



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 analizar los índices de estabilidad de voltaje con la integración de centrales eólicas”

Expositores

Castro Arroba , Alex David y Estrella Cárdenas, Daniel Fernando

Director de proyecto:

Ing. Masache Almeida, Paul Andrés

**Latacunga
Febrero, 2024**

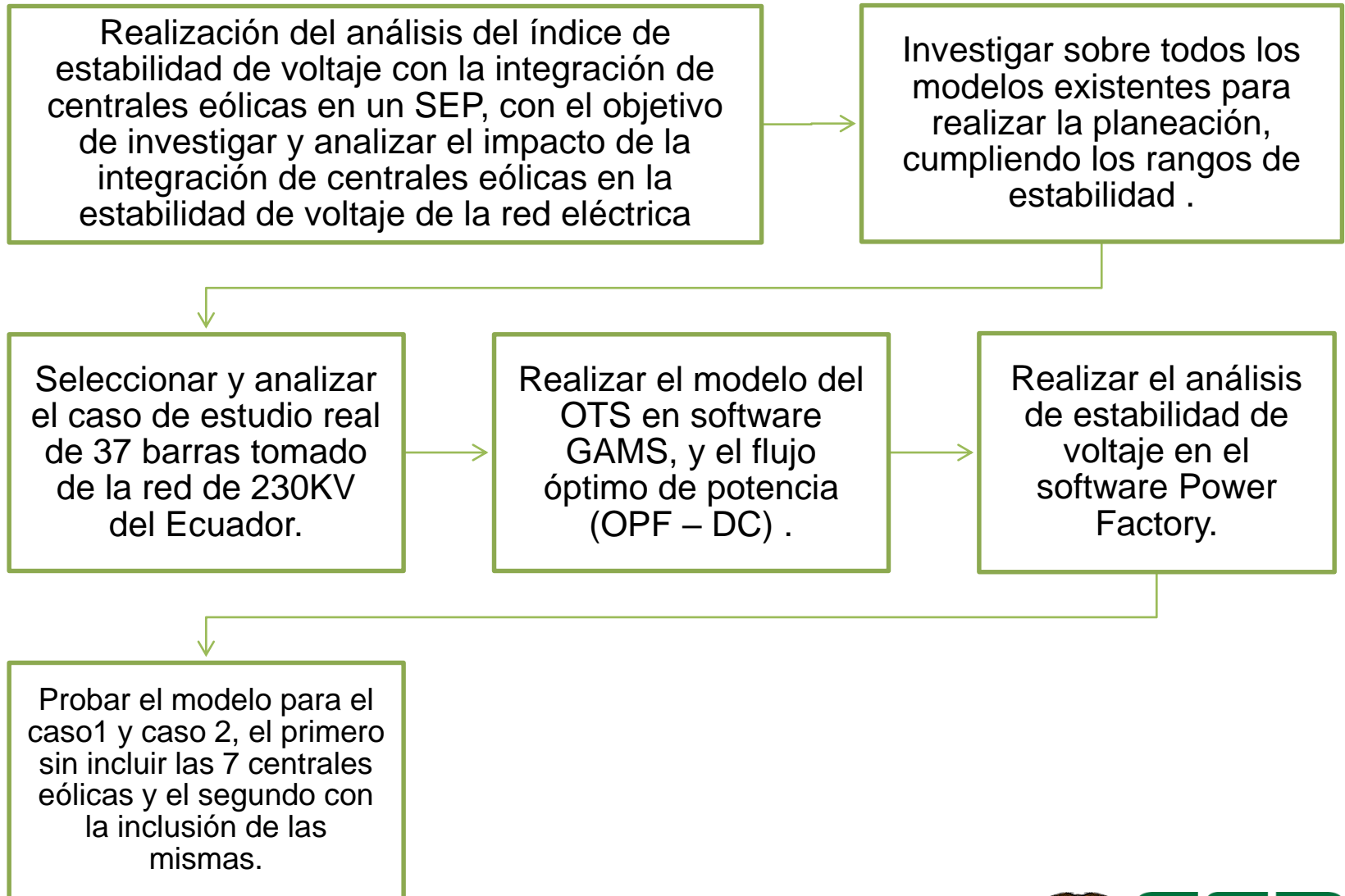


CONTENIDO

- Resumen
- Planteamiento del problema
- Justificación
- Objetivos
- Metodología
- Caso de estudio
- Análisis de resultados
- Conclusiones
- Recomendaciones



RESUMEN



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La electricidad a pasado de ser un servicio a una necesidad

Altos costos de despacho.

