



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: “Cargabilidad de las líneas de distribución ante la integración masiva de vehículos eléctricos al sistema de potencia”

Expositores

Mañay Bermeo, Ana Lucia y Reyes Tapia, Pablo Andrés

Director de proyecto:

Ing. Masache Almeida, Paul Andrés

**Latacunga
Agosto, 2023**



CONTENIDO



	RESUMEN
	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
	JUSTIFICACIÓN
	OBJETIVOS
	METODOLOGÍA
	CASO DE ESTUDIO
	ANÁLISIS DE RESULTADOS
	CONCLUSIONES
	RECOMENDACIONES



RESUMEN

Selección del caso de estudio, y determinación del universo de EV's acorde al sistema de distribución de acuerdo al caso seleccionado de la IEEE

Modelamiento de las baterías y determinación del estado de carga SOC, mediante el método probabilístico Monte Carlo

Cálculo de voltajes y potencia acorde a universo de EV's, según el criterio seleccionado

Selección del criterio para la asignación de nodos de EV's y potencias para el CASO I Y CASO II mediante método probabilístico de Monte Carlo

Obtención del número de EV's y potencias calculadas para cada nodo del sistema y sumatoria de las potencias totales de cada una de las mismas.

Ingreso de datos de potencias al PF mediante MATPOWER de MATLAB, para determinar la potencia total de cada una de las líneas del sistema y cálculo de la cargabilidad de cada una de ellas.

Obtención e interpretación de los resultados de cargabilidad de las líneas de distribución del CASO I y CASO II para el caso de estudio de 33 nodos según la IEEE



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La inserción de EV's en sistema de distribución puede ser estudiada como carga

Incremento de EV's plantea desafíos para las líneas de distribución

Uso de métodos probabilísticos y modelos matemáticos

Red estable en la inserción de los EV's al sistema, para garantizar la calidad del servicio

Cargabilidad de las líneas de distribución ante la integración masiva de vehículos eléctrico al sistema de potencia.

Se alimentan de electricidad por medio de las baterías que se conectan a la red

Aumento de la demanda de energía eléctrica del sistema

Para realizar una simulación mediante Flujos de potencia

Es necesario realizar un análisis de cargabilidad de las líneas de distribución



JUSTIFICACIÓN

Investigar una metodología que permita el modelamiento de las baterías de los EV's para determinar potencias de consumo

Calcular mediante PF la inserción de EV's y potencias a un sistema de distribución

Determinar la cargabilidad de las línea de distribución ante la inserción de EV's y desarrollar un análisis



OBJETIVOS

GENERAL

- Determinar un marco metodológico mediante modelación de las baterías y simulación de flujos de potencia para evaluar el impacto ante la inserción de vehículos eléctricos en las líneas de distribución.

ESPECÍFICOS

- Determinar la cargabilidad de las líneas de distribución ante la integración de vehículos eléctricos al sistema de potencia considerando niveles de incertidumbre.
- Estudiar los métodos y analizar el que mejor se adapta para el estudio de aleatoriedad de conexión de los vehículos eléctricos en una determinada zona o punto de conexión del sistema eléctrico de distribución.
- Comparar por análisis de cargabilidad de las líneas de distribución antes y después de la integración de vehículos eléctricos al sistema eléctrico de distribución a través del análisis de flujos de potencia.



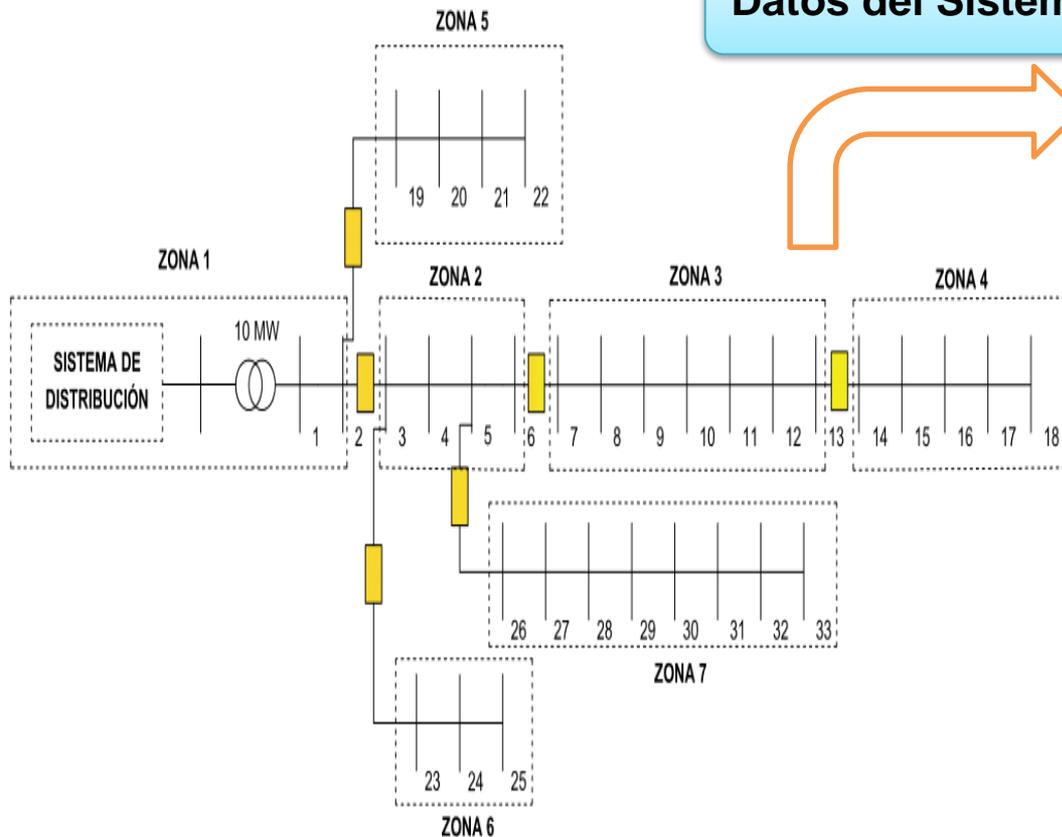
METODOLOGÍA

Caso IEEE 33 nodos en distribución en EE.UU, desarrollado en la Universidad de Massachusetts en 1989

CASO DE ESTUDIO



Datos del Sistema



Datos de las Líneas					
Desde el nodo	Hasta el nodo	R(Ω)	X (Ω)	Capacidad de corriente (A)	Voltaje del sistema (KV)
1	2	0.092	0.0477	500	12.6
2	3	0.493	0.2511	500	12.6
3	4	0.366	0.1884	500	12.6
4	5	0.381	0.1941	500	12.6
5	6	0.819	0.707	500	12.6
6	7	0.187	0.6188	500	12.6
7	8	1.711	1.2351	500	12.6
8	9	1.03	0.74	500	12.6
9	10	1.04	0.74	500	12.6
10	11	0.197	0.085	500	12.6
11	12	0.374	0.1238	500	12.6
12	13	1.468	1.155	500	12.6
13	14	0.542	0.7129	500	12.6
14	15	0.591	0.526	500	12.6
15	16	0.746	0.545	500	12.6
16	17	1.289	1.721	500	12.6
17	18	0.732	0.574	500	12.6
2	19	0.164	0.1565	500	12.6
19	20	1.504	1.3554	500	12.6
20	21	0.41	0.4784	500	12.6
21	22	0.709	0.9373	500	12.6
3	23	0.451	0.3083	500	12.6
23	24	0.898	0.7091	500	12.6
24	25	0.896	0.7011	500	12.6
25	26	0.203	0.1034	500	12.6
26	27	0.284	0.1447	500	12.6
27	28	1.059	0.9337	500	12.6
28	29	0.804	0.7008	500	12.6
29	30	0.508	0.2585	500	12.6
30	31	0.974	0.963	500	12.6
31	32	0.311	0.3619	500	12.6
32	33	0.341	0.5302	500	12.6



METODOLOGÍA

Datos técnicos de las baterías Ion-Litio



Marcas	Nissan Leaf	Kia Soul	Renault	BYD E6
Tipo de batería	Li NMC	LIPB / Li NMC	Li NMC	LFP
Número de celdas y configuración	192 celdas, 2 en paralelo y 96 en serie	192 celdas, 2 en paralelo y 96 en serie.	192 celdas y 48 módulos y 96 en serie.	324 celdas, 324 en serie y 1 en paralelo
Voltaje nominal (V)	3.8 V	3.75 V	3.5 V	3.2 V
Voltaje de la batería (V)	364.8 V	400 V	400 V	400 V
Energía (kW/h)	24 Kw/h	30 Kw/h	33 Kw/h	80 Kw/h
Acumulación de la batería	66.2 Ah	75 Ah	80 Ah	200 Ah
Tiempo de carga (h)	7h	9h	6h	8h
Voltaje del cargador del vehículo(V)	360 V	230V	230 V	220-240V

Universo de EV's



Marcas de vehículos	Nissan Leaf	Kia Soul	Renault Kangoo Z.E.	BYD E6
Acumulación de la batería	66.2 Ah	75 Ah	80 Ah	200 Ah
% de descarga mínimo de las baterías	20%	15%	20%	15%
% de carga máximo de las baterías	80%	95%	80%	80%

Universo de vehículos	Porcentaje de inserción de EV's			
	50%	75%	90%	100%
Nissan Leaf	7119,5	10679,25	12815,1	14,239
Kia Soul	3643,5	5465,25	6558,3	7,287
Renault Kangoo	3332,5	4998,75	5998,5	6,665
BYD E6	1109,5	1664,25	1997,1	2,219
Total	15205	22807,5	27369	30,410



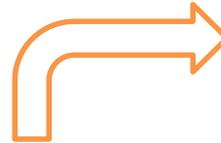
METODOLOGÍA

PASO 1: Determinación del SOC

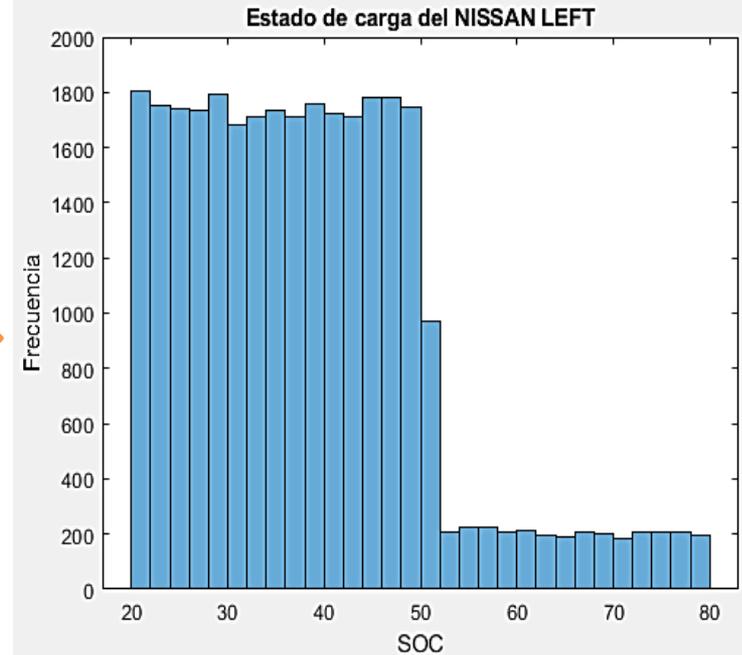


$$SOC = \frac{Cap - Q}{Cap} * 100 \rightarrow \text{Estado de carga}$$

$$Q = I * h \rightarrow \text{Acumulación de carga}$$



Método Probabilístico Monte Carlo



Marcas de vehículos	Nissan Leaf	Kia Soul	Renault Kangoo Z.E.	BYD E6
Acumulación de la batería	66.2 Ah	75 Ah	80 Ah	200 Ah
% de descarga mínimo de las baterías	20%	15%	20%	15%
% de carga máximo de las baterías	80%	95%	80%	80%



METODOLOGÍA

PASO 2: Modelamiento de las Baterías Ion-Litio



$$V_{oc}(SOC) = -1.031 \cdot e^{-35 \cdot SOC} + 3.685 + 0.2156 \cdot SOC - 0.1178 \cdot SOC^2 + 0.3201 \cdot SOC^3 \quad \rightarrow \text{Voltaje SOC por celda}$$

$$R_s(SOC) = 0.1562 \cdot e^{-24.37 \cdot SOC} + 0.07446 \quad \rightarrow \text{Resistencia en serie}$$

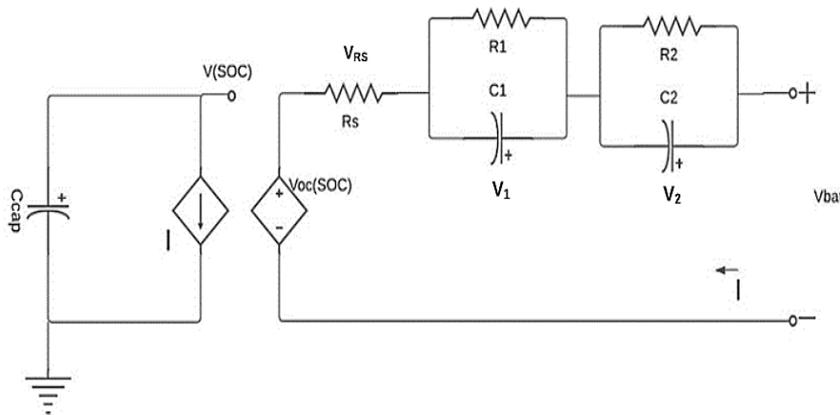
$$R_1(SOC) = 0.3208 e^{-29.14 \cdot SOC} + 0.04669 \quad \rightarrow \text{Resistencia y Capacitancia de respuesta transitoria a corto plazo}$$

$$C_1(SOC) = -752.9 e^{-13.51 \cdot SOC} + 703.600$$

$$R_2(SOC) = 6.603 \cdot e^{-155.2 \cdot SOC} + 0.04984 \quad \rightarrow \text{Resistencia y Capacitancia de respuesta transitoria a largo plazo}$$

$$C_2(SOC) = -6056 \cdot e^{-27.12 \cdot SOC} + 4475.00$$

Modelo de CHEN



$$V_{Rs} = I * R_s(SOC) \quad \rightarrow \text{Voltaje } R_s$$

$$V_1 = \int \frac{R_1(SOC) * C_1(SOC)}{V_{oc}(SOC)} - \frac{I}{C_1(SOC)} \quad \rightarrow \text{Voltaje de R1-C1}$$

$$V_2 = \int \frac{R_2(SOC) * C_2(SOC)}{V_{oc}(SOC)} - \frac{I}{C_2(SOC)} \quad \rightarrow \text{Voltaje de R2-C2}$$

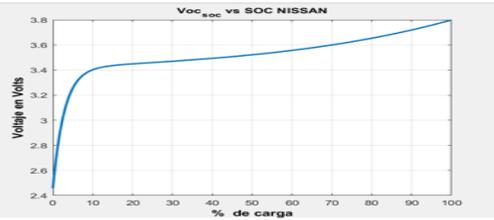
$$V_{bat} = V_{Rs} + V_1 + V_2 - (R_s(SOC) * V_{oc}(SOC)) \quad \rightarrow \text{Voltaje total de batería}$$



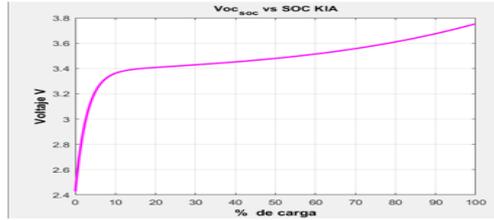
METODOLOGÍA



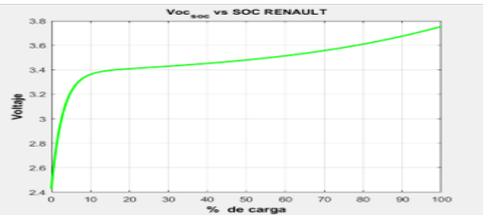
Voltaje Voc(SOC) para las cuatro marcas de EV's



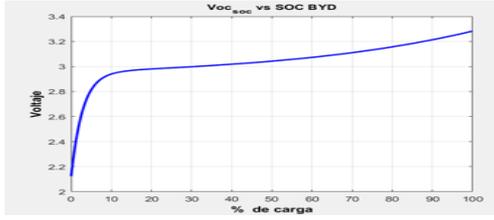
(a)



(b)

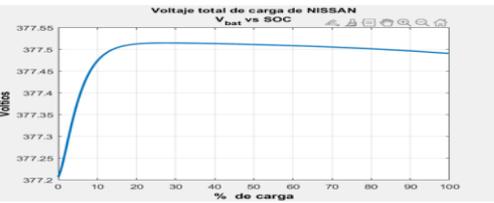


(c)

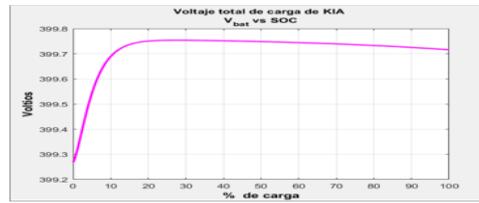


(d)

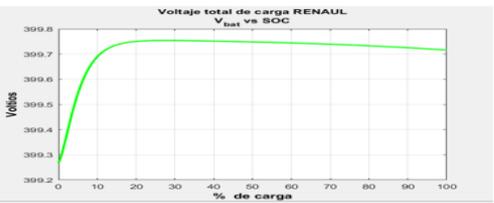
Voltaje Vbat para las cuatro marcas de EV's



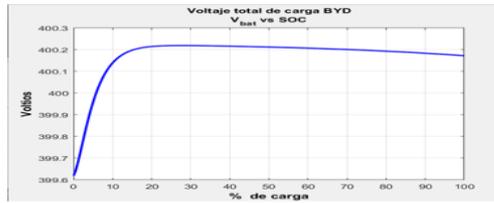
(a)



(b)

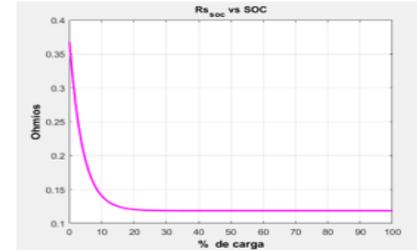


(c)

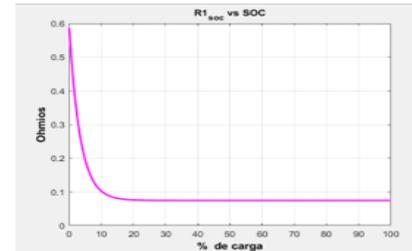


(d)

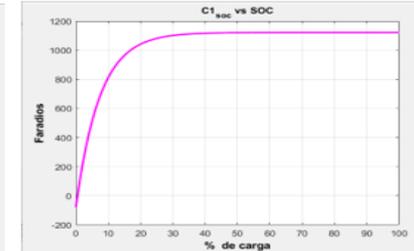
Variables Rs, C1 y C1, R2 y C2



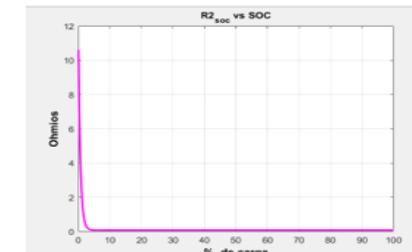
(a)



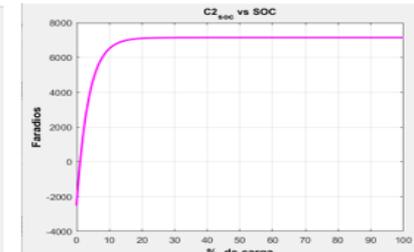
(b)



(c)



(d)



(e)



METODOLOGÍA



$$P = \frac{V_{bat} * I_{bateria}}{1000}$$



Potencia de los EV's

$$I_{bateria} = \frac{Cap}{Tn}$$



Corriente de las baterías

$$Tn = SOC * tc$$



Tiempo de carga batería



Cada voltaje y potencia se calcula para cada universo de EV's

Potencias calculadas para los EV's

VE'S KIA	POTENCIA (kW)	VE'S KIA	POTENCIA (kW)	VE'S KIA	POTENCIA (kW)
1	4.63	26	2.17	51	8.30
2	4.53	27	6.64	52	3.50
3	11.72	28	3.16	53	2.52
4	8.30	29	5.11	54	9.49
5	4.98	30	4.63	55	4.15
6	3.38	31	5.53	56	6.64
7	2.19	32	4.53	57	7.38
8	3.69	33	3.16	58	2.85
9	11.07	34	7.38	59	3.16
10	5.53	35	5.69	60	3.69
11	7.12	36	6.23	61	2.26
12	3.98	37	5.69	62	13.28
13	4.33	38	5.69	63	5.11
14	4.33	39	2.62	64	3.44
15	4.98	40	5.11	65	3.38
16	9.49	41	7.38	66	5.53
17	2.34	42	2.21	67	3.69
18	2.14	43	5.69	68	11.07
19	2.69	44	4.63	69	2.81
20	2.49	45	4.98	70	2.93
21	2.66	46	3.07	71	4.07
22	3.91	47	10.49	72	5.86
23	4.43	48	5.69	73	7.66
24	4.07	49	2.81		
25	3.16	50	3.38		



METODOLOGÍA

Paso 3: Designación de EV's para los nodos del sistema



Método Probabilístico de Monte Carlo

Datos tomados al 2021 para Nueva York en venta de EV's para las cuatro marcas

CASO I

- Se realiza una distribución de manera uniforme aleatoria.
- Se respeta los porcentajes según las ventas de EV's.
- Se distribuyen para todos los 33 nodos.

CASO II

- Se realiza una distribución totalmente aleatoria.
- Cumple la cantidad de EV's para cada universo.
- En cinco nodos al azar no se conectan EV's



Porcentajes	
Nissan Leaf	46,82%
Kia Soul	23,96%
Renault Kangoo	21,92%
BYD E6	7,30%
Total	100,00%



METODOLOGÍA

Paso 4: Simulación de flujos de potencia mediante MATPOWER



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

Potencia activa y reactiva

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

$$\Delta P_i = P_{i,prog} - P_{i,cal}$$

$$\Delta Q_i = Q_{i,prog} - Q_{i,cal}$$

Variaciones de Potencia activa y reactiva

$$\Delta P_i = P_{i,prog} - V_i \sum_{j=1}^n V_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij})$$

$$\Delta Q_i = Q_{i,prog} - V_i \sum_{j=1}^n V_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij})$$

$$\begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \Delta V/V \end{bmatrix} = -[J]^{-1} \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix}$$

Cálculo de Voltaje y ángulos

$$J = \begin{bmatrix} H & N \\ M & L \end{bmatrix}$$

Matriz Jacobiana

Inicialización de las variables

Construcción del Jacobiano

Resolución del sistema de ecuaciones

Actualización de las variables de estado

Convergencia

Iteración



METODOLOGÍA

Paso 5: Cálculo de Cargabilidad

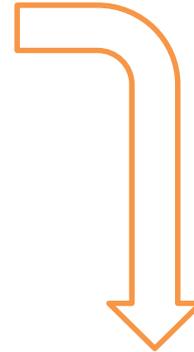


$$P_{maxt} = \frac{(\sqrt{3} * V_L * I_L * pf)}{1000}$$

➔ Potencia total del sistema 33 nodos

$$\% \text{ Cargabilidad} = \frac{P_{lineas}}{P_{maxt}} * 100$$

➔ Cálculo de cargabilidad



```
Pd=Plineas5+mpc5.bus(:,3); %sumatoria de las demandas originales de los vehiculos
```

```
mpc5.bus(:,3)=Pd;  
resultado5=runpf(mpc5);
```

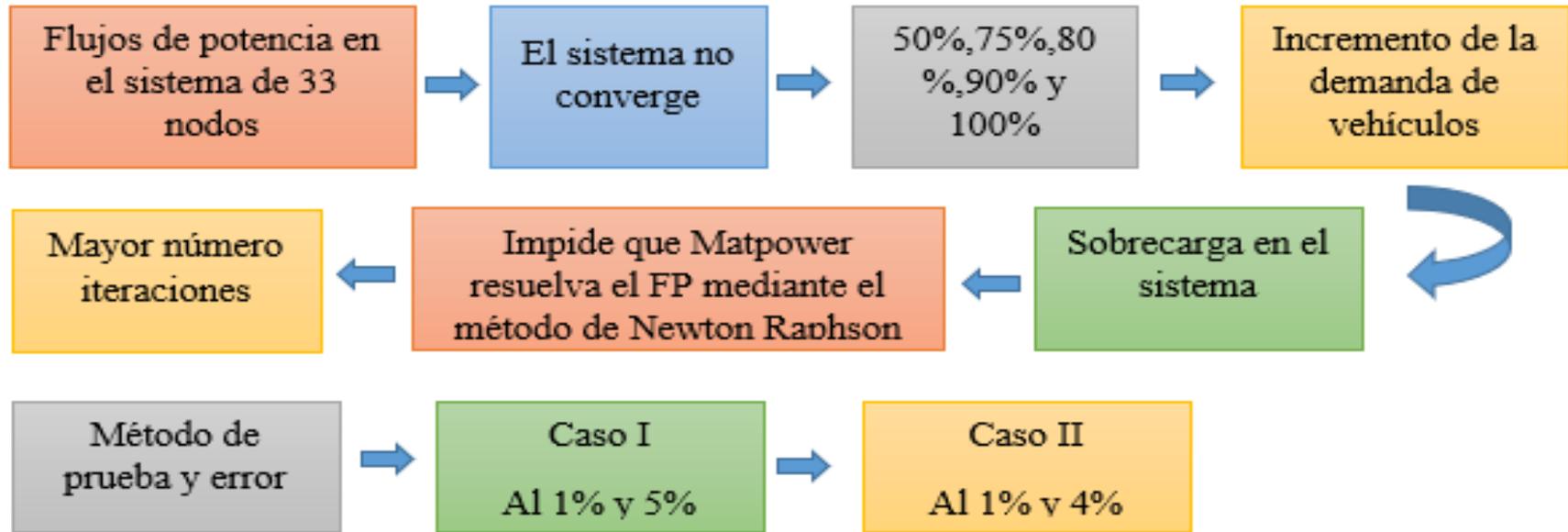
```
Plineastotal5=resultado5.branch(:,14)  
cargabilidad_lineas5=(Plineastotal5./Pmaxt5)*100
```



ANÁLISIS DE RESULTADOS



Verificación de PF ante la inserción de EV's



Nuevos porcentajes de Inserción de EV's para el análisis de PF

Porcentajes	1%	4%	5%
Nissan Leaf	142	570	712
Kia Soul	73	291	364
Renault Kangoo	67	267	333
BYD E6	22	89	111
Total	304	1216	1520

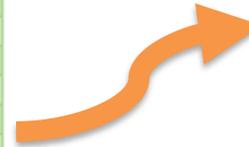


ANÁLISIS DE RESULTADOS



PF PARA CASO ORIGINAL DEL SISTEMA DE 33 NODOS

Desde el nodo	Hasta el nodo	Inyección del nodo	
		P (MW)	Q (MVar)
1	2	3,92	2,44
2	3	3,44	2,21
3	4	2,36	1,68
4	5	2,22	1,59
5	6	2,14	1,55
6	7	1,10	0,53
7	8	0,89	0,42
8	9	0,69	0,32
9	10	0,62	0,30
10	11	0,56	0,27
11	12	0,52	0,24
12	13	0,45	0,21
13	14	0,39	0,17
14	15	0,27	0,09
15	16	0,21	0,08
16	17	0,15	0,06
17	18	0,09	0,04
2	19	0,36	0,16
19	20	0,27	0,12
20	21	0,18	0,08
21	22	0,09	0,04
3	23	0,94	0,46
23	24	0,85	0,41
24	25	0,42	0,20
6	26	0,95	0,97
26	27	0,89	0,95
27	28	0,82	0,92
28	29	0,75	0,89
29	30	0,63	0,81
30	31	0,42	0,21
31	32	0,27	0,14
32	33	0,06	0,040
21	8	0,00	0,00



- Se presenta el PF para las potencias originales del sistema de 33 nodos antes de la inserción de EV's.
- Existe mayor potencia en la L1-2 debido a la cercanía con el generador
- Se toma en cuenta solo potencia activa



ANÁLISIS DE RESULTADOS



Designación de EV's para el 1% de inserción para CASO I y CASO II

Nodo #	Caso I Homogéneo al 1%					Nodo #	Caso II No Homogéneo al 1%				
	Nissan	Kia	Renault	Byd	# VE'S		Nissan	Kia	Renault	Byd	# VE'S
1	0	0	1	0	1	1	9	2	2	1	14
2	4	1	0	0	5	2	0	0	0	0	0
3	6	2	2	0	10	3	10	2	2	1	15
4	3	0	0	1	4	4	10	2	2	1	15
5	7	2	2	0	11	5	10	2	2	1	15
6	4	1	3	2	10	6	10	2	2	1	15
7	4	2	1	0	7	7	10	2	2	0	14
8	4	1	1	0	6	8	9	2	2	2	15
9	8	4	0	3	15	9	0	0	0	0	0
10	6	5	5	1	17	10	9	2	0	0	11
11	6	3	3	0	12	11	9	2	1	0	12
12	4	3	4	0	11	12	9	2	1	0	12
13	3	1	0	1	5	13	0	0	0	0	0
14	4	2	0	0	6	14	0	0	0	0	0
15	6	1	3	1	11	15	9	1	1	1	12
16	6	1	1	1	9	16	0	0	0	0	0
17	4	2	1	1	8	17	9	9	1	0	19
18	6	1	0	0	7	18	8	1	1	0	10
19	3	3	0	1	7	19	7	1	1	0	9
20	1	0	1	1	3	20	7	1	1	0	9
21	2	5	3	0	10	21	7	1	1	0	9
22	4	1	2	0	7	22	7	1	1	0	9
23	4	0	4	0	8	23	7	1	1	0	9
24	4	3	1	0	8	24	7	1	1	0	9
25	8	2	4	2	16	25	7	1	1	0	9
26	4	3	1	0	8	26	7	1	1	0	9
27	4	1	2	1	8	27	7	1	1	0	9
28	4	3	0	0	7	28	7	1	1	0	9
29	2	1	1	0	4	29	7	1	1	0	9
30	3	1	0	0	4	30	7	1	1	0	9
31	3	1	3	2	9	31	7	1	1	0	9
32	6	5	4	2	17	32	7	1	1	0	9
33	8	3	4		17	33	7	1	1	0	9
				Total		304				Total	304

Se realiza la designación basada en el Método probabilístico Monte Carlo al 1% con 304 EV's

Distribución aleatoria de EV's para todos los 33 nodos para CASO I

No se conectan EV's en 5 nodos al azar para el CASO II



ANÁLISIS DE RESULTADOS



Designación de Potencias para el 1% de inserción para CASO I y CASO II

Nodo #	Caso Homogéneo al 1%					Nodo #	Caso No Homogéneo al 1%				
	Nissan	Kia	Renault	Byd	Pot T kW		Nissan	Kia	Renault	Byd	Pot T kW
1	0	0	5.00	0	5.00	1	50.75	21.08	31.20	10.46	113.51
2	29.57	5.45	0	0	35.04	2	0	0	0	0	0
3	44.36	10.91	10.01	0	65.30	3	56.39	21.08	31.20	10.46	119.15
4	22.18	0	0	27.40	49.58	4	56.39	21.08	31.20	10.46	119.15
5	29.24	15.62	10.21	0	55.08	5	56.39	21.08	31.20	10.46	119.15
6	29.57	5.45	15.01	54.80	104.86	6	56.39	21.08	31.20	10.46	119.15
7	29.57	10.91	5	0	45.50	7	56.39	21.08	31.20	0	108.69
8	29.57	5.45	0	0	35.03	8	50.75	21.08	31.20	0	103.05
9	59.15	21.83	0	82.20	163.20	9	0	0	0	0	0
10	44.36	27.29	25.03	27.40	124.09	10	50.76	21.08	15.60	0	87.44
11	44.36	16.37	15.01	0	75.76	11	50.76	21.08	15.60	0	87.44
12	29.57	16.37	20.02	2	65.98	12	50.76	21.08	15.60	0	87.44
13	22.18	5.45	0	27.40	55.04	13	0	0	0	0	0
14	29.57	10.91	0	0	40.49	14	0	0	0	0	0
15	44.36	5.45	15.01	27.40	92.24	15	50.75	10.54	15.60	0	76.90
16	44.36	5.45	5.00	27.40	82.23	16	0	0	0	0	0
17	29.57	10.91	5.00	27.40	72.90	17	50.75	10.54	15.60	0	76.90
18	44.36	5.45	0	0	49.82	18	45.11	10.54	15.60	0	71.26
19	22.18	16.37	0	27.40	65.96	19	39.57	10.54	15.60	0	65.62
20	7.39	0	5.00	27.40	39.80	20	39.57	10.54	15.60	0	65.62
21	14.78	27.29	15.01	0	57.10	21	39.57	10.54	15.60	0	65.62
22	29.57	5.45	10.01	0	45.05	22	39.57	10.54	15.60	0	65.62
23	29.57	0	20.02	0	49.60	23	39.57	10.54	15.60	0	65.62
24	29.57	16.40	5.00	0	50.96	24	39.57	10.54	15.60	0	65.62
25	59.15	10.91	20.02	54.80	144.90	25	39.57	10.54	15.60	0	65.62
26	29.57	16.37	5.00	0	50.96	26	39.57	10.54	15.60	0	65.62
27	29.57	5.45	10.01	27.40	72.45	27	39.57	10.54	15.60	0	65.62
28	29.57	16.37	0	0	45.95	28	39.57	10.54	15.60	0	65.62
29	14.78	15.46	5.00	0	25.25	29	39.57	10.54	15.60	0	65.62
30	22.18	5.45	0	0	27.64	30	39.57	10.54	15.60	0	65.62
31	22.18	5.46	15.01	54.80	97.46	31	39.57	10.54	15.60	0	65.62
32	44.36	27.29	20.02	54.80	146.49	32	39.57	10.54	15.60	0	65.62
33	59.15	16.37	20.02	54.80	154.36	33	39.57	10.54	15.60	0	65.62
				Total	2291.07					Total	2273.53



La designación basada en el consumo de potencia de cada EV's que se conecta al sistema

Potencias acorde a la designación de EV's

Se registra una potencia de consumo para el CASO I de 2291.07 kW y para el CASO II 2273.53 kW



ANÁLISIS DE RESULTADOS

Designación de EV's para el 4% de inserción para CASO I y al 5% para CASO II



Nodo #	Caso I Homogéneo al 5%					Nodo #	Caso II No Homogéneo al 4%					
	Nissan	Kia	Renault	Byd	# VE'S		Nissan	Kia	Renault	Byd	# VE'S	
1	25	8	9	3	45	1	36	9	8	3	56	
2	24	10	11	6	51	2	37	9	8	3	57	
3	17	8	8	2	35	3	36	8	8	3	55	
4	22	11	12	6	51	4	36	8	7	2	53	
5	26	9	13	5	53	5	35	8	7	2	52	
6	16	7	8	1	32	6	35	8	7	2	52	
7	24	16	11	4	55	7	0	0	0	0	0	
8	25	6	15	3	49	8	34	7	6	2	49	
9	23	14	9	6	52	9	33	7	6	2	48	
10	27	15	11	6	59	10	33	7	6	2	48	
11	24	13	9	3	49	11	33	6	6	2	47	
12	21	7	12	2	42	12	0	0	0	0	0	
13	31	8	9	5	53	13	32	6	6	2	46	
14	27	10	10	6	53	14	32	6	5	2	45	
15	24	13	7	5	49	15	31	6	5	2	44	
16	16	12	4	3	35	16	31	6	5	2	44	
17	16	9	14	1	30	17	0	0	0	0	0	
18	23	8	9	3	43	18	30	5	5	2	42	
19	16	12	5	4	37	19	30	5	5	2	42	
20	22	15	16	5	58	20	30	5	4	1	40	
21	24	17	14	5	60	21	29	5	4	1	39	
22	25	12	10	3	50	22	29	5	4	1	39	
23	21	11	9	1	42	23	29	4	4	1	38	
24	16	9	9	4	38	24	28	5	4	1	37	
25	24	11	13	3	51	25	0	0	0	0	0	
26	16	10	5	3	34	26	28	4	4	1	37	
27	24	10	9	6	49	27	28	4	4	1	37	
28	23	17	10	2	52	28	28	4	4	1	37	
29	12	12	8	3	35	29	0	0	0	0	0	
30	24	12	7	5	48	30	26	4	3	1	34	
31	22	14	7	3	46	31	26	3	3	1	33	
32	22	10	5	1	38	32	26	3	3	1	33	
33	15	11	8	2	36	33	25	3	3	1	32	
					Total	1520					Total	1216

Se realiza la designación basada en el Método probabilístico Monte Carlo al 5% con 1520 EV's para CASO I y 1216 al 4% para el CASO II

Distribución aleatoria de EV's para todos los 33 nodos para CASO I

No se conectan EV's en 5 nodos al azar para el CASO II



ANÁLISIS DE RESULTADOS



Designación de Potencias para el 5% de inserción para CASO I y al 4% para el CASO II

Nodo #	Caso Homogéneo al 5%					Nodo #	Caso No Homogéneo al 4%				
	Nissan	Kia	Renault	Byd	Pot T		Nissan	Kia	Renault	Byd	# VE'S
1	91.74	46.14	73.71	17.08	228.69	1	106.24	34.56	25.09	93.74	259.56
2	91.74	57.68	90.09	34.16	273.69	2	109.19	34.56	25.09	93.74	262.61
3	62.38	46.14	65.52	11.38	185.45	3	106.24	30.72	25.09	93.74	255.82
4	80.73	63.45	98.29	34.16	276.64	4	106.24	30.72	21.96	62.49	221.43
5	95.41	51.91	114.67	28.47	290.47	5	103.29	30.72	21.96	62.49	218.48
6	58.71	40.38	55.62	5.69	170.32	6	103.29	30.72	21.96	62.49	218.48
7	88.07	92.29	90.09	22.77	293.25	7	0	0	0	0	0
8	91.74	34.61	122.86	17.08	266.30	8	100.34	26.88	18.82	62.49	208.55
9	84.40	80.76	73.71	34.16	273.05	9	97.39	26.88	18.82	62.49	205.60
10	102.75	86.53	90.09	34.16	313.55	10	97.39	26.88	18.82	62.49	205.60
11	88.07	74.99	73.71	17.08	253.87	11	97.39	23.04	18.82	62.49	201.76
12	77.06	40.38	98.29	11.38	227.12	12	0	0	0	0	0
13	113.76	46.14	73.71	28.47	262.10	13	94.44	23.04	18.82	62.49	198.80
14	102.75	57.68	81.90	34.16	276.51	14	94.44	23.04	15.68	62.49	195.67
15	88.07	74.99	57.33	28.47	247.87	15	91.48	23.04	15.68	62.49	192.72
16	58.71	69.22	32.76	17.08	177.78	16	91.48	23.04	15.68	62.49	192.72
17	58.71	51.91	114.67	5.69	231.00	17	0	0	0	0	0
18	84.40	46.14	73.71	17.08	221.35	18	88.53	19.20	15.68	62.49	185.92
19	58.71	69.22	40.95	22.77	191.67	19	88.53	19.20	15.68	62.49	185.92
20	84.40	86.53	131.05	28.47	330.46	20	88.53	19.20	12.54	31.24	151.54
21	91.74	98.06	114.67	28.47	332.95	21	85.58	19.20	12.54	31.24	148.59
22	91.74	69.22	81.90	17.08	259.22	22	85.58	19.20	12.54	31.24	148.59
23	77.06	63.45	73.71	5.70	219.93	23	85.58	15.36	12.54	31.24	144.79
24	58.71	51.91	73.71	22.77	207.13	24	82.63	15.36	12.54	31.24	141.79
25	88.07	63.45	106.48	17.08	275.09	25	0	0	0	0	0
26	58.71	57.68	40.95	17.08	174.44	26	82.63	15.36	12.54	31.24	141.79
27	91.74	57.68	73.71	34.16	257.31	27	82.63	15.36	12.54	31.24	141.79
28	84.40	98.06	81.90	11.38	275.77	28	82.63	15.36	12.54	31.24	141.79
29	44.03	69.22	65.52	17.08	195.87	29	0	0	0	0	0
30	38.07	69.22	57.33	28.47	243.10	30	76.73	15.36	9.41	31.24	132.75
31	80.73	80.76	57.33	17.08	235.91	31	76.73	11.50	9.41	31.24	128.91
32	80.73	57.68	40.95	5.69	185.07	32	76.73	11.52	9.41	31.24	128.91
33	55.04	63.45	65.52	11.38	195.41	33	73.78	11.52	9.41	31.24	125.96
				Total	8048.34					Total	5086.84



La designación basada en el consumo de potencia de cada EV's que se conecta al sistema

Potencias acorde a la designación de EV's

Se registra una potencia de consumo para el CASO I de 8084.34 kW y para el CASO II 5086.84 kW

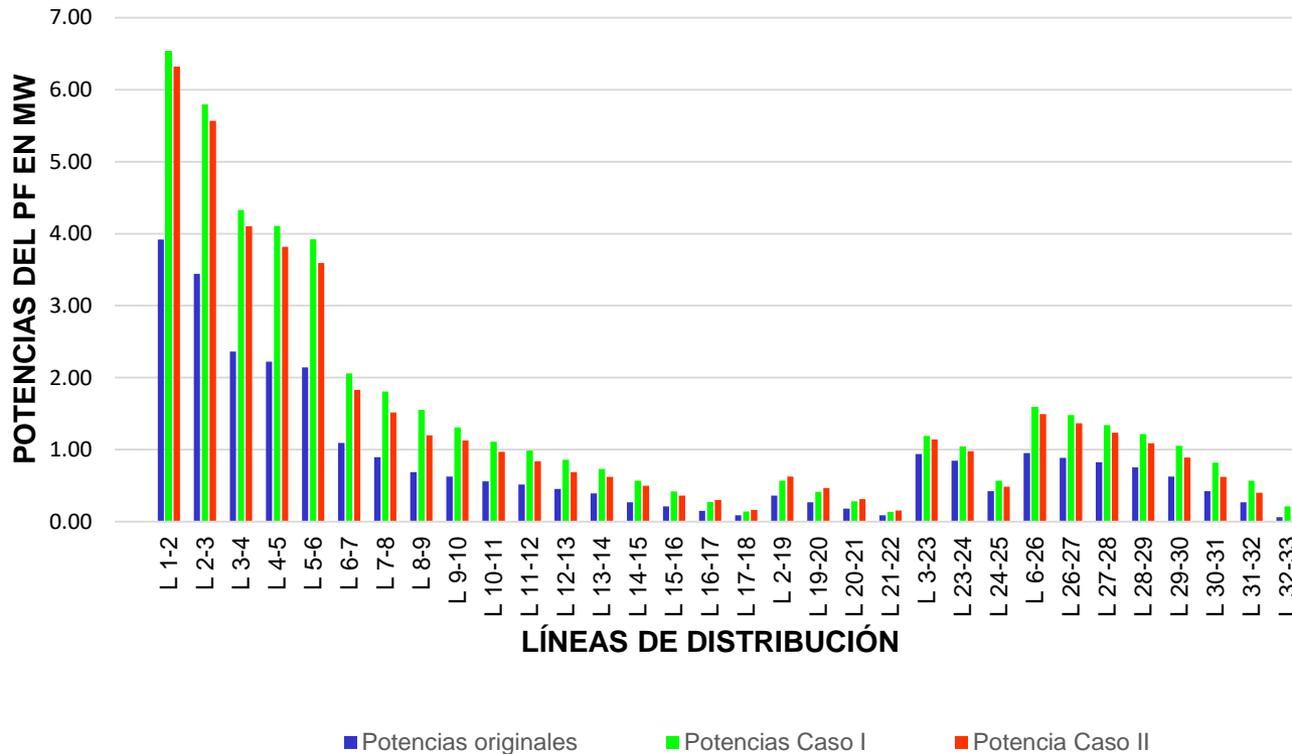


ANÁLISIS DE RESULTADOS



Potencias para el PF para el 1% de inserción para CASO I y CASO II

POTENCIAS DEL PF SIN INSERCIÓN DE EV's VS. POTENCIAS DEL PF PARA CASO I Y CASO II AL 1% DE INSERCIÓN DE EV's



Se observa aumento en la potencia de las líneas

En las líneas más cercanas al generador se produce mayor consumo de potencia.

Con respecto a la potencia de PF original de 3.92MW, sube para L1-2 a 6.53MW CASO I y 6.32MW CASO II

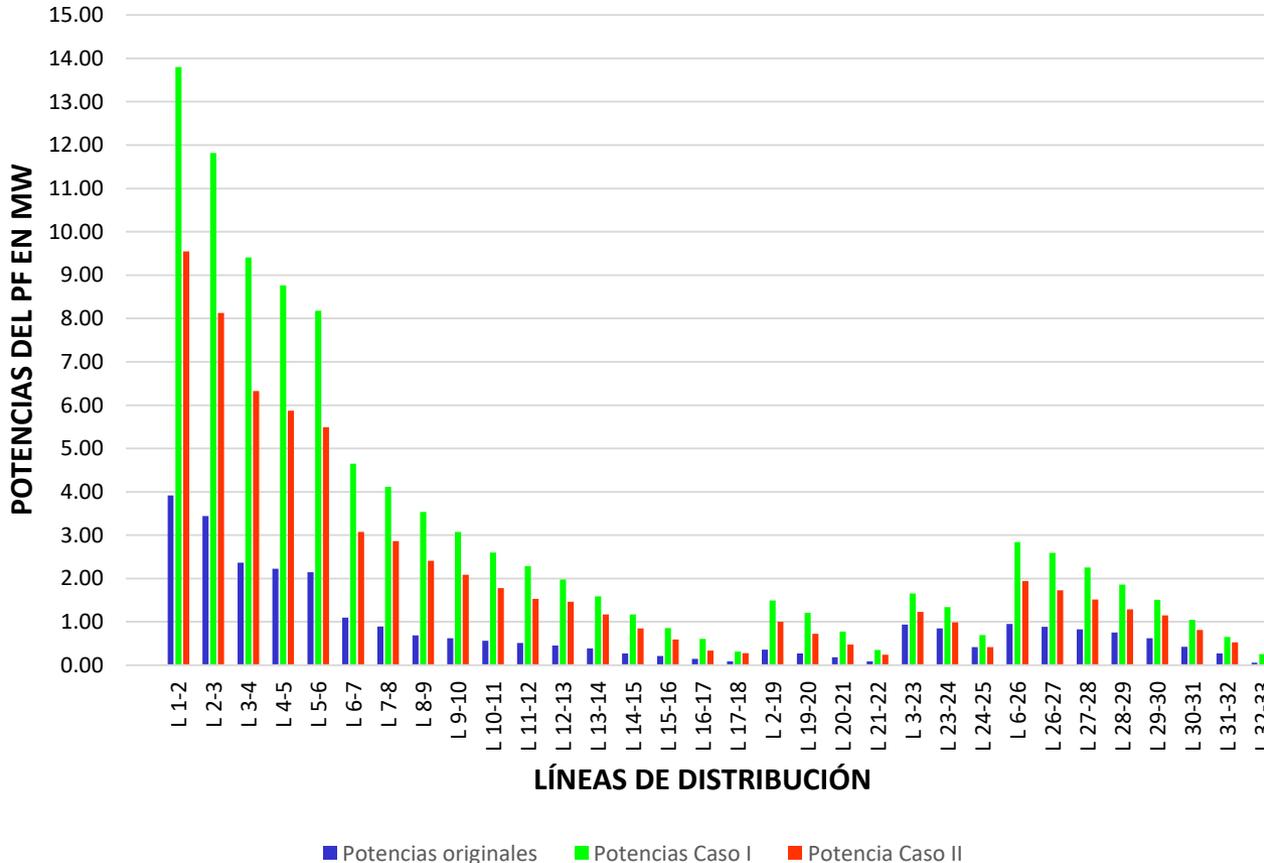


ANÁLISIS DE RESULTADOS



Potencias para el PF para el 5% de inserción para CASO I y 4% para CASO II

POTENCIAS DEL PF SIN INSERCIÓN DE EV's VS. POTENCIAS DEL PF PARA EL CASO 1 AL 5% Y CASO II AL 4% DE INSERCIÓN DE EV's



Se observa aumento en la potencia de las líneas

En las líneas más cercanas al generador se produce mayor consumo de potencia.

Con respecto a la potencia de PF original de 3.92MW, sube para L1-2 a 13.8MW CASO I y 9.55MW CASO II



ANÁLISIS DE RESULTADOS



Cargabilidad de las líneas de distribución para el sistema de 33 nodos.

LINEAS	Cargabilidad sin inserción EV's	Cargabilidad con inserción de EV's			
		Inserción al 1%		Inserción al 5% y 4%	
		CASO I	CASO II	CASO I	CASO II
L 1-2	37.6578	62.7839	60.7481	132.668	91.7994
L 2-3	33.1076	55.7345	53.5157	113.5819	78.1303
L 3-4	22.7128	41.6264	39.4593	90.4216	60.7816
L 4-5	21.3681	39.4831	36.6961	84.2601	56.4511
L 5-6	20.6116	37.7125	34.5437	78.6477	52.7959
L 6-7	10.528	19.7787	17.5915	44.6764	29.5806
L 7-8	8.5872	17.3582	14.5761	39.5689	27.5173
L 8-9	6.6182	14.9222	11.5373	33.9986	23.1265
L 9-10	6.0013	12.5859	10.8451	29.5697	20.0845
L 10-11	5.3903	10.6738	9.3223	24.9633	17.14
L 11-12	4.9524	9.493	8.0341	21.9438	14.7119
L 12-13	4.3672	8.2518	6.5952	19.0227	14.0557
L 13-14	3.7649	7.0561	5.9607	15.2681	11.282
L 14-15	2.6044	5.4887	4.7898	11.2885	8.1739
L 15-16	2.0242	4.0093	3.462	8.2176	5.7039
L 16-17	1.4448	2.6312	2.8772	5.8621	3.2492
L 17-18	0.8656	1.3453	1.5517	3.0024	2.6579
L 2-19	3.4714	5.4767	6.013	14.3589	9.6302
L 19-20	2.6047	3.9741	4.5129	11.6287	6.9676
L 20-21	1.7316	2.7152	2.9955	7.4505	4.5953
L 21-22	0.8655	1.299	1.497	3.3692	2.296
L 3-23	9.0318	11.4387	10.9553	15.9294	11.8244
L 23-24	8.1361	10.0503	9.4164	12.8611	9.5172
L 24-25	4.0495	5.4511	4.6841	6.7141	4.0501
L 6-26	9.1392	15.3549	14.3825	27.3029	18.6208
L 26-27	8.5374	14.2373	13.1291	24.8897	16.6078
L 27-28	7.9287	12.9006	11.8656	21.6486	14.5826
L 28-29	7.2433	11.6775	10.4775	17.8562	12.3815
L 29-30	6.0146	10.1442	8.5754	14.496	11.0681
L 30-31	4.0547	7.8865	5.9663	10.0902	7.7859
L 31-32	2.5975	5.4536	3.8617	6.2692	5.0494
L 32-33	0.5769	2.0233	1.208	2.4575	1.7858

Cargabilidad para el 1%, 4% y 5% de Inserción

Mayor cargabilidad del sistema en las líneas L1-2, L2-3, L3-4, L4-5 Y L5-6

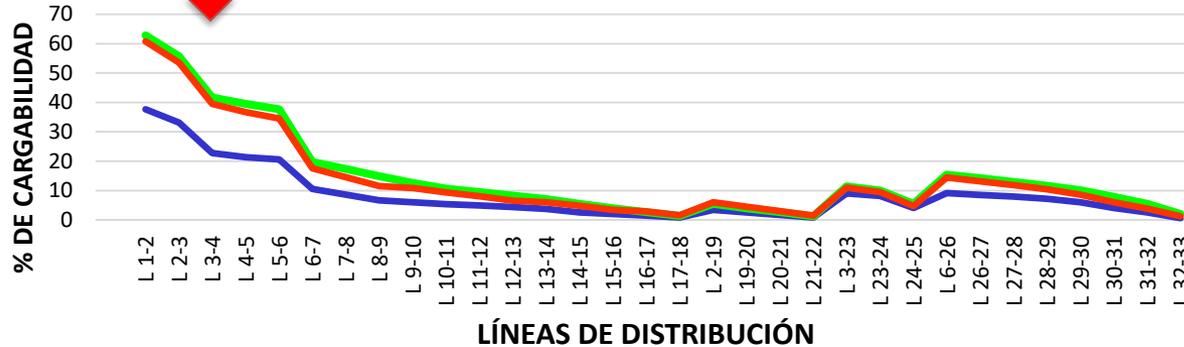
En general el sistema funciona sin problema



ANÁLISIS DE RESULTADOS



CARGABILIDAD DE LAS LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN AL 1% DE INSERCIÓN DE EV's



Cargabilidad del sistema soporta la inserción máxima al 5%

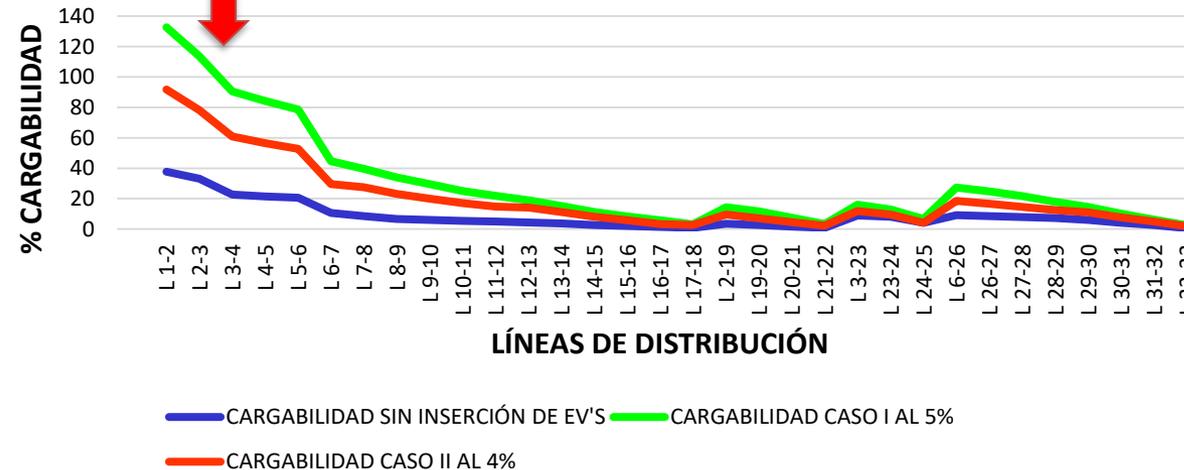
1% de inserción

Para el CASO I se presentan cargabilidad de 62.78% para el CASO II 60.74% en relación a la original 37.65% en la L1-2

5% y 4% de inserción

Para el CASO I se presenta cargabilidad de 132.66% para el CASO II 91.79% en relación a la original 37.65% en la L1-2

CARGABILIDAD DE LAS LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN AL 5% Y 4% DE INSERCIÓN DE EV's



CONCLUSIONES

- Mediante la investigación, se pudo determinar un marco metodológico adecuado para realizar la modelación de las baterías de los vehículos eléctricos basados en el método de Chen, el mismo, permite calcular los voltajes y potencias de las baterías para las diferentes marcas mediante uso del software Matlab y esto a su vez, permitió realizar la simulación de flujos de potencia, en donde se pudo observar el comportamiento de las líneas ante la inserción de dichos vehículos.
- Se utilizó el método probabilístico de Monte Carlo el cual nos permite de forma aleatoria realizar la designación de los vehículos eléctricos, así como también la designación de potencias para cada uno de ellos, acorde a los casos propuestos y descritos en la metodología (CASO I Y CASO II), para cada uno de los 33 nodos según el caso de estudio de la IEEE.
- Para el presente caso de estudio se determinó que el sistema de distribución de 33 nodos propuesto por la IEEE, no soporta una inserción masiva de vehículos eléctricos considerando un universo de 30410 EV's, ya que al realizar los PF no era posible la convergencia del sistema, por ende, el análisis de cargabilidad de las líneas al 50%, 75%, 80%, 90% y 100% de este universo no se pudo realizar. Para ello se realizó un ensayo de prueba y error para determinar los nuevos porcentajes de inserción a los que el sistema si converge y es posible realizar los PF para así, determinar la cargabilidad de las líneas. De esta manera se realizó el análisis de cargabilidad para porcentajes de inserción de EV's para el CASO I al 1% y 5% y para el CASO II al 1% y al 4%.



CONCLUSIONES

- En el presente trabajo de titulación se realizó el análisis de cargabilidad para dos casos de estudio según la designación de EV's y potencias, para lo cual se llevó a cabo la comparación de la cargabilidad de las líneas antes y después de la inserción de EV's. Dándonos como resultados al 1%, para el CASO I, que la línea más sobrecargada es la L1-2 con 62.78% de cargabilidad y una potencia de 6.53 MW, para el CASO II, la línea más sobrecargada también es la L1-2 con una cargabilidad del 60,74% y la potencia en la línea de 6.32 MW. De la misma manera se realizó el análisis al 5% para el CASO I el cual arrojo los siguientes resultados, que la línea más sobrecargada sigue siendo la L1-2 con una cargabilidad del 132.66% y una potencia de 13.8 MW, para el CASO II se analizó al 4% de inserción obteniendo así una cargabilidad en la L1-2 del 91.79% y una potencia de 9.55MW, mientras que la cargabilidad del sistema de 33 nodos en la L1-2 sin inserción de EV's es de 37,65% y tiene una potencia de 3.92MW. En la figura 34 se puede observar que en relación al sistema sin inserción de EV's, tanto la cargabilidad como la potencia aumentan acorde al porcentaje de inserción.



RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar el análisis de cargabilidad de las líneas de transmisión para poder observar el comportamiento de las mismas ante la integración masiva de vehículos de esta manera, verificar si bajo estas condiciones el sistema soporta tal inserción.
- Para los flujos de potencia PF es necesario comprender los parámetros según el método aplicar, para la resolución del mismo en el software MatPower ya que de esto dependerá, determinar la potencia en las líneas y posteriormente la cargabilidad de las líneas de distribución.
- Debido a la cantidad de datos que son procesados por el programa de simulación, es necesario tener un orden secuencial de todas las variables con el fin de poder manejar las mismas de una manera más adecuada y así evitar errores al momento de llamar a dichas variables.



Trabajos futuros

Para el presente trabajo de titulación se desea realizar un artículo científico en donde se plasme la investigación realizada, para ser publicada en una revista científica. Además se desea realizar el mismo análisis visto desde un sistema de transmisión



¡Gracias!



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA