

**Escuela Superior Politécnica del Litoral**

**Facultad de Ingeniería Eléctrica y Computación**

**“ESTUDIO DE IMPACTO DE UN SISTEMA ELECTRICO  
MEDIANTE USO DE CURVAS PV Y QV ANTE CAMBIOS DE  
TOPOLOGÍA Y CONEXIÓN DE EQUIPOS”**

**Proyecto Integrador**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero en Electricidad**

Presentado por:

Kevin Jordan López Peralta

Guayaquil - Ecuador

Año: 2023

## Dedicatoria

---

El presente proyecto lo dedico especialmente a mi abuela Maria Lourdes Mejia Viteri, por acompañarme durante toda mi carrera de estudios hasta antes de empezar este proyecto.

A mis padres la Msc. Yesenia Del Pilar Peralta Mejia y el Msc. Washington Juan Lopez Carrillo, por su acompañamiento durante mi carrera universitaria, por sus ánimos a mi mejora continua como persona y como profesional. A mis hermanos por ser mi motivación para lograr mis metas.

A la Familia Ramirez Galeotti, por ser una segunda familia, una alivio y gran ayuda para mi formación académica, personal y profesional.

## Agradecimientos

---

Agradezco a Dios, por su bendición, y por estar presente en mi vida y en la de toda mi familia.

A los docentes de la Escuela Superior Politecnica del Litoral, por impartir los conocimientos necesarios para una prospera carrera profesional.

A mi tutor el Msc. Ivan Endara por sus asesorías, las cuales fueron fundamentales para el desarrollo y finalización del presente documento.

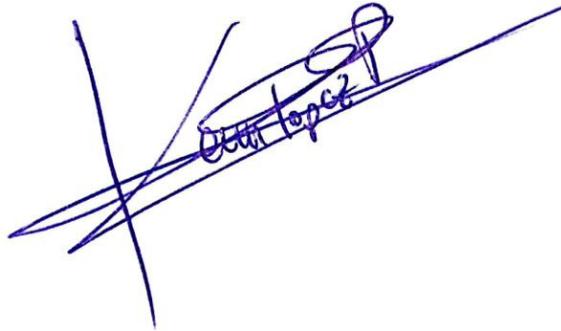
Especial agradecimiento a la Ing. Jenniffer Canales y a mi compañero de carrera Kenneth Quimi, los cuales fueron de gran ayuda para el desarrollo de este documento, aportando con sus conocimientos.

Al Ing. Gabriel Viteri, por ser comprensivo y otorgarme la facilidad para el avance del presente documento, además de a mis amigos del trabajo, el departamento de Ingeniería, de la carrera, de mi vida personal, Lucia y Leonel, gracias por todo.

## Declaración Expresa

---

“Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Kevin Jordan Lopez Peralta* y doy mi consentimiento para que la ESPOC realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



---

Kevin Jordan Lopez Peralta

## Evaluadores

0925688061  
IVAN DAVID  
ENDARA VELEZ

Firmado digitalmente  
por 0925688061 IVAN  
DAVID ENDARA VELEZ  
Fecha: 2023.09.24  
21:26:48 -05'00'

---

**Ing. Iván David Endara Vélez**

Profesor de Materia

0925688061  
IVAN DAVID  
ENDARA VELEZ

Firmado digitalmente por  
0925688061 IVAN  
DAVID ENDARA VELEZ  
Fecha: 2023.09.24  
21:26:37 -05'00'

---

**Ing. Iván David Endara Vélez**

Tutor de proyecto



## Resumen

A consecuencia de los cambios significativos que se han producido en los sistemas eléctricos de potencia en los últimos años, debido a la creciente integración de fuentes de energía renovable y la incorporación de nuevos dispositivos y tecnologías de control de la red, los estudios de estabilidad han tomado mayor campo por lo que se analizará el impacto del cambio de topología por medio de la obtención de curvas características del sistema como las P-V y Q-V.

Se realizará el cálculo de las curvas P-V y Q-V en un sistema de transmisión de 30 barras, provenientes de modelos simulados IEEE. Se obtendrán valores de un flujo de potencia, y variables importantes como voltajes, ángulos, potencias activas y potencias reactivas, agrupándolos en un vector de  $1 \times N$ , donde N es el número de barras que se tiene en el sistema eléctrico.

El análisis del sistema será en base al flujo de potencia continuo, con una potencia estimada de 0.1 por unidad, para cada flujo de potencia, además, de realizarlo por dos métodos distintos de flujo continuo, usando todos los generadores y usando cada generador del sistema, observando los cambios que se genera en cada flujo de potencia y hacer un estudio de esto, como a su vez identificar que barras son las más sensibles a este aumento, los cuales son las barras que hace que el sistema colapse, con la identificación de las barras, se tomara, la decisión de usar compensadores reactivos y un regulador de tensión, para estudiar las mejoras que estos cambios da al sistema.

**Palabras Clave:** Estabilidad, Tensión, Márgenes, Balance, Flujo de potencia, P-V, Q-V.

## **Abstract**

Because of the significant changes that have taken place in the electrical power systems in the last years, due to the increasing integration of renewable energy sources and the incorporation of new devices and technologies for network control, stability studies have become more important. Therefore, the impact of the topology change will be analyzed by obtaining system characteristic curves such as P-V and Q-V.

P-V and Q-V curves will be calculated for a 30-bus transmission system from IEEE simulated models. Values of a power flow and important variables such as voltages, angles, active powers, and reactive powers will be obtained, grouping them in a vector of  $1 \times N$ , where N is the number of busbars in the electrical system.

The analysis of the system will be based on the continuous power flow, with an estimated power of 0.1 per unit, for each power flow, in addition, to perform it by two different methods of continuous flow, using all the generators and using each generator of the system, observing the changes that are generated in each power flow and make a study of this, as well as identify which bars are the most sensitive to this increase, which are the bars that makes the system collapse, with the identification of the bars, the decision to use reactive compensators and a voltage regulator, to study the improvements that these changes gives to the system will be taken.

**Keywords:** Stability, Voltage, Margins, Balance, Power flow, P-V, Q-V.

## Indice general

Evaluadores .....	5
Resumen .....	I
Abstract .....	II
Indice general .....	III
Abreviaturas .....	V
Índice de figuras .....	VI
Índice de tablas .....	VII
Capítulo 1 .....	8
1.1    Introducción .....	8
1.2    Descripción del problema .....	9
1.3    Justificación del problema .....	10
1.4    Objetivos .....	11
1.4.1    Objetivo general .....	11
1.4.2    Objetivos específicos.....	11
1.5    Marco teorico .....	12
1.5.1    Estabilidad del sistema .....	12
1.5.2    Curvas P-V .....	12
1.5.3    Curvas Q-V .....	13
1.5.4    Métodos de Compensación Reactiva .....	13
1.5.5    Modelo de Carga estática. ....	14
Capitulo 2 .....	15
2.1    Metodología .....	15
2.1.1    Flujo Inicial .....	20
2.1.2    Flujo de potencia continuado con una variación de 0.1 PU .....	20
3.    Capítulo 3 .....	26
3.1    Resultados .....	26

3.1.1	Resultados del incremento de pasos de potencia activa y reactiva en la barra 6 considerando generación en la barra 1 .....	26
3.1.2	Resultados del incremento de pasos de potencia activa en la barra 6 y reactiva en la barra 4 considerando generación solo en la barra 1. ....	27
3.1.3	Resultados del incremento de pasos de potencia activa y reactiva en la barra 6 considerando todos los generadores. ....	29
3.1.4	Resultados del incremento de pasos de potencia activa en la barra 6 y reactiva en la barra 4 considerando todos los generadores. ....	30
3.1.5	Resultados de considerar un regulador de tensión en la barra 25 para control de tensión provocado por incremento de P en la barra 26, con un solo generador. ....	32
3.1.6	Resultados de considerar un regulador de tensión en la barra 25 para control de tensión provocado por incremento de P en la barra 26, con todos los generadores. ....	33
4.	Capítulo 4 .....	34
4.1	CONCLUSIONES.....	34
4.2	RECOMENDACIONES.....	35
	BIOGRAFIA .....	36
	APENDICE.....	37
	Apéndice A: TesisBarra30.m.....	37
	Apéndice B: Ifnewton.m .....	40
	Apéndice C: Busout.m .....	43
	Apéndice D: Ifybus.m .....	43
	Apéndice E: Resultados de cada generador por aumentos de pasos de 0.1 PU .....	44

**Abreviaturas**

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
SEP	Sistema Eléctrico de Potencia
P-V	Potencia Activa-Voltaje
Q-V	Potencia Reactiva-Voltaje
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
PU	Por Unidad
kW	Kilo Watt

## Índice de figuras

Figura 1.5.2.1 Curva Normal P-V .....	13
Figura 1.5.3.1; Curva ideal Q-V.....	13
Figura 1.5.5.1: Sistema de 30 Barras IEEE [10].....	15
Figura 2.1.1.1: Porcentaje de cada generador en el sistema de 30 Barras con Matpower.....	20
Figura 2.1.2.1 Simulación principal del sistema de 30 barras .....	21
Figura 2.1.2.2: Grafica de Curva PV de la Barra 2 con cambios de 0.1 .....	22
Figura 2.1.2.3: Grafica de Curva QV de la barra 2 con cambios de 0.1 .....	22
Figura 2.1.2.4: Grafica de P-Delta de la barra 2 con aumentos de 0.1.....	23
Figura 2.1.2.5: Grafica P-V de todas las barras con el aumento de potencia en la Barra 6 .....	25
Figura 2.1.2.6: Grafica P-Delta de todas las barras con el aumento de potencia en la Barra 6	25
Figura 3.1.1.1: Grafica P-V de la Barra 6 con la Compensación Reactiva .....	26
Figura 3.1.1.2: Grafica P-Delta de la Barra 6 con la Compensación Reactiva .....	27
Figura 3.1.2.1:Grafica P-V de la Barra 4 con la Compensación Reactiva .....	27
Figura 3.1.2.2: Grafica P-Delta de la Barra 4 con la Compensación Reactiva .....	28
Figura 3.1.3.1: Grafica P-V de la Barra 6 con la Compensación Reactiva con todos los generadores.....	29
Figura 3.1.3.2: Grafica P-Delta de la Barra 6 con la Compensación Reactiva con todos los generadores.....	30
Figura 3.1.4.1: Grafica P-V de la Barra 4 con la Compensación Reactiva con todos los generadores.....	30
Figura 3.1.4.2: Grafica P-Delta de la Barra 4 con la Compensacion Reactiva con todos los generadores.....	31
Figura 3.1.5.1: Grafica P-V de la Barra 26 con un Regulador de tensión en la Barra 25.....	32
Figura 3.1.5.2: Grafica P-Delta de la Barra 26 con un Regulador de tensión en la Barra 25.....	32
Figura 3.1.6.1: Grafica P-V de la Barra 26 con un Regulador de Tensión en la Barra 25 con todos los generadores .....	33
Figura 3.1.6.2: Grafica P-Delta de la Barra 26 con un Regulador de Tensión en la Barra 25 con todos los generadores.....	33

**Índice de tablas**

Tabla 1.5.5.1: Tabla de datos del Sistema de prueba de 30 Barras IEEE [10] .....	16
Tabla 1.5.5.2: Datos de las Líneas de transmisión en base 100MVA [10].....	17
Tabla 2.1.2.1: Resultados generales de potencia de colapso de cada generador con Barra de aumento de potencia .....	24

# Capítulo 1

## 1.1 Introducción

En los últimos años, los Sistemas Eléctricos de Potencia (SEP) han experimentado importantes transformaciones debido al crecimiento de las energías renovables y la integración de nuevas tecnologías en la infraestructura eléctrica. Estos cambios han llevado a una evolución en la topología de los sistemas, así como a la conexión de equipos de generación distribuida y dispositivos de control de red, como resultado, ha surgido la necesidad de comprender y evaluar el impacto de estos cambios, en las curvas de potencia-voltaje (P-V) y potencia reactiva-voltaje (Q-V) de los sistemas eléctricos y buscar su relación con la estabilidad general del sistema de potencia.

El análisis de las gráficas P-V y Q-V, es una de las formas de analizar la estabilidad de un SEP, esta es la más sencilla de realizar, pero poco usadas debido a la cantidad excesiva de barras en un sistema de transmisión, por ello se usan métodos distintos. Estas graficas aportan información relevante para la interpretación del SEP, como lo son el Voltaje, la Potencia y el Angulo, los cuales son factores importantes para la estabilidad del sistema.

El objetivo de este artículo es estudiar el impacto que los cambios de topología y la conexión de equipos tienen en las curvas descriptivas de los sistemas eléctricos de potencia y comprender cómo la adición o eliminación de generadores, la variación de la demanda de energía, el aumento de barras y la conexión de dispositivos de generación distribuida, afectan estas curvas y, por ende, el comportamiento global del sistema desencadenando eventos como inestabilidad de tensión o colapsos de voltaje.

Los SEP a estudiar en este documento son el sistema de transmisión, debido a su función de dar cobertura a áreas de interés, se considera que en estos grupos las causas fundamentales por las que un sistema puede alcanzar el colapso de tensiones como corrientes por las líneas demasiado elevadas que provocan grandes caídas de tensiones en las mismas, la saturación del límite máximo de generación de potencia reactiva en un generador, pérdida de líneas por sobrecalentamiento o el aumento de la carga hasta un punto de colapso y otros elementos, situaciones a considerarse en la planificación de los sistemas eléctricos de potencia. [1]

Como resultado ante estos problemas ha surgido la necesidad de comprender y evaluar el impacto de estos cambios en las curvas de potencia-voltaje (P-V) y potencia-reativa-voltaje (Q-V) de los sistemas eléctricos, debido al fáciles accesos de estas curvas por medio de flujos de potencia, además de una rápida toma de decisiones ante cambios al sistema, lo cual se convierten en métodos de análisis más rápidos y fáciles de obtener. El conocimiento generado permitirá tomar decisiones informadas en cuanto al diseño, operación y gestión de los sistemas eléctricos de potencia, fomentando así una mayor eficiencia, confiabilidad y sostenibilidad en el suministro de energía eléctrica.

## **1.2 Descripción del problema**

En el estudio de las curvas características se requiere seleccionar un sistema eléctrico, uno de transmisión específicamente, el cual será elegido de las distintas plantillas de IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), con el fin de buscar su balance por medio del cambio constante de cargas reactivas, activas, observando el colapso del sistema y luego analizar que variables son la causante de este efecto. En base a ello se usa las curvas P-V y Q-V, con las cuales analizar la estabilidad y los márgenes de operación de los elementos y nodos del sistema.

Las variables que utilizar son los voltajes, los ángulos, las potencias activas y potencias reactivas, agrupándolos en un vector de  $1 \times N$ , donde  $N$  es el número de barras que tiene el sistema eléctrico verificando que ninguno de sus límites sea violado por compensar otras características. Los resultados obtenidos en este estudio proporcionarán información valiosa para los operadores de sistemas eléctricos, los planificadores de redes y los investigadores en el campo de la ingeniería eléctrica al realizar los cambios en la topología, con ello estudiar los cambios.

### 1.3 Justificación del problema

El crecimiento de la demanda eléctrica amerita la búsqueda de nuevas formas de conexión, por medio de nuevas tecnologías o aumento del número de barras en el sistema. Obteniendo como consecuencia un mayor número de variables que se deben tomar en cuenta, para los estudios de estabilidad. Los cambios de la topología en la red eléctrica proporcionan cambios de voltaje y de frecuencia logrando de esta forma que se necesite métodos para mantener la estabilidad en el sistema, por ello se han encontrado diversas formas y métodos de cumplir con la estabilidad, en el sistema.

Por ello el conocimiento y la comprensión del impacto de los cambios de topología y la conexión de equipos en las curvas P-V y Q-V son fundamentales para garantizar la estabilidad y el funcionamiento eficiente de los sistemas eléctricos de potencia. Estas curvas son indicadores clave del comportamiento y rendimiento de los sistemas, y su correcta evaluación y comprensión son esenciales para la planificación, operación y mantenimiento de la red eléctrica.

La investigación aborda la cargabilidad de líneas de transmisión y el aumento o disminución con el aumento de potencia activa, en donde estos resultados obtenidos permitirán

identificar el impacto de los cambios repentinos en las líneas, lo que facilitará el diseño y la implementación de soluciones adecuadas para mitigar cualquier efecto adverso.

Además, este estudio contribuirá al avance del conocimiento científico y tecnológico en el campo de la ingeniería eléctrica. Proporcionará nuevos datos y resultados empíricos que enriquecerán la literatura existente sobre el impacto de los cambios de topología y la conexión de equipos en los sistemas eléctricos de potencia.

## **1.4 Objetivos**

### ***1.4.1 Objetivo general***

Estudiar el impacto de los cambios de topología sobre un sistema eléctrico de transmisión después de modificaciones de topología por medio del estudio de sus curvas descriptivas, siendo estas las curvas P-V y Q-V, usando el flujo de potencia para obtener estas curvas.

### ***1.4.2 Objetivos específicos***

- Definir qué sistema es balanceado y que sistema es desbalanceado, por medio flujos de potencia, realizados en el programa de Matlab.
- Analizar la robustez de un sistema de barras IEEE por medio de las curvas P-V y Q-V, en base a un flujo de potencia continuo.
- Inferencia las soluciones a estas consecuencias por medio de uso de compensadores de línea o de colocación de un banco de capacitores.
- Poner a prueba el uso de un regulador de tensión en un punto del sistema para el control del sistema evitando el colapso inmediato.

## **1.5 Marco teorico**

### **1.5.1 Estabilidad del sistema**

La tendencia de un sistema de energía a desarrollar fuerzas restauradoras iguales o mayores que las fuerzas perturbadoras para mantener el estado de equilibrio se conoce como estabilidad. Si se superan las fuerzas perturbadoras, se dice que el sistema permanece estable. El problema de estabilidad se refiere al comportamiento de las máquinas síncronas después de una perturbación. Para facilitar el análisis, los problemas de estabilidad generalmente se dividen en dos categorías principales: estabilidad en estado estacionario y estabilidad transitoria. En estado estable, la estabilidad se refiere a la capacidad del sistema de energía para recuperar el sincronismo después de perturbaciones pequeñas y lentas. [1]

La estabilidad de un SEP va de la mano del voltaje, lo cual influye mucho en los sistemas de generación, transmisión y distribución, motivo suficiente para desarrollar métodos para el manejo y la creación de un sistema capaz de soportar los cambios abruptos, en pocas palabras, mejorar la robustez del sistema. Por lo tanto, saber que es la estabilidad del sistema es importante. [2]

### **1.5.2 Curvas P-V**

Las curvas P-V son utilizadas para el análisis conceptual de la estabilidad de tensión. Permiten determinar la máxima potencia activa que se puede transmitir hacia un centro de carga, sin producir colapso de tensión [3]

La destaca la operación de un SEP, que está enfocada en la parte superior de la curva, donde es estática y dinámicamente estable. La punta de la curva (también conocida como codo o nariz de la curva) se denomina el punto de máxima carga, que es el punto de colapso de la tensión cuando las cargas se modelan como potencia constante, cuando la carga se modela en función de la tensión se afecta el punto de colapso de la tensión. El sistema de potencia es de tensión inestable en el punto de colapso de tensión. [4]

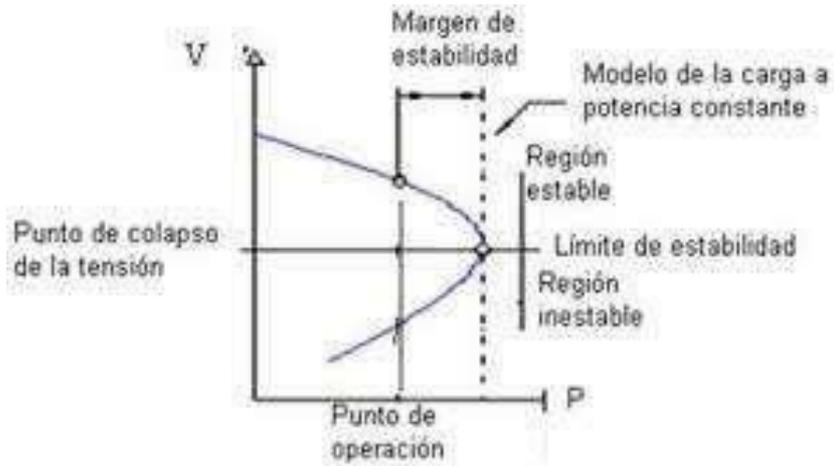


Figura 1.5.2.1 Curva Normal P-V

### 1.5.3 Curvas Q-V

Las curvas Q-V permiten determinar la reserva de potencia reactiva en una barra y el nivel de tensión en que ocurrirá el colapso de tensión en la misma. Estas curvas pueden obtenerse a partir de los resultados del flujo de potencia. [5]

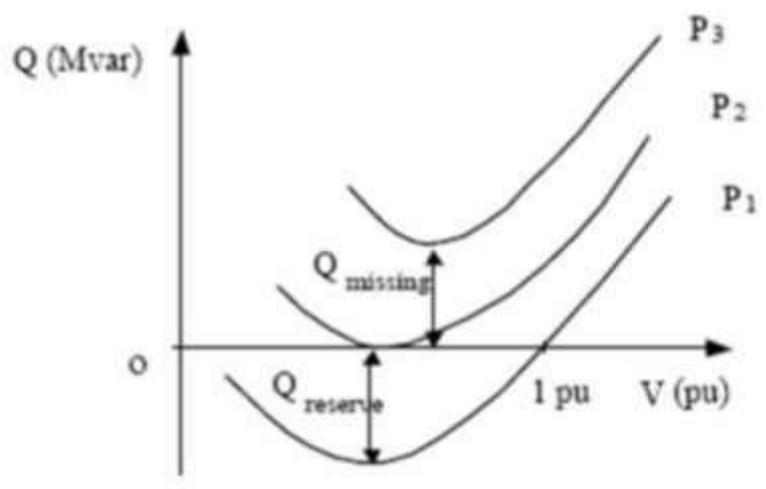


Figura 1.5.3.1; Curva ideal Q-V

### 1.5.4 Métodos de Compensación Reactiva

En general, se utilizan bancos de condensadores fijos y se ubican a la salida de las subestaciones de distribución o en las líneas primarias en conexión serie [6] o más usualmente, paralelo. Se utiliza en este último caso técnicas básicas como la conocida regla de los dos tercios, entre otras. En determinadas ocasiones se han utilizado bancos de

condensadores controlados por tiempo, con el fin de reducir la compensación y el nivel de la tensión, principalmente durante los horarios de menor demanda [7]

### **1.5.5 Modelo de Carga estática.**

Los modelos de carga estáticos son independientes del tiempo, y describen la relación entre potencia activa y reactiva consumida por una carga en función del voltaje y la frecuencia. Los modelos de carga estáticos son de utilidad para describir cargas que reflejan cambios casi instantáneos y de invariante duración en el tiempo en la demanda, después de alguna perturbación del voltaje o la frecuencia en el sistema. Por lo general se utilizan estos modelos para representar elementos resistivos, iluminación, cargas residenciales y cargas similares. [8]

## CAPITULO 2

### 2.1 Metodología

Para realizar el estudio del sistema, se usará el método del flujo continuado. Este método es usado para realizar cambios en los SEP, los cambios se colocan en las variables que requiera ser motivo de análisis, para este estudio los cambios fueron realizado en la carga de cada barra de un sistema de trasmisión.

El sistema de trasmisión que ha sido seleccionado es el Sistema de 30 barras IEEE, el cual está conformado por 6 generadores, 4 transformadores, 20 cargas y 41 líneas en total, la Figura 1.5.5.1: Sistema de 30 Barras IEEE muestra un diagrama unifilar del sistema.

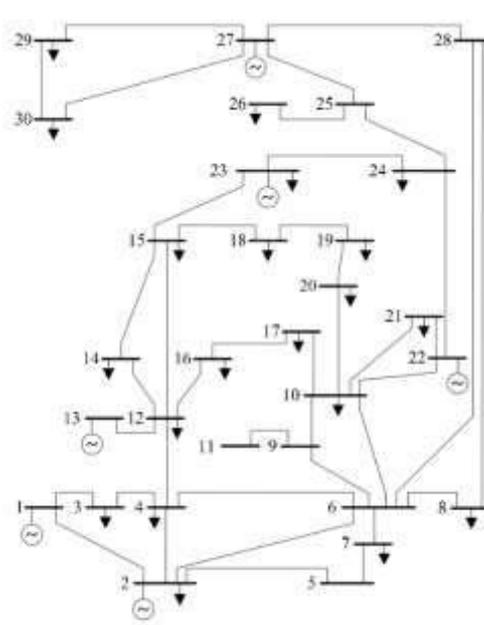


Figura 1.5.5.1: Sistema de 30 Barras IEEE [10]

Este sistema no solo es radial, también tiene segmentos anillo, lo cual lo hizo ideal para realizar el estudio de las curvas P-V, Q-V y P-Delta, lo que se usó para obtener estas curvas, fue el flujo de potencia del sistema completo, es decir, el sistema con las cargas de cada barra y los generadores activos, como los transformadores. Los datos del sistema como el código de este, es

del libro Power System Analysis by Hadi Saadat Electrical Engineering, y la realización del primer flujo de potencia con todos los datos, fue por medio de Matpower, case 30.

La primera solución del sistema, en donde para poder empezar a desarrollar, sin embargo, el flujo de potencia obtenido se lo realizaba en una sola iteración, por lo que se optó por usar los códigos del Power System Analysis by Hadi Saadat Electrical Apéndice A: TesisBarra30.m

*Tabla 1.5.5.1: Tabla de datos del Sistema de prueba de 30 Barras IEEE [10]*

Barra	Tipo	V[PU]	Angulo [deg]	Pg. [MW]	Qg. [MVAR]	Pd. [MW]	Qd. [MVAR]
1	Slack	1.06	0.0	23.54	0.0	0.0	0.0
2	PV	1.043	0.0	60.97	0.0	21.70	12.7
3	PQ	1.0	0.0	0.0	0.0	2.4	1.2
4	PQ	1.06	0.0	0.0	0.0	7.6	1.6
5	PQ	1.01	0.0	0.0	0.0	94.2	19.0
6	PQ	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	PQ	1.0	0.0	0.0	0.0	22.8	10.9
8	PQ	1.01	0.0	0.0	0.0	30.0	30.0
9	PQ	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	PQ	1.0	0.0	0.0	0.0	5.8	2.0
11	PQ	1.082	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12	PQ	1.0	0.0	0.0	0.0	11.2	7.5
13	PV	1.071	0.0	21.59	0.0	0.0	0.0
14	PQ	1.0	0.0	0.0	0.0	6.2	1.6
15	PQ	1.0	0.0	0.0	0.0	8.2	2.2
16	PQ	1.0	0.0	0.0	0.0	3.5	1.8
17	PQ	1.0	0.0	0.0	0.0	9.0	5.8

18	PQ	1.0	0.0	0.0	0.0	3.2	0.9
19	PQ	1.0	0.0	0.0	0.0	9.5	3.4
20	PQ	1.0	0.0	0.0	0.0	2.2	0.7
21	PQ	1.0	0.0	0.0	0.0	17.5	11.2
22	PV	1.0	0.0	26.91	0.0	0.0	0.0
23	PV	1.0	0.0	19.20	0.0	3.2	1.6
24	PQ	1.0	0.0	0.0	0.0	8.7	6.7
25	PQ	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
26	PQ	1.0	0.0	0.0	0.0	3.5	2.3
27	PV	1.0	0.0	37	0.0	0.0	0.0
28	PQ	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
29	PQ	1.0	0.0	0.0	0.0	2.4	0.9
30	PQ	1.0	0.0	0.0	0.0	10.6	1.9

Tabla 1.5.5.2: Datos de las Líneas de transmisión en base 100MVA [10]

Tramo	Resistencia	Reactancia	Susceptancia
1-2	0.0192	0.0575	0.02640
1-3	0.0452	0.1852	0.02040
2-4	0.0570	0.1737	0.01840
3-4	0.0132	0.0379	0.00420
2-5	0.0472	0.1983	0.02090
2-6	0.0581	0.1763	0.01870
4-6	0.0119	0.0414	0.00450
5-7	0.0460	0.1160	0.01020

6-7	0.0267	0.0820	0.00850
6-8	0.0120	0.0420	0.00450
6-9	0.0	0.2080	0.0
6-10	0.0	0.5560	0.0
9-11	0.0	0.2080	0.0
9-10	0.0	0.1100	0.0
4-12	0.0	0.2560	0.0
12-13	0.0	0.1400	0.0
12-14	0.1231	0.2559	0.0
12-15	0.0662	0.1304	0.0
12-16	0.0945	0.1987	0.0
14-15	0.2210	0.1997	0.0
16-17	0.0824	0.1923	0.0
15-18	0.1073	0.2185	0.0
18-19	0.0639	0.1292	0.0
19-20	0.0340	0.0680	0.0
10-20	0.0936	0.2090	0.0
10-17	0.0324	0.0845	0.0
10-21	0.0348	0.0749	0.0
10-22	0.0727	0.1499	0.0
21-22	0.0116	0.0236	0.0
15-23	0.1000	0.2020	0.0
22-24	0.01150	0.1790	0.0
23-24	0.1320	0.2700	0.0

24-25	0.1885	0.3292	0.0
25-26	0.2544	0.3800	0.0
25-27	0.1093	0.2087	0.0
28-27	0.0	0.3960	0.0
27-29	0.2198	0.4153	0.0
27-30	0.3202	0.6027	0.0
29-30	0.2399	0.4533	0.0
8-28	0.0636	0.2000	0.02140
6-28	0.0169	0.0599	0.06500

La metodología para usar fue dividida en las siguientes partes:

- Realizar los flujos de potencia normal, para obtener el porcentaje de generación de cada generador que tiene el sistema.
- Aumentar la potencia activa, hasta el colapso del sistema, para evaluar cuanto es la máxima potencia que se le puede aumentar a las barras.
- Obtener las curvas PV, QV y P-delta de los cambios realizados.
- Realizar el aumento de potencia activa con todos los generadores activos en el sistema completo, y obtener las curvas PV, QV y P-delta.
- Analizar cual barra es la más que colapsa con mayor potencia, menor potencia y con que barra colapsa, para los aumentos de potencia activa con solo un generador, luego con todos los generadores colocados.
- Agregar un banco de capacitores para obtener una mayor robustez en el sistema y la colocación de un regulador de tensión para controlar el voltaje en una de las barras y un regular de voltaje en una de las barras.

### 2.1.1 Flujo Inicial

El primer flujo de potencia se ha realizado por el método de Newton Raphson, con la base de datos del Matpower, case 30. El flujo inicial, muestra que generador aporta con mayor generación al sistema, con lo cual, al momento de realizar los análisis por generador, el generador 2, debería tener mayores valores a todos, los demás, o una mayor variación de resultados con el incremento del flujo continuo.

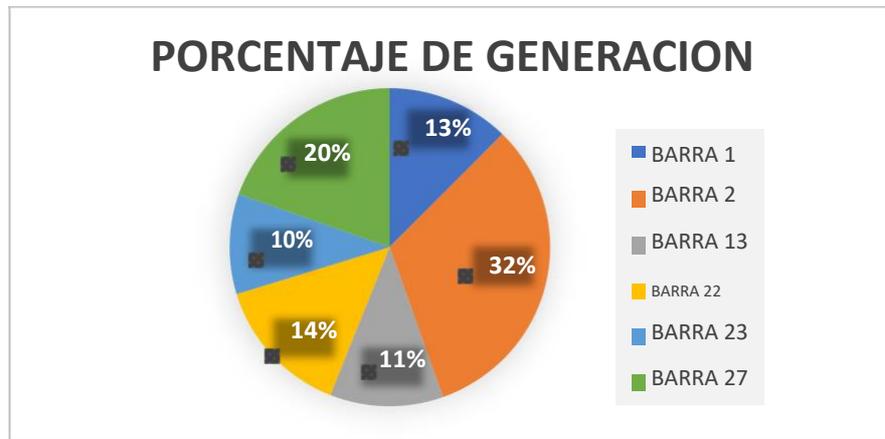


Figura 2.1.1.1: Porcentaje de cada generador en el sistema de 30 Barras con Matpower

### 2.1.2 Flujo de potencia continuado con una variación de 0.1 PU

Se empezó tomando en cuenta la barra 1 como la slack, y con el sistema totalmente vacío, es decir, sin valores de generación y carga, solo manteniendo los voltajes y ángulos de cada barra del sistema. Como se lo observa en la Figura 2.1.2.1 Simulación principal del sistema de 30 barras.

Este proceso se lo realizo con cada generador, de la misma forma, cambiando la barra a la que la potencia activa está siendo inyectada, y por cada variación generando vectores de datos de las variables a analizar, Voltaje, Angulo, Potencia Activa y Potencia Reactiva. Esta información se ha guardado en 12 documentos de Excel el cual contiene los datos de cada iteración en cada barra y en cada generador usado.

La potencia activa va aumentando en cada flujo de potencia en valores de 0.1 Pu, porque, en un inicio se realizó un aumento de potencia con distintos valores de pu, y se observó que a mayor valores de aumento, las iteraciones eran menores en cada simulación, dando como resultado pocos

valores para graficar, por ello se realizó todas las simulaciones con un solo valor de aumento de carga, para fijar en solo un caso, siendo este los aumentos de la potencia de 0.1 pu en el sistema a cada barra, al realizar esto se obtuvo una gran variedad de datos para lograr obtener las curvas P-V, Q-V y P-Delta. Luego de comprobar que se obtienen las iteraciones necesarias para poder evaluar las curvas, se realizó el mismo procedimiento con todos los generadores, con las siguientes variaciones.

busdata=	1	1	1.06	0	0.0	0.0	23.53	0.0	0	0	0
	2	2	1.043	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0
	3	0	1.0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0
	4	0	1.06	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0
	5	0	1.01	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0
	6	0	1.0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0
	7	0	1.0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0
	8	0	1.01	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0
	9	0	1.0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0
	10	0	1.0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0
	11	0	1.082	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0
	12	0	1.0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0
	13	2	1.071	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0
	14	0	1.0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0
	15	0	1.0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0
	16	0	1.0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0
	17	0	1.0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0
	18	0	1.0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0
	19	0	1.0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0
	20	0	1.0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0
	21	0	1.0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0
	22	2	1.0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0
	23	2	1.0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0
	24	0	1.0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0
	25	0	1.0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0
	26	0	1.0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0
	27	2	1.0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0
	28	0	1.0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0
	29	0	1.0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0

Figura 2.1.2.1 Simulación principal del sistema de 30 barras

Este procedimiento se lo ha hecho para los 6 generadores ubicados en las barras 1, 2, 13, 22, 23, 27, dando distintos resultados. Para obtener esto, al código inicial, se modificó para poder obtener estos cambios debido a que las variables iniciales del código ifnewton, no estaba diseñado para obtener los resultados esperados, como se muestran en las Figura 2.1.2.2: Grafica de Curva PV de la Barra 2 con cambios de 0.1. El cual se observa todas las Curvas P-V de todas las 30 Barras. Las gráficas siguientes tienen la misma información, con el cambio de ser Q-V y P-Delta, como se muestran en la Figura 2.1.2.3: Grafica de Curva QV de la barra 2 con cambios de 0.1 y Figura 2.1.2.4: Grafica de P-Delta de la barra 2 con aumentos de 0.1, respectivamente.

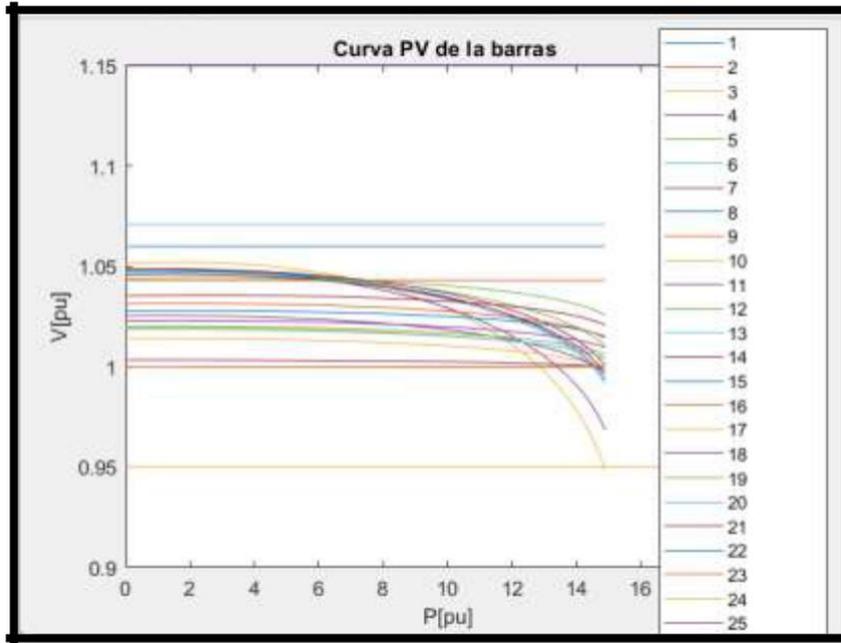


Figura 2.1.2.2: Grafica de Curva PV de la Barra 2 con cambios de 0.1

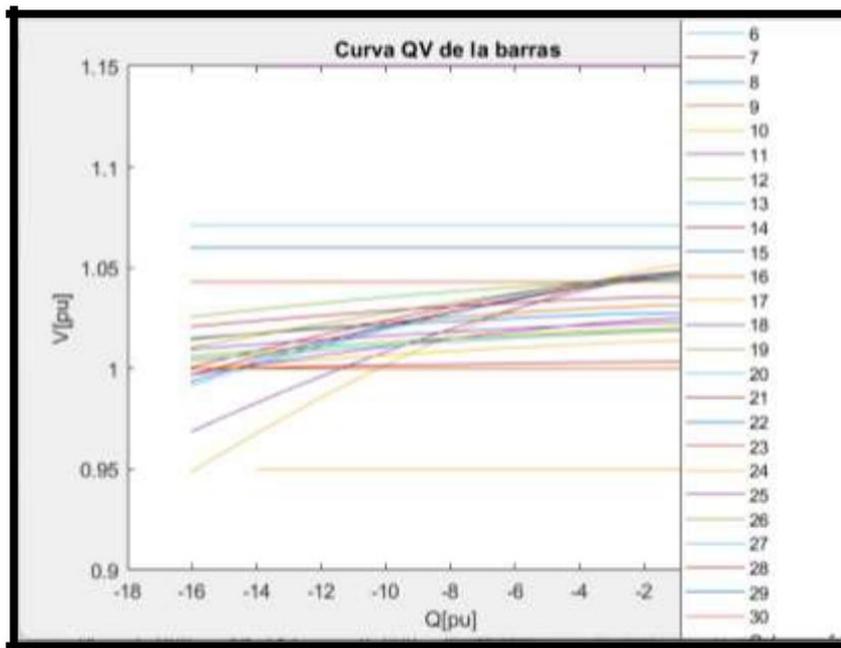


Figura 2.1.2.3: Grafica de Curva QV de la barra 2 con cambios de 0.1

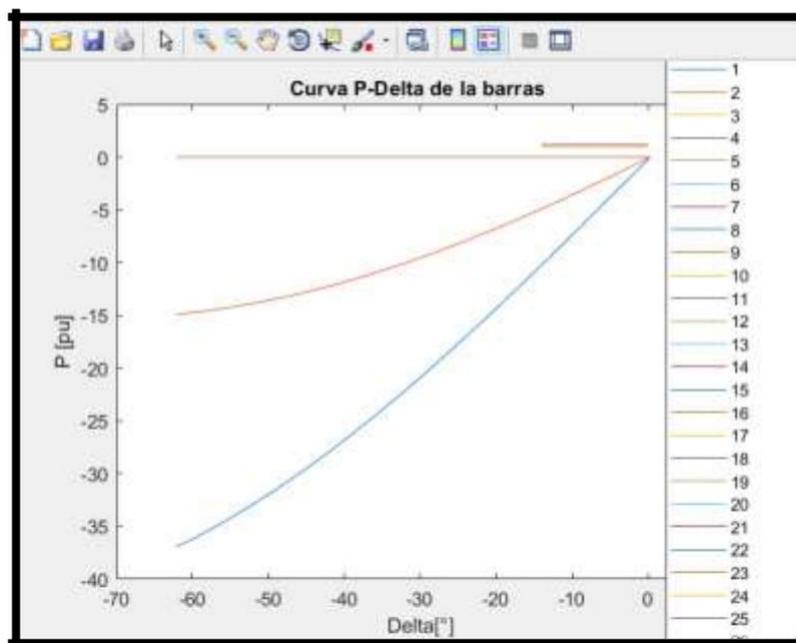


Figura 2.1.2.4: Gráfica de P-Delta de la barra 2 con aumentos de 0.1

Los cambios que se realizaron para lograr el almacenamiento de las variables en matrices para posteriores análisis, por ello se agregó una variable para el cambio de barra, el aumento de la potencia activa al sistema, la cantidad de potencia activa que se va aumentando en cada flujo de potencia, el número de iteraciones que realiza hasta que el flujo de potencia colapse. Para la determinación de en qué momento la barra a la cual se le aplica el aumento de potencia activa colapsa, se le colocó límites superiores e inferiores, en los cuales pueden simular de forma realista los resultados de esta, aunque en un principio se planeó obtener este análisis con los documentos Excel que se generaron en el transcurso de los aumentos de potencia en cada barra, como con los cambios de los generadores.

Aunque en un inicio se planteó usar puntos de pendiente para poder obtener la barra de colapso, sin embargo, la potencia a usarse llega a un punto de aumento que la interpolación entre cada punto es alta, dando un valor de pendiente, infinito, siendo un problema, a lo cual se solucionó con los límites. Con la implementación de líneas de código creando variables para visualizar que barras colapsan u en que voltaje lo hacen. Las tablas de los resultados se encuentran en Apéndice E: Resultados de cada generador por aumentos de pasos de 0.1 PU.

Tabla 2.1.2.1: Resultados generales de potencia de colapso de cada generador con Barra de aumento de potencia

POTENCIA DE LOS GENERADORES [kW]						
Barra	Generador 1	Generador 2	Generador 3	Generador 4	Generador 5	Generador 6
2	1540	1570	1570	1550	1550	1560
3	670	680	680	680	680	680
4	690	900	900	880	880	880
5	910	690	690	690	690	690
6	630	940	940	930	930	940
7	780	630	630	630	630	630
8	420	800	800	790	790	800
9	450	460	460	460	460	460
10	420	430	430	440	430	430
11	320	320	320	320	320	320
12	390	430	430	400	400	400
13	340	380	380	340	350	340
14	170	180	180	170	180	170
15	280	290	290	280	290	280
16	240	240	240	240	240	240
17	290	290	290	290	290	290
18	170	170	170	170	170	170
19	170	170	170	170	170	170
20	190	190	190	190	190	190
21	300	300	300	320	300	300
22	300	300	300	320	300	300
23	170	170	170	170	190	170
24	200	200	200	200	200	200
25	130	130	130	130	130	130
26	50	50	50	50	50	50
27	160	160	160	160	160	160
28	620	620	630	630	630	680
29	70	70	70	70	70	70
30	60	60	60	60	60	70

La Tabla 2.1.2.1: Resultados generales de potencia de colapso de cada generador con Barra de aumento de potencia, muestra los resultados obtenidos en los flujos de potencia continuado de cada generador. De este resultado parcial se ha logrado obtener un análisis en el cual se da a relucir que la barra 6 y la barra 26 son la barra con la segunda potencia más alta de todo el sistema y la barra con la potencia más baja del todo el sistema, respectivamente. Es a estas barras las cuales se le aplicaron, métodos de compensación para hacer que el sistema sea más robusto. A la barra 6 se le agrego compensación reactiva, con la finalidad de que pueda aguantar más pasos de potencia.

La Figura 2.1.2.5: Grafica P-V de todas las barras con el aumento de potencia en la Barra 6 y Figura 2.1.2.6: Grafica P-Delta de todas las barras con el aumento de potencia en la Barra 6. Muestran el comportamiento del sistema, cuando se le ha aumentado potencia activa en forma de carga, a la barra 6. Se logra visualizar los limites en los cuales el código de Matlab define que barra ha colapsado, siendo para este caso la barra 4.

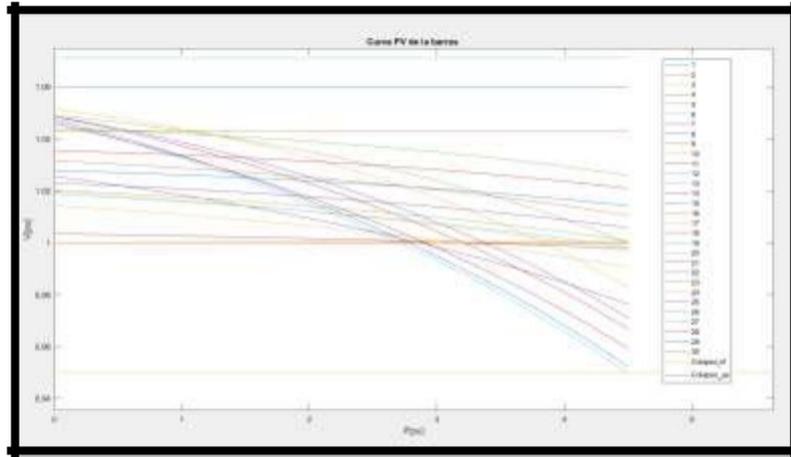


Figura 2.1.2.5: Grafica P-V de todas las barras con el aumento de potencia en la Barra 6

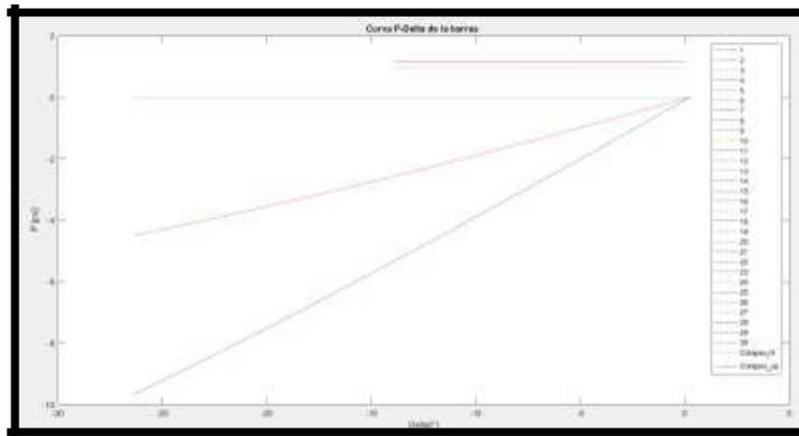


Figura 2.1.2.6: Grafica P-Delta de todas las barras con el aumento de potencia en la Barra 6

### 3. CAPÍTULO 3

#### 3.1 Resultados

A fin de presentar los resultados obtenidos en todos los casos se procederá con la presentación de cada uno de los resultados obtenidos en curva P-V y Q-V para cada uno de los cambios referentes a incrementos de carga en pasos de 0.1 por unidad en el caso de la potencia activa e incrementos de potencia activa de naturalezas tanto inductiva como capacitiva, además de la simulación de regulación de voltaje para el sistema.

#### 3.1.1 Resultados del incremento de pasos de potencia activa y reactiva en la barra 6 considerando generación en la barra 1

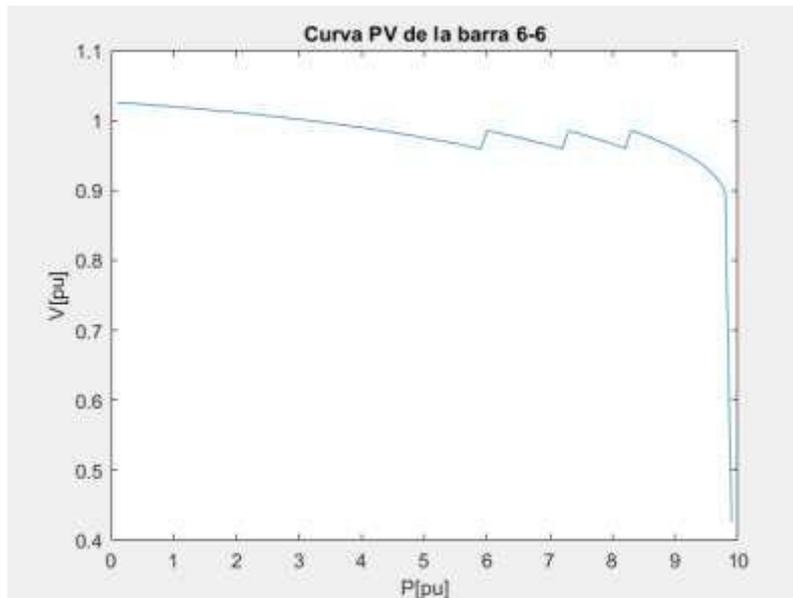


Figura 3.1.1.1: Gráfica P-V de la Barra 6 con la Compensación Reactiva

Resultado del incremento de carga en forma de potencia activa y reactiva en el sistema, en este resultado se puede ver que a medida que la potencia activa incrementa en el sistema, al igual que la potencia reactiva, el sistema presenta una caída de voltaje de forma gradual llegando a acercarse al valor del límite inferior de voltaje, en el cual el sistema debería presentar una inyección de reactivos de naturaleza capacitiva con el objetivo de lograr una compensación de voltaje lo cual se puede observar de forma coherente al final de la curva, teniendo en cuenta que el sistema se encuentra controlado para trabajar en niveles de voltaje de entre 1.05 y 0.95 por unidad, por lo que en caso de sobrepasar el límite inferior, el sistema recibirá una compensación reactiva de tipo inductiva para evitar sobre voltajes y una capacitiva para evitar sub-voltajes.

Finalmente se observa que el sistema soporta mayor carga con la implementación de los reactivos capacitivos hasta un 10 pu.

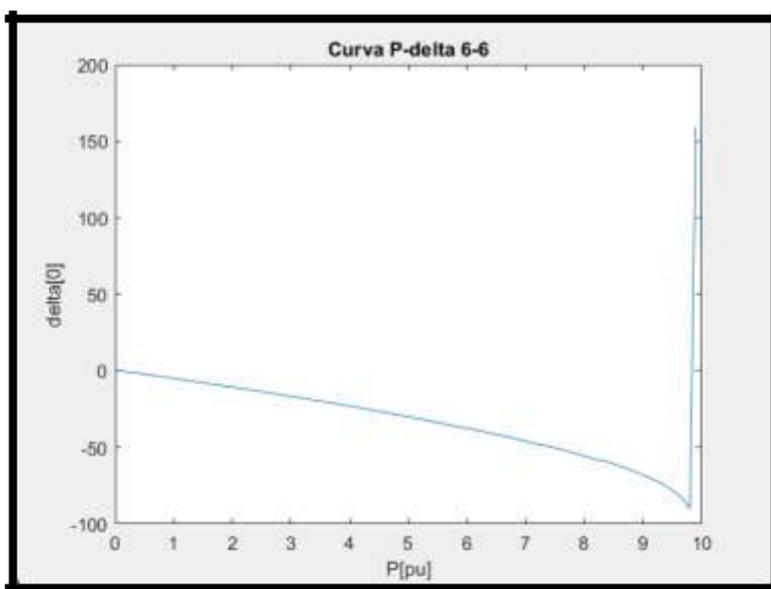


Figura 3.1.1.2: Gráfica P-Delta de la Barra 6 con la Compensación Reactiva

Se observa la tendencia del ángulo delta de voltaje a caer a medida que la carga se incrementa y se comprueba que la compensación de voltaje se percibe incluso en el cambio de fase debido a que el sistema sigue incrementando la potencia activa.

### 3.1.2 Resultados del incremento de pasos de potencia activa en la barra 6 y reactiva en la barra 4 considerando generación solo en la barra 1.

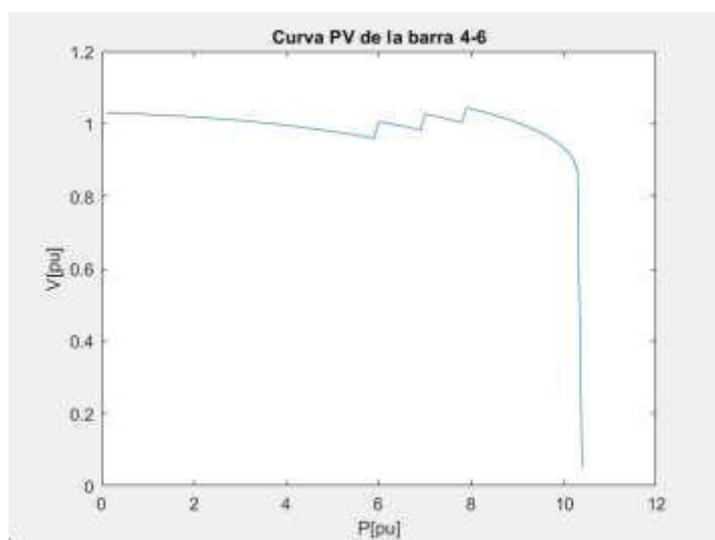


Figura 3.1.2.1: Gráfica P-V de la Barra 4 con la Compensación Reactiva

Consideran que la inyección de reactivos se realizó en una barra distinta a la que sufrió los incrementos de carga en pasos de 0.1 pu, se observa que el sistema logra una correcta compensación cuando la barra 4, mostrando un ligero sobrevoltaje que no logra ser mayor que el límite superior, además, el sistema soporta una carga mayor a 5 por unidad, por lo que se comprueba que el sistema tiene una gran tolerancia al incremento de carga y a la compensación desde otra barra, sin embargo se observa una caída del mismo cuando la carga supera el valor por unidad de 10, por lo que el sistema no logra compensarlo y colapsa.

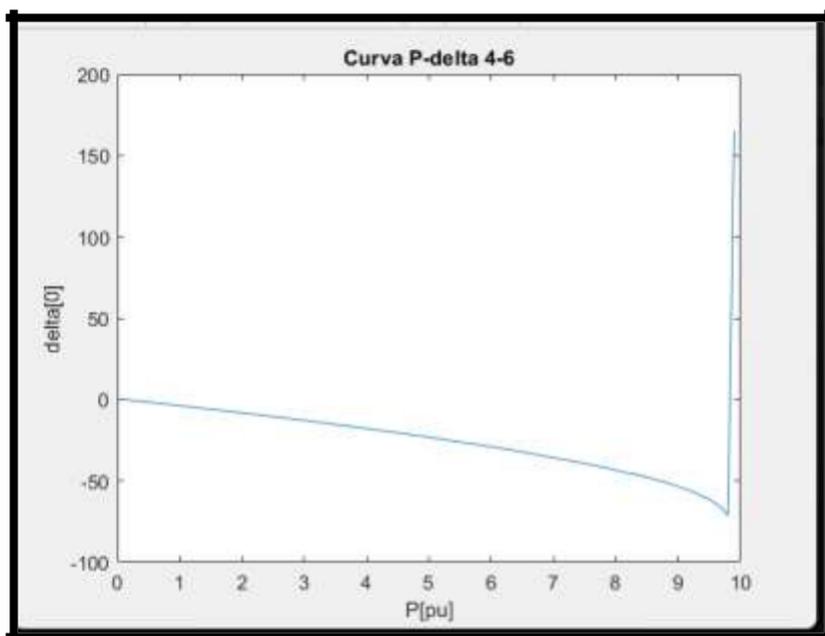


Figura 3.1.2.2: Grafica P-Delta de la Barra 4 con la Compensación Reactiva

Por otro lado, se observa que la variación de ángulo, a pesar de ser notable, tiende a comportarse igual a la de la magnitud de voltaje, presentando una curva más suavizada durante la compensación y un comportamiento aberrante al final del colapso.

### 3.1.3 Resultados del incremento de pasos de potencia activa y reactiva en la barra 6 considerando todos los generadores.

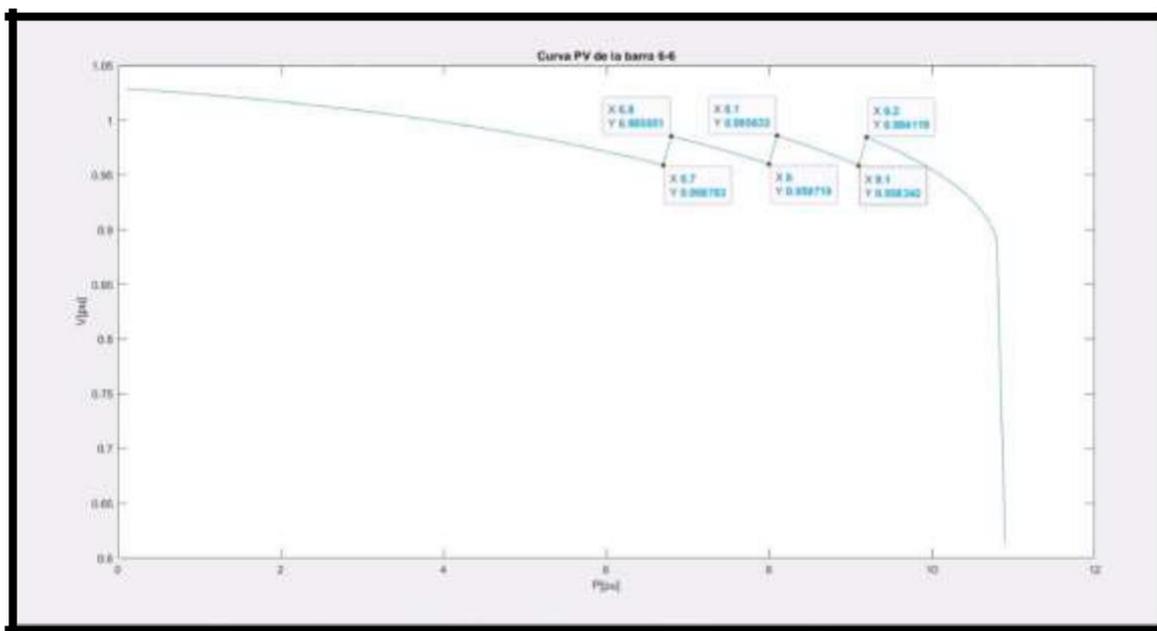


Figura 3.1.3.1: Grafica P-V de la Barra 6 con la Compensación Reactiva con todos los generadores.

Durante el caso de estudio en el que se considera la actividad de todos los generadores, la tensión en la barra 6, que presenta incremento de carga tiende a caer de forma continua a medida a medida de tap, de 3 pasos, por el incremento de la potencia activa, al estar cerca de los límites inferiores se comienza a dar pasos de compensación reactiva del tipo capacitivo, provocando las subidas de voltaje que se muestran en la Figura 3.1.3.1: Grafica P-V de la Barra 6 con la Compensación Reactiva con todos los generadores. En el segundo paso, a pesar de que el incremento de carga es más grande la recuperación del sistema, es similar a la del primer paso, de igual forma en el tercer paso, no obstante, la duración de este es corta, por la compensación de un valor menor a la potencia activa que tiene el sistema en ese momento, dando como resultado la caída del sistema.

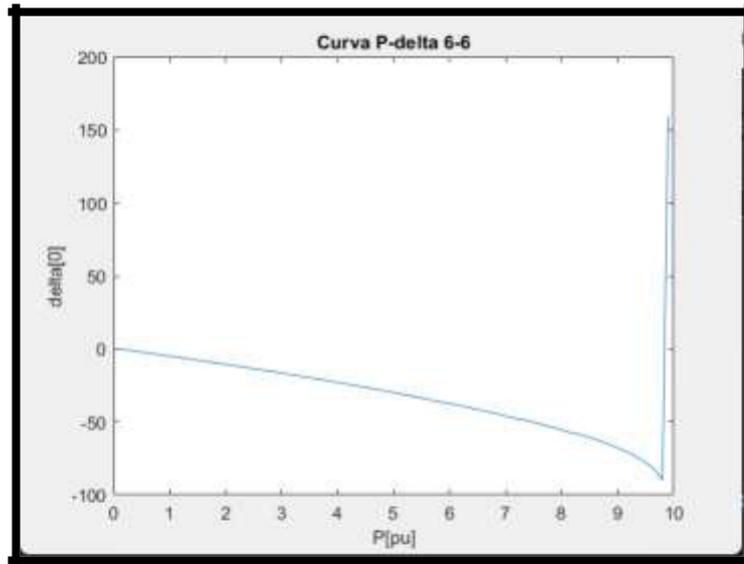


Figura 3.1.3.2: Grafica P-Delta de la Barra 6 con la Compensación Reactiva con todos los generadores.

Para la curva de fase de este paso se determinó que dicha fase no cae por debajo de los valores observados en las pruebas anteriores, pero a pesar de ello, se observa el cambio provocado por la compensación.

### 3.1.4 Resultados del incremento de pasos de potencia activa en la barra 6 y reactiva en la barra 4 considerando todos los generadores.

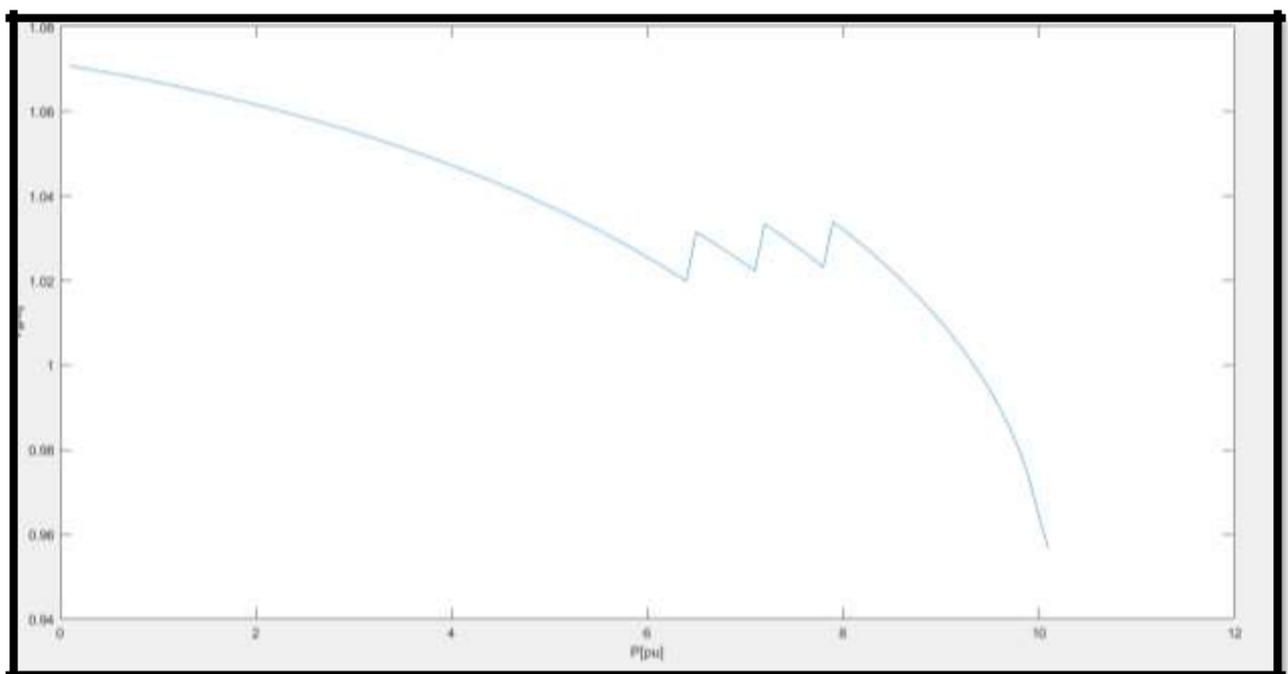


Figura 3.1.4.1: Grafica P-V de la Barra 4 con la Compensación Reactiva con todos los generadores.

Al cambiar la barra de compensación se tiene que, el comportamiento de las curvas se vuelve a compensar de forma continua según la inyección de reactivos que se aplique al sistema, dando como resultado la Figura 3.1.4.1: Grafica P-V de la Barra 4 con la Compensación Reactiva con todos los generadores. ya que, a pesar de tener la misma inyección de reactivos, la respuesta del sistema resulta más abrupta y alcanza el colapso a mayor carga que en el caso anterior.

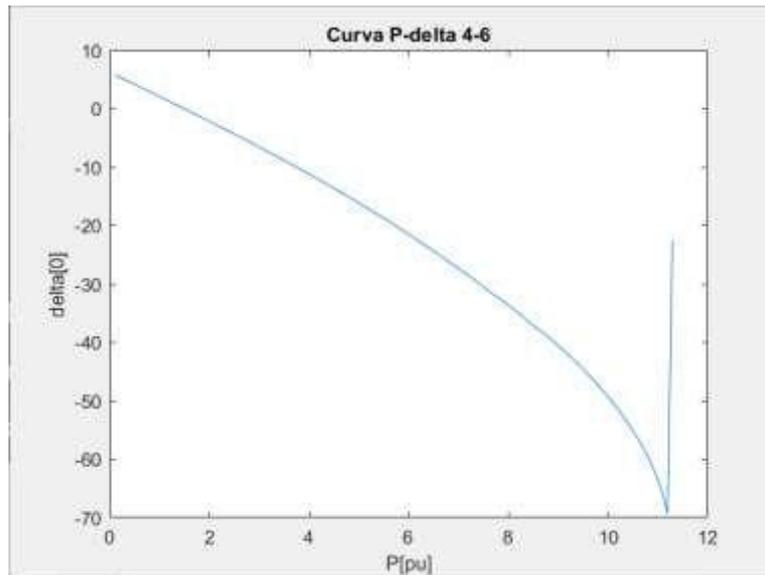


Figura 3.1.4.2: Grafica P-Delta de la Barra 4 con la Compensación Reactiva con todos los generadores.

La fase de dicha tensión empieza con una caída considerable y tiende a incrementarse al alcanzar el colapso, por lo que se espera que el sistema trabaje en condiciones que no lo lleven a la cercanía de este.

### 3.1.5 Resultados de considerar un regulador de tensión en la barra 25 para control de tensión provocado por incremento de P en la barra 26, con un solo generador.

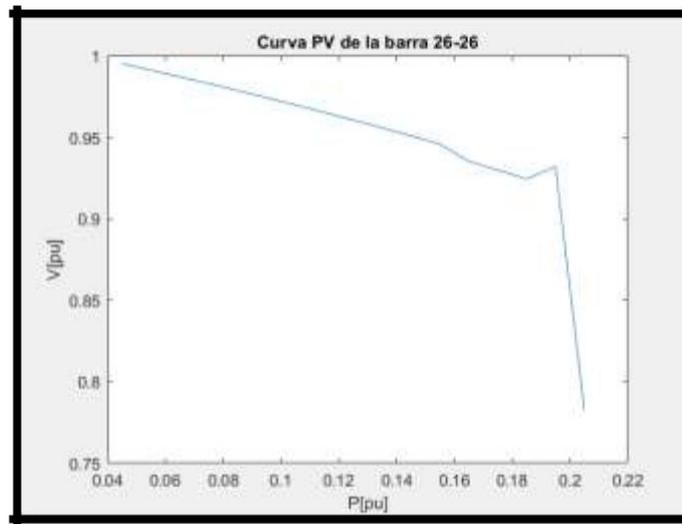


Figura 3.1.5.1: Grafica P-V de la Barra 26 con un Regulador de tensión en la Barra 25.

Para el caso de compensación de voltaje en la barra 26 con incrementos de la tensión en la barra 25, se observa que el sistema no es capaz de mantener niveles de tensión por encima del límite inferior al acercarse a pequeños incrementos de carga, lo que provoca que la compensación de voltaje se incremente cada vez más pero aun así el sistema no logra recuperarse y colapsa.

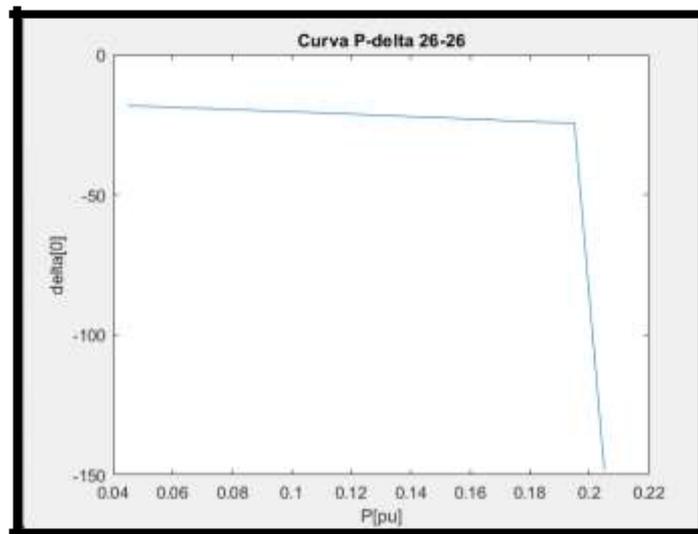


Figura 3.1.5.2: Grafica P-Delta de la Barra 26 con un Regulador de tensión en la Barra 25.

Se observa que la fase de la barra 26 no presenta cambios significativos respecto a su valor inicial hasta que el sistema llega al colapso, por lo que el regulador de tensión presenta la ventaja de evitar desfases de tensión bruscos a diferencia de los casos de compensación a partir de reactivos, a pesar de que no logra la efectividad de dicha compensación.

### 3.1.6 Resultados de considerar un regulador de tensión en la barra 25 para control de tensión provocado por incremento de P en la barra 26, con todos los generadores.

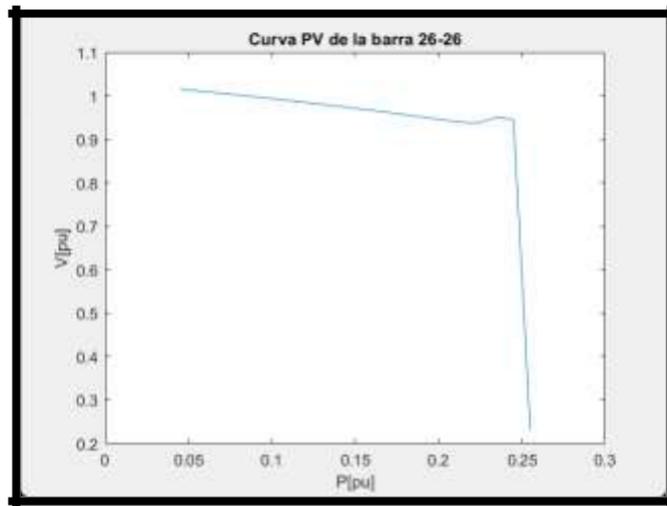


Figura 3.1.6.1: Grafica P-V de la Barra 26 con un Regulador de Tensión en la Barra 25 con todos los generadores.

Para el caso final, se observa que el sistema se mantiene estable en niveles de tensión aceptables para incrementos cada vez más grandes, llegando a variar su tensión de forma perceptible y considerable en el colapso, todo esto considerando la presencia de todos los generadores, por lo que el sistema tiene cierta robustez.

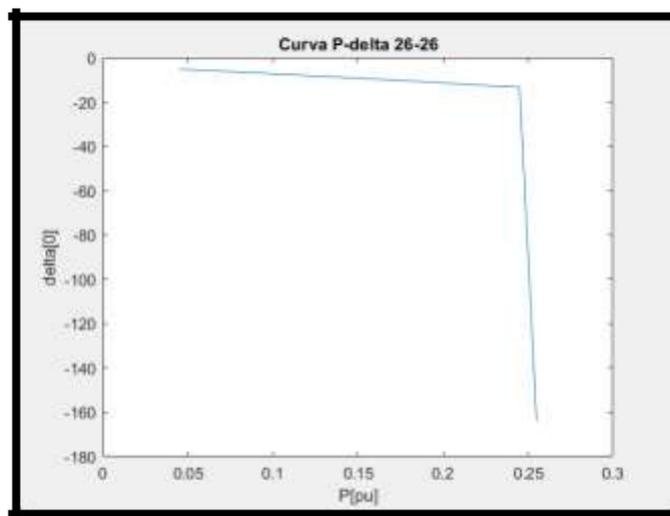


Figura 3.1.6.2: Grafica P-Delta de la Barra 26 con un Regulador de Tensión en la Barra 25 con todos los generadores.

Al igual que en el caso anterior, la fase de nuestro sistema no se ve bruscamente afectada por la compensación, pero si por el colapso de este, llegando a provocar que el valor de tensión llegue a una fase cercana a los 180 grados.

## 4. CAPÍTULO 4

### 4.1 CONCLUSIONES

- El estudio realizado en el sistema eléctrico de potencia de 30 barra de IEEE, luego de la realización del flujo continuo y el análisis de estabilidad del sistema, se tomó a las barras 6 y 26 como las más sensibles al aumento de carga, siendo estas las que colapsan de forma prematura en total de las 30 barras.
- Se estudio las curvas P-V y Q-V usando como complemento la programación en Matlab, la cual se ha desarrollado cambios para la obtención de estas curvas, como a la vez la gráfica de P-Delta, la cual se visualizó la mejora del regulador de tensión al momento de usarlo en la barra 25.
- La compensación Reactiva y el Regular de tensión colocado en las barras seleccionadas, ha logrado una mayor robustes al sistema siendo un aumento de potencia en estas barras, ralentizando su colapso con el aumento de carga en esta barra. De igual manera en la barra 25, el regulador de tensión ha desarrollado una función de soporte para la línea 25-26
- El flujo de potencia continuado que se usó en el sistema dio a concluir que, en los resultados parciales conseguidos, se estimaba que la barra a la cual se le agrega continuamente la carga, es esta misma la barra que debe colapsar, no obstante, esto no ocurre al menos no en las barras iniciales. Como a su vez los resultados no varían mucho con la conexión y desconexión de los generadores.

## 4.2 RECOMENDACIONES

- Usar un regulador de tensión en barras distintas como lo pueden ser la barra 30 ya que es la barra con menor soporte de aumento de carga en todo el sistema de transmisión escogido. Como a su vez usar la compensación reactiva en la una barra menor como lo es la barra 29 con una potencia alta entre las 3 barras con potencia menor a 100 kW.
- Usar un transformador en las líneas en lugar de usa compensación o regulador para mejorar el sistema, la complejidad en esto varia en realizar el ajuste del tap necesario para lograr un ajuste de la barra o de las barras que será conectado.
- Comprobar si se llega a los mismos resultados obtenidos con un método de análisis de estabilidad distinto que se ha usado en este documento, y realizar la comparación de que análisis es más preciso con el uso de la información con los mismos datos del sistema.

## BIOGRAFIA

- [1] F. Echavarren Cerezo, E. Lobato Miguélez, L. Rouco Rodríguez y J. Rodríguez García, «El colapso de tensión: Causas y soluciones (I/II),» *Anales de Mecánica y Electricidad*, pp. 54-62, Marzo 2006.
- [2] P. KUNDUR, "Power System Stability and Control", New York: U.S.A: Editorial McGraw-Hill, 1994, pp. 960-1021.
- [3] C. Taylor, Power System Voltage Stability, New York: McGraw-Hill Publishers., 1994.
- [4] I. R. E. N. I. A. H. D. I. M. B. B. Dr. Juan Gualberto Boza ValerinoI, «La estabilidad de la tensión de los sistemas eléctricos de potencia utilizando el programa "PSAF",» *Energetica [online]*, vol. 33, nº 2, pp. 84-93, 2012.
- [5] T. & V. C. Van Cutsem, 1998, Kluwer Academic Publishers, Voltage Stability of Electric Power Systems.
- [6] M. SA, «Considerations for the application of series capacitors to radial power distribution circuits,» *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 16, nº 2, pp. 306-318, 2001.
- [7] H. MR., «Genetic algorithm-based approach for fixed and switchable capacitors placement in distribution systems with uncertainty and time varying loads,» *IET Generation Transmission and Distribution*, vol. 1, nº 2, pp. 244-252, 2007.
- [8] J. M. A. G. A. B. Jovica V. Millanovic, «Modeling and Aggregation of Loads in Flexible Power Networks,» 2014.
- [9] o. W. U, «IEEE 30 Bus Test Case,» 1993. [En línea]. Available: [http://labs.ece.uw.edu/pstca/pf30/pg\\_tca30bus.htm](http://labs.ece.uw.edu/pstca/pf30/pg_tca30bus.htm).
- [10] H. Saadat, Power System Analysis, Milwaukee School of Engineering, 1997.

## APENDICE

### Apéndice A: TesisBarra30.m

```

clear all,
close all
clc
%% TESIS SITEMA DE 30 BARRAS IEEE
%%NOMBRE: KEVIN JORDAN LOPEZ PERALTA

%% Condiciones iniciales
Vsup=1.05; %Limite superior
Vinf=0.95; %Limite inferior
Pg_max=10; %Potencia activa maxima de generacion
Qg_max=10; %Potencia reactiva maxima de generacion
Vbase=13.8; %Voltaje Base del sistema
basemva = 100; accuracy = 0.001; accel=1.8; maxiter = 100;
%% Datos del sistema de 30 barras

%          Bus Bus  Voltage Angle  -----Load-----Generator-----Injected
%          No code  Mag.      degree  MW      Mvar    MW      MVar    Qmin Qmax  MVar
busdata=[
1  1  1.06      0      0.0      0.0    23.54  0.0    0  0    0
2  2  1.043     0     21.70   12.7    0.0    0.0   -40  50    0
3  0  1.0       0      2.4     1.2    0.0    0.0    0  0    0
4  0  1.06      0      7.6     1.6    0.0    0.0    0  0    0
5  0  1.01      0     94.2    19.0   0.0    0.0   -40  40    0
6  0  1.0       0      0.0     0.0    0.0    0.0    0  0    0
7  0  1.0       0     22.8    10.9   0.0    0.0    0  0    0
8  0  1.01      0     30.0    30.0   0.0    0.0   -10  40    0
9  0  1.0       0      0.0     0.0    0.0    0.0    0  0    0
10 0  1.0       0      5.8     2.0    0.0    0.0    0  0    19
11 0  1.082     0      0.0     0.0    0.0    0.0   -6  24    0
12 0  1.0       0     11.2    7.5    0.0    0.0    0  0    0
13 2  1.071     0      0.0     0.0    0.0    0.0   -6  24    0
14 0  1.0       0      6.2     1.6    0.0    0.0    0  0    0
15 0  1.0       0      8.2     2.5    0.0    0.0    0  0    0
16 0  1.0       0      3.5     1.8    0.0    0.0    0  0    0
17 0  1.0       0      9.0     5.8    0.0    0.0    0  0    0
18 0  1.0       0      3.2     0.9    0.0    0.0    0  0    0
19 0  1.0       0      9.5     3.4    0.0    0.0    0  0    0
20 0  1.0       0      2.2     0.7    0.0    0.0    0  0    0
21 0  1.0       0     17.5    11.2   0.0    0.0    0  0    0
22 2  1.0       0      0.0     0.0    0.0    0.0    0  0    0
23 2  1.0       0      3.2     1.6    0.0    0.0    0  0    0
24 0  1.0       0      8.7     6.7    0.0    0.0    0  0    4.3
25 0  1.0       0      0.0     0.0    0.0    0.0    0  0    0
26 0  1.0       0      3.5     2.3    0.0    0.0    0  0    0
27 2  1.0       0      0.0     0.0    0.0    0.0    0  0    0
28 0  1.0       0      0.0     0.0    0.0    0.0    0  0    0
29 0  1.0       0      2.4     0.9    0.0    0.0    0  0    0
30 0  1.0       0     10.6    1.9    0.0    0.0    0  0    0];

%% Datos de líneas del sistema de 30 Barras

%          BUS BUS      R          X          (1/2)B      TAP
linedata=[1  2  0.0192  0.0575  0.02640  1
1  3  0.0452  0.1852  0.02040  1
2  4  0.0570  0.1737  0.01840  1
3  4  0.0132  0.0379  0.00420  1
2  5  0.0472  0.1983  0.02090  1
2  6  0.0581  0.1763  0.01870  1
4  6  0.0119  0.0414  0.00450  1
5  7  0.0460  0.1160  0.01020  1
6  7  0.0267  0.0820  0.00850  1
6  8  0.0120  0.0420  0.00450  1
6  9  0.0     0.2080  0.0     0.978
6  10 0.0     0.5560  0.0     0.969
9  11 0.0     0.2080  0.0     1
9  10 0.0     0.1100  0.0     1
4  12 0.0     0.2560  0.0     0.932
12 13 0.0     0.1400  0.0     1
12 14 0.1231  0.2559  0.0     1
12 15 0.0662  0.1304  0.0     1
12 16 0.0945  0.1987  0.0     1
14 15 0.2210  0.1997  0.0     1
16 17 0.0824  0.1923  0.0     1
15 18 0.1073  0.2185  0.0     1

```

```

18 19 0.0639 0.1292 0.0 1
19 20 0.0340 0.0680 0.0 1
10 20 0.0936 0.2090 0.0 1
10 17 0.0324 0.0845 0.0 1
10 21 0.0348 0.0749 0.0 1
10 22 0.0727 0.1499 0.0 1
21 22 0.0116 0.0236 0.0 1
15 23 0.1000 0.2020 0.0 1
22 24 0.1150 0.1790 0.0 1
23 24 0.1320 0.2700 0.0 1
24 25 0.1885 0.3292 0.0 1
25 26 0.2544 0.3800 0.0 1
25 27 0.1093 0.2087 0.0 1
28 27 0.0 0.3960 0.0 0.968
27 29 0.2198 0.4153 0.0 1
27 30 0.3202 0.6027 0.0 1
29 30 0.2399 0.4533 0.0 1
8 28 0.0636 0.2000 0.02140 1
6 28 0.0169 0.0599 0.06500 1
];
%% Funciones para el flujo de potencia
lflybus % Form the bus admittance matrix
lfnewton % Power flow solution by Newton-Raphson method
busout % Prints the power flow solution on the screen

%% Grafica de P-V, Q-V, P-Delta
Barra=bar;

for i=1:30
Barra2=i;
%Grafica P-V
figure (i)
plot(POT(Barra, :)*-1, VOL(Barra2, :))
title("Curva PV de la barra "+int2str(i)+"-"+int2str(Barra))
xlabel("P[pu]")
ylabel("V[pu]")

%Grafica Q-V

figure (i+30)
plot(QRE(Barra, :)*-1, VOL(Barra2, :))
title("Curva QV de la barra "+int2str(i)+"-"+int2str(Barra))
xlabel("Q[pu]")
ylabel("V[pu]")

%Grafica P-Delta
figure (i+60)

plot(ANG(Barra, :), POT(Barra, :)-POT(Barra2, :))
title("Curva P-Delta de la barra "+int2str(i)+"-"+int2str(Barra))
xlabel("Delta[°]")
ylabel("P [pu]")
end

%% Limites de graficas para las 30 Barras. P-V

figure (91)

for i=1:30
Barra2=i;
plot(POT(Barra, :)*-1, VOL(Barra2, :))
hold on
end

plot([0,20], [Vinf,Vinf])
hold on
plot([0,20], [Vsup,Vsup])
legend ('1','2','3','4','5','6','7','8','9','10',...
'11','12','13','14','15','16','17','18','19','20',...
'21','22','23','24','25','26','27','28','29','30','Colapso_inf','Colapso_sup')
title("Curva PV de la barras ")
xlabel("P[pu]")
ylabel("V[pu]")

```

```

%% Limites de graficas para las 30 Barras Q-V.

figure (92)

for i=1:30
Barra2=i;
plot(QRE(Barra, :)*-1, VOL(Barra2, :))
hold on
end

plot([-14,0],[Vinf,Vinf])
plot([-14,0],[Vsup,Vsup])
legend ('1','2','3','4','5','6','7','8','9','10',...
'11','12','13','14','15','16','17','18','19','20',...
'21','22','23','24','25','26','27','28','29','30','Colapso_inf','Colapso_sup')
title("Curva QV de la barras ")
xlabel("Q[pu]")
ylabel("V[pu]")

%% Limites de graficas para las 30 Barras P-
Delta. figure(93)

for i=1:30
Barra2=i;
plot(ANG(Barra, :), POT(Barra, :)-POT(Barra2, :))
hold on
end

plot([-14,0],[Vinf,Vinf])
plot([-14,0],[Vsup,Vsup])
legend ('1','2','3','4','5','6','7','8','9','10',...
'11','12','13','14','15','16','17','18','19','20',...
'21','22','23','24','25','26','27','28','29','30','Colapso_inf','Colapso_sup')
title("Curva P-Delta de la barras ")
xlabel("Delta[°]")
ylabel("P [pu]")

%% Identificacion de la barra de colapso

Vlim_sup=Vsup; %Limite superior de voltaje
Vlim_inf=Vinf; %Limite inferior de voltaje
caso_fin=as-1; %Valores de la penultima iteracion
indicador=0; %Variable para identificar el numero de barra
x=1;
mi(1)=1;
for caso=1:caso_fin
for barra=1:30
if((VOL(barra,caso)>Vlim_sup ||VOL(barra,caso)<Vlim_inf) && indicador==0)
b_colap(x)=barra;
vcolap(x)=VOL(barra,caso);
M_v_colap(1,x)=barra;
M_v_colap(2,x)=VOL(barra,caso);
x=x+1;
end
end
dimension=size(mi);
if dimension(2)>1
indicador=indicador+1;
disp('La pendientes de las barras que colapsan son: ')
m_caida=mi(2:31)
disp('Los voltajes de las barras que colapsan son: ')
vcolap
disp('La o las barras que colapsan son: ')
b_colap
end
end

```

```

%% Almacenamiento de informacion en un documento de Excel

%Guardado de las variables Voltaje, Angulo, Potencia Activa, Potencia Reactiva.
T=table([VOL;ANG;POT;QRE]);
ti=('Voltaje','Angulo','Potencia Activa','Potencia Reactiva');
writetable(T,'GEN 6.xlsx','sheet','Barra 30');

%Guardado de las variables de Voltaje y Barra de colapso
dat=array2table(M_v_colap);
writetable(dat,'Colpaso 6.xlsx','sheet','Barra 30')

```

## Apéndice B: Ifnewton.m

Este código realiza los casos necesarios para el estudio. El flujo de potencia.

```

% Power flow solution by Newton-Raphson method
% Copyright (c) 1998 by H. Saadat
as=1;

bar=6;
bar2=6;

bar_vol=25;
bar_cont=26;

Paso=0.1;
PasoQ=1.3;
PasoV=0.0;

vaumento=0.0;
Qaumento=0;
Paumento=0.1;

Vali=1;
val_v=0;
vecg=[1,2,13,22,23,27];
porc=[0.12,0.32,0.19,0.11,0.10,0.14];
contar=0;

Vsup=1.1;
Vinf=0.96;
truncar=0;
iteracion=0;
Pg_max=100000;
Qg_max=100000;
vali=0;
while Vali==1 && truncar==0 && iteracion<500
    ns=0; ng=0; Vm=0; delta=0; yload=0;
    deltad=0; nbus = length(busdata(:,1));
    for k=1:nbus
        n=busdata(k,1);
        kb(n)=busdata(k,2); Vm(n)=busdata(k,3); delta(n)=busdata(k,4);
        Pd(n)=busdata(k,5); Qd(n)=busdata(k,6); Pg(n)=busdata(k,7); Qg(n) = busdata(k,8);
        Qmin(n)=busdata(k,9); Qmax(n)=busdata(k,10); Qsh(n)=busdata(k,11);

        if(n==bar)
            Pd(n)=busdata(k,5) + Paso*basemva;
        end
        if(n==bar2)
            Qg(n)=busdata(k,6) + PasoQ*basemva*vali*contar;
            if contar >0
                Qau(contar)=PasoQ*basemva*vali*contar;
            end
        end
        if(n==bar_vol)
            Vm(n)=busdata(k,3) + vaumento*val_v;
        end
        for x=1:6
            if n==vecg(x)
                Pg(n)=busdata(k,7)+Paso*basemva*porc(x);
            end
        end
    end

```

```

if Vm(n) <= 0 Vm(n) = 1.0; V(n) = 1 + j*0;
else delta(n) = pi/180*delta(n);
V(n) = Vm(n)*(cos(delta(n)) + j*sin(delta(n)));
P(n) = ((Pg(n)-Pd(n))/basemva);
Q(n) = (Qg(n)-Qd(n) + Qsh(n))/basemva;
S(n) = P(n) + j*Q(n);
end
end
for k=1:nbus
if kb(k) == 1, ns = ns+1; else, end
if kb(k) == 2 ng = ng+1; else, end
ngs(k) = ng;
nss(k) = ns;
end

Ym=abs(Ybus); t = angle(Ybus);
m=2*nbus-ng-2*ns;
maxerror = 1; converge=1;
iter = 0;
% Start of iterations
clear A DC J DX
while maxerror >= accuracy & iter <= maxiter % Test for max. power mismatch
for i=1:m
for k=1:m
A(i,k)=0; %Initializing Jacobian matrix
end, end
iter = iter+1;
for n=1:nbus
nn=n-nss(n);
lm=nbus+n-ngs(n)-nss(n)-ns;
J11=0; J22=0; J33=0; J44=0;
for i=1:nbr
if nl(i) == n | nr(i) == n
if nl(i) == n, l = nr(i); end
if nr(i) == n, l = nl(i); end

if kb(n)~=1
J22=J22+ Vm(l)*Ym(n,l)*cos(t(n,l)- delta(n) + delta(l));
J44=J44+ Vm(l)*Ym(n,l)*sin(t(n,l)- delta(n) + delta(l));
else, end
if kb(n) ~= 1 & kb(l) ~=1
lk = nbus+l-ngs(l)-nss(l)-ns;
ll = l -nss(l);
% off diagonalelements of J1
A(nn, ll) =-Vm(n)*Vm(l)*Ym(n,l)*sin(t(n,l)- delta(n) + delta(l));
if kb(l) == 0 % off diagonal elements of J2
A(nn, lk) =Vm(n)*Ym(n,l)*cos(t(n,l)- delta(n) + delta(l));end
if kb(n) == 0 % off diagonal elements of J3
A(lm, ll) =-Vm(n)*Vm(l)*Ym(n,l)*cos(t(n,l)- delta(n)+delta(l)); end
if kb(n) == 0 & kb(l) == 0 % off diagonal elements of J4
A(lm, lk) =-Vm(n)*Ym(n,l)*sin(t(n,l)- delta(n) + delta(l));end
else end
else , end
end
Pk = Vm(n)^2*Ym(n,n)*cos(t(n,n))+J33;
Qk = -Vm(n)^2*Ym(n,n)*sin(t(n,n))-J11;
if kb(n) == 1 P(n)=Pk; Q(n) = Qk; end % Swing bus P
if kb(n) == 2 Q(n)=Qk;
if Qmax(n) ~= 0
Qgc = Q(n)*basemva + Qd(n) - Qsh(n);
if iter <= 7 % Between the 2th & 6th iterations
if iter > 2 % the Mvar of generator buses are
if Qgc < Qmin(n), % tested. If not within limits Vm(n)
Vm(n) = Vm(n) + 0.01; % is changed in steps of 0.01 pu to
elseif Qgc > Qmax(n), % bring the generator Mvar within
Vm(n) = Vm(n) - 0.01;end % the specified limits.
else, end
else,end
else,end
end
end
end

```

```

    if kb(n) ~= 1
        A(nn,nn) = J11; %diagonal elements of J1
        DC(nn) = P(n)-Pk;
    end
    if kb(n) == 0
        A(nn,lm) = 2*Vm(n)*Ym(n,n)*cos(t(n,n))+J22; %diagonal elements of J2
        A(lm,nn)= J33; %diagonal elements of J3
        A(lm,lm) =-2*Vm(n)*Ym(n,n)*sin(t(n,n))-J44; %diagonal of elements of J4
        DC(lm) = Q(n)-Qk;
    end
end
DX=A\DC';det(A)
for n=1:nbus
    nn=n-nss(n);
    lm=nbus+n-ngs(n)-nss(n)-ns;
    if kb(n) ~= 1
        delta(n) = delta(n)+DX(nn); end
    if kb(n) == 0
        Vm(n)=Vm(n)+DX(lm); end
end
maxerror=max(abs(DC));
if iter == maxiter & maxerror > accuracy
    fprintf('\nWARNING: Iterative solution did not converged after ')
    fprintf('%g', iter), fprintf(' iterations.\n\n')
    fprintf('Press Enter to terminate the iterations and print the results \n')
    converge = 0; pause, else, end

end

if converge ~= 1
    tech= (' ITERATIVE SOLUTION DID NOT CONVERGE');
    Vali=0;
else,tech=(' Power Flow Solution by Newton-Raphson Method');
end
V = Vm.*cos(delta)+j*Vm.*sin(delta);
deltad=180/pi*delta;
i=sqrt(-1);
k=0;
for n = 1:nbus
    if kb(n) == 1
        k=k+1;
        S(n)= P(n)+j*Q(n);
        Pg(n) = P(n)*basemva + Pd(n);
        Qg(n) = Q(n)*basemva + Qd(n) - Qsh(n);
        Pgg(k)=Pg(n)
        Qgg(k)=Qg(n) %june 97
    elseif kb(n) ==2
        k=k+1;
        S(n)=P(n)+j*Q(n);
        Qg(n) = Q(n)*basemva + Qd(n) - Qsh(n);
        Pgg(k)=Pg(n);
        Qgg(k)=Qg(n); % June 1997
    end
    yload(n) = (Pd(n) - j*Qd(n)+j*Qsh(n))/(basemva*Vm(n)^2);
end
busdata(:,3)=Vm'; busdata(:,4)=deltad';
Pgt = sum(Pg); Qgt = sum(Qg); Pdt = sum(Pd); Qdt = sum(Qd); Qsht = sum(Qsh);
Paso=Paso+Paumento;
PasoQ=PasoQ+Qaumento;
truncar=0;
Sum_Pot=0;
Sum_Qot=0;
for i=1:30
    VOL(i,as)=abs(V(1,i));
    ANG(i,as)=angle(V(1,i))*180/pi;
    POT(i,as)=(Pg(1,i)-Pd(1,i))/basemva;
    QRE(i,as)=(Qg(1,i)-Qd(1,i)+Qsh(1,i))/basemva;
    Yk(i,as)= Ym(1,i);
end
if(abs(V(1,bar))>Vinf || abs(V(1,bar))<Vsup)
    vali=0;
end
if(abs(V(1,bar))<Vinf)

```

```

        vali=1;
        if contar < 3
            contar=contar+1;
        end
    end
    if(abs(V(1,bar_cont))<Vinf)
        val_v=1;
        vaumento=vaumento+PasoV;
    else
        val_v=0;
    end
    for ind=1:6
        Sum_Pot=Sum_Pot+Pg(1,ind);
        Sum_Qot=Sum_Qot+Qg(1,ind);
    end
    as=as+1;
    iteracion=iteracion+1;
end
as

%clear A DC DX J11 J22 J33 J44 Qk delta lk ll lm
%clear A DC DX J11 J22 J33 Qk delta lk ll lm

```

## Apéndice C: Busout.m

Este código permite la tabulación de datos mostrados en Matlab

```

% This program prints the power flow solution in a tabulated form
% on the screen.
%
% Copyright (C) 1998 by H. Saadat.

%clc
disp(tech)
fprintf('                Maximum Power Mismatch = %g \n', maxerror)
fprintf('                No. of Iterations = %g \n\n', iter)
head =['   Bus   Voltage   Angle   -----Load-----   ---Generation---   Injected'
       '   No.   Mag.     Degree   MW           Mvar           MW           Mvar           Mvar '
       ''];
disp(head)
for n=1:nbus
    fprintf(' %5g', n), fprintf(' %7.3f', Vm(n)),
    fprintf(' %8.3f', deltad(n)), fprintf(' %9.3f', Pd(n)),
    fprintf(' %9.3f', Qd(n)), fprintf(' %9.3f', Pg(n)),
    fprintf(' %9.3f ', Qg(n)), fprintf(' %8.3f\n', Qsh(n))
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)

```

## Apéndice D: Ifybus.m

Este código obtiene la matriz admitancia para el calculo del flujo de potencia.

```

% Copyright (c) 1998 by H. Saadat
j=sqrt(-1); i = sqrt(-1);
nl = linedata(:,1); nr = linedata(:,2); R = linedata(:,3); X =
linedata(:,4); Bc = j*linedata(:,5); a = linedata(:, 6);
nbr=length(linedata(:,1)); nbus = max(max(nl), max(nr));
Z = R + j*X; y= ones(nbr,1)./Z;           %branch admittance
for n = 1:nbr
    if a(n) <= 0    a(n) = 1; else end
    Ybus=zeros(nbus,nbus);           % initialize Ybus to zero
                                % formation of the off diagonal elements
    for k=1:nbr;
        Ybus(nl(k),nr(k))=Ybus(nl(k),nr(k))-y(k)/a(k);
        Ybus(nr(k),nl(k))=Ybus(nl(k),nr(k));
    end
end
end

```

```

% formation of the diagonal elements
for n=1:nbus
    for k=1:nbr
        if nl(k)==n
            Ybus(n,n) = Ybus(n,n)+y(k)/(a(k)^2) + Bc(k);
        elseif nr(k)==n
            Ybus(n,n) = Ybus(n,n)+y(k) +Bc(k);
        else, end
    end
end
clear Pgg

```

## Apéndice E: Resultados de cada generador por aumentos de pasos de 0.1 PU

Tabla Apéndice E.1: Resultados del Flujo continuo del generador 2

GENERADOR 2				
Barras de aumento de potencia	Limite inferior	VOLTAJE DE COLAPSO PU	barras de colapso	Potencia maxima
2	0,95	0,946	3	1540
3	0,95	0,949	3	670
4	0,95	0,949	4	690
5	0,95	0,946	7	910
6	0,95	0,949	4	630
7	0,95	0,948	7	780
8	0,95	0,948	3	420
9	0,95	0,946	10	450
10	0,95	0,948	10	420
11	0,95	0,947	9	320
12	0,95	0,950	14	390
13	0,95	0,945	12	340
14	0,95	0,945	14	170
15	0,95	0,945	15	280
16	0,95	0,943	16	240
17	0,95	0,942	17	290
18	0,95	0,948	18	170
19	0,95	0,950	19	170
20	0,95	0,949	20	190
21	0,95	0,950	21	300
22	0,95	0,945	22	300
23	0,95	0,946	23	170
24	0,95	0,937	24	200
25	0,95	0,938	25	130
26	0,95	0,924	26	50
27	0,95	0,933	27	160
28	0,95	0,950	28	620
29	0,95	0,942	29	70
30	0,95	0,917	30	60

Tabla Apéndice E.2: Resultados del Flujo continuo del generador 3

GENERADOR 3				
Barras de aumento de potencia	Limite inferior	VOLTAJE DE COLAPSO PU	barras de colapso	Potencia maxima
2	0,95	0,947	3	1570
3	0,95	0,949	3	680
4	0,95	0,948	4	900
5	0,95	0,947	7	690
6	0,95	0,948	4	940
7	0,95	0,949	7	630
8	0,95	0,948	4	800
9	0,95	0,947	10	460
10	0,95	0,948	10	430
11	0,95	0,947	9	320
12	0,95	0,950	14	430
13	0,95	0,945	12	380
14	0,95	0,945	14	180
15	0,95	0,945	15	290
16	0,95	0,943	16	240
17	0,95	0,942	17	290
18	0,95	0,948	18	170
19	0,95	0,950	19	170
20	0,95	0,949	20	190
21	0,95	0,950	21	300
22	0,95	0,945	22	300
23	0,95	0,946	23	170
24	0,95	0,938	24	200
25	0,95	0,938	25	130
26	0,95	0,924	26	50
27	0,95	0,933	27	160
28	0,95	0,946	28	620
29	0,95	0,942	29	70
30	0,95	0,917	30	60

Tabla Apéndice E.3: Resultados del Flujo continuo del generador 4

GENERADOR 4				
Barras de aumento de potencia	Limite inferior	VOLTAJE DE COLAPSO PU	barras de colapso	Potencia maxima
2	0,95	0,945	3	1570
3	0,95	0,950	3	680
4	0,95	0,949	4	900
5	0,95	0,946	7	690
6	0,95	0,950	6	940
7	0,95	0,950	7	630
8	0,95	0,950	4	800
9	0,95	0,945	10	460
10	0,95	0,948	10	430
11	0,95	0,947	9	320
12	0,95	0,950	12	430
13	0,95	0,941	12	380
14	0,95	0,935	14	180
15	0,95	0,944	15	290
16	0,95	0,949	16	240
17	0,95	0,943	17	290
18	0,95	0,931	18	170
19	0,95	0,931	19	170
20	0,95	0,949	20	190
21	0,95	0,949	21	300
22	0,95	0,944	22	300
23	0,95	0,949	23	170
24	0,95	0,938	24	200
25	0,95	0,935	25	130
26	0,95	0,921	26	50
27	0,95	0,930	27	160
28	0,95	0,948	28	630
29	0,95	0,938	29	70
30	0,95	0,913	30	60

Tabla Apéndice E.4: Resultados del Flujo continuo del generador 5

GENERADOR 5				
Barras de aumento de potencia	Limite inferior	VOLTAJE DE COLAPSO PU	barras de colapso	Potencia maxima
2	0,95	0,948	3	1550
3	0,95	0,947	3	680
4	0,95	0,947	4	880
5	0,95	0,947	7	690
6	0,95	0,949	4	930
7	0,95	0,950	7	630
8	0,95	0,949	4	790
9	0,95	0,949	10	460
10	0,95	0,946	10	440
11	0,95	0,941	9	320
12	0,95	0,947	12	400
13	0,95	0,947	12	340
14	0,95	0,946	14	170
15	0,95	0,948	15	280
16	0,95	0,947	16	240
17	0,95	0,939	17	290
18	0,95	0,932	18	170
19	0,95	0,935	19	170
20	0,95	0,937	20	190
21	0,95	0,948	21	320
22	0,95	0,947	22	320
23	0,95	0,950	23	170
24	0,95	0,946	24	200
25	0,95	0,940	25	130
26	0,95	0,926	26	50
27	0,95	0,933	27	160
28	0,95	0,948	28	630
29	0,95	0,941	29	70
30	0,95	0,916	30	60

Tabla Apéndice E.5: Resultados del Flujo continuo del generador 6

GENERADOR 6				
Barras de aumento de potencia	Limite inferior	VOLTAJE DE COLAPSO PU	barras de colapso	Potencia maxima
2	0,95	0,946	3	1550
3	0,95	0,947	3	680
4	0,95	0,947	4	880
5	0,95	0,946	7	690
6	0,95	0,949	4	930
7	0,95	0,949	7	630
8	0,95	0,948	4	790
9	0,95	0,949	10	460
10	0,95	0,944	10	430
11	0,95	0,949	9	320
12	0,95	0,949	14	400
13	0,95	0,939	12	350
14	0,95	0,950	14	180
15	0,95	0,947	15	290
16	0,95	0,946	16	240
17	0,95	0,945	17	290
18	0,95	0,936	18	170
19	0,95	0,935	19	170
20	0,95	0,936	20	190
21	0,95	0,944	21	300
22	0,95	0,939	22	300
23	0,95	0,944	23	190
24	0,95	0,935	24	200
25	0,95	0,942	25	130
26	0,95	0,928	26	50
27	0,95	0,934	27	160
28	0,95	0,948	28	630
29	0,95	0,942	29	70
30	0,95	0,917	30	60