Nuevas centrales que se incrementan con el tiempo

Brindar un servicio de calidad a los usuarios



Óptima conmutación de las líneas de transmisión para analizar los índices de estabilidad de voltaje con la integración de centrales eólicas



Dependencia de la energía eléctrica

Genera estudios de nuevos modelos de planeación

Inserción de las 7 centrales eólicas

Realizar análisis de estabilidad en el SEP.



JUSTIFICACIÓN

Integración de energía eólica al sistema eléctrico.



Verificar cómo está operando el sistema eléctrico antes y después, logrando optimizar recursos energéticos y económicos.

Realizar pruebas teniendo en consideración varios casos de estudio con centrales eólicas y sin centrales eólicas .



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

OBJETIVOS

OBJETIVO O GENERAL

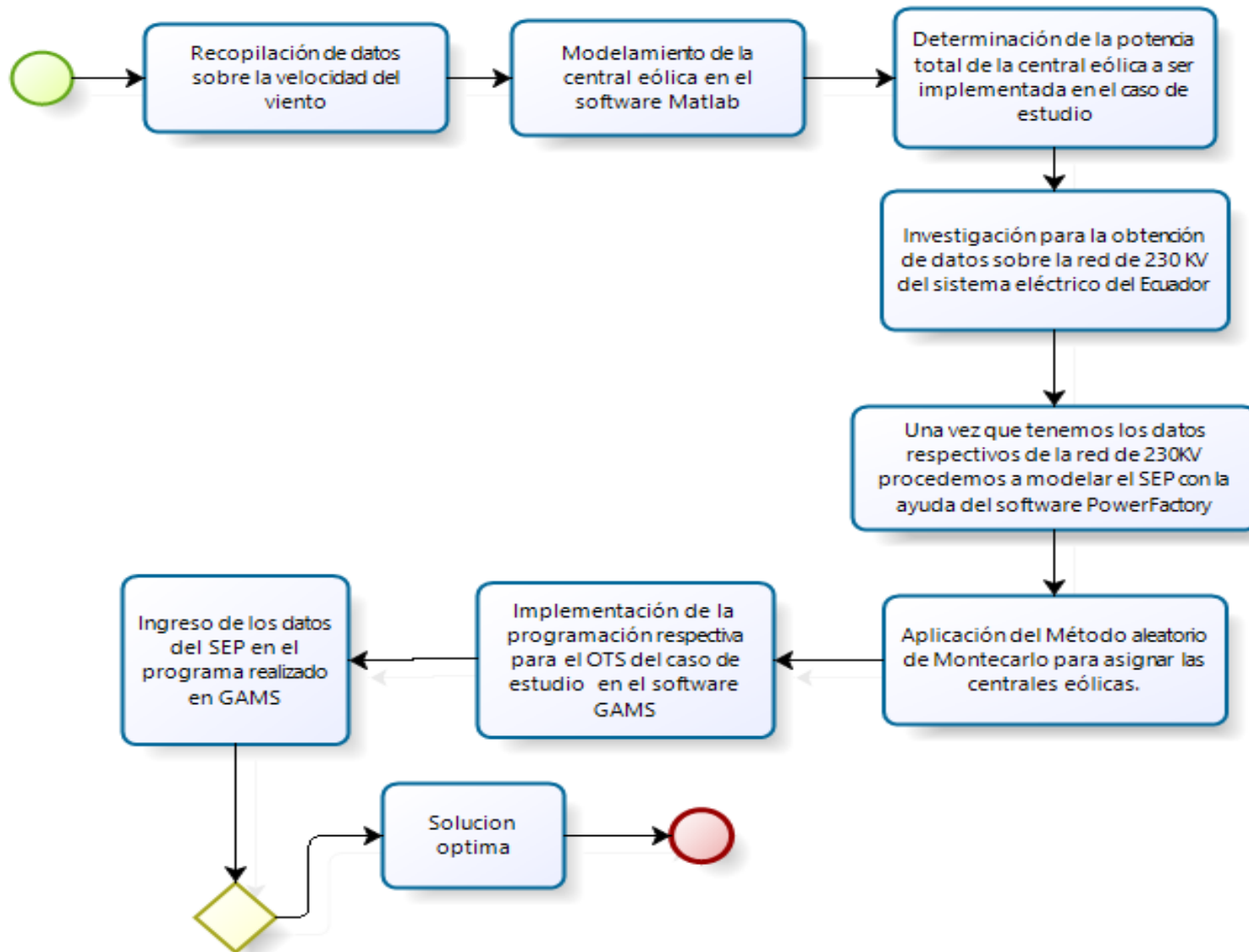
- Investigar y analizar el impacto de la integración de centrales eólicas en la estabilidad de voltaje de la red eléctrica en cada escenario expuesto por la óptima conmutación de las líneas de transmisión.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el comportamiento de la generación de las centrales eólicas y su influencia en los niveles de voltaje de la red eléctrica.
- Diseñar algoritmos y técnicas para la óptima conmutación de líneas de transmisión para optimizar la transmisión de energía entre las centrales y los puntos de carga, minimizando costos operativos y manteniendo los niveles de voltaje dentro de rangos aceptables.
- Realizar un análisis exhaustivo de la estabilidad de voltaje antes y después la integración de centrales eólicas en la red eléctrica.



METODOLOGÍA



Datos:

Barras, generadores, k_1, k_2 , barra slack, potencia base, M

Generador: $P_g^{min}, P_g^{max}, Q_g^{min}, Q_g^{max}, a, b, c$

Líneas: $r, x, b, SIL, C_{ij}, n_{ij}^0$

Barra: ángulo del voltaje δ , voltaje de barra V

Demanda: P_d, Q_d

Paso 1

OPF - DC con la minimización de costos

Minimizar el Costo $OF = \sum_{g \in \Omega_G} b_g P_g$

Flujo de potencia $P_{ij} = B_{ij}(\delta_i - \delta_j)$

Balance energético nodal de potencia activa

$$\sum_{ij} P_{gij} - \sum_i P_{di} = \sum_{ij} P_{ij}$$

Paso 2



Paso 3

Función objetivo

$$ROF \geq \sum_{i=1}^{13} C_g * P_g * S_{base}$$

Flujo de las
líneas

$$P_{ij} = b_{ij} * (\alpha_i - \alpha_j)$$

Función
objetivo con
generador
eólico

$$ROF \geq \sum_{i=1}^{13} [C_g * P_g * S_{base}] + \sum_{j=1}^{\# \text{ generador eólico}} [C_{geo} * P_{geo} * S_{base}]$$

Función de
balance

$$P_{ge} + P_g - P_d = P_{ij}$$

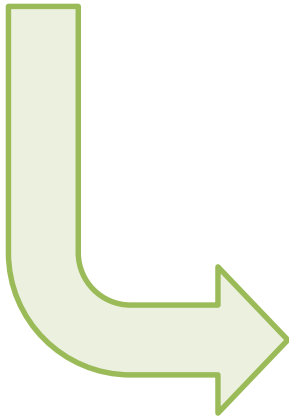




Balance
energético

$$\sum_{i=1}^{13} P g_i - \frac{P_d}{S_{base}} = \sum_{i=1}^{\# \text{ de barras}} P_{ij}$$

Paso 4



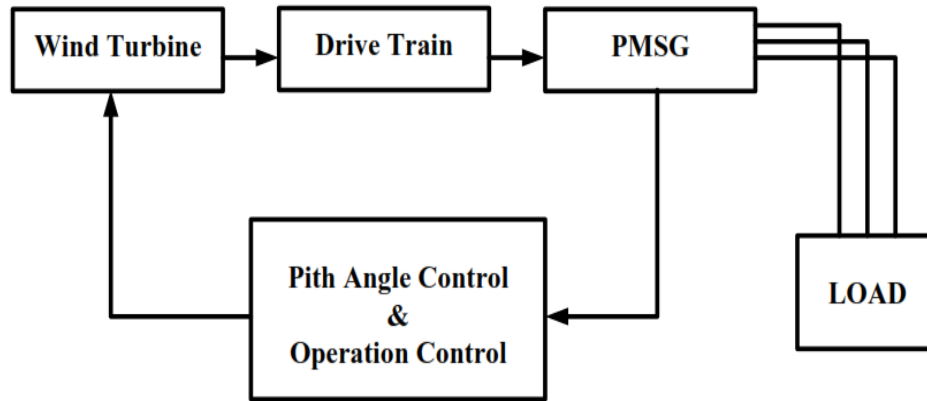
Función de
comparación de
conmutaciones

$$\sum_{ij} (1 - \xi_{ij}) \leq N_{sw} ij \in \Omega_\ell$$

Paso 5



Modelación del generador eólico



Potencia eólica

$$P_w = E_c = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}\rho Sv^3$$

Coefficiente de potencia de la turbina

$$C_p = \frac{P_m}{P_w}; C_p < 1$$

Potencia mecánica

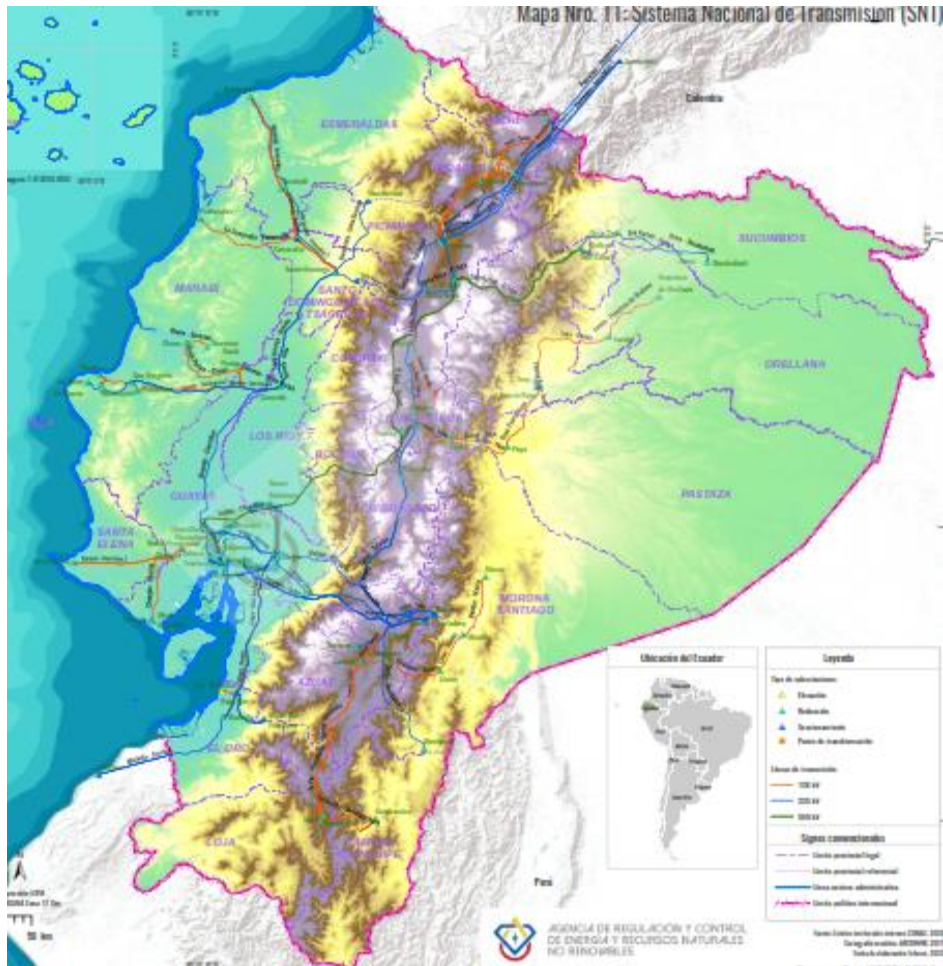
$$P_m = C_p(\lambda, \beta) \frac{\rho S}{2} v_{wind}^3$$

Día	Abril V(m/s)	Julio V(m/s)	Noviembre V(m/s)
1	5.63	8.59	2.89
2	4.16	9.80	4.41
3	4.65	9.84	4.14
4	6.56	9.73	3.71
5	6.24	8.92	2.92
6	6.20	10.62	3.82
7	5.35	8.42	4.48
8	4.13	7.88	3.01
9	4.45	7.04	4.94
10	3.95	9.27	5.04
11	5.06	9.62	4.16
12	8.27	9.88	2.23
13	9.52	9.12	3.82
14	6.62	7.77	3.74
15	5.03	4.91	4.41
16	3.73	5.27	3.41
17	4.66	6.24	3.55
18	2.56	8.16	4.91
19	3.00	13.30	5.04
20	3.87	11.41	4.58
21	4.03	11.79	2.29
22	3.35	12.28	3.19
23	3.77	11.95	2.93
24	5.02	7.17	2.51
25	2.82	7.01	2.57
26	2.66	6.86	2.48
27	2.86	6.80	2.84
28	2.87	7.09	3.70
29	3.64	8.52	2.87
30	4.41	10.75	3.86



CASO DE ESTUDIO

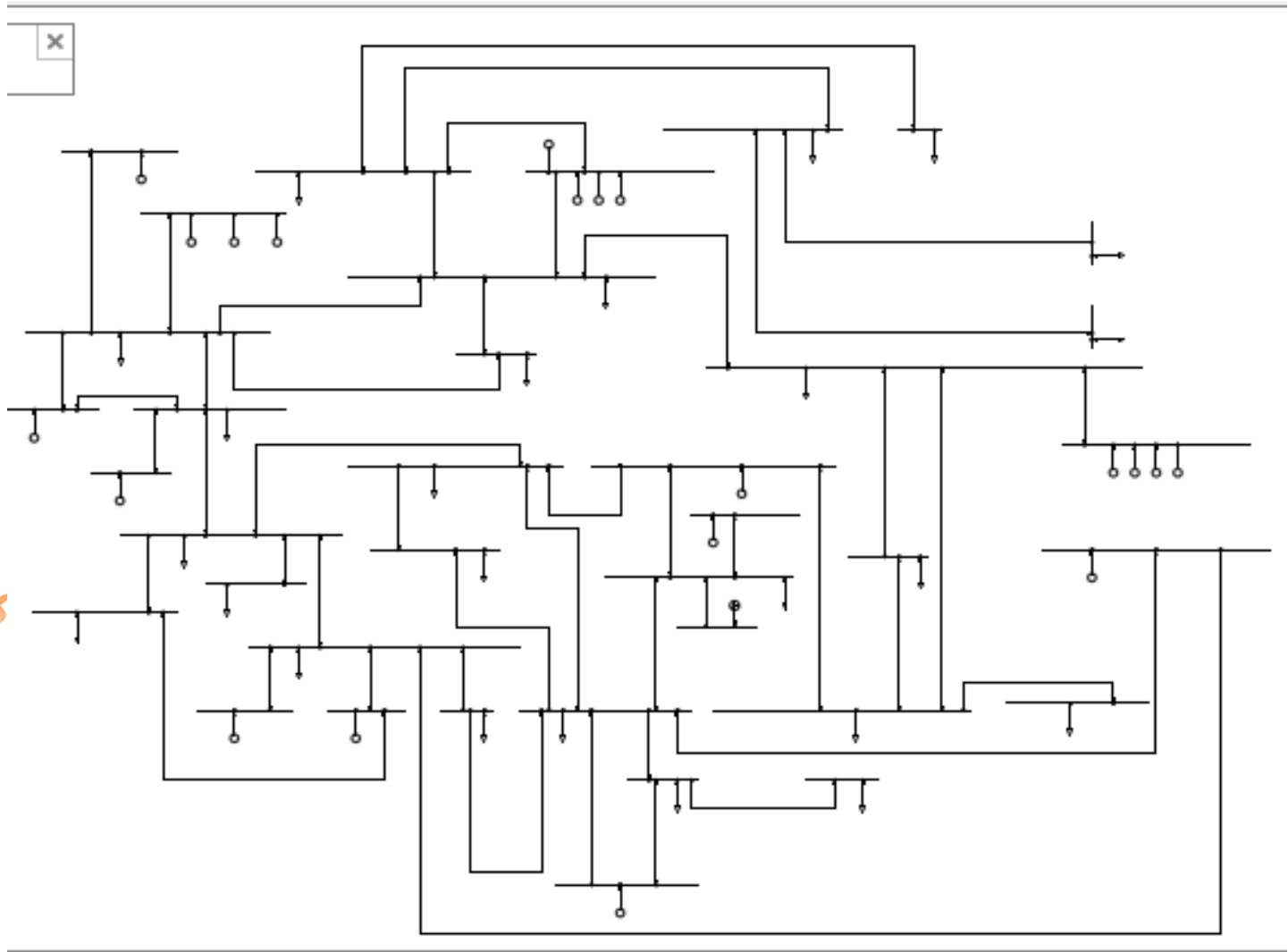
37-Bus System



SEP de 230KV del sistema eléctrico ecuatoriano el cual esta conformado por 37 barras .



Diagrama del Sistema



Datos proporcionados

Generadores

Potencia
demandada

Barra	Generador	Potencia nominal (MW)	Factor de potencia	MVA	Costo (¢USD/kWh)
Baba Mazar Molino San Francisco	Baba	42,2	0,85	49,65	0,025
	Mazar	170	0,85	200	0,025
	Molino	1075	0,85	1264,71	0,025
	Agoyan	160	0,85	188,24	0,025
	San Francisco	230	0,85	270,59	0,025
	Topo	29,2	0,85	34,35	0,025
	Rio Verde Chico	10	0,85	11,76	0,025
Esmeraldas	Esmeraldas I	132,5	0,85	155,88	0,04
	Esmeraldas II	100,2	0,85	117,88	0,04
	La Propicia	10,5	0,85	12,35	0,04
El Inga	Recuperadora	14,7	0,85	17,29	0,025
	El Carmen	8,4	0,85	9,88	0,025
	Victoria	10,32	0,85	12,14	0,025
	Chalpi	8,1	0,85	9,53	0,025
Sopladora	Sopladora	486,9	0,85	572,82	0,025
Minas San Francisco	Minas San Francisco	270	0,85	317,65	0,025
Termoquayas	Gonzalo	146	0,85	171,76	0,04
	Zevallos				
Trinitaria	Trinitaria	133	0,85	156,47	0,04
Manduriacu	Manduriacu	63,36	0,85	74,54	0,025
Sinincay	Villonaco	16,5	0,95	17,37	0,05
San Gregorio	Marcelo	213	0,85	250,59	0,025
	Laniado				
Total		3329,88			

Subestaciones	Distribuidora	Carga (MW)	FP	MVA
Esclusas	GUAYAQUIL	32,14	0,85	37,81
Nueva Prosperina	GUAYAQUIL	32,14	0,85	37,81
Totoras	AMBATO	5,34	0,95	5,62
Quevedo	LOS RÍOS	22,62	0,95	23,81
Riobamba	RIOBAMBA	14,29	0,95	15,04
Santa Rosa	QUITO	53,57	0,85	63,02
Santo Domingo	SANTO DOMINGO	23,79	0,95	25,04
Durán	GUAYAS	32,14	0,85	37,81
Bomboiza	E.E. SUR	4,76	0,95	5,01
Pimampiro 1	IMBABURA	32,86	0,85	38,66
Pimampiro 2	IMBABURA	32,86	0,85	38,66
Dos Cerritos	GUAYAS	23,57	0,95	24,81
Machala	EL ORO	23,79	0,95	25,04
Milagro	GUAYAS	23,79	0,95	25,04
Pascuales 1	GUAYAQUIL	53,57	0,85	63,02
Pascuales 2	GUAYAQUIL	53,57	0,85	63,02
Pomasqui	QUITO	42,86	0,85	50,42
Today	QUITO	25	0,85	29,41
Zorritos	E.E. SUR	23,81	0,95	25,06
Alluriquin	SANTO DOMINGO	23,81	0,95	25,06
Zhoray	CAÑAR	35,71	0,85	42,01
Chorrillos	GUAYAQUIL	47,62	0,85	56,02
Jamondido 1	E.E. NORTE	22,62	0,95	23,81
Jamondido 2	E.E. NORTE	22,62	0,95	23,81
TOTAL		708,85		

Líneas

Nombre con numeros	Resistance R'	Reactancia x'	Rated Current	Resistance R0'	Reactancia X0'
20-7	0,054785	0,496652	0,8334	0,31119	1,47887
22-15	0,05192	0,4866	0,8334	0,2053	1,1435
22-16	0,05192	0,4866	0,8334	0,2053	1,1435
22-1	0,0702	0,367	1,238	0,314	1,52
22-2	0,059085	0,472668	0,88611	0,294791	1,58103
12-15	0,059085	0,472668	0,88611	0,294791	1,58103
8-1	0,0702	0,367	1,238	0,314	1,52
30-17	0,03911	0,361834	1,436	0,242392	1,64481
1-33	0,041	0,312328	1,24	0,235616	1,09041
1-34	0,041	0,312328	1,24	0,235616	1,09041
13-19	0,05192	0,4866	0,8334	0,2053	1,1435
35-7	0,042215	0,42223	1,3	0,239081	1,13946
26-21	0,059085	0,472668	0,858	0,294791	1,58103
14-12	0,059085	0,472668	0,88611	0,294791	1,58103
14-8	0,0702	0,367	1,238	0,314	1,52
14-13	c	0,4866	0,8334	0,2053	1,1435
14-32	0,05192	0,4866	0,88611	0,294791	1,58103
14-15	0,059085	0,472668	0,88611	0,294791	1,58103
14-21	0,058	0,4646	0,858	0,282	1,5393
32-13	0,05192	0,4866	0,88611	0,294791	1,58103
27-15	0,059085	0,472668	0,858	0,294791	1,58103
27-18	0,059379	0,490712	0,8585	0,36567	1,56356
2-34	0,041	0,312328	1,24	0,235616	1,09041
10-23	0,048977	0,49255	1,062	0,200503	1,211247
10-24	0,048977	0,49255	1,062	0,200503	1,211247
17-10	0,048978	0,492495	1,053	0,185911	1,180816
17-11	0,048978	0,492495	1,053	0,185911	1,180816
4-25	0,059085	0,472668	0,88611	0,294791	1,58103
4-22	0,05192	0,4866	0,8334	0,2053	1,1435
4-37	0,059085	0,472668	0,833	0,294791	1,58103
28-3	0,06514	0,451071	0,918	0,12631	1,5878
6-20	0,054785	0,496652	0,8334	0,31119	1,47887
6-30	0,03911	0,361834	1,436	0,242392	1,64481
6-17	0,054785	0,496652	0,8334	0,31119	1,47887
6-7	0,059379	0,490712	0,8585	0,36567	1,56356
6-3	0,059379	0,490712	0,8585	0,36567	1,56356
7-25	0,059085	0,472668	0,88611	0,294791	1,58103
7-29	0,05192	0,4866	0,8334	0,2053	1,1435
7-4	0,059085	0,472668	0,88611	0,294791	1,58103
31-1	0,030184	0,315066	1,816	0,197548	0,796089
31-14	0,030184	0,315066	1,816	0,197548	0,796089

CONCLUSIONES

- Al evaluar el comportamiento de la generación de las centrales eólicas y su influencia en los niveles de voltaje se puede observar que sin tener en cuenta los OPF tanto para el caso 1 y para el caso 2 la variación del voltaje es insignificante, observando una disminución de 0.01 p.u en las barras de Jamondino 1, Jamondino 2, Pimampiro 1, Pimampiro 2 y Santa Rosa así como también un ligero aumento de 0.01 p.u en las barras de Machala y Milagro. Al tener en cuenta los OPF tanto para el caso 1 así como también para el caso 2 el sistema se estabiliza de una mejor manera teniendo voltajes mínimos de 0.99p.u, al insertar las 2 centrales eólicas que se consideró para un correcto OPF se puede observar una disminución de 0.01p.u en las barras de Macha(1.01p.u) y Pomasqui(1.01p.u). Al desconectar 3 líneas de transmisión se puede observar una disminución de 1.01p.u a 1 p.u en la barra de Manduriacu, 1.02p.u a 1.01p.u en la barra de Pomasqui y una disminución de 1.01p.u a 1p.u en la barra de Totoras, con estos datos se puede concluir que el sistema tiene a tener mayor estabilidad al aplicar los OPF tanto para el caso1, así como también para el caso 2, al insertar las centrales eólicas la estabilidad del SEP se mantiene.

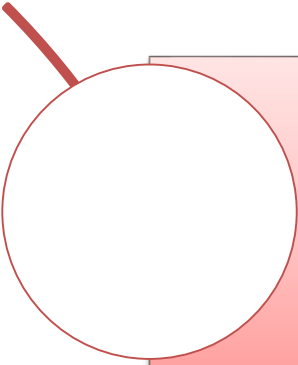


CONCLUSIONES

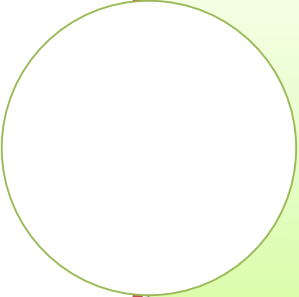
- Al realizar la programación respectiva en GAMS para poder obtener los OPF en el SEP de 230KV cuyos resultados tomaron en cuenta primordialmente a las centrales Hidráulicas esto debido a que el costo del MW/h es de 25\$, mientras que no se tomaron en cuenta las centrales térmicas ya que el costo era más elevado siendo este de 40\$ el MW/h, al insertar las 7 centrales eólicas de estas se tomaron en cuenta solamente las centrales eólicas insertadas en Totoras y Pomasqui, de las 7 centrales que se insertaron en el SEP para tener un correcto OPF se han tomado en cuenta solamente las 2 mencionadas anteriormente esto debido a que el costo en Ecuador del MW/h de la energía eólica es de 50\$ el MW/h, teniendo en cuenta estos datos se puede concluir que el programa realizado en GAMS funciona de manera correcta esto debido que se han minimizando costos y se han manteniendo los niveles de voltaje dentro de rangos aceptables.
- Para poder realizar un análisis más exhaustivo del SEP se ha evaluado el punto de colapso del mismo, se obtuvo datos de cada barra del sistema y se utilizó las curvas P-V para poder analizar en qué punto colapsa el SEP, para lo cual se realizó las curvas P-V de las barras más sensibles a la variación de la potencia activa las cuales son Jamondino 1, Jamondino 2 , Pimampiro 1, Chorrillos, Dos Cerritos, Milagro, Pascuales, Pascuales 2, Riobamba y Molino, para el caso 1 sin tener en cuenta los OPF el punto de colapso es de 3351.74 MW mientras que para el caso 2 el punto de colapso aumenta a 3784.48MW, al tomar en cuenta los OPF el punto de colapso para el caso 1 es de 3179.3 mientras que para el caso 2 es de 3308.1 MW, al desconectar 3 líneas de transmisión el punto de colapso para el caso 1 es de 2892.088MW y para el caso 2 es de 3214.7MW, al analizar estos datos se notó un incremento en el punto de colapso al insertar las centrales eólicas .



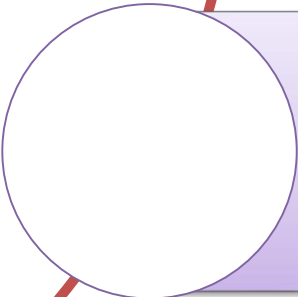
RECOMENDACIONES



De acuerdo con la investigación realizada se establece que tener una fuente confiable de datos puede hacer la diferencia en obtener o no buenos resultados ya que se parte por la obtención de datos de la velocidad del viento.



Dentro del planteamiento del problema se pueden considerar más escenarios en los que una central de mayor potencia salga de generación y observar cómo reacciona el SEP ante una situación de tal magnitud.



Un punto que se puede tomar en cuenta son las horas pico en donde existe una mayor demanda de energía, de modo que se analice si la inserción de energía eólica puede abastecer esa demandad de energía en incluir los OPF en el sistema..



Gracias!



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA