

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



TESIS

MODELO CUASI-ESTÁTICO PARA
ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TENSIÓN
EN UNA BARRA INDUSTRIAL DEL SEIN.

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO ELECTRICISTA.

SAAVEDRA DURAND, RICARDO ALONSO

Callao, Agosto, 2018.

PERÚ.

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



TESIS

MODELO CUASI-ESTÁTICO PARA
ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TENSIÓN
EN UNA BARRA INDUSTRIAL DEL SEIN.

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO ELECTRICISTA.

AUTOR: SAAVEDRA DURAND RICARDO ALONSO
ASESOR: ING. OYANGUREN RAMIREZ FERNANDO
CALIFICACIÓN: 16 (DIECISÉIS)

Ing. Carlos H. Huayllasco Montalva.
Presidente

Ing. Cesar A. Santos Mejía
Secretario

Ing. Roberto E. Solis Farfán
Vocal

HOJA DE REFERENCIA DEL JURADO Y APROBACION

**MODELO CUASI-ESTÁTICO PARA
ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TENSIÓN
EN UNA BARRA INDUSTRIAL DEL SEIN.**

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a todas aquellas personas que fueron un apoyo incondicional, a aquellos que nos dieron soporte emocional y económico para alcanzar el objetivo que hoy debo cumplir.

Por todo ello, dedico especialmente el presente trabajo de investigación:

A mi Madre.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer a todas las personas que me acompañaron en mi desarrollo profesional, que fueron mi soporte en el día a día para no rendirme y culminar mis estudios.

A mi Madre, agradecerle con el alma, el apoyo que me das y el estar a mi lado a pesar de mis errores. Por tus consejos, tu amistad y guiarme a ser una persona de bien, por todo ello este proyecto de investigación es en tu nombre.

A mi Madrina, por ser mi segunda madre y guiarme en mis momentos difíciles, y haber contribuido en mi formación académica y profesional.

A mi Padrino, por decirme diariamente que debo ser alguien en la vida, y enseñarme que debo ser un profesional honorable y competente.

Y a mí Asesor, por ser un ejemplo a seguir para realizar este proyecto de investigación.

ÍNDICE

PORTADA

PÁGINA DE RESPETO

HOJA DE REFERENCIA DEL JURADO Y APROBACIÓN

TÍTULO

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

INDICE

INDICE DE FIGURAS, TABLAS Y GRÁFICOS

| | |
|---|-----------|
| RESUMEN..... | 7 |
| ABSTRACT..... | 8 |
| INTRODUCCIÓN..... | 9 |
| I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN..... | 10 |
| 1.1. Identificación del problema..... | 10 |
| 1.2. Formulación del problema..... | 11 |
| 1.3. Objetivos de la investigación..... | 11 |
| 1.4. Justificación..... | 12 |
| 1.5. Importancia..... | 12 |
| II. MARCO TEÓRICO..... | 13 |
| 2.1. ESTABILIDAD DE TENSIÓN..... | 13 |
| 2.2. MODELOS SIMPLIFICADOS DE MÁQUINAS SÍNCRONAS..... | 25 |
| 2.3. MODELOS DE TRANSMISIÓN..... | 29 |
| 2.4. MODELOS DE CARGA..... | 33 |
| 2.5. CONTROL DE TENSIÓN Y POTENCIA REACTIVA..... | 40 |
| III. VARIABLES E HIPÓTESIS..... | 53 |
| 3.1. Variables de la investigación..... | 53 |

| | |
|--|-----|
| 3.2. Operacionalización de las variables..... | 53 |
| 3.3. Hipótesis..... | 54 |
| IV. METODOLOGÍA..... | 54 |
| 4.1. Tipo de investigación..... | 54 |
| 4.2. Diseño de investigación..... | 55 |
| 4.3. Técnicas de investigación..... | 55 |
| 4.4. Casos y Metodología Aplicada..... | 56 |
| V. RESULTADOS..... | 88 |
| 5.1. Evento de Incremento de carga..... | 88 |
| 5.2. Evento de cambio de Topología o Salida de Línea..... | 93 |
| VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS..... | 101 |
| 6.1. Contrastación de hipótesis con los resultados..... | 101 |
| 6.2. Contrastación de resultados con otros estudios similares..... | 101 |
| VII. CONCLUSIONES..... | 101 |
| VIII. RECOMENDACIONES..... | 103 |
| IX. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA..... | 103 |
| ANEXOS..... | 105 |
| Matriz de consistencia..... | 105 |

INDICE DE FIGURAS, TABLAS Y GRÁFICOS

FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura N°2.1.8.1: Esquema de Sistema de Transmisión..... | 18 |
| Figura N°2.1.8.2: Circuito equivalente de Sistema de Trasmisión..... | 19 |
| Figura N°2.2.3.1: Esquema para análisis de estado Sub-Transitorio..... | 25 |
| Figura N°2.2.3.2: Esquema para análisis de estado Transitorio..... | 26 |
| Figura N°2.2.3.3: Esquema para análisis de estado Estable..... | 27 |
| Figura N°2.3.3.1: Esquema general de Línea de Trasmisión..... | 31 |
| Figura N°2.3.4.1: Esquema Cable Aéreo línea corta..... | 31 |
| Figura N°2.3.4.2: Esquema Cable Aéreo línea larga..... | 32 |
| Figura N°2.4.6.1: Modelo fisico real de Motor de Inducción..... | 36 |
| Figura N°2.4.6.2: Modelo equivalente de Motor de Inducción..... | 37 |
| Figura N°2.4.6.3: Modelo exacto de Motor de Inducción..... | 37 |
| Figura N°2.4.6.A: Modelo exacto (2) de Motor de Inducción..... | 38 |
| Figura N°2.4.7.1: Modelo de carga Termostática..... | 39 |
| Figura N°2.5.3.1: Potencia Reactiva en elementos de SEP..... | 41 |
| Figura N°2.5.4.1: Dispositivos de Control de Tensión..... | 43 |
| Figura N°2.5.4.2: Esquema de Capacitor Shunt..... | 44 |
| Figura N°2.5.4.3: Capacitor Shunt en Transformador..... | 45 |
| Figura N°2.5.4.4: Capacitor Shunt en Barra..... | 45 |
| Figura N°2.5.4.5: Capacitor Shunt en Sistema de Distribución..... | 46 |

| | |
|--|----|
| Figura N°2.5.4.6: Capacitor Serie en Línea..... | 47 |
| Figura N°2.5.4.7: Modelo ideal de SVS..... | 50 |
| Figura N°2.5.4.8: Comportamiento ideal de SVS..... | 50 |
| Figura N°2.5.4.9: Combinación de elementos para modelo real de SVS..... | 51 |
| Figura N°2.5.4.10: Comportamiento de elementos para modelo real de SVS..... | 51 |
| Figura N°2.5.4.11: Modelo real de SVS..... | 52 |
| Figura N°2.5.4.12: Comportamiento real de SVS..... | 52 |
| Figura N°3.2.1: Operacionalización de variables..... | 53 |
| Figura N°4.4.1.1: Esquema de Sistema con incremento de carga..... | 57 |
| Figura N°4.4.1.2.1: Modelo para Impedancia de Thevenin en barra V2..... | 59 |
| Figura N°4.4.1.2.2: Modelo para de Tension Thevenin en barra V2..... | 59 |
| Figura N°4.4.1.2.3: Circuito equivalente de esquema de Fig.4.4.1.1..... | 60 |
| Figura N°4.4.2.1: Esquema de sistema para salida de línea..... | 67 |
| Figura N°4.4.2.2.1: Circuito detrás de barra industrial para cálculo de Tensión de Thevenin..... | 69 |
| Figura N°4.4.2.2.2: Circuito equivalente del sistema de Fig. N°4.4.2.2.1..... | 70 |
| Figura N°4.4.2.2.3: Circuito detrás de barra industrial para cálculo de Impedancia de Thevenin..... | 71 |
| Figura N°4.4.2.2.4: Circuito final de Thevenin detrás de barra industrial..... | 72 |
| Figura N°4.4.2.2.3: Modelo final del sistema industrial para análisis de estabilidad de tensión..... | 74 |

| | |
|---|-----|
| Figura N°5.1.2.1: Ingreso de datos en Command Window de MatLab..... | 91 |
| Figura N°5.1.2.2: Curvas característica del sistema ante un evento de incremento de carga en barra V2-MatLab..... | 92 |
| Figura N°5.2.2.1: Ingreso de datos en Command Window evento de salida de línea-MatLab..... | 100 |
| Figura N°5.2.2.2: Curvas características del sistema industrial ante evento de salida de línea-MatLab..... | 101 |

TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla N°2.1.8.1: Características del Sistema de Transmisión..... | 21 |
| Tabla N°5.1.1.1: Reactivos requeridos del sistema para un incremento de carga en función de una tensión en barra 2, V2..... | 88 |
| Tabla N°5.1.1.2: Reactivos entregados de los distintos capacitores para un incremento de carga en función de tensión en barra 2, V2..... | 89 |
| Tabla N°5.2.1.1: Reactivos requeridos por el sistema-Estado 1..... | 93 |
| Tabla N°5.2.1.2: Reactivos requeridos por el sistema-Estado 2..... | 94 |
| Tabla N°5.2.1.3: Reactivos requeridos por el sistema-Estado 3..... | 95 |
| Tabla N°5.2.1.4: Reactivos requeridos por el sistema-Estado 4..... | 96 |
| Tabla N°5.2.1.5: Reactivos requeridos por el sistema-Estado 5..... | 97 |
| Tabla N°5.2.1.6: Reactivos entregados de los distintos capacitores en función de tensión de barra industrial..... | 98 |

GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico N°2.1.8.1: Características del Sistema de Transmisión..... | 22 |
| Gráfico N°5.1.1.3: Curvas característica del sistema ante un evento de incremento de carga en barra V2..... | 90 |
| Gráfico N°5.2.1.7: Curva característica del sistema industrial ante evento de salida de línea..... | 99 |

RESUMEN

El presente trabajo de investigación busca modelar un sistema eléctrico en una barra industrial del SEIN, que permita desarrollar un correcto análisis de estabilidad de tensión, mediante un modelo cuasi-estático (Modelo matemático).

El modelo cuasi-estático permitirá visualizar los estados que caracterizan al sistema antes, durante y después de un evento de falla, mediante curvas características Q-V.

Así finalmente, mediante los dispositivos correctos llevar al sistema a los rangos de tensión permitidos, asegurando así la estabilidad de tensión en la barra de análisis.

Cabe mencionar que, si se permite que la tensión en la barra de análisis, este fuera de los rangos permitidos o establecidos, producirá daño a los equipos en un futuro cercano o inmediato.

ABSTRACT

This Project looks for an electrical system's model in industry bus of SEIN, which one allows us to develop a correct analysis of voltage stability by a quasi-static model (Mathematical model).

The quasi-static model will allow us to visualize the states that characterize the system before, during and after a fault event. All the mentioned is represented by Q-V characteristics curves.

Finally, using the correct devices lead the system to permitted voltage ranges, ensuring voltage stability in the analysis bus.

We should mention, that if we let that the voltage in the analysis bus is outside of the allowed or established ranges, this will take place in a near future or immediate, in a damage of the components of the systems, devices and equipment.

INTRODUCCIÓN

Un problema muy común que se ha manifestado durante las últimas décadas, es el análisis de estabilidad de tensión.

Estos problemas ocurren a un nivel local (en barra) y deben de controlarse para no dañar los equipos, los cuales han sido diseñados para trabajar a determinadas tensiones.

Se han realizado estudios que permiten analizar la estabilidad de tensión con distintos tipos de soluciones. La mayoría de estos estudios, no han sido desarrollados paso a paso por lo que pueden ser confusos para aquellos que desean comprender de manera correcta el fenómeno. Por lo mencionado, la presente investigación se dirige al modelamiento de algunos fenómenos o perturbaciones comunes que ocasionan la inestabilidad de tensión.

Para tal finalidad, este proyecto de investigación busca modelar distintos tipos de sistemas que permitan realizar un análisis de estabilidad de tensión, ante un evento de falla, mediante modelos cuasi-estáticos, que permitan desarrollar las ecuaciones y por ende las curvas Q-V de cada estado característico del sistema, y así, lograr controlar el sistema y la caída de tensión en las barras.

I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Identificación del problema

La estabilidad de tensión es un problema muy común a nivel local en los sistemas eléctricos de potencia, que puede conllevar a la falla de un sistema y progresivamente al daño de nuestros equipos.

El principal problema es el no tener en barras la tensión nominal requerida para nuestros equipos, que permitan un funcionamiento óptimo de los equipos, sino una sobretensión o una subtensión en barra, generado por un aumento de carga, la salida de una línea; en sí, cambios no deseados en el sistema eléctrico.

Es importante mencionar, que la tensión en cualquier punto está muy relacionada con la potencia reactiva. Por ello el estudio de las curvas Q-V, serán de suma importancia para realizar un análisis de estabilidad de tensión.

Además, se debe tener en cuenta los estados que genera el evento, antes, durante y después. (Pérdida de una línea o incremento de carga).

Se hará un análisis local en una barra industrial del SEIN, que permitirá visualizar el comportamiento del sistema ante un evento, y los distintos estados que caracterizan al mismo.

1.2 Formulación de problemas

1.2.1 Problema General

¿Cómo realizar un análisis de Estabilidad de Tensión mediante un modelo ante un evento de falla en una barra industrial del SEIN que permita la correcta comprensión de la Estabilidad de Tensión?

1.2.2 Problemas Específicos

- ¿Cuáles pueden ser los estados al que ingresara el Sistema eléctrico en la barra industrial del SEIN ante un evento de falla?
- ¿Qué tipo de método se utilizará para realizar el análisis de Estabilidad de Tensión ante un posible evento de falla en una barra industrial del SEIN?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Elaborar un procedimiento de desarrollo que permita realizar un modelo para el análisis de Estabilidad de Tensión ante un evento de falla en una barra industrial del SEIN, que permita la correcta comprensión de la Estabilidad de Tensión.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Establecer los criterios y pasos a seguir que permita definir los estados al que ingresara el sistema eléctrico en barra industrial del SEIN ante un evento de falla.
- Establecer el tipo de método a utilizar para realizar el análisis de Estabilidad de Tensión ante un evento de falla en una barra del SEIN.

1.4 Justificación

La finalidad del presente proyecto de investigación está enfocado a realizar un análisis correcto de estabilidad de tensión mediante un modelo cuasi-estático para una barra industrial del SEIN, y posibles eventos comunes que suelen ocurrir, con lo cual se espera que la presente investigación sirva de modelo para futuros estudios de estabilidad de tensión o para una correcta comprensión de lo mencionado.

1.5 Importancia

La importancia del análisis de estabilidad de tensión se debe a que, un sistema eléctrico de potencia debe entregar, para el consumo de los usuarios, ya sea industrial o cliente regulado, una tensión establecida la cual no debe encontrarse fuera de los rangos permisibles. Para ello el análisis de estabilidad de tensión, permite identificar el comportamiento del sistema ante ciertos eventos comunes en el SEIN mediante modelos matemáticos y computacionales.

La presente investigación busca modelar el sistema ante dos tipos de evento de falla que generalmente conllevan a una inestabilidad de tensión y luego reestablecer la tensión en el sistema mediante dispositivos de control de reactivos y asegurar el correcto uso de los equipos a una tensión nominal y/o de diseño.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 ESTABILIDAD DE TENSIÓN

2.1.1 Antecedentes del estudio

Los problemas de estabilidad de tensión son usuales en un sistema eléctrico de potencia e industrial. Recientemente se está tomando mucha atención a estos tipos de problemas en los distintos sistemas eléctricos.

Estos problemas están asociados estrechamente a sistemas débiles y/o líneas largas. Actualmente es un problema de gran concertación para redes altamente desarrolladas como resultado de ser un sistema fuertemente cargado.

2.1.2 Estabilidad de tensión

Se define como la habilidad de un sistema eléctrico para mantener tensiones aceptables en barras bajo condiciones normales o después de ser sujeto a un disturbio u evento. También como la capacidad de un sistema eléctrico de recuperarse ante un evento de falla y de mantener sus tensiones estables.

Un sistema puede entrar en un estado de inestabilidad de tensión por posibles eventos como:

- Disturbios(Fallas)
- Incremento de carga o demanda
- Cambios en la topología del sistema

Estos eventos y el descontrol de ellos pueden llevar o causar una caída incontrolable en la tensión y dañar el sistema eléctrico, equipos, entre otros, del usuario industrial.

El principal factor que causa la inestabilidad de un sistema eléctrico de potencia es la incapacidad del sistema de entregar la energía reactiva demandada.

2.1.3 Conceptos básicos – Estabilidad de tensión

Los problemas de estabilidad de tensión ocurren normalmente en sistemas eléctricos pesados (Potencias grandes de carga). El inicio de la inestabilidad puede tener distintas causas, por ejemplo, el principal problema es una debilidad inherente del sistema y los cambios en su estado. Los factores principales que contribuyen a la inestabilidad de tensión son:

- Los límites de control del generador para entregar potencia activa y reactiva.
- Características de las cargas.
- Características de los dispositivos de compensación reactiva.
- La acción de los controles de tensión en ciertos dispositivos como el cambio de taps en los transformadores que se encuentran bajo carga (ULTC's).

Se relacionarán los conceptos mencionados con las características de transmisión de un sistema, para así examinar luego la variación del fenómeno y como este es influenciado por las características del generador, cargas o demanda, y los dispositivos de compensación reactiva.

2.1.4 Clasificación de Estabilidad de Tensión

Estabilidad de Tensión de Gran Perturbación.

Es la habilidad del sistema de mantener su tensión en barras, después de una gran perturbación y de la actuación los dispositivos de control de tensión.

Ejemplos de gran perturbación:

- ❖ Fallas del sistema.
- ❖ Perdidas en generación.
- ❖ Cambios en la topología del sistema.

Asociado a las características de carga que alimentara el sistema y las características de los dispositivos de control de tensión. Su solución dependerá de un sistema no lineal, sino dinámico, que permita realizar su análisis en toda su extensión.

El tiempo de duración de este tipo de perturbación puede ser de segundos a minutos.

Para comprender correctamente la estabilidad de tensión se puede requerir a modelos cuasi-estáticos para cada estado que caracterizara el sistema, antes durante, y después de la perturbación.

Estabilidad de Tensión de Pequeña Perturbación.

Es la habilidad del sistema de mantener su tensión en barras, después de una pequeña perturbación y de haber actuados los dispositivos de control de tensión.

Ejemplos de pequeña perturbación:

- ❖ Incremento de carga.

Asociado a las características de carga que alimentara el sistema y las características de los dispositivos de control de tensión. La solución

dinámica dependerá de un sistema no lineal, el cual permitirá realizar el análisis en toda su extensión.

Además, se puede realizar un análisis estático con el cual se puede calcular márgenes de estabilidad, factores que influyen la estabilidad, entre otros.

2.1.5 Colapso de Tensión

Como ya se mencionó, la estabilidad de tensión es la habilidad del sistema en sí de mantener la tensión en todas las barras dentro de los límites de operación o estándares establecidos ante cualquier evento de falla.

El proceso mediante el conjunto de eventos sucesivos que acompañan a la inestabilidad de tensión, producirán una caída de tensión considerable por debajo de los estándares en barras del sistema en su totalidad o en una porción es denominado “Colapso de Tensión”.

Está asociado principalmente a los límites de transferencia que el sistema puede entregar, por ello se nombran 3 causas fundamentales:

- Insuficiencia de reactivos en barra.
- Distancias largas para la transmisión.
- Aumento de la carga.

2.1.6 Características de Generación

La finalidad de la estabilidad de tensión es mantener en barras, las tensiones dentro de rangos permisibles. Uno de los elementos que cumple esta función es el AVR (Automatic Voltage Regulator), considerados uno de los elementos de mayor importancia en un Sistema de Potencia, ya que son ellos los que generalmente mantienen los voltajes en condiciones permisibles.

En condiciones de tensiones bajas (Por debajo de las tensiones permisibles), la potencia reactiva que se requerirá al generador que entregue al sistema puede exceder los límites de corriente de campo o los límites de la corriente de armadura, los cuales definen la cantidad de potencia reactiva que el generador puede entregar. Cuando la salida de esta potencia reactiva es limitada, no siendo el generador capaz de entregar más potencia reactiva de la que se le solicita, las tensiones en barras no se mantendrán constantes y saldrán de sus rangos permisibles.

2.1.7 Características de Carga

Los voltajes establecidos por ciertos valores son determinados por las características de transmisión del sistema y las características de la carga.

Por ello, la potencia reactiva y activa de las cargas variaran con la tensión o voltajes los cuales son establecidos por las características de las mismas.

Existen cargas Residenciales e Industriales (Motores), estas cargas se caracterizan por un modelo, el cual dependerá del estado en el cual se encuentre el sistema.

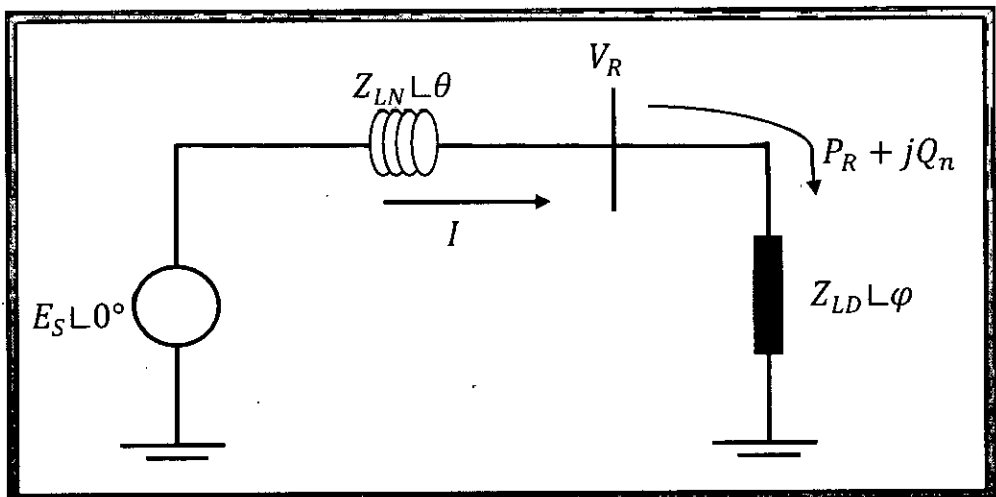
Existen dispositivos reguladores de tensión de distribución y ULTC's (Transformadores con taps bajo carga), que actuaran para mantener la tensión o voltajes constantes en barras.

2.1.8 Características del Sistema de Transmisión

Las características de interés en un Sistema de transmisión son las relaciones que existen entre la carga y la tensión en la barra de análisis o la recepción de tensión final en barra. Todo ello relacionado mediante un sistema que permitirá la trasmisión de potencia.

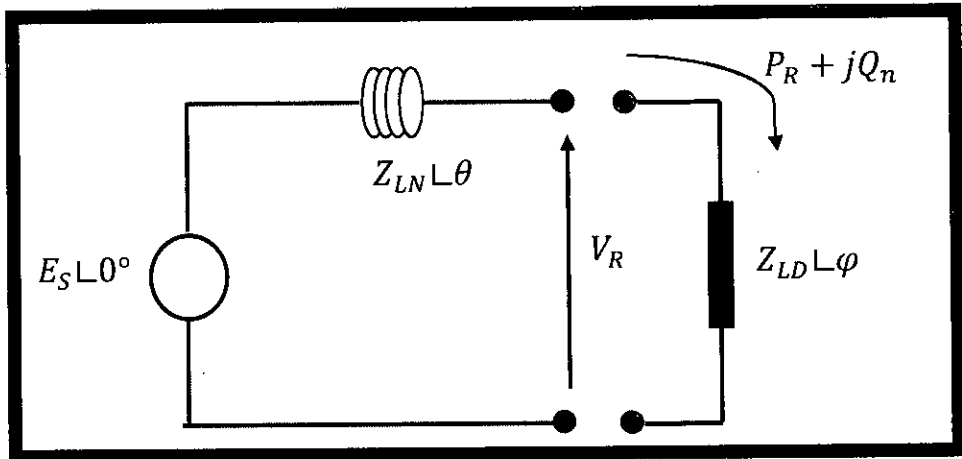
Se muestra el diagrama esquemático de un sistema de transmisión en la figura N°2.1.8.1 y 2.1.8.2, la cual permitirá hacer el análisis deseado.

Figura N°2.1.8.1
ESQUEMA DE SISTEMA DE TRANSMISIÓN



Se debe tener en cuenta que, al modelar un sistema, este se hace considerando una barra infinita como representación fuente de generación del sistema eléctrico aguas arriba de la carga, incluyendo la impedancia propia del sistema de transmisión. Se considerará una tensión de 1 por unidad y un ángulo de 0° , si es que no se diera el dato respectivo.

Figura N°2.1.8.2
CIRCUITO EQUIVALENTE DE SISTEMA DE TRANSMISIÓN



El sistema será analizado mediante las siguientes ecuaciones:

$$I = \frac{1}{\sqrt{F}} * \frac{E_S}{Z_{LN}}$$

$$V_R = \frac{1}{\sqrt{F}} * \frac{Z_{LD}}{Z_{LN}} * E_S$$

$$P_R = \frac{Z_{LD}}{F} * \left(\frac{E_S}{Z_{LN}} \right)^2 * \cos \varphi$$

$$F = 1 + 2 * \left(\frac{Z_{LD}}{Z_{LN}} \right) * \cos(\theta - \varphi) + \left(\frac{Z_{LD}}{Z_{LN}} \right)^2$$

Donde:

Z_{LN} : Impedancia de LT o del sistema equivalente.

Z_{LD} : Impedancia de carga.

V_R : Tension en punto o barra de carga a analizar.

P_R : Potencia activa requerida por la carga.

Q_N : Potencia Reactiva requerida por la carga.

θ : Angulo de impedancia de LT.

φ : Angulo de impedancia de carga.

E_S : Tension equivalente del sistema.

Potencia transferida máxima, se da cuando $\varphi = 0$,

$$P_{max} = \frac{Z_{LD}}{F} * \left(\frac{E_S}{Z_{LN}} \right)^2$$

La corriente que puede transferir el sistema de trasmisión,

$$I_{SC} = \frac{E_S}{Z_{LN}}$$

Se desarrollará una tabla de valores para las siguientes condiciones,

$$E_S = 1 \text{ pu}$$

$$Z_{LN} = 1 \text{ pu}$$

Teniendo en cuenta lo mencionado, se graficarán las curvas de característica de trasmisión,

$$y_{1(V_R)} = \frac{V_R}{E_S}$$

$$y_{2(P_r)} = \frac{P_R}{P_{max}}$$

$$y_{3(I)} = \frac{I}{I_{SC}}$$

Con las siguientes características para la carga,

$$\cos \varphi = 0.95$$

Con las siguientes características para la red,

$$\tan \theta = 10$$

Para cualquier valor de impedancia de red, en la gráfica se asume,

$$Z_{LN} = 1 \text{ pu}$$

Generando una variación en la impedancia de carga a nivel de magnitud, se graficarán las curvas características.

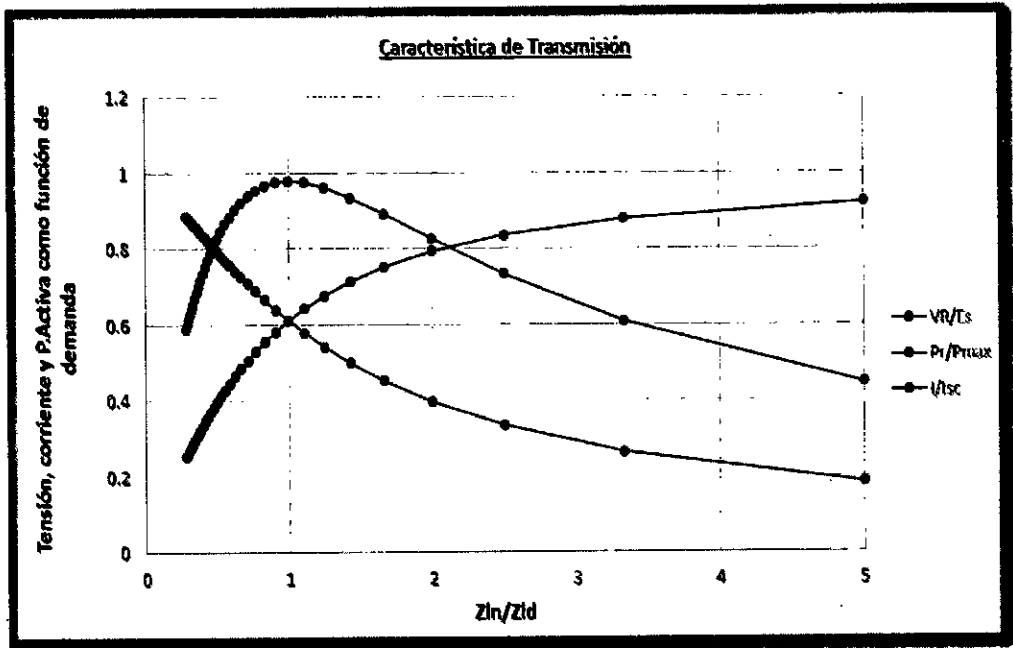
Los resultados se muestran en la siguiente Tabla N°2.1.8.1:

Tabla N°2.1.8.1
 CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN

| Item | Zln | Zld | Zln/Zld | Zld/Zln | F | VR | VR/ES | Pr | Pr/Pmax | Isc | I | I/Isc |
|------|------|------|---------|---------|-------|------|-------|------|---------|------|------|-------|
| 1 | 1.00 | 0.00 | --- | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | --- | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 2 | 1.00 | 0.10 | 10.00 | 0.10 | 1.08 | 0.10 | 0.10 | 0.09 | 0.24 | 1.00 | 0.96 | 0.96 |
| 3 | 1.00 | 0.20 | 5.00 | 0.20 | 1.18 | 0.18 | 0.18 | 0.16 | 0.45 | 1.00 | 0.92 | 0.92 |
| 4 | 1.00 | 0.30 | 3.33 | 0.30 | 1.30 | 0.26 | 0.26 | 0.22 | 0.61 | 1.00 | 0.88 | 0.88 |
| 5 | 1.00 | 0.40 | 2.50 | 0.40 | 1.43 | 0.33 | 0.33 | 0.27 | 0.73 | 1.00 | 0.84 | 0.84 |
| 6 | 1.00 | 0.50 | 2.00 | 0.50 | 1.59 | 0.40 | 0.40 | 0.30 | 0.82 | 1.00 | 0.79 | 0.79 |
| 7 | 1.00 | 0.60 | 1.67 | 0.60 | 1.77 | 0.45 | 0.45 | 0.33 | 0.89 | 1.00 | 0.75 | 0.75 |
| 8 | 1.00 | 0.70 | 1.43 | 0.70 | 1.97 | 0.50 | 0.50 | 0.34 | 0.93 | 1.00 | 0.71 | 0.71 |
| 9 | 1.00 | 0.80 | 1.25 | 0.80 | 2.19 | 0.54 | 0.54 | 0.35 | 0.96 | 1.00 | 0.68 | 0.68 |
| 10 | 1.00 | 0.90 | 1.11 | 0.90 | 2.43 | 0.58 | 0.58 | 0.36 | 0.97 | 1.00 | 0.64 | 0.64 |
| 11 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 2.68 | 0.61 | 0.61 | 0.36 | 0.98 | 1.00 | 0.61 | 0.61 |
| 12 | 1.00 | 1.10 | 0.91 | 1.10 | 2.96 | 0.64 | 0.64 | 0.36 | 0.97 | 1.00 | 0.58 | 0.58 |
| 13 | 1.00 | 1.20 | 0.83 | 1.20 | 3.26 | 0.66 | 0.66 | 0.36 | 0.97 | 1.00 | 0.55 | 0.55 |
| 14 | 1.00 | 1.30 | 0.77 | 1.30 | 3.58 | 0.69 | 0.69 | 0.35 | 0.95 | 1.00 | 0.53 | 0.53 |
| 15 | 1.00 | 1.40 | 0.71 | 1.40 | 3.92 | 0.71 | 0.71 | 0.35 | 0.94 | 1.00 | 0.51 | 0.51 |
| 16 | 1.00 | 1.50 | 0.67 | 1.50 | 4.28 | 0.73 | 0.73 | 0.34 | 0.92 | 1.00 | 0.48 | 0.48 |
| 17 | 1.00 | 1.60 | 0.63 | 1.60 | 4.65 | 0.74 | 0.74 | 0.33 | 0.90 | 1.00 | 0.46 | 0.46 |
| 18 | 1.00 | 1.70 | 0.59 | 1.70 | 5.05 | 0.76 | 0.76 | 0.32 | 0.88 | 1.00 | 0.44 | 0.44 |
| 19 | 1.00 | 1.80 | 0.56 | 1.80 | 5.47 | 0.77 | 0.77 | 0.32 | 0.86 | 1.00 | 0.43 | 0.43 |
| 20 | 1.00 | 1.90 | 0.53 | 1.90 | 5.91 | 0.78 | 0.78 | 0.31 | 0.84 | 1.00 | 0.41 | 0.41 |
| 21 | 1.00 | 2.00 | 0.50 | 2.00 | 6.37 | 0.79 | 0.79 | 0.30 | 0.82 | 1.00 | 0.40 | 0.40 |
| 22 | 1.00 | 2.10 | 0.48 | 2.10 | 6.85 | 0.80 | 0.80 | 0.30 | 0.81 | 1.00 | 0.38 | 0.38 |
| 23 | 1.00 | 2.20 | 0.45 | 2.20 | 7.34 | 0.81 | 0.81 | 0.29 | 0.79 | 1.00 | 0.37 | 0.37 |
| 24 | 1.00 | 2.30 | 0.43 | 2.30 | 7.86 | 0.82 | 0.82 | 0.28 | 0.77 | 1.00 | 0.36 | 0.36 |
| 25 | 1.00 | 2.40 | 0.42 | 2.40 | 8.40 | 0.83 | 0.83 | 0.28 | 0.75 | 1.00 | 0.34 | 0.34 |
| 26 | 1.00 | 2.50 | 0.40 | 2.50 | 8.96 | 0.84 | 0.84 | 0.27 | 0.73 | 1.00 | 0.33 | 0.33 |
| 27 | 1.00 | 2.60 | 0.38 | 2.60 | 9.54 | 0.84 | 0.84 | 0.26 | 0.72 | 1.00 | 0.32 | 0.32 |
| 28 | 1.00 | 2.70 | 0.37 | 2.70 | 10.14 | 0.85 | 0.85 | 0.26 | 0.70 | 1.00 | 0.31 | 0.31 |
| 29 | 1.00 | 2.80 | 0.36 | 2.80 | 10.76 | 0.85 | 0.85 | 0.25 | 0.68 | 1.00 | 0.30 | 0.30 |
| 30 | 1.00 | 2.90 | 0.34 | 2.90 | 11.39 | 0.86 | 0.86 | 0.25 | 0.67 | 1.00 | 0.30 | 0.30 |
| 31 | 1.00 | 3.00 | 0.33 | 3.00 | 12.05 | 0.86 | 0.86 | 0.24 | 0.65 | 1.00 | 0.29 | 0.29 |
| 32 | 1.00 | 3.10 | 0.32 | 3.10 | 12.73 | 0.87 | 0.87 | 0.24 | 0.64 | 1.00 | 0.28 | 0.28 |
| 33 | 1.00 | 3.20 | 0.31 | 3.20 | 13.43 | 0.87 | 0.87 | 0.23 | 0.63 | 1.00 | 0.27 | 0.27 |
| 34 | 1.00 | 3.30 | 0.30 | 3.30 | 14.15 | 0.88 | 0.88 | 0.23 | 0.61 | 1.00 | 0.27 | 0.27 |
| 35 | 1.00 | 3.40 | 0.29 | 3.40 | 14.89 | 0.88 | 0.88 | 0.22 | 0.60 | 1.00 | 0.26 | 0.26 |
| 36 | 1.00 | 3.50 | 0.29 | 3.50 | 15.64 | 0.88 | 0.88 | 0.22 | 0.59 | 1.00 | 0.25 | 0.25 |

Las curvas de las características del sistema de transmisión se muestran a continuación:

Gráfica N°2.1.8.1
CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN



En la presente gráfica, se observa que al incrementar la carga (conectar cargas en paralelo) conllevará a un incremento de la potencia transferida del sistema a una tensión constante a través de una impedancia. Esta potencia transferida se incrementará hasta llegar a un tope donde la impedancia de línea e impedancia de carga son iguales, luego de ello el incremento de carga generará una caída en la transferencia de potencia activa.

Así mismo se observa, el incremento de la corriente en función de la reducción de la impedancia de carga, hasta llegar a un punto crítico en el cual el crecimiento de la misma a partir de ese punto será menos acelerado, el punto mencionado será la igualdad de impedancias de carga y del sistema.

A su vez y en consecuencia de lo mencionado, el incremento de la potencia activa de la carga llevará al sistema a una caída de tensión inminente acelerada hasta el punto en el cual la impedancia de línea e impedancia de carga sean iguales, luego de pasar ese punto, la caída de tensión será menos desacelerada.

2.1.9 Características de Dispositivos de Compensación Reactiva

a. Capacitores Serie

Dispositivos conectados en serie a la línea de transmisión. La capacidad reactiva que se entrega al sistema es proporcional al cuadrado de la corriente que ira a través de la línea. Además, de ser independiente de los voltajes en barra del sistema.

Se instalan en líneas eléctricas para reducir la impedancia de la línea (Z_L) y la longitud eléctrica de la línea (θ).

Como precaución se menciona, que no se debe de reducir la reactancia inductiva a valores mínimos, ya que puede conllevar a un problema de resonancia subsíncrona, el cual puede dañar los equipos a futuro.

b. Capacitores Shunt (Paralelos)

Son generalmente usados por su costo relativamente bajo. Provee potencia reactiva y funciona como soporte para la tensión. Estos dispositivos pueden corregir o mejorar el factor de potencia recibida en barra, extendiendo los límites de estabilidad.

Usados también como reserva de potencia reactiva para generadores, así lograr evitar el colapso de tensión.

Limitaciones:

- ❖ Si son sistemas muy pesados con varias cargas, la regulación del voltaje es limitada y pobre, puesto que no es capaz de suministrar la potencia reactiva o los reactivos que el sistema necesita.
- ❖ Fuera del rango de su límite de reactivos, la estabilidad de la operación no está asegurada.
- ❖ La potencia reactiva que suministra es proporcional al cuadrado de la tensión. Si el sistema se encontrará bajo condiciones de baja tensión o la tensión empieza a decaer, el soporte de potencia reactiva del capacitor shunt cae con esta tensión, agravando el problema de estabilidad.

c. Dispositivos de Compensación Regulada Shunt

Static Var System (SVS): Dispositivo encargado de regular automáticamente la cantidad de reactivos o potencia reactiva que entrega. Tienen una capacidad de reactivos establecido. Si en algún momento el equipo alcanzara su límite de capacidad de reactivos, pasa a comportarse como un capacitor shunt.

Condensador Sincrono: a diferencia del SVS, este dispositivo tiene una fuente de voltaje interna. Con lo cual, será capaz de suministrar potencia reactiva ante una caída o aumento de tensión contribuyendo a estabilizar la tensión en la barra de análisis y las barras más cercanas.

2.2 MODELOS SIMPLIFICADOS DE MÁQUINAS SÍNCRONAS

2.2.1 Máquina Síncrona

Es una maquina eléctrica rotativa de corriente alterna, en la cual la velocidad del eje de rotación junto con la frecuencia está en sincronismo. Los dos rotan juntos. Pueden funcionar como motores o generadores. Para la presente investigación se analizarán los principales modelos de los generadores síncronos.

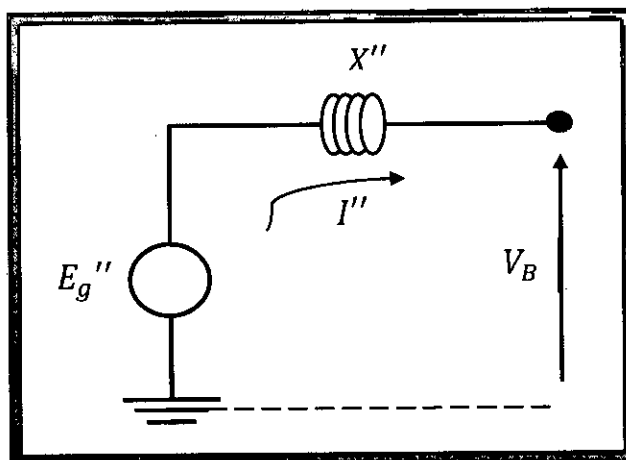
2.2.2 Principio de Funcionamiento

El rotor está conectado a una turbina la cual está rotando por alguna fuente externa, a su vez una fuente de corriente continua está conectada con el bobinado rotórico, el cual crea un campo constante. Esto a su vez hará que el campo gire y gire, induciendo en el estator tensiones balanceadas en los bornes del mismo. Al conectar una carga, generara corrientes balanceadas.

2.2.3 Modelos Simplificados de Generadores Síncronos

Análisis Sub-Transitorio

Figura N°2.2.3.1
ESQUEMA PARA ANÁLISIS DE ESTADO SUBTRANSITORIO



$$E_g'' = I'' * X'' + V_B$$

Donde,

E_g'' : Tension de generador en estado sub – transitorio

X'' : Reactancia de generador en estado sub – transitorio

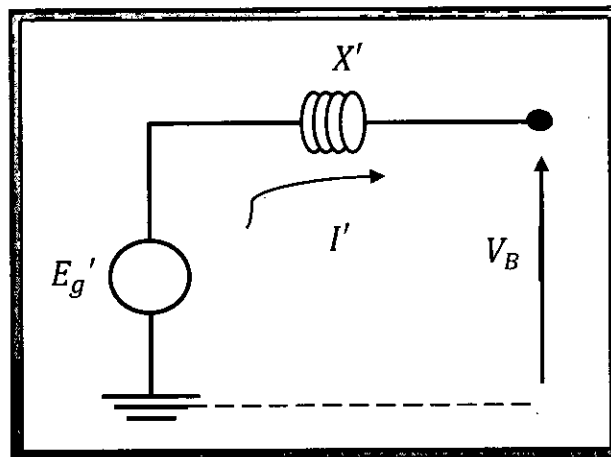
I'' : Corriente de generador en estado sub – transitorio

V_B : Tension en bornes de generador

Análisis Transitorio

Figura N°2.2.3.2

ESQUEMA PARA ANÁLISIS DE ESTADO TRANSITORIO



$$E_g' = I' * X' + V_B$$

Donde,

E_g' : Tension de generador en estado sub – transitorio

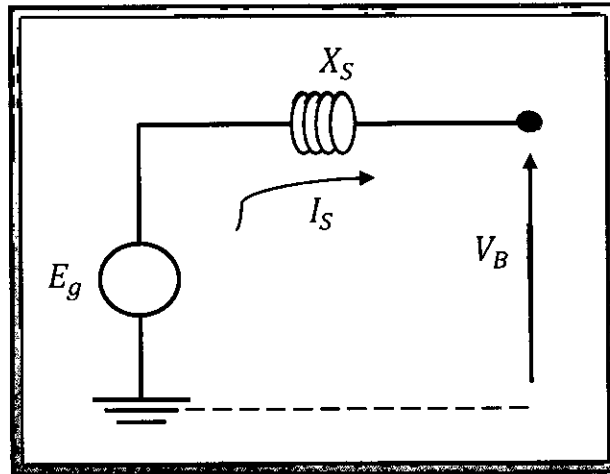
X' : Reactancia de generador en estado sub – transitorio

I' : Corriente de generador en estado sub – transitorio

V_B : Tension en bornes de generador

Análisis Estado Estable

Figura N°2.2.3.3
ESQUEMA PARA ANÁLISIS DE ESTADO ESTABLE



$$E_g = I_S * X_S + V_B$$

Donde,

E_g : Tension de generador en estado sub – transitorio

X_S : Reactancia de generador en estado sub – transitorio

I_S : Corriente de generador en estado sub – transitorio

V_B : Tension en bornes de generador

2.2.4 Límites de Capacidad Reactiva

Los generadores son diseñados para que no sobrepasen sus límites térmicos, o sobrecalentamiento. Por ello se les especifica un factor de potencia de 0.85 o 0.9 inductivo, con lo cual podrán trabajar sin llegar a sus límites de calentamiento.

Se considerará 3 puntos importantes que limitaran la capacidad de entrega de potencia reactiva:

El límite de la corriente de armadura, el límite de la corriente de campo y los límites de la región de calor propio.

- a. **La corriente de armadura**, se deben evitar la pérdidas producidas por la corriente de armadura la cual se produce en el estator $R_{arm} * I_{arm}^2$, por ello se debe limitar la corriente de armadura, la cual incrementara la temperatura del conductor, alcanzando sus límites de diseño de temperatura y generando un sobrecalentamiento en el conductor, dañándolo permanente o dañando el aislamiento.
- b. **La corriente de campo**, otro límite a tener en cuenta es el de la corriente de campo la cual se produce en el rotor para reducir las pérdidas que se producen $R_{campo} * I_{campo}^2$. Si se reducen estaremos evitando el sobrecalentamiento producido en el mismo.
- c. **Límites de Calor**, debido a los flujos magnéticos de fuga producidos en las láminas del estator (en consecuencia, a que los flujos magnéticos entran y salen). Básicamente se reducen los límites establecidos por la corriente de campo y corriente de armadura, los cuales dependen de la tensión de salida del estator.

2.3 MODELO DE TRANSMISIÓN

2.3.1 Líneas de Transmisión

Un sistema de transmisión facilita la transferencia de potencia de una estación de generación a otra, mediante:

- Líneas aéreas: Para distancias largas que separan las estaciones de generación, usados en zonas rurales y zonas urbanas.
- Cables Subterráneos: Para distancias más cortas, usados en zonas urbanas y transmisión en rutas debajo del agua.

El costo de uno u otro dependerá del lugar de venta, pero es necesario comentar que los cables son mucho más caros, puesto que son usados solo para casos especiales en cual no se puedan usar líneas aéreas. Por ello es de uso común las líneas aéreas para la mayoría de casos.

2.3.2 Parámetros Eléctricos de Líneas de Trasmisión

Resistencia Serie: Son determinados por los fabricantes. Son los que producen las pérdidas en la línea de potencia activa.

Inductancia Serie: Estos dependerán del flujo magnético creado alrededor este mismo. En líneas aéreas, las inductancias de las tres fases son distintas cada una. Dependiendo de la disposición de conductores se calculará la inductancia para el conjunto de fases.

$$L = 2 * 10^{-7} * \ln\left(\frac{D_{eq}}{D_{DMG}}\right)$$

Conductancia Shunt: Representa pérdidas debido a la corriente de fuga a lo largo de los hilos del conductor aislado. En sistemas de potencia estos efectos son despreciados generalmente.

Capacitancia Shunt: Es la carga por unidad de diferencia de potencial entre conductores. Como se sabe, el diferencial de potencial entre conductores conlleva a que los conductores estén cargados. Si se aplican distintas diferencias de potencial a los conductores, flujos de corriente de carga distintos, empiezan a aparecer como resultado de la carga y la descarga de las capacitancias. Se hace el análisis por fase con neutro, tomando como referencia la tierra que funciona como espejo. Es por ello que se relaciona con los campos eléctricos que puede generar un conductor en operación.

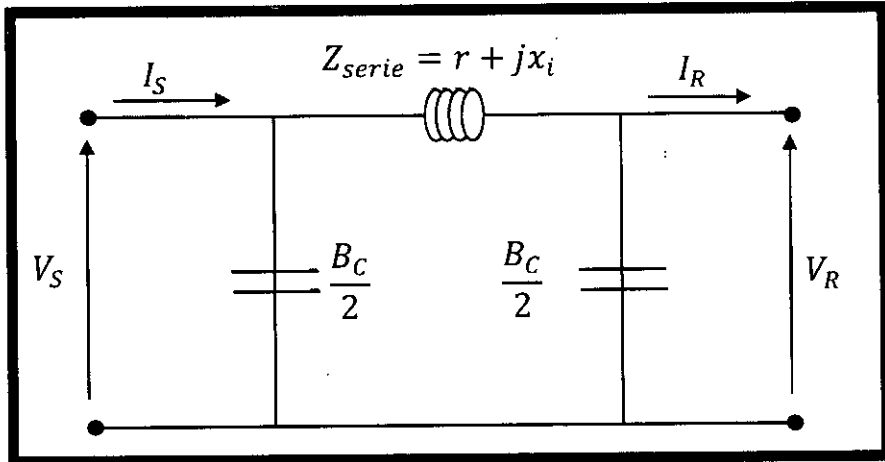
$$C = \frac{2 * k * \pi}{\ln\left(\frac{D_{eq}}{r}\right)}$$

Los parámetros eléctricos mencionado son aplicables para líneas aéreas y cables subterráneos, con algunas diferencias en los últimos:

- a. A diferencia de las líneas aéreas, los conductores de los cables subterráneos están mucho más juntos.
- b. Generalmente los conductores de los cables subterráneos están cubiertos alrededor por estructuras metálicas o aislamientos.
- c. Los aislamientos entre conductores generalmente son impregnados de papel, aceite de viscosidad baja o gases inertes

2.3.3 Esquema o circuito general de una línea de transmisión

Figura N°2.3.3.1
ESQUEMA GENERAL DE LÍNEA DE TRANSMISIÓN

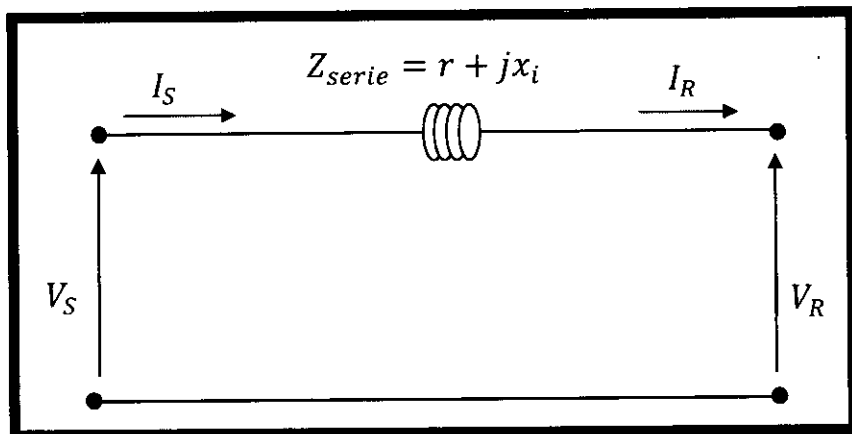


2.3.4 Clasificación de líneas de transmisión por su longitud

Cables aéreos

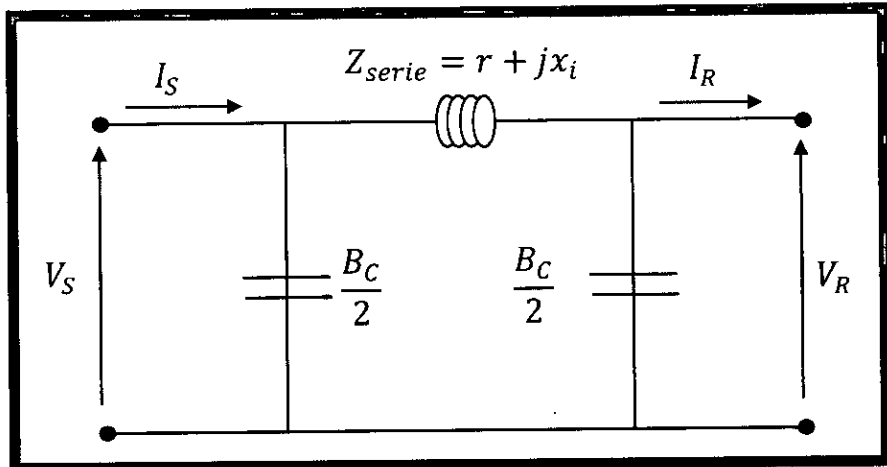
- Líneas Cortas o pequeñas:* líneas menores a 80 Km de longitud. Se puede despreciar su capacitancia y por ende el efecto capacitivo de la línea. Son representados solo por la resistencia y reactancia serie.

Figura N°2.3.4.1
ESQUEMA CABLE AÉREO LÍNEA CORTA



- b. *Líneas Medianas*: Se encuentran entre 80 Km y 200 Km. Podrían ser representados mediante un circuito de tipo π o despreciarse la suceptancia capacitiva, ello dependerá de la persona que esté haciendo el análisis.
- c. *Líneas Largas*: Mayores a 200 Km. Son representadas por circuito equivalente tipo π o múltiples circuitos tipo π .

Figura N°2.3.4.2
ESQUEMA CABLE AÉREO LÍNEA LARGA



2.4 MODELOS DE CARGA

En un sistema eléctrico de potencia generalmente se encontraran dos tipos de carga, las industriales y la residenciales, diferenciados por la demanda eléctrica de cada uno de ellos. Cabe resaltar que la demanda eléctrica de las cargas industriales son mayores que las cargas residenciales. Aun así, los elementos que los conforman generalmente son los mismos.

Los modelos de carga serán esquemas matemáticos que buscan alcanzar una representación bastante exacta de un elemento.

Los principales modelos de carga son, los motores y las cargas resistivas, es decir, que existen ciertas cargas que pueden solicitar al sistema solo potencia activa (Cargas resistivas), o ciertas cargas que pueden solicitar al sistema potencia reactiva y activa (Motores).

Será necesario relacionar la potencia reactiva y activa con la tensión, en la barra de análisis ante una eventual falla.

Para la presente investigación se tendrá en cuenta el análisis con modelos estáticos.

2.4.1 Cargas Estáticas

Mediante ecuaciones algebraicas se relacionarán la tensión y las potencias (reactiva y activa). Siendo la potencia dependiente de la tensión en barra para un mismo instante de tiempo.

$$P = P(V_o, f_o, P_o)$$

$$Q = Q(V_o, f_o, Q_o)$$

INTRODUCCIÓN

Un problema muy común que se ha manifestado durante las últimas décadas, es el análisis de estabilidad de tensión.

Estos problemas ocurren a un nivel local (en barra) y deben de controlarse para no dañar los equipos, los cuales han sido diseñados para trabajar a determinadas tensiones.

Se han realizado estudios que permiten analizar la estabilidad de tensión con distintos tipos de soluciones. La mayoría de estos estudios, no han sido desarrollados paso a paso por lo que pueden ser confusos para aquellos que desean comprender de manera correcta el fenómeno. Por lo mencionado, la presente investigación se dirige al modelamiento de algunos fenómenos o perturbaciones comunes que ocasionan la inestabilidad de tensión.

Para tal finalidad, este proyecto de investigación busca modelar distintos tipos de sistemas que permitan realizar un análisis de estabilidad de tensión, ante un evento de falla, mediante modelos cuasi-estáticos, que permitan desarrollar las ecuaciones y por ende las curvas Q-V de cada estado característico del sistema, y así, lograr controlar el sistema y la caída de tensión en las barras.

2.4.4 Modelo de Corriente Constante

Modelo en el cual la carga requiere la corriente en un valor constante, en una sobretensión o una subtensión, con lo cual la potencia activa y reactiva también variara de manera directa con la tensión, creciendo o decreciendo respectivamente según sea el caso.

Los Valores de a y b son 1.

$$P = V * I * \cos c$$

$$Q = V * I * \sin c$$

2.4.5 Modelo de Impedancia Constante

Modelo en el cual la impedancia de la carga es un valor constante, en una sobretensión o una subtensión, con lo cual la potencia activa y reactiva también variara de manera directa con la tensión, creciendo o decreciendo respectivamente según sea el caso. El crecimiento o decrecimiento de la potencia será de manera cuadrática.

Los Valores de a y b son 2.

$$P = G * V^2$$

$$Q = B * V^2$$

Con los modelos mencionados ya se puede definir el tipo de comportamiento que tendrán las cargas (Motores o Carga termostáticas)

2.4.6 Motor de Inducción

Son los de principal preocupación, puesto que son normalmente elementos cambiantes, generalmente dinámicos, de los cuales se debe tener en cuenta que también pueden tener un comportamiento estático y dinámico.

La representación de los motores de inducción deben ser lo más exactas posibles para realizar el análisis correcto. El modelo a utilizar será del tipo monofásico similar al de los transformadores.

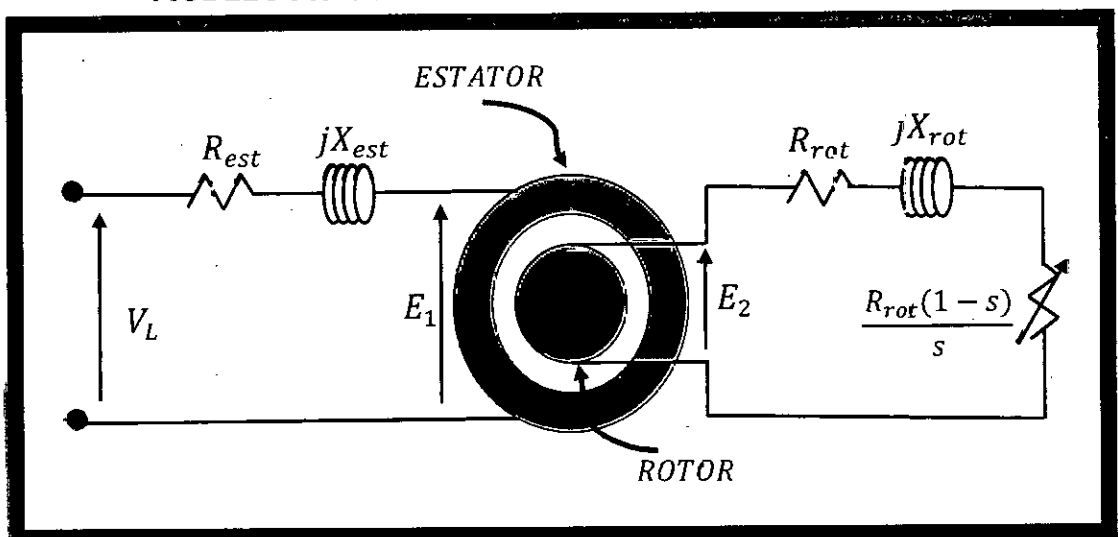
El usar un modelo equivalente aproximado, en el cual la reactancia magnetizante del núcleo a los bornes, tiende a generar un error del 2 al 4%.

Para evitar el error se utilizará el modelo exacto, en el cual la reactancia magnetizante del núcleo estará en la posición que realmente se debe de ubicar.

Los modelos para el análisis de ellos son los siguientes:

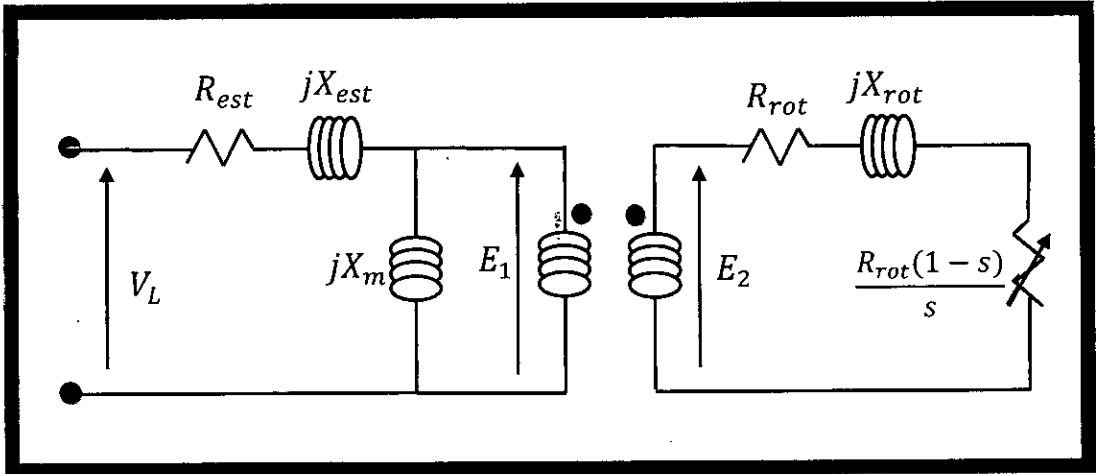
Modelo Físico Real:

Figura N°2.4.6.1
MODELO FISICO REAL DE MOTOR DE INDUCCIÓN



Modelo Equivalente:

Figura N°2.4.6.2
MODELO EQUIVALENTE DE MOTOR DE INDUCCIÓN



Modelo Exacto:

Figura N°2.4.6.3
MODELO EXACTO DE MOTOR DE INDUCCIÓN

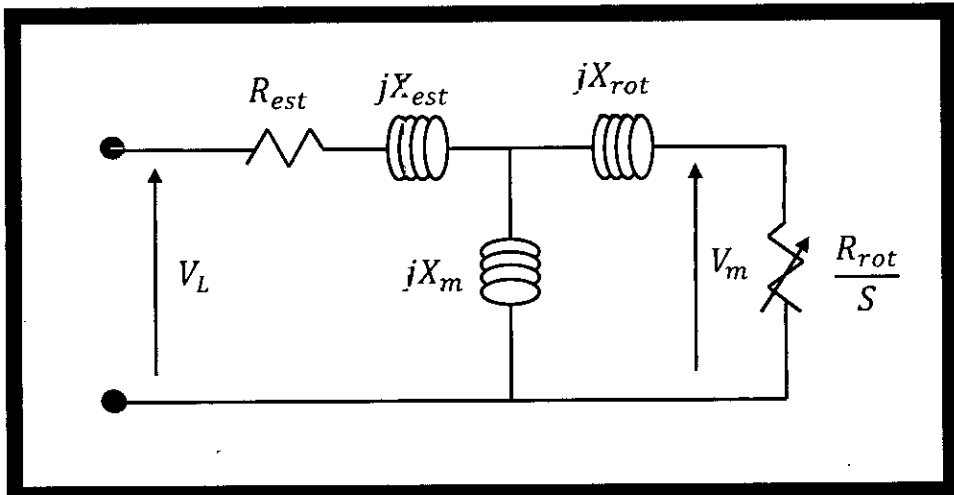
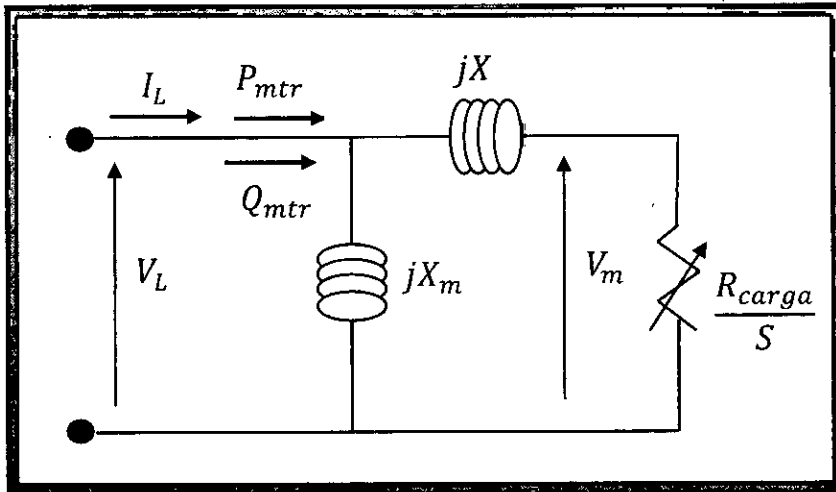


Figura N°2.4.6.A
 MODELO EXACTO (2) DE MOTOR DE INDUCCIÓN



La potencia activa y reactiva del modelo de motor,

$$V_m \approx V_L$$

$$Q_m = \left(\frac{V_L^2}{X_m} + \frac{V_L^2}{2X} - \frac{V_L^2}{2X} \cos(\delta) \right)$$

$$P_m = \left(\frac{V_L^2}{2X} \sin \varepsilon \right)$$

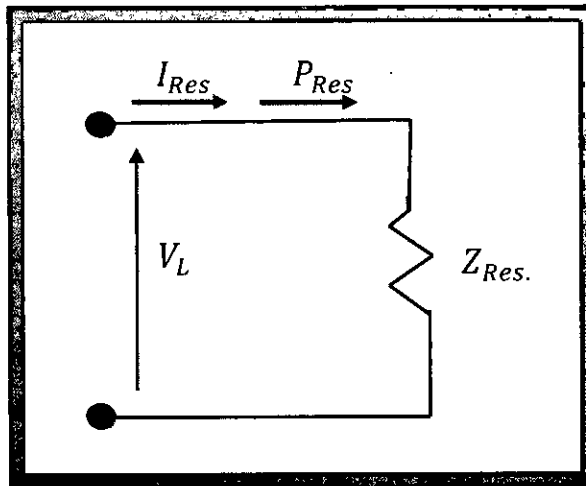
$$Q_{mtr} = \frac{V_L^2}{X_m} + \frac{V_L^2}{2X} - \sqrt{\left(\frac{V_L^2}{2X} \right)^2 - P_m^2}$$

Para el análisis a realizar en la presente investigación se utilizarán los dos tipos de comportamientos según sea el caso, el de potencia constante y el de impedancia constante mencionados anteriormente y desarrollados con mayor detalle en capítulos posteriores.

2.4.7 Cargas Termostáticas

Generalmente las cargas de este tipo, son representados por una resistencia, con lo cual solo consumirá potencia activa, y su factor de potencia será la unidad.

Figura N°2.4.7.1
MODELO CARGA TERMOSTÁTICA



Donde la relación de los parámetros,

$$V_L = I_{Res} * Z_{Res}.$$

La potencia activa dependiente de la tensión V_L .

$$G_{Res.} = \frac{1}{Z_{Res.}}$$

$$P_{Res} = V_L^2 * G_{Res.}$$

Para el análisis a realizar en la presente investigación se utilizarán los dos tipos de comportamientos, el de potencia constante y el de impedancia constante.

2.5 CONTROL DE TENSIÓN Y POTENCIA REACTIVA

2.5.1 Relación entre la Tensión y la Potencia Reactiva.

La tensión y la potencia reactiva están estrechamente relacionados ya que una depende de la otra, en todas las etapas de un sistema de potencia. En los capítulos anteriores se modeló matemáticamente la relación entre potencia reactiva y tensión.

Mantener la tensión en los límites permisibles, es un hecho complicado, ya que un sistema eléctrico de potencia está conformado por una cantidad considerable de elementos que permiten la transmisión de energía eléctrica. El sistema eléctrico entrega potencia a distintos números de cargas, ello generará una caída de tensión, como se ilustra en el capítulo de transmisión, además de ser alimentados por distintos generadores los cuales deben estar en sincronismo. Por ejemplo, un problema común es una variación en la carga de un sistema eléctrico, el cual generará una variación en los modelos característicos de un sistema eléctrico.

Otro inconveniente es la transmisión de potencia reactiva, puesto que esta no se puede transmitir en distancias largas. En esos casos tiene que haber un control de tensión mediante dispositivos de potencia reactiva.

2.5.2 Objetivos del Control de Tensión

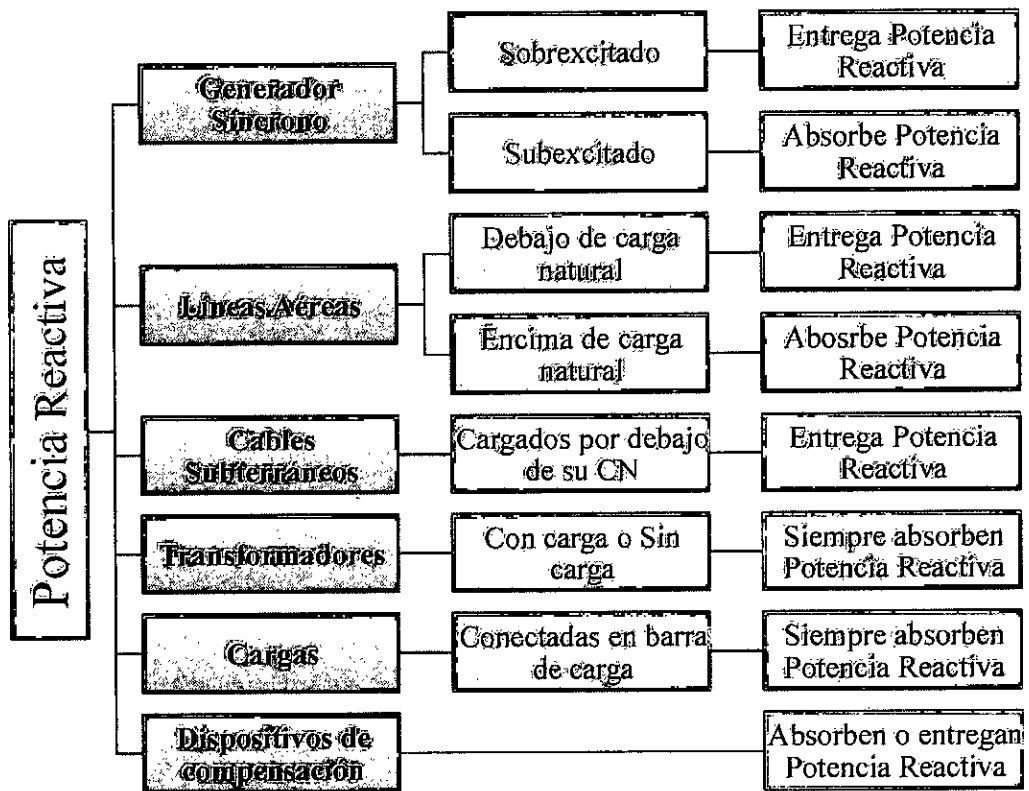
- ❖ Para una correcta operación de los equipos que conforman un sistema de potencia, se debe tener en cuenta la tensión a la cual operan, ella debe ser una tensión de diseño, si esto no fuese así, los equipos sufrirán daños, puesto que estarán fuera de los límites permisibles de tensión establecidos para la cual fueron diseñados.
- ❖ El control de la tensión mejora la utilización y la transferencia de potencia en el sistema de transmisión.
- ❖ El control de tensión además, evita o al menos intenta reducir las pérdidas generadas por las reactancias ($X * I^2$). En un sistema de

potencia se debe minimizar el flujo de potencia reactiva, con ello aseguramos que el sistema de transmisión trabaje eficientemente.

- ❖ Evita el calentamiento producido por efecto joule en conductores, lo cual permite que los conductores trabajen de manera eficiente y no haya en un futuro ninguna pérdida de aislamiento en la línea o la salida intempestiva de una de ellas.

2.5.3 La Potencia Reactiva en los elementos de un SEP

Figura N°2.5.3.1
 POTENCIA REACTIVA EN ELEMENTOS DE SEP



Generador Síncrono, la capacidad de entregar o absorber potencia reactiva estará limitado por la corriente de armadura, la corriente de campo y los límites térmicos. Aun así, estas máquinas están equipadas con un sistema AVR (Automatic Voltage Regulator), el cual continuamente controla la excitación en la armadura.

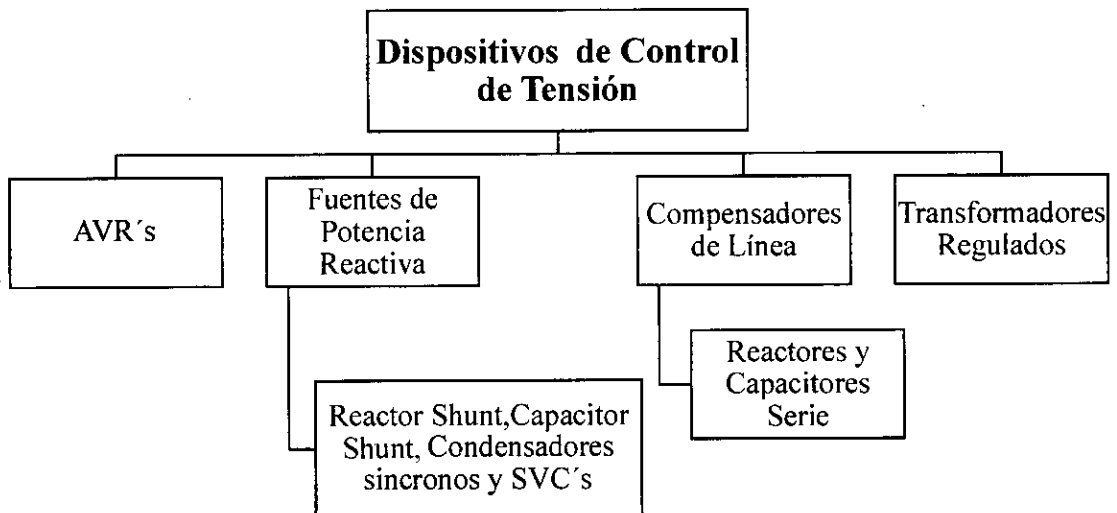
Cables subterráneos, debido a sus altas capacitancias, tendrán cargas naturales altas. Por ello siempre están cargados por debajo de la carga natural.

Transformadores, siempre absorberán potencia, reactiva, con o sin carga. Con carga, el efecto inductivo prevalece. Sin carga, el efecto de la reactancia magnetizante prevalece.

Cargas, comúnmente absorberán potencia activa y reactiva los cuales variarán con cualquier cambio de tensión. Un tema muy importante es el factor de potencia, puesto que la carga inductiva ocasionará una caída de tensión en las barras, por ello todo tipo de ente debe corregir su factor de potencia para así no ser multado por el ente regulador OSINERGMIN.

2.5.4 Dispositivos de Control de Tensión

Figura N°2.5.4.1
DISPOSITIVOS DE CONTROL DE TENSIÓN



Los dispositivos de rojo, son elementos activos, que entregan automáticamente la potencia reactiva que requiera el sistema.

Los dispositivos de negro, son elementos pasivos, que entregan una potencia reactiva en función de la tensión.

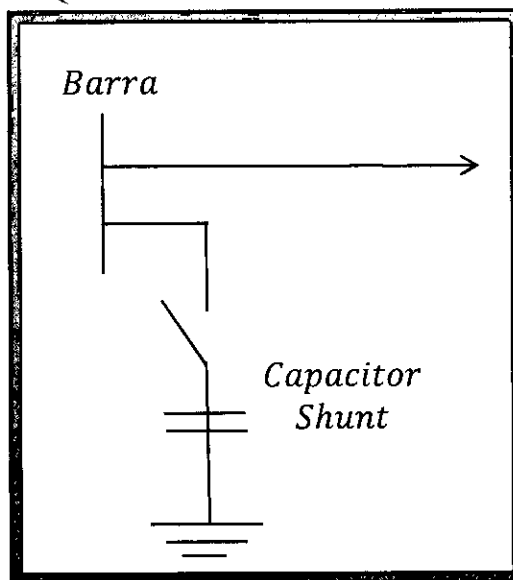
- a. Reactor Shunt: Usados para evitar el incremento de tensión producido por la capacitancia, limitando la tensión. Para sistemas con circuito abierto o de carga ligera o pequeña, en la cual un incremento de tensión es inevitable.

Se usan en líneas mayores a 200 km. Se usan en líneas de tramos cortos o distancias pequeñas si son alimentadas por un sistema débil, dicese de un sistema débil aquel sistema con una capacidad de corto circuito bajo.

Son conectadas a la barra en la cual se desee controlar el incremento de tensión o sino en bobinado terciario de un transformador. Además de tener la posibilidad de ser conectados o desconectados dependiendo de lo que se requiera.

- b. Capacitor Shunt: Uno de los dispositivos más requeridos. Es usado en todo el sistema generalmente en diferentes capacidades. Sus principales ventajas son a nivel económico debido a su bajo costo y a una fácil instalación e utilización. Pero, tiene una desventaja muy grande, que es que la potencia reactiva de salida del capacitor shunt variará en función del cuadrado de la tensión en la barra a la cual está conectado. Como resultado de lo mencionado anteriormente, en condiciones de tener un sistema de bajas tensiones, afectara la capacidad reactiva de salida del capacitor impidiendo así un control de tensión, y afectando al sistema puesto que no va entregar la potencia reactiva requerida para mantener las tensiones constantes en barras. Aplicados en el sistema de trasmisión y distribución.

Figura N°2.5.4.2
ESQUEMA DE CAPACITOR SHUNT



[1] *Sistema de Transmisión*, usados para reducir las pérdidas producidas por $X * I^2$, se reducen estas pérdidas corrigiendo el factor de potencia. Están conectados usualmente a alguna barra de alta tensión y/o al bobinado terciario de algún transformador importante.

Figura N°2.5.4.3
CAPACITOR SHUNT EN TRANSFORMADOR

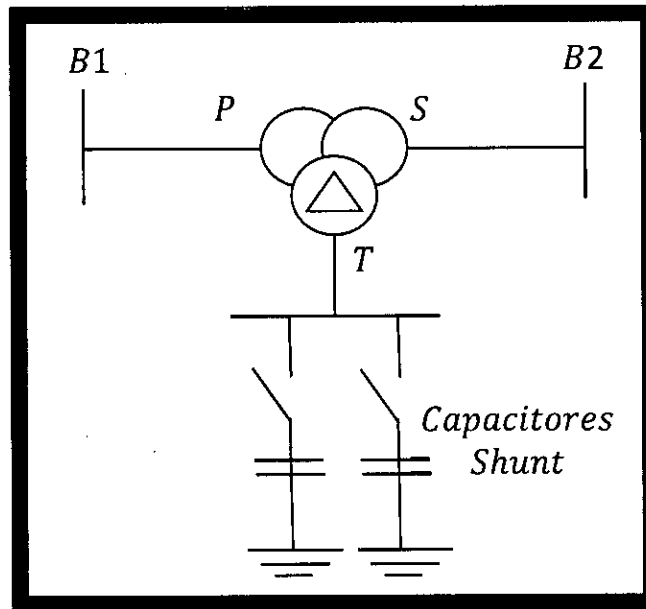
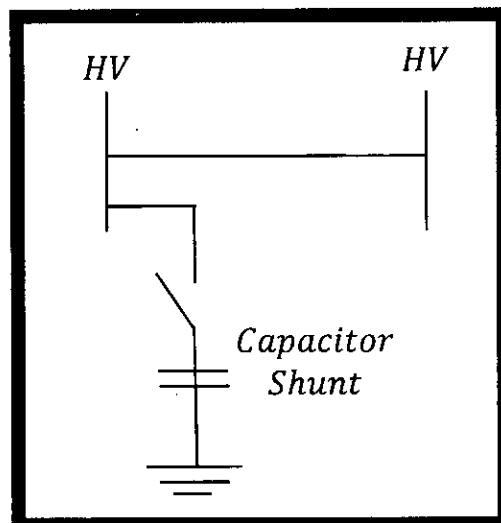


Figura N°2.5.4.4
CAPACITOR SHUNT EN BARRA



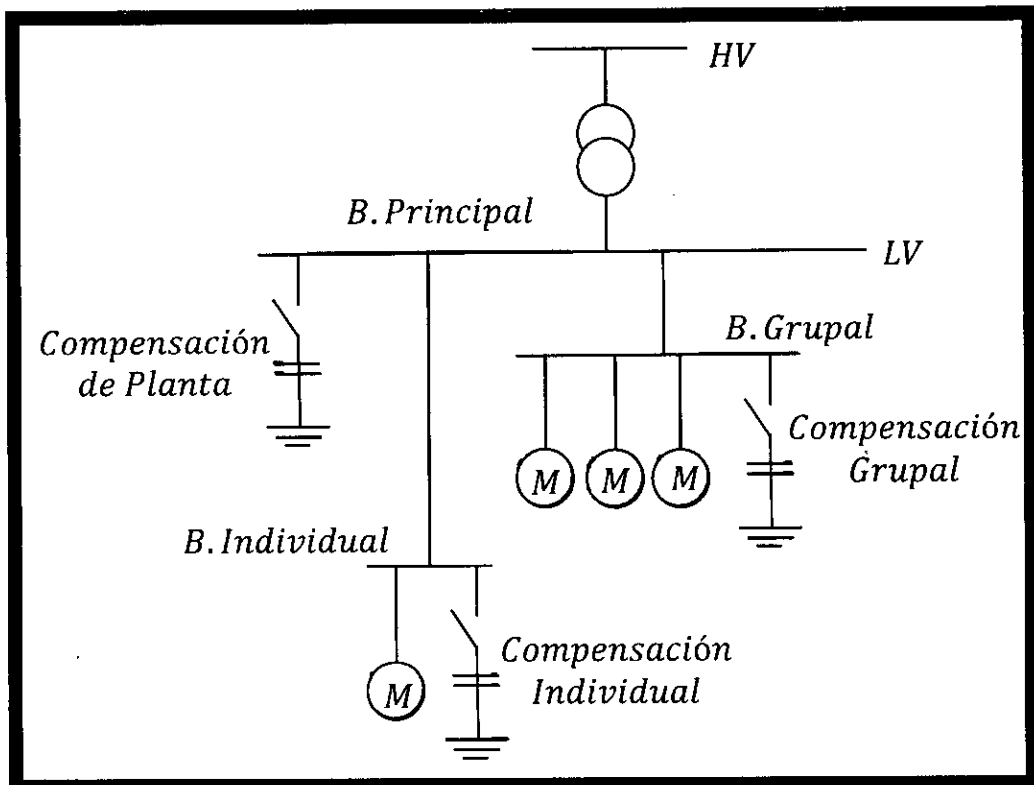
[2] *Sistema de Distribución*, usados para corregir el factor de potencia y el control de la tensión.

Factor de potencia, el objetivo de un capacitor shunt es el de entregar potencia reactiva que requiere el sistema en la barra donde se requiera la potencia reactiva, sin tener que usar el sistema de transmisión el cual generará pérdidas, o sin tener que traer la energía reactiva desde fuentes alejadas a la barra de análisis.

Para plantas industriales, se dan 3 niveles para la corrección del factor de potencia:

- ❖ Nivel individual
- ❖ Nivel grupal
- ❖ Nivel de planta

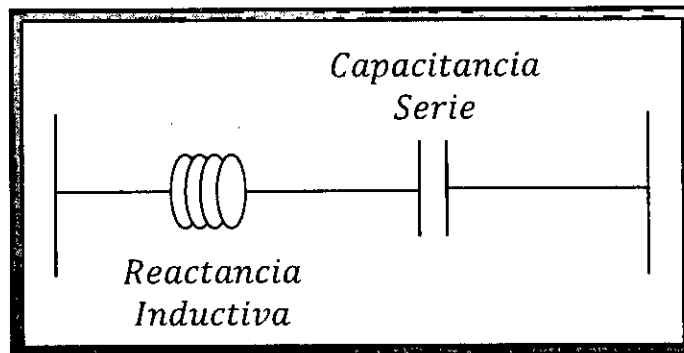
Figura N°2.5.4.5
CAPACITOR SHUNT EN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN



Control de tensión de alimentadores, una variación en la carga generara un cambio en la tensión de la barra de carga, por ello los capacitores shunt son colocados en sitios estratégicos y apropiados, con lo cual se asegurará que las tensiones se encuentren en condiciones permisibles.

- c. Capacitor Serie: Usados para compensar la reactancia inductiva de las líneas. Estos dispositivos mejorarán la tensión en barras, reduciendo la reactancia inductiva de las líneas, evitando además pérdidas de potencia en las mismas. También, mejoran la transferencia de potencia de barra a barra como consecuencia de lo mencionado. Estos usos se dan son propios de estos dispositivos para el sistema de transmisión y distribución. Aun así, estos dispositivos tienen algunas desventajas que hacen que no sean usados muy frecuentemente.

Figura N°2.5.4.6
CAPACITOR SERIE EN LÍNEA



- [1] **Sistema de Transmisión**, usados para mejorar la estabilidad del sistema y obtener la división de carga entre líneas paralelas, Aunque se debe tener cuidado con no compensar las líneas al 100% ya que pueden crear un problema de resonancia subsíncrona.

Si se compensa al 100%, la reactancia sería cero, y la corriente de línea y el flujo de potencia sería muy sensible a los cambios que se puedan producir en los ángulos de las barras de tensión. Se recomienda

compensar al 80%, para que no existan los problemas mencionados. Además, los capacitores en serie deben ser aislados de la tierra, colocándolos en alguna plataforma aislada o sino colocarlos en lugares con tanques de aceite con aislamiento.

Los capacitores en línea deben ser colocados para un sistema de transmisión en:

- ❖ 1/3 o 1/4 de líneas.
- ❖ 1/2 de la línea.
- ❖ En las barras de los terminales de línea.

[2] *Sistema de Distribución*, usados para mejorar el sistema como se mencionó anteriormente y además ayuda a resolver algunos problemas, por ejemplo, con las soldadoras y arcos eléctricos, mejorando su pobre factor de potencia y su demanda intermitente. Además, estos dispositivos responden ante cualquier cambio en la corriente de carga. Algunos puntos a nivel industrial se deben tener en cuenta, con una gran atención son:

- ❖ Autoexcitación de los motores grandes de inducción durante su arranque, ya que el motor puede bloquearse en una fracción de segundo gracias a la velocidad síncrona debido a condición de resonancia.
- ❖ El problema de la ferros resonancia puede generarse entre transformadores y estos capacitores serie, que al final desencadenara una sobretensión en armónicos. Esto generalmente ocurre cuando se alimenta o energiza transformadores sin carga o cuando se remueven cargas de forma repentina.

d. Condensador Síncrono: Considerado como una maquina síncrona la cual no tiene un motor primo o alguna carga mecánica conectado a él. Controla la excitación de su campo, puede absorber o generar potencia reactiva, según sea el caso. Junto a un regulador de tensión, ambos pueden ajustar la potencia reactiva automáticamente, para así mantener la tensión en barras. Absorbe del sistema una porción pequeña de potencia activa para poder suplir sus pérdidas. Usualmente son conectados en el bobinado terciario de un transformador. No son muy usados por sus altos costos.

Los condensadores síncronos contribuyen a aumentar la capacidad de corto circuito del sistema. Además, la potencia reactiva que puede entregar no se ve afectada por la variación en la tensión o la caída de la misma.

e. Static Var System (SVS): Es el conjunto de distintos elementos de compensación tales como, Static Var Compensator, capacitores de cambio mecánico y reactores de cambio mecánico.

Su función es de generar o absorber potencia reactiva, siempre intentan mantener la tensión lo más cercano al 1 pu. Son denominados estáticos porque no tienen ningún elemento que se mueva. Los tipos de SVS pueden ser de;

- ❖ Reactor saturado.
- ❖ Reactor con tiristor controlado.
- ❖ Capacitor de cambio con tiristor.
- ❖ Reactor de cambio con tiristor.
- ❖ Transformador controlado por tiristor.

e.1 Comportamiento Ideal de un SVS

Figura N°2.5.4.7
MODELO IDEAL DE SVS

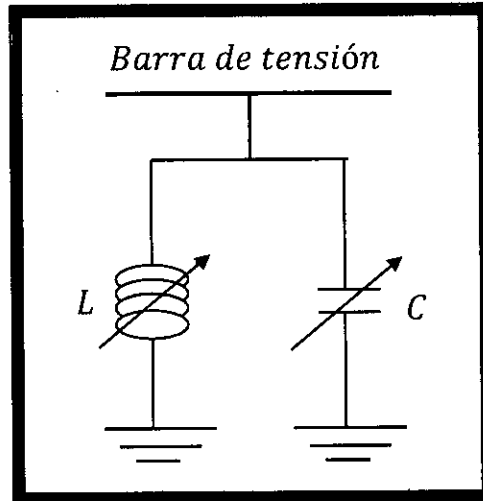
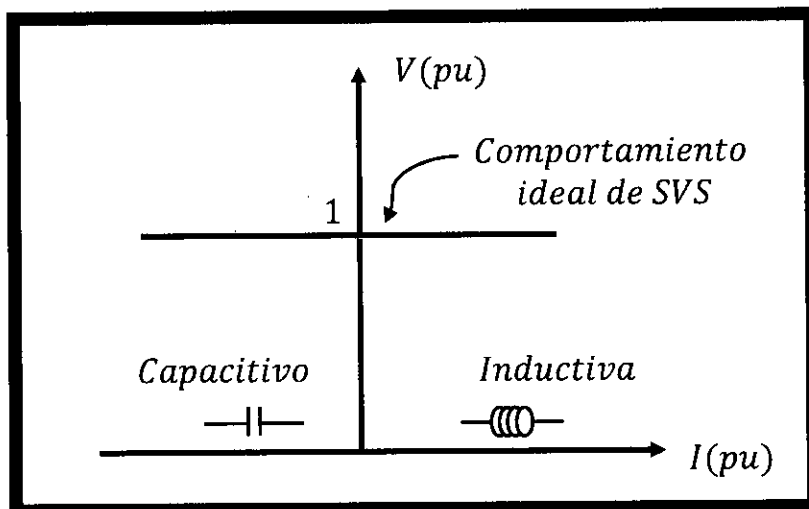


Figura N°2.5.4.8
COMPORTAMIENTO IDEAL DE SVS



e.2 Comportamiento Real de un SVS

Figura N°2.5.4.9
COMBINACIÓN DE ELEMENTOS PARA MODELO REAL DE SVS

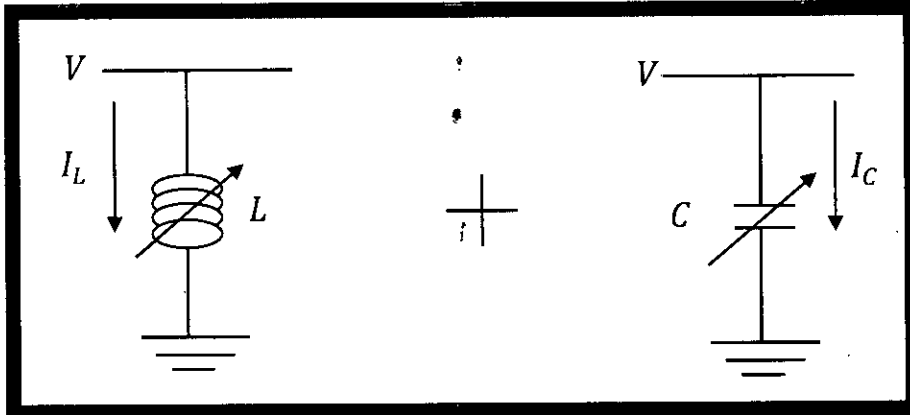


Figura N°2.5.4.10
COMPORTAMIENTO DE ELEMENTOS PARA MODELO REAL DE SVS

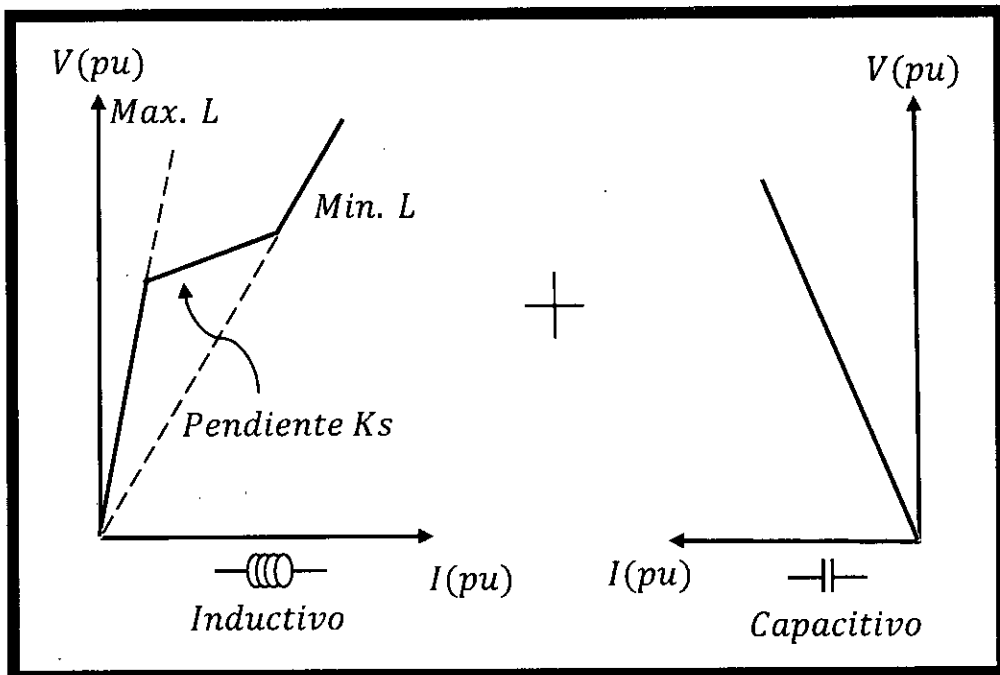


Figura N°2.5.4.11
MODELO REAL DE SVS

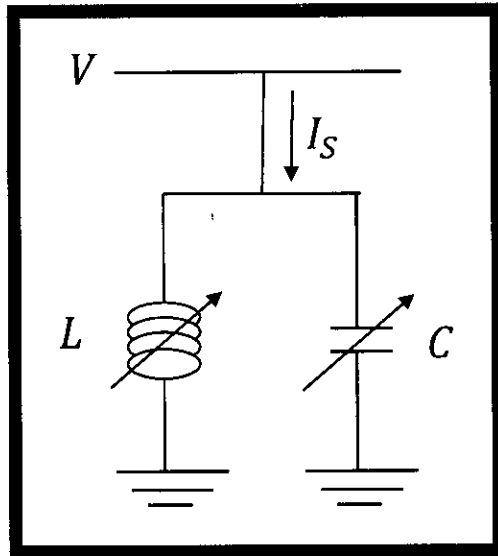
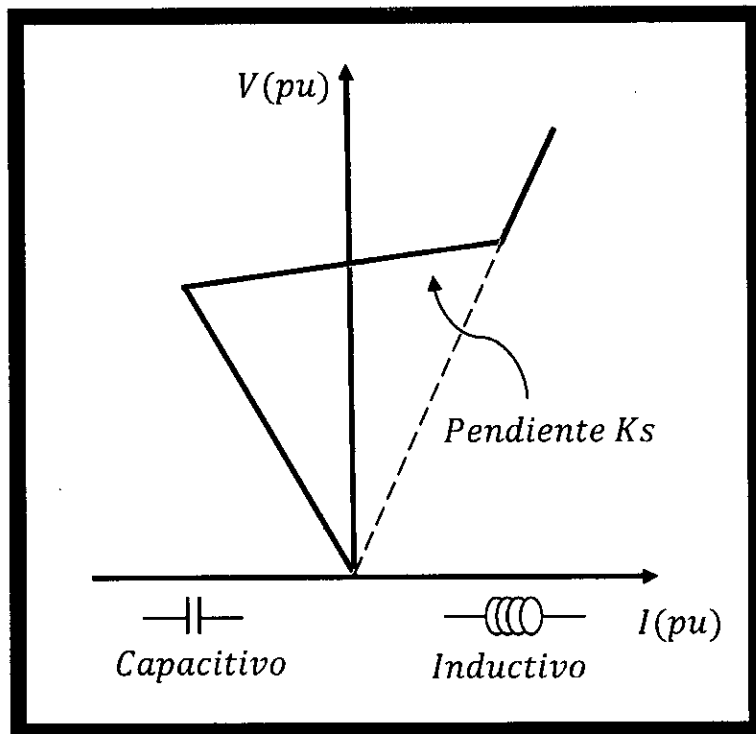


Figura N°2.5.4.12
COMPORTAMIENTO REAL DE SVS



III. VARIABLES E HIPÓTESIS

3.1 Variables de la investigación

VARIABLE INDEPENDIENTE:

X: Modelo Cuasi-Estático

VARIABLE DEPENDIENTE:

Y: Análisis de Estabilidad de Tensión para el sistema ante un evento de falla.

3.2 Operacionalización de variables

FIGURA N° 3.2.1
OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

| VARIABLE | DIMENSIONES | INDICADORES |
|---|--|--|
| VARIABLE INDEPENDIENTE | Tipos de Modelos. | Modelo Matemático. |
| Modelo Cuasi-Estático. | Estados del sistema eléctrico para el modelamiento. | Modelo Computacional. |
| VARIABLE DEPENDIENTE | Análisis matemático de estabilidad de tensión para el sistema ante un evento de falla. | Estados del sistema ante falla. |
| Análisis de Estabilidad de Tensión para el sistema ante un evento de falla. | Análisis Grafico de estabilidad de tensión para el sistema ante un evento de falla. | Curvas Q-V, para distintos tipos de estados del sistema. |

3.3 Hipótesis

3.3.1 Hipótesis general

Mediante un modelo cuasi-estático, como modelo matemático y computacional, realizar un análisis de Estabilidad de Tensión ante un evento de falla en una barra industrial del SEIN que permita la correcta comprensión de la Estabilidad de Tensión.

3.3.2 Hipótesis específica

- a. Mediante modelos matemáticos establecer los criterios y pasos a seguir que permita establecer los estados al que ingresara el sistema eléctrico en la barra industrial del SEIN ante un evento de falla.
- b. Mediante curvas características Q-V será posible realizar el análisis de Estabilidad de Tensión ante un evento de falla en una barra industrial del SEIN.

IV. METODOLOGÍA

4.1 Tipo de investigación

Para la presente investigación “MODELO CUASI-ESTÁTICO PARA ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TENSIÓN EN UNA BARRA INDUSTRIAL DEL SEIN” se empleará la investigación de tipo analítico y explicativo.

Se hará un análisis de las ecuaciones y los estados al que ingresará el sistema eléctrico, explicando paso a paso como se obtienen los resultados y proporcionando los criterios para dicho análisis.

4.2 Diseño de la investigación

El diseño será del tipo Analítico y Explicativo, constará de los siguientes ítems:

- a. Definir los elementos del sistema eléctrico de potencia a utilizar.
- b. Definir los modelos de los elementos del sistema eléctrico a utilizar mediante información recopilada.
- c. Definir los estados del sistema eléctrico para la realización de los modelos cuasi-estáticos, antes, durante y después del posible evento.
- d. Relacionar las ecuaciones que caracterizan a cada elemento con los estados del sistema.
- e. Elaborar un plan de desarrollo para la obtención de un modelo cuasi-estático que permita realizar el análisis de estabilidad de tensión.

4.3 Técnicas de Investigación

- a. *Revisión Documentaria:* Se revisará la mayor cantidad de documentos (Libros, revistas, papers, etc) que sea necesario para hacer el presente proyecto de investigación
- b. *Análisis Matemático:* Se utilizarán los medios y modelos matemáticos para representar lo necesitado para el presente proyecto de investigación.
- c. *Análisis Computacional:* Se utilizarán programas que permitan comprobar el análisis matemático realizado en el punto anterior.

4.4 Casos y Metodología Aplicada

Se realizará la solución de dos posibles eventos que suelen ocurrir constantemente en un sistema eléctrico de potencia, para así analizar el comportamiento de una barra industrial en el SEIN. Los eventos serán: Evento de incremento de carga y evento de cambio de la topología del sistema (Salida de una línea intempestiva para un sistema robusto), ambos aplicados en una barra industrial del SEIN.

Para el análisis de los resultados se tendrá en cuenta los modelos matemáticos ya mencionados, la metodología que servirá para solucionar y comprender estos problemas en un sistema eléctrico de potencia, y por último, la visualización y comparación del comportamiento del sistema eléctrico de potencia ante los eventos que se van producir, mediante dos programas computacionales EXCEL y MATLAB.

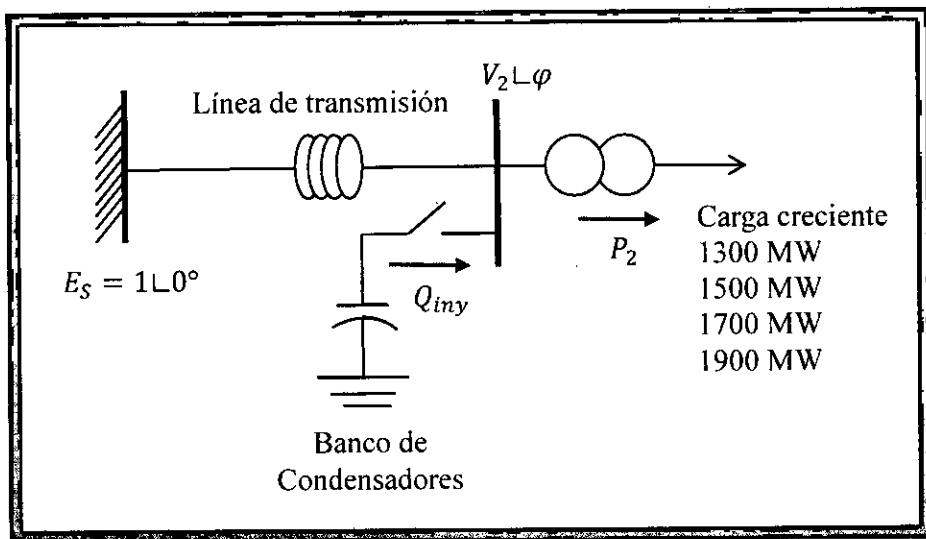
4.4.1 Evento de Incremento de carga para Análisis de Estabilidad.

En un sistema industrial el incremento de carga es inevitable. Para lo cual, este incremento de carga puede ser solo de potencia activa o de potencia activa y reactiva. El incremento de carga llevará a una caída de tensión en la barra de la carga, por ello se debe compensar esa caída de tensión en la barra, inyectando reactivos al sistema por medio de dispositivos de control de potencia reactiva o compensación reactiva, con el fin de que nuestros equipos trabajen correctamente a condiciones nominales y no fallen, además de prevenir una caída inminente en la barra de tensión que puede conllevar a un colapso de tensión en el sistema.

Una carga industrial conectada a la barra V_2 , se encuentra en crecimiento como se muestra en la Figura N°4.4.1.1, el incremento de carga generará una caída de tensión en la barra mencionada en cierto

tiempo. Para realizar un análisis de estabilidad de tensión debemos tener en cuenta que debemos conseguir que las tensiones de las barras se encuentren dentro de rangos permisibles, Ello se logrará con un banco de capacitores shunt que proporcionará reactivos al sistema.

Figura N°4.4.1.1
ESQUEMA DE SISTEMA CON INCREMENTO DE CARGA



Datos base:

$$S_B = 100 \text{ MVA}$$

$$V_B = 500 \text{ KV}$$

Datos de admitancia serie de la línea de transmisión:

$$Y_{serie} = 2.139 - 24.968j \text{ pu}$$

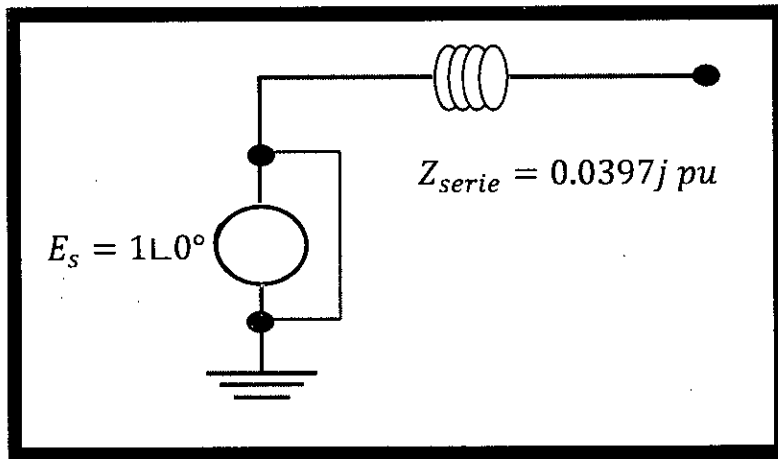
4.4.1.1 Metodología o procedimiento para el Análisis de Estabilidad.

- a. Reconocer el punto o barra en el que se realizará el análisis estabilidad de tensión o habrá una caída o incremento de tensión ante un evento dado (**Incremento de carga** o Salida de Línea).
- b. Calcular un modelo de Thevenin (Tensión de Thevenin e Impedancia de Thevenin) hasta el punto o barra o analizar, para cada estado al que ingresará el sistema eléctrico.
- c. Reconocer los elementos a modelar, generadores, líneas de transmisión, cargas, dispositivos de control y definir los comportamientos de las cargas.
- d. Modelar el sistema completo incluyendo el modelo de Thevenin, el modelo de generador, líneas de transmisión, transformadores, cargas y dispositivos de compensación reactiva.
- e. Hacer un análisis de potencias activas y reactivas, con el fin de encontrar la ecuación que caracterice el sistema eléctrico en la barra de análisis. La ecuación característica será solamente una, la cual variará según el estado del sistema.
- f. Definir los estados incluyendo el comportamiento de las cargas ante el evento de falla (Salida de la línea), para lograr analizar el comportamiento del sistema en la barra industrial y desarrollar las ecuaciones para cada estado.
- g. Desarrollar las ecuaciones que caractericen a los bancos de capacitores shunt, los cuales tendrán una capacidad determinada que variara según el modelo mencionado en el marco teórico.
- h. Graficar los comportamientos del sistema según la ecuación característica que se haya desarrollado en los puntos anteriores. Graficar el comportamiento de los bancos de capacitores y realizar en análisis de estabilidad de tensión, que permitirá corregir el sistema.

4.4.1.2 Aplicación de Metodología y modelamiento

- ❖ Calculo Z Thevenin en barra V2:

Figura N°4.4.1.2.1
MODELO PARA IMPEDANCIA DE THEVENIN EN BARRA V2

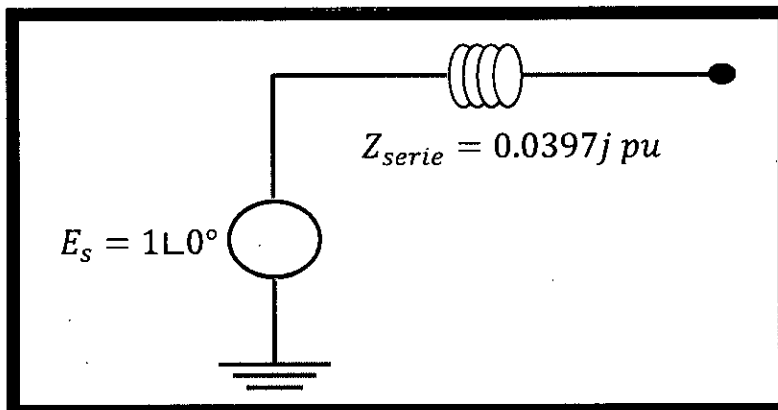


En barra 2, punto 2:

$$Z_{serie} = \frac{1}{Y_{serie}}$$
$$Z_{serie} = 0.0003407 + 0.0397j$$
$$Z_{serie} = Z_{Thev} = 0.0397j \text{ pu}$$

- ❖ Calculo E Thevenin en barra 2:

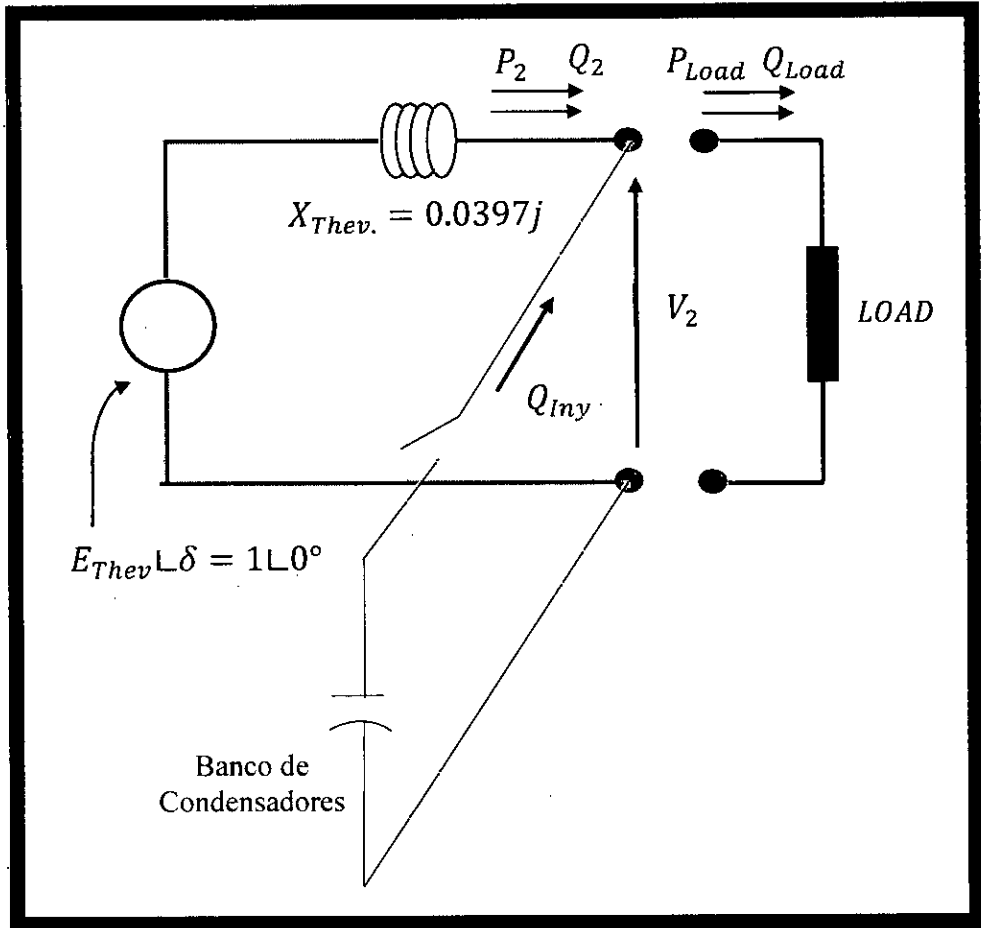
Figura N°4.4.1.2.2
MODELO PARA TENSION DE THEVENIN EN BARRA V2



$$E_s = E_{Thev} = 1 \angle 0^\circ$$

❖ Modelando el sistema y analizando potencias:

Figura N°4.4.1.2.3
CIRCUITO EQUIVALENTE DEL SISTEMA DE FIGURA N°4.4.1.1



Balance de potencias activas,

$$P_2 = P_{Load}$$

Balance de potencias reactivas,

$$Q_2 + Q_{Iny} = Q_{Load}$$

$$Q_{Load} = 0$$

$$Q_{Iny} = -Q_{SIST}$$

La potencia reactiva de salida para el sistema en barra 2 es,

$$Q_2 = -\frac{V_2^2}{X_{Thev}} + \frac{E_{Thev} * V_2}{X_{Thev}} \cos(\delta)$$

La potencia activa para el sistema en barra 2 es,

$$P_2 = \frac{E_{Thev} * V_2}{X_{Thev}} \sin(\delta) \text{ (pu)}$$

Elevando al cuadrado convenientemente para no depender del ángulo,

$$\left(\frac{E_{Thev} * V_2}{X_{Thev}} \cos(\delta)\right)^2 = \left(Q_2 + \frac{V_2^2}{X_{Thev}}\right)^2$$

$$\left(\frac{E_{Thev} * V_2}{X_{Thev}} \sin(\delta)\right)^2 = (P_2)^2$$

Recordar,

$$\sin^2 A + \cos^2 A = 1$$

Sumando convenientemente, despejando la potencia reactiva que es el elemento a analizar,

$$Q_2 = \sqrt{\left(\frac{E_{Thev} * V_2}{X_{Thev}}\right)^2 - P_2^2} - \frac{V_2^2}{X_{Thev}} \text{ (pu)}$$

Entonces para nuestro sistema, la cantidad de reactivos que va ingresar el banco de condensadores es,

$$Q_{Iny} = -Q_2 = \frac{V_2^2}{X_{Thev}} - \sqrt{\left(\frac{E_{Thev} * V_2}{X_{Thev}}\right)^2 - P_2^2} \quad (pu)$$

Donde los valores de E_{Thev} , X_{Thev} y P_2 ya están definidos, y la potencia reactiva que debe inyectar en el sistema dependerá solo de la tensión en la barra de análisis, en este caso la barra 2.

Los resultados de la variación de Q-v se muestran en la Tabla N°5.1.1.1. Se utilizarán distintos niveles de potencia reactiva 350, 500, 675 y 875 MVar. Con los datos base se calculará las impedancias base para cada valor de potencia reactiva.

Para 350 MVar:

$$\begin{aligned} Q_a &= 350 \text{ MVar} \\ q_a &= 3.5 \text{ pu} \\ v &= 1 \text{ pu} \\ y_a &= \frac{q_a}{v^2} = \frac{3.5}{1^2} = 3.5 \text{ pu} \end{aligned}$$

Para 500 MVar:

$$\begin{aligned} Q_a &= 500 \text{ MVar} \\ q_a &= 5 \text{ pu} \\ v &= 1 \text{ pu} \\ y_a &= \frac{q_a}{v^2} = \frac{5}{1^2} = 5 \text{ pu} \end{aligned}$$

Para 675 MVar:

$$\begin{aligned} Q_a &= 675 \text{ MVar} \\ q_a &= 6.75 \text{ pu} \\ v &= 1 \text{ pu} \\ y_a &= \frac{q_a}{v^2} = \frac{6.75}{1^2} = 6.75 \text{ pu} \end{aligned}$$

Para 875 MVAR:

$$\begin{aligned}Q_a &= 875 \text{ MVAR} \\q_a &= 8.75 \text{ pu} \\v &= 1 \text{ pu} \\y_a &= \frac{q_a}{v^2} = \frac{8.75}{1^2} = 8.75 \text{ pu}\end{aligned}$$

Donde la potencia reactiva variara según la tensión de la barra de análisis V2,

$$Q_i = y_i * v_f^2 * S_{Base} \quad (\text{MVAR})$$

Donde,

i: a, b, c, d; dependiendo de la capacidad de banco a analizar.

Q: Potencia reactiva en función de v.

y: Admitancia característica.

S_{Base}: Potencia aparente base.

Los valores de la variación de Q vs v en los condensadores se mostrarán en la Tabla N°5.1.1.2.

4.4.1.3 Aplicación de Metodología para MatLab

La metodología aplicada será la misma. Para el programa MatLab se tendrá en cuenta realizar una programación o codificación, la cual ayudará de forma inmediata a graficar las características del sistema, siendo un programa que modelará el sistema para un evento. El programa será codificado de tal manera que sea dinámico para el usuario permitiéndonos ingresar datos.

❖ Codificación MatLab:

```
function ETcarga
fprintf('ESTABILIDAD DE TENSION CON INCREMENTO DE CARGA
\n')
fprintf('\n Datos del Sistema \n')
```

```

S=input('Ingrese potencia base MVA : ');
V=input('Ingrese tension base KV : ');
P1=input('Ingrese potencia de 1ra carga MW : ');
P2=input('Ingrese potencia de 2da carga MW : ');
P3=input('Ingrese potencia de 3ra carga MW : ');
P4=input('Ingrese potencia de 4ta carga MW : ');
Eth=input('Ingrese Tension Thevenin pu : ');
xth=input('Ingrese Impedancia Thevenin pu : ');
fprintf('\n Datos de Bancos de Capacitores \n')
B1=input('Ingrese 1er Banco de Capacitores MVAR : ');
B2=input('Ingrese 2do Banco de Capacitores MVAR : ');
B3=input('Ingrese 3er Banco de Capacitores MVAR : ');
B4=input('Ingrese 4to Banco de Capacitores MVAR : ');
p1=P1/S;
p2=P2/S;
p3=P3/S;
p4=P4/S;
b1=B1/S;
b2=B2/S;
b3=B3/S;
b4=B4/S;
v=0:0.001:1.2;
Qb1=b1*power(v,2)*S;
Qb2=b2*power(v,2)*S;
Qb3=b3*power(v,2)*S;
Qb4=b4*power(v,2)*S;
plot(v,Qb1,'--',v,Qb2,'--',v,Qb3,'--',v,Qb4,'--')
hold on
xlabel('v (pu)')
ylabel('Q (MVar)')
title('Reactivos (MVar) inyectados en barra v2. ')
k=0;
for v=0.52:0.001:1.2
    k=k+1;
    q=sqrt(power((Eth*v/xth),2)-power(p1,2))-
power(v,2)/xth;
    Qiny1(k)=-q;
    V21(k)=v;
end
plot(V21,Qiny1*S)
grid on
axis([0.45 1.25 0 1500])
hold on
%caso 2
m=0;
for v=0.6:0.001:1.2
    m=m+1;
    q=sqrt(power((Eth*v/xth),2)-power(p2,2))-
power(v,2)/xth;
    Qiny2(m)=-q;
    V22(m)=v;
end
plot(V22,Qiny2*S,'k')
grid on
hold on
%caso 3

```

```

n=0;
for v=0.675:0.001:1.2
    n=n+1;
    q=sqrt(power((Eth*v/xth),2)-power(p3,2))-
power(v,2)/xth;
    Qiny3(n)=-q;
    V23(n)=v;
end
plot(V23,Qiny3*S,'g')
grid on
hold on
%caso 4
x=0;
for v=0.75:0.001:1.2
    x=x+1;
    q=sqrt(power((Eth*v/xth),2)-power(p4,2))-
power(v,2)/xth;
    Qiny4(x)=-q;
    V24(x)=v;
end
plot(V24,Qiny4*S,'m')
grid on
hold on

```

4.4.2 Evento de cambio en la Topología o Salida de Línea para Análisis de Estabilidad.

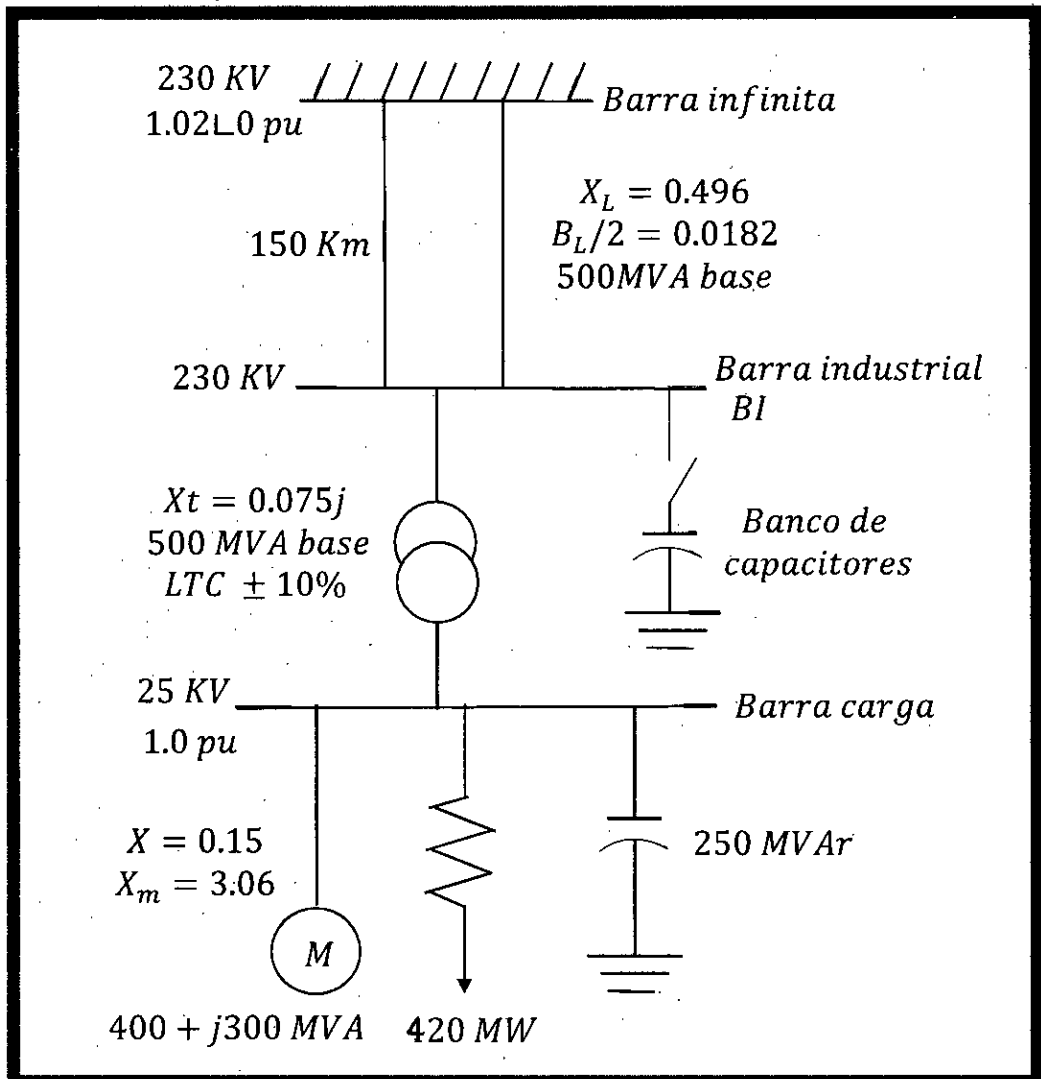
El sistema se encuentra estable hasta el momento de la salida de la línea. La salida de la línea puede ser generada por un cortocircuito o por una mala maniobra de un operador. Este evento para un sistema robusto, significará que una de las líneas que interconectan la barra industrial y el sistema eléctrico saldrá de servicio y solo se operará con una línea. Ello significa que el sistema tendrá diferentes estados antes, durante y después del evento.

Para el presente caso de estudio se asumirá un sistema industrial conectado a una barra (Industrial) el cual será representado por un conjunto de cargas, un motor, que será el equivalente de un conjunto de motores y una carga termostática, todo ello con una compensación fija (Banco de capacitores) y una compensación variable en la barra de estudio, la cual podrá ser modificada según sea el caso. Se tendrá en cuenta las tomas del transformador que actuaran para intentar a su vez mantener la tensión en valores nominales o dentro de los estándares establecidos

Además, en los sistemas industriales es muy común tener cargas como motores, los cuales son cargas dinámicas, que pueden tener distintos tipos de comportamiento. Por ello, se realizará un estudio más profundo del comportamiento del sistema, para lograr alcanzar un estado de estabilidad de tensión y lograr el correcto funcionamiento de los equipos.

La representación esquemática del sistema que se analizará, estará dada por la Fig. N°4.4.2.1.

Figura N°4.4.2.1
ESQUEMA DE SISTEMA PARA SALIDA DE LÍNEA



Datos base:

$$S_B = 500 \text{ MVA}$$

$$V_B = 230 \text{ KV}$$

Datos de línea de transmisión:

$$X_L = 0.496$$

$$\frac{B_L}{2} = 0.0182$$

4.4.2.1 Metodología o procedimiento para el Análisis de Estabilidad.

- a. Reconocer el punto o barra en el que se realizará el análisis estabilidad de tensión o habrá una caída o incremento de tensión ante un evento dado (Incremento de carga o **Salida de Línea**)
- b. Calcular un modelo de Thevenin (Tensión de Thevenin e Impedancia de Thevenin) hasta el punto o barra o analizar, para cada estado al que ingresara el sistema eléctrico.
- c. Reconocer los elementos a modelar, generadores, líneas de transmisión, cargas, dispositivos de control y definir los comportamientos de las cargas.
- d. Modelar el sistema completo incluyendo el modelo de Thevenin, el modelo de generador, líneas de transmisión, transformadores, cargas y dispositivos de compensación reactiva.
- e. Hacer un análisis de potencias activas y reactivas, con el fin de encontrar la ecuación que caracterice el sistema eléctrico en la barra de análisis. La ecuación característica será solamente una, que variará según el estado del sistema.
- f. Definir los estados incluyendo el comportamiento de las cargas ante el evento de falla (Salida de la línea), para lograr analizar el comportamiento del sistema en la barra industrial y desarrollar las ecuaciones para cada estado.

- g. Desarrollar las ecuaciones que caractericen a los bancos de capacitores shunt, los cuales tendrán una capacidad determinada que variara según el modelo mencionado en el marco teórico.
- h. Graficar los comportamientos del sistema según la ecuación característica que se haya desarrollado en los puntos anteriores. Graficar el comportamiento de los bancos de capacitores y realizar en análisis de estabilidad de tensión, que permitirá corregir el sistema.

4.4.2.2 Aplicación de Metodología y modelamiento

- ❖ La barra de análisis que será afectada por el evento y en la cual se realizará el análisis de estabilidad de tensión será la BARRA INDUSTRIAL, que se encuentra conectado al bobinado primario del transformador que está conectado a las cargas.

❖ Modelo de Thevenin, Cálculo de Tensión de Thevenin:

Figura N°4.4.2.2.1
CIRCUITO DETRÁS DE BARRA INDUSTRIAL PARA CÁLCULO DE TENSIÓN DE THEVENIN

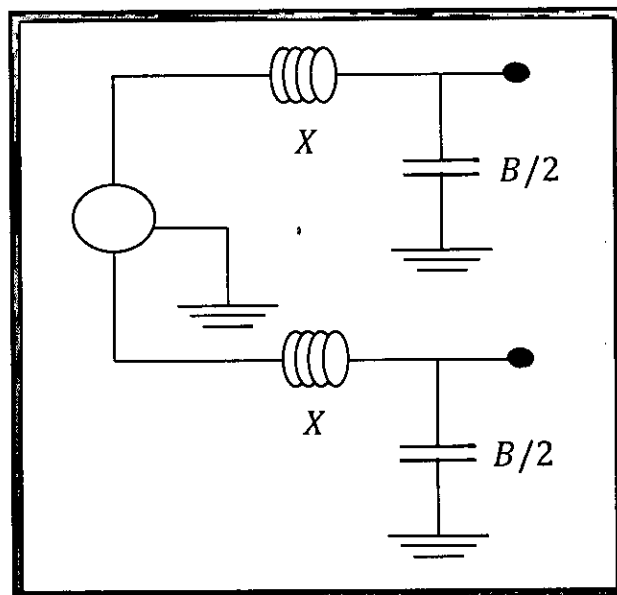
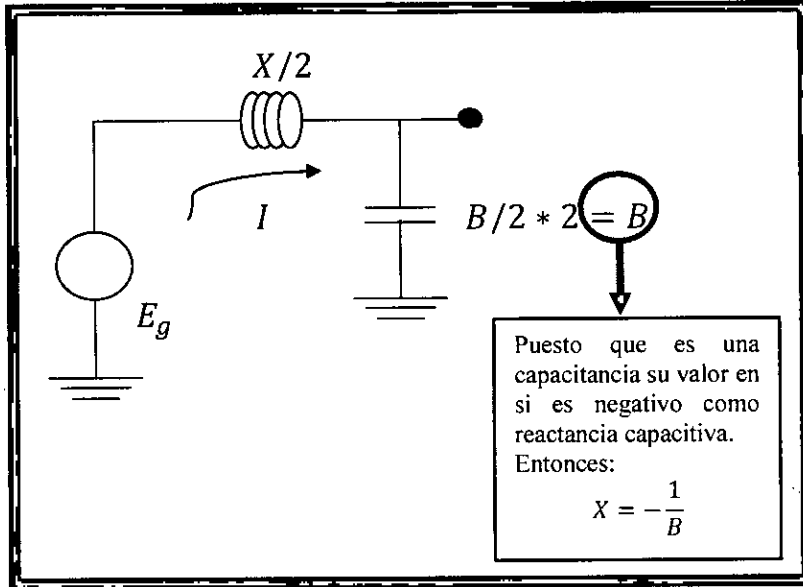


Figura N°4.4.2.2
 CIRCUITO EQUIVALENTE DEL SISTEMA DE FIG.N°5.2.2.1



Cálculo de la corriente (I),

$$E_g = I * \left[\frac{X}{2}j + \left(-\frac{1}{B}j \right) \right]$$

$$I = \frac{E_g}{\left[\frac{X}{2}j + \left(-\frac{1}{B}j \right) \right]} = \frac{1.02}{\left(\frac{0.496}{2} \right)j + \left(-\frac{1}{2 * 0.0182}j \right)} = 0.037466j$$

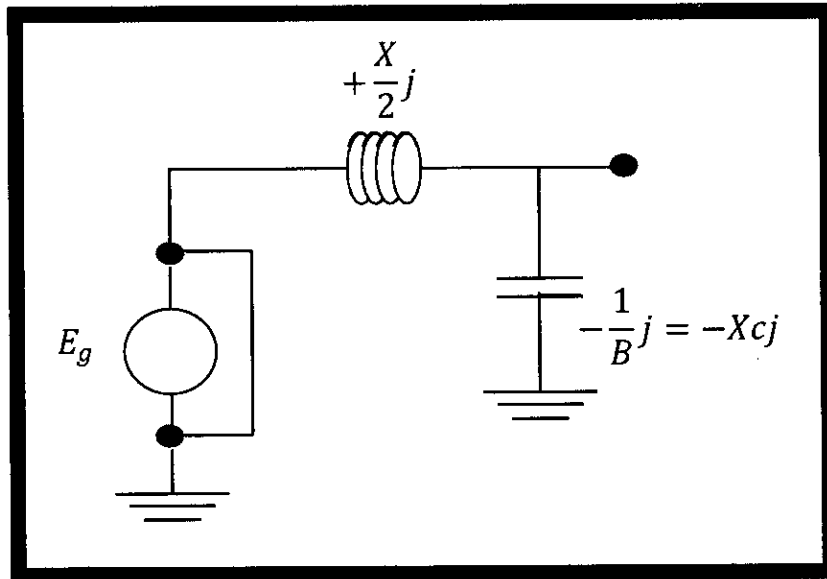
Cálculo de tensión de Thevenin (E_{th}),

$$E_{th} = I * \left(-\frac{1}{B}j \right) = 0.037466j * \left(-\frac{1}{2 * 0.0182}j \right) = 1.02929$$

$$E_{th} = E_g * \frac{-\frac{1}{B}j}{\left[\frac{X}{2}j + \left(-\frac{1}{B}j \right) \right]} = 1.02929$$

❖ Modelo de Thevenin, Cálculo de Impedancia Thevenin:

Figura N°4.4.2.2.3
CIRCUITO DETRÁS DE BARRA INDUSTRIAL PARA CÁLCULO DE
IMPEDANCIA DE THEVENIN



Cálculo de la corriente impedancia de Thevenin Z_{th} ,

$$\frac{X}{2} // X_c = -\frac{1}{B}$$

$$\frac{1}{Z_{th}} = \frac{1}{\left(\frac{X}{2}j\right)} + \frac{1}{(-X_c j)} = \frac{1}{\left(\frac{0.496}{2}j\right)} + \frac{1}{(-27.4725j)}$$

$$\frac{1}{Z_{th}} = \frac{1}{\left(\frac{X}{2}j\right)} + \frac{1}{\left(-\frac{1}{B}j\right)} = 0.25025j$$

$$Z_{th} = \frac{\left(\frac{X}{2}j\right) * \left(-\frac{1}{B}j\right)}{\frac{X}{2}j - \frac{1}{B}j} = 0.25025j$$

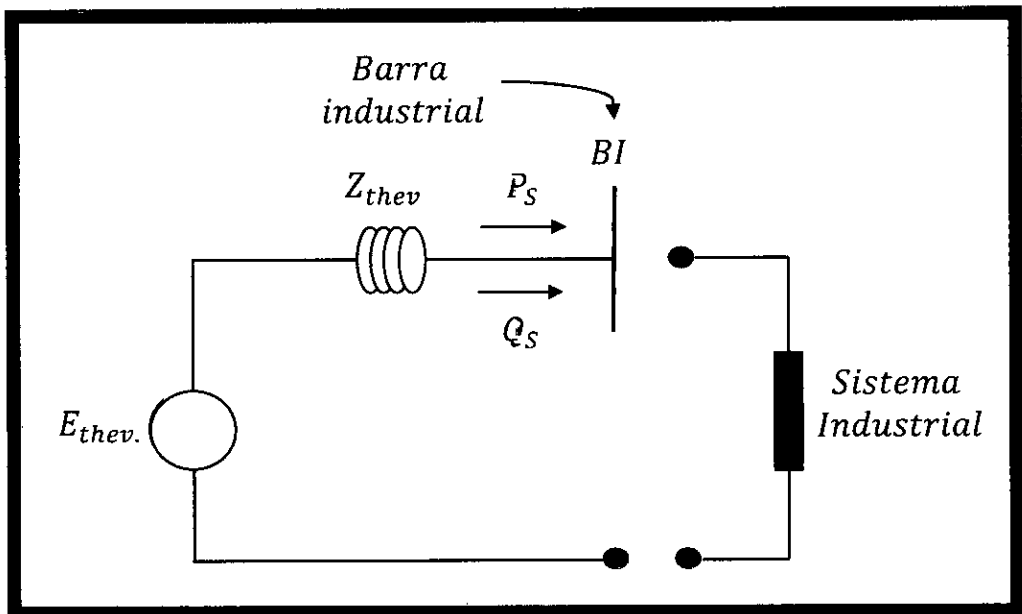
Como se pierde una línea el modelo de thevenin para los estados durante y después del evento serán:

$$Z_{thev} = 2 * 0.25025j = 0.5005j$$

$$E_{thev} = 1.02529$$

❖ **Modelo de Thevenin, Potencias activas y reactivas del sistema.**

Figura N°5.2.2.4
CIRCUITO FINAL DE THEVENIN DETRÁS DE BARRA INDUSTRIAL



❖ **Modelos y comportamientos de elementos del Sistema Industrial**

Los elementos a modelar serán transformadores, cargas (Motores y Termostáticos), y dispositivos de control de potencia reactiva.

Las cargas podrán tener los siguientes comportamientos:

- Motor: Modelo de potencia (Activa y Reactiva) constante, modelo de impedancia constante, variación de potencia reactiva en función de modelo exacto del motor y la tensión.

$$P_{MT} = k1 \quad (\text{Pot. Activa constante})$$

$$P_{MT} = G * V^2 \quad (\text{Impedancia constante})$$

$$Q_{MT} = B * V^2 \quad (\text{Impedancia constante})$$

$$Q_{MT} = \frac{V_L^2}{X_m} + \frac{V_L^2}{2X} - \sqrt{\left(\frac{V_L^2}{2X}\right)^2 - P_{MT}^2} \quad (\text{Modelo exacto motor})$$

- Carga Termostática, Modelo de potencia constante y modelo de impedancia constante.

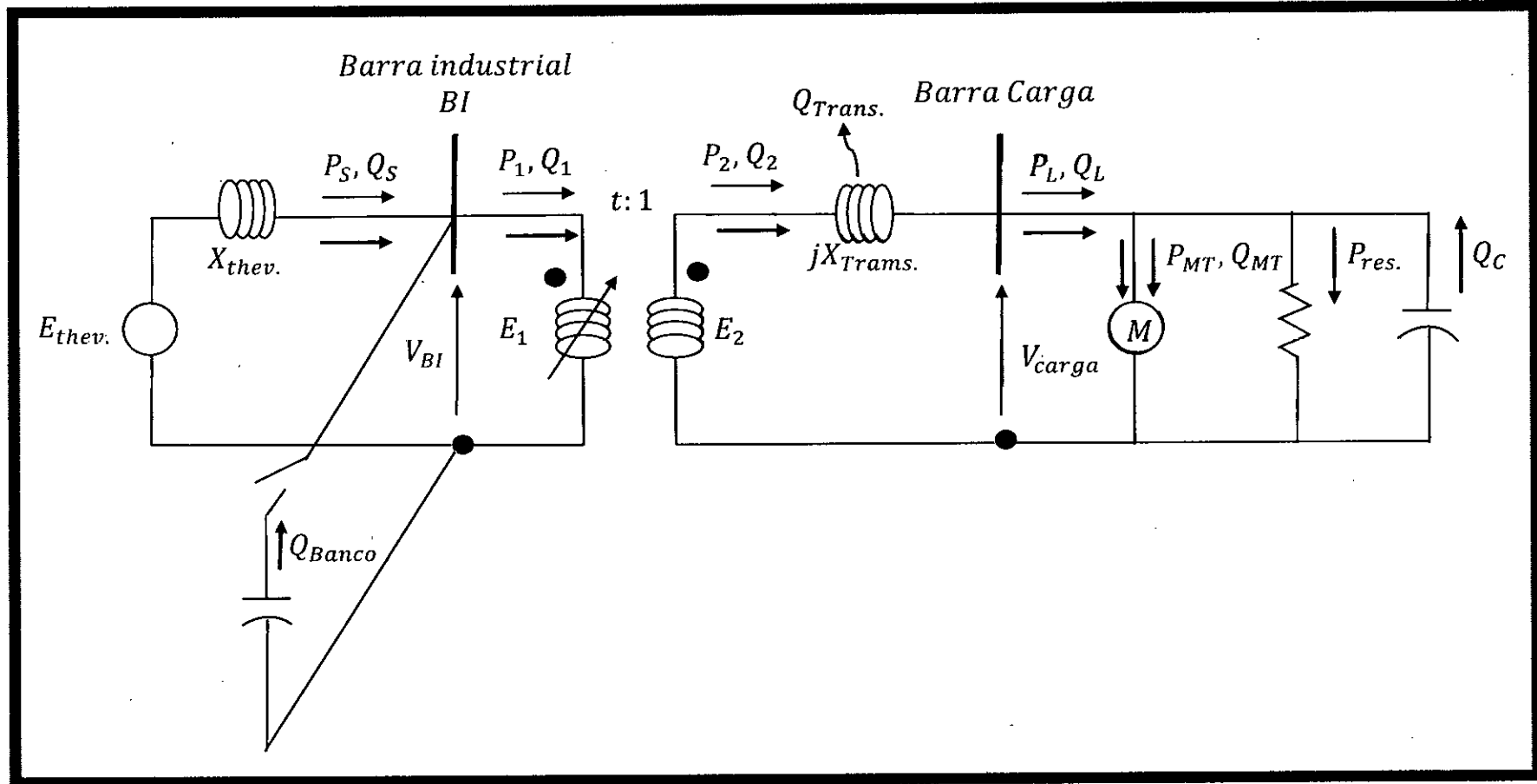
$$P_{MT} = k1 \quad (\text{Potencia constante})$$

$$P = G * V^2 \quad (\text{Impedancia constante})$$

❖ Modelo final del Sistema Industrial conectado barra industrial del SEIN

Figura N°5.2.2.5

MODELO FINAL DEL SISTEMA INDUSTRIAL PARA ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TENSIÓN



❖ **Análisis de Potencias Activas:**

$$P_S = P_1 = P_2$$

$$P_2 = P_L$$

$$P_L = P_{MT} + P_{res}$$

Finalmente,

$$P_S = P_{MT} + P_{res}$$

❖ **Análisis de Potencias Reactivas:**

$$Q_S + Q_{Banco} = Q_1$$

$$Q_1 = Q_2$$

$$Q_2 = Q_L + Q_{Trans.}$$

$$Q_L = Q_{MT} - Q_C$$

Finalmente, para los reactivos que entregara el banco de capacitores en barra industrial BI,

$$Q_{Banco} = Q_1 - Q_S$$

$$Q_{Banco} = (Q_{MT} - Q_C + Q_{Trans.}) - Q_S$$

❖ **Estados del sistema y desarrollo.**

Se definirán 5 estados, los cuales modelarán al sistema y el comportamiento final de los elementos del sistema eléctrico.

Cada estado, además, tendrá una curva característica, la cual será desarrollada para las ecuaciones mostradas anteriormente en el análisis de potencias.

ESTADO 1:

Proceso inicial, sin fallas, operando con 2 líneas, estado estable y régimen permanente, siendo un sistema robusto. Las tensiones en barra infinita (Caracteriza al sistema detrás de las líneas) y tensión en barra industrial se encuentran al 1.02 pu, en los límites establecidos por norma.

Recordar:

Según Norma de calidad de servicios eléctricos.

Los sistemas eléctricos de potencia pueden trabajar con +- 5% de su tensión en barra, si este no fuera el caso entraría en un desbalance el sistema, además de ser multados por no cumplir la norma.

Los elementos de la red, se comportarán de la siguiente forma:

CARGA RESISTIVA: Modelo de potencia activa constante.

MOTOR DE INDUCCIÓN: Modelo de potencia activa constante, modelo de potencia reactiva constante.

TRANSFORMADOR CON TOMAS: Las tomas del transformador actuarán de tal forma que logren mantener la tensión en barra de carga 1.0 pu, para un correcto funcionamiento de equipos.

ESTADO 2:

Comportamiento inmediatamente después de la pérdida de la línea o en que la línea queda fuera de servicio. El sistema se encuentra en un estado inestable.

Los elementos de la red, se comportarán de la siguiente forma:

CARGA RESISTIVA: Modelo de impedancia constante.

MOTOR DE INDUCCIÓN: Modelo de impedancia constante para potencia activa, modelo de impedancia constante para potencia reactiva.

TRANSFORMADOR CON TOMAS: Las tomas del transformador por ser elementos mecánicos, se demorarán cierto tiempo en actuar. En este estado, las tomas del transformador no actuarán. Por lo tanto, las tomas quedarán fijadas en el valor del estado anterior.

ESTADO 3:

Ha pasado la primera etapa de la salida de la línea. El comportamiento de la potencia reactiva variara en función del modelo exacto del motor de inducción.

Los elementos de la red, se comportarán de la siguiente forma:

CARGA RESISTIVA: Modelo de impedancia constante.

MOTOR DE INDUCCIÓN: Modelo de potencia activa constante, variación de potencia reactiva en función del modelo exacto de la tensión.

TRANSFORMADOR CON TOMAS: Las tomas del transformador por ser elementos mecánicos, se demorarán cierto tiempo en actuar. En este estado las tomas no actuarán. Por lo tanto, las tomas se quedarán fijadas en el valor del estado anterior.

ESTADO 4:

La línea salió de servicio y transcurrió cierto tiempo, el suficiente para que las tomas actúen y logren controlar la tensión en la barra industrial.

Los elementos de la red, se comportarán de la siguiente forma:

CARGA RESISTIVA: Modelo de impedancia constante.

MOTOR DE INDUCCIÓN: Modelo de potencia activa constante, variación de potencia reactiva en función del modelo exacto de la tensión.

TRANSFORMADOR CON TOMAS: Las tomas del transformador actúan, intentando mantener en la barra industrial una tensión de 1 pu.

ESTADO 5:

Ha pasado un tiempo relativamente largo en la red, con lo cual el sistema alcanza un nuevo régimen estable o de operación permanente,

CARGA RESISTIVA: Modelo de potencia activa constante.

MOTOR DE INDUCCIÓN: Modelo de potencia activa constante, variación de potencia reactiva en función del modelo exacto de la tensión.

TRANSFORMADOR CON TOMAS: Las tomas del transformador actúan, intentando mantener en la barra industrial una tensión de 1 pu.

❖ Desarrollo de ecuaciones de Estados del sistema

Se desarrollarán distintas ecuaciones para cada estado del sistema industrial el cual presenta un evento de falla (Salida de línea).

ESTADO 1:

$$P_S = P_{MT} + P_{res}$$

$$Q_{Banco} = (Q_{MT} - Q_C + Q_{Trans.}) - Q_S$$

$$Q_{Banco} = Q_{MT} - Q_C + I_L^2 * X_{Trans.} - \left(\sqrt{\left(\frac{E_{Thev} * V_{BI}}{X_{Thev}} \right)^2 - P_S^2} - \frac{V_{BI}^2}{X_{Thev}} \right)$$

ESTADO 2: No Actúan tomas.

$$P_S = P_{MT} + P_{res}$$

$$P_S = G_{MT} * V_{carga}^2 + G_{res} * V_{carga}^2$$

$$Q_{Banco} = (Q_{MT} - Q_C + Q_{Trans.}) - Q_S$$

$$Q_{Banco} = V_{carga}^2 * B_{MT} - V_{carga}^2 * B_C + I_L^2 * X_{Trans.} - \left(\sqrt{\left(\frac{E_{Thev} * V_{BI}}{X_{Thev}} \right)^2 - P_S^2} - \frac{V_{BI}^2}{X_{Thev}} \right)$$

ESTADO 3: No Actúan tomas.

$$P_S = P_{MT} + P_{res}$$

$$P_S = P_{MT} + G_{res} * V_{carga}^2$$

$$Q_{Banco} = (Q_{MT} - Q_C + Q_{Trans.}) - Q_S$$

$$Q_{Banco} = \left(\frac{V_{carga}^2}{X_m} + \frac{V_{carga}^2}{2 * X} - \sqrt{\left(\frac{V_{carga}^2}{2 * X} \right)^2 - P_{MT}^2} \right) - V_{carga}^2 * B_C + I_L^2 * X_{Trans.} - \left(\sqrt{\left(\frac{E_{Thev} * V_{BI}}{X_{Thev}} \right)^2 - P_S^2} - \frac{V_{BI}^2}{X_{Thev}} \right)$$

ESTADO 4: Actúan tomas.

$$P_S = P_{MT} + P_{res}$$

$$P_S = P_{MT} + G_{res} * V_{carga}^2$$

$$Q_{Banco} = (Q_{MT} - Q_C + Q_{Trans.}) - Q_S$$

$$Q_{Banco} = \left(\frac{V_{carga}^2}{X_m} + \frac{V_{carga}^2}{2 * X} - \sqrt{\left(\frac{V_{carga}^2}{2 * X} \right)^2 - P_{MT}^2} \right) - V_{carga}^2 * B_C + I_L^2$$

$$* X_{Trans.} - \left(\sqrt{\left(\frac{E_{Thev} * V_{BI}}{X_{Thev}} \right)^2 - P_S^2} - \frac{V_{BI}^2}{X_{Thev}} \right)$$

ESTADO 5: Actúan tomas.

$$P_S = P_{MT} + P_{res}$$

$$Q_{Banco} = (Q_{MT} - Q_C + Q_{Trans.}) - Q_S$$

$$Q_{Banco} = \left(\frac{V_{carga}^2}{X_m} + \frac{V_{carga}^2}{2 * X} - \sqrt{\left(\frac{V_{carga}^2}{2 * X} \right)^2 - P_{MT}^2} \right) - V_{carga}^2 * B_C + I_L^2$$

$$* X_{Trans.} - \left(\sqrt{\left(\frac{E_{Thev} * V_{BI}}{X_{Thev}} \right)^2 - P_S^2} - \frac{V_{BI}^2}{X_{Thev}} \right)$$

Donde,

P_{MT} : Potencia activa de motor.

P_{res} : Potencia activa carga resistiva.

P_S : Potencia del sistema.

Q_{Banco} : Potencia reactiva de banco en barra industrial (V_{BI}).

Q_{MT} : Potencia reactiva de motor.

Q_C : Potencia reactiva de banco local en barra de carga.

$Q_{Trans.}$: Potencia reactiva de transformador.

Q_S : Potencia reactiva del sistema.

I_L : Corriente de carga (Load).

V_{carga} : Tensión de carga.

X_{Trans} : Reactancia inductiva de transformador.

E_{Thev} : Tensión de Thevenin.

V_{BI} : Tensión en barra industrial.

X_{Thev} : Impedancia de Thevenin.

B_{MT} : Suceptancia de motor

B_C : Suceptancia de banco local en barra de carga.

G_{res} : Conductancia resistiva.

G_{MT} : Conductancia de motor.

X_m : Reactancia magnetizante de motor.

X : Reactancia inductiva de motor.

El comportamiento de las cargas dependerá del estado que se vaya a analizar. En el siguiente capítulo V, se mostrarán las tablas que permitirán graficar o plotear los estados del sistema ante el evento de falla (Salida de línea).

Se utilizarán distintos niveles de potencia reactiva 210, 350 y 450 MVAR. Con los datos base se calcula las impedancias base para cada valor de potencia reactiva.

Para Banco 1 de capacitores, 210 MVAR:

$$Q_a = 210 \text{ MVAR}$$

$$q_a = 0.42 \text{ pu}$$

$$v = 1 \text{ pu}$$

$$y_a = \frac{q_a}{v^2} = \frac{0.42}{1^2} = 0.42 \text{ pu}$$

Para Banco 2 de capacitores, 350 MVar:

$$\begin{aligned}Q_a &= 350 \text{ MVar} \\q_a &= 0.7 \text{ pu} \\v &= 1 \text{ pu} \\y_a &= \frac{q_a}{v^2} = \frac{0.7}{1^2} = 0.7 \text{ pu}\end{aligned}$$

Para Banco 3 de capacitores, 450 MVar:

$$\begin{aligned}Q_a &= 450 \text{ MVar} \\q_a &= 0.9 \text{ pu} \\v &= 1 \text{ pu} \\y_a &= \frac{q_a}{v^2} = \frac{0.9}{1^2} = 0.9 \text{ pu}\end{aligned}$$

Donde la potencia reactiva variara según la tensión que se tenga en barra industrial (BI), de la siguiente forma,

$$Q_i = y_i * v_f^2 * S_{Base} \text{ (MVar)}$$

Donde,

i: a, b, c, d; dependiendo de la capacidad de banco a analizar.

Q: Potencia reactiva en función de v.

y: Admitancia característica.

S_{Base}: Potencia aparente base.

Los valores de la variación de Q vs v en los condensadores se mostrarán en la Tabla N°5.2.1.6.

4.4.2.3 Aplicación de Metodología para MatLab

La metodología aplicada será la misma. Para el programa MatLab se tendrá en cuenta realizar una programación o codificación, la cual ayudará de forma inmediata a graficar las características del sistema, siendo un programa que modelará el sistema para un evento. El

programa será codificado de tal manera que sea dinámico para el usuario permitiéndonos ingresar datos.

❖ **Codificación MatLab:**

```
function Etensionprob2
clear all
close all
clc
fprintf('ESTABILIDAD DE TENSION PARA SALIDA DE UNA LINEA
\n');
fprintf('\nDatos de cargas de sistema. \n');
Pm=input('Ingreso Pot. Activa de Motor(pu): ');
Qm=input('Ingreso Pot. Reactiva de Motor(pu): ');
Pt=input('Ingreso Pot. Activa de carga Resisitva (pu):
');
Bc=input('Ingreso Pot. Reactiva de Banco local (pu): ');
Vbi=input('Ingreso Tension en barra industrial (pu): ');
fprintf('\nDatos de Thevenin del sistema. \n');
Vth=input('Ingreso Tension de Thevenin del sistema (pu):
');
Xth=input('Ingreso Impedancia de Thevenin del sistema
(pu): ');
fprintf('\nDatos de Reactancia de Transformador y Motor.
\n');
Xt=input('Ingreso Reactancia de Transformador (pu): ');
Xm=input('Ingreso Reactancia magnetizante de motor (pu):
');
Xs=input('Ingreso Reactancia inductiva de motor (pu):
');
fprintf('\nDatos de Bancos de Capacitores a utilizar.
\n');
B1=input('Ingreso Capacidad Reactiva de Banco 1 (pu):
');
B2=input('Ingreso Capacidad Reactiva de Banco 2 (pu):
');
B3=input('Ingreso Capacidad Reactiva de Banco 3 (pu):
');
fprintf('\nNOTA: Para los calculos de las impedancias e
admitancias \n');
fprintf('caracterisiticas se esta utilizando un tension
de 1 pu en barra de carga.\n');
k = 0;
toma= 0.9;
%caso 1
%caso 1.1
for V1=0.8:0.001:1;
    Pmot = Modelo_P(0,Pm,V1);
    Pter = Modelo_P(0,Pt,V1);
    Ps = Pmot + Pter;
    Qmot = Q_motor(0,Qm,0,0,0,V1);
    Qcon = Q_banco(Bc,V1);
    Icar = I_carga(Ps,Qmot,Qcon,V1);
    Qtra = Q_trafo(Xt,Icar);
    E2tr = Esec_trafo(Xt,Icar,V1);
```



```

        k=k+1;
        Vrec(k) = toma*abs(E2tr);
        Qin(k) = Qtra + Qmot - Qcon -
Q_sistema(Vth,Xth,Vrec(k),Ps);
    end
%caso 1.2
for toma=0.9:0.001:1.1;
    k = k + 1;
    Vrec(k)=toma*abs(E2tr);
    Qin(k) = Qtra+ Qmot - Qcon -
Q_sistema(Vth,Xth,Vrec(k),Ps);
end
%caso 1.3
toma=1.1;
for V1=1.0:0.001:1.2;
    Pmot = Modelo_P(0,Pm,V1);
    Pter = Modelo_P(0,Pt,V1);
    Ps = Pmot + Pter;
    Qmot = Q_motor(0,Qm,0,0,0,V1);
    Qcon = Q_banco(Bc,V1);
    Icar = I_carga(Ps,Qmot,Qcon,V1);
    Qtra = Q_trafo(Xt,Icar);
    E2tr = Esec_trafo(Xt,Icar,V1);
    k=k+1;
    Vrec(k) = toma*abs(E2tr);
    Qin(k) = Qtra + Qmot - Qcon -
Q_sistema(Vth,Xth,Vrec(k),Ps);
end
plot(Vrec,Qin*500)
grid on
axis([ 0.35 1.4 -100 800])
hold on
%caso 2
Vth=Vth;
Xth=2*Xth;
Eltr = Vbi;
V1 = 1;
Pmot = Modelo_P(1,Pm,V1);
Pter = Modelo_P(1,Pt,V1);
Ps = Pmot + Pter;
Qmot = Q_motor(1,Qm,0,0,0,V1);
Qcon = Q_banco(Bc,V1);
Icar = I_carga(Ps,Qmot,Qcon,V1);
Qtra = Q_trafo(Xt,Icar);
E2tr = Esec_trafo(Xt,Icar,V1);
toma= abs(Eltr/E2tr);
k=0;
for V1=0.7:0.001:1.2;
    Pmot = Modelo_P(1,Pm,V1);
    Pter = Modelo_P(1,Pt,V1);
    Ps = Pmot + Pter;
    Qmot = Q_motor(1,Qm,0,0,0,V1);
    Qcon = Q_banco(Bc,V1);
    Icar = I_carga(Ps,Qmot,Qcon,V1);
    Qtra = Q_trafo(Xt,Icar);
    E2tr = Esec_trafo(Xt,Icar,V1);

```

```

        k=k+1;
        Vrec(k) = toma*abs(E2tr);
        Qin(k) = Qtra + Qmot - Qcon -
Q_sistema(Vth,Xth,Vrec(k),Ps);
    end
    plot(Vrec,Qin*500)
    %caso 3
    Vth=Vth;
    Xth=Xth;
    xm = Xm;
    x = Xs;
    k=0;
    for V1=0.55:0.001:1.2;
        Pmot = Modelo_P(0,Pm,V1);
        Pter = Modelo_P(1,Pt,V1);
        Ps = Pmot + Pter;
        Qmot = Q_motor(2,Qm,xm,x,Pmot,V1);
        Qcon = Q_banco(Bc,V1);
        Icar = I_carga(Ps,Qmot,Qcon,V1);
        Qtra = Q_trafo(Xt,Icar);
        E2tr = Esec_trafo(Xt,Icar,V1);
        k=k+1;
        Vrec(k) = toma*abs(E2tr);
        Qin(k) = Qtra + Qmot - Qcon -
Q_sistema(Vth,Xth,Vrec(k),Ps);
    end
    plot(Vrec,Qin*500)
    %caso 4
    %caso 4.1
    k=0;
    toma=0.9;
    for V1=0.6:0.001:1;
        Pmot = Modelo_P(0,Pm,V1);
        Pter = Modelo_P(1,Pt,V1);
        Ps = Pmot + Pter;
        Qmot = Q_motor(2,Qm,xm,x,Pmot,V1);
        Qcon = Q_banco(Bc,V1);
        Icar = I_carga(Ps,Qmot,Qcon,V1);
        Qtra = Q_trafo(Xt,Icar);
        E2tr = Esec_trafo(Xt,Icar,V1);
        k=k+1;
        Vrec(k) = toma*abs(E2tr);
        Qin(k) = Qtra + Qmot - Qcon -
Q_sistema(Vth,Xth,Vrec(k),Ps);
    end
    %caso 4.2
    for toma=0.9:0.001:1.1;
        k = k + 1;
        Vrec(k)=toma*abs(E2tr);
        Qin(k) = Qtra + Qmot - Qcon -
Q_sistema(Vth,Xth,Vrec(k),Ps);
    end
    %caso 4.3
    toma=1.1;
    for V1=1.0:0.001:1.2;
        Pmot = Modelo_P(0,Pm,V1);

```

```

Pter = Modelo_P(1,Pt,Vl);
Ps = Pmot + Pter;
Qmot = Q_motor(2,Qm,xm,x,Pmot,Vl);
Qcon = Q_banco(Bc,Vl);
Icar = I_carga(Ps,Qmot,Qcon,Vl);
Qtra = Q_trafo(Xt,Icar);
E2tr = Esec_trafo(Xt,Icar,Vl);
k=k+1;
Vrec(k) = toma*abs(E2tr);
Qin(k) = Qtra + Qmot - Qcon -
Q_sistema(Vth,Xth,Vrec(k),Ps);
end
plot(Vrec,Qin*500,'r')
%caso 5
%caso 5.1
k=0;
toma=0.9;
for Vl=0.7:0.001:1;
    Pmot = Modelo_P(0,Pm,Vl);
    Pter = Modelo_P(0,Pt,Vl);
    Ps = Pmot + Pter;
    Qmot = Q_motor(2,Qm,xm,x,Pmot,Vl);
    Qcon = Q_banco(Bc,Vl);
    Icar = I_carga(Ps,Qmot,Qcon,Vl);
    Qtra = Q_trafo(Xt,Icar);
    E2tr = Esec_trafo(Xt,Icar,Vl);
    k=k+1;
    Vrec(k) = toma*abs(E2tr);
    Qin(k) = Qtra + Qmot - Qcon -
Q_sistema(Vth,Xth,Vrec(k),Ps);
end
%caso 5.2
for toma=0.9:0.001:1.1;
    k = k + 1;
    Vrec(k)=toma*abs(E2tr);
    Qin(k) = Qtra + Qmot - Qcon -
Q_sistema(Vth,Xth,Vrec(k),Ps);
end
%caso 5.3
toma=1.1;
for Vl=1.0:0.001:1.2;
    Pmot = Modelo_P(0,Pm,Vl);
    Pter = Modelo_P(0,Pt,Vl);
    Ps = Pmot + Pter;
    Qmot = Q_motor(2,Qm,xm,x,Pmot,Vl);
    Qcon = Q_banco(Bc,Vl);
    Icar = I_carga(Ps,Qmot,Qcon,Vl);
    Qtra = Q_trafo(Xt,Icar);
    E2tr = Esec_trafo(Xt,Icar,Vl);
    k=k+1;
    Vrec(k) = toma*abs(E2tr);
    Qin(k) = Qtra + Qmot - Qcon -
Q_sistema(Vth,Xth,Vrec(k),Ps);
end
plot(Vrec,Qin*500,'--g')
%Bancos de condensadores en barra industrial

```

```

B1=B1;
B2=B2;
B3=B3;
Vrec=0:0.01:1.2;
Qbanco1=B1.*Vrec.^2;
Qbanco2=B2.*Vrec.^2;
Qbanco3=B3.*Vrec.^2;
plot(Vrec,Qbanco1*500,'xk',Vrec,Qbanco2*500,'xm',Vrec,Qb
anco3*500,'xc')
%SUBPROGRAMAS
function Pactiva = Modelo_P(tipo,ctel,voltaje)
switch tipo
    case 0
        Pactiva=ctel;
    case 1
        Pactiva=ctel*voltaje^2;
    otherwise
        disp('error'); pause; quit
end
function Qc= Q_banco(Bc,voltaje)
if Bc < 0
    disp('Error')
end
Qc=Bc*voltaje^2;
function Qm = Q_motor(tipo,ctel,xm,x,pm,voltaje)
switch tipo
    case 0
        Qm = ctel;
    case 1
        Qm = ctel*voltaje^2;
    case 2
        Qm = voltaje^2/xm + voltaje^2/(2*x) -
sqrt((voltaje^2/(2*x))^2 - pm^2);
    otherwise
        disp('error'); pause; quit
end
function Iload= I_carga(Psis,Qmot,Qban,Vl)
Iload = ( Psis -j*(Qmot - Qban))/Vl;
function Qt = Q_trafo(xtrafo,I1)
Qt = xtrafo*abs(I1)^2;
function Qsis = Q_sistema(Vth,Xth,Vrec,Ps)
Qsis = sqrt((Vth*Vrec/Xth)^2 - Ps^2) -Vrec^2/Xth;
function E2t = Esec_trafo(Xt,Icar,Vl)
E2t= j*Xt*Icar + Vl;

```

V. RESULTADOS

5.1 Evento Incremento de Carga.

5.1.1 Programa: Excel

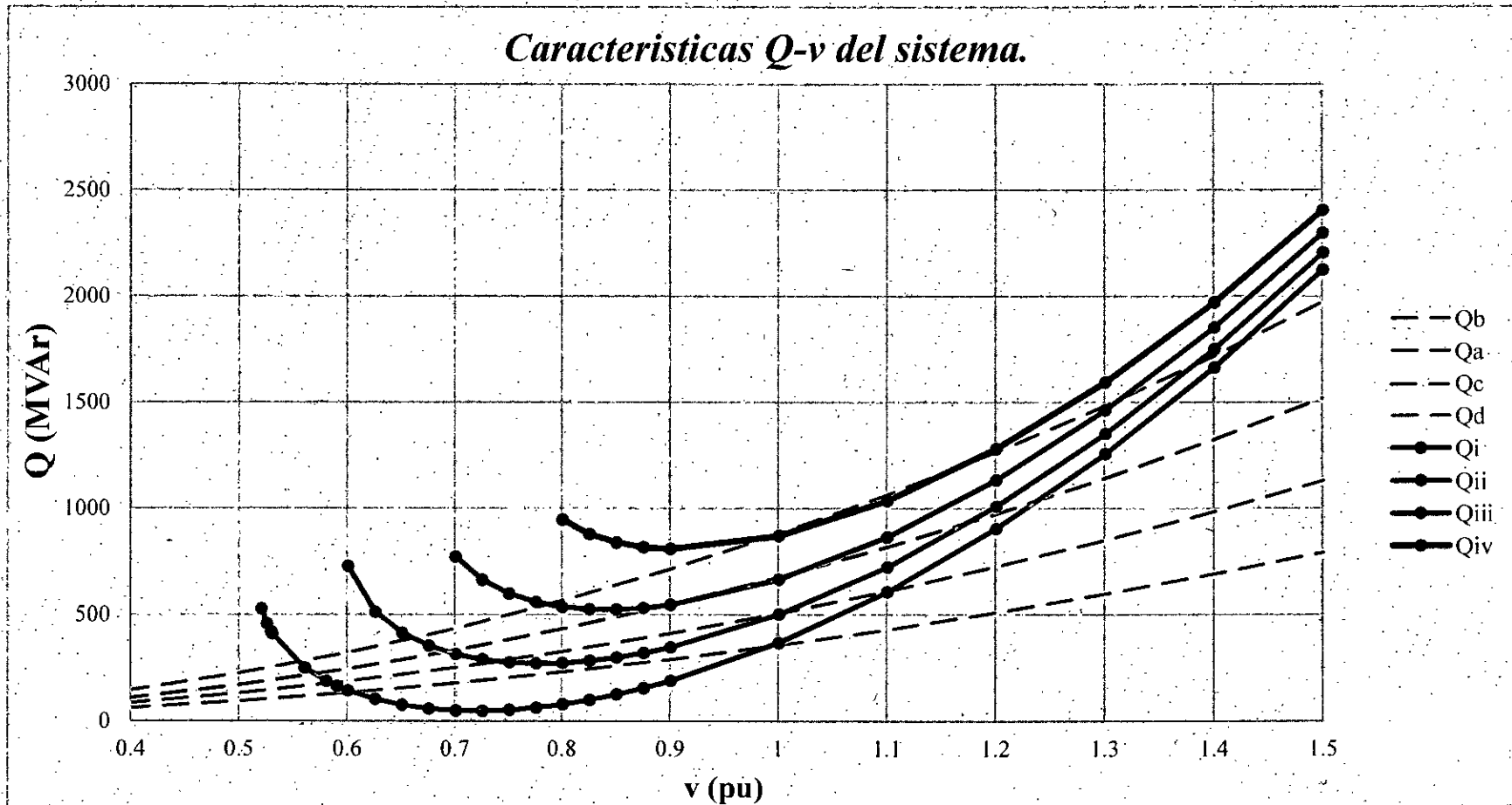
Tabla N°5.1.1.1
 REACTIVOS REQUERIDOS DEL SISTEMA PARA UN
 INCREMENTO DE CARGA, EN FUNCIÓN DE UNA TENSION EN
 BARRA 2, V2 (PU).

| Item | Voltaje en (2) | P=13 cte | P=15 cte | P=17 cte | P=19 cte |
|------|----------------|-----------|------------|-------------|------------|
| | v (pu) | Qi (MVar) | Qii (MVar) | Qiii (MVar) | Qiv (MVar) |
| 1 | 0.00 | --- | --- | --- | --- |
| 2 | 0.10 | --- | --- | --- | --- |
| 3 | 0.20 | --- | --- | --- | --- |
| 4 | 0.30 | --- | --- | --- | --- |
| 5 | 0.40 | --- | --- | --- | --- |
| 6 | 0.50 | --- | --- | --- | --- |
| 7 | 0.51 | --- | --- | --- | --- |
| 8 | 0.52 | 520.99 | --- | --- | --- |
| 9 | 0.53 | 451.80 | --- | --- | --- |
| 10 | 0.53 | 412.42 | --- | --- | --- |
| 11 | 0.53 | 403.82 | --- | --- | --- |
| 12 | 0.56 | 242.44 | --- | --- | --- |
| 13 | 0.58 | 180.72 | --- | --- | --- |
| 14 | 0.56 | 242.44 | --- | --- | --- |
| 15 | 0.59 | 156.67 | --- | --- | --- |
| 16 | 0.60 | 136.00 | 722.05 | --- | --- |
| 17 | 0.63 | 96.00 | 505.98 | --- | --- |
| 18 | 0.65 | 68.90 | 407.97 | --- | --- |
| 19 | 0.68 | 51.83 | 347.13 | 1118.40 | --- |
| 20 | 0.70 | 43.06 | 307.46 | 766.33 | --- |
| 21 | 0.73 | 41.42 | 282.36 | 656.91 | --- |
| 22 | 0.75 | 46.13 | 268.42 | 592.89 | --- |
| 23 | 0.78 | 56.59 | 263.57 | 553.30 | 1064.74 |
| 24 | 0.80 | 72.39 | 266.47 | 530.11 | 940.76 |
| 25 | 0.83 | 93.17 | 276.21 | 519.25 | 872.73 |
| 26 | 0.85 | 118.69 | 292.11 | 518.31 | 832.92 |
| 27 | 0.88 | 148.71 | 313.67 | 525.76 | 811.50 |
| 28 | 0.90 | 183.07 | 340.51 | 540.54 | 803.65 |
| 29 | 1.00 | 361.39 | 495.33 | 660.18 | 865.16 |
| 30 | 1.10 | 600.98 | 718.22 | 859.89 | 1031.12 |

Tabla N°5.1.1.2
 REACTIVOS ENTREGADOS DE LOS DISTINTOS CAPACITORES
 PARA UN INCREMENTO DE CARGA, EN FUNCIÓN DE TENSIÓN
 EN BARRA 2, V2 (pu).

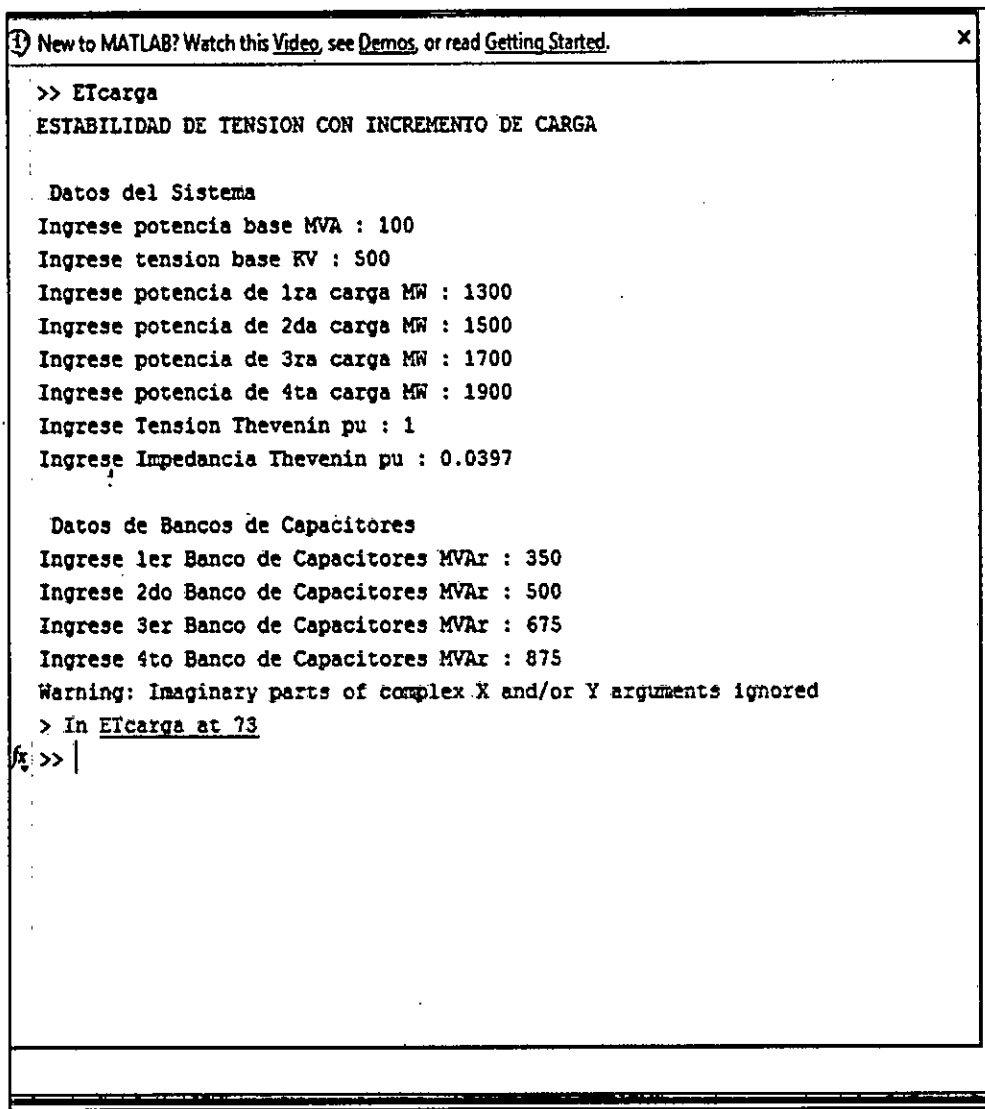
| Item | v(pu) | Qa(MVAr) | Qb(MVAr) | Qc(MVAr) | Qd(MVAr) |
|------|-------|----------|----------|----------|----------|
| 0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 1 | 0.1 | 3.50 | 5.00 | 6.75 | 8.75 |
| 2 | 0.2 | 14.00 | 20.00 | 27.00 | 35.00 |
| 3 | 0.3 | 31.50 | 45.00 | 60.75 | 78.75 |
| 4 | 0.4 | 56.00 | 80.00 | 108.00 | 140.00 |
| 5 | 0.5 | 87.50 | 125.00 | 168.75 | 218.75 |
| 6 | 0.6 | 126.00 | 180.00 | 243.00 | 315.00 |
| 7 | 0.7 | 171.50 | 245.00 | 330.75 | 428.75 |
| 8 | 0.8 | 224.00 | 320.00 | 432.00 | 560.00 |
| 9 | 0.9 | 283.50 | 405.00 | 546.75 | 708.75 |
| 10 | 1.0 | 350.00 | 500.00 | 675.00 | 875.00 |
| 11 | 1.1 | 423.50 | 605.00 | 816.75 | 1058.75 |
| 12 | 1.2 | 504.00 | 720.00 | 972.00 | 1260.00 |
| 13 | 1.3 | 591.50 | 845.00 | 1140.75 | 1478.75 |
| 14 | 1.4 | 686.00 | 980.00 | 1323.00 | 1715.00 |
| 15 | 1.5 | 787.50 | 1125.00 | 1518.75 | 1968.75 |

Gráfico N°5.1.1.3
 CURVAS CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA ANTE UN EVENTO DE INCREMENTO DE CARGA EN BARRA



5.1.2 Programa: MatLab

Figura N°5.1.2.1
INGRESO DE DATOS EN COMMAND WINDOW DE MATLAB

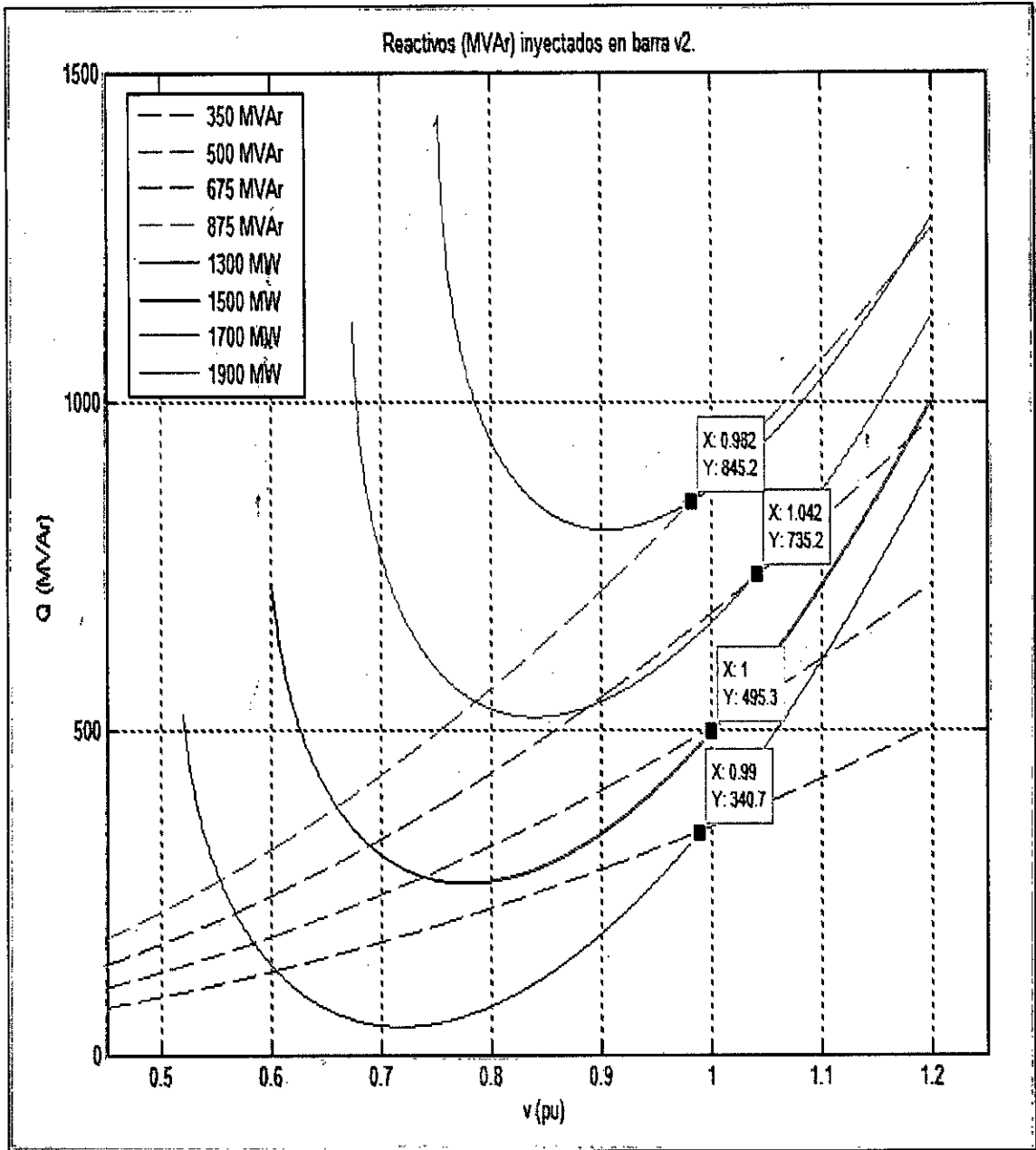


```
New to MATLAB? Watch this Video, see Demos, or read Getting Started. x
>> ETcarga
ESTABILIDAD DE TENSION CON INCREMENTO DE CARGA

Datos del Sistema
Ingreso potencia base MVA : 100
Ingreso tension base KV : 500
Ingreso potencia de 1ra carga MW : 1300
Ingreso potencia de 2da carga MW : 1500
Ingreso potencia de 3ra carga MW : 1700
Ingreso potencia de 4ta carga MW : 1900
Ingreso Tension Thevenin pu : 1
Ingreso Impedancia Thevenin pu : 0.0397

Datos de Bancos de Capacitores
Ingreso 1er Banco de Capacitores MVAR : 350
Ingreso 2do Banco de Capacitores MVAR : 500
Ingreso 3er Banco de Capacitores MVAR : 675
Ingreso 4to Banco de Capacitores MVAR : 875
Warning: Imaginary parts of complex X and/or Y arguments ignored
> In ETcarga at 73
fx: >> |
```


Figura N°5.1.2.2
 CURVAS CARACTERISTICAS DEL SISTEMA ANTES UN EVENTO DE
 INCREMENTO DE CARGA EN BARRA V2-MATLAB



5.2 Evento de cambio en la Topología o Salida de Línea

5.2.1 Programa: Excel

Tabla N°5.2.1.1
REACTIVOS REQUERIDOS POR EL SISTEMA-ESTADO I

| Ítem | V carga | Toma | l carga | Q trafo. | E2 | E1=V industrial | Q sistema | Q iny. | Q real |
|------|---------|------|---------|----------|------|-----------------|-----------|--------|--------|
| | pu | | pu | pu | pu | pu | pu | pu | MVAr |
| 1 | 0.80 | 1.00 | 2.05 | 0.32 | 0.82 | 0.82 | 0.25 | 0.16 | 81.66 |
| 2 | 0.85 | 1.00 | 1.93 | 0.28 | 0.87 | 0.87 | 0.15 | 0.23 | 113.28 |
| 3 | 0.90 | 1.00 | 1.83 | 0.25 | 0.92 | 0.92 | 0.03 | 0.32 | 159.01 |
| 4 | 0.95 | 1.00 | 1.73 | 0.22 | 0.97 | 0.97 | -0.11 | 0.44 | 218.11 |
| 5 | 1.00 | 1.00 | 1.64 | 0.20 | 1.01 | 1.01 | -0.28 | 0.58 | 290.02 |
| 6 | 1.10 | 1.00 | 1.49 | 0.17 | 1.11 | 1.11 | -0.67 | 0.94 | 470.51 |
| 7 | 1.10 | 1.00 | 1.49 | 0.17 | 1.11 | 1.11 | -0.68 | 0.94 | 471.12 |
| 8 | 1.10 | 1.00 | 1.49 | 0.17 | 1.11 | 1.11 | -0.68 | 0.94 | 471.73 |
| 9 | 1.10 | 1.00 | 1.49 | 0.17 | 1.11 | 1.11 | -0.68 | 0.94 | 472.35 |
| 10 | 1.10 | 1.00 | 1.49 | 0.17 | 1.12 | 1.12 | -0.69 | 0.95 | 476.66 |
| 11 | 1.11 | 1.00 | 1.49 | 0.17 | 1.12 | 1.12 | -0.70 | 0.97 | 482.85 |
| 12 | 1.11 | 1.00 | 1.48 | 0.16 | 1.12 | 1.12 | -0.71 | 0.98 | 489.08 |
| 13 | 1.11 | 1.00 | 1.48 | 0.16 | 1.12 | 1.12 | -0.72 | 0.98 | 491.16 |
| 14 | 1.12 | 1.00 | 1.47 | 0.16 | 1.13 | 1.13 | -0.76 | 1.02 | 512.28 |
| 15 | 1.13 | 1.00 | 1.45 | 0.16 | 1.14 | 1.14 | -0.81 | 1.07 | 533.87 |
| 16 | 1.15 | 1.00 | 1.43 | 0.15 | 1.16 | 1.16 | -0.90 | 1.16 | 578.41 |
| 17 | 1.20 | 1.00 | 1.37 | 0.14 | 1.21 | 1.21 | -1.15 | 1.40 | 697.75 |
| 18 | 1.25 | 1.00 | 1.31 | 0.13 | 1.26 | 1.26 | -1.43 | 1.66 | 828.33 |

Tabla N°5.2.1.2
REACTIVOS REQUERIDOS POR EL SISTEMA-ESTADO 2

| Ítem | V carga | P total | Q total | I carga | Q trafo | E2 | EI=V BI | Q sistema | Q banco | Q iny. | Q real |
|------|---------|---------|---------|---------|---------|------|---------|-----------|---------|--------|---------|
| | pu | pu | pu | pu | pu | pu | pu | pu | pu | pu | MVAr |
| 1 | 0.65 | 0.59 | -0.28 | 1.09 | 0.09 | 0.57 | 0.57 | 0.36 | 0.18 | -0.24 | -119.18 |
| 2 | 0.70 | 0.69 | -0.25 | 1.13 | 0.10 | 0.63 | 0.63 | 0.30 | 0.21 | -0.16 | -81.78 |
| 3 | 0.71 | 0.80 | -0.21 | 1.19 | 0.11 | 0.68 | 0.69 | 0.22 | 0.25 | -0.06 | -32.41 |
| 4 | 0.73 | 0.83 | -0.20 | 1.20 | 0.11 | 0.69 | 0.70 | 0.20 | 0.25 | -0.04 | -21.09 |
| 5 | 0.74 | 0.87 | -0.18 | 1.22 | 0.11 | 0.72 | 0.72 | 0.16 | 0.27 | 0.01 | 3.01 |
| 6 | 0.75 | 0.90 | -0.17 | 1.24 | 0.11 | 0.73 | 0.73 | 0.14 | 0.27 | 0.03 | 15.79 |
| 7 | 0.77 | 0.92 | -0.16 | 1.25 | 0.12 | 0.74 | 0.74 | 0.12 | 0.28 | 0.06 | 29.07 |
| 8 | 0.79 | 0.97 | -0.14 | 1.28 | 0.12 | 0.76 | 0.77 | 0.07 | 0.30 | 0.11 | 57.12 |
| 9 | 0.80 | 1.02 | -0.13 | 1.31 | 0.13 | 0.78 | 0.79 | 0.02 | 0.31 | 0.17 | 87.18 |
| 10 | 0.85 | 1.05 | -0.12 | 1.32 | 0.13 | 0.80 | 0.80 | -0.01 | 0.32 | 0.21 | 102.98 |
| 11 | 0.90 | 1.18 | -0.07 | 1.40 | 0.15 | 0.85 | 0.85 | -0.16 | 0.36 | 0.38 | 189.84 |
| 12 | 0.95 | 1.33 | -0.01 | 1.48 | 0.16 | 0.91 | 0.91 | -0.34 | 0.41 | 0.58 | 290.37 |
| 13 | 1.00 | 1.48 | 0.04 | 1.56 | 0.18 | 0.96 | 0.97 | -0.54 | 0.45 | 0.81 | 405.51 |
| 14 | 1.00 | 1.64 | 0.10 | 1.64 | 0.20 | 1.01 | 1.02 | -0.77 | 0.50 | 1.07 | 536.59 |
| 15 | 1.00 | 1.64 | 0.10 | 1.64 | 0.20 | 1.01 | 1.02 | -0.77 | 0.50 | 1.07 | 536.59 |
| 16 | 1.05 | 1.64 | 0.10 | 1.64 | 0.20 | 1.01 | 1.02 | -0.77 | 0.50 | 1.07 | 536.59 |
| 17 | 1.05 | 1.81 | 0.16 | 1.73 | 0.22 | 1.07 | 1.07 | -1.04 | 0.55 | 1.37 | 685.43 |
| 18 | 1.05 | 1.81 | 0.16 | 1.73 | 0.22 | 1.07 | 1.07 | -1.04 | 0.55 | 1.37 | 685.43 |
| 19 | 1.10 | 1.81 | 0.16 | 1.73 | 0.22 | 1.07 | 1.07 | -1.04 | 0.55 | 1.37 | 685.43 |
| 20 | 0.97 | 1.98 | 0.23 | 1.82 | 0.25 | 1.12 | 1.13 | -1.34 | 0.61 | 1.71 | 854.75 |

Tabla N°5.2.1.3
REACTIVOS REQUERIDOS POR EL SISTEMA-ESTADO 3

| Ítem | V carga | P total | Q total | I carga | Q trafo | E2 | E1=V BI | Q sistema | Q banco | Q iny. | Q real |
|------|---------|---------|---------|---------|---------|------|---------|-----------|---------|--------|------------------|
| | pu | pu | pu | pu | pu | pu | pu | pu | pu | pu | MVA _r |
| 1 | 0.50 | 1.01 | 0.18 | 2.05 | 0.32 | 0.55 | 0.55 | -0.09 | 0.13 | 0.96 | 482.40 |
| 2 | 0.53 | 1.04 | 0.04 | 1.96 | 0.29 | 0.56 | 0.56 | -0.13 | 0.14 | 0.82 | 407.91 |
| 3 | 0.55 | 1.05 | -0.01 | 1.92 | 0.28 | 0.57 | 0.57 | -0.14 | 0.15 | 0.75 | 376.50 |
| 4 | 0.58 | 1.08 | -0.05 | 1.87 | 0.26 | 0.59 | 0.59 | -0.14 | 0.17 | 0.68 | 340.48 |
| 5 | 0.60 | 1.10 | -0.08 | 1.84 | 0.25 | 0.61 | 0.61 | -0.15 | 0.18 | 0.64 | 321.88 |
| 6 | 0.65 | 1.15 | -0.11 | 1.79 | 0.24 | 0.65 | 0.65 | -0.17 | 0.21 | 0.58 | 290.19 |
| 7 | 0.70 | 1.21 | -0.13 | 1.74 | 0.23 | 0.70 | 0.70 | -0.20 | 0.25 | 0.55 | 275.86 |
| 8 | 0.71 | 1.22 | -0.13 | 1.73 | 0.23 | 0.71 | 0.71 | -0.21 | 0.25 | 0.55 | 274.80 |
| 9 | 0.73 | 1.25 | -0.14 | 1.72 | 0.22 | 0.73 | 0.73 | -0.23 | 0.27 | 0.55 | 274.32 |
| 10 | 0.74 | 1.26 | -0.14 | 1.71 | 0.22 | 0.74 | 0.74 | -0.24 | 0.27 | 0.55 | 274.87 |
| 11 | 0.75 | 1.27 | -0.14 | 1.71 | 0.22 | 0.75 | 0.75 | -0.25 | 0.28 | 0.55 | 275.94 |
| 12 | 0.77 | 1.30 | -0.14 | 1.70 | 0.22 | 0.77 | 0.77 | -0.28 | 0.30 | 0.56 | 279.56 |
| 13 | 0.79 | 1.32 | -0.14 | 1.69 | 0.21 | 0.79 | 0.79 | -0.31 | 0.31 | 0.57 | 285.08 |
| 14 | 0.80 | 1.34 | -0.14 | 1.68 | 0.21 | 0.80 | 0.80 | -0.32 | 0.32 | 0.58 | 288.53 |
| 15 | 0.85 | 1.41 | -0.13 | 1.66 | 0.21 | 0.85 | 0.85 | -0.41 | 0.36 | 0.62 | 312.38 |
| 16 | 0.90 | 1.48 | -0.11 | 1.65 | 0.20 | 0.90 | 0.90 | -0.51 | 0.41 | 0.69 | 346.59 |
| 17 | 0.95 | 1.56 | -0.10 | 1.64 | 0.20 | 0.95 | 0.96 | -0.63 | 0.45 | 0.78 | 390.57 |
| 18 | 1.00 | 1.64 | -0.08 | 1.64 | 0.20 | 1.00 | 1.01 | -0.76 | 0.50 | 0.89 | 443.89 |
| 19 | 1.10 | 1.82 | -0.02 | 1.65 | 0.20 | 1.11 | 1.11 | -1.08 | 0.61 | 1.16 | 577.51 |
| 20 | 1.10 | 1.82 | -0.02 | 1.65 | 0.20 | 1.11 | 1.11 | -1.08 | 0.61 | 1.16 | 577.96 |
| 21 | 1.10 | 1.82 | -0.02 | 1.65 | 0.20 | 1.11 | 1.11 | -1.08 | 0.61 | 1.16 | 578.42 |
| 22 | 1.10 | 1.82 | -0.02 | 1.65 | 0.20 | 1.11 | 1.11 | -1.08 | 0.61 | 1.16 | 578.87 |
| 23 | 1.10 | 1.82 | -0.02 | 1.65 | 0.20 | 1.11 | 1.11 | -1.09 | 0.61 | 1.16 | 582.06 |
| 24 | 1.11 | 1.83 | -0.02 | 1.65 | 0.20 | 1.11 | 1.12 | -1.10 | 0.61 | 1.17 | 586.65 |

Tabla N°5.2.1.4
REACTIVOS REQUERIDOS POR EL SISTEMA-ESTADO 4

| Ítem | V carga | Toma | P total | Q total | Q trafo | E2 | E1=V BI | Q sistema | Q banco | Q iny. | Q real |
|------|---------|------|---------|---------|---------|------|---------|-----------|---------|--------|--------|
| | pu | | pu | pu | pu | pu | pu | pu | pu | pu | MVAr |
| 1 | 0.50 | 0.92 | 1.01 | 0.18 | 0.32 | 0.55 | 0.50 | -0.27 | 0.13 | 1.14 | 571.20 |
| 2 | 0.53 | 0.92 | 1.04 | 0.04 | 0.29 | 0.56 | 0.51 | -0.34 | 0.14 | 1.03 | 516.02 |
| 3 | 0.55 | 0.92 | 1.05 | -0.01 | 0.28 | 0.57 | 0.52 | -0.34 | 0.15 | 0.96 | 478.59 |
| 4 | 0.58 | 0.92 | 1.08 | -0.05 | 0.26 | 0.59 | 0.54 | -0.32 | 0.17 | 0.86 | 428.40 |
| 5 | 0.60 | 0.92 | 1.10 | -0.08 | 0.25 | 0.61 | 0.56 | -0.33 | 0.18 | 0.80 | 401.12 |
| 6 | 0.65 | 0.92 | 1.15 | -0.11 | 0.24 | 0.65 | 0.60 | -0.29 | 0.21 | 0.70 | 352.19 |
| 7 | 0.70 | 0.92 | 1.21 | -0.13 | 0.23 | 0.70 | 0.64 | -0.33 | 0.25 | 0.65 | 324.91 |
| 8 | 0.71 | 0.92 | 1.22 | -0.13 | 0.23 | 0.71 | 0.65 | -0.33 | 0.25 | 0.64 | 321.56 |
| 9 | 0.73 | 0.92 | 1.25 | -0.14 | 0.22 | 0.73 | 0.67 | -0.31 | 0.27 | 0.63 | 316.73 |
| 10 | 0.74 | 0.92 | 1.26 | -0.14 | 0.22 | 0.74 | 0.68 | -0.32 | 0.27 | 0.63 | 315.20 |
| 11 | 0.75 | 0.92 | 1.27 | -0.14 | 0.22 | 0.75 | 0.69 | -0.33 | 0.28 | 0.63 | 314.22 |
| 12 | 0.77 | 0.92 | 1.30 | -0.14 | 0.22 | 0.77 | 0.71 | -0.35 | 0.30 | 0.63 | 313.89 |
| 13 | 0.79 | 0.92 | 1.32 | -0.14 | 0.21 | 0.79 | 0.72 | -0.37 | 0.31 | 0.63 | 315.58 |
| 14 | 0.80 | 0.92 | 1.34 | -0.14 | 0.21 | 0.80 | 0.73 | -0.38 | 0.32 | 0.63 | 317.16 |
| 15 | 0.85 | 0.92 | 1.41 | -0.13 | 0.21 | 0.85 | 0.78 | -0.44 | 0.36 | 0.66 | 331.85 |
| 16 | 0.90 | 0.92 | 1.48 | -0.11 | 0.20 | 0.90 | 0.83 | -0.53 | 0.41 | 0.71 | 357.13 |
| 17 | 0.88 | 0.92 | 1.45 | -0.12 | 0.21 | 0.88 | 0.81 | -0.49 | 0.39 | 0.69 | 345.81 |
| 18 | 0.89 | 0.92 | 1.46 | -0.12 | 0.20 | 0.88 | 0.81 | -0.53 | 0.39 | 0.70 | 348.49 |
| 19 | 0.89 | 0.92 | 1.47 | -0.12 | 0.20 | 0.89 | 0.82 | -0.51 | 0.40 | 0.70 | 351.84 |
| 20 | 0.89 | 0.92 | 1.47 | -0.12 | 0.20 | 0.89 | 0.82 | -0.51 | 0.40 | 0.70 | 352.41 |
| 21 | 0.90 | 0.92 | 1.47 | -0.12 | 0.20 | 0.89 | 0.82 | -0.52 | 0.40 | 0.71 | 354.74 |
| 22 | 0.90 | 0.92 | 1.48 | -0.11 | 0.20 | 0.90 | 0.83 | -0.53 | 0.40 | 0.71 | 355.93 |
| 23 | 1.00 | 0.92 | 1.64 | -0.08 | 0.20 | 1.00 | 0.92 | -0.75 | 0.50 | 0.87 | 436.64 |
| 24 | 1.00 | 0.92 | 1.64 | -0.08 | 0.20 | 1.00 | 0.92 | -0.75 | 0.50 | 0.87 | 436.64 |
| 25 | 1.00 | 0.92 | 1.64 | -0.08 | 0.20 | 1.00 | 0.92 | -0.75 | 0.50 | 0.87 | 436.64 |
| 26 | 1.00 | 0.93 | 1.64 | -0.08 | 0.20 | 1.00 | 0.93 | -0.74 | 0.50 | 0.87 | 434.97 |
| 27 | 1.00 | 0.94 | 1.64 | -0.08 | 0.20 | 1.00 | 0.94 | -0.74 | 0.50 | 0.87 | 434.08 |
| 28 | 1.00 | 0.95 | 1.64 | -0.08 | 0.20 | 1.00 | 0.95 | -0.74 | 0.50 | 0.87 | 433.92 |
| 29 | 1.00 | 0.96 | 1.64 | -0.08 | 0.20 | 1.00 | 0.96 | -0.74 | 0.50 | 0.87 | 434.43 |
| 30 | 1.00 | 1.00 | 1.64 | -0.08 | 0.20 | 1.00 | 1.00 | -0.76 | 0.50 | 0.88 | 442.33 |
| 31 | 1.00 | 1.06 | 1.64 | -0.08 | 0.20 | 1.00 | 1.06 | -0.81 | 0.50 | 0.94 | 468.73 |
| 32 | 1.00 | 1.07 | 1.64 | -0.08 | 0.20 | 1.00 | 1.07 | -0.82 | 0.50 | 0.95 | 474.58 |
| 33 | 1.00 | 1.07 | 1.64 | -0.08 | 0.20 | 1.00 | 1.07 | -0.82 | 0.50 | 0.95 | 474.58 |
| 34 | 1.00 | 1.08 | 1.64 | -0.08 | 0.20 | 1.00 | 1.08 | -0.84 | 0.50 | 0.96 | 480.81 |
| 35 | 1.00 | 1.08 | 1.64 | -0.08 | 0.20 | 1.00 | 1.08 | -0.84 | 0.50 | 0.96 | 480.81 |

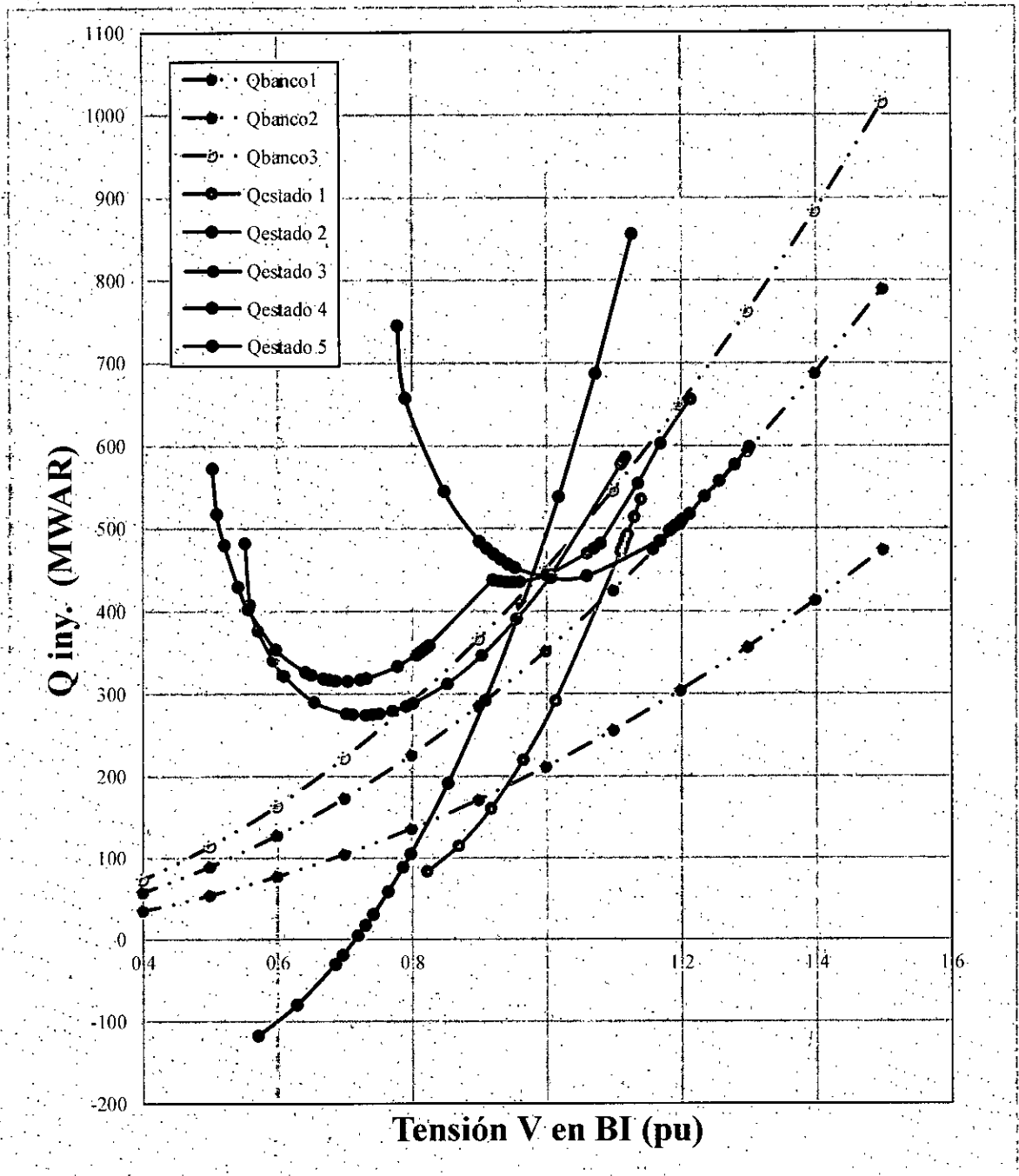
Tabla N°5.2.1.5
REACTIVOS REQUERIDOS POR EL SISTEMA-ESTADO 5

| Ítem | V carga | Toma | P total | Q total | Q trafo | E2 | E1=V BI | Q sistema | Q banco | Q iny. | Q real |
|------|---------|------|---------|---------|---------|------|---------|-----------|---------|--------|--------|
| | pu | | pu | pu | pu | pu | pu | pu | pu | pu | MVAr |
| 1 | 0.50 | 1.10 | 1.60 | 0.18 | 0.78 | 0.58 | 0.64 | --- | 0.13 | --- | --- |
| 2 | 0.53 | 1.10 | 1.60 | 0.04 | 0.68 | 0.58 | 0.64 | --- | 0.14 | --- | --- |
| 3 | 0.55 | 1.10 | 1.60 | -0.01 | 0.63 | 0.59 | 0.65 | --- | 0.15 | --- | --- |
| 4 | 0.58 | 1.10 | 1.60 | -0.05 | 0.57 | 0.61 | 0.67 | --- | 0.17 | --- | --- |
| 5 | 0.60 | 1.10 | 1.60 | -0.08 | 0.53 | 0.62 | 0.69 | --- | 0.18 | --- | --- |
| 6 | 0.65 | 1.10 | 1.60 | -0.11 | 0.46 | 0.66 | 0.73 | --- | 0.21 | --- | --- |
| 7 | 0.70 | 1.10 | 1.60 | -0.13 | 0.39 | 0.71 | 0.78 | --- | 0.25 | --- | --- |
| 8 | 0.71 | 1.08 | 1.60 | -0.13 | 0.38 | 0.72 | 0.77 | --- | 0.25 | --- | --- |
| 9 | 0.73 | 1.06 | 1.60 | -0.14 | 0.36 | 0.73 | 0.78 | --- | 0.27 | --- | --- |
| 10 | 0.74 | 1.04 | 1.60 | -0.14 | 0.35 | 0.74 | 0.77 | --- | 0.27 | --- | --- |
| 11 | 0.75 | 1.03 | 1.60 | -0.14 | 0.34 | 0.75 | 0.77 | --- | 0.28 | --- | --- |
| 12 | 0.77 | 1.01 | 1.60 | -0.14 | 0.33 | 0.77 | 0.78 | -1.09 | 0.30 | 1.49 | 743.71 |
| 13 | 0.79 | 1.00 | 1.60 | -0.14 | 0.31 | 0.79 | 0.79 | -0.95 | 0.31 | 1.31 | 655.95 |
| 14 | 0.80 | 1.06 | 1.60 | -0.14 | 0.30 | 0.80 | 0.85 | -0.74 | 0.32 | 1.09 | 543.61 |
| 15 | 0.85 | 1.06 | 1.60 | -0.13 | 0.27 | 0.85 | 0.90 | -0.69 | 0.36 | 0.97 | 483.10 |
| 16 | 0.86 | 1.06 | 1.60 | -0.12 | 0.26 | 0.86 | 0.91 | -0.68 | 0.37 | 0.95 | 474.83 |
| 17 | 0.87 | 1.06 | 1.60 | -0.12 | 0.26 | 0.87 | 0.92 | -0.68 | 0.38 | 0.94 | 467.57 |
| 18 | 0.88 | 1.06 | 1.60 | -0.12 | 0.25 | 0.88 | 0.93 | -0.68 | 0.39 | 0.92 | 461.25 |
| 19 | 0.89 | 1.06 | 1.60 | -0.12 | 0.24 | 0.89 | 0.94 | -0.68 | 0.40 | 0.91 | 455.79 |
| 20 | 0.90 | 1.06 | 1.60 | -0.11 | 0.24 | 0.90 | 0.95 | -0.68 | 0.41 | 0.90 | 451.15 |
| 21 | 0.95 | 1.06 | 1.60 | -0.10 | 0.21 | 0.95 | 1.01 | -0.71 | 0.45 | 0.88 | 438.72 |
| 22 | 1.00 | 1.06 | 1.60 | -0.08 | 0.19 | 1.00 | 1.06 | -0.77 | 0.50 | 0.88 | 441.51 |
| 23 | 1.10 | 1.06 | 1.60 | -0.02 | 0.16 | 1.10 | 1.17 | -0.94 | 0.61 | 0.97 | 483.59 |
| 24 | 1.10 | 1.06 | 1.60 | -0.02 | 0.16 | 1.10 | 1.17 | -0.94 | 0.61 | 0.97 | 483.78 |
| 25 | 1.10 | 1.05 | 1.60 | -0.02 | 0.16 | 1.10 | 1.16 | -0.92 | 0.61 | 0.95 | 473.52 |
| 26 | 1.10 | 1.05 | 1.60 | -0.02 | 0.16 | 1.10 | 1.16 | -0.92 | 0.61 | 0.95 | 473.70 |
| 27 | 1.10 | 1.07 | 1.60 | -0.02 | 0.16 | 1.11 | 1.18 | -0.97 | 0.61 | 0.99 | 496.43 |
| 28 | 1.11 | 1.07 | 1.60 | -0.02 | 0.16 | 1.11 | 1.19 | -0.97 | 0.61 | 1.00 | 498.52 |
| 29 | 1.11 | 1.07 | 1.60 | -0.02 | 0.16 | 1.11 | 1.19 | -0.98 | 0.62 | 1.00 | 501.37 |
| 30 | 1.12 | 1.07 | 1.60 | -0.01 | 0.15 | 1.12 | 1.20 | -1.00 | 0.63 | 1.02 | 508.75 |
| 31 | 1.13 | 1.07 | 1.60 | -0.01 | 0.15 | 1.13 | 1.21 | -1.03 | 0.64 | 1.03 | 516.52 |
| 32 | 1.14 | 1.08 | 1.60 | 0.00 | 0.15 | 1.14 | 1.24 | -1.08 | 0.65 | 1.08 | 537.63 |
| 33 | 1.16 | 1.08 | 1.60 | 0.01 | 0.14 | 1.17 | 1.26 | -1.13 | 0.67 | 1.11 | 555.96 |
| 34 | 1.18 | 1.08 | 1.60 | 0.02 | 0.14 | 1.19 | 1.28 | -1.19 | 0.70 | 1.15 | 575.74 |
| 35 | 1.20 | 1.08 | 1.60 | 0.04 | 0.13 | 1.21 | 1.30 | -1.24 | 0.72 | 1.19 | 596.94 |

Tabla N°5.2.1.6
**REACTIVOS ENTREGADOS DE LOS DISTINTOS CAPACITORES EN
 FUNCIÓN DE TENSIÓN DE BARRA INDUSTRIAL**

| Ítem | Tensión V en BI | q banco1 | q banco2 | q banco3 | Q banco1 | Q banco2 | Q banco3 |
|------|-----------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | pu | pu | | | MVar | | |
| 1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | 0.10 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 2.10 | 3.50 | 4.50 |
| 3 | 0.20 | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 8.40 | 14.00 | 18.00 |
| 4 | 0.30 | 0.04 | 0.06 | 0.08 | 18.90 | 31.50 | 40.50 |
| 5 | 0.40 | 0.07 | 0.11 | 0.14 | 33.60 | 56.00 | 72.00 |
| 6 | 0.50 | 0.11 | 0.18 | 0.23 | 52.50 | 87.50 | 112.50 |
| 7 | 0.60 | 0.15 | 0.25 | 0.32 | 75.60 | 126.00 | 162.00 |
| 8 | 0.70 | 0.21 | 0.34 | 0.44 | 102.90 | 171.50 | 220.50 |
| 9 | 0.80 | 0.27 | 0.45 | 0.58 | 134.40 | 224.00 | 288.00 |
| 10 | 0.90 | 0.34 | 0.57 | 0.73 | 170.10 | 283.50 | 364.50 |
| 11 | 1.00 | 0.42 | 0.70 | 0.90 | 210.00 | 350.00 | 450.00 |
| 12 | 1.10 | 0.51 | 0.85 | 1.09 | 254.10 | 423.50 | 544.50 |
| 13 | 1.20 | 0.60 | 1.01 | 1.30 | 302.40 | 504.00 | 648.00 |
| 14 | 1.30 | 0.71 | 1.18 | 1.52 | 354.90 | 591.50 | 760.50 |
| 15 | 1.40 | 0.82 | 1.37 | 1.76 | 411.60 | 686.00 | 882.00 |
| 16 | 1.50 | 0.95 | 1.58 | 2.03 | 472.50 | 787.50 | 1012.50 |

Gráfico N°5.2.1.7
 CURVAS CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA INDUSTRIAL ANTE EVENTO
 DE SALIDA DE LÍNEA



5.2.2 Programa: MatLab

FIGURA N°5.2.2.1
INGRESO DE DATOS EN COMMAND WINDOW EVENTO DE SALIDA DE
LÍNEA-MATLAB

```

New to MATLAB? Watch this Video, see Demos, or read Getting Started.

ESTABILIDAD DE TENSION PARA SALIDA DE UNA LINEA

Datos de cargas de sistema.
Ingreso Pot. Activa de Motor (pu): 0.8
Ingreso Pot. Reactiva de Motor (pu): 0.6
Ingreso Pot. Activa de carga Resistiva (pu): 0.84
Ingreso Pot. Reactiva de Banco local (pu): 0.5
Ingreso Tension en barra industrial (pu): 1.02

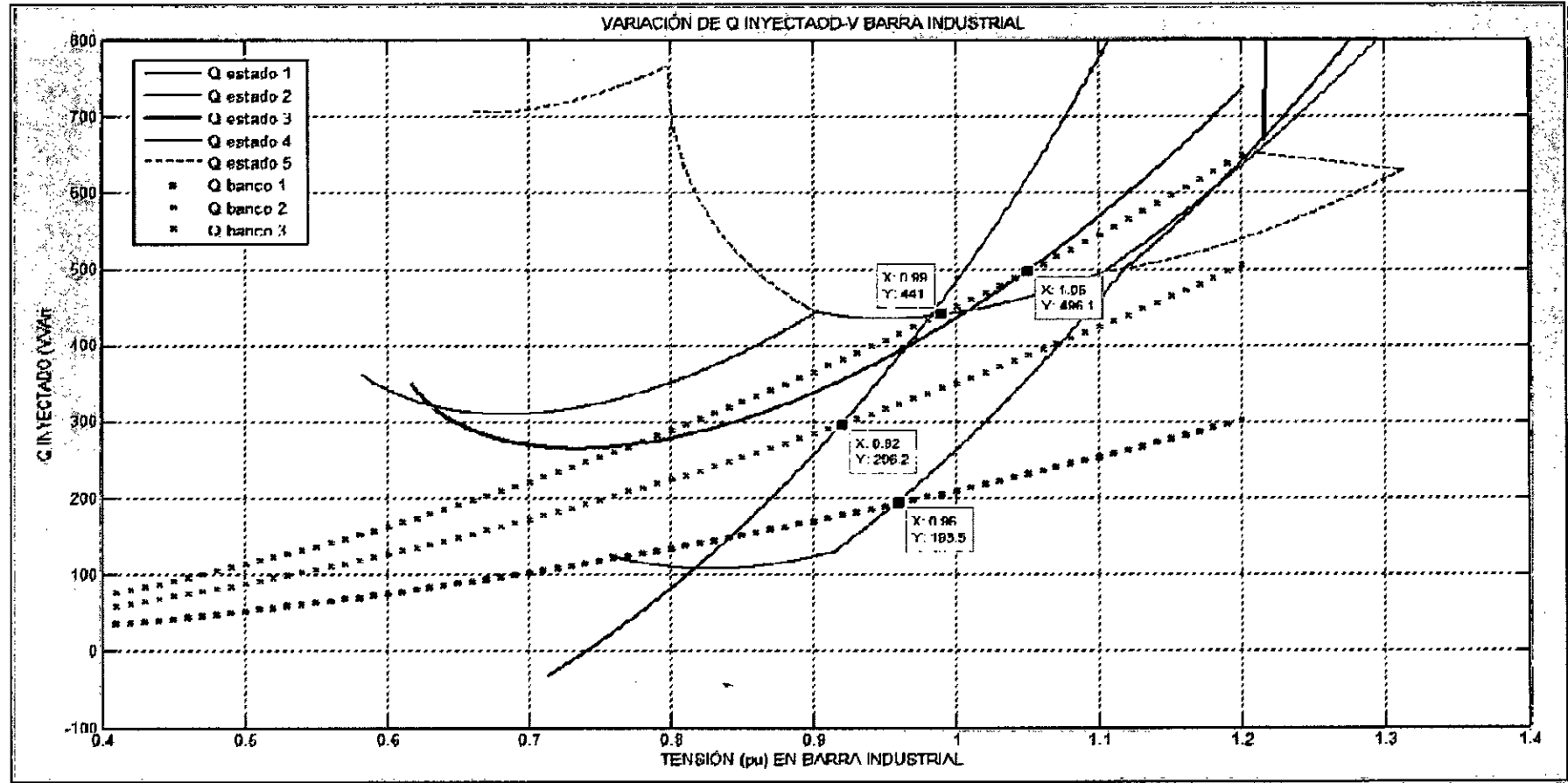
Datos de Thevenin del sistema.
Ingreso Tension de Thevenin del sistema (pu): 1.029292
Ingreso Impedancia de Thevenin del sistema (pu): 0.25025

Datos de Reactancia de Transformador y Motor.
Ingreso Reactancia de Transformador (pu): 0.075
Ingreso Reactancia magnetizante de motor (pu): 3.06
Ingreso Reactancia inductiva de motor (pu): 0.15

Datos de Bancos de Capacitores a utilizar.
Ingreso Capacidad Reactiva de Banco 1 (pu): 0.42
Ingreso Capacidad Reactiva de Banco 2 (pu): 0.7
Ingreso Capacidad Reactiva de Banco 3 (pu): 0.9

NOTA: Para los calculos de las impedancias e admitancias
caracteristicas se esta utilizando un tension de 1 pu en barra de carga.
Warning: Imaginary parts of complex X and/or Y arguments ignored
> In simulamod2 at 191
fx >> |
```

Figura N°5.2.2.2
 CURVAS CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA INDUSTRIAL ANTE EVENTO DE SALIDA DE LÍNEA-MATLAB



VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Contrastación de hipótesis con los resultados

La hipótesis planteada y los resultados, son los esperados, puesto que se logró caracterizar al sistema eléctrico mediante un modelo cuasi-estático, el cual será representado por modelos matemáticos y computacionales. Establecido el procedimiento y haciendo uso del mismo para lograr representar gráficamente al sistema, se asegurará una correcta comprensión sobre la importancia de la estabilidad de tensión

6.2 Contrastación de resultados con otros estudios similares

El presente trabajo de investigación, a diferencia de otros estudios, se enfoca principalmente en el desarrollo matemático y computacional de un modelo cuasi-estático, desarrollando ecuaciones para todos los posibles comportamientos que pueda tener un sistema eléctrico industrial frente a un evento de falla en una barra industrial del SEIN, que lograrán caracterizar al sistema.

VII. CONCLUSIONES

- a. El procedimiento propuesto (Identificación, modelo de Thevenin, representación de modelo equivalente del sistema, definición de estados y comportamientos, análisis de ecuaciones y representación gráfica) en la presente investigación nos permite alcanzar el objetivo planteado, el cual se ve reflejado en los resultados del programa desarrollado en MatLab de la presente investigación, que nos permite ingresar datos de entrada para representar de manera gráfica al sistema ante un evento de falla y así modelar correctamente el sistema.

- b. Se establecieron los criterios que nos permitirán modelar el sistema, tales como modelos de generación, transmisión, carga y los dispositivos de control de tensión, tomando énfasis en la representación de cada uno de los elementos anteriormente mencionados. En generación, tomando en cuenta la fuente de alimentación y la reactancia del generador. En transmisión, teniendo en cuenta el criterio la longitud de la línea, y el tipo de modelo a utilizar (Línea corta, mediana o larga). En los modelos de carga tales como cargas resistivas y motores, tomando en cuenta el criterio de los comportamientos que estos pueden tomar, ya sea de tipo potencia constante e impedancia contante. En los dispositivos de control, tomando como criterio, que elemento puede ser de mayor utilidad para los eventos de falla mencionados.
- c. Se estableció el método grafico de curvas Q-V, para dar solución a la problemática de los eventos que afectarán al sistema, mencionados en la presente investigación. Siendo estos de gran ayuda, ya que con ello se logra establecer la cantidad de potencia reactiva que se necesita para lograr estabilizar el sistema a nivel de tensión frente a los eventos de incremento de carga y salida intempestiva de una línea.
- d. Este trabajo de investigación pretende facilitar la comprensión del problema de la estabilidad de tensión ante los eventos analizados, con lo cual se espera que, frente a la problemática, el usuario industrial pueda tomar las medidas necesarias para mantener las tensiones estables y requeridas en barras.
- e. Se infiere que no solo el dimensionamiento de algún suministro de potencia reactiva se debe tener en cuenta, sino también, prever los futuros problemas a la cual podrá someterse, para así tomar medidas y reservas de suministros de potencia reactiva, todo esto frente a una proyección de la demanda eléctrica y/o futuras fallas.
- f. El tipo de solución adoptado, representado de manera computacional mediante los programas de EXCEL Y MATLAB, permitirán contrastar y modelar el sistema de manera correcta. Además, el usuario industrial podrá observar el comportamiento de su sistema frente a alguna perturbación, y

hacerle frente a la falta de suministro de potencia reactiva, los cuales serán representados de manera muy detallada por las curvas Q-V.

VIII. RECOMENDACIONES

- a. Seguir la metodología propuesta como se indica en el capítulo V. Resultados, con lo cual se asegura una representación del modelo del sistema conveniente.
- b. Hacer uso de dispositivos de control de reactivos automáticos, tales como el Static Var Compensator, Static Var System o el Condensador Síncrono, los cuales actuarán de manera automática frente a caídas o incrementos de tensión.
- c. Tener en cuenta el tiempo de actuación de los dispositivos de control de tensión y potencia reactiva, ya que serán estos, los cuales junto a los bancos de capacitores guiarán al sistema a un estado de estabilidad.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] PRABHA, Kundur. **Power System Stability and Control**. New York, United States. Editorial Mc Graw-Hill Inc. 1994.
- [2] MACHOWSKI, Jan. W. BIALEK, Janusz. R. BUMBY, James. **Power System Dynamics: Stability and Control**. West Sussex, United Kingdom. John Wiley and Sons LTD. Second Edition. 2008.
- [3] ZAPATA G., Carlos Julio. **Colapsos de voltaje en Sistemas de Potencia**. Santa fe, Bogotá, Colombia. Consultoría Colombiana S.A. 1996.
- [4] ORTIZ, Antonio. JÁTIVA, Jesús. **Análisis de Estabilidad de Voltaje en Estado Estable del Sistema de Subtransmisión de la Empresa Eléctrica Quito**. Quito, Ecuador. 2012.

- [5] QUEZADA LUCAS, Máximo Leonardo. **Modelos de carga y sus efectos en Estudios Sistémicos: Aplicaciones al SING**. Tesis para optar al título de Ingeniero Civil-Electricista. Universidad de Chile. Santiago de Chile, Chile. 2013.
- [6] DIAZ ROJAS, Horacio Nelson. **Simulación y Análisis de las características Q-V de un sistema eléctrico equivalente**. Universidad de Tarapacá-Arica. Tarapacá, Chile. 2004.

ANEXO 1: Matriz de consistencia

“MODELO CUASI-ESTÁTICO PARA ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TENSIÓN EN UNA BARRA INDUSTRIAL DEL SEIN.”

| PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | OBJETIVOS | HIPÓTESIS | VARIABLES E INDICADORES | METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN |
|---|--|--|---|--|
| <p>1. Problema General</p> <p>¿Cómo realizar un análisis de Estabilidad de Tensión mediante un modelo ante un evento de falla en una barra industrial del SEIN que permita la correcta comprensión de la Estabilidad de Tensión?</p> <p>2. Problemas Específicos</p> <p>PE1: ¿Cuáles pueden ser los estados al que ingresara el Sistema eléctrico en la barra industrial del SEIN ante un evento de falla?</p> <p>PE2: ¿Qué tipo de métodos se utilizará para realizar el análisis de Estabilidad de Tensión ante un posible evento de falla en una barra del SEIN?</p> | <p>1. Objetivo General</p> <p>Elaborar un procedimiento de desarrollo que permita realizar un modelo para el análisis de Estabilidad de Tensión ante un evento de falla en una barra industrial del SEIN, que permita la correcta comprensión de la Estabilidad de Tensión.</p> <p>2. Objetivos Específicos</p> <p>OE1: Establecer los criterios y pasos a seguir que permita establecer los estados al que ingresara el sistema eléctrico en la barra industrial del SEIN ante un evento de falla.</p> <p>OE2: Establecer el tipo de método a utilizar para realizar el análisis de Estabilidad de Tensión ante un evento de falla en una barra del SEIN.</p> | <p>1. Hipótesis General</p> <p>Mediante un <i>modelo cuasi-estático</i>, como modelo matemático y computacional, realizar un análisis de Estabilidad de Tensión ante un evento de falla en una barra industrial del SEIN que permita la correcta comprensión de la Estabilidad de Tensión.</p> <p>2. Hipótesis Específico</p> <p>HE1: Mediante modelos matemáticos establecer los criterios y pasos a seguir que permita establecer los estados al que ingresara el sistema eléctrico en la barra industrial del SEIN ante un evento de falla.</p> <p>HE2: Mediante curvas características Q-V será posible realizar el análisis de Estabilidad de Tensión ante un evento de falla en una barra industrial del SEIN.</p> | <p>Variable Independiente</p> <p>X: Modelo Cuasi-Estático</p> <p>Indicador</p> <p>X₁: Modelo Matemático</p> <p>X₂: Modelo Computacional</p> <p>Variable Dependiente</p> <p>Y: Análisis de Estabilidad de Tensión para el sistema ante un evento de falla.</p> <p>Indicadores</p> <p>Y₁: Estados del sistema ante falla.</p> <p>Y₂: Curvas Q-V, para distintos tipos de estados del sistema.</p> | <p align="center">TIPO DE INVESTIGACION</p> <p>La investigación propuesta es del tipo Analítico y Explicativo.</p> <p align="center">DISEÑO DE INVESTIGACIÓN</p> <p>a. El diseño de la investigación es del tipo Analítico.</p> <p>b. El diseño de la investigación es del tipo Explicativo.</p> <p align="center">TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN</p> <p>a. Revisión Documentaria</p> <p>b. Análisis matemático</p> <p>c. Análisis Computacional</p> |