996074414	0.996867447	0.997017978	0.079615908	0.094728346
12	0.995424862	0.996114055	0.996244507	0.069236032	0.082341247
13	0.996089772	0.996626863	0.99672807	0.053919991	0.064080413

14	0.99682971	0.997211078	0.997282603	0.038258089	0.045433307
15	0.997645971	0.997868095	0.997909537	0.022264747	0.026418733
16	0.997797856	0.997990212	0.998026061	0.019277989	0.022870792
17	0.998217021	0.9983525	0.998377692	0.013572137	0.016095779
18	0.998224463	0.998359205	0.998384259	0.013498195	0.016008015
19	0.998884498	0.998969242	0.998984965	0.008483806	0.010057877
20	0.999308881	0.999361378	0.999371105	0.005253358	0.006226713
21	1	1	1	0	0
22	0.999993395	0.999993395	0.999993395	1.96055E-08	1.96055E-08
23	0.999924652	0.999924655	0.999924655	2.16151E-07	2.16151E-07
24	0.999775026	0.99977503	0.99977503	4.86686E-07	4.86686E-07
25	0.999609878	0.999609885	0.999609885	7.0165E-07	7.0165E-07
26	0.999543142	0.999543149	0.999543149	7.30706E-07	7.30706E-07
27	0.999524435	0.999524442	0.999524442	7.32848E-07	7.32848E-07
28	1.000024179	1.000015949	1.000017205	0.000822999	0.000697456
29	0.999952492	0.999944257	0.999945512	0.000823622	0.000698061
30	0.999831379	0.99982315	0.999824406	0.00082306	0.000697469
31	0.999810008	0.99980178	0.999803035	0.000822975	0.000697378
32	0.99970315	0.999694926	0.999696182	0.000822615	0.000696991
33	0.999446975	0.999438757	0.999440014	0.000822197	0.000696509
34	0.999111513	0.999103299	0.999104556	0.000822159	0.000696387
35	0.999044107	0.999035892	0.999037149	0.000822246	0.000696457
36	1.000021382	1.00001181	1.000014415	0.000957184	0.000696726
37	0.99990917	0.9998801	0.999902255	0.002907265	0.000691545
38	0.999831869	0.999787436	0.999824956	0.004444045	0.00069143
39	0.999809557	0.99976069	0.999802645	0.00488764	0.000691405
40	0.99980873	0.9997596	0.999801817	0.004913877	0.000691403
41	0.999672737	0.999517314	0.999665805	0.015547353	0.000693405
42	0.999619426	0.999418727	0.999612467	0.020077522	0.000696136
43	0.999612403	0.99940573	0.99960544	0.020675331	0.000696583
44	0.999611282	0.999403159	0.999604318	0.020820377	0.000696685
45	0.999598011	0.999372729	0.999591034	0.022537293	0.00069798
46	0.999597594	0.999372312	0.999590617	0.022537323	0.000697992
47	1.000033229	1.000013191	1.00001588	0.002003719	0.001734825
48	0.998787658	0.998769788	0.99877248	0.001789211	0.001519646
49	0.994943738	0.994929282	0.994931984	0.001453024	0.00118138
50	0.994398909	0.994384521	0.994387225	0.001446911	0.001174971
51	0.998605752	0.999507847	0.999692825	0.090335431	0.108859118
52	0.998596407	0.999498511	0.999683491	0.090337122	0.108861155
53	0.99890015	1.000014566	1.000181448	0.111564267	0.128270791
54	0.999330173	1.000592699	1.000745068	0.12633732	0.141584386
55	1.000082424	1.001464549	1.001596598	0.138201035	0.151404854
56	1.000987772	1.002386796	1.002498715	0.139764429	0.150945246
57	0.999622442	1.000788966	1.000825911	0.116696388	0.120392348
58	1	1	1	0	0
59	0.996036415	0.996041229	0.996041229	0.000483386	0.000483386
60	0.99138116	0.991390174	0.991390174	0.000909253	0.000909253

61	0.984527061	0.984538505	0.984538505	0.001162366	0.001162366
62	0.984258789	0.984270333	0.984270333	0.001172932	0.001172932
63	0.983899643	0.983911325	0.983911325	0.001187293	0.001187293
64	0.982139511	0.982151822	0.982151822	0.001253503	0.001253503
65	0.981607577	0.981620078	0.981620078	0.001273503	0.001273503
66	0.996019089	0.996812168	0.996962707	0.079624824	0.094738935
67	0.996018445	0.996811524	0.996962064	0.079624928	0.094739058
68	0.995103946	0.995793371	0.995923865	0.069281761	0.082395389
69	0.99510292	0.995792346	0.99592284	0.069281905	0.082395561

Tabla 70 Errores en tensión IEEE 69 con DG modelo 2

Nudos	GRADOS			Absoluto (%)	
	ANG MAT	ANG MOD2v	ANG MOD2	ERROR 2v	ERROR 2
1	0	0	0	0	0
2	-0.002249304	-0.001800064	-0.001815005	0.044924046	0.043429963
3	-0.004498539	-0.003600128	-0.003630009	0.0898411	0.086852933
4	-0.011111271	-0.008876474	-0.008940441	0.22347962	0.217082938
5	-0.079108249	-0.062175278	-0.062810604	1.693297119	1.629764486
6	-0.837461223	-0.665802657	-0.674776954	17.16585666	16.26842694
7	-1.628580268	-1.294460067	-1.312117364	33.41202008	31.64629041
8	-1.820492049	-1.446891505	-1.466649438	37.36005437	35.38426108
9	-1.922662429	-1.529703056	-1.548821098	39.29593738	37.38413309
10	-1.928097095	-1.513047318	-1.528129576	41.50497767	39.99675193
11	-1.930002624	-1.510776379	-1.524935915	41.92262447	40.50667082
12	-1.955236916	-1.516694333	-1.527345231	43.85425821	42.78916844
13	-2.020584917	-1.553945503	-1.559512695	46.66394137	46.10722218
14	-2.087795858	-1.592766945	-1.593181224	49.50289129	49.46146344
15	-2.156888693	-1.633192851	-1.628385038	52.36958427	52.85036553
16	-2.169714473	-1.64070413	-1.634925936	52.90103429	53.47885365
17	-2.196134847	-1.657013698	-1.649387464	53.91211488	54.67473831
18	-2.196489252	-1.657241269	-1.649591835	53.92479828	54.6897417
19	-2.223144926	-1.675070856	-1.665804297	54.80740695	55.73406284
20	-2.240263833	-1.686534447	-1.676228308	55.37293861	56.40355252
21	-2.268032688	-1.705161168	-1.693168796	56.28715205	57.48638925
22	-2.267915782	-1.705044226	-1.693051854	56.28715559	57.48639279
23	-2.266693651	-1.703821785	-1.691829413	56.28718667	57.48642387
24	-2.264033155	-1.701161193	-1.689168821	56.28719623	57.48643343
25	-2.261425527	-1.698553928	-1.686561556	56.28715987	57.48639707
26	-2.260237964	-1.697366818	-1.685374446	56.28711463	57.48635183
27	-2.259904765	-1.697033771	-1.685041399	56.2870994	57.4863366
28	-0.004749352	-0.003850926	-0.003880807	0.08984262	0.086854485
29	-0.007349423	-0.006450531	-0.006480409	0.089889203	0.086901394
30	-0.005224023	-0.004323931	-0.004353812	0.090009239	0.087021164
31	-0.004848816	-0.003948566	-0.003978447	0.090025074	0.087036952
32	-0.00297254	-0.002071738	-0.002101622	0.090080187	0.087091828
33	0.001452838	0.002353368	0.002323479	0.090052981	0.087064067
34	0.007304936	0.008202356	0.008172459	0.089741981	0.086752333

35	0.008369409	0.009265891	0.009235993	0.08964818	0.086658398
36	-0.004657522	-0.003727807	-0.003789185	0.092971547	0.086833726
37	-0.005923083	-0.004536688	-0.005056201	0.13863949	0.086688253
38	-0.004694518	-0.002554896	-0.003828157	0.213962137	0.086636057
39	-0.004339677	-0.001982635	-0.003473502	0.235704172	0.086617454
40	-0.004311561	-0.001941648	-0.0034454	0.23699138	0.086616173
41	0.009937439	0.017513181	0.01079594	0.757574199	0.085850024
42	0.016048882	0.025839319	0.016902955	0.979043711	0.085407312
43	0.016856566	0.026939867	0.017710006	1.008330047	0.085343982
44	0.017053423	0.027202429	0.017906708	1.014900615	0.085328447
45	0.019383578	0.030310306	0.02023499	1.09267279	0.08514121
46	0.019375217	0.030301937	0.020226623	1.09267208	0.085140682
47	-0.012922921	-0.010697256	-0.010761218	0.222566491	0.216170298
48	-0.057733443	-0.055676896	-0.055740737	0.205654773	0.199270676
49	-0.196764717	-0.194575555	-0.194639022	0.21891627	0.212569523
50	-0.216564975	-0.21427536	-0.214338775	0.228961455	0.222620006
51	-1.820208547	-1.446608643	-1.466366629	37.35999032	35.3841918
52	-1.820031064	-1.446431569	-1.466189586	37.35994957	35.38414778
53	-2.278320351	-1.8218367	-1.839554362	45.64836515	43.87659897
54	-2.693064146	-2.162770857	-2.178854725	53.02932889	51.42094208
55	-3.273545574	-2.640610085	-2.654406556	63.29354891	61.91390179
56	-3.847704974	-3.11411419	-3.125646539	73.35907839	72.20584349
57	-6.91046904	-5.643624943	-5.642359729	126.6844098	126.8109311
58	-8.420997793	-6.890372968	-6.882799924	153.0624825	153.8197869
59	-8.35118663	-6.820008232	-6.812435188	153.1178398	153.8751441
60	-8.261238864	-6.730145934	-6.72257289	153.109293	153.8665974
61	-8.201873783	-6.671280532	-6.663707488	153.0593251	153.8166295
62	-8.199536011	-6.668975004	-6.66140196	153.0561007	153.8134051
63	-8.196408172	-6.665891587	-6.658318543	153.0516585	153.8089629
64	-8.181078379	-6.650811989	-6.643238945	153.026639	153.7839434
65	-8.176465506	-6.646283092	-6.638710048	153.0182414	153.7755457
66	-1.928910259	-1.509689179	-1.523848878	41.92210801	40.50613805
67	-1.928897323	-1.509676304	-1.523836006	41.92210182	40.50613167
68	-1.949502472	-1.510990176	-1.521641815	43.85122961	42.78606571
69	-1.949484711	-1.510972514	-1.521624155	43.85121966	42.78605553

Tabla 71 Error en desfase para IEEE 69 con DG

RAMAS	Origen	Fin	(MW)			Relativos (%)	
			Pmat	Pmod2v	Pmod2	Error 2v	Error 2
1	1	2	3.730826986	3.033559047	3.033405379	18.68936678	18.69348563
2	2	3	3.730742449	3.033634578	3.033441951	18.68549974	18.69066299
3	3	4	3.553477091	2.856670635	2.856296576	19.60914443	19.61967102
4	4	5	2.702469084	2.00619916	2.003753775	25.7642142	25.85470125
5	5	6	2.698270881	2.023820087	2.004469088	24.99566662	25.71282954
6	6	7	2.634454057	2.020455626	2.001222883	23.30647708	24.0365237
7	7	8	2.530297598	1.963944811	1.960169037	22.38285282	22.53207536
8	8	9	2.495734237	1.942489285	1.940977153	22.1676228	22.22821148

9	9	10	0.370654153	0.369478261	0.369428089	0.317247726	0.330783612
10	10	11	0.34189466	0.340651096	0.340610122	0.363727136	0.375711585
11	11	12	0.160746207	0.159430273	0.159447968	0.818641224	0.807632968
12	12	13	-0.040400653	-0.041751084	-0.041690812	3.34259695	3.193410675
13	13	14	-0.048643672	-0.049755269	-0.049710962	2.285184574	2.194099526
14	14	15	-0.056908558	-0.057763645	-0.05773856	1.502563321	1.458483128
15	15	16	-0.05719707	-0.057825404	-0.057774857	1.098543885	1.010169278
16	16	17	-0.102750681	-0.103318842	-0.103281426	0.552950186	0.516536077
17	17	18	-0.16290021	-0.163379472	-0.163317657	0.29420573	0.256259119
18	18	19	-0.222903068	-0.223338354	-0.223318574	0.195280674	0.18640689
19	19	20	-0.223190388	-0.223464647	-0.22345294	0.122880811	0.117635813
20	20	21	-0.224375095	-0.224514789	-0.224539312	0.062259228	0.073188589
21	21	22	0.061323579	0.061319455	0.061319388	0.006725141	0.006834872
22	22	23	0.056023085	0.056019672	0.056018983	0.006092598	0.007323014
23	23	24	0.056018381	0.056017023	0.056015132	0.002424549	0.005799626
24	24	25	0.028008141	0.028008175	0.028006752	0.000119748	0.004960527
25	25	26	0.028002604	0.028003689	0.028002125	0.00387233	0.001709904
26	26	27	0.01400032	0.014001034	0.014000259	0.005100828	0.000438
27	3	28	0.091538098	0.091535193	0.091534255	0.003173889	0.004198907
28	28	29	0.065537751	0.065531772	0.065533622	0.009122855	0.006300322
29	29	30	0.039535169	0.039529962	0.039528924	0.013168561	0.015794568
30	30	31	0.039529341	0.039525064	0.039524137	0.010819974	0.013165961
31	31	32	0.039528313	0.039524872	0.039523292	0.008704708	0.012701907
32	32	33	0.039523171	0.039522077	0.039519068	0.002768809	0.010381269
33	33	34	0.02551088	0.025511944	0.025508946	0.004170288	0.007583301
34	34	35	0.006000479	0.006000996	0.006000399	0.00860559	0.001331175
35	3	36	0.085642724	0.085647266	0.085647692	0.005303968	0.005801423
36	36	37	0.059642195	0.059644523	0.059646862	0.003902198	0.007823709
37	37	38	0.033637502	0.033644029	0.033640172	0.019404316	0.007936367
38	38	39	0.03363336	0.033641335	0.033637571	0.023711594	0.012521719
39	39	40	0.009632164	0.009641675	0.009636822	0.098742761	0.048355667
40	40	41	-0.014367871	-0.014342734	-0.014363185	0.174956225	0.032611507
41	41	42	-0.015575344	-0.015538558	-0.015561231	0.236177986	0.090608677
42	42	43	-0.01557845	-0.015538548	-0.015560401	0.256133199	0.115855625
43	43	44	-0.02157886	-0.021537432	-0.021560291	0.191984979	0.086054498
44	44	45	-0.021578948	-0.02153543	-0.021560267	0.201667878	0.086573227
45	45	46	0.039200013	0.03921217	0.03922001	0.031014132	0.051013446
46	4	47	0.850754342	0.852672245	0.852662021	0.225435648	0.224233869
47	47	48	0.850731068	0.852065446	0.852619414	0.156850769	0.221967433
48	48	49	0.771148541	0.770412186	0.772559403	0.095488126	0.182955844
49	49	50	0.38481584	0.383603116	0.384898626	0.315144072	0.021513141
50	8	51	0.044101729	0.044103268	0.04410156	0.003488323	0.000383999
51	51	52	0.003600042	0.00360026	0.003600033	0.006066687	0.000244378
52	9	53	2.086883962	1.55076103	1.541506693	25.69011703	26.1335694
53	53	54	2.054395516	1.549860857	1.537890286	24.55878896	25.14146987
54	54	55	1.995090068	1.53050141	1.51235693	23.28660069	24.19605739

55	55	56	1.924894624	1.50948526	1.489643849	21.58088856	22.61166762
56	56	57	1.879048393	1.579997698	1.490985541	15.91500765	20.65209464
57	57	58	1.619910438	1.531885716	1.488497631	5.433925186	8.112350125
58	58	59	1.692183132	1.688389661	1.687269279	0.22417615	0.290385443
59	59	60	1.58401962	1.582604859	1.580591334	0.089314612	0.216429541
60	60	61	1.5748575	1.575351345	1.573210697	0.031358068	0.10456834
61	61	62	0.318814568	0.31905104	0.318635354	0.074172238	0.056212693
62	62	63	0.286718418	0.286938506	0.28655648	0.076760985	0.056479653
63	63	64	0.286602645	0.286879617	0.28645196	0.096640019	0.052576078
64	64	65	0.059035355	0.059101231	0.059012018	0.111587298	0.039530765
65	11	66	0.03600251	0.036015128	0.036001675	0.035048143	0.002318396
66	66	67	0.018000015	0.018006493	0.017999845	0.035989297	0.000939396
67	12	68	0.056022099	0.056044978	0.056017127	0.040838479	0.008874963
68	68	69	0.028000035	0.028012971	0.027999563	0.046201515	0.0016846

Tabla 72 Errores en potencias activa IEEE con DG Modelo 2

RAMAS	Origen	Fin	(MW)			Relativos (%)	
			Qmat	Qmod2v	Qmod2	Error 2v	Error 2
1	1	2	-3.630334299	-2.790343	-2.874185793	23.1381253	20.82861916
2	2	3	-3.630537187	-2.790391915	-2.874220445	23.14107332	20.83208911
3	3	4	-3.805092256	-2.9846504	-3.048505624	21.56168105	19.88352927
4	4	5	-4.416862799	-3.592938433	-3.657074042	18.65406291	17.20200042
5	5	6	-4.421780216	-3.584664188	-3.658379568	18.93165167	17.26455434
6	6	7	-4.455157308	-3.583549563	-3.65940017	19.56401727	17.86148238
7	7	8	-4.517629438	-3.619672217	-3.688204553	19.87673476	18.35973702
8	8	9	-4.510512055	-3.705468788	-3.673035707	17.84815688	18.56721228
9	9	10	0.104039167	0.178831885	0.192757399	71.88900112	85.27387753
10	10	11	0.084788136	0.159480762	0.173330634	88.09325151	104.4279336
11	11	12	-0.045260884	0.029580448	0.043248028	165.3554359	195.552769
12	12	13	-0.189309419	-0.114217838	-0.10079629	39.66605633	46.75579769
13	13	14	-0.194889639	-0.119821893	-0.106345156	38.51807944	45.43314004
14	14	15	-0.200477173	-0.125447297	-0.111904281	37.42564551	44.18103599
15	15	16	-0.200572508	-0.125550846	-0.111974629	37.40376118	44.17249385
16	16	17	-0.230590233	-0.155575649	-0.141987587	32.53155311	38.42428387
17	17	18	-0.265639676	-0.190618948	-0.177037521	28.24153743	33.35426261
18	18	19	-0.300640649	-0.225670769	-0.212038594	24.93670782	29.47108289
19	19	20	-0.300735633	-0.225864923	-0.212166173	24.89585609	29.45093641
20	20	21	-0.301396676	-0.226638343	-0.212848182	24.80396742	29.37938636
21	21	22	0.043507994	0.043513714	0.043513847	0.013148515	0.013452425
22	22	23	0.040007831	0.040012168	0.040013559	0.010838403	0.014316516
23	23	24	0.040006276	0.040006599	0.040010809	0.000807441	0.011329521
24	24	25	0.02000289	0.020001545	0.020004823	0.00672445	0.009659671
25	25	26	0.020000861	0.019997125	0.020001518	0.018675182	0.00328721
26	26	27	0.010000106	0.009997884	0.010000185	0.022215796	0.000791548
27	3	28	0.065218854	0.065224014	0.065224254	0.007910722	0.008278859
28	28	29	0.046618003	0.046625614	0.046623803	0.016325403	0.01244157

29	29	30	0.028011687	0.028018159	0.028020461	0.02310453	0.031320122
30	30	31	0.028009761	0.028014409	0.028017067	0.016594644	0.026083867
31	31	32	0.028009421	0.028012428	0.028016468	0.010735453	0.025159543
32	32	33	0.028007722	0.028006206	0.028013474	0.00541305	0.020537584
33	33	34	0.018003597	0.017998705	0.018006299	0.027171114	0.015008694
34	34	35	0.004000158	0.003998519	0.004000266	0.040980483	0.002694238
35	3	36	0.109133326	0.129049048	0.109026273	18.24898342	0.09809377
36	36	37	0.090532029	0.110498422	0.090475216	22.05450772	0.06275522
37	37	38	0.071920553	0.091928892	0.071915068	27.82005629	0.007626571
38	38	39	0.071915714	0.091919454	0.071909509	27.81553361	0.008629219
39	39	40	0.054914318	0.074915724	0.054907905	36.42293409	0.011678654
40	40	41	0.037914277	0.057913131	0.03790786	52.74755286	0.016925821
41	41	42	0.036905546	0.056892322	0.036902703	54.15656448	0.007704036
42	42	43	0.036901917	0.056883919	0.036900734	54.14895391	0.00320474
43	43	44	0.032601438	0.052583429	0.032600475	61.29174684	0.002952294
44	44	45	0.032601327	0.052583319	0.032600439	61.29195732	0.00272498
45	45	46	0.026300017	0.026305875	0.026300007	0.022275592	3.85526E-05
46	4	47	0.611161746	0.608446671	0.608441174	0.444248091	0.445147555
47	47	48	0.611104246	0.608873905	0.608410771	0.364969026	0.440755477
48	48	49	0.553278391	0.552791895	0.55125437	0.087929658	0.365823244
49	49	50	0.274783399	0.275217865	0.274641728	0.158112323	0.051557308
50	8	51	0.031000874	0.030997773	0.031001098	0.010003295	0.000722655
51	51	52	0.002700014	0.002699353	0.002700025	0.024488999	0.00040097
52	9	53	-4.640724096	-3.904713339	-3.88771292	15.85982579	16.22615696
53	53	54	-4.658577523	-3.911456289	-3.893063057	16.03754002	16.43236508
54	54	55	-4.694338229	-3.933670918	-3.914256858	16.20393065	16.61749395
55	55	56	-4.73505857	-3.957810447	-3.934787439	16.41475202	16.90097639
56	56	57	-4.758413582	-3.932596292	-3.93833142	17.35488678	17.23436073
57	57	58	-4.845395925	-3.939217166	-3.931759786	18.70185168	18.85575821
58	58	59	1.19902988	1.202848797	1.205039983	0.318500516	0.501247137
59	59	60	1.124330179	1.123298232	1.128270635	0.091783229	0.350471451
60	60	61	1.121549032	1.1191189	1.123002129	0.216676452	0.129561545
61	61	62	0.227414849	0.226639398	0.22745315	0.340985411	0.016841619
62	62	63	0.204365886	0.20364934	0.204396886	0.35061931	0.015168953
63	63	64	0.204306961	0.203497558	0.204322333	0.396170365	0.007523945
64	64	65	0.042018007	0.041834304	0.042008555	0.437201163	0.022494654
65	11	66	0.026000762	0.025957246	0.02600121	0.167363936	0.00172217
66	66	67	0.013000004	0.012977507	0.012999888	0.173056659	0.00089176
67	12	68	0.040007305	0.039930991	0.040012234	0.190751221	0.012319724
68	68	69	0.020000012	0.019960196	0.019999688	0.199079929	0.001619098

Tabla 73 Errores potencia reactiva con IEEE 69 con DG

Resultados IEEE 69 con DG prueba 2

Los datos de los nudos generadores ya se presentan en el punto 6.3.1

NUDOS	pu	pu	pu	Relativos (%)	
	V MAT	V MOD 2v	V MOD 2	ERROR 2v	ERROR 2
1	1	1	1	0	0
2	0.999943087	0.999946649	0.999947112	0.000356194	0.000402442
3	0.999886177	0.999893298	0.999894223	0.000712247	0.000804748
4	0.999863434	0.999868184	0.999870044	0.000475032	0.000661103
5	1.000010883	0.999986663	0.999996162	0.002422023	0.001472137
6	0.999660524	0.999694833	0.999752798	0.00343211	0.00923056
7	0.999331538	0.999399894	0.999508326	0.006840132	0.017690608
8	0.999288322	0.999360939	0.999481588	0.007266859	0.019340359
9	0.999269056	0.999359043	0.999470545	0.009005241	0.020163642
10	0.998935156	0.998996162	0.999032652	0.006107122	0.009759989
11	0.998902022	0.998913634	0.998930972	0.001162493	0.002898241
12	0.995829541	0.995843489	0.99586088	0.001400614	0.003147057
13	0.992986858	0.993003282	0.993020723	0.001654049	0.003410446
14	0.990177243	0.990188302	0.990205792	0.001116932	0.002883236
15	0.987388638	0.987401053	0.987418591	0.001257375	0.003033556
16	0.986870464	0.986883068	0.986900615	0.001277215	0.003055238
17	0.986014871	0.986027766	0.986045328	0.001307804	0.003088873
18	0.986006213	0.986019111	0.986036673	0.001308105	0.003089205
19	0.985554362	0.985567419	0.985584988	0.001324828	0.003107537
20	0.985264389	0.985277062	0.985294637	0.001286282	0.003070027
21	0.984795877	0.984808681	0.984826264	0.001300221	0.003085638
22	0.98478917	0.984801976	0.984819559	0.001300423	0.003085864
23	0.984719365	0.984732191	0.984749775	0.001302521	0.003088211
24	0.984567427	0.984580294	0.984597881	0.001306922	0.003093156
25	0.98440315	0.98441264	0.98443023	0.000964038	0.002750864
26	0.984335383	0.98434489	0.984362481	0.000965889	0.002752958
27	0.984316387	0.984325899	0.984343491	0.000966402	0.002753539
28	0.999879268	0.99988639	0.999887315	0.00071223	0.000804732
29	0.999807571	0.999814688	0.999815613	0.000711829	0.000804344
30	0.99968644	0.999693566	0.999694491	0.000712766	0.000805304
31	0.999665066	0.999672192	0.999673117	0.000712917	0.000805459
32	0.999558192	0.999565325	0.99956625	0.000713609	0.00080617
33	0.99930198	0.999309123	0.999310049	0.000714821	0.00080743
34	0.99896647	0.998973621	0.998974547	0.0007159	0.000808571
35	0.998899054	0.998906206	0.998907132	0.000716022	0.000808706
36	0.999876471	0.99988225	0.999884524	0.000578018	0.000805471
37	0.999764242	0.999750523	0.99977235	0.001372253	0.000810992
38	0.99968693	0.999657847	0.999695041	0.002909216	0.000811341
39	0.999664615	0.999631098	0.999672727	0.003352864	0.000811433
40	0.999663787	0.999630007	0.999671899	0.003379106	0.000811438
41	0.999527774	0.99938769	0.999535869	0.01401508	0.000809848
42	0.999474456	0.99928909	0.999482525	0.018546329	0.000807277

43	0.999467432	0.999276091	0.999475496	0.01914428	0.000806852
44	0.999466311	0.99927352	0.999474374	0.019289363	0.000806754
45	0.999453038	0.999243086	0.999461089	0.021006709	0.000805498
46	0.999452621	0.999242669	0.999460672	0.021006738	0.000805487
47	0.999813349	0.999818201	0.999820061	0.00048526	0.00067135
48	0.998567501	0.998574555	0.998576418	0.000706444	0.000892998
49	0.994722725	0.9947333	0.99473517	0.001063122	0.001251115
50	0.994177774	0.994188433	0.994190304	0.001072124	0.001260322
51	0.999253614	0.999326233	0.999446886	0.007267366	0.019341704
52	0.999244231	0.999316895	0.99943755	0.00727189	0.019346454
53	0.999494496	0.999648647	0.999752417	0.015422853	0.02580514
54	0.999780542	0.999994782	1.000089528	0.021428752	0.030905424
55	1.000270804	1.000542448	1.000624559	0.027157081	0.035365944
56	1.000845631	1.00114314	1.001212733	0.029725793	0.036679245
57	1.000063998	1.000377994	1.000400968	0.031397578	0.033694788
58	1	1	1	0	0
59	0.996036415	0.996041229	0.996041229	0.000483386	0.000483386
60	0.99138116	0.991390174	0.991390174	0.000909253	0.000909253
61	0.984527061	0.984538505	0.984538505	0.001162366	0.001162366
62	0.984258789	0.984270333	0.984270333	0.001172932	0.001172932
63	0.983899643	0.983911325	0.983911325	0.001187293	0.001187293
64	0.982139511	0.982151822	0.982151822	0.001253503	0.001253503
65	0.981607577	0.981620078	0.981620078	0.001273503	0.001273503
66	0.999974242	0.99997451	0.999974898	2.67837E-05	6.56228E-05
67	1	1	1	1.11022E-14	1.11022E-14
68	0.995508755	0.995522719	0.995540116	0.001402666	0.003150229
69	0.99550773	0.995521694	0.995539091	0.001402671	0.003150238

Tabla 74 Error en tensión IEEE 69 con DG prueba 2

Nudos	GRADOS			Absoluto (%)	
	ANG MAT	ANG MOD1	ANG MOD2	ERROR 1	ERROR 2
1	0	0	0	0	0
2	-0.00244006	-0.001741189	-0.001851359	0.069887057	0.058870029
3	-0.004880397	-0.003482378	-0.003702718	0.139801891	0.117767835
4	-0.008774641	-0.006659813	-0.006939627	0.211482818	0.183501456
5	-0.034271763	-0.027139073	-0.027792013	0.713269039	0.647974989
6	-0.318986953	-0.255763532	-0.261859749	6.322342127	5.7127204
7	-0.615713385	-0.493942471	-0.50570653	12.17709141	11.00068548
8	-0.687866673	-0.551887443	-0.565022696	13.59792303	12.28439768
9	-0.726003043	-0.584189995	-0.596294972	14.18130484	12.97080715
10	-0.450095909	-0.299171263	-0.298259868	15.0924646	15.18360408
11	-0.387659739	-0.234020629	-0.230134008	15.36391104	15.75257315
12	-0.337697742	-0.183806214	-0.179920463	15.38915283	15.77772797
13	-0.293764122	-0.139737563	-0.135852574	15.40265598	15.7911548
14	-0.249471454	-0.096192514	-0.09230828	15.32789404	15.71631744
15	-0.206083649	-0.05315116	-0.049267671	15.29324891	15.68159777
16	-0.197998802	-0.045157643	-0.041274293	15.28411591	15.67245092

17	-0.184639727	-0.031964775	-0.028081653	15.26749518	15.65580734
18	-0.184502069	-0.031828921	-0.027945802	15.2673148	15.65562673
19	-0.176449602	-0.023884068	-0.020001086	15.25655344	15.64485161
20	-0.171228742	-0.018775291	-0.014892397	15.24534512	15.63363443
21	-0.162851419	-0.010522503	-0.006639753	15.23289161	15.62116664
22	-0.162730876	-0.010403785	-0.006521037	15.23270914	15.62098396
23	-0.161470726	-0.009162773	-0.005280046	15.23079533	15.619068
24	-0.158727446	-0.006461763	-0.002579083	15.22656824	15.61483623
25	-0.155759768	-0.003814891	6.77435E-05	15.19448772	15.58275112
26	-0.154535229	-0.002609747	0.001272867	15.19254824	15.58080956
27	-0.154191655	-0.002271641	0.001610967	15.19200141	15.58026214
28	-0.005131283	-0.003733209	-0.003953549	0.139807436	0.117773403
29	-0.007732109	-0.006333151	-0.006553489	0.139895763	0.11786197
30	-0.005606092	-0.004206275	-0.004426615	0.139981725	0.117947736
31	-0.005230776	-0.003830861	-0.004051201	0.139991542	0.117957518
32	-0.003353956	-0.00195379	-0.002174132	0.140016553	0.117982355
33	0.001072706	0.002471889	0.002251543	0.139918282	0.117883675
34	0.006926503	0.008321635	0.008101283	0.13951317	0.117478022
35	0.007991285	0.009385307	0.009164955	0.139402233	0.117366986
36	-0.005039427	-0.003610074	-0.003861915	0.142935294	0.11775117
37	-0.006305354	-0.00441906	-0.005129095	0.188629462	0.117625944
38	-0.005076433	-0.002437011	-0.003900892	0.263942161	0.117554075
39	-0.004721489	-0.001864676	-0.003546191	0.285681319	0.117529788
40	-0.004693366	-0.001823683	-0.003518085	0.286968243	0.117528057
41	0.009559768	0.017633666	0.010725104	0.807389837	0.116533608
42	0.015672984	0.025960883	0.016832913	1.028789931	0.11599293
43	0.016480902	0.027061573	0.017640069	1.058067094	0.11591665
44	0.016677816	0.02732417	0.017836796	1.064635352	0.115897959
45	0.019008647	0.030432449	0.02016538	1.142380191	0.115673362
46	0.019000283	0.030424079	0.020157013	1.142379615	0.115672968
47	-0.010587088	-0.00848095	-0.00876076	0.210613877	0.182632853
48	-0.055417347	-0.05346936	-0.053749087	0.194798738	0.166826084
49	-0.194510172	-0.192395103	-0.192674571	0.211506855	0.183560044
50	-0.214319234	-0.21209875	-0.212378182	0.222048357	0.194105211
51	-0.687583538	-0.551604529	-0.564739817	13.59790086	12.2843721
52	-0.687409637	-0.551427422	-0.564562731	13.59822144	12.28469055
53	-0.92202311	-0.761686386	-0.772920576	16.03367247	14.9102534
54	-1.150704629	-0.968869965	-0.979088229	18.18346637	17.16163998
55	-1.471152437	-1.259471591	-1.268267504	21.16808463	20.28849333
56	-1.788521081	-1.547632729	-1.555020763	24.08883526	23.3500318
57	-3.483271247	-3.088783082	-3.088213325	39.44881656	39.50579216
58	-4.319197022	-3.848387337	-3.843895241	47.08096853	47.53017814
59	-4.249385859	-3.778022601	-3.773530505	47.13632578	47.58553539
60	-4.159438094	-3.688160304	-3.683668208	47.12777902	47.57698862
61	-4.100073013	-3.629294901	-3.624802805	47.07781114	47.52702075
62	-4.09773524	-3.626989373	-3.622497277	47.07458674	47.52379634
63	-4.094607402	-3.623905957	-3.619413861	47.07014451	47.51935412

64	-4.079277608	-3.608826358	-3.604334262	47.045125	47.49433461
65	-4.074664735	-3.604297462	-3.599805366	47.03672737	47.48593697
66	-0.340594833	-0.18480176	-0.177717124	15.57930731	16.28777084
67	-0.339518848	-0.183674252	-0.176514911	15.58445965	16.30039369
68	-0.33196796	-0.17810052	-0.174214867	15.38674409	15.77530935
69	-0.331950213	-0.178082853	-0.1741972	15.38673605	15.77530128

Tabla 75 Error absoluto desfase IEEE 69 con DG prueba 2

RAMAS	Origen	Fin	(MW)			Relativos (%)	
			Pmat	Pmod2v	Pmod2	Error 2v	Error 2
1	1	2	2.034777688	1.83808812	1.838056514	9.666391021	9.667944308
2	2	3	2.034624547	1.837978263	1.837959302	9.66499125	9.665923136
3	3	4	1.857290567	1.660597025	1.660680146	10.59034843	10.58587304
4	4	5	1.006421488	0.808161783	0.807977977	19.6994706	19.71773392
5	5	6	1.005829913	0.810650467	0.808079891	19.40481621	19.66038388
6	6	7	0.994603751	0.807721335	0.805283233	18.78963511	19.03476816
7	7	8	0.945218912	0.764877561	0.764686325	19.07932107	19.09955304
8	8	9	0.923929451	0.74543095	0.745564311	19.31949468	19.3050606
9	9	10	-0.219390189	-0.223438182	-0.225948173	1.845111531	2.989187549
10	10	11	-0.251493567	-0.252998169	-0.253849153	0.598266361	0.936638545
11	11	12	0.565229191	0.56446769	0.564145855	0.134724269	0.191663157
12	12	13	0.362136061	0.361686768	0.361397548	0.124067352	0.203932396
13	13	14	0.352920593	0.352745143	0.352367246	0.049713794	0.156790877
14	14	15	0.343743362	0.343829655	0.343369152	0.025103916	0.108862996
15	15	16	0.342604726	0.342848503	0.342402647	0.071154178	0.058982965
16	16	17	0.296893142	0.297145793	0.296730839	0.085098342	0.054667207
17	17	18	0.236590239	0.236825382	0.236485364	0.099388226	0.044327709
18	18	19	0.176587777	0.176786732	0.176494987	0.112666399	0.05254609
19	19	20	0.176489264	0.176710068	0.176414138	0.125108984	0.042567051
20	20	21	0.175425935	0.175667944	0.175362383	0.137955305	0.036227114
21	21	22	0.061324313	0.061410546	0.06130527	0.140617527	0.031054359
22	22	23	0.056023804	0.056104028	0.056006074	0.14319643	0.031648524
23	23	24	0.056018953	0.056101268	0.056002105	0.146940574	0.030075999
24	24	25	0.028008394	0.028049329	0.028000109	0.146151671	0.029581648
25	25	26	0.028002685	0.028045543	0.027995341	0.153046936	0.026225563
26	26	27	0.01400033	0.014021933	0.013996838	0.154301251	0.024941423
27	3	28	0.091538109	0.091527974	0.091534254	0.011072595	0.004212045
28	28	29	0.065537762	0.065526614	0.065533621	0.017011206	0.006318286
29	29	30	0.039535179	0.039530539	0.039528923	0.011736905	0.015823496
30	30	31	0.03952935	0.039525639	0.039524134	0.009387085	0.013193759
31	31	32	0.039528321	0.039525447	0.039523289	0.007271457	0.012729507
32	32	33	0.039523178	0.03952265	0.039519064	0.001336091	0.010407873
33	33	34	0.025510883	0.02551231	0.025508941	0.005591939	0.00761193
34	34	35	0.006000479	0.006001072	0.006000398	0.009877213	0.001358467
35	3	36	0.08564273	0.08564359	0.085647691	0.001004388	0.005792656
36	36	37	0.059642202	0.059642917	0.059646861	0.001198925	0.007811602
37	37	38	0.033637507	0.033647398	0.03364017	0.029403312	0.007917038

38	38	39	0.033633364	0.033644703	0.033637569	0.033714868	0.012503954
39	39	40	0.009632167	0.009645752	0.009636821	0.141034	0.048312124
40	40	41	-0.014367867	-0.014337949	-0.014363184	0.208235354	0.032593843
41	41	42	-0.015575343	-0.015533747	-0.01556123	0.267059675	0.090610361
42	42	43	-0.015578449	-0.015533738	-0.015560399	0.287007724	0.115864471
43	43	44	-0.02157886	-0.021532393	-0.021560288	0.215337545	0.086064882
44	44	45	-0.021578948	-0.021530391	-0.021560264	0.225021013	0.08658376
45	45	46	0.039200013	0.039210546	0.039220005	0.026869897	0.051001102
46	4	47	0.850755388	0.852570638	0.85266201	0.213369216	0.224109302
47	47	48	0.850732104	0.851964355	0.852619386	0.1448459	0.221842121
48	48	49	0.771149319	0.770319882	0.772559001	0.107558567	0.182802757
49	49	50	0.384815891	0.383556531	0.384897843	0.327263151	0.021296331
50	8	51	0.044101727	0.044103885	0.044101551	0.004893439	0.000398372
51	51	52	0.003600042	0.003600341	0.003600032	0.008317106	0.00026403
52	9	53	1.112176517	0.944503603	0.941504254	15.07610631	15.34578909
53	53	54	1.099288397	0.941415463	0.937419779	14.36137544	14.72485457
54	54	55	1.062857971	0.917637457	0.911335872	13.66320973	14.25610033
55	55	56	1.024740652	0.894802204	0.887823431	12.68013017	13.36115838
56	56	57	1.010696046	0.921315442	0.888345299	8.843470172	12.10559267
57	57	58	0.931311316	0.903740212	0.887625045	2.960460501	4.690834375
58	58	59	1.692183132	1.688389661	1.687269279	0.22417615	0.290385444
59	59	60	1.58401962	1.582604859	1.580591334	0.089314612	0.216429541
60	60	61	1.5748575	1.575351345	1.573210697	0.031358068	0.10456834
61	61	62	0.318814568	0.31905104	0.318635354	0.074172238	0.056212693
62	62	63	0.286718418	0.286938506	0.28655648	0.076760985	0.056479653
63	63	64	0.286602645	0.286879617	0.28645196	0.096640019	0.052576078
64	64	65	0.059035355	0.059101231	0.059012018	0.111587298	0.039530765
65	11	66	-0.962638109	-0.962678614	-0.962969006	0.004207732	0.034374005
66	66	67	-0.981968173	-0.981968904	-0.98197535	7.44728E-05	0.000730912
67	12	68	0.056022081	0.05604659	0.056016958	0.043747522	0.009145706
68	68	69	0.028000035	0.02801377	0.027999472	0.049053296	0.002012101

Tabla 76 Errores en IEEE 69 con DG prueba 2

RAMAS	Origen	Fin	(MW)			Relativos (%)	
			Qmat	Qmod2v	Qmod2	Error 2v	Error 2
1	1	2	-0.876709374	-0.532945299	-0.594641535	39.2107219	32.17347124
2	2	3	-0.876746127	-0.532867728	-0.594610086	39.22211781	32.17990165
3	3	4	-1.051135076	-0.727021891	-0.768829161	30.83458947	26.85724432
4	4	5	-1.662401705	-1.335422986	-1.377251736	19.66905582	17.15289202
5	5	6	-1.663094626	-1.33395903	-1.377425454	19.7905514	17.17696443
6	6	7	-1.669687841	-1.335300664	-1.379290237	20.02692775	17.39232909
7	7	8	-1.704265157	-1.365960303	-1.408952949	19.8504823	17.32783228
8	8	9	-1.690381252	-1.451017716	-1.393916362	14.16032836	17.53834465
9	9	10	0.868165955	0.898039749	0.94273385	3.441023487	8.589129144
10	10	11	0.847809686	0.878126733	0.923320832	3.575926098	8.906615208
11	11	12	0.382218476	0.382959175	0.383672664	0.193789491	0.380460122
12	12	13	0.237526746	0.237744688	0.238483163	0.091754399	0.402656226

13	13	14	0.231625524	0.231291342	0.232303286	0.144276743	0.292610944
14	14	15	0.225742134	0.224877715	0.226145299	0.382923498	0.178595379
15	15	16	0.22536589	0.224183037	0.225508753	0.524858973	0.063391627
16	16	17	0.195295936	0.19417358	0.195395604	0.57469499	0.051034569
17	17	18	0.160195777	0.159234134	0.160233082	0.600292357	0.02328719
18	18	19	0.125194939	0.124369494	0.1252385	0.659327619	0.03479453
19	19	20	0.125162372	0.124294242	0.12518113	0.693603257	0.014987391
20	20	21	0.124541623	0.1236338	0.124544382	0.728931111	0.002215484
21	21	22	0.043508037	0.04318337	0.043503828	0.746221383	0.0096738
22	22	23	0.040007869	0.039708634	0.040004338	0.747941004	0.008826288
23	23	24	0.040006266	0.039702986	0.040001504	0.758080994	0.011903381
24	24	25	0.020002775	0.019866364	0.020000078	0.681959788	0.01348097
25	25	26	0.020000887	0.01984507	0.019996672	0.779053622	0.021074115
26	26	27	0.010000109	0.009921774	0.009997742	0.783337756	0.023673896
27	3	28	0.06521886	0.065226954	0.065224253	0.012410335	0.008269377
28	28	29	0.046618008	0.046627722	0.046623803	0.020837715	0.012429118
29	29	30	0.028011691	0.028016412	0.02802046	0.016853147	0.0313049
30	30	31	0.028009764	0.02801266	0.028017065	0.010340617	0.026067494
31	31	32	0.028009424	0.028010679	0.028016466	0.004480618	0.025142967
32	32	33	0.028007724	0.028004485	0.028013471	0.011566234	0.020519991
33	33	34	0.018003598	0.017997583	0.018006296	0.033409874	0.014986645
34	34	35	0.004000158	0.003998282	0.004000265	0.046900153	0.002668114
35	3	36	0.109133335	0.129050544	0.109026272	18.25034345	0.098103754
36	36	37	0.090532038	0.110499077	0.090475214	22.05521851	0.062766847
37	37	38	0.071920559	0.091926002	0.071915065	27.81602799	0.007639164
38	38	39	0.071915719	0.091916561	0.071909504	27.81150258	0.008641872
39	39	40	0.054914322	0.074912222	0.054907901	36.416548	0.011693066
40	40	41	0.037914281	0.057909031	0.037907857	52.73672441	0.016943645
41	41	42	0.036905548	0.056888199	0.036902699	54.14538615	0.007718834
42	42	43	0.036901917	0.056879785	0.03690073	54.13775101	0.00321807
43	43	44	0.032601438	0.052579426	0.032600471	61.27946627	0.002965606
44	44	45	0.032601327	0.052579315	0.032600435	61.27967572	0.002738223
45	45	46	0.026300017	0.026307084	0.026300003	0.026870312	5.09013E-05
46	4	47	0.611164308	0.608487785	0.608441167	0.437938245	0.44556608
47	47	48	0.611106782	0.608915174	0.608410751	0.358629385	0.441171842
48	48	49	0.553280293	0.552829167	0.551254083	0.081536597	0.366217636
49	49	50	0.274783525	0.275236032	0.27464117	0.164677475	0.051806436
50	8	51	0.031000873	0.030996538	0.031001092	0.013983835	0.000705798
51	51	52	0.002700014	0.002699109	0.002700024	0.033539595	0.000368306
52	9	53	-2.581129203	-2.369774764	-2.358634805	8.188448644	8.62004108
53	53	54	-2.589002234	-2.374443367	-2.362799991	8.287318723	8.7370432
54	54	55	-2.613111328	-2.394657813	-2.382596714	8.359900805	8.821461673
55	55	56	-2.637499139	-2.414555486	-2.401071356	8.452842709	8.964089499
56	56	57	-2.644653751	-2.405943249	-2.402482722	9.026153284	9.157003203
57	57	58	-2.671300059	-2.408991042	-2.400534831	9.819526491	10.13608436
58	58	59	1.19902988	1.202848797	1.205039983	0.318500516	0.501247137

59	59	60	1.124330179	1.123298232	1.128270635	0.091783229	0.350471451
60	60	61	1.121549032	1.1191189	1.123002129	0.216676452	0.129561545
61	61	62	0.227414849	0.226639398	0.22745315	0.340985411	0.016841619
62	62	63	0.204365886	0.20364934	0.204396886	0.35061931	0.015168953
63	63	64	0.204306961	0.203497558	0.204322333	0.396170365	0.007523945
64	64	65	0.042018007	0.041834304	0.042008555	0.437201163	0.022494654
65	11	66	0.361288538	0.391197819	0.435554313	8.278502643	20.55580712
66	66	67	0.347884627	0.37854942	0.423009486	8.814644457	21.59476257
67	12	68	0.040007299	0.039925659	0.040012113	0.204063662	0.01203169
68	68	69	0.020000012	0.01995761	0.019999623	0.21200904	0.001946614

Tabla 77 Errores fase nudos IEEE 69 con DG prueba 2

Resultados IEEE 119 con DG

Los datos de los nudos generadores ya están expuestos en 6.3.2

NUDOS	pu	pu	pu	Relativos (%)	
	V MAT	V MOD 2v	V MOD 2	ERROR 2v	ERROR 2
1	1	1	1	0	0
2	0.999233711	0.999230587	0.999235324	0.000312691	0.00016137
3	0.999229532	0.999226408	0.999231145	0.000312693	0.000161371
4	0.998944122	0.998940229	0.998946556	0.000389661	0.000243688
5	0.998074009	0.998060916	0.998076779	0.001311792	0.000277576
6	0.997232783	0.99720992	0.997235319	0.002292643	0.000254293
7	0.996862919	0.996837432	0.996865473	0.002556648	0.000256264
8	0.996446727	0.996418271	0.996449316	0.002855742	0.000259799
9	0.996107738	0.99607953	0.996110104	0.002831854	0.000237512
10	0.996448047	0.996400852	0.996450436	0.004736349	0.000239723
11	0.994842804	0.994770256	0.994845533	0.007292428	0.000274246
12	0.99329426	0.993227399	0.993297957	0.006731172	0.000372237
13	0.992372326	0.992307353	0.992376306	0.006547234	0.000401093
14	0.991452347	0.991387991	0.991456593	0.006491155	0.000428262
15	0.990969979	0.990904886	0.990974408	0.006568698	0.00044688
16	0.990318018	0.990255207	0.990322673	0.006342425	0.000470099
17	0.989747013	0.989686247	0.98975182	0.006139546	0.000485665
18	0.992831915	0.992655688	0.992835449	0.017749931	0.000355911
19	0.991668378	0.991423321	0.991672222	0.024711551	0.000387638
20	0.99052733	0.990211218	0.990531338	0.031913548	0.000404638
21	0.99038455	0.989998098	0.990388569	0.039020407	0.00040576
22	0.990325178	0.989963158	0.990329244	0.036555622	0.00041058
23	0.99074436	0.99062458	0.990748959	0.01208991	0.000464137
24	0.991020053	0.9909472	0.991024751	0.007351243	0.000474055
25	0.989329436	0.989263851	0.989334668	0.006629217	0.000528816
26	0.988795135	0.988732199	0.988800454	0.006364932	0.000537895
27	0.988299658	0.988239365	0.988305055	0.006100669	0.000546149
28	1	1	1	1.11022E-14	1.11022E-14

29	0.998991598	0.998988537	0.998991317	0.000306348	2.80557E-05
30	0.992104051	0.992087166	0.992105056	0.001701925	0.000101382
31	0.988287205	0.988264086	0.988289699	0.002339326	0.000252315
32	0.987335311	0.987312349	0.987339385	0.002325728	0.000412613
33	0.986115039	0.986085164	0.986119671	0.003029538	0.000469685
34	0.985267895	0.985230987	0.98527295	0.003746032	0.000513057
35	0.984936719	0.984895322	0.984942313	0.004203001	0.000567951
36	0.988434805	0.988413025	0.988436564	0.002203526	0.000177942
37	0.98715537	0.987133675	0.987159441	0.002197764	0.000412378
38	0.996306702	0.996296876	0.99630753	0.000986183	8.31927E-05
39	0.994025271	0.99400886	0.994027163	0.00165097	0.000190354
40	0.992770569	0.992749169	0.992773121	0.002155594	0.000257102
41	0.99027501	0.990251634	0.990278537	0.002360536	0.000356119
42	0.982680968	0.982644764	0.98268779	0.003684207	0.000694286
43	0.981946231	0.981906085	0.98195375	0.004088411	0.000765721
44	0.982927515	0.982884265	0.9829346	0.004400113	0.000720737
45	0.984305641	0.984258449	0.984312129	0.004794459	0.000659112
46	0.985635468	0.985583476	0.98564165	0.005274991	0.000627239
47	0.983301956	0.98326457	0.98330923	0.003802029	0.00073982
48	0.982440072	0.982404909	0.982448236	0.003579134	0.000831033
49	0.981465218	0.981432752	0.981474407	0.003307946	0.000936276
50	0.979546883	0.979514705	0.979557122	0.003284931	0.001045349
51	0.979093754	0.979060693	0.979104221	0.003376726	0.00106901
52	0.979101921	0.97906832	0.979112392	0.003431867	0.00106945
53	0.979380424	0.979345027	0.979390256	0.003614165	0.001003874
54	0.97980515	0.9797679	0.979814278	0.003801729	0.000931597
55	0.996524643	0.996519739	0.996528284	0.000492141	0.000365407
56	0.994146135	0.994139331	0.994153857	0.000684372	0.000776785
57	0.992084263	0.992075546	0.992096047	0.000878696	0.001187843
58	0.988657977	0.988626894	0.988662332	0.003143955	0.000440546
59	0.987276941	0.98723872	0.987274399	0.003871441	0.00025751
60	0.985957092	0.985911553	0.985947472	0.004618743	0.000975745
61	0.985277364	0.985227253	0.985263314	0.005085903	0.001425977
62	0.983535066	0.983506481	0.983544742	0.002906414	0.000983736
63	0.998872111	0.9988551	0.99887112	0.00170303	9.92614E-05
64	0.994695574	0.994592392	0.994686231	0.010373254	0.000939319
65	0.99442346	0.994347867	0.994422079	0.007601734	0.000138859
66	0.994654767	0.994589828	0.994655561	0.006528872	7.97629E-05
67	0.996187839	0.996141058	0.996191292	0.004696017	0.000346622
68	0.998118024	0.998103242	0.998119662	0.001480991	0.000164119
69	1	1	1	0	0
70	0.988267367	0.988213315	0.988284028	0.005469416	0.001685865
71	0.987078371	0.987021181	0.987096714	0.005793869	0.001858232
72	0.986200295	0.986136844	0.986221027	0.006433912	0.002102215
73	0.9856352	0.985564745	0.985657554	0.007148166	0.00226794
74	0.983453438	0.983356284	0.98347581	0.00987889	0.002274793

75	0.983039273	0.982927568	0.983060176	0.011363204	0.002126421
76	0.983630296	0.983533159	0.983651074	0.009875433	0.002112389
77	0.983961231	0.983867678	0.983981708	0.00950787	0.002081029
78	0.983110352	0.982833959	0.983122719	0.028114141	0.001257947
79	0.979710424	0.979376208	0.979729707	0.034113723	0.001968247
80	0.977128591	0.976734534	0.977151531	0.040328123	0.002347687
81	0.974992197	0.974531801	0.97501932	0.047220457	0.00278182
82	0.973471908	0.973030559	0.973500878	0.04533758	0.00297598
83	0.972194806	0.971773284	0.97222654	0.043357762	0.003264139
84	0.972040911	0.971619448	0.972072771	0.043358625	0.003277634
85	0.97195851	0.971537078	0.971990437	0.043359093	0.003284855
86	0.979438146	0.979106323	0.979459262	0.03387894	0.002155931
87	0.980393614	0.980128193	0.980414547	0.027072895	0.002135113
88	0.98196931	0.981818543	0.981986427	0.0153535	0.001743127
89	0.993709744	0.993669399	0.993718982	0.004060102	0.000929606
90	0.993633336	0.9936042	0.993643102	0.002932365	0.000982829
91	0.993635988	0.993617139	0.993645358	0.001896996	0.000942989
92	1	1	1	3.33067E-14	3.33067E-14
93	0.999647482	0.999647506	0.999647506	2.48085E-06	2.48085E-06
94	0.999497963	0.999498	0.999498	3.71208E-06	3.71208E-06
95	0.999342659	0.999342709	0.999342709	4.979E-06	4.979E-06
96	0.989688752	0.989662996	0.989703933	0.002602372	0.001533912
97	0.987541028	0.987499858	0.987557615	0.004168926	0.001679613
98	0.986661453	0.986610182	0.986679075	0.00519647	0.001785973
99	0.985421192	0.985340053	0.985439684	0.008233955	0.001876626
100	0.997686868	0.997666581	0.997689357	0.002033346	0.000249467
101	0.992106688	0.991944137	0.992106973	0.016384443	2.86719E-05
102	0.989158689	0.988943304	0.989160798	0.021774602	0.0002132
103	0.985527785	0.985242307	0.985534583	0.028967051	0.000689754
104	0.980336374	0.979960409	0.980354954	0.038350573	0.001895312
105	0.978637949	0.978228557	0.978660418	0.04183289	0.002295879
106	0.974759069	0.974361809	0.974789223	0.040754768	0.003093425
107	0.972985375	0.972593777	0.973018288	0.040247047	0.003382707
108	0.970222515	0.969843576	0.970260323	0.039056846	0.003896885
109	0.968840776	0.968477136	0.968881337	0.037533587	0.004186479
110	0.967191382	0.966861749	0.967235859	0.034081446	0.004598594
111	0.96522952	0.964902056	0.965276875	0.033926032	0.004906146
112	0.966582281	0.966253151	0.966627481	0.034050874	0.004676341
113	0.966479602	0.966150556	0.966524923	0.034045878	0.004689294
114	0.990096553	0.990036775	0.990110738	0.006037587	0.001432715
115	0.987735514	0.987651976	0.9877525	0.008457508	0.001719667
116	0.983303872	0.983174205	0.983326364	0.013186813	0.002287465
117	0.978535362	0.978337614	0.978563984	0.020208563	0.002925001
118	0.97303861	0.972759319	0.973074306	0.028702986	0.00366848

Tabla 78 Errores (%) tensión nudos IEEE 119 con DG

GRADOS	Absoluto (%)
--------	--------------

Nudos	ANG MAT	ANG MOD2v	ANG MOD2	ERROR 2v	ERROR 2
1	0	0	0	0	0
2	-0.050810485	-0.049997261	-0.050668524	0.081322353	0.014196065
3	-0.050746034	-0.049932859	-0.050604123	0.081317431	0.014191112
4	-0.123085495	-0.12216891	-0.122642075	0.091658555	0.044342001
5	-0.166896768	-0.165895739	-0.166394862	0.100102914	0.050190584
6	-0.209709735	-0.208552039	-0.209077137	0.115769587	0.063259786
7	-0.212134673	-0.210833995	-0.211474824	0.130067746	0.06598489
8	-0.214004073	-0.212531778	-0.213313648	0.14722951	0.069042506
9	-0.22610943	-0.224543479	-0.225355752	0.156595081	0.075367848
10	-0.069822952	-0.065141206	-0.069822358	0.468174567	5.94386E-05
11	-0.073840948	-0.066563557	-0.073921221	0.727739103	0.008027313
12	-0.122391395	-0.115352825	-0.122229692	0.703856929	0.016170288
13	-0.13810102	-0.131251643	-0.137828452	0.684937609	0.027256742
14	-0.140310236	-0.133764855	-0.140016682	0.654538086	0.029355414
15	-0.134919676	-0.128654027	-0.134674747	0.626564973	0.024492902
16	-0.150630953	-0.144553306	-0.150228986	0.607764712	0.040196689
17	-0.164639838	-0.158738505	-0.164079847	0.590133311	0.055999154
18	-0.109978834	-0.096539989	-0.109932659	1.343884548	0.004617487
19	-0.137265224	-0.120267935	-0.137026457	1.699728989	0.023876754
20	-0.152918054	-0.131389272	-0.152536451	2.152878176	0.038160235
21	-0.151359461	-0.126401577	-0.150983235	2.495788407	0.037622697
22	-0.151644453	-0.127941051	-0.15125981	2.370340174	0.038464363
23	-0.154196905	-0.145923812	-0.153729262	0.827309254	0.046764309
24	-0.154974954	-0.149958078	-0.154488727	0.501687606	0.048622697
25	-0.167206834	-0.162370728	-0.166571263	0.48361067	0.063557119
26	-0.169901716	-0.164918339	-0.1692341	0.498337724	0.066761654
27	-0.173416759	-0.168273689	-0.17270462	0.514307021	0.071213885
28	-0.147594511	-0.146755861	-0.147006942	0.083864979	0.058756873
29	-0.176946534	-0.175999533	-0.176286008	0.094700033	0.066052524
30	-0.322665152	-0.320173251	-0.320877064	0.249190083	0.178808843
31	-0.333204248	-0.329741763	-0.330920698	0.346248498	0.228354993
32	-0.302718968	-0.299250585	-0.300682379	0.346838344	0.203658933
33	-0.290693843	-0.286680304	-0.288521817	0.401353902	0.217202594
34	-0.274564536	-0.270091822	-0.272343191	0.44727139	0.222134511
35	-0.250726206	-0.246063942	-0.248660921	0.466226401	0.206528503
36	-0.352864854	-0.349160449	-0.350060239	0.370440456	0.280461458
37	-0.336084256	-0.332070744	-0.333117754	0.401351111	0.296650187
38	-0.170596833	-0.169404586	-0.169977786	0.11922468	0.061904741
39	-0.166889105	-0.165488975	-0.166324057	0.140013038	0.056504847
40	-0.197144929	-0.195495532	-0.196368831	0.164939657	0.07760976
41	-0.178996023	-0.177167589	-0.178310227	0.182843403	0.068579588
42	-0.202477182	-0.198902987	-0.20116526	0.357419501	0.131192182
43	-0.184757754	-0.180977846	-0.183642949	0.377990838	0.111480493
44	-0.187709273	-0.183584258	-0.186592238	0.412501508	0.111703488
45	-0.193960847	-0.189370706	-0.192809057	0.459014097	0.11517907

46	-0.183064687	-0.178365964	-0.182139335	0.469872349	0.092535253
47	-0.231057577	-0.226530407	-0.228923024	0.45271695	0.21345525
48	-0.219703023	-0.21528329	-0.217559131	0.441973278	0.214389138
49	-0.205670139	-0.201407676	-0.203537541	0.42624628	0.213259811
50	-0.168573314	-0.16502271	-0.167197023	0.355060346	0.137629108
51	-0.162833738	-0.159421646	-0.161664878	0.341209274	0.116886008
52	-0.160328082	-0.156978735	-0.15925642	0.334934708	0.107166199
53	-0.158286054	-0.154985328	-0.157385075	0.33007263	0.090097964
54	-0.160015796	-0.156684642	-0.159206286	0.333115442	0.080950983
55	-0.174018683	-0.171565126	-0.172127723	0.245355731	0.189096009
56	-0.171526127	-0.167520044	-0.168369512	0.4006083	0.315661483
57	-0.177131981	-0.171520114	-0.172656337	0.561186696	0.447564403
58	-0.26163359	-0.25203768	-0.253520266	0.959590954	0.811332379
59	-0.237319362	-0.228875964	-0.230409878	0.844339742	0.69094833
60	-0.214021187	-0.206781571	-0.208366776	0.723961633	0.565441144
61	-0.201273041	-0.194776779	-0.196393344	0.64962614	0.487969676
62	-0.282828252	-0.277269277	-0.278934989	0.555897438	0.389326253
63	-0.019724267	-0.018595105	-0.01931999	0.112916192	0.040427675
64	-0.115551965	-0.108985088	-0.112788153	0.656687675	0.276381232
65	-0.106320864	-0.099845789	-0.102024742	0.647507474	0.429612217
66	-0.063320649	-0.058017025	-0.059145724	0.530362395	0.417492499
67	0.00768102	0.011014073	0.011801498	0.333305296	0.412047871
68	0.13826166	0.13940061	0.142641683	0.11389507	0.438002344
69	0.209504269	0.209181299	0.214453786	0.032297035	0.494951702
70	-0.087492896	-0.079975822	-0.080729544	0.751707366	0.676335217
71	-0.111305915	-0.102240782	-0.103994901	0.906513323	0.73110143
72	-0.157539974	-0.145508228	-0.149098772	1.203174652	0.844120235
73	-0.207921377	-0.192796202	-0.198222837	1.512517479	0.969853922
74	-0.197099683	-0.179635878	-0.187767645	1.746380487	0.933203811
75	-0.180022289	-0.160077304	-0.171173121	1.994498492	0.884916731
76	-0.248739106	-0.230858491	-0.238608178	1.788061487	1.01309287
77	-0.265693007	-0.24823069	-0.255264818	1.746231727	1.042818876
78	-0.061974263	-0.037004273	-0.057679118	2.496998999	0.429514512
79	-0.048454617	-0.017540852	-0.043828293	3.091376468	0.462632416
80	-0.014934112	0.021506555	-0.010731857	3.644066627	0.4202255
81	0.030524995	0.074427698	0.033912659	4.39027032	0.338766398
82	0.035258128	0.078568628	0.038722346	4.331050052	0.346421821
83	0.064928054	0.106507322	0.067769317	4.157926801	0.284126379
84	0.067225158	0.108739626	0.070000638	4.151446843	0.277548019
85	0.066258324	0.107800178	0.069061604	4.154185426	0.280328014
86	-0.072718207	-0.041403861	-0.067319438	3.131434639	0.539876953
87	-0.100631879	-0.072225508	-0.094229422	2.840637116	0.640245754
88	-0.106204146	-0.080576412	-0.099145195	2.562773402	0.70589513
89	-0.231284411	-0.221133755	-0.222397661	1.015065557	0.888674975
90	-0.285404466	-0.273620064	-0.274558402	1.17844018	1.084606445
91	-0.341530167	-0.328095239	-0.328707931	1.34349276	1.28222356
92	-0.574751148	-0.561142057	-0.558249627	1.360909076	1.650152063

93	-0.567573282	-0.553962654	-0.551070224	1.361062815	1.650305802
94	-0.563877797	-0.550267638	-0.547375208	1.361015906	1.650258894
95	-0.554787225	-0.541181634	-0.538289204	1.360559084	1.649802072
96	-0.329356647	-0.316391513	-0.318092318	1.296513437	1.126432847
97	-0.323160368	-0.309083566	-0.311923462	1.407680225	1.12369064
98	-0.303441227	-0.288534783	-0.292447746	1.490644409	1.099348064
99	-0.331404716	-0.315538831	-0.31994517	1.586588513	1.145954629
100	0.027866194	0.030743526	0.028051844	0.287733133	0.018564906
101	-0.111644505	-0.102567042	-0.110016417	0.907746323	0.162808799
102	-0.112673132	-0.09850861	-0.11037022	1.416452175	0.230291124
103	-0.101098669	-0.078457204	-0.097909135	2.264146459	0.318953406
104	-0.031252141	0.006568071	-0.027670193	3.782021166	0.358194744
105	-0.010686291	0.032605623	-0.007029127	4.329191391	0.365716449
106	0.073790088	0.114105562	0.076052638	4.03154742	0.226255037
107	0.105839699	0.144743417	0.107445111	3.890371747	0.160541208
108	0.149687709	0.185821916	0.150385016	3.613420638	0.069730665
109	0.186285731	0.219835184	0.186016583	3.35494523	0.026914807
110	0.242790604	0.270992771	0.240986342	2.820216778	0.180426195
111	0.296017245	0.322427146	0.292402091	2.64099006	0.361515404
112	0.252907227	0.280769832	0.250759862	2.786260509	0.214736501
113	0.254791695	0.282589858	0.252579229	2.779816307	0.221246607
114	0.164335959	0.173150412	0.164297622	0.881445312	0.003833626
115	0.169224169	0.179875798	0.16920131	1.065162852	0.002285939
116	0.181741844	0.195958023	0.181632	1.421617863	0.010984455
117	0.157030021	0.175774099	0.157587214	1.874407729	0.055719296
118	0.131653231	0.156050887	0.133196567	2.439765583	0.154333557

Tabla 79 Errores absolutos desfase IEEE 119 con DG

RAMAS	Origen	Fin	(MW)			Relativos (%)	
			Pmat	Pmod2v	Pmod2	Error 2v	Error 2
1	1	2	4.279032614	4.27117102	4.268577664	0.183723613	0.244329759
2	2	3	0.016214081	0.016215406	0.016214058	0.008173044	0.000137469
3	2	4	2.344136865	2.344492442	2.33459066	0.015168788	0.407237512
4	4	5	2.766190239	2.76913655	2.766961096	0.10651152	0.027867087
5	5	6	2.692148563	2.692029674	2.691536189	0.004416131	0.022746669
6	6	7	2.546981557	2.550377254	2.545068105	0.133322394	0.075126257
7	7	8	2.441637681	2.445156384	2.43965524	0.144112422	0.081193071
8	8	9	0.737978812	0.734040915	0.737490785	0.533605651	0.066130096
9	2	10	1.779430142	1.773345907	1.780668943	0.341920413	0.069617815
10	10	11	1.576640522	1.570467001	1.577508682	0.391561698	0.055063911
11	11	12	0.663390959	0.663600572	0.663643185	0.031597082	0.038020699
12	12	13	0.636650352	0.637439425	0.636571996	0.123941345	0.012307638
13	13	14	0.58406155	0.585772584	0.583884368	0.292954412	0.030336188
14	14	15	0.441633544	0.443733068	0.441453594	0.475399641	0.040746436
15	15	16	0.419526928	0.420092281	0.419370679	0.134759591	0.037244276
16	16	17	0.385936368	0.386493325	0.385727996	0.144312952	0.053991411
17	11	18	0.763980445	0.754183463	0.764528629	1.28236032	0.071753743

18	18	19	0.742542434	0.731525954	0.742750939	1.483616138	0.028079895
19	19	20	0.584982955	0.574907775	0.584951601	1.722303111	0.005359855
20	20	21	0.038142024	0.029405607	0.038037612	22.90496605	0.273744936
21	21	22	0.057823923	0.048401562	0.057720311	16.29491866	0.179185312
22	22	23	-0.035346387	-0.044724499	-0.035441433	26.53202385	0.268899806
23	23	24	-0.120542377	-0.129926766	-0.120629164	7.78513615	0.071996732
24	24	25	1.375340834	1.371655127	1.374744686	0.267985026	0.043345529
25	25	26	0.323704153	0.321087732	0.323641992	0.808275334	0.01920293
26	26	27	0.30750884	0.304807316	0.307439245	0.87851892	0.022631776
27	4	28	-0.461640854	-0.464273025	-0.467360067	0.570177077	1.238887901
28	28	29	4.640965983	4.638228371	4.637587076	0.058987973	0.072806115
29	29	30	2.685611558	2.675458084	2.68485793	0.378069317	0.028061686
30	30	31	1.303718496	1.299440894	1.300800515	0.328107766	0.223819877
31	31	32	0.785553982	0.78531967	0.782468404	0.029827622	0.392789992
32	32	33	0.308990744	0.307220064	0.306542182	0.573052604	0.792438729
33	33	34	0.157055131	0.15596656	0.154762668	0.693113916	1.459655145
34	34	35	-0.048587138	-0.048059455	-0.050705673	1.086055818	4.360279303
35	30	36	1.268120376	1.261082543	1.263176496	0.554981486	0.389858888
36	36	37	0.815726944	0.812610315	0.810165624	0.38206758	0.681762402
37	29	38	0.944710726	0.946243571	0.944375021	0.162255487	0.035535301
38	38	39	0.829564406	0.831158786	0.829299495	0.192194861	0.031933802
39	39	40	0.773666137	0.773093083	0.773440303	0.074069903	0.029190098
40	40	41	1.027744979	1.027865431	1.02693969	0.011720101	0.078354909
41	41	42	0.698191168	0.697398819	0.697650132	0.113486076	0.077491111
42	42	43	0.156759452	0.157288363	0.156203184	0.337402816	0.354854598
43	43	44	-0.496955461	-0.496433811	-0.496579503	0.104969306	0.075652326
44	44	45	-0.550982828	-0.550521897	-0.550579937	0.08365613	0.073122184
45	45	46	-0.592110474	-0.590625115	-0.59166962	0.250858375	0.074454678
46	35	47	0.740607012	0.739277208	0.737302841	0.179555981	0.4461436
47	47	48	0.672928619	0.671979575	0.669903798	0.141031771	0.449500972
48	48	49	0.598296536	0.597601669	0.595435992	0.116140923	0.478114867
49	49	50	1.09865525	1.104271963	1.097725985	0.511235265	0.084582013
50	50	51	0.177240696	0.178350219	0.177595403	0.625997814	0.200127303
51	51	52	-0.03315941	-0.032020673	-0.032694885	3.434127539	1.400883686
52	52	53	-0.099841182	-0.099119314	-0.099346066	0.723016447	0.495903266
53	53	54	-0.142075782	-0.141499254	-0.141563332	0.405788941	0.360688017
54	29	55	0.887307739	0.884549738	0.883056395	0.310828	0.479128453
55	55	56	0.822999206	0.820281035	0.81877995	0.330276338	0.512668331
56	56	57	0.728561277	0.725743859	0.724372204	0.386709875	0.574978846
57	57	58	0.641884107	0.637518259	0.63769014	0.680161356	0.653383824
58	58	59	0.510424312	0.516338483	0.515586106	1.158677259	1.011275115
59	59	60	0.487050085	0.493155002	0.492365945	1.253447521	1.091440045
60	60	61	0.405700436	0.411885662	0.411169096	1.524579525	1.34795525
61	61	62	0.30949097	0.31113483	0.3150446	0.531149621	1.794440292
62	1	63	2.90989472	2.88792601	2.893900074	0.754965808	0.549664093
63	63	64	2.428629441	2.402068039	2.411833818	1.093678668	0.691567976
64	64	65	0.118691239	0.10373064	0.108768384	12.60463642	8.360225205

65	65	66	-0.336191703	-0.338382168	-0.338298846	0.651552416	0.626768158
66	66	67	-0.728383888	-0.730485925	-0.730147085	0.28858922	0.242069684
67	67	68	-0.757559004	-0.759077901	-0.759015017	0.200498797	0.192197956
68	68	69	-0.812350731	-0.814303292	-0.813298088	0.240359389	0.11661927
69	69	70	1.618982015	1.613465741	1.618279756	0.340724882	0.043376605
70	70	71	1.134654186	1.129014151	1.131884206	0.497070808	0.244125466
71	71	72	0.538446768	0.532778793	0.535773411	1.052652713	0.496494102
72	72	73	0.405289065	0.399611641	0.402823266	1.400833154	0.608405079
73	73	74	1.057036449	1.056272413	1.058220224	0.072280984	0.111989991
74	74	75	0.184740523	0.184261694	0.186325358	0.259189723	0.857871032
75	75	76	-0.057820528	-0.058774535	-0.058164997	1.649946425	0.595756177
76	76	77	-0.250643485	-0.251737002	-0.250538536	0.436283742	0.041871965
77	64	78	2.182018422	2.174938863	2.172024185	0.324450007	0.458027161
78	78	79	1.91688106	1.910961201	1.908691618	0.308827673	0.427227468
79	79	80	1.296981884	1.295304502	1.292437656	0.129329599	0.350369437
80	80	81	0.807212885	0.806320181	0.803720076	0.110590876	0.432699839
81	81	82	0.761207208	0.755919091	0.758463468	0.694701387	0.360445848
82	82	83	0.516423199	0.51443972	0.513923286	0.38408004	0.484082118
83	83	84	0.07224037	0.072424855	0.07218205	0.255377433	0.08072961
84	84	85	0.04951675	0.049279077	0.049478346	0.479984444	0.077557807
85	79	86	0.318376502	0.31384488	0.315237597	1.423353148	0.985909512
86	86	87	-0.137234448	-0.140336162	-0.140310632	2.260157277	2.241553966
87	87	88	-0.187268091	-0.186900653	-0.190068438	0.196209602	1.495367924
88	65	89	0.315717455	0.303381943	0.307932673	3.907136648	2.465743243
89	89	90	0.251682859	0.239667992	0.244787435	4.773812235	2.739727417
90	90	91	0.220572274	0.20895166	0.214099982	5.268392865	2.934317724
91	91	92	-2.210684841	-2.220646209	-2.224790354	0.450600991	0.638060753
92	92	93	0.146443975	0.146425507	0.146411486	0.012610559	0.022185207
93	93	94	0.06508244	0.065077871	0.065067887	0.007019683	0.022360923
94	94	95	0.033334775	0.033337624	0.033325163	0.008545506	0.028833774
95	91	96	1.654743616	1.661042438	1.662307866	0.380652425	0.457125173
96	96	97	0.899850586	0.898872373	0.898894325	0.108708359	0.106268871
97	97	98	0.390769311	0.391215269	0.389993436	0.11412307	0.198550724
98	98	99	0.363844347	0.359331501	0.363261177	1.24032322	0.160280087
99	1	100	4.580974506	4.578959761	4.571284966	0.043980715	0.211517
100	100	101	2.903429521	2.895312244	2.900325723	0.279575483	0.106901089
101	101	102	2.435430139	2.430876068	2.427645933	0.186992489	0.319623482
101	102	103	1.905661734	1.902087879	1.897938156	0.187538806	0.405296379
103	103	104	1.490009041	1.488830434	1.482635871	0.079100636	0.494840611
104	104	105	1.339517026	1.338884178	1.333418251	0.047244509	0.455296593
105	105	106	1.503887531	1.504633726	1.498424467	0.049617724	0.363262797
106	106	107	1.399466446	1.401573725	1.395765811	0.150577354	0.264431811
107	107	108	0.902414385	0.903596594	0.899669653	0.13100513	0.304154274
108	108	109	0.981624348	0.981645395	0.978240266	0.002144105	0.344743089
109	109	110	0.470413401	0.469693032	0.468133042	0.153135448	0.484756399
110	110	111	0.920731962	0.925337049	0.918783988	0.50015501	0.21156804

111	110	112	0.359738931	0.360655319	0.35929104	0.25473693	0.124504495
112	112	113	0.054387125	0.054554309	0.054324827	0.307396099	0.114546074
113	100	114	1.564741773	1.565376285	1.559737172	0.040550567	0.31983562
114	114	115	1.338901129	1.340107062	1.336769791	0.090068825	0.159185643
115	115	116	1.268615649	1.270236317	1.266586934	0.127750921	0.159915623
116	116	117	1.100652066	1.100061106	1.098886394	0.053691763	0.160420497
117	117	118	1.046886973	1.045860498	1.044801758	0.09805029	0.199182454
118	46	27	-0.632509985	-0.631548772	-0.63211362	0.151967998	0.062665451
119	17	27	0.353326765	0.354868658	0.353079056	0.43639278	0.070107587
120	8	24	1.674145006	1.681510207	1.672599343	0.439938084	0.092325498
121	54	43	-0.575879287	-0.575823119	-0.575187888	0.009753328	0.120059722
122	62	49	0.618258995	0.622838998	0.618913613	0.740790476	0.105880883
123	37	62	0.373872695	0.371142825	0.368671471	0.730160353	1.391175068
124	9	40	0.650297292	0.648618014	0.649681053	0.258232266	0.094762609
125	58	96	-0.215810653	-0.225148787	-0.225358672	4.327003637	4.424257531
126	73	91	-0.704947739	-0.707776095	-0.708315269	0.40121502	0.477699285
127	88	75	-0.210096012	-0.211382729	-0.212838879	0.6124425	1.305530406
128	99	77	0.317656002	0.318404164	0.316824626	0.235525647	0.261722138
129	108	83	-0.307631832	-0.305601986	-0.306301338	0.659829497	0.432495443
130	105	86	-0.071415408	-0.072029724	-0.071784541	0.860201145	0.516881588
131	110	118	-0.999907026	-1.004819403	-0.999034676	0.491283368	0.08724308
132	25	35	0.924355853	0.920924393	0.92366245	0.371227146	0.075014728

Tabla 80 Errores en IEEE 119 con DG

RAMAS	Origen	Fin	(MW)			Relativos (%)	
			Qmat	Qmod2v	Qmod2	Error 2v	Error 2
1	1	2	-2.404690222	-2.344366142	-2.400449076	2.508600883	0.176369763
2	2	3	0.011292029	0.011288306	0.011292041	0.032972945	0.000102407
3	2	4	-3.640761078	-3.634188027	-3.630221095	0.180540559	0.28949942
4	4	5	1.812305845	1.838751779	1.810236364	1.459242319	0.11419045
5	5	6	1.74501141	1.773948464	1.745058437	1.658273026	0.002694958
6	6	7	1.672926191	1.702283761	1.674983735	1.754863439	0.122990715
7	7	8	1.61047296	1.639716463	1.612638139	1.815833213	0.134443613
8	8	9	0.613407675	0.614067148	0.614081242	0.107509685	0.109807287
9	2	10	1.121690677	1.181686262	1.119175605	5.348674706	0.224221525
10	10	11	1.011204743	1.071125949	1.009287787	5.925724388	0.189571567
11	11	12	0.392705137	0.38962684	0.391881269	0.783869834	0.209793221
12	12	13	0.372845463	0.37005286	0.3725855	0.748997398	0.069724192
13	13	14	0.349104992	0.345583472	0.349021139	1.008727961	0.024019558
14	14	15	0.231258855	0.226751096	0.23120625	1.949226503	0.022747242
15	15	16	0.20239787	0.199843413	0.20230615	1.262096928	0.045316731
16	16	17	0.17569974	0.173258132	0.175725576	1.389648122	0.014704696
17	11	18	0.540765201	0.606143476	0.539787958	12.08995611	0.180714842
18	18	19	0.52728515	0.593303556	0.526791928	12.5204372	0.09353983
19	19	20	0.447790933	0.51337835	0.447657174	14.64688374	0.02987091
20	20	21	0.095716043	0.160293027	0.095773665	67.46725229	0.060200932
21	21	22	0.031503283	-0.003347345	0.031565791	110.6253841	0.198417774

22	22	23	-0.023092893	-0.057920478	-0.023024994	150.815168	0.294026877
23	23	24	-0.062751092	-0.09758471	-0.062681359	55.51077521	0.111127481
24	24	25	0.82321694	0.816642964	0.823141927	0.798571532	0.009112096
25	25	26	0.202257696	0.20255718	0.202239439	0.148070353	0.009026928
26	26	27	0.177513247	0.17793842	0.177513323	0.239515996	4.27694E-05
27	4	28	-5.476810015	-5.496505141	-5.461253343	0.359609435	0.284046219
28	28	29	3.838830429	3.857787058	3.841165856	0.493812601	0.060836929
29	29	30	2.823690845	2.836046874	2.821414882	0.437584335	0.080602418
30	30	31	1.370940765	1.378672511	1.372480519	0.563973713	0.112313665
31	31	32	1.046927542	1.046923915	1.048746021	0.000346403	0.173696724
32	32	33	0.590196585	0.596199909	0.591670689	1.017173718	0.249764943
33	33	34	0.452741903	0.458304777	0.45417612	1.228707523	0.316784627
34	34	35	0.369095122	0.372957814	0.370502214	1.046530141	0.381227443
35	30	36	1.32693594	1.334916227	1.329937952	0.601407135	0.226236389
36	36	37	0.951572218	0.955580472	0.955279705	0.421224384	0.389617001
37	29	38	0.608947534	0.611917075	0.608597512	0.487651415	0.057479778
38	38	39	0.552281333	0.555135961	0.551829268	0.51687937	0.081854071
39	39	40	0.51207223	0.516534423	0.511569622	0.871399304	0.098151598
40	40	41	0.728832737	0.730647607	0.729256712	0.249010525	0.05817185
41	41	42	0.448765338	0.452224926	0.448890602	0.770912505	0.027913037
42	42	43	0.204799949	0.206419845	0.20528174	0.79096494	0.235249588
43	43	44	-0.208418495	-0.204777499	-0.208773332	1.746963901	0.170252077
44	44	45	-0.248361147	-0.244477523	-0.248730291	1.563700375	0.148631973
45	45	46	-0.280613161	-0.278554205	-0.281035007	0.733734898	0.150329839
46	35	47	0.741486046	0.738847259	0.744529249	0.355878151	0.410419444
47	47	48	0.698148126	0.695086027	0.700945584	0.438603055	0.400697013
48	48	49	0.646016412	0.642714	0.648694743	0.511196324	0.414591834
49	49	50	1.388020396	1.378910333	1.387459849	0.656334952	0.04038458
50	50	51	0.180917079	0.180095466	0.180153107	0.454137899	0.422277343
51	51	52	0.034191135	0.033533971	0.03347385	1.92202945	2.097868424
52	52	53	-0.02241803	-0.022481114	-0.023109173	0.281397396	3.082978521
53	53	54	-0.062611966	-0.062201904	-0.063282663	0.654926063	1.071195437
54	29	55	0.340828341	0.350563608	0.348162005	2.856354889	2.151717577
55	55	56	0.313171914	0.322790764	0.320443928	3.071427805	2.322051751
56	56	57	0.224080152	0.23397873	0.231303427	4.417427361	3.223523022
57	57	58	0.168108271	0.180226931	0.175392113	7.208842097	4.332828018
58	58	59	0.380348502	0.373156386	0.374890462	1.890927976	1.435010283
59	59	60	0.36320347	0.35569051	0.357536898	2.068526387	1.560164692
60	60	61	0.313759673	0.306217846	0.307910064	2.403695205	1.864359659
61	61	62	0.222875561	0.218599263	0.216958112	1.91869322	2.65504599
62	1	63	2.375729006	2.455646017	2.390017907	3.363894258	0.601453345
63	63	64	1.908308696	1.991974581	1.923580454	4.384295113	0.80027715
64	64	65	0.142894693	0.136494917	0.15660327	4.478665909	9.593482448
65	65	66	0.445042736	0.428738645	0.445719623	3.663488819	0.152094911
66	66	67	0.251393761	0.236319247	0.252329801	5.99637531	0.372340483
67	67	68	0.224164029	0.211016267	0.226006782	5.865241978	0.822055353

68	68	69	0.197610912	0.186847511	0.201187362	5.446764727	1.809844377
69	69	70	0.427230081	0.445441605	0.421812541	4.262697044	1.268061368
70	70	71	0.018778253	0.042370843	0.021784836	125.6378316	16.01098027
71	71	72	-0.221455353	-0.196789321	-0.217941421	11.13815124	1.586745269
72	72	73	-0.306055387	-0.280283623	-0.302095061	8.420620996	1.293990015
73	73	74	0.881342817	0.911562108	0.879664752	3.428778236	0.190398668
74	74	75	0.264816102	0.293393885	0.263110486	10.7915578	0.644075639
75	75	76	-0.331847859	-0.341513423	-0.331227958	2.912649358	0.186802706
76	76	77	-0.454407746	-0.463716673	-0.453824329	2.048584548	0.128390708
77	64	78	1.701381305	1.786633067	1.706913585	5.010738121	0.325163983
78	78	79	1.460361233	1.542378836	1.463913809	5.616254449	0.243266877
79	79	80	1.338194658	1.416242196	1.340254414	5.832300803	0.153920454
80	80	81	0.897504674	0.973038549	0.899036128	8.415986832	0.170634668
81	81	82	0.813151139	0.797793148	0.814096183	1.88870067	0.116220002
82	82	83	0.628915987	0.607599643	0.629926879	3.389378675	0.16073555
83	83	84	0.054483812	0.053861353	0.054443246	1.142465885	0.07445525
84	84	85	0.026518083	0.026736719	0.026496442	0.824478107	0.081609253
85	79	86	-0.044903141	-0.043065378	-0.043796196	4.092727401	2.465184879
86	86	87	-0.532714246	-0.575084509	-0.53000753	7.953656935	0.508099071
87	87	88	-0.553766936	-0.599573458	-0.551116554	8.271805227	0.47860963
88	65	89	-0.402508018	-0.39170991	-0.389494819	2.682706432	3.233028564
89	89	90	-0.445866267	-0.434406161	-0.432177735	2.570301384	3.070098129
90	90	91	-0.4809995	-0.469195366	-0.467073323	2.454084475	2.895258021
91	91	92	-3.456748254	-3.459477139	-3.424837926	0.07894369	0.923131391
92	92	93	0.143009424	0.143017069	0.143037215	0.005345946	0.019433081
93	93	94	0.076451349	0.07644347	0.076460803	0.010305943	0.01236685
94	94	95	0.060484111	0.060459174	0.060489372	0.041228931	0.008698563
95	91	96	1.690518739	1.689702399	1.677153869	0.048289335	0.79057806
96	96	97	0.912825174	0.927426547	0.912651413	1.599580464	0.01903553
97	97	98	0.54352135	0.55590326	0.543309076	2.27809071	0.039055333
98	98	99	0.531471588	0.547346298	0.53112782	2.986934728	0.064682346
99	1	100	3.18666632	3.31426809	3.193752152	4.004240097	0.222358781
100	100	101	1.952834666	2.055004191	1.954331779	5.231857353	0.076663579
101	101	102	1.584576404	1.685216227	1.593118506	6.351213044	0.539077966
101	102	103	1.130534315	1.228751272	1.139150345	8.68765821	0.762120214
103	103	104	0.958307995	1.049311394	0.966549526	9.496257982	0.860008581
104	104	105	0.820816089	0.910224452	0.827271487	10.8926183	0.78646092
105	105	106	1.134267867	1.109879181	1.138764326	2.15016993	0.396419487
106	106	107	1.048332441	1.024658749	1.050665988	2.258223785	0.222596047
107	107	108	0.627866104	0.608915917	0.62972249	3.018189249	0.295665892
108	108	109	0.945009159	0.902796411	0.946717696	4.466914117	0.180795846
109	109	110	0.557079261	0.519866388	0.558537133	6.679996139	0.261699173
110	110	111	0.89952138	0.881660338	0.899287988	1.985616157	0.025946205
111	110	112	0.256440586	0.252434745	0.256219728	1.562093157	0.08612449
112	112	113	0.040972564	0.040286789	0.040928432	1.673740461	0.107710097
113	100	114	1.181110931	1.208172792	1.184469005	2.291220906	0.284314813
114	114	115	0.982920434	1.01066097	0.982590441	2.822256514	0.033572719

115	115	116	0.927354461	0.954347342	0.926922115	2.910740456	0.046621419
116	116	117	0.833148623	0.86274988	0.832472672	3.552938335	0.081132141
117	117	118	0.799479799	0.829406904	0.799298293	3.743322255	0.022702942
118	46	27	-0.301863029	-0.299031488	-0.302168324	0.938021972	0.101136944
119	17	27	0.150274121	0.147189305	0.150396932	2.052792702	0.0817247
120	8	24	0.98481028	1.010342322	0.986380821	2.592584825	0.159476515
121	54	43	-0.346044828	-0.343497695	-0.346604582	0.736070234	0.161757523
122	62	49	0.80131991	0.793208497	0.799035164	1.012256433	0.28512283
123	37	62	0.628939056	0.63355011	0.632458455	0.733147981	0.559577167
124	9	40	0.561970115	0.561337298	0.562799968	0.112607001	0.147668483
125	58	96	-0.546164397	-0.526196463	-0.532462666	3.656029988	2.508719243
126	73	91	-1.210060891	-1.21951655	-1.204064588	0.781420159	0.495537295
127	88	75	-0.566444709	-0.604544642	-0.563802318	6.726152164	0.466487131
128	99	77	0.500234097	0.509795106	0.500075101	1.91130697	0.031784333
129	108	83	-0.454117458	-0.431053539	-0.45453994	5.07884452	0.093033524
130	105	86	-0.230417912	-0.269980726	-0.228985013	17.17002516	0.621869759
131	110	118	-0.77282824	-0.788458046	-0.771192955	2.022416467	0.211597516
132	25	35	0.469041754	0.464711996	0.469295799	0.923107114	0.054162635

Tabla 81 Errores en potencia reactiva IEEE 119 con DG

Resultados IEEE 119 con DG y sobrecarga

Los parámetros de los nudos generadores se exponen en 6.3.3.

Num. Nudo	Sbase=10MVA		
	Tipo	PI p.u.	QI p.u.
1	3	0	0
2	1	0.40152	0.30342
3	1	0.048642	0.033876
4	1	0.102945	0.065535
5	1	0.219048	0.190806
6	1	0.4326	0.205812
7	1	0.31341	0.185175
8	1	0.085641	0.034509
9	1	0.26268	0.153219
10	1	0.5946	0.32031
11	1	0.4404	0.227985
12	1	0.07812	0.056061
13	1	0.1563	0.06966
14	1	0.4257	0.3525
15	1	0.06561	0.08637
16	1	0.10011	0.07935
17	1	0.09729	0.07569
18	1	0.060702	0.035718
19	1	0.47082	0.235569
20	1	1.63887	1.0542

21	1	0.54093	0.4926
22	1	0.279501	0.163782
23	1	0.25554	0.11895
24	1	0.5043	0.285534
25	1	0.37533	0.45066
26	1	0.04809	0.07386
27	1	0.07809	0.07386
28	2	1.78368	1.56786
29	1	0.36186	0.177351
30	1	0.30714	0.298662
31	1	1.5402	0.9555
32	1	1.42575	1.36842
33	1	0.45429	0.41037
34	1	0.61614	0.249906
35	1	0.3948	0.279246
36	1	1.3452	1.10937
37	1	1.32156	0.96492
38	1	0.33762	0.165402
39	1	0.161889	0.116994
40	1	1.17915	1.0278
41	1	0.98022	0.83568
42	1	1.60878	0.72072
43	1	0.228741	0.199686
44	1	0.16056	0.11928
45	1	0.120984	0.095892
46	1	0.118959	0.062274
47	1	0.198585	0.127083
48	1	0.221712	0.154959
49	1	0.34431	0.173895
50	1	2.75511	3.6153
51	1	0.6309	0.43998
52	1	0.20004	0.169824
53	1	0.126621	0.120552
54	1	1.30122	0.85023
55	1	0.1863	0.08058
56	1	0.27738	0.26514
57	1	0.255564	0.166308
58	1	1.0359	0.9972
59	1	0.0675	0.05049
60	1	0.241653	0.147468
61	1	0.28758	0.272274
62	1	0.18876	0.1431
63	1	1.4364	1.39122
64	1	0.36282	0.156018
65	1	0.41733	0.30102
66	1	1.17534	0.5805
67	1	0.083223	0.080139

68	1	0.158442	0.075771
69	2	0.20067	0.116139
70	1	1.4025	1.18542
71	1	1.78455	0.71922
72	1	0.3975	0.253089
73	1	0.158097	0.067446
74	1	2.60937	1.844325
75	1	0.094047	0.089451
76	1	0.57717	0.36729
77	1	0.19725	0.13611
78	1	0.71445	0.66966
79	1	0.88365	0.48741
80	1	1.45671	1.31376
81	1	0.73059	0.54909
82	1	0.73059	0.54909
83	1	0.40275	0.35787
84	1	0.06813	0.08388
85	1	0.148539	0.079545
86	1	1.15134	0.77148
87	1	0.14892	0.0618
88	1	0.067419	0.035418
89	1	0.18879	0.12888
90	1	0.09201	0.10479
91	1	0.18759	0.20037
92	2	0.34371	0.245244
93	1	0.243876	0.199578
94	1	0.095199	0.04788
95	1	0.09996	0.18144
96	1	1.59384	0.67455
97	1	1.52109	1.10226
98	1	0.07917	0.0351
99	1	0.13797	0.091176
100	1	0.30198	0.142716
101	1	1.36944	1.0509
102	1	1.56768	1.34787
103	1	1.22529	0.50538
104	1	0.42444	0.40275
105	4	0.31329	0.198072
106	1	0.290379	0.250941
107	1	1.48176	1.25802
108	1	0.67614	0.40764
109	1	1.52763	1.16163
110	1	0.5655	0.52038
111	1	2.75409	2.69565
112	1	0.91524	0.64611
113	1	0.16314	0.12291

114	1	0.63342	0.5787
115	1	0.201027	0.160008
116	1	0.48621	0.270963
117	1	0.146355	0.087468
118	1	0.1017	0.05694

Tabla 82 Parámetros nudos IEEE 119 con DG sobrecarga

NUDOS	pu	pu	pu	Relativos (%)	
	V MAT	V MOD 2v	V MOD 2	ERROR 2	ERROR 2
1	1.02	1.02	1.02	0	0
2	1.011791389	1.011823485	1.011823485	0.003172259	0.003172259
3	1.011779008	1.011811107	1.011811107	0.003172508	0.003172508
4	1.003861973	1.003915607	1.003915607	0.005342795	0.005342795
5	1.001181109	1.001246621	1.001246621	0.006543515	0.006543515
6	0.998591978	0.998662316	0.998662316	0.007043756	0.007043756
7	0.997385535	0.997458735	0.997458735	0.007339177	0.007339177
8	0.996019937	0.996096562	0.996096562	0.00769314	0.00769314
9	0.994791009	0.994864963	0.994864963	0.007434066	0.007434066
10	1.001759207	1.001810775	1.001810775	0.005147726	0.005147726
11	0.995889111	0.99595344	0.99595344	0.006459428	0.006459428
12	0.990116428	0.990189937	0.990189937	0.007424259	0.007424259
13	0.986734965	0.986816827	0.986816827	0.008296234	0.008296234
14	0.98339848	0.983494554	0.983494554	0.009769669	0.009769669
15	0.981621819	0.981732067	0.981732067	0.011231157	0.011231157
16	0.978955129	0.979073946	0.979073946	0.012137157	0.012137157
17	0.976562263	0.976689337	0.976689337	0.013012367	0.013012367
18	0.98801542	0.988090939	0.988090939	0.007643555	0.007643555
19	0.983409941	0.983489262	0.983489262	0.008065891	0.008065891
20	0.978696719	0.978780251	0.978780251	0.008535025	0.008535025
21	0.97716843	0.977251892	0.977251892	0.008541179	0.008541179
22	0.976919648	0.977007234	0.977007234	0.008965495	0.008965495
23	0.97777605	0.977914159	0.977914159	0.014124878	0.014124878
24	0.978556932	0.978704823	0.978704823	0.015113165	0.015113165
25	0.973199948	0.973373206	0.973373206	0.0178029	0.0178029
26	0.971897554	0.972069278	0.972069278	0.017668905	0.017668905
27	0.970713923	0.970883725	0.970883725	0.017492472	0.017492472
28	1	1	1	2.22045E-14	2.22045E-14
29	0.997446762	0.99745939	0.99745939	0.001266064	0.001266064
30	0.977727728	0.977849413	0.977849413	0.012445671	0.012445671
31	0.966622436	0.96678337	0.96678337	0.016649149	0.016649149
32	0.96379808	0.963980868	0.963980868	0.018965375	0.018965375
33	0.960654897	0.960860495	0.960860495	0.021401844	0.021401844
34	0.958660602	0.958886981	0.958886981	0.02361415	0.02361415
35	0.958052358	0.958296184	0.958296184	0.025450253	0.025450253
36	0.966859012	0.967048018	0.967048018	0.019548434	0.019548434
37	0.962847255	0.963093911	0.963093911	0.025617385	0.025617385
38	0.990715564	0.990755956	0.990755956	0.004077122	0.004077122

39	0.985156353	0.98522392	0.98522392	0.006858518	0.006858518
40	0.982289231	0.982378783	0.982378783	0.009116627	0.009116627
41	0.974666658	0.974785286	0.974785286	0.012171161	0.012171161
42	0.951710696	0.95194696	0.95194696	0.024825163	0.024825163
43	0.949559219	0.949821407	0.949821407	0.027611573	0.027611573
44	0.952868918	0.953112833	0.953112833	0.025597998	0.025597998
45	0.95747656	0.957696331	0.957696331	0.022953112	0.022953112
46	0.961898507	0.962102653	0.962102653	0.021223246	0.021223246
47	0.952685063	0.952990366	0.952990366	0.032046536	0.032046536
48	0.949841295	0.950181195	0.950181195	0.035784941	0.035784941
49	0.94660468	0.946986903	0.946986903	0.040378382	0.040378382
50	0.940699482	0.941101532	0.941101532	0.042739442	0.042739442
51	0.939427268	0.939824653	0.939824653	0.042300813	0.042300813
52	0.939525431	0.939917295	0.939917295	0.041708742	0.041708742
53	0.940758366	0.941116891	0.941116891	0.038110145	0.038110145
54	0.942448348	0.942771406	0.942771406	0.034278622	0.034278622
55	0.989761295	0.990021118	0.990021118	0.026251112	0.026251112
56	0.982360576	0.982846779	0.982846779	0.049493351	0.049493351
57	0.975955445	0.976632969	0.976632969	0.0694216	0.0694216
58	0.969104892	0.969643778	0.969643778	0.055606555	0.055606555
59	0.966418347	0.966822836	0.966822836	0.041854401	0.041854401
60	0.963944509	0.964188607	0.964188607	0.025322834	0.025322834
61	0.962835289	0.962968236	0.962968236	0.013807796	0.013807796
62	0.952015058	0.952464117	0.952464117	0.0471693	0.0471693
63	1.016222411	1.016220187	1.016220187	0.000218825	0.000218825
64	1.002526732	1.002334331	1.002334331	0.019191594	0.019191594
65	0.996647521	0.99669158	0.99669158	0.004420738	0.004420738
66	0.995160026	0.995237062	0.995237062	0.007741075	0.007741075
67	0.99578123	0.995906271	0.995906271	0.012557067	0.012557067
68	0.998542202	0.998536125	0.998536125	0.000608543	0.000608543
69	1	1	1	1.11022E-14	1.11022E-14
70	0.964907218	0.965201436	0.965201436	0.030491797	0.030491797
71	0.961949115	0.962302965	0.962302965	0.03678466	0.03678466
72	0.960541716	0.960997704	0.960997704	0.047472012	0.047472012
73	0.960096475	0.960652386	0.960652386	0.057901529	0.057901529
74	0.954014124	0.954618052	0.954618052	0.063303936	0.063303936
75	0.954045598	0.954626928	0.954626928	0.060933159	0.060933159
76	0.95472375	0.955397652	0.955397652	0.070586114	0.070586114
77	0.955490648	0.956179362	0.956179362	0.072079572	0.072079572
78	0.960674312	0.961069474	0.961069474	0.041133816	0.041133816
79	0.948144927	0.948732418	0.948732418	0.06196222	0.06196222
80	0.939321241	0.939988108	0.939988108	0.07099456	0.07099456
81	0.931698354	0.932448996	0.932448996	0.080567081	0.080567081
82	0.92708592	0.927882809	0.927882809	0.085956389	0.085956389
83	0.923444069	0.924288385	0.924288385	0.091431168	0.091431168
84	0.922957767	0.923805369	0.923805369	0.091835407	0.091835407

85	0.922697364	0.923546728	0.923546728	0.092052245	0.092052245
86	0.946309084	0.946964805	0.946964805	0.069292421	0.069292421
87	0.948500758	0.94914468	0.94914468	0.067888379	0.067888379
88	0.953891333	0.954333295	0.954333295	0.046332532	0.046332532
89	0.98834217	0.988732017	0.988732017	0.039444529	0.039444529
90	0.985883853	0.986290587	0.986290587	0.041255686	0.041255686
91	0.983697881	0.984085276	0.984085276	0.039381519	0.039381519
92	1	1	1	0	0
93	0.998941303	0.998941529	0.998941529	2.2573E-05	2.2573E-05
94	0.998492135	0.998492472	0.998492472	3.38185E-05	3.38185E-05
95	0.998025534	0.998025987	0.998025987	4.54237E-05	4.54237E-05
96	0.970587909	0.971235157	0.971235157	0.066686153	0.066686153
97	0.964540243	0.965205693	0.965205693	0.068991481	0.068991481
98	0.962286789	0.96295006	0.96295006	0.068926566	0.068926566
99	0.959064693	0.95979966	0.95979966	0.076633682	0.076633682
100	1.012253239	1.012306784	1.012306784	0.005289746	0.005289746
101	0.994350377	0.994436017	0.994436017	0.008612712	0.008612712
102	0.984331168	0.98447216	0.98447216	0.014323678	0.014323678
103	0.971399105	0.971652342	0.971652342	0.026069348	0.026069348
104	0.951823897	0.952337626	0.952337626	0.053973126	0.053973126
105	0.945285135	0.945891799	0.945891799	0.064177839	0.064177839
106	0.932955192	0.933705083	0.933705083	0.080378015	0.080378015
107	0.927320433	0.928129261	0.928129261	0.087222131	0.087222131
108	0.918501404	0.919418331	0.919418331	0.099828658	0.099828658
109	0.914428855	0.915394565	0.915394565	0.105607939	0.105607939
110	0.909947145	0.910971941	0.910971941	0.112621482	0.112621482
111	0.903657317	0.90475122	0.90475122	0.121052902	0.121052902
112	0.908001753	0.909045048	0.909045048	0.114900093	0.114900093
113	0.907673757	0.908720164	0.908720164	0.115284582	0.115284582
114	0.987071685	0.987336054	0.987336054	0.026783145	0.026783145
115	0.979241763	0.979574287	0.979574287	0.033957297	0.033957297
116	0.964461583	0.96492846	0.96492846	0.048408098	0.048408098
117	0.948559432	0.949181613	0.949181613	0.065592253	0.065592253
118	0.930172399	0.930970604	0.930970604	0.085812633	0.085812633

Tabla 83 Errores (%) tensión nudos IEEE 119 con DG y sobrecarga

Nudos	GRADOS			Absoluto (%)	
	ANG MAT	ANG MOD2v	ANG MOD2	ERROR 2v	ERROR 2
1	0	0	0	0	0
2	0.19498086	0.205200251	0.205200251	1.021939129	1.021939129
3	0.195169444	0.205391026	0.205391026	1.022158229	1.022158229
4	0.403776576	0.422725458	0.422725458	1.89488823	1.894888229
5	0.250585338	0.269276023	0.269276023	1.869068541	1.869068541
6	0.099791757	0.119027963	0.119027963	1.923620582	1.923620582
7	0.086690514	0.106152778	0.106152778	1.946226426	1.946226426
8	0.074469022	0.094215834	0.094215834	1.974681158	1.974681158
9	0.029034077	0.049334193	0.049334193	2.030011597	2.030011597

10	0.16614429	0.176595517	0.176595517	1.045122709	1.045122709
11	0.17608933	0.18681794	0.18681794	1.072861011	1.072861011
12	0.034902304	0.048641194	0.048641194	1.373889036	1.373889036
13	-0.002125818	0.01341142	0.01341142	1.553723713	1.553723713
14	0.010336065	0.026997292	0.026997292	1.666122679	1.666122679
15	0.046944498	0.063668236	0.063668236	1.672373775	1.672373775
16	0.010389629	0.029406586	0.029406586	1.901695686	1.901695686
17	-0.02085379	0.000449749	0.000449749	2.130353871	2.130353871
18	0.062553328	0.074362444	0.074362444	1.180911594	1.180911594
19	-0.028789494	-0.015064038	-0.015064038	1.372545651	1.372545651
20	-0.07788363	-0.062198028	-0.062198028	1.568560198	1.568560198
21	-0.081805181	-0.065036161	-0.065036161	1.676902005	1.676902005
22	-0.066628961	-0.049620739	-0.049620739	1.700822213	1.700822213
23	0.106249258	0.125568223	0.125568223	1.931896462	1.931896462
24	0.140757521	0.160595082	0.160595082	1.983756147	1.983756147
25	0.073888917	0.096831879	0.096831879	2.294296222	2.294296222
26	0.044785941	0.068149358	0.068149358	2.336341786	2.336341786
27	0.013068546	0.037003695	0.037003695	2.393514926	2.393514926
28	0.366140893	0.388805687	0.388805687	2.266479424	2.266479424
29	0.251315334	0.275935823	0.275935823	2.462048945	2.462048945
30	-0.312081588	-0.274227918	-0.274227918	3.785366978	3.785366978
31	-0.388620917	-0.345640629	-0.345640629	4.298028781	4.298028781
32	-0.315506096	-0.274266509	-0.274266509	4.123958743	4.123958743
33	-0.315911148	-0.272044232	-0.272044232	4.386691594	4.386691594
34	-0.303408584	-0.257467455	-0.257467455	4.594112916	4.594112916
35	-0.260129997	-0.21420828	-0.21420828	4.592171688	4.592171688
36	-0.510314613	-0.457179443	-0.457179443	5.31351699	5.31351699
37	-0.513270996	-0.455227636	-0.455227636	5.804335998	5.804335998
38	0.235056027	0.257828902	0.257828902	2.277287529	2.277287529
39	0.214179424	0.235499556	0.235499556	2.132013119	2.132013119
40	0.12322484	0.145600203	0.145600203	2.237536321	2.237536321
41	0.15418251	0.175944036	0.175944036	2.176152546	2.176152546
42	-0.037172007	-0.005422565	-0.005422565	3.174944235	3.174944235
43	-0.02160313	0.010771632	0.010771632	3.23747623	3.23747623
44	-0.033047931	-0.001405378	-0.001405378	3.164255296	3.164255296
45	-0.055422886	-0.024454137	-0.024454137	3.096874886	3.096874886
46	-0.018653715	0.009117487	0.009117487	2.777120249	2.777120249
47	-0.258277361	-0.206088667	-0.206088667	5.218869473	5.218869473
48	-0.25690654	-0.201164752	-0.201164752	5.574178854	5.574178854
49	-0.255797791	-0.195589405	-0.195589405	6.020838613	6.020838613
50	-0.119451709	-0.068326136	-0.068326136	5.112557312	5.112557312
51	-0.074646358	-0.028479334	-0.028479334	4.616702435	4.616702435
52	-0.053417777	-0.009679895	-0.009679895	4.373788197	4.373788197
53	-0.011858725	0.026370562	0.026370562	3.822928762	3.822928762
54	0.017329412	0.050927931	0.050927931	3.359851866	3.359851866
55	-0.053933143	-0.002964911	-0.002964911	5.096823152	5.096823152

56	-0.377389427	-0.294181244	-0.294181244	8.320818296	8.320818296
57	-0.730449269	-0.609803995	-0.609803995	12.06452739	12.06452739
58	-1.666937398	-1.449609911	-1.449609911	21.73274865	21.73274865
59	-1.370534519	-1.178005593	-1.178005593	19.25289261	19.25289261
60	-1.075938758	-0.90966779	-0.90966779	16.6270968	16.6270968
61	-0.899665639	-0.749964938	-0.749964938	14.97007011	14.97007011
62	-0.619975222	-0.531400677	-0.531400677	8.857454498	8.857454498
63	-0.168617363	-0.160866397	-0.160866397	0.775096616	0.775096616
64	-0.981570107	-0.924544779	-0.924544779	5.702532866	5.702532866
65	-1.40060733	-1.285258123	-1.285258123	11.53492068	11.53492068
66	-1.518182968	-1.38668847	-1.38668847	13.14944974	13.14944974
67	-1.754268483	-1.593061698	-1.593061698	16.1206785	16.1206785
68	-2.085244109	-1.881641424	-1.881641424	20.36026855	20.36026855
69	-2.343997625	-2.110432779	-2.110432779	23.35648464	23.35648464
70	-2.531986781	-2.268626434	-2.268626434	26.3360347	26.3360347
71	-2.507217586	-2.241435832	-2.241435832	26.57817542	26.57817542
72	-2.46956398	-2.199234085	-2.199234085	27.03298951	27.03298951
73	-2.444737844	-2.169392996	-2.169392996	27.53448488	27.53448488
74	-2.255022669	-1.997148857	-1.997148857	25.78738124	25.78738124
75	-2.0622298	-1.8230518	-1.8230518	23.91780002	23.91780002
76	-2.240932365	-1.981922892	-1.981922892	25.90094735	25.90094735
77	-2.287009828	-2.023352776	-2.023352776	26.36570517	26.36570517
78	-0.889253051	-0.799272559	-0.799272559	8.998049211	8.998049211
79	-0.871314565	-0.771348663	-0.771348663	9.996590163	9.996590163
80	-0.739664184	-0.644898631	-0.644898631	9.476555249	9.476555249
81	-0.553892667	-0.469981453	-0.469981453	8.391121434	8.391121434
82	-0.505367481	-0.423863929	-0.423863929	8.150355196	8.150355196
83	-0.370834791	-0.299299834	-0.299299834	7.153495701	7.153495701
84	-0.363192728	-0.292291285	-0.292291285	7.090144354	7.090144354
85	-0.366410567	-0.295241139	-0.295241139	7.116942802	7.116942802
86	-1.020518612	-0.902539893	-0.902539893	11.79787183	11.79787183
87	-1.310847524	-1.157383714	-1.157383714	15.34638105	15.34638105
88	-1.61151926	-1.418656137	-1.418656137	19.28631224	19.28631224
89	-2.17610247	-1.945465168	-1.945465168	23.06373012	23.06373012
90	-2.518823901	-2.236591417	-2.236591417	28.22324843	28.22324843
91	-2.869276766	-2.533727623	-2.533727623	33.55491427	33.55491427
92	-4.140989291	-3.706317866	-3.706317866	43.46714243	43.46714243
93	-4.119441749	-3.684756487	-3.684756487	43.46852625	43.46852625
94	-4.108337883	-3.673656877	-3.673656877	43.46810057	43.46810057
95	-4.081002665	-3.646362996	-3.646362997	43.46396681	43.46396681
96	-2.471021621	-2.177041805	-2.177041805	29.39798159	29.39798159
97	-2.454208947	-2.165588039	-2.165588039	28.86209075	28.86209075
98	-2.398737019	-2.11635689	-2.11635689	28.23801291	28.23801291
99	-2.466872523	-2.186405691	-2.186405691	28.04668322	28.04668322
100	0.059707165	0.062158633	0.062158633	0.245146755	0.245146755
101	-0.491184338	-0.479907619	-0.479907619	1.127671952	1.127671952
102	-0.554349007	-0.533625852	-0.533625852	2.072315505	2.072315505

103	-0.606617461	-0.570316333	-0.570316333	3.630112838	3.630112838
104	-0.523794012	-0.46634968	-0.46634968	5.744433136	5.744433136
105	-0.50912921	-0.443855724	-0.443855724	6.527348582	6.527348582
106	-0.242096063	-0.188275816	-0.188275816	5.382024711	5.382024711
107	-0.140430627	-0.09223943	-0.09223943	4.819119676	4.819119676
108	-0.003934678	0.036683503	0.036683503	4.061818083	4.061818083
109	0.136154683	0.165156778	0.165156778	2.900209544	2.900209544
110	0.367860367	0.376278812	0.376278812	0.841844441	0.841844441
111	0.549150455	0.539548682	0.539548682	0.960177266	0.960177266
112	0.402200757	0.407234234	0.407234234	0.50334769	0.50334769
113	0.408608795	0.412997619	0.412997619	0.438882448	0.438882448
114	0.425490088	0.429395405	0.429395405	0.390531649	0.390531649
115	0.414917393	0.418972873	0.418972873	0.405547974	0.405547974
116	0.403236638	0.407622362	0.407622362	0.438572397	0.438572397
117	0.248683759	0.262520627	0.262520627	1.383686818	1.383686818
118	0.07164307	0.10251066	0.10251066	3.086759004	3.086759004

Tabla 84 Errores absolutos desfase tensión en IEEE 119 con DG y sobrecarga

RAMA S	Orige n	Fin	(MW)			Relativos (%)	
			Pmat	Pmod2v	Pmod2	Error 2v	Error 2
1	1	2	28.040128	27.652287	27.687472	1.383164	1.257682
2	2	3	0.048643	0.048574	0.048636	0.140751	0.014180
3	2	4	21.116463	20.874342	20.868323	1.146595	1.175099
4	4	5	9.467032	9.471386	9.459400	0.045990	0.080618
5	5	6	9.236984	9.208149	9.215204	0.312166	0.235793
6	6	7	8.793952	8.755981	8.758819	0.431791	0.399516
7	7	8	8.471036	8.431474	8.434855	0.467018	0.427109
8	8	9	2.733466	2.713923	2.722866	0.714925	0.387788
9	2	10	6.160827	6.147607	6.147101	0.214584	0.222791
10	10	11	5.507380	5.492176	5.491673	0.276072	0.285196
11	11	12	2.213725	2.192294	2.200540	0.968106	0.595611
12	12	13	2.126742	2.105270	2.109693	1.009631	0.801653
13	13	14	1.964178	1.947827	1.946234	0.832442	0.913584
14	14	15	1.531517	1.517673	1.514097	0.903925	1.137389
15	15	16	1.462426	1.439761	1.445796	1.549804	1.137164
16	16	17	1.358999	1.336006	1.341815	1.691907	1.264449
17	11	18	2.820271	2.810887	2.818632	0.332727	0.058096
18	18	19	2.741696	2.720471	2.735687	0.774137	0.219155
19	19	20	2.261575	2.243961	2.252255	0.778827	0.412078
20	20	21	0.613523	0.602673	0.603339	1.768416	1.659842
21	21	22	0.071695	0.065486	0.061747	8.660157	13.875096
22	22	23	-0.207926	-0.214175	-0.217622	3.004938	4.662817
23	23	24	-0.464315	-0.470514	-0.473239	1.335059	1.921942
24	24	25	4.570582	4.522585	4.539103	1.050114	0.688719
25	25	26	0.936384	0.934440	0.940260	0.207653	0.413915
26	26	27	0.887179	0.884371	0.890948	0.316455	0.424817

27	4	28	11.305706	11.143268	11.142884	1.436779	1.440175
28	28	29	15.188517	14.995404	15.015743	1.271446	1.137531
29	29	30	8.847632	8.714998	8.809014	1.499091	0.436474
30	30	31	4.019963	3.976044	3.991091	1.092504	0.718213
31	31	32	2.438970	2.429909	2.407424	0.371509	1.293417
32	32	33	1.002675	0.977180	0.976545	2.542658	2.606005
33	33	34	0.545124	0.524161	0.519790	3.845674	4.647409
34	34	35	-0.072343	-0.080555	-0.096376	11.352126	33.221222
35	30	36	4.418313	4.297399	4.337749	2.736671	1.823410
36	36	37	3.035479	2.946797	2.946095	2.921532	2.944664
37	29	38	2.482885	2.479688	2.480289	0.128743	0.104558
38	38	39	2.128882	2.124730	2.126029	0.195046	0.134031
39	39	40	1.955463	1.937228	1.952304	0.932517	0.161555
40	40	41	3.207044	3.197059	3.193873	0.311348	0.410674
41	41	42	2.200857	2.180453	2.189589	0.927087	0.511983
42	42	43	0.544027	0.535470	0.533224	1.572854	1.985765
43	43	44	-1.617340	-1.606468	-1.604688	0.672264	0.782311
44	44	45	-1.783676	-1.772870	-1.770456	0.605847	0.741183
45	45	46	-1.913603	-1.893872	-1.899737	1.031098	0.724594
46	35	47	2.726999	2.661314	2.659071	2.408700	2.490952
47	47	48	2.513078	2.448707	2.446202	2.561452	2.661119
48	48	49	2.283824	2.220238	2.217829	2.784221	2.889664
49	49	50	3.130341	3.186237	3.123812	1.785613	0.208576
50	50	51	0.345469	0.371028	0.358845	7.398408	3.872053
51	51	52	-0.286437	-0.258853	-0.270257	9.629984	5.648658
52	52	53	-0.486599	-0.465148	-0.469602	4.408274	3.493083
53	53	54	-0.613915	-0.593443	-0.596383	3.334733	2.855843
54	29	55	3.473792	3.324338	3.326434	4.302345	4.241993
55	55	56	3.255902	3.108881	3.115347	4.515525	4.316940
56	56	57	2.948549	2.804648	2.815472	4.880409	4.513284
57	57	58	2.665922	2.508899	2.542248	5.890005	4.639092
58	58	59	0.365195	0.480306	0.452820	31.520546	23.993999
59	59	60	0.284147	0.412894	0.384077	45.310004	35.168497
60	60	61	0.029589	0.168763	0.141687	470.352574	378.846858
61	61	62	-0.264852	-0.116232	-0.145678	56.114147	44.996510
62	1	63	14.913123	14.545278	14.415101	2.466581	3.339488
63	63	64	13.435506	12.975453	12.925661	3.424161	3.794764
64	64	65	4.758200	4.417923	4.411097	7.151378	7.294830
65	65	66	1.498725	1.408086	1.409087	6.047734	5.980921
66	66	67	0.319072	0.232140	0.231718	27.245373	27.377606
67	67	68	0.229474	0.150384	0.148652	34.465734	35.220683
68	68	69	0.061955	-0.006616	-0.009397	110.678901	115.167790
69	69	70	3.853425	3.782507	3.789919	1.840379	1.648030
70	70	71	2.323658	2.262710	2.257234	2.622918	2.858607
71	71	72	0.531452	0.473223	0.468441	10.956597	11.856336
72	72	73	0.132838	0.074292	0.070910	44.073241	46.618763
73	73	74	1.946672	2.024692	1.974642	4.007846	1.436803

74	74	75	-0.687281	-0.610311	-0.641757	11.199275	6.623796
75	75	76	0.052176	0.006577	0.014518	87.393914	72.175866
76	76	77	-0.527313	-0.573483	-0.561493	8.755815	6.481858
77	64	78	8.178959	7.986830	7.975127	2.349061	2.492154
78	78	79	7.114036	6.943009	6.933433	2.404073	2.538682
79	79	80	4.214013	4.202784	4.151711	0.266452	1.478447
80	80	81	2.707733	2.713625	2.661981	0.217607	1.689664
81	81	82	1.944874	1.941670	1.913375	0.164718	1.619587
82	82	83	1.202438	1.223518	1.177215	1.753078	2.097679
83	83	84	0.216842	0.217521	0.215559	0.312877	0.591768
84	84	85	0.148576	0.146124	0.147712	1.650391	0.581735
85	79	86	1.922064	1.755191	1.811392	8.681955	5.757959
86	86	87	1.093088	0.877132	0.959066	19.756531	12.260887
87	87	88	0.934559	0.744928	0.812739	20.290894	13.035011
88	65	89	2.793175	2.563811	2.559851	8.211598	8.353342
89	89	90	2.551502	2.341108	2.350642	8.245913	7.872216
90	90	91	2.439169	2.240669	2.252845	8.137992	7.638803
91	91	92	-2.843568	-3.063400	-3.165464	7.730863	11.320140
92	92	93	0.439928	0.439760	0.439634	0.038028	0.066767
93	93	94	0.195425	0.195383	0.195293	0.021358	0.067410
94	94	95	0.100093	0.100119	0.100006	0.025246	0.086912
95	91	96	3.027429	3.193853	3.113832	5.497237	2.854012
96	96	97	2.491949	2.521401	2.518640	1.181887	1.071113
97	97	98	0.954598	0.996051	0.983756	4.342366	3.054414
98	98	99	0.871849	0.879864	0.902396	0.919215	3.503602
99	1	100	16.185048	16.025664	16.036894	0.984757	0.915372
100	100	101	10.351730	10.266869	10.278773	0.819782	0.704786
101	101	102	8.853558	8.720360	8.727919	1.504461	1.419082
101	102	103	7.201632	7.068183	7.073167	1.853027	1.783833
103	103	104	5.884559	5.766835	5.756754	2.000562	2.171875
104	104	105	5.337853	5.225240	5.218844	2.109702	2.229526
105	105	106	4.648226	4.613645	4.572337	0.743961	1.632656
106	106	107	4.281571	4.262232	4.224325	0.451691	1.337040
107	107	108	2.768448	2.748293	2.724992	0.728015	1.569675
108	108	109	2.621980	2.638002	2.581388	0.611096	1.548120
109	109	110	1.075493	1.095646	1.053396	1.873864	2.054572
110	110	111	2.781834	2.801412	2.747868	0.703780	1.220998
111	110	112	1.081225	1.082822	1.071774	0.147707	0.874104
112	112	113	0.163213	0.163693	0.161839	0.294509	0.841936
113	100	114	5.398455	5.346885	5.335231	0.955266	1.171149
114	114	115	4.608107	4.568851	4.570308	0.851887	0.820284
115	115	116	4.371072	4.332098	4.333436	0.891640	0.861040
116	116	117	3.819450	3.759218	3.783034	1.576975	0.953432
117	117	118	3.616697	3.546141	3.575321	1.950845	1.144028
118	46	27	-2.040813	-2.025475	-2.027266	0.751562	0.663788
119	17	27	1.258903	1.243700	1.241310	1.207571	1.397467

120	8	24	5.641332	5.617988	5.614831	0.413802	0.469769
121	54	43	-1.916217	-1.897853	-1.894390	0.958325	1.139058
122	62	49	1.224525	1.312150	1.264049	7.155858	3.227780
123	37	62	1.701438	1.605845	1.614289	5.618336	5.122072
124	9	40	2.469157	2.461146	2.456826	0.324461	0.499423
125	58	96	1.222274	1.017738	1.036289	16.734035	15.216277
126	73	91	-1.972106	-2.070697	-2.061610	4.999305	4.538499
127	88	75	0.859452	0.719356	0.749903	16.300710	12.746355
128	99	77	0.732570	0.776104	0.761696	5.942684	3.975945
129	108	83	-0.560368	-0.582528	-0.553721	3.954570	1.186172
130	105	86	0.339121	0.278572	0.298812	17.854793	11.886437
131	110	118	-3.365587	-3.352074	-3.332354	0.401512	0.987440
132	25	35	3.236437	3.165931	3.199052	2.178499	1.155130

Tabla 85 Errores en flujo de potencia activa IEEE 119 con DG y sobrecarga

RAMAS	Origen	Fin	(MW)			Relativos (%)	
			Qmat	Qmod2v	Qmod2	Error 2	Error 2
1	1	2	25.730407	26.410819	26.231227	2.644390	1.946413
2	2	3	0.033876	0.034043	0.033872	0.491591	0.013478
3	2	4	20.785036	21.250210	21.194503	2.238019	1.970005
4	4	5	5.368645	5.332506	5.325136	0.673142	0.810423
5	5	6	5.138238	5.132337	5.120173	0.114851	0.351581
6	6	7	4.894873	4.904874	4.901146	0.204319	0.128149
7	7	8	4.701776	4.714659	4.710065	0.273998	0.176302
8	8	9	2.203655	2.217161	2.213406	0.612855	0.442492
9	2	10	4.495511	4.488727	4.489200	0.150915	0.140376
10	10	11	4.127556	4.123787	4.124468	0.091330	0.074830
11	11	12	1.622779	1.631027	1.624632	0.508257	0.114177
12	12	13	1.551883	1.563525	1.559175	0.750133	0.469840
13	13	14	1.475553	1.481821	1.484216	0.424794	0.587047
14	14	15	1.118490	1.115601	1.126815	0.258307	0.744306
15	15	16	1.031076	1.043971	1.038454	1.250706	0.715628
16	16	17	0.947994	0.961775	0.956327	1.453750	0.879062
17	11	18	2.253556	2.254730	2.247740	0.052109	0.258088
18	18	19	2.194472	2.205013	2.194282	0.480335	0.008655
19	19	20	1.944320	1.955595	1.948558	0.579890	0.217953
20	20	21	0.878873	0.885927	0.885503	0.802661	0.754425
21	21	22	0.384858	0.386159	0.391775	0.337976	1.797277
22	22	23	0.220997	0.222249	0.227982	0.566457	3.160440
23	23	24	0.101612	0.103591	0.109301	1.947573	7.567347
24	24	25	2.234610	2.258860	2.236827	1.085191	0.099204
25	25	26	0.272320	0.276955	0.269082	1.701963	1.189192
26	26	27	0.197621	0.203822	0.194919	3.137739	1.367158
27	4	28	15.264176	15.638946	15.638188	2.455224	2.450258
28	28	29	8.234803	8.245039	8.224956	0.124303	0.119570
29	29	30	7.585869	7.579258	7.512416	0.087145	0.968294
30	30	31	3.688098	3.701557	3.688069	0.364931	0.000768

31	31	32	2.685395	2.644066	2.691887	1.539017	0.241747
32	32	33	1.312230	1.316956	1.317439	0.360200	0.396983
33	33	34	0.897573	0.900129	0.903433	0.284761	0.652876
34	34	35	0.645922	0.637314	0.652094	1.332790	0.955462
35	30	36	3.363502	3.410008	3.378137	1.382650	0.435108
36	36	37	2.201606	2.231714	2.232657	1.367550	1.410357
37	29	38	1.323437	1.306073	1.305011	1.312044	1.392307
38	38	39	1.148404	1.132989	1.130852	1.342266	1.528338
39	39	40	1.024194	1.018656	1.007570	0.540729	1.623205
40	40	41	2.014167	2.003009	2.008811	0.554009	0.265917
41	41	42	1.164577	1.171695	1.158135	0.611209	0.553105
42	42	43	0.409244	0.408096	0.411945	0.280520	0.660054
43	43	44	-0.689529	-0.692539	-0.697517	0.436595	1.158497
44	44	45	-0.810888	-0.812153	-0.818952	0.155974	0.994453
45	45	46	-0.910001	-0.927370	-0.918611	1.908653	0.946099
46	35	47	1.818448	1.851441	1.854836	1.814328	2.001040
47	47	48	1.681265	1.713961	1.717764	1.944736	2.170914
48	48	49	1.521348	1.554473	1.558126	2.177390	2.417496
49	49	50	4.323967	4.211672	4.302973	2.597041	0.485538
50	50	51	0.689084	0.655195	0.673472	4.917843	2.265561
51	51	52	0.248441	0.216923	0.234171	12.686180	5.743743
52	52	53	0.078537	0.052806	0.064983	32.763318	17.257465
53	53	54	-0.042265	-0.063145	-0.055068	49.400287	30.290031
54	29	55	-0.903257	-0.771604	-0.790716	14.575450	12.459501
55	55	56	-0.995229	-0.833636	-0.865392	16.236818	13.046014
56	56	57	-1.271155	-1.078124	-1.124182	15.185501	11.562150
57	57	58	-1.447202	-1.210324	-1.283292	16.367945	11.325962
58	58	59	2.429042	2.280361	2.342777	6.120966	3.551395
59	59	60	2.373669	2.219012	2.285527	6.515549	3.713357
60	60	61	2.221551	2.064730	2.132021	7.059099	4.030100
61	61	62	1.946801	1.850468	1.857421	4.948263	4.591116
62	1	63	4.801830	5.055384	5.126919	5.280362	6.770111
63	63	64	3.349080	3.760100	3.717067	12.272628	10.987688
64	64	65	-2.879989	-2.362644	-2.378249	17.963460	17.421605
65	65	66	-1.011696	-0.831311	-0.837364	17.829920	17.231639
66	66	67	-1.593754	-1.410332	-1.416629	11.508804	11.113741
67	67	68	-1.676190	-1.494242	-1.497719	10.854887	10.647442
68	68	69	-1.757910	-1.576440	-1.577445	10.323069	10.265901
69	69	70	2.520834	2.548198	2.538053	1.085518	0.683089
70	70	71	1.234738	1.250967	1.265748	1.314348	2.511467
71	71	72	0.512734	0.530850	0.543749	3.533101	6.048960
72	72	73	0.259244	0.281109	0.290308	8.434284	11.982575
73	73	74	3.720436	3.560269	3.627256	4.305049	2.504541
74	74	75	1.858926	1.684746	1.763945	9.369949	5.109463
75	75	76	-0.754779	-0.683862	-0.713498	9.395799	5.469249
76	76	77	-1.122765	-1.046437	-1.080634	6.798229	3.752439

77	64	78	5.839526	5.871764	5.888508	0.552069	0.838790
78	78	79	4.938705	4.963065	4.977440	0.493252	0.784320
79	79	80	4.543255	4.468446	4.543031	1.646604	0.004935
80	80	81	3.196795	3.100239	3.192130	3.020382	0.145932
81	81	82	2.630453	2.590804	2.619943	1.507315	0.399560
82	82	83	2.069979	1.980216	2.060879	4.336416	0.439625
83	83	84	0.163513	0.157926	0.162580	3.416676	0.570483
84	84	85	0.079576	0.081034	0.079102	1.833096	0.595151
85	79	86	-0.154174	-0.064132	-0.115614	58.402582	25.010776
86	86	87	-2.387750	-2.195012	-2.272454	8.071954	4.828628
87	87	88	-2.460601	-2.307878	-2.339326	6.206754	4.928689
88	65	89	-2.186943	-1.796022	-1.828513	17.875202	16.389531
89	89	90	-2.334889	-1.905660	-1.942774	18.383261	16.793719
90	90	91	-2.449054	-1.999302	-2.042747	18.364300	16.590342
91	91	92	-14.466292	-13.547299	-13.595226	6.352649	6.021349
92	92	93	0.429290	0.429358	0.429540	0.015899	0.058223
93	93	94	0.229422	0.229351	0.229507	0.031165	0.036945
94	94	95	0.181477	0.181252	0.181524	0.124077	0.025901
95	91	96	8.207084	7.798646	7.869290	4.976648	4.115882
96	96	97	2.513161	2.468815	2.471804	1.764540	1.645601
97	97	98	1.395968	1.337180	1.355534	4.211317	2.896517
98	98	99	1.358528	1.322948	1.317314	2.619021	3.033730
99	1	100	9.621643	9.667503	9.637343	0.476638	0.163168
100	100	101	5.804330	5.836160	5.797666	0.548371	0.114822
101	101	102	4.552742	4.656692	4.644449	2.283245	2.014331
101	102	103	3.149333	3.260186	3.250368	3.519885	3.208159
103	103	104	2.596092	2.676563	2.703068	3.099680	4.120645
104	104	105	2.149359	2.229938	2.247501	3.748950	4.566082
105	105	106	3.390732	3.297500	3.420970	2.749611	0.891782
106	106	107	3.116908	3.025125	3.127057	2.944683	0.325595
107	107	108	1.847610	1.794617	1.856861	2.868185	0.500728
108	108	109	2.967557	2.809290	2.960852	5.333219	0.225930
109	109	110	1.799142	1.683750	1.794579	6.413748	0.253631
110	110	111	2.705624	2.546725	2.689560	5.872920	0.593730
111	110	112	0.770046	0.733933	0.764311	4.689715	0.744751
112	112	113	0.122936	0.116783	0.121929	5.005124	0.818858
113	100	114	3.618255	3.606894	3.624294	0.313971	0.166917
114	114	115	2.983079	2.958446	2.956286	0.825771	0.898175
115	115	116	2.798564	2.775146	2.773104	0.836814	0.909752
116	116	117	2.484484	2.488578	2.461013	0.164798	0.944669
117	117	118	2.345909	2.367448	2.333610	0.918151	0.524306
118	46	27	-0.977711	-0.988181	-0.985022	1.070849	0.747700
119	17	27	0.869247	0.874145	0.878349	0.563407	1.047107
120	8	24	2.455369	2.447635	2.455718	0.314980	0.014202
121	54	43	-0.892885	-0.892786	-0.902610	0.011081	1.089187
122	62	49	2.990974	2.825947	2.940400	5.517495	1.690880
123	37	62	1.227395	1.268563	1.259922	3.354103	2.650071

124	9	40	2.045552	2.051276	2.057455	0.279849	0.581892
125	58	96	-4.906359	-4.476285	-4.613166	8.765647	5.975774
126	73	91	-3.528701	-3.390130	-3.404394	3.926951	3.522732
127	88	75	-2.514901	-2.277857	-2.387458	9.425579	5.067528
128	99	77	1.261769	1.185719	1.221976	6.027267	3.153773
129	108	83	-1.538631	-1.436261	-1.526412	6.653300	0.794172
130	105	86	-1.452854	-1.314224	-1.386173	9.541909	4.589599
131	110	118	-2.201412	-2.123383	-2.184218	3.544511	0.781067
132	25	35	1.494090	1.542746	1.505219	3.256534	0.744866

Tabla 86 Errores en potencia reactiva en IEEE 119 con DG y sobrecarga

Código 1 Modelo Lineal 1

```

%Programa de flujo de cargas lineal Modelo 1
clear all
clc
%% Importación del archivo y definición de datos
%El archivo tiene datos siguiendo este orden:
%Además debe marcarse un espacio en el caso de que no se completen
%variables como en el caso de V y B.
archivo=('C:\Users\andre\Documents\4º GITI\TFG\bus69_ieee.txt');

opts = detectImportOptions(archivo);
opts.DataLines = [1 5]; % fist block of data
C = readcell(archivo,opts);
PU=cell2mat(C(1,2));
V_base=cell2mat(C(2,2));%Lee tensión base está en kV
S_base=cell2mat(C(3,2));%Lee potencia base
S_base=S_base;
nodos=cell2mat(C(4,2));%Lee nº de nudos
branches=cell2mat(C(5,2));%Lee nº de líneas
%Construcción de matriz de ramas
opts = detectImportOptions(archivo);
opts.VariableNames= {'Nº Linea', 'Src_bus', 'Rec_bus', 'R', 'X', 'B'}
opts.DataLines = [6+nodos+2 6+nodos+branches+1];
L=readtable(archivo,opts);
lineas=table2array(L);%Matriz con Info de todas las líneas
b_size=size(lineas,1);%Arcos o ramas (realmente se podría usar 'nodos'
%Construcción de matriz de nudos
opts = detectImportOptions(archivo);
opts.VariableNames= {'Nº
Nudo', 'Tipo', 'Pl', 'Ql', 'Pg', 'Qg', 'Vg', 'Angle', 'Ig', 'Pmax', 'Pmin', 'Qmax', 'Qmin
', 'Xd', 'Eg', 'Xp', 'Vbase'}
opts.DataLines = [6+1 6+nodos];
N=readtable(archivo,opts);
nudos=table2array(N);%Matriz con info de todos los nudos
n_size=size(nudos,1);%Nudos

Z_base=1;
if (PU==0)
    Z_base=(V_base*10^3)^2/(S_base*10^6);
end
lineas(:,4:5)=lineas(:,4:5)./Z_base;
%nudos(:,3:6)=nudos(:,3:6)/S_base;

```



```

if nodes==69
    nudos(:,3:6)=nudos(:,3:6)/(S_base*10^3);
else
    nudos(:,3:6)=nudos(:,3:6)/S_base;
end
%% Implementación de las matrices del problema
%MODO 1) OBTENCION MATRICES A Y T SIN NECESIDAD DE HACER EL GRAFO
%Matriz A (matriz de incidencias)
%Seguramente no la usemos pero viene bien crearla
%Dimensiones NudosxRamas
A=zeros(n_size,b_size);%Matriz de incidencias, queda completarla
for k1=1:n_size%Recorre cada nudo
    for k2=1:b_size%Recorre cada arco evaluando la tabla si es origen o
destino
        if (lineas(k2,2)==k1)
            A(k1,k2)=1;
        end
        if (lineas(k2,3)==k1)
            A(k1,k2)=-1;
        end
    end
end
end
A
%Realmente no es necesaria
%DUDA: ¿TENDRÍA QUE TENER LOS SIGNOS CAMBIADOS A?
%Matriz T
%Matriz de dimensiones ramasxnudos(sin slack, es decir el de tipo 3), -->
%HABRÍA QUE BUSCAR QUE DETECTE EL TIPO DE NUDO
T=zeros(b_size,n_size-1);%Matriz de caminos a rellenar (sin slack)
aux=0;
for k=1:n_size
    if (nudos(k,2)~=3)
        siu=k;%Nudo de referencia de camino
        i=1;
        while i<=b_size %Miro si alguna linea tiene como final nudo 'siu'
            if (siu==lineas(i,3))%si es así
                %En la matriz T pongo un 1 en la col k (correspondiente
                %al nudo) y fila lin correspondiente a la línea
                lin=lineas(i,1);
                T(lin,k-aux)=1;%esto al revés si quiero que salga bien la
matriz
                j=1;
                while j<=b_size %Busco continuar el camino de la red radial
                    if (lineas(j,3)==lineas(i,2))%Si coincide inicio y final
                        siu=lineas(j,3);%Pasa a un nuevo nudo de referencia
pero siguiendo el camino original (primer valor de siu)
                        j=b_size;
                        i=0;%Empieza a contar otra vez buscando nudo con
nuevo siu
                    end
                    j=j+1;
                end
            end
            i=i+1;
        end
    else
        aux=1;
    end
end
end
T %Me sale al revés :(
%Matrices R y X

```

```

%Matrices diagonales con la resistencia y reactancia de las ramas
%Matriz de resistencia
R=zeros(b_size,1);
for i=1:b_size
    R(i)=lineas(i,4);
end
R=diag(R)
%Matriz de reactancias (igual)
X=zeros(b_size,1);
for i=1:b_size
    X(i)=lineas(i,5);
end
X=diag(X)
%Matrices P y Q
%Matrices diagonales de las potencias generadas y consumidas
%Hay que pasarlas a PU
%Matriz de potencias activas
for i=1:n_size-1%Hay que revisar cuando slack distinto de nudo 1
    P(i)=nudos(i+1,3)-nudos(i+1,5);
end
P=diag(P);
P_pu=-P%las he puesto negativas pq es un consumo. Tiene sentido?
%Matriz de potencias reactivas
for i=1:n_size-1%Igual que con P
    Q(i)=nudos(i+1,4)-nudos(i+1,6);
end
Q=diag(Q);
Q_pu=-Q
%Vector v0
v0=nudos(1,7);
%v0=1.05;
%Vector W
%% Resolución de sistema

% 1) Resolviendo con un sistema lineal y obteniendo Wr
b=2-ones(b_size,1)*v0;
mat_r=T'*R*T*P_pu
mat_x=T'*X*T*Q_pu
%M=eye(b_size)+(T'*R*T*P_pu+T'*X*T*Q_pu);
M=(eye(b_size)+T'*R*T*P_pu+T'*X*T*Q_pu);
b
M
w=M\b;
v=1./w %Comprobar si sale también por aquí

% 2) Seguimos operando la expresión y, haciendo uso de la aproximación
% propuesta en este método:  $W_r=1/V_i=(2-V_i)$ , obtenemos las tensiones de los
% nudos (menos slack)
vr=2-(eye(b_size)+T'*R*T*P_pu+T'*X*T*Q_pu)^-1*b %Así sí me sale
v_total=[v0; vr] %Hay que adaptarlo cuando slack distinto de nudo '1'
nudos(:,7)=v_total;
%% Obtención potencias de las ramas
for i=1:size(L,1)
    num=lineas(i,2);
    V_s(i)=v_total(num);
end
P_branches_pu=-(diag(2-V_s))^-1*T*P_pu*(1./vr)
Q_branches_pu=-(diag(2-V_s))^-1*T*Q_pu*(1./vr)

P_branches=P_branches_pu*S_base
Q_branches=Q_branches_pu*S_base

```

```

%% Pérdidas y potencia en el slack
%HAY QUE CALCULAR LA POTENCIA DEL SLACK Y LAS PÉRDIDAS
%En una versión mejorada el slack habría que buscarlo en la matriz T (este
%programa supone slack el primer nudo)
for i=1:n_size %se podría hacer con un while
    if (nudos(i,2)==3) %si es tipo 3= slack
        slack=nudos(i,1);
    end
end
Pslack=0;
Qslack=0;
for i=1:b_size
    if (slack==lineas(i,2))%Es origen
        Pslack=Pslack+P_branches_pu(slack);
        Qslack=Qslack+Q_branches_pu(slack);
    end
    if (slack==lineas(i,3))%es final
        Pslack=Pslack-P_branches_pu(slack);
        Qslack=Qslack-Q_branches_pu(slack);
    end
end
nudos(slack,5)=Pslack*S_base;%Lo añadido a la tabla de nudos
nudos(slack,6)=Qslack*S_base;%Lo añadido a la tabla de nudos
%Tenemos origen y fin de líneas y las Pbranches estan calculadas de acuerdo
%a ese orden --> Ploss=Pij+Pji
%Pij donde i es el nudo origen --> este programa está diseñado tal que
%las Pbranches potencias en las líneas Pij
Pij=P_branches_pu;
Qij=Q_branches_pu;
for i=1:b_size
    Pji(i,1)=-Pij(i)/v_total(lineas(i,2))*v_total(lineas(i,3));
    Qji(i,1)=-Qij(i)/v_total(lineas(i,2))*v_total(lineas(i,3));
end
Ploss=(Pij+Pji)*S_base
Qloss=(Qij+Qji)*S_base
%% Impresión de resultados
fprintf('
          SOLUCIÓN LINEAR POWER FLOW\n\n')
head =['
          Bus Voltage      -----Load-----      ---Generation---'
        '
          No. Mag.         MW          Mvar          MW          Mvar          '
        '
        '];
disp(head)
for i=1:n_size
    fprintf(' %5g', nudos(i,1)), fprintf(' %7.3f', v_total(i)),
    fprintf(' %9.3f', nudos(i,3)),
    fprintf(' %9.3f', nudos(i,4)), fprintf(' %9.3f', nudos(i,5)),
    fprintf(' %9.3f \n', nudos(i,6))
end
%   fprintf('
          \n'), fprintf(' Total
          ')
%   fprintf(' %9.3f', Pdt), fprintf(' %9.3f', Qdt),
%   fprintf(' %9.3f', Pgt), fprintf(' %9.3f', Qgt), fprintf(' %9.3f\n\n',
Qsht)

fprintf('\n')
fprintf('
          Line Flow and Losses \n\n')
fprintf('
          --Line-- Power at bus & line flow      --Line loss-- \n')
fprintf('
          from to      MW          Mvar          MW          Mvar          \n')
for i=1:b_size
    fprintf(' %5g', lineas(i,2)), fprintf(' %7.3g', lineas(i,3)),
    fprintf(' %9.3f', P_branches(i)),
    fprintf(' %9.3f', Q_branches(i)), fprintf(' %9.3f', Ploss(i)),
    fprintf(' %9.3f \n', Qloss(i))
end

```

```

%% Exportar resultados a excel

% filename = 'C:\Users\andre\Documents\4° GITI\TFG\RESULTADOS_IEEE69.xlsx';
% writematrix(nudos,filename,'Sheet','Nudos Mod 1','Range','B3');
% %Configurar exportar ramas
% writematrix(lineas,filename,'Sheet','Ramas Mod 1','Range','B3');
% writematrix(P_branches,filename,'Sheet','Ramas Mod 1','Range','H3');
% writematrix(Q_branches,filename,'Sheet','Ramas Mod 1','Range','I3');
% writematrix(Ploss,filename,'Sheet','Ramas Mod 1','Range','J3');
% writematrix(Qloss,filename,'Sheet','Ramas Mod 1','Range','K3');

```

Código Modelo Lineal 2

```

%% PROGRAMAS DE FLUJO DE CARGAS LINEAL PARA REDES DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA

clear all
clc
%SUPOSICIONES
% NUDOS ESTÁN ORDENADOS EN EL ARCHIVO DE 1 A N

%% Importación del archivo y definición de datos
archivo=('C:\Users\andre\Documents\4° GITI\TFG\bus119_ieee_articulo_DG.txt');
%El archivo tiene datos siguiendo este orden:
%Además debe marcarse un espacio en el caso de que no se completen
%variables como en el caso de V y B.
opts = detectImportOptions(archivo);
opts.DataLines = [1 5]; % fist block of data
C = readcell(archivo,opts);
PU=cell2mat(C(1,2));% 1--> está en PU; 0--> NO está en PU
V_base=cell2mat(C(2,2));%Lee tensión base (kV)
S_base=cell2mat(C(3,2));%Lee potencia base (kW)

%Las potencias de los nudos siempre están en KW, lo que está en PU son las
%impedancias en las ramas
nodes=cell2mat(C(4,2));%Lee n° de nudos
branches=cell2mat(C(5,2));%Lee n° de líneas

%Construcción de matriz de nudos
opts = detectImportOptions(archivo);
opts.VariableNames= {'N°
Nudo','Tipo','Pl','Ql','Pg','Qg','Vg','Angle','Ig','Pmax','Pmin','Qmax','Qmin',
'Xd','Eg','Xp','Vbase'}
opts.DataLines = [6+1 6+nodes];
N=readtable(archivo,opts);
nudos=table2array(N);%Matriz con info de todos los nudos
%n_size=size(nudos,1);%Nudos

%Construcción de matriz de ramas
opts = detectImportOptions(archivo);
opts.VariableNames= {'N° Linea','Src_bus','Rec_bus','R','X','B'}
opts.DataLines = [6+nodes+2 6+nodes+branches+1];
L=readtable(archivo,opts);
lineas=table2array(L);%Matriz con Info de todas las líneas

```

```

%PU=0, no esta en p.u. luego realizo la conversión a pu a traves de Z_base
%Hasta ahora la potencias me las han dado en PU
Z_base=1;
if (PU==0)
    Z_base=(V_base*10^3)^2/(S_base*10^6);
end
lineas(:,4:5)=lineas(:,4:5)./Z_base;
if nodes==69
nudos(:,3:6)=nudos(:,3:6)/(S_base*10^3);
else
    nudos(:,3:6)=nudos(:,3:6)/S_base;
end
%% Implementación de las matrices del problema
%Matriz de admitancias
Y=zeros(nodes);
for r=1:nodes
    if nudos(r,14)~=0
        Y(r,r)=1/(j*nudos(r,14));
    end
    if nudos(r,16)~=0
        Y(r,r)=1/(j*nudos(r,16));
    end
end
for k=1:branches
    %Suponiendo que los nudos están en orden
    Y(lineas(k,2),lineas(k,2))=Y(lineas(k,2),lineas(k,2))+
1/(lineas(k,4)+1i*lineas(k,5));
    %Se añade la susceptancia
    Y(lineas(k,2),lineas(k,2))=Y(lineas(k,2),lineas(k,2))+1i*lineas(k,6)/2;
Y(lineas(k,3),lineas(k,3))=Y(lineas(k,3),lineas(k,3))+1/(lineas(k,4)+1i*linea
s(k,5));
    %Se añade la susceptancia
    Y(lineas(k,3),lineas(k,3))=Y(lineas(k,3),lineas(k,3))+1i*lineas(k,6)/2;
    Y(lineas(k,2),lineas(k,3))=-1/(lineas(k,4)+1i*lineas(k,5));
    Y(lineas(k,3),lineas(k,2))=Y(lineas(k,2),lineas(k,3));
end
if Y==Y'
    res=1
else
    res=0
end
%Matriz de conductancias
G=real(Y);
%Matriz de susceptancias
B=imag(Y);
comprobacion=Y-Y.';

%Probar a hacerla con la matriz de incidencias

%% Cálculo de k2, k1, k0 en el caso de udos tipo 4,5 y 6
%En este caso vamos a crear un vector donde aparezca el número de nudo al
%que corresponden esos factores ks tal que: k_v=[n, k2, k1, k0]
r=0;
%A partir de estos coeficientes K, se obtendrá la Q generada por estos
%nudos tal que Q=k2*V^2+k1*V+k0
k_v=zeros(nodes,4); %Si es slack, PV o clásico PQ valores son cero
for k=1:nodes

```

```

    if (nudos(k,2)==5) %Nudo PQ (V)--> datos Pg y datos
        if(nudos(k,14)~=0) %Generador síncrono
            Pgen=nudos(k,5);
            Xd=nudos(k,14);
            Eg=nudos(k,15);
            k2=-1/Xd+0.5*( (Eg^2/Xd^2)/sqrt(Eg^2/Xd^2-Pgen^2)-
            ((Eg^4/Xd^4)/(Eg^2/Xd^2-Pgen^2)^(1/3)));
            k1=(Eg^4/Xd^4)/(Eg^2/Xd^2-Pgen^2)^(1/3);
            k0=sqrt(Eg^2/Xd^2-Pgen^2)-0.5*( (Eg^2/Xd^2)/sqrt(Eg^2/Xd^2-
            Pgen^2)+((Eg^4/Xd^4)/(Eg^2/Xd^2-Pgen^2)^(1/3)));
            k_v(k,:)=nudos(k,2), k2, k1, k0];
        else %Motor asíncrono
            Pgen=nudos(k,5);
            Xp=nudos(k,16);
            k2=-1/Xp-1/(2*Xp)+3/(2*Xp*sqrt(1-4*Pgen^2*Xp^2))-2/(Xp*(1-
            4*Pgen^2*Xp^2)^(1/3));
            k1=4/(Xp*(1-4*Pgen^2*Xp^2)^(1/3))-2/(Xp*sqrt(1-4*Pgen^2*Xp^2));
            k0=(1-2*Pgen^2*Xp^2)/(Xp*(1-4*Pgen^2*Xp^2))-2/(Xp*(1-
            4*Pgen^2*Xp^2)^(1/3));
            k_v(k,:)=nudos(k,2), k2, k1, k0];
        end
    else
        if (nudos(k,2)==6)
            Pgen=nudos(k,5);
            Ig=nudos(k,9);
            k2=Ig^2/(2*sqrt(Ig^2-Pgen^2))-Ig^4/(2*(Ig^2-Pgen^2)^(1/3));
            k1=Ig^4/((Ig^2-Pgen^2)^(1/3));
            k0=(Ig^2-2*Pgen^2)/(2*sqrt(Ig^2-Pgen^2))+Ig^4/(2*(Ig^2-
            Pgen^2)^(1/3));
            k_v(k,:)=nudos(k,2), k2, k1, k0];
        else
            k_v(k,:)=nudos(k,2), 0, 0, 0];
        %Es para no tener que hacer más bucles en el for y tener que buscarlos;
        %simplemente no los tendré en cuenta
    end
end
end
clear k2 k1 k0 Ig Pgen Xd Xp Eg
%% Construcción de matriz W
%Hay que identificar los nudos PVs y los nudos no PVs
r=0;%Contadores para los vectores PV y NO PV
t=0;
%Van a estar ordenados tal como se encuentren en la tabla, no hace falta
%identificar cuál corresponde a cada bloque
Vm(1)=0;
Pm(1)=0;
Pm_p(1)=0;
Qm(1)=0;
Qm_p(1)=0;
Pf(1)=0;
Pf_p(1)=0;
for k=1:nodos
    if nudos(k,2)==2
        r=r+1;
        Pm(r,1)=2*(nudos(k,5)-nudos(k,3));
        Pm_p(r,1)=-nudos(k,5)+nudos(k,3);
        Qm(r,1)=k_v(k,3)+2*k_v(k,4)-2*nudos(k,4);
        Qm_p(r,1)=k_v(k,2)-k_v(k,4)+nudos(k,4);
        Vm(r,1)=nudos(k,7);
    else
        if nudos(k,2)~=3 %nudos no PV que no sean el slack
            t=t+1;
        end
    end
end

```

```

    Pf(t,1)=2*(nodos(k,5)-nodos(k,3));
    Pf_p(t,1)=-nodos(k,5)+nodos(k,3);
    if nodos(k,2)==4
        Qf(t,1)=k_v(k,3)+2*k_v(k,4)-2*(nodos(k,4)-nodos(k,6));
        Qf_p(t,1)=k_v(k,2)-k_v(k,4)+(nodos(k,4)-nodos(k,6));
    else
        Qf(t,1)=k_v(k,3)+2*k_v(k,4)-2*nodos(k,4);
        Qf_p(t,1)=k_v(k,2)-k_v(k,4)+nodos(k,4);
    end
end
end
end
%Construcción de las submatrices del problema
%Bfs, Bff, Bfm, Bms, Bmf, Bmm
%Gfs, Gff, Gfm, Gms, Gmf, Gmm
pv_nodes=r;
no_pv_nodes=nodes-r-1;
if pv_nodes==0
    Bfs=zeros(no_pv_nodes,1);
    Bff=zeros(no_pv_nodes);
    Bms=zeros(1,1);
    Bfm=zeros(no_pv_nodes,1);
    Bmm=zeros(1);
    Gfs=zeros(no_pv_nodes,1);
    Gff=zeros(no_pv_nodes);
    Gms=zeros(1,1);
    Gfm=zeros(no_pv_nodes,1);
    Gmm=zeros(1);
else
    Bfs=zeros(no_pv_nodes,1);
    Bff=zeros(no_pv_nodes);
    Bms=zeros(pv_nodes,1);
    Bfm=zeros(no_pv_nodes,pv_nodes);
    Bmm=zeros(pv_nodes);
    Gfs=zeros(no_pv_nodes,1);
    Gff=zeros(no_pv_nodes);
    Gms=zeros(pv_nodes,1);
    Gfm=zeros(no_pv_nodes,pv_nodes);
    Gmm=zeros(pv_nodes);
end
t=0;
q=1;
h=0;
z=0;
c=1;
f=0;
m=1;
p=0;
for k=1:nodes%Filas de B y G
    for r=1:nodes%Columnas de B y G
        if(nodos(k,2)~=2 & nodos(r,2)==3 & nodos(k,2)~=3)
            t=t+1;
            %No hace falta pq slack solo hay 1
            Bfs(t,1)=B(k,r);
            Gfs(t,1)=G(k,r);
        end
        if nodos(r,2)~=2 & nodos(k,2)~=2 & nodos(r,2)~=3 & nodos(k,2)~=3
            z=z+1;
            if z>no_pv_nodes
                q=q+1;
                z=1;
            end
        end
    end
end

```

```

        Bff(q, z)=B(k, r);
        Gff(q, z)=G(k, r);
    end
    if nudos(k, 2)~=2 & nudos(r, 2)==2 & nudos(k, 2)~=3
        h=h+1;
        if h>pv_nodos
            c=c+1;
            h=1;
        end
        Bfm(c, h)=B(k, r);
        Gfm(c, h)=G(k, r);
    end
    if nudos(k, 2)==2 & nudos(r, 2)==3
        p=p+1;
        Bms(p, 1)=B(k, r);
        Gms(p, 1)=G(k, r);
    end
    if nudos(k, 2)==2 & nudos(r, 2)==2
        f=f+1;
        if f>pv_nodos
            m=m+1;
            f=1;
        end
        Bmm(m, f)=B(k, r);
        Gmm(m, f)=G(k, r);
    end
end

end
end
%comprobacion2=G-[G(1,1),Gms.',Gfs.';Gms,Gmm,Gfm.';Gfs,Gfm,Gff];
%comprobacion3=B-[B(1,1),Bms.',Bfs.';Bms,Bmm,Bfm.';Bfs,Bfm,Bff];
%No las vamos a crear pq es innecesario realmente
%Bsm=.Bms'
%Tensión y fase del slack
delta_s=nudos(1,8);
Vs=nudos(1,7);
%En el caso de que alguna incognita falle, como es el caso con delta_m que
%no existe ya que no hay nudos tipo PV
%Sistema será X=M\W
if pv_nodos==0
    W=[Pf+Bfs*delta_s-Gfs*Vs-Gfm*Vm;Qf+Gfs*delta_s+Bfs*Vs+Bfm*Vm];
    M=[-Bff, Gff-diag(Pf_p);-Gff, -(Bff+diag(Qf_p))];
else
    W=[Pf+Bfs*delta_s-Gfs*Vs-Gfm*Vm;Pm+Bms*delta_s-Gms*Vs+(diag(Pm_p)-
Gmm)*Vm;Qf+Gfs*delta_s+Bfs*Vs+Bfm*Vm];
    M=[-Bff, -Bfm, Gff-diag(Pf_p);-Bfm.', -Bmm, Gfm.';-Gff, -Gfm, -
(Bff+diag(Qf_p))];
end
X=M\W;
[L, U, P]=lu(M);
x2=U\ (L\ (P*W));
%% Descomponer X en delta_f, delta_m y Vf y asignar resultados en tabla de
%nudos
delta_f=X(1:no_pv_nodos,1);
if pv_nodos~=0
    delta_m=X(no_pv_nodos+1:no_pv_nodos+pv_nodos,1);
else
    delta_m=0;
end
v_f=X(no_pv_nodos+pv_nodos+1:end);
t=0;

```



```

z=0;
for k=1:nodos
    if nudos(k,2)~=2 & nudos(k,2)~=3
        %Nudos no PV sin contar slack le ponemos tensión y desfase
        z=z+1;
        nudos(k,7)=v_f(z);
        nudos(k,8)=delta_f(z);
    end
    if nudos(k,2)==2 %Nudos PV
        t=t+1;
        nudos(k,8)=delta_m(t);
    end
end
%Pi/Vi=sumatorio(Vj*Gij-Bij*delta_j)
%Esto está hecho por delta_i no por delta_j
Pnudos=G*nudos(:,7)-B*nudos(:,8);
term=zeros(nodos,1);
comp_P=Pnudos.*nudos(:,7);
for k=1:nodos
    for z=1:nodos
        term(k,1)=term(k,1)+B(k,z)*nudos(k,8);
    end
end
%Qi/Vi=(-sumatorio(Vj*Bij+Gij*delta_j)
Qnudos=-B*nudos(:,7)-G*nudos(:,8);
comp_Q=Qnudos.*nudos(:,7);
for k=1:nodos%Asignamos a potencias en tabla de nudos
    if nudos(k,2)==3%Slack
        % nudos(k,5)=Pnudos(k)*nudos(k,7)+nudos(k,3);
        % nudos(k,6)=Qnudos(k)*nudos(k,7)+nudos(k,4);
        nudos(k,5)=Pnudos(k)/(2-nudos(k,7))+nudos(k,3);
        nudos(k,6)=Qnudos(k)/(2-nudos(k,7))+nudos(k,4);
    end
    if nudos(k,2)==5 || nudos(k,2)==6 %Nudos de generación (PI, PQ(V))
        %Hallar PQ, el valor de la tensión ya está añadido
        %Se puede hacer a partir de k2,k1,k0 o de la fórmula
        %1) k2, k1, k0 : Qgi=k2*Vi^2+k1*Vi+k0
        %nudos(k,6)=(k_v(k,2)*nudos(k,7)^2+k_v(k,3)*nudos(k,7)+k_v(k,4));
        %2) Fórmula reactiva
        %nudos(k,6)=Qnudos(k);
        nudos(k,6)=Qnudos(k)*nudos(k,7)+nudos(k,4);
    end
    if nudos(k,2)==2
        % nudos(k,6)=Qnudos(k)*nudos(k,7)+nudos(k,4);
        nudos(k,6)=Qnudos(k)/(2-nudos(k,7))+nudos(k,4);
    end
end
%% Obtención potencias de las ramas
Sbranches=zeros(branches,1);
for k=1:branches
    Sbranchesij(k)=1/(lineas(k,4)+1i*lineas(k,5))*(nudos(lineas(k,2),7)^2 ...
        - nudos(lineas(k,2),7)*nudos(lineas(k,3),7)*(1-1i* ...
        (nudos(lineas(k,2),8)-nudos(lineas(k,3),8))));
    Sbranchesji(k)=1/(lineas(k,4)+1i*lineas(k,5))*(nudos(lineas(k,3),7)^2 ...
        - nudos(lineas(k,3),7)*nudos(lineas(k,2),7)*(1-1i* ...
        (nudos(lineas(k,3),8)-nudos(lineas(k,2),8))));
end
Sbranchesij=conj(Sbranchesij.*S_base);
Sbranchesji=conj(Sbranchesji.*S_base);
%% Pérdidas
%Tenemos origen y fin de líneas y las Pbranches estan calculadas de acuerdo
%a ese orden --> Ploss=Pi+Pji

```

```

%Pij donde i es el nudo origen --> este programa está diseñado tal que
%las Pbranches potencias en las lineas Pij
Ploss=(real(Sbranchesij)+real(Sbranchesji));
Qloss=(imag(Sbranchesij)+imag(Sbranchesji));
%% Impresión de resultados
fprintf('
          SOLUCIÓN LINEAR POWER FLOW DG\n\n')
head =['
    Bus Voltage      -----Load-----      ---Generation---'
      '  No. Mag.      MW      Mvar      MW      Mvar      '
      '
      '];
disp(head)
for i=1:nodos
    fprintf(' %5g', nudos(i,1)), fprintf(' %7.3f', nudos(i,7)),
    fprintf(' %9.3f', nudos(i,3)),
    fprintf(' %9.3f', nudos(i,4)), fprintf(' %9.3f', nudos(i,5)),
    fprintf(' %9.3f \n', nudos(i,6))
end
fprintf('\n')
fprintf('
          Line Flow and Losses \n\n')
fprintf('
    --Line-- Power at bus & line flow  --Line loss-- \n')
fprintf('
    from to   MW      Mvar      MW      Mvar      \n')
for i=1:branches
    fprintf(' %5g', lineas(i,2)), fprintf(' %7.3g', lineas(i,3)),
    fprintf(' %9.3f', real(Sbranchesij(i))),
    fprintf(' %9.3f', imag(Sbranchesij(i))), fprintf(' %9.3f', Ploss(i)),
    fprintf(' %9.3f \n', Qloss(i))
end
fprintf('
    \n'), fprintf(' Total loss      ')
fprintf(' %9.3f\n', sum(Ploss(:)))
%% Exportar resultados en excel
% name_sheet_nudos=('Nudos Mod 2');
% name_sheet_ramas=('Ramas Mod 2');
% filename = 'C:\Users\andre\Documents\4°
GITI\TFG\RESULTADOS_IEEE119_DG_buena.xlsx';
% writematrix(nudos,filename,'Sheet',name_sheet_nudos,'Range','B3');
% %Configurar exportar ramas
% writematrix(lineas,filename,'Sheet',name_sheet_ramas,'Range','B3');
%
writematrix(real(Sbranchesij),filename,'Sheet',name_sheet_ramas,'Range','H3')
;
%
writematrix(imag(Sbranchesij),filename,'Sheet',name_sheet_ramas,'Range','I3')
;
% writematrix(Ploss,filename,'Sheet',name_sheet_ramas,'Range','J3');
% writematrix(Qloss,filename,'Sheet',name_sheet_ramas,'Range','K3');

```

GLOSARIO

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers

DG: Distributed generation (DG)