



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO ELECTROMECÁNICO

TEMA: Óptima conmutación de las líneas de transmisión para el
mejoramiento de la confiabilidad con análisis de aumento de carga
eléctrica en el Sistema Eléctrico Potencia

AUTORES:

LOPEZ SALAZAR, KEVIN SANTIAGO
PRADO VILLAMARIN, PABLO GERARDO

DIRECTOR DE PROYECTO:

ING. MASACHE ALMEIDA, PAUL ANDRES

LATACUNGA
Agosto, 2023



CONTENIDO

1

- Resumen

2

- Planteamiento del problema

3

- Justificación

4

- Objetivos

5

- Metodología

6

- Caso de estudio

7

- Análisis de resultados en funcionamiento normal y con incremento de carga

8

- Análisis de confiabilidad

9

- Conclusiones y Recomendaciones



Resumen

Implementar el método OTS, respetando los criterios mínimos de operación y manteniendo la igualdad de potencia generada con la potencia consumida.



Aplicado a un caso de estudio de un sistema eléctrico de potencia de 30 barras



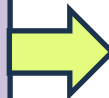
Se obtendrá valores de potencia en los generadores, flujo de potencia en MW de las líneas, ángulos fasoriales presentes en cada barra y el costo de operación para cada variación del sistema.



Se aplicara la metodología para el sistema sin incremento de carga y con un aumento de 25 % y 53 %.



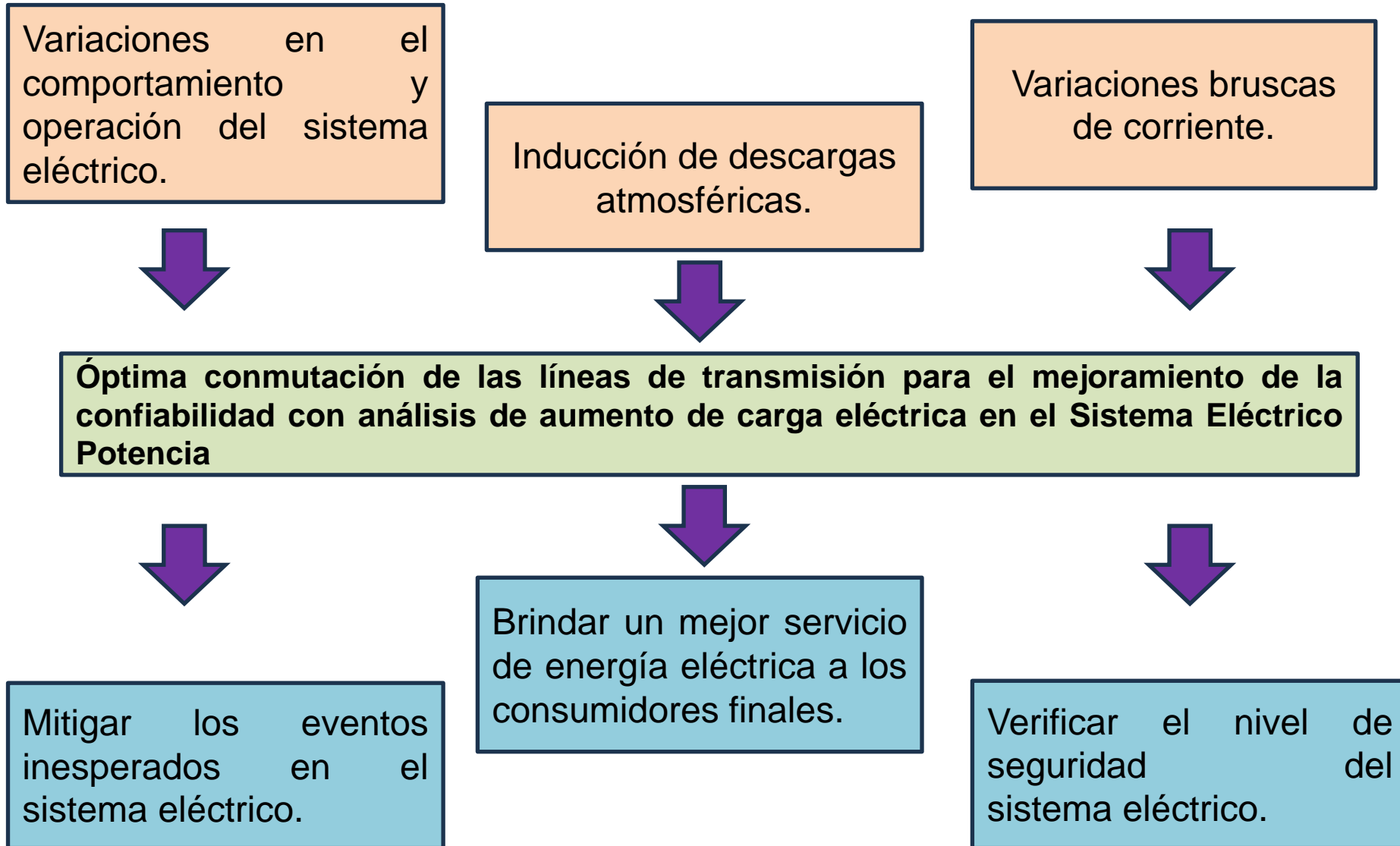
Se realizara el análisis de confiabilidad, mediante el índice de rendimiento de potencia activa.



Realizando pruebas en casos de estudio de la IEEE en sistemas de 24 y 14 barras.



Planteamiento del problema



Justificación

Caracterización de un SEP aplicando la metodología OTS mediante un software computacional.

Ayudar a solventar las perturbaciones presentes en el SEP

Aplicar la metodología a casos de estudio y analizar la confiabilidad



Objetivos

General

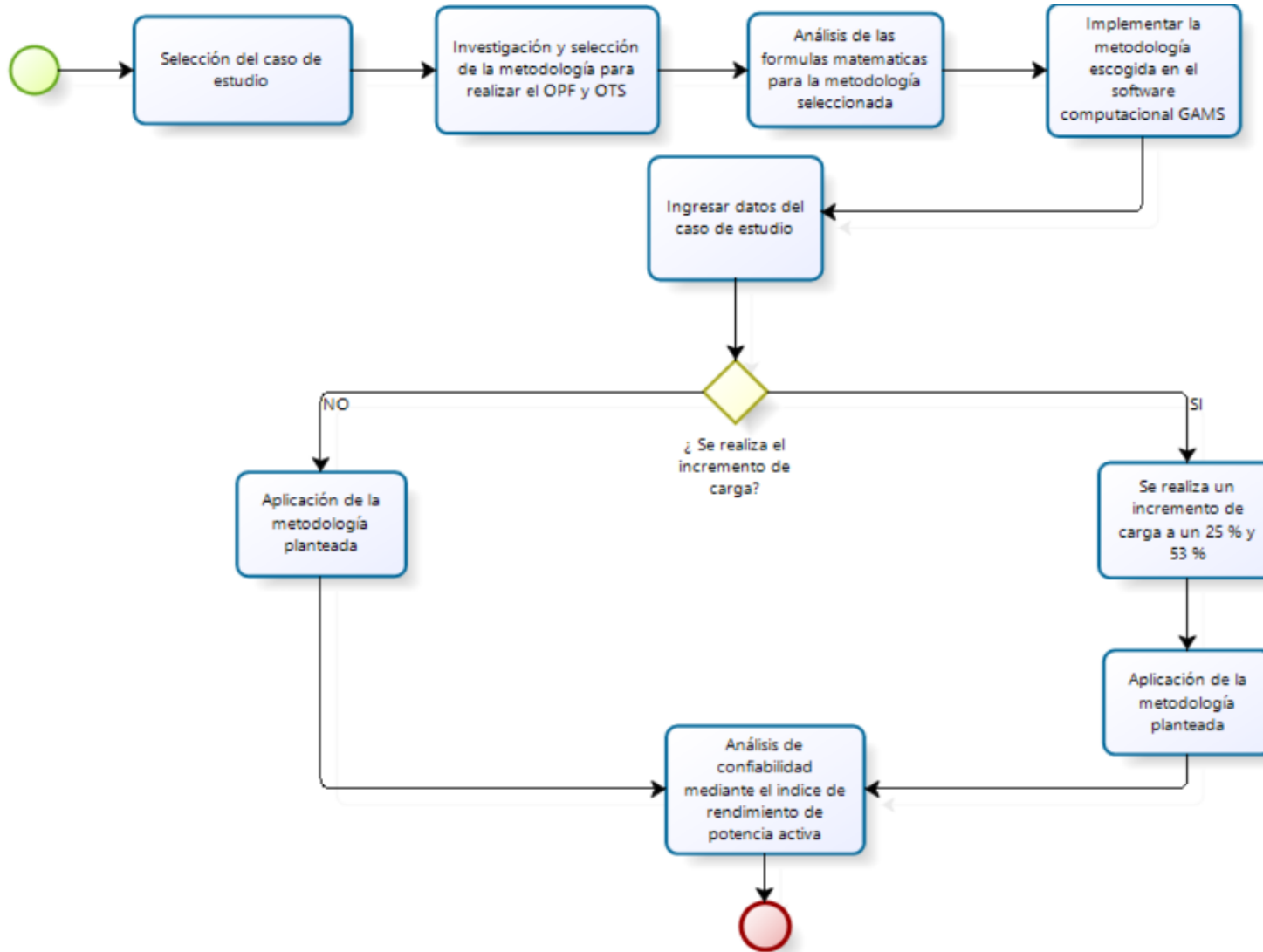
Caracterizar el sistema eléctrico de potencia al momento que se produce varias conmutaciones de líneas de transmisión con incremento de carga de tal manera que se verifique la confiabilidad de la red.

- Conocer los métodos que se pueden aplicar para la última conmutación de líneas de transmisión.
- Comparar el sistema eléctrico en estado normal de operación, durante un evento y después de la conmutación de líneas por medio de análisis de confiabilidad.
- Analizar el sistema eléctrico después de la conmutación de líneas de transmisión con incremento de carga eléctrica por medio de análisis de confiabilidad

Específicos



Metodología



Proceso 1

Flujo Optimo de Potencia

Paso 1

Datos de entrada. Potencias, Resistencias
Reactancias y Costos operativos

Generador: P_{gen}^{min} [MW], P_{gen}^{max} [MW]

Líneas: r [p.u], x [p.u], sil [MVA]

Demanda: P_d [MW]

Costos operativos: a, b, c



Cálculo de impedancias y admitancias

$$Z_{bus} = \sqrt{r^2 + x^2}$$

$$Y_{bus} = \frac{1}{\sqrt{r^2 + x^2}}$$

Paso 2



Paso 3

Implementación del OPF-DC

Flujo en las líneas de transmisión

$$P_{ij} = B_{ij} \cdot \sin(\theta_i - \theta_j)$$

Balance Nodal

$$P_{gen\ i} - P_{d\ i} = \sum_{ij} (P_{ij})$$

Minimización de Costos

$$ROF = \min \sum_{i=1}^{N_{gen}} (P_{gen\ i})$$



Proceso 2

Optima Conmutación de las líneas de transmisión

Paso 3

Implementación de OTS

Flujo con restricción en líneas de transmisión

$$P_{ij} - B_{ij} \cdot \sin(\theta_i - \theta_j) \leq (1 - \psi_{ij}) \cdot M$$

$$P_{ij} - B_{ij} \cdot \sin(\theta_i - \theta_j) \geq (\psi_{ij} - 1) \cdot M$$

Balance Nodal

$$P_{gen\ i} - P_{d\ i} = \sum_{ij} (P_{ij})$$

Restricciones

$$-P_{ij}^{max} \cdot \psi_{ij} \leq P_{ij} \leq P_{ij}^{max} \cdot \psi_{ij}$$

Número de líneas conmutadas

$$\sum_{ij} (1 - \psi_{ij}) \leq N_{sw}$$

Minimización de Costos

$$ROF = \min \sum_{i=1}^{N_{gen}} (P_{gen\ i})$$

Paso 1

Datos de entrada. Potencias, Resistencias
Reactancias y Costos operativos

Generador: P_{gen}^{min} [MW], P_{gen}^{max} [MW]

Líneas: r [p.u], x [p.u], sil [MVA]

Demanda: P_d [MW]

Costos operativos: a, b, c

Variable de comparación para la conmutación:

$$N_{sw} = 1000$$



Cálculo de impedancias y admitancias

$$Z_{bus} = \sqrt{r^2 + x^2}$$

$$Y_{bus} = \frac{1}{\sqrt{r^2 + x^2}}$$

Paso 2



Proceso 3

Incremento de Carga

Paso 1

Datos de entrada.

Demanda: P_d [MW]

Incremento de Carga: I



Implementación de
Incremento de Carga

$$P_d = I \cdot (P_d)$$

Paso 2



Proceso 4

Análisis de Confiabilidad

Paso 2

Analizar el Ranking de contingencia mediante el índice de rendimiento potencia activa

$$PI_P = \sum_{l=1}^{N_L} \left(\frac{W}{2n} \right) \cdot \left(\frac{P_{ij}}{P_{max}} \right)^{2n}$$



Definir los valores de función de penalización y factor de ponderación real no negativo

$$n = 1$$

$$W = 1$$

Paso 3



Paso 1

Datos de entrada.

Flujo en MW de las líneas: $P_{ij}[p.u]$

Capacidad máxima en MW de las líneas:

$P_{max}[p.u]$

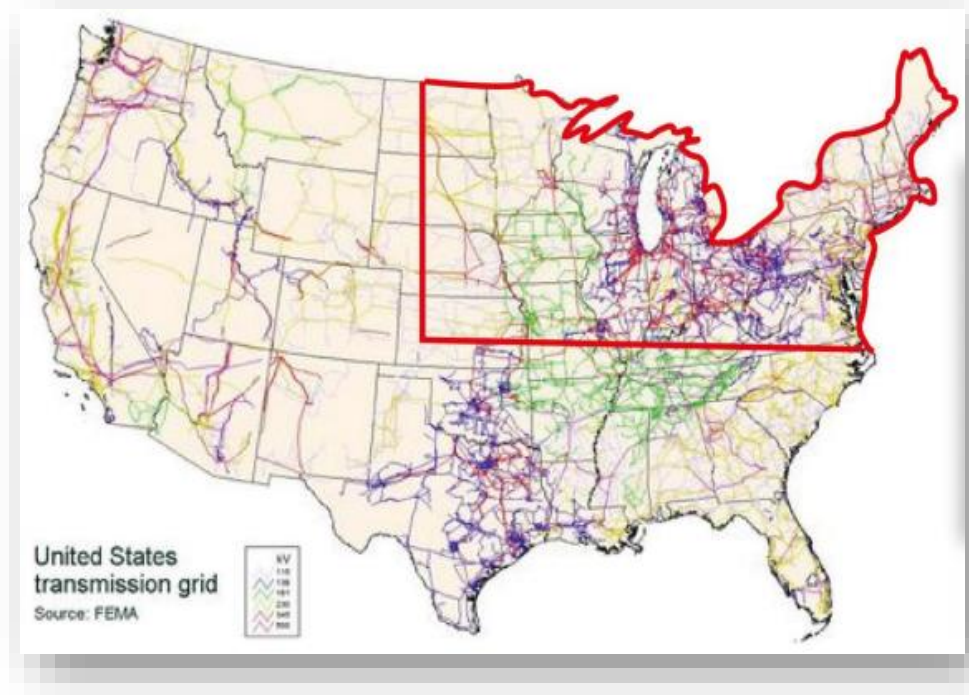
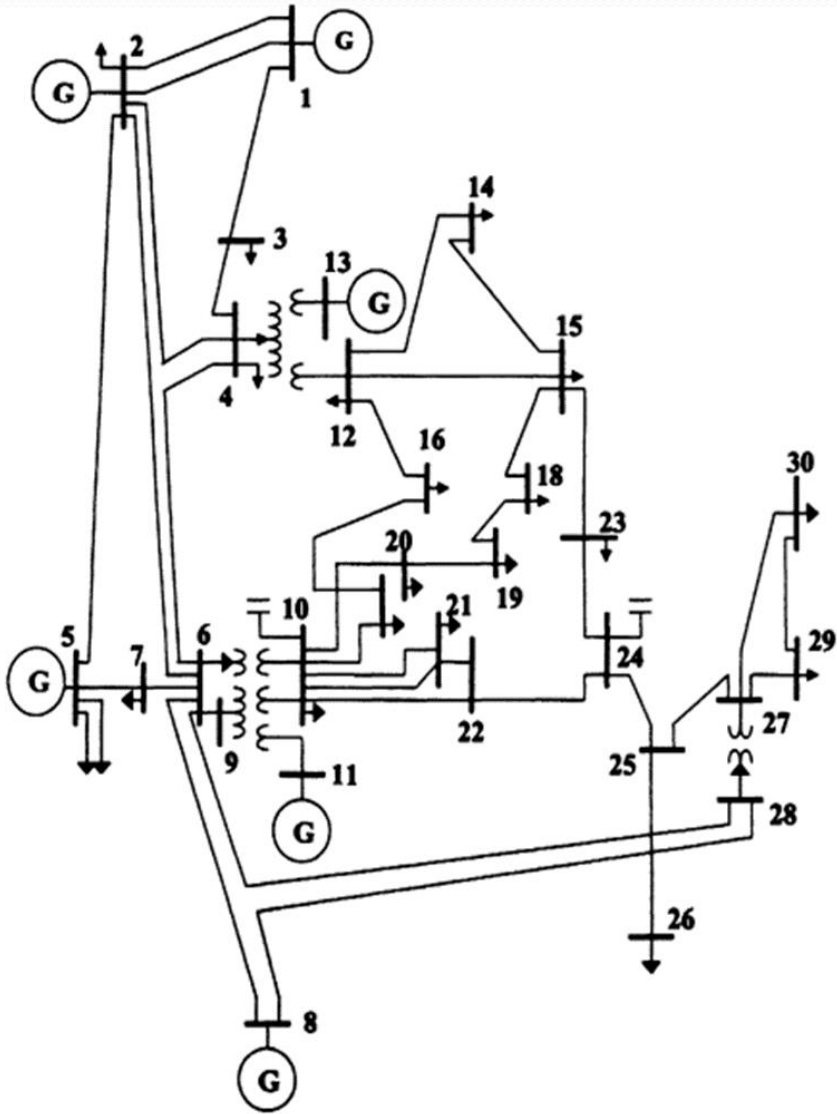
Calcular el ranking de contingencia

$$PI_P = \sum_{l=1}^{N_L} \left(\frac{1}{2} \right) \cdot \left(\frac{P_{ij}}{P_{max}} \right)^2$$

Paso 4



Caso de estudio



Datos del caso de estudio

Bus	a	b	c	Pmin	Pmax
1	0,00375	2	0	50	200
2	0,0175	1,75	0	20	80
5	0,0625	1	0	15	50
8	0,00834	3,25	0	10	35
11	0,025	3	0	10	30
13	0,025	3	0	12	40

Línea	r	x	b	Sil
1 - 2	0,0192	0,0575	0,0264	300
1 - 3	0,0452	0,1852	0,0204	300
2 - 4	0,057	0,1737	0,0184	300
3 - 4	0,0132	0,0379	0,0042	300
2 - 5	0,0472	0,1983	0,0209	300
2 - 6	0,0581	0,1763	0,0187	300
4 - 6	0,0119	0,0414	0,0045	300
5 - 7	0,046	0,116	0,0102	300
6 - 7	0,0267	0,082	0,0085	300
6 - 8	0,012	0,042	0,0045	300
6 - 9	0	0,208	0	300
6 - 10	0	0,556	0	300
9 - 11	0	0,208	0	300
9 - 10	0	0,11	0	300
4 - 12	0	0,256	0	650
12 - 13	0	0,14	0	650
12 - 14	0,1231	0,2559	0	320
12 - 15	0,0662	0,1304	0	320
12 - 16	0,0945	0,1987	0	320
14 - 15	0,221	0,1997	0	160
16 - 17	0,0824	0,1932	0	160
15 - 18	0,107	0,2185	0	160
18 - 19	0,0639	0,1292	0	160

Línea	r	x	b	Sil
19 - 20	0,034	0,068	0	320
10 - 20	0,0936	0,209	0	320
10 - 17	0,0324	0,0845	0	320
10 - 21	0,0348	0,0749	0	300
10 - 22	0,0727	0,1499	0	300
21 - 22	0,0116	0,0236	0	300
15 - 23	0,1	0,202	0	160
22 - 24	0,115	0,179	0	300
23 - 24	0,132	0,27	0	160
24 - 25	0,1885	0,3292	0	300
25 - 26	0,2544	0,38	0	300
25 - 27	0,1093	0,2087	0	300
27 - 28	0	0,396	0	300
27 - 29	0,2198	0,4153	0	300
27 - 30	0,3202	0,6027	0	300
29 - 30	0,2399	0,4533	0	300
8 - 28	0,0636	0,2	0,0214	300
6 - 28	0,0169	0,0599	0,0065	300

Bus	Pd
1	0
2	21,7
3	2,4
4	67,6
5	34,2
6	0
7	22,8
8	30
9	0
10	5,8
11	0
12	11,2
13	0
14	6,2
15	8,2
16	3,5
17	9
18	3,2
19	9,5
20	2,2
21	17,5
22	0
23	3,2
24	8,7
25	0
26	3,5
27	0
28	0
29	2,4
30	10,6



Análisis de resultados

Análisis de Flujo Optimo de Potencia para el caso de estudio

N.º de Barra	$P_{gen}^{min} [p.u.]$	$P_{gen} [p.u.]$	$P_{gen}^{max} [p.u.]$
1	0.5000	1.2140	2.0000
2	0.2000	0.8000	0.8000
5	0.1500	0.5000	0.5000
8	0.1000	0.1000	0.3500
11	0.1000	0.1000	0.3000
13	0.1200	0.1200	0.4000

Costo Mínimo	Costo de Operación	Costo Máximo
$-\infty$	534.604	$+\infty$

Conexión de líneas	$S_{il}^{min} [p.u.]$	$S_{il} [p.u.]$	$S_{il}^{max} [p.u.]$
1 – 2	-3.000	0.6411	3.000
1 – 3	-3.000	0.5729	3.000
2 – 1	-3.000	-0.6411	3.000
2 – 4	-3.000	0.5053	3.000
2 – 5	-3.000	0.1994	3.000
2 – 6	-3.000	0.5194	3.000
3 – 1	-3.000	-0.5729	3.000
3 – 4	-3.000	0.5489	3.000
4 – 2	-3.000	-0.5053	3.000
4 – 3	-3.000	-0.5489	3.000
4 – 6	-3.000	0.0939	3.000
4 – 12	-6.500	0.2842	6.500
5 – 2	-3.000	-0.1994	3.000
5 – 7	-3.000	0.3574	3.000
6 – 2	-3.000	-0.5194	3.000
6 – 4	-3.000	-0.0939	3.000
6 – 7	-3.000	-0.1294	3.000
6 – 8	-3.000	0.2087	3.000
6 – 9	-3.000	0.2152	3.000
6 – 10	-3.000	0.1429	3.000
6 – 28	-3.000	0.1760	3.000
7 – 5	-3.000	-0.3574	3.000
7 – 6	-3.000	0.1294	3.000
8 – 6	-3.000	-0.2087	3.000
8 – 28	-3.000	0.0087	3.000
9 – 6	-3.000	-0.2152	3.000
9 – 10	-3.000	0.3152	3.000
9 – 11	-3.000	-0.1000	3.000



Conexión de líneas	$S_{il}^{min}[p.u]$	$S_{il}[p.u]$	$S_{il}^{max}[p.u]$
10 - 6	-3.000	-0.1429	3.000
10 - 9	-3.000	-0.3152	3.000
10 - 17	-3.200	0.0686	3.200
10 - 20	-3.200	0.0981	3.200
10 - 21	-3.000	0.1579	3.000
10 - 22	-3.000	0.0756	3.000
11 - 9	-3.000	0.1000	3.000
12 - 4	-6.500	-0.2842	6.500
12 - 13	-6.500	-0.1200	6.500
12 - 14	-3.200	0.0727	3.200
12 - 15	-3.200	0.1631	3.200
12 - 16	-3.200	0.0564	3.200
13 - 12	-6.500	0.1200	6.500
14 - 12	-3.200	-0.0727	3.200
14 - 15	-1.600	0.0107	1.600
15 - 12	-3.200	-0.1631	3.200
15 - 14	-1.600	-0.0107	1.600
15 - 18	-1.600	0.0509	1.600
15 - 23	-1.600	0.0409	1.600
16 - 12	-3.200	-0.0564	3.200
16 - 17	-1.600	0.0214	1.600
17 - 10	-3.200	-0.0686	3.200
17 - 16	-1.600	-0.0214	1.600
18 - 15	-1.600	-0.0509	1.600
18 - 19	-1.600	0.0189	1.600
19 - 18	-1.600	-0.0189	1.600
19 - 20	-3.200	-0.0761	3.200
20 - 10	-3.200	-0.0981	3.200

Conexión de líneas	$S_{il}^{min}[p.u]$	$S_{il}[p.u]$	$S_{il}^{max}[p.u]$
20 - 19	-3.200	0.0761	3.200
21 - 10	-3.000	-0.1579	3.000
21 - 22	-3.000	-0.0171	3.000
22 - 10	-3.000	-0.0756	3.000
22 - 21	-3.000	0.0171	3.000
22 - 24	-3.000	0.0584	3.000
23 - 15	-1.600	-0.0409	1.600
23 - 24	-1.600	0.0089	1.600
24 - 22	-3.000	-0.0584	3.000
24 - 23	-1.600	-0.0089	1.600
24 - 25	-3.000	-0.0197	3.000
25 - 24	-3.000	0.0197	3.000
25 - 26	-3.000	0.0350	3.000
25 - 27	-3.000	-0.0547	3.000
26 - 25	-3.000	-0.0350	3.000
27 - 25	-3.000	0.0547	3.000
27 - 28	-3.000	-0.1847	3.000
27 - 29	-3.000	0.0607	3.000
27 - 30	-3.000	0.0693	3.000
28 - 6	-3.000	-0.1760	3.000
28 - 8	-3.000	-0.0087	3.000
28 - 27	-3.000	0.1847	3.000
29 - 27	-3.000	-0.0607	3.000
29 - 30	-3.000	0.0367	3.000
30 - 27	-3.000	-0.0693	3.000
30 - 29	-3.000	-0.0367	3.000



Norma Nacional:

$$-\frac{\pi}{6}; \frac{\pi}{6}$$

N.º de Barra	Norma IEC-61000 $\theta_{min}[rad]$	Norma Nacional $\theta_{min}[rad]$	$\theta[rad]$	Norma Nacional $\theta_{max}[rad]$	Norma IEC-61000 $\theta_{max}[rad]$
1	0	0	0	0	0
2	-1.570	-0.523	-0.0389	0.523	1.570
3	-1.570	-0.523	-0.1092	0.523	1.570
4	-1.570	-0.523	-0.1312	0.523	1.570
5	-1.570	-0.523	-0.0795	0.523	1.570
6	-1.570	-0.523	-0.1353	0.523	1.570
7	-1.570	-0.523	-0.1241	0.523	1.570
8	-1.570	-0.523	-0.1444	0.523	1.570
9	-1.570	-0.523	-0.1800	0.523	1.570
10	-1.570	-0.523	-0.2147	0.523	1.570
11	-1.570	-0.523	-0.1592	0.523	1.570
12	-1.570	-0.523	-0.2040	0.523	1.570
13	-1.570	-0.523	-0.1872	0.523	1.570
14	-1.570	-0.523	-0.2247	0.523	1.570
15	-1.570	-0.523	-0.2278	0.523	1.570
16	-1.570	-0.523	-0.2164	0.523	1.570
17	-1.570	-0.523	-0.2209	0.523	1.570
18	-1.570	-0.523	-0.2402	0.523	1.570
19	-1.570	-0.523	-0.2430	0.523	1.570
20	-1.570	-0.523	-0.2372	0.523	1.570
21	-1.570	-0.523	-0.2278	0.523	1.570
22	-1.570	-0.523	-0.2273	0.523	1.570
23	-1.570	-0.523	-0.2371	0.523	1.570
24	-1.570	-0.523	-0.2397	0.523	1.570
25	-1.570	-0.523	-0.2323	0.523	1.570
26	-1.570	-0.523	-0.2483	0.523	1.570
27	-1.570	-0.523	-0.2194	0.523	1.570
28	-1.570	-0.523	-0.1462	0.523	1.570
29	-1.570	-0.523	-0.2479	0.523	1.570
30	-1.570	-0.523	-0.2667	0.523	1.570

Norma IEC-61000:

$$-\frac{\pi}{2}; \frac{\pi}{2}$$



Análisis del OTS para el caso de estudio

N.º de Barra	$P_{gen}^{min} [p. u]$	$P_{gen} [p. u]$	$P_{gen}^{max} [p. u]$
1	0.5000	1.2140	2.0000
2	0.2000	0.8000	0.8000
5	0.1500	0.5000	0.5000
8	0.1000	0.1000	0.3500
11	0.1000	0.1000	0.3000
13	0.1200	0.1200	0.4000

Potencia generada es igual a la demandada

Costo Mínimo	Costo de Operación	Costo Máximo
$-\infty$	534.604	$+\infty$

Conexión de líneas	$S_{il}^{min} [p. u]$	$S_{il} [p. u]$	$S_{il}^{max} [p. u]$	Estado de conmutación
1 - 2	-3.000	0.6411	3.000	1.000
1 - 3	-3.000	0.5729	3.000	1.000
2 - 1	-3.000	-0.6411	3.000	1.000
2 - 4	-3.000	0.5053	3.000	1.000
2 - 5	-3.000	0.1994	3.000	1.000
2 - 6	-3.000	0.5194	3.000	1.000
3 - 1	-3.000	-0.5729	3.000	1.000
3 - 4	-3.000	0.5489	3.000	1.000
4 - 2	-3.000	-0.5053	3.000	1.000
4 - 3	-3.000	-0.5489	3.000	1.000
4 - 6	-3.000	0.0939	3.000	1.000
4 - 12	-6.500	0.2842	6.500	1.000
5 - 2	-3.000	-0.1994	3.000	1.000
5 - 7	-3.000	0.3574	3.000	1.000
6 - 2	-3.000	-0.5194	3.000	1.000
6 - 4	-3.000	-0.0939	3.000	1.000
6 - 7	-3.000	-0.1294	3.000	1.000
6 - 8	-3.000	0.2087	3.000	1.000
6 - 9	-3.000	0.2152	3.000	1.000
6 - 10	-3.000	0.1429	3.000	1.000
6 - 28	-3.000	0.1760	3.000	1.000
7 - 5	-3.000	-0.3574	3.000	1.000
7 - 6	-3.000	0.1294	3.000	1.000
8 - 6	-3.000	-0.2087	3.000	1.000
8 - 28	-3.000	0.0087	3.000	1.000
9 - 6	-3.000	-0.2152	3.000	1.000
9 - 10	-3.000	0.3152	3.000	1.000
9 - 11	-3.000	-0.1000	3.000	1.000



Conexión de líneas	$S_{il}^{min}[p.u]$	$S_{il}[p.u]$	$S_{il}^{max}[p.u]$	Estado de conmutación
10 - 6	-3.000	-0.1429	3.000	1.000
10 - 9	-3.000	-0.3152	3.000	1.000
10 - 17	-3.200	0.0686	3.200	1.000
10 - 20	-3.200	0.0981	3.200	1.000
10 - 21	-3.000	0.1579	3.000	1.000
10 - 22	-3.000	0.0756	3.000	1.000
11 - 9	-3.000	0.1000	3.000	1.000
12 - 4	-6.500	-0.2842	6.500	1.000
12 - 13	-6.500	-0.1200	6.500	1.000
12 - 14	-3.200	0.0727	3.200	1.000
12 - 15	-3.200	0.1631	3.200	1.000
12 - 16	-3.200	0.0564	3.200	1.000
13 - 12	-6.500	0.1200	6.500	1.000
14 - 12	-3.200	-0.0727	3.200	1.000
14 - 15	-1.600	0.0107	1.600	1.000
15 - 12	-3.200	-0.1631	3.200	1.000
15 - 14	-1.600	-0.0107	1.600	1.000
15 - 18	-1.600	0.0509	1.600	1.000
15 - 23	-1.600	0.0409	1.600	1.000
16 - 12	-3.200	-0.0564	3.200	1.000
16 - 17	-1.600	0.0214	1.600	1.000
17 - 10	-3.200	-0.0686	3.200	1.000
17 - 16	-1.600	-0.0214	1.600	1.000
18 - 15	-1.600	-0.0509	1.600	1.000
18 - 19	-1.600	0.0189	1.600	1.000
19 - 18	-1.600	-0.0189	1.600	1.000
19 - 20	-3.200	-0.0761	3.200	1.000
20 - 10	-3.200	-0.0981	3.200	1.000

Conexión de líneas	$S_{il}^{min}[p.u]$	$S_{il}[p.u]$	$S_{il}^{max}[p.u]$	Estado de conmutación
20 - 19	-3.200	0.0761	3.200	1.000
21 - 10	-3.000	-0.1579	3.000	1.000
21 - 22	-3.000	-0.0171	3.000	1.000
22 - 10	-3.000	-0.0756	3.000	1.000
22 - 21	-3.000	0.0171	3.000	1.000
22 - 24	-3.000	0.0584	3.000	1.000
23 - 15	-1.600	-0.0409	1.600	1.000
23 - 24	-1.600	0.0089	1.600	1.000
24 - 22	-3.000	-0.0584	3.000	1.000
24 - 23	-1.600	-0.0089	1.600	1.000
24 - 25	-3.000	-0.0197	3.000	1.000
25 - 24	-3.000	0.0197	3.000	1.000
25 - 26	-3.000	0.0350	3.000	1.000
25 - 27	-3.000	-0.0547	3.000	1.000
26 - 25	-3.000	-0.0350	3.000	1.000
27 - 25	-3.000	0.0547	3.000	1.000
27 - 28	-3.000	-0.1847	3.000	1.000
27 - 29	-3.000	0.1300	3.000	1.000
27 - 30	-3.000	0	3.000	0.000
28 - 6	-3.000	-0.1760	3.000	1.000
28 - 8	-3.000	-0.0087	3.000	1.000
28 - 27	-3.000	0.1847	3.000	1.000
29 - 27	-3.000	-0.1300	3.000	1.000
29 - 30	-3.000	0.1060	3.000	1.000
30 - 27	-3.000	0	3.000	0.000
30 - 29	-3.000	-0.1060	3.000	1.000



N. ° de Barra	Norma IEC-61000 $\theta_{min}[rad]$	Norma Nacional $\theta_{min}[rad]$	$\theta[rad]$	Norma Nacional $\theta_{max}[rad]$	Norma IEC-61000 $\theta_{max}[rad]$
1	0	0	0	0	0
2	-1.570	-0.523	-0.0389	0.523	1.570
3	-1.570	-0.523	-0.1092	0.523	1.570
4	-1.570	-0.523	-0.1312	0.523	1.570
5	-1.570	-0.523	-0.0795	0.523	1.570
6	-1.570	-0.523	-0.1353	0.523	1.570
7	-1.570	-0.523	-0.1241	0.523	1.570
8	-1.570	-0.523	-0.1444	0.523	1.570
9	-1.570	-0.523	-0.1800	0.523	1.570
10	-1.570	-0.523	-0.2147	0.523	1.570
11	-1.570	-0.523	-0.1592	0.523	1.570
12	-1.570	-0.523	-0.2040	0.523	1.570
13	-1.570	-0.523	-0.1872	0.523	1.570
14	-1.570	-0.523	-0.2247	0.523	1.570
15	-1.570	-0.523	-0.2278	0.523	1.570
16	-1.570	-0.523	-0.2164	0.523	1.570
17	-1.570	-0.523	-0.2209	0.523	1.570
18	-1.570	-0.523	-0.2402	0.523	1.570
19	-1.570	-0.523	-0.2430	0.523	1.570
20	-1.570	-0.523	-0.2372	0.523	1.570
21	-1.570	-0.523	-0.2278	0.523	1.570
22	-1.570	-0.523	-0.2273	0.523	1.570
23	-1.570	-0.523	-0.2371	0.523	1.570
24	-1.570	-0.523	-0.2397	0.523	1.570
25	-1.570	-0.523	-0.2323	0.523	1.570
26	-1.570	-0.523	-0.2483	0.523	1.570
27	-1.570	-0.523	-0.2194	0.523	1.570
28	-1.570	-0.523	-0.1462	0.523	1.570
29	-1.570	-0.523	-0.2805	0.523	1.570
30	-1.570	-0.523	-0.3348	0.523	1.570



Análisis del OTS para el caso de estudio con incremento de carga de 25 %

N.º de Barra	$P_{gen}^{min} [p.u.]$	$P_{gen} [p.u.]$	$P_{gen}^{max} [p.u.]$
1	0.5000	1.9225	2.0000
2	0.2000	0.8000	0.8000
5	0.1500	0.5000	0.5000
8	0.1000	0.1000	0.3500
11	0.1000	0.1000	0.3000
13	0.1200	0.1200	0.4000

Costo Mínimo	Costo de Operación	Costo Máximo
$-\infty$	677.137	$+\infty$

Un incremento de carga refleja un incremento de generación

Conexión de líneas	$S_{il}^{min} [p.u.]$	$S_{il} [p.u.]$	$S_{il}^{max} [p.u.]$	Conexión de líneas
1 - 2	-3.000	1.115	3.000	1.000
1 - 3	-3.000	0.8070	3.000	1.000
2 - 1	-3.000	-1.115	3.000	1.000
2 - 4	-3.000	0.6422	3.000	1.000
2 - 5	-3.000	0.3252	3.000	1.000
2 - 6	-3.000	0.6769	3.000	1.000
3 - 1	-3.000	-0.8070	3.000	1.000
3 - 4	-3.000	0.7770	3.000	1.000
4 - 2	-3.000	-0.6422	3.000	1.000
4 - 3	-3.000	-0.7770	3.000	1.000
4 - 6	-3.000	0.1915	3.000	1.000
4 - 12	-6.500	0.3827	6.500	1.000
5 - 2	-3.000	-0.3252	3.000	1.000
5 - 7	-3.000	0.3977	3.000	1.000
6 - 2	-3.000	-0.6769	3.000	1.000
6 - 4	-3.000	-0.1915	3.000	1.000
6 - 7	-3.000	-0.1127	3.000	1.000
6 - 8	-3.000	0.2830	3.000	1.000
6 - 9	-3.000	0.2881	3.000	1.000
6 - 10	-3.000	0.1846	3.000	1.000
6 - 28	-3.000	0.2255	3.000	1.000
7 - 5	-3.000	-0.3977	3.000	1.000
7 - 6	-3.000	0.1127	3.000	1.000
8 - 6	-3.000	-0.2830	3.000	1.000
8 - 28	-3.000	0.0080	3.000	1.000
9 - 6	-3.000	-0.2881	3.000	1.000
9 - 10	-3.000	0.3881	3.000	1.000
9 - 11	-3.000	-0.1000	3.000	1.000



Conexión de líneas	$S_{il}^{min}[p.u]$	$S_{il}[p.u]$	$S_{il}^{max}[p.u]$	Conexión de líneas
10 - 6	-3.000	-0.1846	3.000	1.000
10 - 9	-3.000	-0.3881	3.000	1.000
10 - 17	-3.200	0.0867	3.200	1.000
10 - 20	-3.200	0.1230	3.200	1.000
10 - 21	-3.000	0.1965	3.000	1.000
10 - 22	-3.000	0.0939	3.000	1.000
11 - 9	-3.000	0.1000	3.000	1.000
12 - 4	-6.500	-0.3827	6.500	1.000
12 - 13	-6.500	-0.1200	6.500	1.000
12 - 14	-3.200	0.0906	3.200	1.000
12 - 15	-3.200	0.2025	3.200	1.000
12 - 16	-3.200	0.0696	3.200	1.000
13 - 12	-6.500	0.1200	6.500	1.000
14 - 12	-3.200	-0.0906	3.200	1.000
14 - 15	-1.600	0.0131	1.600	1.000
15 - 12	-3.200	-0.2025	3.200	1.000
15 - 14	-1.600	-0.0131	1.600	1.000
15 - 18	-1.600	0.0632	1.600	1.000
15 - 23	-1.600	0.0498	1.600	1.000
16 - 12	-3.200	-0.0696	3.200	1.000
16 - 17	-1.600	0.0258	1.600	1.000
17 - 10	-3.200	-0.0867	3.200	1.000
17 - 16	-1.600	-0.0258	1.600	1.000
18 - 15	-1.600	-0.0632	1.600	1.000
18 - 19	-1.600	0.0232	1.600	1.000
19 - 18	-1.600	-0.0232	1.600	1.000
19 - 20	-3.200	-0.0955	3.200	1.000
20 - 10	-3.200	-0.1230	3.200	1.000

Conexión de líneas	$S_{il}^{min}[p.u]$	$S_{il}[p.u]$	$S_{il}^{max}[p.u]$	Conexión de líneas
20 - 19	-3.200	0.0955	3.200	1.000
21 - 10	-3.000	-0.1965	3.000	1.000
21 - 22	-3.000	-0.0222	3.000	1.000
22 - 10	-3.000	-0.0939	3.000	1.000
22 - 21	-3.000	0.0222	3.000	1.000
22 - 24	-3.000	0.0717	3.000	1.000
23 - 15	-1.600	-0.0498	1.600	1.000
23 - 24	-1.600	0.0098	1.600	1.000
24 - 22	-3.000	-0.0717	3.000	1.000
24 - 23	-1.600	-0.0098	1.600	1.000
24 - 25	-3.000	-0.0272	3.000	1.000
25 - 24	-3.000	0.0272	3.000	1.000
25 - 26	-3.000	0.0438	3.000	1.000
25 - 27	-3.000	-0.0710	3.000	1.000
26 - 25	-3.000	-0.0438	3.000	1.000
27 - 25	-3.000	0.0710	3.000	1.000
27 - 28	-3.000	-0.2335	3.000	1.000
27 - 29	-3.000	0.1625	3.000	1.000
27 - 30	-3.000	0	3.000	0.000
28 - 6	-3.000	-0.2255	3.000	1.000
28 - 8	-3.000	-0.0080	3.000	1.000
28 - 27	-3.000	0.2335	3.000	1.000
29 - 27	-3.000	-0.1625	3.000	1.000
29 - 30	-3.000	0.1325	3.000	1.000
30 - 27	-3.000	0	3.000	0.000
30 - 29	-3.000	-0.1325	3.000	1.000



N.º de Barra	Norma IEC-61000 $\theta_{min}[rad]$	Norma Nacional $\theta_{min}[rad]$	$\theta[rad]$	Norma Nacional $\theta_{max}[rad]$	Norma IEC-61000 $\theta_{max}[rad]$
1	0	0	0	0	0
2	-1.570	-0.523	-0.0676	0.523	1.570
3	-1.570	-0.523	-0.1538	0.523	1.570
4	-1.570	-0.523	-0.1850	0.523	1.570
5	-1.570	-0.523	-0.1339	0.523	1.570
6	-1.570	-0.523	-0.1933	0.523	1.570
7	-1.570	-0.523	-0.1835	0.523	1.570
8	-1.570	-0.523	-0.2056	0.523	1.570
9	-1.570	-0.523	-0.2532	0.523	1.570
10	-1.570	-0.523	-0.2959	0.523	1.570
11	-1.570	-0.523	-0.2324	0.523	1.570
12	-1.570	-0.523	-0.2830	0.523	1.570
13	-1.570	-0.523	-0.2662	0.523	1.570
14	-1.570	-0.523	-0.3087	0.523	1.570
15	-1.570	-0.523	-0.3126	0.523	1.570
16	-1.570	-0.523	-0.2983	0.523	1.570
17	-1.570	-0.523	-0.3037	0.523	1.570
18	-1.570	-0.523	-0.3280	0.523	1.570
19	-1.570	-0.523	-0.3313	0.523	1.570
20	-1.570	-0.523	-0.3241	0.523	1.570
21	-1.570	-0.523	-0.3121	0.523	1.570
22	-1.570	-0.523	-0.3115	0.523	1.570
23	-1.570	-0.523	-0.3238	0.523	1.570
24	-1.570	-0.523	-0.3268	0.523	1.570
25	-1.570	-0.523	-0.3165	0.523	1.570
26	-1.570	-0.523	-0.3365	0.523	1.570
27	-1.570	-0.523	-0.2998	0.523	1.570
28	-1.570	-0.523	-0.2073	0.523	1.570
29	-1.570	-0.523	-0.3761	0.523	1.570
30	-1.570	-0.523	-0.4441	0.523	1.570



Análisis del OTS para el caso de estudio con incremento de carga de 53 %

N.º de Barra	$P_{gen}^{min} [p.u.]$	$P_{gen} [p.u.]$	$P_{gen}^{max} [p.u.]$
1	0.5000	2.000	2.000
2	0.2000	0.8000	0.8000
5	0.1500	0.5000	0.5000
8	0.1000	0.3360	0.3500
11	0.1000	0.3000	0.3000
13	0.1200	0.4000	0.4000

Costo Mínimo	Costo de Operación	Costo Máximo
$-\infty$	914.108	$+\infty$

Mayor demanda
mayor generación

Conexión de líneas	$S_{il}^{min} [p.u.]$	$S_{il} [p.u.]$	$S_{il}^{max} [p.u.]$	Estado de conmutación
1 - 2	-3.000	0	3.000	0.000
1 - 3	-3.000	2.000	3.000	1.000
2 - 1	-3.000	0	3.000	0.000
2 - 4	-3.000	0.0640	3.000	1.000
2 - 5	-3.000	0.1832	3.000	1.000
2 - 6	-3.000	0.2209	3.000	1.000
3 - 1	-3.000	-2.000	3.000	1.000
3 - 4	-3.000	1.963	3.000	1.000
4 - 2	-3.000	-0.0640	3.000	1.000
4 - 3	-3.000	-1.963	3.000	1.000
4 - 6	-3.000	0.6803	3.000	1.000
4 - 12	-6.500	0.3127	6.500	1.000
5 - 2	-3.000	-0.1832	3.000	1.000
5 - 7	-3.000	0.1599	3.000	1.000
6 - 2	-3.000	-0.2209	3.000	1.000
6 - 4	-3.000	-0.6803	3.000	1.000
6 - 7	-3.000	0.1889	3.000	1.000
6 - 8	-3.000	0.1559	3.000	1.000
6 - 9	-3.000	0.1760	3.000	1.000
6 - 10	-3.000	0.1600	3.000	1.000
6 - 28	-3.000	0.2204	3.000	1.000
7 - 5	-3.000	-0.1599	3.000	1.000
7 - 6	-3.000	-0.1889	3.000	1.000
8 - 6	-3.000	-0.1559	3.000	1.000
8 - 28	-3.000	0.0329	3.000	1.000
9 - 6	-3.000	-0.1760	3.000	1.000
9 - 10	-3.000	0.4760	3.000	1.000
9 - 11	-3.000	-0.3000	3.000	1.000



Conexión de líneas	$S_{il}^{min}[p.u]$	$S_{il}[p.u]$	$S_{il}^{max}[p.u]$	Estado de conmutación
10 - 6	-3.000	-0.1600	3.000	1.000
10 - 9	-3.000	-0.4760	3.000	1.000
10 - 17	-3.200	0.0630	3.200	1.000
10 - 20	-3.200	0.1274	3.200	1.000
10 - 21	-3.000	0.2413	3.000	1.000
10 - 22	-3.000	0.1155	3.000	1.000
11 - 9	-3.000	0.3000	3.000	1.000
12 - 4	-6.500	-0.3127	6.500	1.000
12 - 13	-6.500	-0.4000	6.500	1.000
12 - 14	-3.200	0.1218	3.200	1.000
12 - 15	-3.200	0.2913	3.200	1.000
12 - 16	-3.200	0.1282	3.200	1.000
13 - 12	-6.500	0.4000	6.500	1.000
14 - 12	-3.200	-0.1218	3.200	1.000
14 - 15	-1.600	0.0269	1.600	1.000
15 - 12	-3.200	-0.2913	3.200	1.000
15 - 14	-1.600	-0.0269	1.600	1.000
15 - 18	-1.600	0.1006	1.600	1.000
15 - 23	-1.600	0.0922	1.600	1.000
16 - 12	-3.200	-0.1282	3.200	1.000
16 - 17	-1.600	0.0747	1.600	1.000
17 - 10	-3.200	-0.0630	3.200	1.000
17 - 16	-1.600	-0.0747	1.600	1.000
18 - 15	-1.600	-0.1006	1.600	1.000
18 - 19	-1.600	0.0516	1.600	1.000
19 - 18	-1.600	-0.0516	1.600	1.000
19 - 20	-3.200	-0.0937	3.200	1.000
20 - 10	-3.200	-0.1274	3.200	1.000

Conexión de líneas	$S_{il}^{min}[p.u]$	$S_{il}[p.u]$	$S_{il}^{max}[p.u]$	Estado de conmutación
20 - 19	-3.200	0.0937	3.200	1.000
21 - 10	-3.000	-0.2413	3.000	1.000
21 - 22	-3.000	-0.0264	3.000	1.000
22 - 10	-3.000	-0.1155	3.000	1.000
22 - 21	-3.000	0.0264	3.000	1.000
22 - 24	-3.000	0.0890	3.000	1.000
23 - 15	-1.600	-0.0922	1.600	1.000
23 - 24	-1.600	0.0432	1.600	1.000
24 - 22	-3.000	-0.0890	3.000	1.000
24 - 23	-1.600	-0.0432	1.600	1.000
24 - 25	-3.000	-0.0008	3.000	1.000
25 - 24	-3.000	0.0008	3.000	1.000
25 - 26	-3.000	0.0536	3.000	1.000
25 - 27	-3.000	-0.0544	3.000	1.000
26 - 25	-3.000	-0.0536	3.000	1.000
27 - 25	-3.000	0.0544	3.000	1.000
27 - 28	-3.000	-0.2533	3.000	1.000
27 - 29	-3.000	0.0928	3.000	1.000
27 - 30	-3.000	0.1061	3.000	1.000
28 - 6	-3.000	-0.2204	3.000	1.000
28 - 8	-3.000	-0.0329	3.000	1.000
28 - 27	-3.000	0.2533	3.000	1.000
29 - 27	-3.000	-0.0928	3.000	1.000
29 - 30	-3.000	0.0561	3.000	1.000
30 - 27	-3.000	-0.1061	3.000	1.000
30 - 29	-3.000	-0.0561	3.000	1.000



N. ° de Barra	Norma IEC-61000 $\theta_{min}[rad]$	Norma Nacional $\theta_{min}[rad]$	$\theta[rad]$	Norma Nacional $\theta_{max}[rad]$	Norma IEC-61000 $\theta_{max}[rad]$
1	0	0	0	0	0
2	-1.570	-0.523	-0.4484	0.523	1.570
3	-1.570	-0.523	-0.3813	0.523	1.570
4	-1.570	-0.523	-0.4601	0.523	1.570
5	-1.570	-0.523	-0.4857	0.523	1.570
6	-1.570	-0.523	-0.4894	0.523	1.570
7	-1.570	-0.523	-0.5057	0.523	1.570
8	-1.570	-0.523	-0.4962	0.523	1.570
9	-1.570	-0.523	-0.5260	0.523	1.570
10	-1.570	-0.523	-0.5783	0.523	1.570
11	-1.570	-0.523	-0.4636	0.523	1.570
12	-1.570	-0.523	-0.5401	0.523	1.570
13	-1.570	-0.523	-0.4841	0.523	1.570
14	-1.570	-0.523	-0.5747	0.523	1.570
15	-1.570	-0.523	-0.5827	0.523	1.570
16	-1.570	-0.523	-0.5683	0.523	1.570
17	-1.570	-0.523	-0.5840	0.523	1.570
18	-1.570	-0.523	-0.6072	0.523	1.570
19	-1.570	-0.523	-0.6146	0.523	1.570
20	-1.570	-0.523	-0.6075	0.523	1.570
21	-1.570	-0.523	-0.5983	0.523	1.570
22	-1.570	-0.523	-0.5976	0.523	1.570
23	-1.570	-0.523	-0.6035	0.523	1.570
24	-1.570	-0.523	-0.6165	0.523	1.570
25	-1.570	-0.523	-0.6162	0.523	1.570
26	-1.570	-0.523	-0.6407	0.523	1.570
27	-1.570	-0.523	-0.6034	0.523	1.570
28	-1.570	-0.523	-0.5031	0.523	1.570
29	-1.570	-0.523	-0.6470	0.523	1.570
30	-1.570	-0.523	-0.6758	0.523	1.570



Análisis de la confiabilidad para el caso de estudio sin incremento de carga

Conexión de Líneas	$S_{il}[p. u]$	$S_{il}^{max}[p. u]$	PI_p
1 - 2	0,6411	3,0000	0,02283385
1 - 3	0,5729	3,0000	0,01823413
2 - 4	0,5053	3,0000	0,01418489
3 - 4	0,5489	3,0000	0,0167384
2 - 5	0,1994	3,0000	0,00220891
2 - 6	0,5194	3,0000	0,01498758
4 - 6	0,0939	3,0000	0,00048985
5 - 7	0,3574	3,0000	0,00709638
6 - 7	-0,1294	3,0000	0,00093024
6 - 8	0,2087	3,0000	0,00241976
6 - 9	0,2152	3,0000	0,00257284
6 - 10	0,1429	3,0000	0,00113447
9 - 11	-0,1	3,0000	0,00055556
9 - 10	0,3152	3,0000	0,0055195
4 - 12	0,2842	6,5000	0,00095585
12 - 13	-0,12	6,5000	0,00017041
12 - 14	0,0727	3,2000	0,00025807
12 - 15	0,1631	3,2000	0,00129891
12 - 16	0,0564	3,2000	0,00015532
14 - 15	0,0107	1,6000	2,2361E-05
16 - 17	0,0214	1,6000	8,9445E-05

Conexión de Líneas	$S_{il}[p. u]$	$S_{il}^{max}[p. u]$	PI_p
15 - 18	0,0509	1,6000	0,00050602
18 - 19	0,0189	1,6000	6,9768E-05
19 - 20	-0,0761	3,2000	0,00028277
10 - 20	0,0981	3,2000	0,0004699
10 - 17	0,0686	3,2000	0,00022978
10 - 21	0,1579	3,0000	0,00138513
10 - 22	0,0756	3,0000	0,00031752
21 - 22	-0,0171	3,0000	1,6245E-05
15 - 23	0,0409	1,6000	0,00032672
22 - 24	0,0584	3,0000	0,00018948
23 - 24	0,0089	1,6000	1,5471E-05
24 - 25	-0,0197	3,0000	2,1561E-05
25 - 26	0,035	3,0000	6,8056E-05
25 - 27	-0,0547	3,0000	0,00016623
27 - 28	-0,1847	3,0000	0,00189523
27 - 29	0,0607	3,0000	0,0002046
27 - 30	0,0693	3,0000	0,0002668
29 - 30	0,0367	3,0000	7,4827E-0
8 - 28	0,0087	3,0000	4,205E-06
6 - 28	0,176	3,0000	0,00172089
PI_p Total			0,12108802

Sistema totalmente confiable



Análisis de la confiabilidad para el caso de estudio aplicando la metodología OTS

Conexión de Líneas	$S_{il}[p.u]$	$S_{il}^{max}[p.u]$	PI_p
1 - 2	0,6411	3,0000	0,02283385
1 - 3	0,5729	3,0000	0,01823413
2 - 4	0,5053	3,0000	0,01418489
3 - 4	0,5489	3,0000	0,0167384
2 - 5	0,1994	3,0000	0,00220891
2 - 6	0,5194	3,0000	0,01498758
4 - 6	0,0939	3,0000	0,00048985
5 - 7	0,3574	3,0000	0,00709638
6 - 7	0,1294	3,0000	0,00093024
6 - 8	0,2087	3,0000	0,00241976
6 - 9	0,2152	3,0000	0,00257284
6 - 10	0,1429	3,0000	0,00113447
9 - 11	0,1	3,0000	0,00055556
9 - 10	0,3152	3,0000	0,0055195
4 - 12	0,2842	6,5000	0,00095585
12 - 13	0,12	6,5000	0,00017041
12 - 14	0,0727	3,2000	0,00025807
12 - 15	0,1631	3,2000	0,00129891
12 - 16	0,0564	3,2000	0,00015532
14 - 15	0,0107	1,6000	2,2361E-05
16 - 17	0,0214	1,6000	8,9445E-05

Conexión de Líneas	$S_{il}[p.u]$	$S_{il}^{max}[p.u]$	PI_p
15 - 18	0,0509	1,6000	0,00050602
18 - 19	0,0189	1,6000	6,9768E-05
19 - 20	0,0761	3,2000	0,00028277
10 - 20	0,0981	3,2000	0,0004699
10 - 17	0,0686	3,2000	0,00022978
10 - 21	0,1579	3,0000	0,00138513
10 - 22	0,0756	3,0000	0,00031752
21 - 22	0,0171	3,0000	1,6245E-05
15 - 23	0,0409	1,6000	0,00032672
22 - 24	0,0584	3,0000	0,00018948
23 - 24	0,0089	1,6000	1,5471E-05
24 - 25	0,0197	3,0000	2,1561E-05
25 - 26	0,035	3,0000	6,8056E-05
25 - 27	0,0547	3,0000	0,00016623
27 - 28	0,1847	3,0000	0,001
27 - 29	0,13	3,0000	0,000
27 - 30	0	3,0000	0,000
29 - 30	0,106	3,0000	0,000
8 - 28	0,0087	3,0000	4,205E-05
6 - 28	0,176	3,0000	0,00172089
PI_p Total			0,1221048

Sistema confiable



Análisis de la confiabilidad para el caso de estudio aplicando la metodología OTS con incremento de carga del 25%

Conexión de Líneas	$S_{il}[p.u]$	$S_{il}^{max}[p.u]$	PI_p
1 - 2	1,1155	3,0000	0,06913001
1 - 3	0,807	3,0000	0,0361805
2 - 4	0,6422	3,0000	0,02291227
3 - 4	0,777	3,0000	0,0335405
2 - 5	0,3252	3,0000	0,00587528
2 - 6	0,6769	3,0000	0,0254552
4 - 6	0,1915	3,0000	0,00203735
5 - 7	0,3977	3,0000	0,00878696
6 - 7	0,1127	3,0000	0,00070563
6 - 8	0,283	3,0000	0,00444939
6 - 9	0,2881	3,0000	0,0046112
6 - 10	0,1846	3,0000	0,00189318
9 - 11	0,1	3,0000	0,00055556
9 - 10	0,3881	3,0000	0,00836787
4 - 12	0,3827	6,5000	0,00173325
12 - 13	0,12	6,5000	0,00017041
12 - 14	0,0906	3,2000	0,0004008
12 - 15	0,2025	3,2000	0,00200226
12 - 16	0,0696	3,2000	0,00023653
14 - 15	0,0131	1,6000	3,3518E-05
16 - 17	0,0258	1,6000	0,00013001

Conexión de Líneas	$S_{il}[p.u]$	$S_{il}^{max}[p.u]$	PI_p
15 - 18	0,0632	1,6000	0,00078013
18 - 19	0,0232	1,6000	0,00010513
19 - 20	0,0955	3,2000	0,00044532
10 - 20	0,123	3,2000	0,00073872
10 - 17	0,0867	3,2000	0,00036704
10 - 21	0,1965	3,0000	0,00214513
10 - 22	0,0939	3,0000	0,00048985
21 - 22	0,0222	3,0000	0,00002738
15 - 23	0,0498	1,6000	0,00048438
22 - 24	0,0717	3,0000	0,00028561
23 - 24	0,0098	1,6000	1,8758E-05
24 - 25	0,0272	3,0000	4,1102E-05
25 - 26	0,0438	3,0000	0,00010658
25 - 27	0,071	3,0000	0,00028006
27 - 28	0,2335	3,0000	0,
27 - 29	0,1625	3,0000	0,
27 - 30	0	3,0000	
29 - 30	0,1325	3,0000	0,
8 - 28	0,008	3,0000	3,333E-05
6 - 28	0,2255	3,0000	0,00282501
PI_p Total			0,24382277

Sistema medianamente confiable



Análisis de la confiabilidad para el caso de estudio aplicando la metodología OTS con incremento de carga del 53%

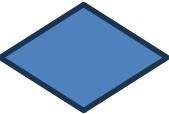
Conexión de Líneas	$S_{il}[p.u]$	$S_{il}^{max}[p.u]$	PI_p
1 - 2	0,0000	3,0000	0
1 - 3	2,0000	3,0000	0,22222222
2 - 4	0,0640	3,0000	0,00022756
3 - 4	1,9630	3,0000	0,21407606
2 - 5	0,1832	3,0000	0,00186457
2 - 6	0,2209	3,0000	0,00271093
4 - 6	0,6803	3,0000	0,02571156
5 - 7	0,1599	3,0000	0,00142045
6 - 7	0,1889	3,0000	0,0019824
6 - 8	0,1559	3,0000	0,00135027
6 - 9	0,1760	3,0000	0,00172089
6 - 10	0,1600	3,0000	0,00142222
9 - 11	0,3000	3,0000	0,005
9 - 10	0,4760	3,0000	0,01258756
4 - 12	0,3127	6,5000	0,00115718
12 - 13	0,4000	6,5000	0,00189349
12 - 14	0,1218	3,2000	0,00072438
12 - 15	0,2913	3,2000	0,00414334
12 - 16	0,1282	3,2000	0,0008025
14 - 15	0,0269	1,6000	0,00014133
16 - 17	0,0747	1,6000	0,00108986

Conexión de Líneas	$S_{il}[p.u]$	$S_{il}^{max}[p.u]$	PI_p
15 - 18	0,1006	1,6000	0,00197663
18 - 19	0,0516	1,6000	0,00052003
19 - 20	0,0937	3,2000	0,0004287
10 - 20	0,1274	3,2000	0,00079252
10 - 17	0,0630	3,2000	0,0001938
10 - 21	0,2413	3,0000	0,00323476
10 - 22	0,1155	3,0000	0,00074113
21 - 22	0,0264	3,0000	0,00003872
15 - 23	0,0922	1,6000	0,00166032
22 - 24	0,0890	3,0000	0,00044006
23 - 24	0,0432	1,6000	0,0003645
24 - 25	0,0008	3,0000	3,5556E-08
25 - 26	0,0536	3,0000	0,00015961
25 - 27	0,0544	3,0000	0,00016441
27 - 28	0,2533	3,0000	0,00250440
27 - 29	0,0928	3,0000	0,00030933
27 - 30	0,1061	3,0000	0,00035367
29 - 30	0,0561	3,0000	0,00018033
8 - 28	0,0329	3,0000	0,00003493
8 - 29	0,2204	3,0000	0,00260868
PI_p Total			0,52056595

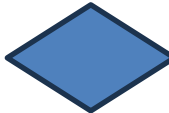
Sistema poco confiable



Conclusiones

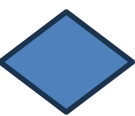


De acuerdo a la investigación realizada se puede concluir que, al utilizar la metodología OTS en DC, ayuda a linealizar el problema de manera que se descarta costos de operación en la función térmica y además de que solamente considera la potencia activa del sistema, despreciando la potencia reactiva del mismo. A diferencia de la metodología OTS en AC, en la cual no se linealiza el problema en su totalidad, ya que para su análisis consideran los valores tanto de la potencia activa como de potencia reactiva.



Tomando en cuenta cada uno de los eventos analizados, se puede evidenciar el incremento en el ángulo fasorial cercano al lugar donde se produce la conmutación de las líneas. En base a la normativa estadounidense el ángulo fasorial se mantiene dentro de los parámetros de funcionamientos óptimos, mientras que, al analizarlo mediante la normativa nacional, el ángulo fasorial sale de los parámetros de funcionamiento.

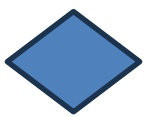





Mediante el análisis de confiabilidad realizado entre los sistemas aplicando la óptima conmutación de líneas, para el sistema en estado normal de funcionamiento y para los casos con incremento de carga de 25% y 53% respectivamente, se puede evidenciar que, para el sistema funcionando en condiciones normales tiene un índice de confiabilidad de 0.1210, el mismo que se acerca a cero, así de esta manera el sistema es considerado netamente confiable. Por otro lado, para un incremento de carga de 25 % le corresponde un índice de confiabilidad de 0.2438, el cual es un valor cercano a cero por lo que el sistema se consideraría medianamente confiable, trabajando dentro de los parámetros de operación de la red. Por otro lado, al aplicar un incremento de carga del 53 %, el índice de confiabilidad tiene un valor de 0.5205, siendo este un valor lejano de cero, aún más que en el caso anterior; por lo que se puede considerar como un sistema poco confiable. Debido a que si se incrementara la carga a un porcentaje mayor a 53% el sistema se vuelve totalmente inestable, por lo que el mismo llegaría a colapsar.



Recomendaciones




Es recomendable que para poder escoger un caso de estudio el cual se pueda analizar, se debe verificar que contengan todos los parámetros necesarios para el desarrollo del proceso; debido a que existen casos de estudio que no poseen información suficiente lo cual hace que el mismo sea imposible de implementarlo.




En cuanto a la aplicación de los modelos matemáticos, se recomienda investigar adecuadamente el tipo de ecuación que rige cada central de generación eléctrica, ya que la misma depende mucho de su tipo de energía primaria. Con esto facilita a la linealización de ecuación, simplificando de esta manera algunos costos de operación innecesarios.





En base a los resultados obtenidos de ángulos fasorial, se puede considerar realizar un estudio de estabilidad angular para de esta manera lograr comprender los parámetros presentes en el sistema y a su vez verificar el nivel de confiabilidad del sistema en base a este estudio



En cuanto a los escenarios de estudio planteados, es recomendable realizar un análisis de cargabilidad detalladamente, con el fin de conocer el comportamiento del flujo potencia en las líneas de transmisión, de esta manera determinando si el flujo de potencia es estable o existe variación en el mismo.



Trabajos Futuros

Se propone utilizar la presente metodología expuesta en un caso de estudio específicamente de nuestro País Ecuador, tomando en cuenta todos los datos necesarios para poder implementar.



Gracias!



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA