**REPÚBLICA DE CUBA**
**MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR**
**INSTITUTO SUPERIOR MINEROMETALÚRGICO**
**¨Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ**
**FACULTAD DE METALURGIA ELECTROMECÁNICA**
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

# *Trabajo de Diploma*

## *En Opción al Título de*

# *Ingeniero Eléctrico*

***Título:*** *Propuesta de un sistema de control de la potencia reactiva en una red de suministro industrial online.*

***Autor:*** *Miguel Ángel Pérez Pérez.*

***Tutor:*** *Dr. C. Secundino Marrero Ramírez.*

**Moa, 2009**
**Año del 50 aniversario del triunfo de la Revolución**

# DECLARACIÓN DE AUTOR.

Yo Miguel Ángel Pérez Pérez autor del trabajo de diploma "Propuesta de un Sistema de Control de la Potencia Reactiva en una Red de Suministro Industrial online." certifico su propiedad intelectual a favor del Instituto Superior Minero-Metalúrgico de Moa "Dr. Antonio Núñez Jiménez", el cual podrá hacer uso del mismo para todos los fines educativos y investigativos que estime necesarios.

# PENSAMIENTO.

"Soy de los que piensa que la ciencia tiene una gran belleza. Un sabio en su laboratorio no es solamente un teórico, es también un niño colocado ante los fenómenos naturales que le impresionan como un cuento de hadas."

Marie Curie.

# AGRADECIMIENTOS.

En el transcurso de estos años se han cruzado muchas personas a las cuales estaré agradecido por su apoyo y gratos momentos, a todos ellos quiero agradecerles por brindarme su amistad.

- A mi tutor el Dr. C. Secundino Marrero Ramírez y a su esposa la Msc.Iliana González Palau por toda la atención y ayuda que me brindaron durante el desarrollo de este trabajo.
- Muy en especial a mi madre que ha sido mi inspiración durante el desarrollo de este trabajo.
- A toda mi familia, a mi hermana, a mi padre y nuevamente a mi madre que me han sabido apoyar en los momentos más difíciles de la carrera.
- A mi compañero de cuarto Adonis que contribuyó de forma significativa en el desarrollo de esta tesis y a mis amigos que de una forma u otra me brindaron su ayuda incondicional, ellos saben quienes son.

# DEDICATORIA.

Le dedico este trabajo a mi hermana, a mi papá, a toda mi familia y muy en especial a mi madre que supieron brindarme su apoyo en los momentos más difíciles de mi carrera, a todos ellos les estaré eternamente agradecido.

# RESUMEN.

Durante el transcurso de este trabajo se ha podido observar la necesidad de investigar diferentes vías para la compensación de la potencia reactiva en sistemas eléctricos industriales, con el objetivo de mejorar el factor de potencia y disminuir las pérdidas al máximo. Para obtener mejores resultados dentro de la compensación se ha tenido que aplicar la optimización como vía más factible, para así de esta manera obtener un conjunto de soluciones óptimas.

- En el Capítulo 1 se establece el Marco Teórico de la Investigación, donde se hace referencia a trabajos realizados sobre el tema en cuestión. Se plantea todo lo referente a la necesidad de una mejoría del factor de potencia y la importancia de realizar la compensación de potencia reactiva conjuntamente con una adecuada optimización del proceso.

- En el Capítulo 2 se plantea la Caracterización y Modelación del Sistema Eléctrico Industrial, así como el análisis del comportamiento de cada uno de sus parámetros eléctricos. Proponiéndose de esta manera una vía eficiente para el desarrollo del proceso.

- En el Capítulo 3 se desarrolla el Estudio de Casos y Propuestas de un Sistema de Control, donde se crearon un conjunto de alternativas e ideas para lograr un control eficiente en las redes eléctricas industriales.

# SUMMARY.

During the course of this work the necesity to investigate different ways compensation of reactive power in industrial power systems was observed, with the objective of bettering the power factor and reducing loses to a minimum.
To obtain better results in compensation it was decided that the most effective way to do this was through optimization, so that in this way a set of optimum results within the results of the problem.

- In the first chapter the teoric aspect of the investigation is established where references to the have been made to previous documents based on the topic in consideration. It mentions all that refers to need for bettering the power factor and the importance of compensating reactive power jointly with an adequate optimization of the process.

- In the second chapter characterization and modelation of the industrial electrical system is detailed, also the behavior of each electrical parameter of the above mentioned. Proposing in this way an efficient for bettering the process.

- In chapter there a case study was developed of the problems and solution of a control system, where a set of alternatives and ideas to achieve efficient control in industrial power grids were analyzed.

# Índice.

**PORTADA** ..... 1
**DECLARACIÓN DE AUTOR.** ..... I
**PENSAMIENTO.** ..... II
**AGRADECIMIENTOS.** ..... III
**DEDICATORIA.** ..... IV
**RESUMEN.** ..... V
**SUMMARY.** ..... VI
**ÍNDICE.** ..... VII
**INTRODUCCIÓN GENERAL.** ..... IX
**OBJETIVO GENERAL:** ..... XI
**OBJETIVO ESPECÍFICO:** ..... XI
**OBTENER A TRAVÉS DE LA COMPENSACIÓN UNA REDUCCIÓN DE LAS PÉRDIDAS EN ENERGÍA MEDIANTE LA OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DENTRO DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS INDUSTRIALES.** ..... XI
**SITUACIÓN PROBLÉMICA:** ..... XI
**HIPÓTESIS:** ..... XI
**RESULTADOS ESPERADOS:** ..... XI
**CAPÍTULO1: MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN.** ..... 1
1.1 INTRODUCCIÓN. ..... 1
1.2 TRABAJOS PRECEDENTES SOBRE EL TEMA DE LA COMPENSACIÓN DE REACTIVO EN SISTEMAS INDUSTRIALES. ..... 1
1.3 COMPENSACIÓN DE POTENCIA REACTIVA. ..... 3
1.3.1 La energía reactiva dentro de las redes eléctricas. ..... 3
1.3.2 Efectos de la energía reactiva. ..... 4
1.3.3 Compensación de potencia reactiva dentro de los sistemas eléctricos industriales. ..... 5
1.3.4 Equipos Compensadores de Potencia Reactiva. ..... 6
1.4 TIPOS DE COMPENSACIONES DE REACTIVOS MEDIANTE BANCOS DE CAPACITORES CUYO OBJETIVO ES MEJORAR EL FACTOR DE POTENCIA. ..... 6
1.4.1 Dispositivos que influyen en el balance de potencia reactiva. ..... 7
1.4.2 Clasificación de los bancos de capacitores a utilizar para la compensación de potencia reactiva. ..... 8
1.4.3 Existen diferentes vías para la compensación de potencia reactiva entre las que encontramos: ..... 10
1.4.4 Análisis del funcionamiento de un regulador automático para la compensación de reactivo en sistemas eléctricos industriales. ..... 11
1.4.5 Análisis para la determinación de la cantidad de condensadores a utilizar en la compensación de potencia reactiva. ..... 13
1.4.6 Beneficios que pueden brindar la compensación de reactivo. ..... 13

1.5 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE LA COMPENSACIÓN DE POTENCIA REACTIVA A PARTIR DE LA OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO. ..... 14
1.5.1 Metodología para la compensación del proceso de optimización. ..... 17
1.5.2 Algoritmos empleados para la optimización dentro de la compensación. ..... 18
1.6 CONCLUSIONES. ..... 19

**CAPÍTULO 2: CARACTERIZACIÓN Y MODELO DEL SISTEMA ELÉCTRICO INDUSTRIAL. ..... 20**

2.1 INTRODUCCIÓN. ..... 20
2.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA. ..... 20
2.3 ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN CADA UNA DE LAS VARIANTES, PARTIENDO DE LA VARIANTE INICIAL. ..... 22
2.4 ANÁLISIS DE LAS PÉRDIDAS EN ENERGÍA DE POTENCIA ACTIVA Y REACTIVA PARA CADA VARIANTE. ..... 29
2.5 ANÁLISIS DE VÍAS PARA LA COMPENSACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE LAS DIFERENTES VARIABLES ELÉCTRICAS. ..... 30
2.5.1 Análisis de los pasos a seguir para el correcto funcionamiento de la propuesta de matlab. ..... 31
2.5.2 Pasos a seguir para una correcta optimización dentro de la compensación mediante el Dycse. ..... 33
2.6 CONCLUSIONES. ..... 35

**CAPÍTULO 3: ESTUDIO DE CASOS Y PROPUESTAS DE UN SISTEMA DE CONTROL. ..... 36**

3.1 INTRODUCCIÓN. ..... 36
3.2 MONTAJE DEL ESQUEMA DE SIMULACIÓN EN EL DYCSE: ..... 36
3.3 REALIZACIÓN DE LA COMPENSACIÓN SIN OPTIMIZACIÓN Y CON OPTIMIZACIÓN. ..... 37
3.4 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA COMPENSACIÓN SIN OPTIMIZACIÓN Y CON OPTIMIZACIÓN. ..... 67
3.5 PROPUESTA DEL SISTEMA DE CONTROL A PARTIR DE UNA OPTIMIZACIÓN ONLINE. 69
3.6 PROPUESTA DE UN ALGORITMO PARA EL SISTEMA DE CONTROL. ..... 71
3.7 CONCLUSIONES. ..... 72

**CONCLUSIONES GENERALES. ..... 73**

**RECOMENDACIONES. ..... 74**

**BIBLIOGRAFÍA. ..... 75**

**ANEXOS. ..... 76**

# INTRODUCCIÓN GENERAL.

En la actualidad los costos de operación de las industrias se incrementan continuamente. La energía, un recurso fundamental para el progreso y la expansión industrial, no escapa a la tendencia del incremento de su costo, pues el recurso energético mas usado, los hidrocarburos, presenta una situación de agotamiento gradual que lo hace día a día más costoso.

Esta situación ha llevado a la industria eléctrica a la definición de políticas que conlleven a un uso más racional y eficiente de la energía eléctrica.

Una de las medidas al alcance del industrial para conocer el grado de eficiencia con el cual está utilizando dicha energía es el control de la potencia reactiva, el cual ha sido tomado muy en cuenta dentro de los programas pendientes a la mejor utilización de la electricidad. Por lo que a medida que los sistemas eléctricos industriales crecen, la compensación reactiva se hace cada vez más necesaria para lograr los niveles adecuados de tensión y capacidad de transmisión. Esta compensación puede lograrse mediante la instalación de bancos de capacitores en sistemas de distribución la cual es una técnica utilizada por las empresas eléctricas desde casi el inicio de la industria. Ante la naturaleza netamente inductiva de la demanda eléctrica, la técnica consiste en la inyección de potencia reactiva en ciertos puntos del sistema de distribución, generalmente cercanos a las cargas, de manera de suplir la potencia reactiva demandada, que de otra manera debería ser suministrada por la fuente, generalmente alejada de las cargas. Esto tiene el efecto neto de reducir los flujos de corriente reactiva en las ramas de la red, disminuyendo las caídas de voltaje y las pérdidas resistivas durante la operación del sistema, con los evidentes beneficios tanto en la calidad del servicio como en los costos operativos en que incurren las empresas eléctricas para el cumplimiento de sus fines.

Por su naturaleza, la selección y ubicación de capacitores de compensación es un problema que admite infinitas soluciones diferentes para un caso dado, y cada metodología trata de obtener la mejor solución posible. Es por eso que desde hace varias décadas se han aplicado técnicas de optimización para resolverlo. Las técnicas de optimización basadas en la programación lineal son simples, robustas y de comprobada eficiencia en cuanto a sus resultados. Es por esto que una de las formas clásicas de solucionar este problema es por tanteos mediante

repetidos flujos de carga hasta encontrar una solución satisfactoria que permita resolver de manera óptima el problema. Por estas razones la compensación optimizada ha cumplido un papel importante en la aplicación de sistemas de control a las redes de suministro industrial.

# FUNDAMENTACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

## Objetivo General:

Lograr mediante una compensación el ajuste óptimo de los bancos de capacitores en una red eléctrica, así como la reducción de las pérdidas en energía a partir de la optimización, obteniéndose una mejora del factor de potencia y una reducción de los costos de energía.

## Objetivo Específico:

Obtener a través de la compensación una reducción de las pérdidas en energía mediante la optimización del proceso dentro de los sistemas eléctricos industriales.

## Situación Problémica:

La dificultad existente para ajustar los valores de los bancos de compensación de forma conciliada en una red eléctrica, para lograr un valor mínimo de las pérdidas asociadas al factor de potencia en las diferentes barras.

## Hipótesis:

Si se logran conciliar los set point de los reguladores individuales en las barras cuando existe variaciones de la carga en un sistema eléctrico, entonces se pueden obtener una disminución de las pérdidas de energía y mejoras en la eficiencia del sistema.

## Resultados esperados:

- Lograr una mejora del factor de potencia a partir del ajuste óptimo de los bancos de capacitares dentro de sistema eléctrico industrial.
- Disminución de las pérdidas en energía en el sistema mediante la optimización de la potencia reactiva.
- Obtención de un sistema de control online que permita la selección de los capacitores en dependencia de las variaciones de la carga

# Capítulo1: Marco Teórico de la Investigación.

## 1.1 Introducción.

La compensación de potencia reactiva juega un papel importante en la planificación y explotación de los sistemas eléctricos industriales. Su objetivo principal consiste en proporcionar una colocación apropiada de los dispositivos compensadores. Trayendo consigo una mejora del factor de potencia en los sistemas eléctricos, provocando así de esta manera beneficios en el funcionamiento de las máquinas y disminución de las pérdidas, lo que se traduce en una mejoría sustancial de la disponibilidad y eficiencia del sistema.

A partir de este criterio resulta de gran importancia abordar la compensación de reactivo como una tarea de preparación y toma de decisiones bajo criterios múltiples. Obteniéndose cada día nuevas vías que ofrezcan soluciones óptimas dentro de la compensación.

## 1.2 Estado del Arte: Trabajos precedentes sobre el tema de la compensación de reactivo en sistemas industriales.

En el trabajo de Salam, Chickhani, Hackman, en 1994 presentan una nueva metodología basada en técnicas heurísticas para la reducción de pérdidas de potencia reactiva. La metodología asigna potencia reactiva capacitiva en algunos nodos del sistema. Estos nodos son previamente seleccionados y se priorizan las ramas de mayores pérdidas. La capacidad del condensador es determinada por la diferencia de las pérdidas del sistema con respecto a la carga conectada a dicho nodo. Entonces se instala la capacidad adecuada logrando el máximo beneficio en ahorros monetarios.

Pérez A. I., González Q. J. en el 2002 y en 2003, presentan un trabajo encaminado a unificar el tratamiento de la compensación y la utilización de filtros pasivos con el objetivo de resolver el problema de la compensación y al mismo

tiempo cumplir con las exigencias de distorsión armónica recomendada por la norma IEEE- 519. El método empleado obtiene la solución óptima a partir de un método de aproximación cuadrática. En la función objetivo sólo se incluye el VAN considerando en las restricciones del sistema los parámetros de distorsión armónica recomendado por la norma La metodología propuesta permite resolver simultáneamente para valores fijos y variables los VAR de los capacitores, considerando una curva de variación de la característica para cada carga lineal y no lineal. La solución, a pesar de presentar un tratamiento multivariable durante el proceso de optimización presenta limitaciones, atendiendo a que la función objetivo seleccionada, tiene un carácter monocriterial y el resto de las variables se consideran a través de las restricciones.

Uno de los trabajos realizados dentro de este marco es una variante de un algoritmo de Optimización por Colonia de Hormiga. Esta variante fue desarrollada para resolver el problema de Compensación de Potencia Reactiva en redes de transmisión eléctricas, considerando un contexto multiobjetivo. Los objetivos seleccionados para este trabajo fueron la minimización de la inversión en los dispositivos de compensación de reactivos y la minimización del promedio de la desviación de tensión.

Benemar de Souza y Alves en 2004 proponen un algoritmo micro-genético conjugado con Lógica Fuzzy donde se propone resolver la colocación de capacitores en sistemas de distribución. La función objetivo incluye la economía obtenida por la reducción de pérdidas de energía con la instalación de capacitores fijos y variables. La tensión se considera como restricción, se usa un método simple y eficaz para la solución del flujo de carga, con un tiempo de procesamiento aceptable, incluso utilizable para sistemas muy grandes, lo que hace efectivo la ubicación del condensador en los alimentadores por esta vía.

Wang Y. y Wilsun Xu en 2004 analizan las ventajas e inconvenientes de la generación de potencia reactiva en un generador. Se propone un método para determinar la cantidad de reactivo mínimo requerido para una determinada carga instalada, dándose las vías para garantizar este reactivo desde el sistema, si el generador no pudiera garantizarlo. En el trabajo no se analizan otras fuentes de generación del reactivo que podrían de forma combinada, reducir los costos de la compensación.

Baran B.; Gardel P.; Estigarribia H.; Fernández U. en 2001, presentan un algoritmo de optimización por Colonia de Hormiga para resolver el problema de la compensación de potencia reactiva considerando un contexto multiobjetivo. Los objetivos seleccionados fueron la minimización de la inversión en los dispositivos de compensación de reactivos y la minimización del promedio de la desviación de la tensión.

## 1.3 Compensación de potencia reactiva.

Antes de hacer referencia a la compensación de reactivo debemos partir del concepto de energía reactiva y los efectos indeseables que esta puede ocasionar:

### 1.3.1 La energía reactiva dentro de las redes eléctricas.

En los sistemas eléctricos industriales se tienen un importante grupo de cargas el cual esta formado por las cargas reactivas, causa de la presencia principalmente de equipos de refrigeración, motores, etc. Este carácter reactivo obliga a que junto a la potencia activa (kW) exista una potencia llamada Reactiva (kVAr), las cuales en su conjunto determinen el comportamiento operacional de dichos equipos y motores. Esta potencia reactiva ha sido tradicionalmente suministrada por las empresas de electricidad, aunque puede ser suministrada por las propias industrias. Al ser suministrada por las empresas de electricidad deberá ser producida y transportada por las redes, ocasionando necesidades de inversión en capacidades mayores de los equipos y redes de transporte. Se caracterizan por que la intensidad que demandan esta desfasada ($90^{0)}$ con respecto a la tensión de alimentación. Un ejemplo típico de esto son los capacitores, estos almacenan durante un intervalo de tiempo energía en forma de campo magnético (eléctricos), que posteriormente es devuelta a la red. Esta energía circulante no es aprovechable para la obtención de trabajo útil. La intensidad que demanda este tipo de elementos es la llamada intensidad reactiva, y la potencia asociada a esta intensidad es la potencia reactiva (Q). Generalmente las cargas no son puramente resistivas, ni reactivas, por lo tanto, la corriente que demandan tendrá una

componente activa y otra reactiva, y lo mismo ocurrirá con las potencias. Por lo tanto la relación entre la potencia activa y la aparente demandada por una determinada carga, es lo que se define como factor de potencia. El cual nos permite identificar los aparatos cuyo consumo de reactiva es más o menos importante. Un buen factor de potencia es 1, que implicara que no hay consumo de potencia reactiva. Un factor de potencia malo es generalmente inferior a 0.90 e implicará un consumo importante de reactivo. Cuando la intensidad demandada por la carga esta retasada con respecto a la tensión se dice que esta tiene carácter inductivo (fp inductivo), mientras que si esta adelantada se dice que tiene carácter capacitivo (fp capacitivo). Normalmente, la potencia activa es expresada en Kilovatios (kW), la potencia reactiva en Kilovatios amperios reactivos (kVAr) y la potencia aparente en Kilovatios amperios (kVA).

### 1.3.2 Efectos de la energía reactiva.

Las redes eléctricas están organizadas de forma que la generación de energía eléctrica esta concentrada en determinados puntos, mientras que el consumo esta disperso geográficamente. Esto implica la necesidad de transportar energía activa a grandes distancias. Ahora bien, en los consumos, y en las propias líneas de transporte, se consume o genera energía reactiva que también hay que transportar. Esto presenta una serie de inconvenientes entre los que podemos mencionar: mayores caídas de tensión, mayores pérdidas por efecto joule y menor capacidad para transportar potencia activa.

La reactiva puede jugar un papel importante en diferentes aspectos dinámicos, como pueden ser los cambios de tensión repentinos por las variaciones bruscas de la carga. Desde el punto de vista del cliente de una compañía eléctrica esto repercute en la calidad del servicio, y en las tarifas que se le aplican, ya que la compañía penaliza la demanda (o generación) de energía reactiva por las razones ya expuestas.

### 1.3.3 Compensación de potencia reactiva dentro de los sistemas eléctricos industriales.

La compensación de potencia reactiva mediante la instalación de capacitores en sistemas de distribución es una técnica utilizada por las empresas eléctricas desde casi el inicio de la industria. Existen numerosas y diferentes metodologías para el diseño de un esquema de compensación de potencia reactiva, pero en todos ellos la finalidad es la selección y ubicación en la red de los capacitores como el resultado de un compromiso entre los costos incurridos para la instalación de los dispositivos y los beneficios netos obtenidos con la operación. Estos beneficios generalmente se cuantifican mediante la evaluación de los ahorros netos derivados de la reducción de pérdidas de energía, pero también pudieran incluir el beneficio de la empresa por el mejoramiento de la calidad del servicio, al no incurrir en penalizaciones derivadas de las violaciones a eventuales regulaciones relacionadas con el asunto.

Por sus características, la selección y ubicación de capacitores de compensación es un obstáculo que admite innumerables soluciones posibles para un caso dado, y cada metodología trata de obtener la solución más eficiente.

Tres son los objetivos básicos que se pretenden con la compensación de reactiva en la carga: corrección del factor de potencia, mejora de la regulación de tensión y equilibrado de la carga. Realizando énfasis en la mejora del factor de potencia podemos decir que dada la influencia que tiene en la factura energética, es sin duda la función mas conocida de la compensación reactiva. Consiste en generar reactiva allí donde se consume, de forma que solo haya demanda de energía activa en el conjunto de carga más compensada. En general, se busca un factor de potencia cercano a (0.95) ya que el valor del factor de potencia igual a 1 no supone una mejora sustancial en el rendimiento y es un objetivo mucho más costoso.

Esta mejora es realizada debido a que un bajo factor de potencia puede producir efectos en la reducción de voltajes en la planta cuando los kVAr son exigidos del sistema de distribución. Cuando el factor de potencia decrece, la corriente total del línea se incrementa (mayormente corriente reactiva) causando grandes caídas de voltaje a través de la impedancia de línea. Esto se debe a que la caída de voltaje en una línea es igual a la corriente que fluya multiplicada por la impedancia de la línea. Para mayores corrientes mayor será la caída de voltaje. Produciendo

un impacto perjudicial en el pago de electricidad, teniendo otras implicaciones de igual o mayor significación, particularmente en relación con la capacidad de los equipos de transformación y distribución de la energía eléctrica y con el uso eficiente de las máquinas y aparatos que funcionan con electricidad. Sin embargo, su análisis es un problema permanente y de obligada importancia para todos aquellos cuya actividad se relaciona con la operación eficiente de las instalaciones eléctricas industriales y el ahorro de energía.

### 1.3.4 Equipos Compensadores de Potencia Reactiva.

Los equipos empleados en la compensación de la potencia reactiva de las cargas son fundamentalmente:

1) Bancos de capacitores.
2) Capacitores sincrónicos (motores sincrónicos sobreexcitados).
3) Compensadores activos (basados en electrónica de potencia: SVC, FACTS, etc.).

De ellos, por su bajo costo, reducido mantenimiento y bajas pérdidas de energía, los bancos de capacitores son los compensadores más empleados en la industria.

## 1.4 Tipos de compensaciones de reactivos mediante bancos de capacitores cuyo objetivo es mejorar el factor de potencia.

Compensación central con banco automático.

Este tipo de compensación ofrece una solución generalizada para corregir el factor de potencia ya que la potencia total del banco de capacitores se instala en la acometida, cerca de los tableros de distribución de energía, los cuales, suministran la potencia reactiva demandada por diversos equipos con diferentes potencias y tiempos de operación.

La potencia total del banco de capacitores se divide en varios bloques que están conectados a un regulador automático de energía reactiva, que conecta y

desconecta los bloques que sean necesarios para obtener el factor de potencia previamente programado en dicho regulador.

Ventajas:

- Mejor utilización de la capacidad de los bancos de capacitores.
- Se tiene una mejora en la regulación del voltaje en sistema eléctrico.
- Suministro de potencia reactiva según los requerimientos del momento.
- Es de fácil supervisión.

Desventajas

La desventaja de corregir el factor de potencia mediante la compensación centralizada, es que las diversas líneas de distribución no son descargadas de la potencia reactiva, además, se requiere de un regulador automático el banco de capacitores para compensar la potencia reactiva, según las necesidades de cada momento.

- Compensación combinada

La compensación mixta o combinada de potencia reactiva, se refiere a la combinación de dos o más métodos para corregir el factor de potencia. Tiene como desventaja que puede ocasionar una sobre compensación en el sistema eléctrico.

### 1.4.1 Dispositivos que influyen en el balance de potencia reactiva.

Para una adecuada generación y flujo de potencia reactiva se deben considerar:

- La variación de la tensión de generación.
- La variación de los taps en los transformadores.
- Conexión y desconexión de bancos de capacitores y reactores.
- Configuración de los compensadores estáticos (SVC)
- La configuración de la red y el despacho de generación.

### 1.4.2 Clasificación de los bancos de capacitores a utilizar para la compensación de potencia reactiva.

Los bancos de capacitores se clasifican por su modo de operación en: bancos fijos y bancos controlados.

Los bancos fijos están permanentemente conectados al sistema, aportando el total de su potencia reactiva en todo momento. Esto puede traer algunos inconvenientes debido a la variabilidad de la carga en el tiempo, ya que en períodos de carga reducida, la potencia reactiva capacitiva puede superar la de la carga y la empresa industrial se convierte en un generador de potencia reactiva al sistema. En estas condiciones, puede aparecer sobrevoltaje en algunos puntos del sistema de distribución industrial e incluso incrementarse las pérdidas por la transferencia en sentido inverso de esta potencia reactiva. Además, el reglamento de baja tensión de algunos países como España, evita la generación de reactivo al sistema.

Es por esto que se emplean bancos compuestos por una o varias unidades capacitivas que se conectan o desconectan por determinada estrategia, que pueden ser:

1) Controlados por tiempo.
2) Controlados por voltaje.
3) Controlados por corriente.
4) Controlados por factor de potencia.

Control por tiempo

Este es el tipo de control más sencillo y barato. Normalmente es un control on/off que se programa para que todos los días conecte el banco solo en el período de tiempo en que resulte más necesario el reactivo, evitando la sobre compensación en el resto del día.

Control por voltaje

El control por voltaje puede emplearse cuando el voltaje en el punto de conexión del capacitor se reduce ante un incremento de la carga. Requiere una señal de

voltaje y tiene la ventaja de evitar cualquier tipo de sobrevoltaje debido a los capacitores, pero no sigue exactamente el ciclo de carga reactiva.

Control por corriente

Se utiliza cuando la variación de voltaje con el incremento de la carga es muy baja para utilizar un control por voltaje. Es efectivo cuando la carga máxima del circuito supera dos o tres veces la carga mínima y generalmente se emplea en circuitos con grandes cargas que funcionan intermitentemente. El sensor debe medir la corriente en el lado de la carga.

Control por factor de potencia

El control por factor de potencia es uno de los más empleados actualmente en los centros generales de distribución de baja tensión de las industrias e instalaciones de servicio. Se basa en obtener señales de voltaje y corriente de la red que permiten determinar el factor de potencia y por lo tanto controlar este parámetro a un valor prefijado.

Como se puede observar en la Fig.1 la forma de conexión de los transformadores de corriente en distintas configuraciones para controlar correctamente el factor de potencia de la instalación.

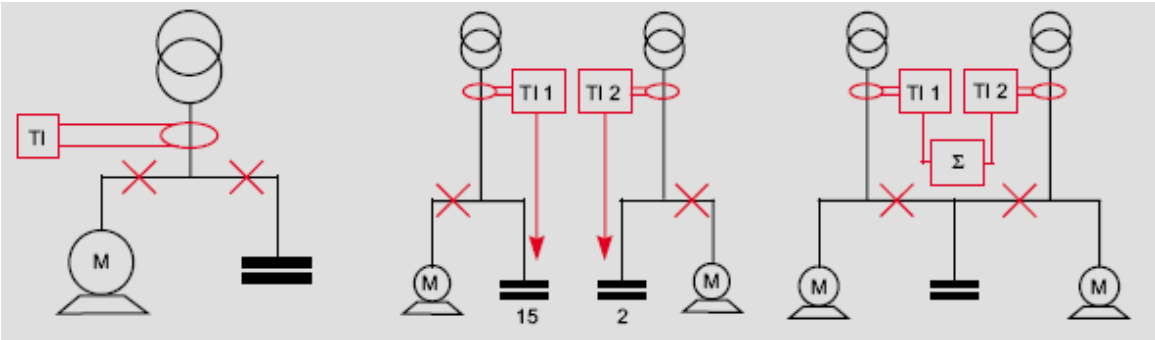



**Fig.1.1 Conexión de los transformadores para el control del factor de potencia.**

En forma general, este tipo de banco está compuesto por una batería de capacitores de igual o diferente capacidad, que se conectan y desconectan por contactores magnéticos para seguir la curva de carga reactiva y lograr mantener el factor de potencia de la instalación lo más cercano posible al valor prefijado.

### 1.4.3 Existen diferentes vías para la compensación de potencia reactiva entre las que encontramos:

Compensación global.

Ventajas:

Suprime las penalizaciones por un consumo excesivo de energía reactiva.

Ajusta la potencia aparente (S en Kva.) a la necesidad real de la instalación.

Descarga el centro de transformación (potencia disponible en Kw.).

Observaciones:

La corriente reactiva está presente en la instalación desde el nivel 1 hasta los receptores.

Las pérdidas por efecto Joule en los cables no quedan disminuidas.

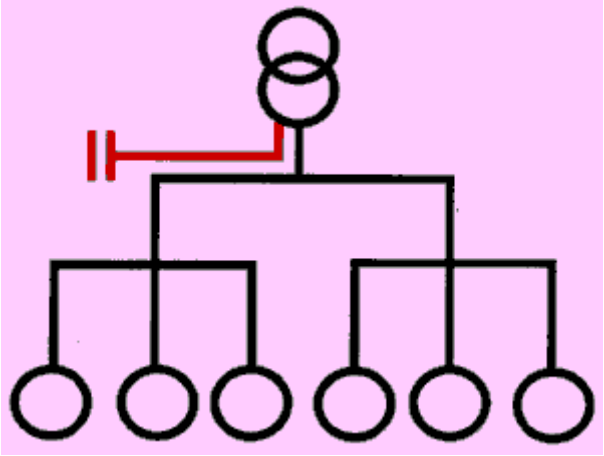


**Fig. 1. 2: Compensación global.**

Compensación parcial.

- Ventajas:

Suprime las penalizaciones por un consumo excesivo de energía reactiva.

Optimiza una parte de la instalación,

Descarga el centro de transformación (potencia disponible en kw).

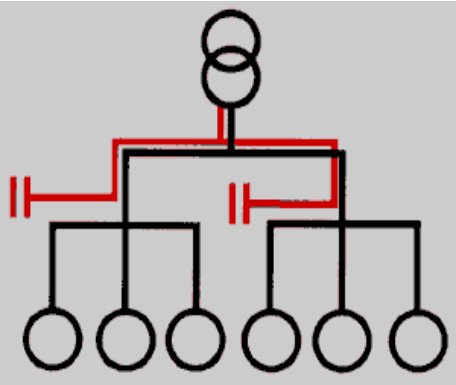


**Fig. 1.3: Compensación parcial.**

COMPENSACIÓN INDIVIDUAL.

Ventajas:

Suprime las penalizaciones por un consumo excesivo de energía reactiva.

Optimiza toda la instalación eléctrica. La corriente reactiva Ir se abastece en el mismo lugar de su consumo.

Descarga el centro de transformación (potencia disponible en kW).

### 1.4.4 Elementos que permiten el correcto funcionamiento de un regulador automático para la compensación de reactivo en sistemas eléctricos industriales.

Los elementos internos:

Un equipo de compensación automático debe ser capaz de adecuarse a las variaciones de potencia de reactiva de la instalación para conseguir mantener el cos $\varphi$objetivo de la instalación. Un equipo de compensación automático está constituido por 3 elementos principales:

El regulador:

Cuya función es medir el cos $\varphi$de la instalación y dar las órdenes a los contactores para intentar aproximarse lo más posible al cos $\varphi$objetivo, conectando los distintos escalones de potencia reactiva. Además de esta función, los actuales reguladores incorporan funciones complementarias de ayuda al mantenimiento y la instalación.

Los contactores:

Son los elementos encargados de conectar los distintos condensadores que configuran la batería. El número de escalones que es posible disponer en un equipo de compensación automático depende de las salidas que tenga el regulador.

Los condensadores:

Son los elementos que aportan la energía reactiva a la instalación. Normalmente la conexión interna de los mismos está hecha en triángulo.

Los elementos externos.

Para el funcionamiento de un equipo de compensación automático es necesaria la toma de datos de la instalación; son los elementos externos que le permiten actuar correctamente al equipo:

La lectura de intensidad:

Se debe conectar un transformador de intensidad que lea el consumo de la totalidad de la instalación.

La lectura de tensión:

Normalmente se incorpora en la propia batería de manera que al efectuar la conexión de potencia de la misma ya se obtiene este valor. Esta información de la instalación (tensión e intensidad) le permite al regulador efectuar el cálculo del cos $\varphi$ existente en la instalación en todo momento y le capacita para tomar la decisión de introducir o sacar escalones de potencia reactiva. Ver Fig.1.

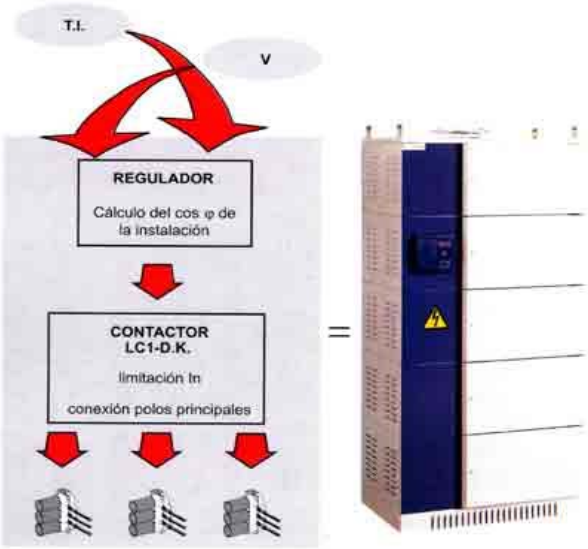



Fig.1.4 Visualización de un regulador.

### 1.4.5 Análisis para la determinación de la cantidad de capacitores a utilizar en la compensación de potencia reactiva.

Para la determinación de la cantidad de capacitores a utilizar en la compensación se pueden tomar diferentes vías entre las que se pueden mencionar la medición de la energía activa y reactiva en instalaciones ya existentes, se puede calcular la potencia necesaria del condensador para obtener el factor de potencia deseado. También se pueden conectar durante cierto tiempo registradores de la potencia activa y reactiva para obtener información sobre el consumo de energía reactiva. Si se desea alcanzar un valor determinado del factor de potencia; en una instalación cuyo factor de potencia existente es muy bajo, se determina este con ayuda de un contador de energía activa, un amperímetro y un voltímetro. Existen diferentes métodos para realizar estas mediciones.

Cuando se van a realizar estudios del factor de potencia, es imprescindible contar con suficiente cantidad de datos, o en su defecto tomarlos en las instalaciones. Si el estudio es solo para propósitos de disminución de la tarifa, es suficiente con la información de su factura para determinar los KVAr requeridos.

### 1.4.6 Beneficios que pueden brindar la compensación de reactivo.

Después de un minucioso análisis sobre la compensación de potencia reactiva, incluyendo la cantidad de capacitores a utilizar y los diferentes métodos de compensación con sus ventajas y desventajas. Podemos mencionar las ventajas que estos pueden proporcionar al sistema eléctrico dentro de un contexto generalizado:

- Reducción de pérdidas de transmisión.
- Mejora del perfil de tensiones.
- Mejorar la utilización de la capacidad de transmisión.
- Postergar inversiones por necesidades de refuerzos.
- Aumento de los márgenes de reserva de potencia reactiva frente a eventuales perturbaciones.

- Minimizar costos de operación del sistema; evitar restricciones al despacho económico; prevenir colapsos de tensión y mantener márgenes de seguridad.
- Mejora del margen de estabilidad estacionaria y transitoria del sistema.

## 1.5 Descripción del problema de la compensación de potencia reactiva a partir de la optimización del proceso.

Antes de comenzar a explicar el problema de la compensación de la potencia reactiva mediante la optimización debemos definir como optimización al proceso de seleccionar, a partir de un conjunto de alternativas posibles, aquella que mejor satisfaga el o los objetivos propuestos.

La Compensación de Potencia Reactiva en Sistemas industriales usualmente es estudiada como un problema de optimización de un solo objetivo, con restricciones. La función objetivo la constituye una combinación lineal de los factores de interés como, por ejemplo, los gastos en inversión y pérdidas de transmisión. El perfil de tensión es considerado como una restricción, Donde solamente en años recientes se han hecho esfuerzos por resolver este problema en un contexto multiobjetivo utilizando para ello un Algoritmo Evolutivo de Optimización Multiobjetivo. Los algoritmos tradicionales de optimización generalmente obtienen sólo una solución. Sin embargo, los Algoritmo Evolutivo de optimización multiobjetivo optimizan simultánea e independientemente varios parámetros dando como resultado un grupo de soluciones óptimas denominado conjunto pareto óptimo. De esta forma, se le presenta a la persona encargada de tomar la decisión final una amplia gama de alternativas para decidir cual es, a su criterio, la mejor solución de compromiso. Esto obedece a que en problemas prácticos, como el de la compensación de reactivos, generalmente no existe una única solución óptima del problema. Por su naturaleza, la selección y ubicación de capacitores de compensación es un problema que admite infinitas soluciones diferentes para un caso dado, y cada metodología trata de obtener la mejor solución posible. Es por eso que desde hace varias décadas se han aplicado técnicas de optimización para resolverlo. Pero el problema es difícil de optimizar,

dada su naturaleza no lineal. Las técnicas de optimización basadas en la programación lineal son simples, robustas y de comprobada eficiencia en cuanto a sus resultados, pero no resuelven directamente el problema no lineal de la compensación óptima de potencia reactiva. Para aplicar técnicas de optimización lineal, es necesario linealizar el problema, pero se obtiene tan sólo una aproximación a la solución óptima del problema no lineal. Sólo muy recientemente, se han publicado algunos esfuerzos en este sentido, con resultados muy alentadores, pero que son solamente aproximaciones a la verdadera solución óptima del problema. La finalidad de este trabajo es, en base a esfuerzos previos recientemente publicados, proponer una metodología para la ubicación y el dimensionamiento óptimos de capacitores en sistemas radiales de distribución haciendo uso de programación lineal sucesiva, de carácter entero-mixta, que puede corregir las imprecisiones propias de la linealización.

Por su relevancia económica, el tema de la reducción de pérdidas mediante la colocación de capacitores de compensación ha recibido considerable atención en las últimas décadas, y la literatura al respecto es variada y abundante. La revisión bibliográfica del tema es una tarea intensa y laboriosa, afortunadamente acometida por algunos autores que han producido excelentes revisiones exhaustivas. Las referencias en torno a la ubicación y dimensionamiento óptimos de capacitores utilizando programación lineal son escasas.

Sin embargo se han realizado propuestas metodológicas de diseño óptimo de sistemas de distribución que minimizan la suma del costo total de inversión y el costo monetario de las pérdidas asociadas a los flujos de potencia aparente en las ramas del sistema, mediante la selección de sus dispositivos integrantes, subestaciones de distribución, alimentadores primarios, transformadores de distribución y circuitos secundarios, sujeto a las restricciones de flujo óptimo de potencia aparente en un modelo circuital del sistema a voltaje constante equivalente a un modelo lineal de corrientes de la red, el balance de potencia aparente en cada uno de sus nodos, y las restricciones para la selección y ubicación de uno de varios tipos posibles de subestaciones, transformadores de distribución y conductores previamente especificados en localidades posibles previamente especificadas. Dada la naturaleza no lineal de las pérdidas en función de las variables de corriente del sistema, estos trabajos proponen el uso de una expresión linealizada de las mismas en torno a una condición de

operación predeterminada y asumida. Obviamente, la calidad de la evaluación de las pérdidas con la expresión linealizada será función de cuán cerca esté el punto de operación del sistema óptimo obtenido con respecto a la condición de operación previamente asumida. El trabajo complementa la propuesta mediante una metodología heurística para reducir los efectos de los errores introducidos por la linealización en la obtención de la verdaderamente óptima selección y localización de capacitores en sistemas radiales de distribución, usando programación lineal entero-mixta sucesiva.

El problema de la planificación óptima de compensación reactiva (POCR) en sistemas de distribución consta de dos subproblemas acoplados: el dimensionamiento y la ubicación óptimos de capacitores en la red. El dimensionamiento de los capacitores es un problema de naturaleza no lineal en función de las variables eléctricas del sistema, y la ubicación es un problema de naturaleza discreta en las aplicaciones reales, dado que sólo pueden ubicarse capacitores de tamaños predeterminados en lugares puntuales específicos de la red. Así pues, para aplicar técnicas de programación lineal al problema, es necesario linealizarlo para luego adaptarlo la forma general de un problema de programación lineal entera mixta.

El flujo óptimo de potencia reactiva admite una modelación simplificada del sistema que considera solamente la distribución de corrientes reactivas en sus ramas, en la suposición de que, en la hipótesis de perfil plano de tensiones, los flujos activos no varían por la inyección de reactivos, hecho que los hace irrelevantes porque al ser constantes no influyen en la solución obtenida. Día tras día, siguen apareciendo nuevos problemas de este tipo, lo que ha dado lugar a que se hayan realizado muchas propuestas de algoritmos para tratar de solucionarlos. Las técnicas existentes se pueden clasificar básicamente en algoritmos exactos o aproximados. Los algoritmos exactos intentan encontrar una solución óptima y demostrar que la solución obtenida es de hecho la óptima global; estos algoritmos incluyen técnicas como, por ejemplo: procesos de vuelta atrás .Ramificación y poda, programación dinámica, etc. Debido a que los algoritmos exactos muestran un rendimiento pobre para muchos problemas se han desarrollado múltiples tipos de algoritmos aproximados que proporcionan soluciones de alta calidad para estos problemas combinatorios (aunque no necesariamente la óptima) en un tiempo computacional breve.

### 1.5.1 Metodología para la compensación del proceso de optimización.

Dentro de la compensación de potencia reactiva en sistemas eléctricos industriales, se han utilizado técnicas que van desde el ensayo y error, pasando por el análisis de sensibilidades, y técnicas de optimización matemática muy diversas, Para el análisis de la compensación de la potencia reactiva a continuación se declaran cada una de las variables e indicadores que se incluyen para el caso concreto de la compensación de potencia reactiva en redes industriales. En la Figura 5 se representa la clasificación de la información involucrada en esta etapa.

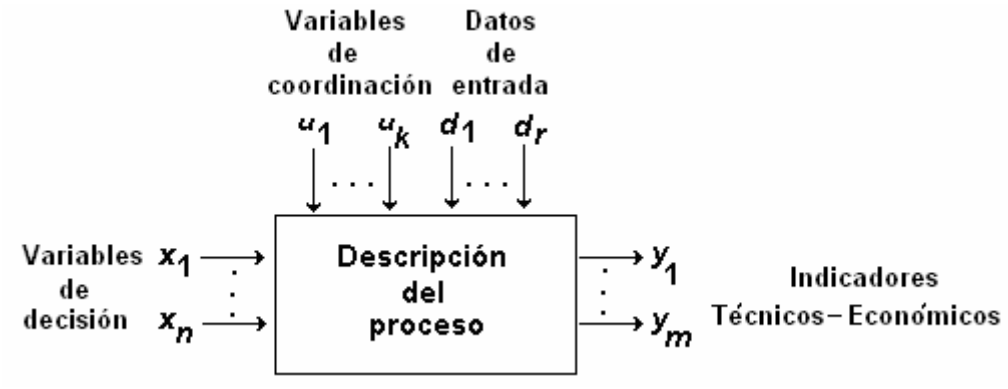



**Fig.5 Clasificación de la información en el análisis externo.**

Las variables de coordinación van a estar compuestas por la composición de las cargas instaladas en la red de suministro eléctrico, se incluyen las variables $u_i$ y $d_i$

Donde: $u_i$ - carga instalada en el sistema analizado y $d_i$ - aspectos contenidos en la base de datos del sistema, incluyendo los relativos a la configuración de la red.

Las variables de decisión ($x_i$) asumidas para esta investigación son:

- $x_1$ - opciones de conexión de Transformadores con derivación.
- $x_2$ - opciones de conexión de capacitores variables.
- $x_3$ - opciones de conexión de Filtros.
- $x_4$ - motores sincrónicos sobrexcitados.

Una vez que son declaradas las variables de decisión se definen los indicadores de eficiencia, constituidos en este caso por la variable técnico-económica que se tendrán en cuenta en la función objetivo. Estos indicadores técnico-económicos están asociados a: parámetros de evolución de calidad de energía, parámetros de

explotación de la red y costos de los elementos compensadores de potencia reactiva y de armónicos. Lográndose una solución eficiente del problema.

### 1.5.2 Algoritmos empleados para la optimización dentro de la compensación.

En el presente trabajo para la búsqueda de soluciones óptimas se empleó el Algoritmo de Búsqueda Aleatoria Condicional (BAC) en Gonzáles I, 2007 El cual se puede clasificar en dos tipos principales: algoritmos constructivos y de búsqueda local. Los primeros se basan en generar soluciones desde cero añadiendo componentes a cada solución paso a paso. Su gran ventaja es la velocidad: normalmente son muy rápidas y, además, a menudo devuelven soluciones razonablemente buenas. Sin embargo, no puede garantizarse que dichas soluciones sean óptimas con respecto a pequeños cambios a nivel local. En consecuencia, una mejora típica es refinar la solución obtenida por la heurística voraz utilizando una búsqueda local.

Los algoritmos de búsqueda local intentan repetidamente mejorar la solución actual con movimientos a soluciones vecinas (con la esperanza de que sean mejores). El caso más simple son los algoritmos de mejora iterativos: si en el vecindario de la solución actual se encuentra una solución mejor s´, ésta reemplaza la solución actual y se continúa la búsqueda a partir de s´; si no se encuentra una solución mejor en el vecindario, el algoritmo termina en un óptimo local. Desafortunadamente, los algoritmos de mejora iterativos pueden estancarse en soluciones de baja calidad (óptimos locales muy lejanos al óptimo global). Para permitir una mejora adicional en la calidad de las soluciones, la investigación en este campo en las últimas dos décadas ha centrado su atención en el diseño de técnicas de propósito general para guiar la construcción de soluciones o la búsqueda local en las distintas heurísticas. Estas técnicas se llaman comúnmente metaheurísticas y consisten en conceptos generales empleados para definir métodos heurísticos.

Dicho de otra manera, una metaheurística puede verse como un marco de trabajo general referido a algoritmos que puede aplicarse a diversos problemas de optimización (combinatoria) con pocos cambios significativos si ya existe previamente algún método heurístico específico para el problema.

## 1.6 Conclusiones.

En el presente capítulo se fundamento la teoría que permitirá el desarrollo de una posterior investigación y se arribándose a las siguientes conclusiones:

1. La compensación de reactivo juega un papel muy importante dentro del funcionamiento de los sistemas eléctrico, provocando una mejora del factor de potencia, trayendo esta mejora efectos positivos en la calidad de la energía, así como la fiabilidad del sistema.
2. La optimización como vía necesaria para la obtención de un conjunto de soluciones eficientes para dar respuestas a la compensación de la potencia reactiva.

# Capítulo2: Caracterización y Modelo del Sistema Eléctrico Industrial.

## 2.1 Introducción.

Para un mejor entendimiento del trabajo investigativo que se realizará, es necesario conocer primeramente las características del sistema donde se desarrollará el mismo.

Para ello, en el presente capítulo, se realizará una descripción panorámica del sistema de suministro eléctrico. En cuanto a la estructuración de las cargas eléctricas que lo conforman, donde se realizará la caracterización del comportamiento de diferentes parámetros como el factor de potencia, la potencia activa, la potencia reactiva y la tensión.

Este proceso partirá de una variante inicial a la que se le realizarán cambios de potencia activa y reactiva con el propósito de obtener un conjunto de variantes para así de esta manera facilitar estudios que más adelante se desarrollarán.

## 2.2 Descripción del sistema.

El sistema eléctrico donde se realizará la investigación esta compuesto por 6 nodos, de los cuales el nodo uno es el encargado de transmitir la energía de la red nacional al nodo dos que está ubicado en la entrada del transformador. El nodo tres esta localizado a la salida del transformador en la barra principal, de la que se derivan otras tres barras donde se encuentra el nodo cuatro, cinco y seis. Estas tres barras tienen instalados diferentes elementos consumidores que mencionaremos a continuación: Ver fig.2.1.

Barra 4:

Carga 1.4 motor asincrónico.

Carga 2.4 motor asincrónico.

Subestación 1

Barra 5:

Carga 1.5 motor asincrónico.

Carga 2.5 motor asincrónico.

Barra 6:

Carga 1.6 motor asincrónico.

Carga 2.6 motor asincrónico.

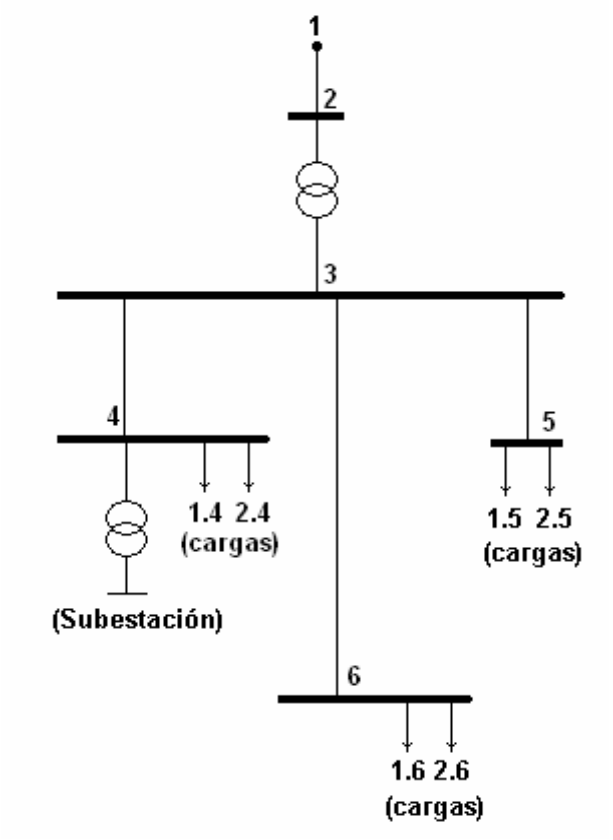



**Fig.2.1 Esquema monolineal del sistema eléctrico.**

El siguiente sistema es alimentado a través del nodo uno el cual llevará la energía de la red nacional al nodo dos que alimenta al transformador por el primario con una tensión de 10.5kV. Donde mediante un minucioso proceso de transformación logra ofrecer por el secundario a la barra principal tres una tensión de 0.48 kV. Esta tensión es transportada a través de la salida del transformador por una línea

de transmisión a la barra tres encargada de suministrarle a las barras cuatro, cinco y seis la energía necesaria para su correcto funcionamiento. Donde la barra cuatro esta formada por una subestación de 0.48kV, conjuntamente con dos cargas que son motores asincrónicos. Luego la cinco y seis poseen cada una dos motores asincrónicos que actúan como cargas.

## 2.3 Análisis del comportamiento del sistema eléctrico en cada una de las variantes, partiendo de la variante inicial.

### Variante inicial.

EL siguiente sistema eléctrico se comporta de forma ineficiente como podemos observar en la Tabla 2.1.donde los valores del factor de potencia en los nodos (2, 3, 4, 5, 6) mantiene valores muy bajos entre 0.50 y 0.64 por lo que las pérdidas totales del sistema se comprenden en 0.041 MW, con un gasto en energía pérdida de 356456,593 kWh lo que representa un costo por este concepto de 28516.53$.

**Tabla 2.1 Valores de (Pn, Qn, Un, Cos Fi) de la variante inicial.**

| Nodo | Pn(MW) | Qn(MVAr) | Un(kV) | Cos Fi |
|---|---|---|---|---|
| 2 | 1.013 | 1.374 | 10.5 | 0.52 |
| 3 | 1.044 | 1.687 | 0.468 | 0.53 |
| 4 | 0.365 | 0.482 | 0.402 | 0.60 |
| 5 | 0.434 | 0.523 | 0.394 | 0.64 |
| 6 | 0.214 | 0.369 | 0.422 | 0.50 |

### Variante 1: Variación de la potencia activa en un 37% y la reactiva en un 36% con respecto a la variante inicial.

En la variante 1 el sistema eléctrico se comporta de forma ineficiente como podemos observar en la Tabla 2.2.donde los valores del factor de potencia en los nodos (2, 3, 4, 5, 6) se mantiene entre 0.54 y 0.65 por lo que las pérdidas totales del sistema se comprenden en 0.051 MW, con un gasto en energía perdida de 446450.566 kWh lo que representa un costo por este concepto de 35716.05$.

**Tabla 2.2 Valores de (Pn, Qn, Un, Cos Fi) de la variante 1.**

| Nodo | Pn(MW) | Qn(MVAr) | Un(kV) | Cos Fi |
|---|---|---|---|---|
| 2 | 1.185 | 1.475 | 10.5 | 0.54 |
| 3 | 1.224 | 1.865 | 0.467 | 0.55 |
| 4 | 0.395 | 0.513 | 0.395 | 0.61 |
| 5 | 0.470 | 0.553 | 0.386 | 0.65 |
| 6 | 0.320 | 0.409 | 0.412 | 0.62 |

**Variante 2: Variación de la potencia activa en un 26% y la reactiva en un 10% con respecto a la variante inicial.**

En la variante 2 el sistema eléctrico se comporta de forma inadecuada, donde los valores del factor de potencia en los nodos (2, 3, 4, 5, 6) se mantienen muy bajos entre 0.51 y 0.65 por lo que las pérdidas totales del sistema se comprenden en 0.038 MW, con una energía perdida de 8751239.999 kWh lo que representa un costo por este concepto de 700099.20$. Ver tabla 2.3.

**Tabla 2.3 Valores de (Pn, Qn, Un, Cos Fi) de la variante 2.**

| Nodo | Pn(MW) | Qn(MVAr) | Un(kV) | Cos Fi |
|---|---|---|---|---|
| 2 | 0.999 | 1.341 | 10.5 | 0.53 |
| 3 | 0.028 | 1.632 | 0.469 | 0.53 |
| 4 | 0.365 | 0.482 | 0.403 | 0.60 |
| 5 | 0.411 | 0.483 | 0.401 | 0.65 |
| 6 | 0.223 | 0.375 | 0.421 | 0.51 |

**Variante 3: Variación de la potencia activa en un 30% y la reactiva en un 4% con respecto a la variante inicial.**

EL siguiente sistema eléctrico de la variante3 se comporta de forma ineficiente como podemos observar en la Tabla 2.4.donde los valores del factor de potencia en los nodos (2, 3, 4, 5, 6) mantiene valores muy bajos entre 0.64 y 0.86 por lo que las pérdidas totales del sistema se comprenden en 0.076 MW, con una energía perdida de 669754.589 kWh lo que representa un costo por este concepto de53580.37$.

**Tabla 2.4 Valores de (Pn, Qn, Un, Cos Fi) de la variante 3.**

| Nodo | Pn(MW) | Qn(MVAr) | Un(kV) | Cos Fi |
|---|---|---|---|---|
| 2 | 1.703 | 1.402 | 10.5 | 0.65 |
| 3 | 1.762 | 1.995 | 0.466 | 0.66 |
| 4 | 0.855 | 0.500 | 0.375 | 0.86 |
| 5 | 0.434 | 0.523 | 0.391 | 0.64 |
| 6 | 0.414 | 0.379 | 0.412 | 0.74 |

**Variante 4: Variación de la potencia activa en un 38% y la reactiva en un 1% con respecto a la variante inicial.**

EL siguiente sistema eléctrico de la variante 4 se comporta de forma ineficiente como podemos observar en la Tabla 2.5.donde los valores del factor de potencia en los nodos (2, 3, 4, 5, 6) se mantienen muy bajos entre 0.52 y 0.66 por lo que las pérdidas totales del sistema se comprenden en 0.044 MW, con un gasto en energía perdida de 322745.976 kWh lo que representa un costo por este concepto de 30619.68$.

**Tabla 2.5 Valores de (Pn, Qn, Un, Cos Fi) de la variante 4.**

| Nodo | Pn(MW) | Qn(MVAr) | Un(kV) | Cos Fi |
|---|---|---|---|---|
| 2 | 1.067 | 1.390 | 10.5 | 0.53 |
| 3 | 1.101 | 1.726 | 0.468 | 0.54 |
| 4 | 0.395 | 0.512 | 0.397 | 0.61 |
| 5 | 0.454 | 0.523 | 0.393 | 0.66 |
| 6 | 0.218 | 0.355 | 0.423 | 0.52 |

**Variante 5: Variación de la potencia activa en un 8% y la reactiva en un 1% con respecto a la variante inicial.**

El siguiente sistema eléctrico de la variante 5 se comporta de forma ineficiente como podemos observar en la Tabla 2.6.donde los valores del factor de potencia en los nodos (2, 3, 4, 5, 6) mantiene valores muy bajos entre 0.52 y 0.68 por lo que las pérdidas totales del sistema se comprenden en 0.047 MW, con un gasto en energía perdida de 407940.596 kWh lo que representa un costo por este concepto de 32635.25$.

**Tabla 2.6 Valores de (Pn, Qn, Un, Cos Fi) de la variante 5.**

| Nodo | Pn(MW) | Qn(MVAr) | Un(kV) | Cos Fi |
|---|---|---|---|---|
| 2 | 1.154 | 1.386 | 10.5 | 0.55 |
| 3 | 1.190 | 1.745 | 0.468 | 0.56 |
| 4 | 0.447 | 0.483 | 0.399 | 0.68 |
| 5 | 0.484 | 0.533 | 0.390 | 0.67 |
| 6 | 0.223 | 0.370 | 0.421 | 0.52 |

**Variante 6: Variación de la potencia activa en un 10% y la reactiva en un 2% con respecto a la variante inicial.**

El siguiente sistema eléctrico variante 6 se comporta de forma ineficiente como podemos observar en la Tabla 2.7.donde los valores del factor de potencia en los nodos (2, 3, 4, 5, 6) mantiene valores muy bajos entre 0.53 y 0.64 por lo que las pérdidas totales del sistema se comprenden en 0.041 MW, con un gasto en energía perdida de 361525.069 kWh lo que representa un costo por este concepto de 28922.01$.

**Tabla 2.7 Valores de (Pn, Qn, Un, Cos Fi) de la variante 6.**

| Nodo | Pn(MW) | Qn(MVAr) | Un(kV) | Cos Fi |
|---|---|---|---|---|
| 2 | 1.049 | 1.361 | 10.5 | 0.53 |
| 3 | 1.081 | 1.679 | 0.468 | 0.54 |
| 4 | 0.408 | 0.486 | 0.400 | 0.64 |
| 5 | 0.419 | 0.520 | 0.395 | 0.63 |
| 6 | 0.222 | 0.355 | 0.423 | 0.53 |

**Variante 7: Variación de la potencia activa en un 2% y la reactiva en un 0% con respecto a la variante inicial.**

El siguiente sistema eléctrico variante 7 se comporta de forma ineficiente como podemos observar en la Tabla 2.8.donde los valores del factor de potencia en los nodos (2, 3, 4, 5, 6) mantiene valores muy bajos entre 0.50 y 0.66 por lo que las pérdidas totales del sistema se comprenden en 0.042 MW, con un gasto en energía perdida de 369564.215 kWh lo que representa un costo por este concepto de 29265.14$.

**Tabla 2.8 Valores de (Pn, Qn, Un, Cos Fi) de la variante 7.**

| Nodo | Pn(MW) | Qn(MVAr) | Un(kV) | Cos Fi |
|---|---|---|---|---|
| 2 | 1.074 | 1.365 | 10.5 | 0.54 |
| 3 | 1.106 | 1.689 | 0.468 | 0.55 |
| 4 | 0.440 | 0.495 | 0.398 | 0.66 |
| 5 | 0.420 | 0.500 | 0.398 | 0.64 |
| 6 | 0.214 | 0.369 | 0.421 | 0.50 |

**Variante 8: Variación de la potencia activa en un 3% y la reactiva en un 0% con respecto a la variante inicial.**

La variante 8 del sistema eléctrico se comporta de forma ineficiente como podemos observar en la Tabla 2.9.donde los valores del factor de potencia en los nodos (2, 3, 4, 5, 6) mantiene valores muy bajos entre 0.53 y 0.65 por lo que las pérdidas totales del sistema se comprenden en 0.042 MW, con un gasto en energía perdida de 369107.070 kWh lo que representa un costo por este concepto de 29528.57$.

**Tabla 2.9 Valores de (Pn, Qn, Un, Cos Fi) de la variante 8.**

| Nodo | Pn(MW) | Qn(MVAr) | Un(kV) | Cos Fi |
|---|---|---|---|---|
| 2 | 1.044 | 1.370 | 10.5 | 0.53 |
| 3 | 1.076 | 1.695 | 0.468 | 0.54 |
| 4 | 0.365 | 0.482 | 0.402 | 0.60 |
| 5 | 0.459 | 0.540 | 0.390 | 0.65 |
| 6 | 0.220 | 0.348 | 0.424 | 0.53 |

**Variante 9: Variación de la potencia activa en un 1% y la reactiva en un 0% con respecto a la variante inicial.**

La variante 9 se comporta de forma ineficiente como podemos observar en la Tabla 2.10.donde los valores del factor de potencia en los nodos (2, 3, 4, 5, 6) se mantienen muy bajos entre 0.50 y 0.66 por lo que las pérdidas totales del sistema se comprenden en 0.041 MW, con un gasto en energía perdida de 357622.613 kWh lo que representa un costo por este concepto de 28609.81$.

**Tabla 2.10 Valores de (Pn, Qn, Un, Cos Fi) de la variante 9.**

| Nodo | Pn(MW) | Qn(MVAr) | Un(kV) | Cos Fi |
|---|---|---|---|---|
| 2 | 1.034 | 1.363 | 10.5 | 0.53 |
| 3 | 1.065 | 1.677 | 0.468 | 0.54 |
| 4 | 0.409 | 0.468 | 0.403 | 0.66 |
| 5 | 0.413 | 0.527 | 0.394 | 0.62 |
| 6 | 0.212 | 0.368 | 0.422 | 0.50 |

**Variante 10: Variación de la potencia activa en un 4% y la reactiva en un 1% con respecto a la variante inicial.**

La variante 10 se comporta de forma ineficiente como podemos observar en la Tabla 2.11.donde los valores del factor de potencia en los nodos (2, 3, 4, 5, 6) mantienen muy bajos entre 0.49 y 0.67 por lo que las pérdidas totales del sistema se comprenden en 0.043 MW, con un gasto en energía perdida de 378349.227 kWh lo que representa un costo por este concepto de 30267.94$.

**Tabla 2.11 Valores de (Pn, Qn, Un, Cos Fi) de la variante 10.**

| Nodo | Pn(MW) | Qn(MVAr) | Un(kV) | Cos Fi |
|---|---|---|---|---|
| 2 | 1.079 | 1.382 | 10.5 | 0.54 |
| 3 | 1.112 | 1.714 | 0.468 | 0.54 |
| 4 | 0.426 | 0.475 | 0.401 | 0.67 |
| 5 | 0.436 | 0.527 | 0.393 | 0.64 |
| 6 | 0.217 | 0.379 | 0.420 | 0.49 |

**Variante 11: Variación de la potencia activa en un 8% y la reactiva en un 1% con respecto a la variante inicial.**

La variante 11 se comporta de forma ineficiente como podemos ver en la Tabla 2.12.donde los valores del factor de potencia en los nodos (2, 3, 4, 5, 6) se mantienen muy bajos entre 0.51 y 0.65 por lo que las pérdidas totales del sistema se comprenden en 0.038 MW, con un gasto en energía perdida de 330774.214 kWh lo que representa un costo por este concepto de26461.94$.

**Tabla 2.12 Valores de (Pn, Qn, Un, Cos Fi) de la variante 11.**

| Nodo | Pn(MW) | Qn(MVAr) | Un(kV) | Cos Fi |
|---|---|---|---|---|
| 2 | 0.995 | 1.372 | 10.5 | 0.53 |
| 3 | 1.024 | 1.622 | 0.469 | 0.53 |
| 4 | 0.365 | 0.482 | 0.403 | 0.60 |
| 5 | 0.416 | 0.485 | 0.401 | 0.65 |
| 6 | 0.214 | 0.365 | 0.423 | 0.51 |

**Variante 12: Variación de la potencia activa en un 8% y la reactiva en un 27% con respecto a la variante inicial.**

La variante12 se comporta de forma ineficiente como podemos observar en la Tabla 2.13.donde los valores del factor de potencia en los nodos (2, 3, 4, 5, 6) se mantienen bajos entre 0.54 y 0.67 por lo que las pérdidas totales del sistema se comprenden en 0.043 MW, con un gasto en energía perdida de 373882.852 kWh lo que representa un costo de 29910.63$.

**Tabla 2.13 Valores de (Pn, Qn, Un, Cos Fi) de la variante 12.**

| Nodo | Pn(MW) | Qn(MVAr) | Un(kV) | Cos Fi |
|---|---|---|---|---|
| 2 | 1.081 | 1.369 | 10.5 | 0.54 |
| 3 | 1.114 | 1.697 | 0.468 | 0.55 |
| 4 | 0.427 | 0.478 | 0.401 | 0.67 |
| 5 | 0.434 | 0.523 | 0.394 | 0.64 |
| 6 | 0.220 | 0.368 | 0.422 | 0.51 |

**Variante 13: Variación de la potencia activa en un 4% y la reactiva en un 2% con respecto a la variante inicial.**

La variante 13 se comporta de forma ineficiente como podemos observar en la Tabla 2.14.donde los valores del factor de potencia en los nodos (2, 3, 4, 5, 6) se mantienen muy bajos entre 0.49 y 0.65 por lo que las pérdidas totales del sistema se comprenden en 0.043 MW, con un gasto en energía perdida de 375376.973 kWh lo que representa un costo de 30030.16$.

**Tabla 2.14 Valores de (Pn, Qn, Un, Cos Fi) de la variante 13.**

| Nodo | Pn(MW) | Qn(MVAr) | Un(kV) | Cos Fi |
|---|---|---|---|---|
| 2 | 1.040 | 1.402 | 10.5 | 0.52 |
| 3 | 1.073 | 1.731 | 0.468 | 0.53 |
| 4 | 0.365 | 0.482 | 0.402 | 0.60 |
| 5 | 0.455 | 0.530 | 0.392 | 0.65 |
| 6 | 0.220 | 0.389 | 0.418 | 0.49 |

**Variante 14: Variación de la potencia activa en un 5% y la reactiva en un 1% con respecto a la variante inicial.**

La variante 14 se comporta de forma ineficiente como podemos observar en la Tabla 2.15.donde los valores del factor de potencia en los nodos (2, 3, 4, 5, 6) se mantienen entre 0.50 y 0.67 por lo que las pérdidas totales del sistema se comprenden en 0.044 MW, con un gasto en energía perdida de 3487755.979 kWh lo que representa un costo de 31153.45$

**Tabla 2.15 Valores de (Pn, Qn, Un, Cos Fi) de la variante 14.**

| Nodo | Pn(MW) | Qn(MVAr) | Un(kV) | Cos Fi |
|---|---|---|---|---|
| 2 | 1.092 | 1.401 | 10.5 | 0.53 |
| 3 | 1.126 | 1.742 | 0.468 | 0.54 |
| 4 | 0.436 | 0.489 | 0.399 | 0.67 |
| 5 | 0.434 | 0.523 | 0.394 | 0.64 |
| 6 | 0.222 | 0.389 | 0.418 | 0.50 |

## 2.4 Análisis de las pérdidas en energía de potencia activa y reactiva para cada variante.

A continuación les mostraremos en la Tabla2.16 el comportamiento de las pérdidas en energía de potencia activa y el costo en CUP que estas representan, las cuales no cumplen con los estándares deseados. Esto es debido a que cada una de las variantes presentan un factor de potencia muy bajo provocando un aumento de estas pérdidas

**Tabla 2.16 Pérdidas en energía de potencia activa y reactiva.**

| Variantes (horas) | Pérd.en Energ. EP (kWh) | Costo(CUP) ($) |
|---|---|---|
| Inicial | 356456.6 | 28516.50 |
| 1 | 446450.6 | 35716.05 |
| 2 | 8751240 | 700099.20 |
| 3 | 669754.6 | 53580.30 |
| 4 | 322746 | 30619.68 |
| 5 | 407940.6 | 32635.25 |
| 6 | 361525.1 | 28922.01 |
| 7 | 369564.2 | 29265.14 |
| 8 | 369107.1 | 29528.57 |
| 9 | 357622.6 | 28609.81 |
| 10 | 378649.2 | 30267.94 |
| 11 | 330774.2 | 26461.94 |
| 12 | 373882.9 | 29910.63 |
| 13 | 375377 | 30030.16 |
| 14 | 348756 | 31153.45 |

Mediante el gráfico 2.1 podemos mostrar el comportamiento de las pérdidas en energía de potencia activa, las cuales experimentan una variación considerable entre la variante 3 -5. Mientras que a partir de la cinco se mantienen con poca variación.

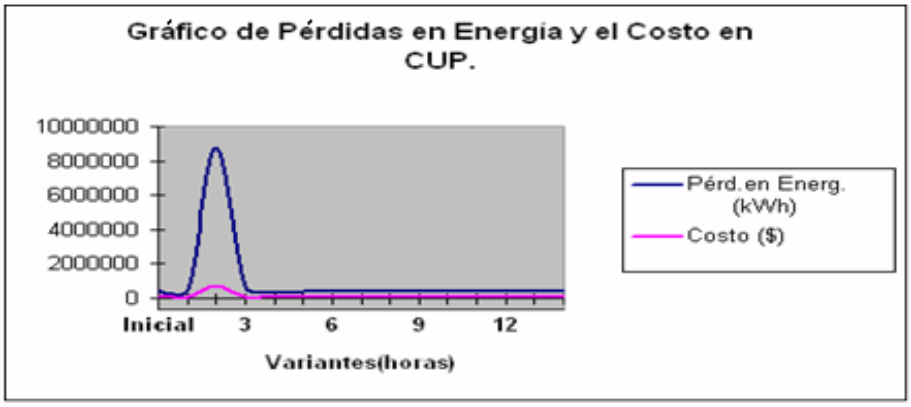



**Fig. 2.2 Representación de las pérdidas en energía y el costo en CUP.**

## 2.5 Análisis de vías para la compensación y optimización de las diferentes variables eléctricas.

Después de haber analizado cada una de las variantes incluyendo la variante inicial hemos podido ver detalladamente el comportamiento del sistema y sus resultados. A partir de los cuales realizaremos una compensación sin optimización y con optimización para así de esta manera poder observar cual de estas vías es

la más eficiente. Dentro del desarrollo posterior de este proceso seleccionamos el software Dycse como técnica más factible para la compensación y optimización de las variantes, incluyendo también la propuesta de un programa que construí con la ayuda de la programación en matlab para la selección de la capacidad de los bancos de capacitores y el cálculo precedente de las diferentes variables eléctricas incluyendo las pérdidas antes y después de la compensación. Este programa es aplicable a un sistema con bancos de capacitores ubicados en cuatro barras. Donde a continuación les mostraremos los pasos que se deben seguir para el correcto funcionamiento de la propuesta de matlab y el desarrollo de la optimización mediante el Dycse.

### 2.5.1 Análisis de los pasos a seguir para el correcto funcionamiento de la propuesta de matlab.

Con el objetivo de crear nuevas vías que faciliten una correcta compensación y ajuste de la capacidad de los bancos de capacitores. Programa que se realizó con la ayuda de la propiedad de Matlab (GUI), mostrado en la Fig.2.3.

Pasos a seguir:

- Introducir valores de (potencia, tensión, corriente, resistencia, longitud y reactancia de la línea respectivamente).
- Apretar el botón (Ejecutar) para obtener diferentes resultados antes de la compensación como son (factor de potencia, potencia aparente, potencia reactiva, pérdidas de potencia activa y reactiva respectivamente.
- Insertar los valores del factor de potencia que se desea en cada barra.
- Ejecutar el botón (CALCULAR) para obtener los valores del Qc que se necesitan en cada banco para poder elevar el factor de potencia hasta el resultado deseado.
- En este momento se busca en el catalogo el valor exacto del Qc para cada banco de forma individual.
- Introducir los valores de Qc buscado en el catalogo para cada barra.

- Ejecutar el botón (ACTUALIZAR) para así de esta manera realizar la actualización de los valores de (factor de potencia, potencia aparente, potencia reactiva del transformador, corriente, pérdida de potencia activa y reactiva) después de realizarse la compensación.
- Cerrar.

**Fig.2.3 Visualización del programa realizado en MATLAB (GUI).**

Validación del programa realizado en MATLAB.

Para la validación de este programa se le introdujeron los datos de potencia activa, tensión, corriente, resistencia, reactancia y longitud de la línea obtenidos en las mediciones de la variante inicial, para así poder efectuar los diferentes cálculos. Estos resultados serán mostrados más adelante en el Capítulo 3, después de realizarse la compensación para cada variante y así de esta manera

poder comparar los obtenidos en la compensación de la variante inicial con los del programa de Matlab.

### 2.5.2 Pasos a seguir para una correcta optimización dentro de la compensación mediante el Dycse.

Pasos a seguir:

5) Montaje del sistema con sus respectivos valores de potencias, tenciones, factor de potencia y corriente en cada barra.
6) Ajustar el Qc de los bancos de compensación para cada barra con el fin de elevar el factor de potencia hasta (0.9).
7) Cálculo del flujo de potencia para el armónico fundamental.
8) Obtención de los valores de las pérdidas, potencias y factores de potencias después de la compensación (sin optimización).
9) Determinación del régimen óptimo de trabajo del un sistema.
10) Optimizar con un algoritmo de búsqueda por entorno.
11) Actualizar los parámetros a optimizar.

- Valores ideales esperados (no negativos).
- Valores de ponderación para cada variable en cada nodo.
- Valores de ponderación para cada nodo (Evaluación del sistema completo).
- Realizar para los últimos dos puntos el calculo de las ponderaciones y luego normalizar.

12) Realizar el ajuste de las restricciones para guiar la búsqueda de la población eficiente inicial.

- Ajuste de restricciones de factor de potencia entre 0.75 y 0.7.

13) Actualizar el modelo dinámico económico: VAN, TIR, y Período de Recuperación.
14) Cálculo porcentual.
15) Trasladar datos de cobros.
16) Trasladar datos de gastos.
17) Calcular saldos en la tabla.
18) Cálculos económicos.
19) Buscar población eficiente inicial.

20) Reajustar las restricciones nuevamente, esta vez se realizará una mejora de la población eficiente con un factor de potencia entre 0.9 y 0.7.

21) Actualizar nuevamente el modelo dinámico económico: VAN, TIR, y Período de Recuperación.

22) Traslada datos de tabla de población inicial a tabla de población mejorada.

23) Realizar la corrida para mejorar la población eficiente.

24) Calcular el VAN.

25) Calcular el flujo luego de la optimización para cada una de las posibles soluciones y buscar así de esta manera las más eficientes.

- Cálculo de valores de RMS y Z global del actual.
- Evaluación económica de los bancos de capacitores para la configuración de la celda actual.
- Cálculo del flujo de potencia del actual.

## 2.6 Conclusiones.

En este capítulo se pudieron comprobar los problemas que presenta el sistema eléctrico, permitiendo arribar a las siguientes conclusiones:

1. El sistema presenta un factor de potencia muy bajo provocando un aumento de las pérdidas y el funcionamiento ineficiente del sistema.
2. A partir de estas mediciones se tomaron algunas vías para el mejoramiento de estos parámetros, a través de una compensación optimizada y sin optimizar.

# CAPÍTULO 3: Estudio de Casos y Propuestas de un Sistema de Control

## 3.1 Introducción.

Para un mejor entendimiento del trabajo que se desarrolla en este capítulo se realizará una compensación de reactivo que permita realizar una mejora óptima del comportamiento del sistema. Este proceso es empleado para encontrar la distribución de la potencia reactiva y factor de potencia de forma correcta en un sistema eléctrico de seis nodos, logrando minimizar las pérdidas de transmisión, además de mejorar los perfiles de tensiones.

El sistema computacional desarrollado es el Dycse el cual será aplicado de forma experimental a una pequeña red de 6 nodos. Estableciéndose una política de ponderación preferencial para los nodos de cargas y de enlace, donde a las variables se les estableció el siguiente orden de importancia: voltaje, factor de potencia y pérdidas para los nodos de cargas.

En el esquema analizado, considerando todas los posibles estados de los elementos (Taps de transformadores, capacidades de los capacitores y conexión y desconexión de capacitores) se obtendrán un conjunto de posibles soluciones mediante la compensación sin optimización y con optimización.

## 3.2 Montaje del esquema de simulación en el Dycse:

Se realizó el montaje del esquema de simulación en el Dycse, permitiendo localizar y ubicar los bancos de compensación de forma correcta para un soporte de los perfiles de tensión así como la corrección del factor de potencia. El enfoque de cálculo determina de forma precisa la mejor localización de los bancos, así como el ajuste de su capacidad, lográndose una reducción de las pérdidas en el sistema. Para poder entender mejor la ubicación de los bancos de compensación ver Fig 3.1.

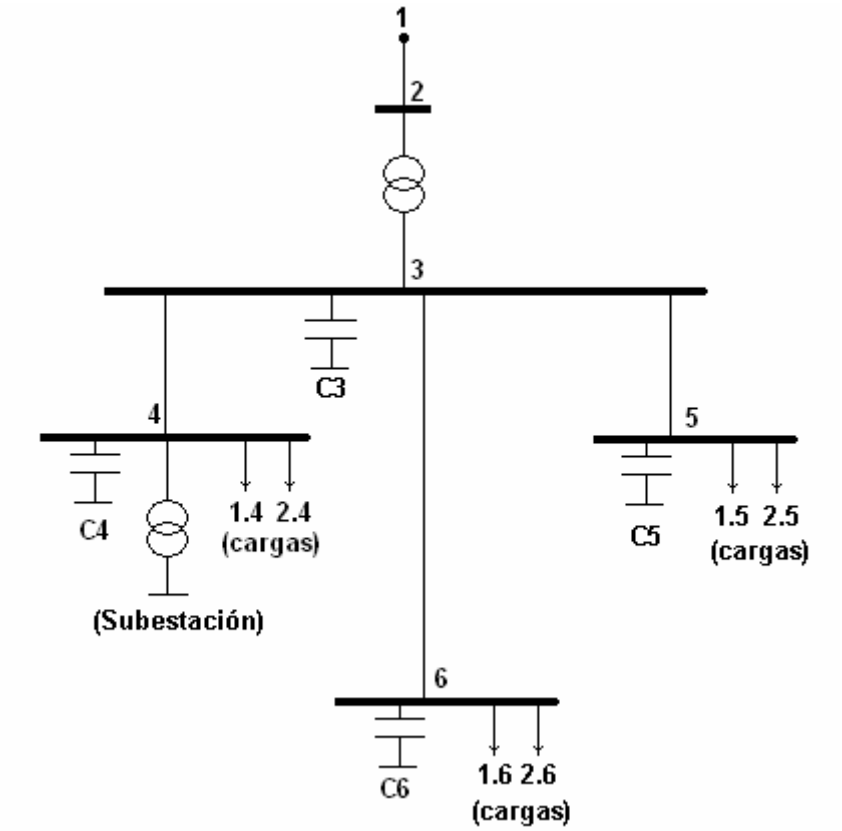



**Fig3.1 Esquema monolineal con sus respectivos bancos de capacitores ubicados en cada barra.**

## 3.3 Realización de la compensación sin optimización y con optimización.

Para un mayor entendimiento del proceso de compensación sin optimización y con optimización que se desarrollará partimos de la variante base que es la inicial, a partir de la cual se fueron creando diferentes variantes. Estas se formaron mediante la variación de la potencia activa y reactiva en un determinado porciento, realizándole a cada una de estas el ajuste de sus bancos de capacitores para así de esta manera realizar por independiente la compensación sin optimización y con optimización.

- **Variante base.**

Compensación sin optimización.

**Tabla 3.1 Valores de (Pn, Qn, Un, Cos Fi) de la variante base después de la compensación sin optimización.**

| Nodo | Pn(MW) | Qn(MVAr) | Qc(cMVAr) | Un | Cos Fi |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 1.013 | 0.383 | 0 | 10.5 | 0.90 |
| 3 | 1.024 | 0.496 | 0.107 | 0.476 | 0.90 |
| 4 | 0.365 | 0.177 | 0.305 | 0.451 | 0.90 |
| 5 | 0.434 | 0.21 | 0.312 | 0.445 | 0.90 |
| 6 | 0.214 | 0.104 | 0.226 | 0.462 | 0.90 |

**Tabla 3.2 Resultados de potencia activa, potencia reactiva, pérdidas activas y pérdidas reactivas entre nodos después de la compensación sin optimización.**

| Desde Nodo | Hasta Nodo | P(MW) | Q(MVAr) | Pérdida P(MW) | Pérdida Q(MVAr) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 3 | 1.027 | 0.512 | | |
| 3 | 2 | 1.024 | 0.496 | 0.003 | 0.016 |
| 3 | 4 | 0.369 | 0.217 | | |
| 4 | 3 | 0.365 | 0.177 | 0.004 | 0.041 |
| 3 | 5 | 0.44 | 0.269 | | |
| 5 | 3 | 0.434 | 0.21 | 0.006 | 0.059 |
| 3 | 6 | 0.215 | 0.117 | | |
| 6 | 3 | 0.214 | 0.104 | 0.001 | 0.013 |

A través de la compensación se puede observar como mediante el ajuste de los bancos de condensadores con un valor entre (0.107- 0.312 cMVAr) el factor de potencia se elevó hasta 0.9. Provocando una reducción de las pérdidas del sistema hasta 0.014MW con un gasto en energía perdida de 1247788.134 kWh lo que representa un costo por este concepto de 9983.05$ y una variación de las pérdidas activas entre los nodos de (0.001 – 0.006MW). Ver Tabla 3.1 y 3.2.

Compensación con optimización.

**Tabla 3.3 Valores de (Pn, Qn, Un, Cos Fi) de la variante después de la compensación con optimización.**

| Nodo | Pn(MW) | Qn(MVAr) | Qc(cMVAr) | Un | Cos Fi |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 1.013 | 0.259 | 0 | 10.5 | 0.94 |
| 3 | 1.023 | 0.36 | 0.113 | 0.477 | 0.94 |
| 4 | 0.365 | 0.116 | 0.367 | 0.459 | 0.95 |
| 5 | 0.434 | 0.179 | 0.344 | 0.45 | 0.92 |
| 6 | 0.214 | 0.077 | 0.292 | 0.466 | 0.94 |

**Tabla 3.4 Comportamiento de la potencia activa, potencia reactiva, pérdidas activas y pérdidas reactivas entre nodos después de la compensación con optimización.**

| | Hasta Nodo | P(MW) | Q(MVAr) | Pérdida P(MW) | Pérdida Q(MVAr) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 3 | 1.026 | 0.375 | | |
| 3 | 2 | 1.023 | 0.36 | 0.003 | 0.015 |
| 3 | 4 | 0.368 | 0.151 | | |
| 4 | 3 | 0.365 | 0.116 | 0.003 | 0.035 |
| 3 | 5 | 0.439 | 0.233 | | |
| 5 | 3 | 0.434 | 0.179 | 0.005 | 0.054 |
| 3 | 6 | 0.215 | 0.089 | | |
| 6 | 3 | 0.214 | 0.077 | 0.001 | 0.012 |

Mediante la optimización de la compensación se obtuvieron numerosos cambios en el factor de potencia lográndose una variación entre sus valores óptimos de (0.92 – 0.95) lo que trae consigo una reducción de las pérdidas entre nodos de (0.001 – 0.005 MW), con una pérdida total del sistema de 0.013MW y un gasto de energía perdida de112532.465 kWh con un costo de 9002.60$. Ver Tabla 3.3 y 3.4.

- **Variante 1: Variación de la potencia activa en un 37% y la reactiva en un 36%.**

Compensación sin optimización.

**Tabla 3.5 Valores de (Pn, Qn, Un, Cos Fi) de la variante base después de la compensación sin optimización.**

| Nodo | Pn(MW) | Qn(MVAr) | Qc(cMVAr) | Un | Cos Fi |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 1.185 | 0.432 | 0 | 10.5 | 0.89 |
| 3 | 1.023 | 0.36 | 0.113 | 0.477 | 0.90 |
| 4 | 0.365 | 0.116 | 0.367 | 0.459 | 0.90 |
| 5 | 0.434 | 0.179 | 0.344 | 0.45 | 0.90 |
| 6 | 0.214 | 0.077 | 0.292 | 0.466 | 0.90 |

**Tabla 3.6 Resultados de potencia activa, potencia reactiva, pérdidas activas y pérdidas reactivas entre nodos después de la compensación sin optimización.**

| Desde Nodo | Hasta Nodo | P(MW) | Q(MVAr) | Pérdida P(MW) | Pérdida Q(MVAr) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 3 | 1.204 | 0.603 | | |
| 3 | 2 | 1.2 | 0.581 | 0.004 | 0.023 |
| 3 | 4 | 0.4 | 0.239 | | |
| 4 | 3 | 0.395 | 0.191 | 0.005 | 0.048 |
| 3 | 5 | 0.477 | 0.298 | | |
| 5 | 3 | 0.47 | 0.228 | 0.007 | 0.07 |
| 3 | 6 | 0.323 | 0.186 | | |
| 6 | 3 | 0.32 | 0.155 | 0.003 | 0.031 |

A

través de la compensación se pudo observar como mediante el ajuste de los bancos de condensadores con un valor entre (0.113 - 0.367 cMVAr) el factor de potencia se mejoro hasta 0.9. Provocando una reducción de las pérdidas totales del sistema hasta 0.019MW con un gasto de energía perdida de 166600.774 kWh lo que representa un costo por este concepto de 13328.06$ y una variación de las pérdidas activas entre los nodos de (0.003 – 0.007MW). Ver Tabla 3.5 y 3.6.

Compensación con optimización.

**Tabla 3.7 Valores de (Pn, Qn, Un, Cos Fi) de la variante después de la compensación con optimización.**

| Nodo | Pn(MW) | Qn(MVAr) | Qc(cMVAr) | Un | Cos Fi |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 1.185 | 0.295 | 0 | 10.5 | 0.94 |
| 3 | 1.198 | 0.43 | 0.157 | 0.476 | 0.94 |
| 4 | 0.395 | 0.127 | 0.386 | 0.456 | 0.95 |
| 5 | 0.47 | 0.195 | 0.357 | 0.446 | 0.92 |
| 6 | 0.32 | 0.13 | 0.28 | 0.457 | 0.93 |

**Tabla 3.8 Comportamiento de la potencia activa, potencia reactiva, pérdidas activas y pérdidas reactivas entre nodos después de la compensación con optimización.**

| Desde Nodo | Hasta Nodo | P(MW) | Q(MVAr) | Pérdida P(MW) | Pérdida Q(MVAr) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 3 | 1.202 | 0.451 | | |
| 3 | 2 | 1.198 | 0.43 | 0.004 | 0.021 |
| 3 | 4 | 0.399 | 0.168 | | |
| 4 | 3 | 0.395 | 0.127 | 0.004 | 0.041 |
| 3 | 5 | 0.477 | 0.26 | | |
| 5 | 3 | 0.47 | 0.195 | 0.007 | 0.065 |
| 3 | 6 | 0.323 | 0.158 | | |
| 6 | 3 | 0.32 | 0.13 | 0.003 | 0.029 |

Mediante la optimización de la compensación se logró el ajuste óptimo de los bancos de condensadores entre (0.157 – 0.386 cMVAr) obteniéndose cambios en el factor de potencia que experimenta una variación entre sus valores óptimos de (0.92 – 0.95) lo que trae consigo una reducción de las pérdidas entre nodos que oscilan entre (0.003 – 0.007 MW), con una pérdida total del sistema de 0.017MW provocando un gasto de energía perdida de151097.765 kWh con un costo de 12087.82$. Ver Tabla 3.7 y 3.8.

- **Variante 2: Variación de la potencia activa en un 26% y la reactiva en un 10%.**

Compensación sin optimización.

**Tabla 3.9 Valores de (Pn, Qn, Un, Cos Fi) de la variante base después de la compensación sin optimización.**

| Nodo | Pn(MW) | Qn(MVAr) | Qc(cMVAr) | Un | Cos Fi |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 0.999 | 0.382 | 0 | 10.5 | 0.89 |
| 3 | 0.01 | 0.489 | 0.102 | 0.476 | 0.90 |
| 4 | 0.365 | 0.177 | 0.305 | 0.451 | 0.90 |
| 5 | 0.411 | 0.199 | 0.284 | 0.447 | 0.90 |
| 6 | 0.223 | 0.108 | 0.267 | 0.461 | 0.90 |

**Tabla 3.10 Resultados de potencia activa, potencia reactiva, pérdidas activas y pérdidas reactivas entre nodos después de la compensación sin optimización.**

| Desde Nodo | Hasta Nodo | P(MW) | Q(MVAr) | Pérdida P(MW) | Pérdida Q(MVAr) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 3 | 1.013 | 0.505 | | |
| 3 | 2 | 1.01 | 0.489 | 0.003 | 0.016 |
| 3 | 4 | 0.369 | 0.217 | | |
| 4 | 3 | 0.365 | 0.177 | 0.004 | 0.04 |
| 3 | 5 | 0.416 | 0.251 | | |
| 5 | 3 | 0.411 | 0.199 | 0.005 | 0.052 |
| 3 | 6 | 0.224 | 0.122 | | |
| 6 | 3 | 0.223 | 0.108 | 0.001 | 0.014 |

A partir de la compensación se pudo observar cómo mediante el ajuste de los bancos de condensadores con un valor entre (0.102- 0.305 cMVAr) el factor de potencia se elevó hasta 0.9. Provocando una reducción de las pérdidas del sistema hasta 0.014MW con un gasto de energía perdida de 119355.867 kWh lo que representa un costo por este concepto de 9548.47$ y una variación de las pérdidas activas entre los nodos de (0.001 – 0.005MW). Ver Tabla 3.9 y 3.10.

Compensación con optimización.

**Tabla 3.11 Valores de (Pn, Qn, Un, Cos Fi) de la variante después de la compensación con optimización.**

| Nodo | Pn(MW) | Qn(MVAr) | Qc(cMVAr) | Un | Cos Fi |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 0.999 | 0.255 | 0 | 10.5 | 0.94 |
| 3 | 1.009 | 0.352 | 0.112 | 0.477 | 0.94 |
| 4 | 0.365 | 0.116 | 0.367 | 0.459 | 0.95 |
| 5 | 0.411 | 0.171 | 0.313 | 0.451 | 0.92 |
| 6 | 0.223 | 0.081 | 0.294 | 0.465 | 0.94 |

**Tabla 3.12 Comportamiento de la potencia activa, potencia reactiva, pérdidas activas y pérdidas reactivas entre nodos después de la compensación con optimización.**

| Desde Nodo | Hasta Nodo | P(MW) | Q(MVAr) | Pérdida P(MW) | Pérdida Q(MVAr) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 3 | 1.011 | 0.366 | | |
| 3 | 2 | 1.009 | 0.352 | 0.003 | 0.014 |
| 3 | 4 | 0.368 | 0.151 | | |
| 4 | 3 | 0.365 | 0.116 | 0.003 | 0.035 |
| 3 | 5 | 0.416 | 0.219 | | |
| 5 | 3 | 0.411 | 0.171 | 0.005 | 0.049 |
| 3 | 6 | 0.224 | 0.094 | | |
| 6 | 3 | 0.223 | 0.081 | 0.001 | 0.013 |

Mediante la optimización de la compensación se logró el ajuste óptimo de los bancos de condensadores de (0.112 – 0.367) obteniéndose numerosos cambios en el factor de potencia que experimenta una variación entre sus valores óptimos de (0.92 – 0.95) lo que trae consigo una reducción de las pérdidas entre nodos que oscilan entre (0.001 – 0.005 MW), con una pérdida total del sistema de 0.012MW provocando un gasto de energía perdida de107611.413 kWh con un costo de 8608.91$. Ver Tabla 3.11 y 3.12

- **Variante 3: Variación de la potencia activa en un 30% y la reactiva en un 4%.**

Compensación sin optimización.

**Tabla 3.13 Valores de (Pn, Qn, Un, Cos Fi) de la variante base después de la compensación sin optimización.**

| Nodo | Pn(MW) | Qn(MVAr) | Qc(cMVAr) | Un | Cos Fi |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 1.703 | 0.442 | 0 | 10.5 | 0.89 |
| 3 | 0.1743 | 0.838 | 0.383 | 0.473 | 0.90 |
| 4 | 0.855 | 0.414 | 0.086 | 0.399 | 0.90 |
| 5 | 0.434 | 0.21 | 0.312 | 0.442 | 0.90 |
| 6 | 0.414 | 0.201 | 0.179 | 0.443 | 0.90 |

**Tabla 3.14 Resultados de potencia activa, potencia reactiva, pérdidas activas y pérdidas reactivas entre nodos después de la compensación sin optimización.**

| Desde Nodo | Hasta Nodo | P(MW) | Q(MVAr) | Pérdida P(MW) | Pérdida Q(MVAr) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 3 | 1.751 | 0.887 | | |
| 3 | 2 | 1.743 | 0.838 | 0.009 | 0.048 |
| 3 | 4 | 0.883 | 0.697 | | |
| 4 | 3 | 0.855 | 0.414 | 0.028 | 0.283 |
| 3 | 5 | 0.44 | 0.27 | | |
| 5 | 3 | 0.434 | 0.21 | 0.006 | 0.06 |
| 3 | 6 | 0.419 | 0.254 | | |
| 6 | 3 | 0.414 | 0.201 | 0.005 | 0.054 |

Con los resultados de la compensación se pudo observar como mediante el ajuste de los bancos de condensadores con un valor entre (0.086- 0.383 cMVAr) el factor de potencia se elevó hasta 0.9. Provocando una reducción de las pérdidas del sistema hasta 0.048MW c con un gasto de energía perdida de 424253.816 kWh lo que representa un costo por este concepto de 33940.31 y una variación de las pérdidas activas entre los nodos de (0.009 – 0.028MW). Ver Tabla 3.13 y 3.14

Compensación con optimización.

**Tabla 3.15 Valores de (Pn, Qn, Un, Cos Fi) de la variante después de la compensación con optimización.**

| Nodo | Pn(MW) | Qn(MVAr) | Qc(cMVAr) | Un | Cos Fi |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 1.703 | 0.330 | 0 | 10.5 | 0.92 |
| 3 | 1.741 | 0.715 | 0.46 | 0.474 | 0.93 |
| 4 | 0.855 | 0.397 | 0.103 | 0.403 | 0.91 |
| 5 | 0.434 | 0.21 | 0.312 | 0.443 | 0.90 |
| 6 | 0.414 | 0.183 | 0.197 | 0.446 | 0.92 |

**Tabla 3.16 Comportamiento de la potencia activa, potencia reactiva, pérdidas activas y pérdidas reactivas entre nodos después de la compensación con optimización.**

| Desde Nodo | Hasta Nodo | P(MW) | Q(MVAr) | Pérdida P(MW) | Pérdida Q(MVAr) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 3 | 1.75 | 0.76 | | |
| 3 | 2 | 1.741 | 0.715 | 0.008 | 0.046 |
| 3 | 4 | 0.882 | 0.671 | | |
| 4 | 3 | 0.855 | 0.397 | 0.027 | 0.274 |
| 3 | 5 | 0.44 | 0.27 | | |
| 5 | 3 | 0.434 | 0.21 | 0.006 | 0.059 |
| 3 | 6 | 0.419 | 0.234 | | |
| 6 | 3 | 0.414 | 0.183 | 0.005 | 0.051 |

Mediante la optimización de la compensación se logró el ajuste óptimo de los bancos de condensadores de (0.21 – 0.76) obteniéndose numerosos cambios en el factor de potencia que experimenta una variación entre sus valores óptimos de (0.90 – 0.93) lo que trae consigo una reducción de las pérdidas entre nodos que oscilan entre (0.005 – 0.027 MW), con una pérdida total del sistema de 0.047MW provocando un gasto de energía perdida de 409421 kWh con un costo de 32753.70$. Ver Tabla 3.15 y 3.16.

- **Variante 4: Variación de la potencia activa en un 38% y la reactiva en un 1%.**

Compensación sin optimización.

**Tabla 3.17 Valores de (Pn, Qn, Un, Cos Fi) de la variante base después de la compensación sin optimización.**

| Nodo | Pn(MW) | Qn(MVAr) | Qc(cMVAr) | Un | Cos Fi |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 1.067 | 0.396 | 0 | 10.5 | 0.89 |
| 3 | 1.08 | 0.522 | 0.121 | 0.476 | 0.90 |
| 4 | 0.395 | 0.191 | 0.321 | 0.448 | 0.90 |
| 5 | 0.454 | 0.22 | 0.303 | 0.443 | 0.90 |
| 6 | 0.218 | 0.106 | 0.249 | 0.461 | 0.90 |

**Tabla 3.18 Resultados de potencia activa, potencia reactiva, pérdidas activas y pérdidas reactivas entre nodos después de la compensación sin optimización.**

| Desde Nodo | Hasta Nodo | P(MW) | Q(MVAr) | Pérdida P(MW) | Pérdida Q(MVAr) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 3 | 1.083 | 0.541 | | |
| 3 | 2 | 1.08 | 0.522 | 0.003 | 0.003 |
| 3 | 4 | 0.4 | 0.239 | | |
| 4 | 3 | 0.395 | 0.191 | 0.005 | 0.005 |
| 3 | 5 | 0.46 | 0.285 | | |
| 5 | 3 | 0.454 | 0.22 | 0.006 | 0.006 |
| 3 | 6 | 0.219 | 0.119 | | |
| 6 | 3 | 0.218 | 0.106 | 0.001 | 0.001 |

A través de la compensación se pudo observar como mediante el ajuste de los bancos de condensadores con un valor entre (0.121- 0.321 cMVAr) el factor de potencia se elevó hasta 0.9. Provocando una reducción de las pérdidas totales del sistema hasta 0.016MW con un gasto de energía perdida de 140091.850 kWh lo que representa un costo por este concepto de 11207.35$ y una variación de las y pérdidas activas entre los nodos de (0.001 – 0.006MW). Ver Tabla 3.17 y 3.18.

Compensación con optimización.

**Tabla 3.19 Valores de (Pn, Qn, Un, Cos Fi) de la variante después de la compensación con optimización.**

| Nodo | Pn(MW) | Qn(MVAr) | Qc(cMVAr) | Un | Cos Fi |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 1.067 | 0.264 | 0 | 10.5 | 0.94 |
| 3 | 1.078 | 0.379 | 0.133 | 0.476 | 0.94 |
| 4 | 0.395 | 0.127 | 0.385 | 0.456 | 0.95 |
| 5 | 0.454 | 0.19 | 0.333 | 0.448 | 0.92 |
| 6 | 0.218 | 0.081 | 0.274 | 0.465 | 0.94 |

**Tabla 3.20 Comportamiento de la potencia activa, potencia reactiva, pérdidas activas y pérdidas reactivas entre nodos después de la compensación con optimización.**

| Desde Nodo | Hasta Nodo | P(MW) | Q(MVAr) | Pérdida P(MW) | Pérdida Q(MVAr) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 3 | 1.081 | 0.395 | | |
| 3 | 2 | 1.078 | 0.379 | 0.003 | 0.017 |
| 3 | 4 | 0.399 | 0.168 | | |
| 4 | 3 | 0.395 | 0.127 | 0.004 | 0.041 |
| 3 | 5 | 0.46 | 0.25 | | |
| 5 | 3 | 0.454 | 0.19 | 0.006 | 0.06 |
| 3 | 6 | 0.219 | 0.093 | | |
| 6 | 3 | 0.218 | 0.081 | 0.001 | 0.012 |

Mediante la optimización de la compensación se logró el ajuste óptimo de los bancos de condensadores de (0.133 – 0.385) obteniéndose numerosos cambios en el factor de potencia que experimenta una variación entre sus valores óptimos de (0.92 – 0.95) lo que trae consigo una reducción de las pérdidas entre nodos que oscilan entre (0.001 – 0.006 MW), con una pérdida del sistema de 0.014MW provocando un gasto de energía perdida de 126482.756 kWh con un costo de 10118.62$. Ver Tabla 3.19 y 3.20

- **Variante 5: Variación de la potencia activa en un 8% y la reactiva en un 2%.**

Compensación sin optimización.

**Tabla 3.21 Valores de (Pn, Qn, Un, Cos Fi) de la variante base después de la compensación sin optimización.**

| Nodo | Pn(MW) | Qn(MVAr) | Qc(cMVAr) | Un | Cos Fi |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 1.154 | 0.414 | 0 | 10.5 | 0.89 |
| 3 | 1.169 | 0.566 | 0.145 | 0.475 | 0.90 |
| 4 | 0.447 | 0.216 | 0.267 | 0.443 | 0.90 |
| 5 | 0.484 | 0.234 | 0.298 | 0.44 | 0.90 |
| 6 | 0.223 | 0.108 | 0.262 | 0.461 | 0.90 |

**Tabla 3.22 Resultados de potencia activa, potencia reactiva, pérdidas activas y pérdidas reactivas entre nodos después de la compensación sin optimización.**

| Desde Nodo | Hasta Nodo | P(MW) | Q(MVAr) | Pérdida P(MW) | Pérdida Q(MVAr) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 3 | 1.173 | 0.587 | | |
| 3 | 2 | 1.169 | 0.566 | 0.004 | 0.022 |
| 3 | 4 | 0.453 | 0.279 | | |
| 4 | 3 | 0.447 | 0.216 | 0.006 | 0.063 |
| 3 | 5 | 0.491 | 0.309 | | |
| 5 | 3 | 0.484 | 0.234 | 0.007 | 0.075 |
| 3 | 6 | 0.224 | 0.122 | | |
| 6 | 3 | 0.223 | 0.108 | 0.001 | 0.014 |

Mediante la compensación se pudo observar como a partir del ajuste de los bancos de condensadores con un valor entre (0.145- 0.298 cMVAr) el factor de potencia se elevó hasta 0.9. Provocando una reducción de las pérdidas totales del sistema hasta 0.019MW con un gasto de energía perdida de 167333.786 kWh lo que representa un costo por este concepto de 13386.70$ y una variación de las pérdidas activas entre los nodos de (0.001 – 0.007MW). Ver Tabla 3.21 y 3.22.

Compensación con optimización.

**Tabla 3.23 Valores de (Pn, Qn, Un, Cos Fi) de la variante después de la compensación con optimización.**

| Nodo | Pn(MW) | Qn(MVAr) | Qc(cMVAr) | Un | Cos Fi |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 1.154 | 0.290 | 0 | 10.5 | 0.93 |
| 3 | 1.168 | 0.429 | 0.16 | 0.476 | 0.94 |
| 4 | 0.447 | 0.163 | 0.32 | 0.451 | 0.94 |
| 5 | 0.484 | 0.205 | 0.328 | 0.445 | 0.92 |
| 6 | 0.223 | 0.082 | 0.288 | 0.464 | 0.94 |

**Tabla 3.24 Comportamiento de la potencia activa, potencia reactiva, pérdidas activas y pérdidas reactivas entre nodos después de la compensación con optimización.**

| Desde Nodo | Hasta Nodo | P(MW) | Q(MVAr) | Pérdida P(MW) | Pérdida Q(MVAr) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 3 | 1.171 | 0.448 | | |
| 3 | 2 | 1.168 | 0.429 | 0.004 | 0.02 |
| 3 | 4 | 0.453 | 0.219 | | |
| 4 | 3 | 0.447 | 0.163 | 0.006 | 0.056 |
| 3 | 5 | 0.491 | 0.274 | | |
| 5 | 3 | 0.484 | 0.205 | 0.007 | 0.07 |
| 3 | 6 | 0.224 | 0.095 | | |
| 6 | 3 | 0.223 | 0.082 | 0.001 | 0.013 |

Mediante la optimización de la compensación se logró el ajuste óptimo de los bancos de condensadores de (0.16 – 0.328) obteniéndose numerosos cambios en el factor de potencia que experimenta una variación entre sus valores óptimos de (0.92 – 0.94) lo que trae consigo una reducción de las pérdidas entre nodos que oscilan entre (0.001 – 0.007 MW), con una pérdida del sistema de 0.017MW provocando un gasto de energía perdida de152821.314 kWh con un costo de 12225.71$. Ver Tabla 3.23 y 3.24.

- **Variante 6: Variación de la potencia activa en un 10% y la reactiva en un 0%.**

Compensación sin optimización.

**Tabla 3.25 Valores de (Pn, Qn, Un, Cos Fi) de la variante base después de la compensación sin optimización.**

| Nodo | Pn(MW) | Qn(MVAr) | Qc(cMVAr) | Un | Cos Fi |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 1.006 | 0.383 | 0 | 10.5 | 0.89 |
| 3 | 1.017 | 0.492 | 0.104 | 0.476 | 0.90 |
| 4 | 0.365 | 0.177 | 0.305 | 0.451 | 0.90 |
| 5 | 0.419 | 0.203 | 0.317 | 0.446 | 0.90 |
| 6 | 0.222 | 0.108 | 0.247 | 0.461 | 0.90 |

**Tabla 3.26 Resultados de potencia activa, potencia reactiva, pérdidas activas y pérdidas reactivas entre nodos después de la compensación sin optimización.**

| Desde Nodo | Hasta Nodo | P(MW) | Q(MVAr) | Pérdida P(MW) | Pérdida Q(MVAr) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 3 | 1.02 | 0.508 | | |
| 3 | 2 | 1.017 | 0.492 | 0.003 | 0.016 |
| 3 | 4 | 0.369 | 0.217 | | |
| 4 | 3 | 0.365 | 0.177 | 0.004 | 0.04 |
| 3 | 5 | 0.424 | 0.257 | | |
| 5 | 3 | 0.419 | 0.203 | 0.005 | 0.054 |
| 3 | 6 | 0.223 | 0.122 | | |
| 6 | 3 | 0.222 | 0.108 | 0.001 | 0.014 |

Mediante la compensación se pudo observar como a partir del ajuste de los bancos de condensadores con un valor entre (0.104 - 0.317 cMVAr) el factor de potencia se elevó hasta 0.9. Provocando una reducción de las pérdidas totales del sistema hasta 0.014MW con un gasto de energía perdida de 121556.276 kWh lo que representa un costo por este concepto de 9724.50$ y una variación de las pérdidas activas entre los nodos de (0.001 – 0.005 MW). Ver Tabla 3.25 y 3.26.

Compensación con optimización.

**Tabla 3.27 Valores de (Pn, Qn, Un, Cos Fi) de la variante después de la compensación con optimización.**

| Nodo | Pn(MW) | Qn(MVAr) | Qc(cMVAr) | Un | Cos Fi |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 1.006 | 0.255 | 0 | 10.5 | 0.94 |
| 3 | 1.016 | 0.353 | 0.115 | 0.477 | 0.95 |
| 4 | 0.365 | 0.116 | 0.367 | 0.459 | 0.95 |
| 5 | 0.419 | 0.171 | 0.349 | 0.451 | 0.93 |
| 6 | 0.222 | 0.083 | 0.272 | 0.465 | 0.94 |

**Tabla 3.28 Comportamiento de la potencia activa, potencia reactiva, pérdidas activas y pérdidas reactivas entre nodos después de la compensación con optimización.**

| Desde Nodo | Hasta Nodo | P(MW) | Q(MVAr) | Pérdida P(MW) | Pérdida Q(MVAr) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 3 | 1.018 | 0.368 | | |
| 3 | 2 | 1.016 | 0.353 | 0.003 | 0.015 |
| 3 | 4 | 0.368 | 0.151 | | |
| 4 | 3 | 0.365 | 0.116 | 0.003 | 0.035 |
| 3 | 5 | 0.424 | 0.222 | | |
| 5 | 3 | 0.419 | 0.171 | 0.005 | 0.05 |
| 3 | 6 | 0.223 | 0.096 | | |
| 6 | 3 | 0.222 | 0.083 | 0.001 | 0.013 |

Mediante la optimización de la compensación se logró el ajuste óptimo de los bancos de condensadores de (0.115 – 0.367) obteniéndose numerosos cambios en el factor de potencia que experimenta una variación entre sus valores óptimos de (0.93 – 0.95) lo que trae consigo una reducción de las pérdidas entre nodos que oscilan entre (0.001 – 0.005 MW), con una pérdida del sistema de 0.012MW provocando un gasto de energía perdida de109424.584 kWh con un costo de 8753.97$. Ver Tabla 3.27 y 3.28.

- **Variante 7: Variación de la potencia activa en un 2% y la reactiva en un 0%.**

Compensación sin optimización.

**Tabla 3.29 Valores de (Pn, Qn, Un, Cos Fi) de la variante base después de la compensación sin optimización.**

| Nodo | Pn(MW) | Qn(MVAr) | Qc(cMVAr) | Un | Cos Fi |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 1.074 | 0.397 | 0 | 10.5 | 0.89 |
| 3 | 1.087 | 0.526 | 0.123 | 0.476 | 0.90 |
| 4 | 0.44 | 0.213 | 0.282 | 0.444 | 0.90 |
| 5 | 0.42 | 0.203 | 0.297 | 0.446 | 0.90 |
| 6 | 0.214 | 0.104 | 0.266 | 0.462 | 0.90 |

**Tabla 3.30 Resultados de potencia activa, potencia reactiva, pérdidas activas y pérdidas reactivas entre nodos después de la compensación sin optimización.**

| Desde Nodo | Hasta Nodo | P(MW) | Q(MVAr) | Pérdida P(MW) | Pérdida Q(MVAr) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 3 | 1.09 | 0.545 | | |
| 3 | 2 | 1.087 | 0.526 | 0.003 | 0.019 |
| 3 | 4 | 0.446 | 0.274 | | |
| 4 | 3 | 0.44 | 0.213 | 0.006 | 0.061 |
| 3 | 5 | 0.425 | 0.258 | | |
| 5 | 3 | 0.42 | 0.203 | 0.005 | 0.055 |
| 3 | 6 | 0.215 | 0.117 | | |
| 6 | 3 | 0.214 | 0.104 | 0.001 | 0.013 |

Mediante la compensación se pudo observar como a través del ajuste de los bancos de condensadores con un valor entre (0.123- 0.297 cMVAr) el factor de potencia se elevó hasta 0.9. Provocando una reducción de las pérdidas del sistema hasta 0.016MW con un gasto de energía perdida de 142244.833 kWh lo que representa un costo por este concepto de 11379.59$ y una variación de las pérdidas activas entre los nodos de (0.001 – 0.006MW). Ver Tabla 3.29 y 3.30.

Compensación con optimización.

**Tabla 3.31 Valores de (Pn, Qn, Un, Cos Fi) de la variante después de la compensación con optimización.**

| Nodo | Pn(MW) | Qn(MVAr) | Qc(cMVAr) | Un | Cos Fi |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 1.074 | 0.272 | 0 | 10.5 | 0.94 |
| 3 | 1.086 | 0.389 | 0.135 | 0.476 | 0.94 |
| 4 | 0.4 | 0.157 | 0.338 | 0.452 | 0.94 |
| 5 | 0.42 | 0.174 | 0.326 | 0.45 | 0.92 |
| 6 | 0.214 | 0.077 | 0.292 | 0.465 | 0.94 |

**Tabla 3.32 Comportamiento de la potencia activa, potencia reactiva, pérdidas activas y pérdidas reactivas entre nodos después de la compensación con optimización.**

| Desde Nodo | Hasta Nodo | P(MW) | Q(MVAr) | Pérdida P(MW) | Pérdida Q(MVAr) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 3 | 1.089 | 0.406 | | |
| 3 | 2 | 1.086 | 0.389 | 0.003 | 0.017 |
| 3 | 4 | 0.445 | 0.21 | | |
| 4 | 3 | 0.44 | 0.157 | 0.005 | 0.053 |
| 3 | 5 | 0.425 | 0.225 | | |
| 5 | 3 | 0.42 | 0.174 | 0.005 | 0.051 |
| 3 | 6 | 0.215 | 0.089 | | |
| 6 | 3 | 0.214 | 0.077 | 0.001 | 0.012 |

Mediante la optimización de la compensación se logró el ajuste óptimo de los bancos de condensadores de (0.135 – 0.338) obteniéndose numerosos cambios en el factor de potencia que experimenta una variación entre sus valores óptimos de (0.92 – 0.94) lo que trae consigo una reducción de las pérdidas entre nodos que oscilan entre (0.001 – 0.005 MW), con una pérdida del sistema de 0.015MW provocando un gasto de energía perdida de128796.607 kWh con un costo de 10303.73$. Ver Tabla 3.31 y 3.32.

- **Variante 8: Variación de la potencia activa en un 3% y la reactiva en un 1%.**

Compensación sin optimización.

**Tabla 3.33 Valores de (Pn, Qn, Un, Cos Fi) de la variante base después de la compensación sin optimización.**

| Nodo | Pn(MW) | Qn(MVAr) | Qc(cMVAr) | Un | Cos Fi |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 1.044 | 0.390 | 0 | 10.5 | 0.89 |
| 3 | 1.056 | 0.511 | 0.115 | 0.476 | 0.9 |
| 4 | 0.365 | 0.177 | 0.305 | 0.45 | 0.9 |
| 5 | 0.459 | 0.222 | 0.318 | 0.443 | 0.9 |
| 6 | 0.22 | 0.107 | 0.241 | 0.461 | 0.9 |

**Tabla 3.34 Resultados de potencia activa, potencia reactiva, pérdidas activas y pérdidas reactivas entre nodos después de la compensación sin optimización.**

| Desde Nodo | Hasta Nodo | P(MW) | Q(MVAr) | Pérdida P(MW) | Pérdida Q(MVAr) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 3 | 1.059 | 0.529 | | |
| 3 | 2 | 1.056 | 0.511 | 0.003 | 0.018 |
| 3 | 4 | 0.369 | 0.217 | | |
| 4 | 3 | 0.365 | 0.117 | 0.004 | 0.041 |
| 3 | 5 | 0.466 | 0.289 | | |
| 5 | 3 | 0.459 | 0.222 | 0.007 | 0.066 |
| 3 | 6 | 0.221 | 0.121 | | |
| 6 | 3 | 0.22 | 0.107 | 0.001 | 0.014 |

Mediante la compensación se pudo observar cómo a partir del ajuste de los bancos de condensadores con un valor entre (0.115 - 0.318 cMVAr) el factor de potencia se elevó hasta 0.9. Provocando una reducción de las pérdidas del sistema hasta 0.015MW con un gasto de energía perdida de 133846.196 kWh lo que representa un costo por este concepto de 10707.70$ y una variación de las pérdidas activas entre los nodos de (0.001 – 0.007MW). Ver Tabla 3.33 y 3.34.

Compensación con optimización.

**Tabla 3.35 Valores de (Pn, Qn, Un, Cos Fi) de la variante después de la compensación con optimización.**

| Nodo | Pn(MW) | Qn(MVAr) | Qc(cMVAr) | Un | Cos Fi |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 1.044 | 0.329 | 0 | 10.5 | 0.92 |
| 3 | 1.056 | 0.444 | 0.121 | 0.476 | 0.92 |
| 4 | 0.365 | 0.177 | 0.305 | 0.451 | 0.90 |
| 5 | 0.459 | 0.191 | 0.349 | 0.447 | 0.92 |
| 6 | 0.22 | 0.082 | 0.266 | 0.464 | 0.94 |

**Tabla 3.36 Comportamiento de la potencia activa, potencia reactiva, pérdidas activas y pérdidas reactivas entre nodos después de la compensación con optimización.**

| Desde Nodo | Hasta Nodo | P(MW) | Q(MVAr) | Pérdida P(MW) | Pérdida Q(MVAr) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 3 | 1.059 | 0.46 | | |
| 3 | 2 | 1.056 | 0.444 | 0.003 | 0.017 |
| 3 | 4 | 0.369 | 0.217 | | |
| 4 | 3 | 0.365 | 0.177 | 0.004 | 0.04 |
| 3 | 5 | 0.465 | 0.252 | | |
| 5 | 3 | 0.459 | 0.191 | 0.006 | 0.062 |
| 3 | 6 | 0.221 | 0.095 | | |
| 6 | 3 | 0.22 | 0.082 | 0.001 | 0.013 |

Mediante la optimización de la compensación se logró el ajuste óptimo de los bancos de condensadores de (0.121 – 0.349) obteniéndose numerosos cambios en el factor de potencia que experimenta una variación entre sus valores óptimos de (0.90 – 0.936) lo que trae consigo una reducción de las pérdidas entre nodos que oscilan entre (0.001 – 0.006 MW), con una pérdida del sistema de 0.015MW provocando un gasto de energía perdida de127328.083 kWh con un costo de 10186.25$. Ver Tabla 3.35 y 3.36.

- **Variante 9: Variación de la potencia activa en un 1% y la reactiva en un 0%.**

Compensación sin optimización.

**Tabla 3.37 Valores de (Pn, Qn, Un, Cos Fi) de la variante base después de la compensación sin optimización.**

| Nodo | Pn(MW) | Qn(MVAr) | Qc(cMVAr) | Un | Cos Fi |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 1.034 | 0.389 | 0 | 10.5 | 0.89 |
| 3 | 1.046 | 0.506 | 0.112 | 0.476 | 0.90 |
| 4 | 0.409 | 0.98 | 0.27 | 0.447 | 0.90 |
| 5 | 0.413 | 0.2 | 0.327 | 0.447 | 0.90 |
| 6 | 0.212 | 0.103 | 0.265 | 0.462 | 0.90 |

**Tabla 3.38 Resultados de potencia activa, potencia reactiva, pérdidas activas y pérdidas reactivas entre nodos después de la compensación sin optimización.**

| Desde Nodo | Hasta Nodo | P(MW) | Q(MVAr) | Pérdida P(MW) | Pérdida Q(MVAr) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 3 | 1.049 | 0.523 | | |
| 3 | 2 | 1.046 | 0.506 | 0.003 | 0.017 |
| 3 | 4 | 0.414 | 0.25 | | |
| 4 | 3 | 0.409 | 0.198 | 0.005 | 0.052 |
| 3 | 5 | 0.418 | 0.253 | | |
| 5 | 3 | 0.413 | 0.2 | 0.005 | 0.053 |
| 3 | 6 | 0.213 | 0.116 | | |
| 6 | 3 | 0.212 | 0.103 | 0.001 | 0.013 |

Mediante la compensación se logró ajustar los bancos de condensadores con un valor entre (0.112 - 0.327 cMVAr) el factor de potencia se elevó hasta 0.9. Provocando una reducción de las pérdidas del sistema hasta 0.015MW con un gasto de energía perdida de 130289.959 kWh lo que representa un costo por este concepto de 10423.20$ y una variación de las pérdidas activas entre los nodos de (0.001 – 0.005 MW). Ver Tabla 3.37 y 3.38.

Compensación con optimización.

**Tabla 3.39 Valores de (Pn, Qn, Un, Cos Fi) de la variante después de la compensación con optimización.**

| Nodo | Pn(MW) | Qn(MVAr) | Qc(cMVAr) | Un | Cos Fi |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 1.034 | 0.264 | 0 | 10.5 | 0.94 |
| 3 | 1.045 | 0.37 | 0.123 | 0.477 | 0.94 |
| 4 | 0.409 | 0.144 | 0.324 | 0.454 | 0.94 |
| 5 | 0.413 | 0.167 | 0.36 | 0.451 | 0.93 |
| 6 | 0.212 | 0.076 | 0.292 | 0.466 | 0.94 |

**Tabla 3.40 Comportamiento de la potencia activa, potencia reactiva, pérdidas activas y pérdidas reactivas entre nodos después de la compensación con optimización.**

| Desde Nodo | Hasta Nodo | P(MW) | Q(MVAr) | Pérdida P(MW) | Pérdida Q(MVAr) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 3 | 1.047 | 0.386 | | |
| 3 | 2 | 1.045 | 0.37 | 0.003 | 0.016 |
| 3 | 4 | 0.414 | 0.19 | | |
| 4 | 3 | 0.409 | 0.144 | 0.005 | 0.046 |
| 3 | 5 | 0.418 | 0.216 | | |
| 5 | 3 | 0.413 | 0.167 | 0.005 | 0.049 |
| 3 | 6 | 0.213 | 0.088 | | |
| 6 | 3 | 0.212 | 0.076 | 0.001 | 0.012 |

Mediante la optimización de la compensación se logró el ajuste óptimo de los bancos de condensadores de (0.123 – 0.360) obteniéndose numerosos cambios en el factor de potencia que experimenta una variación entre sus valores óptimos de (0.94 – 0.94) lo que trae consigo una reducción de las pérdidas entre nodos que oscilan entre (0.003 – 0.007 MW), con una pérdida del sistema de 0.013MW provocando un gasto de energía perdida de117693.969 kWh con un costo de 9415.52 $. Ver Tabla 3.39 y 3.40.

- **Variante 10: Variación de la potencia activa en un 4% y la reactiva en un 1%.**

Compensación sin optimización.

**Tabla 3.41 Valores de (Pn, Qn, Un, Cos Fi) de la variante base después de la compensación sin optimización.**

| Nodo | Pn(MW) | Qn(MVAr) | Qc(cMVAr) | Un | Cos Fi |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 1.079 | 0.399 | 0 | 10.5 | 0.89 |
| 3 | 1.092 | 0.528 | 0.124 | 0.476 | 0.90 |
| 4 | 0.426 | 0.206 | 0.269 | 0.445 | 0.90 |
| 5 | 0.436 | 0.211 | 0.316 | 0.445 | 0.90 |
| 6 | 0.217 | 0.105 | 0.274 | 0.461 | 0.90 |

**Tabla 3.42 Resultados de potencia activa, potencia reactiva, pérdidas activas y pérdidas reactivas entre nodos después de la compensación sin optimización.**

| Desde Nodo | Hasta Nodo | P(MW) | Q(MVAr) | Pérdida P(MW) | Pérdida Q(MVAr) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 3 | 1.095 | 0.547 | | |
| 3 | 2 | 1.092 | 0.528 | 0.003 | 0.019 |
| 3 | 4 | 0.432 | 0.263 | | |
| 4 | 3 | 0.426 | 0.206 | 0.006 | 0.056 |
| 3 | 5 | 0.442 | 0.271 | | |
| 5 | 3 | 0.436 | 0.211 | 0.006 | 0.059 |
| 3 | 6 | 0.218 | 0.119 | | |
| 6 | 3 | 0.217 | 0.105 | 0.001 | 0.014 |

Mediante la compensación se logró ajustar los bancos de condensadores con un valor entre (0.124 - 0.316 cMVAr) el factor de potencia se elevó hasta 0.9. Provocando una reducción de las pérdidas totales del sistema hasta 0.016MW con un gasto de energía perdida de 143327.951 kWh lo que representa un costo por este concepto de 11466.24$ y una variación de las pérdidas activas entre los nodos de (0.001 – 0.006MW). Ver Tabla 3.41 y 3.42.

Compensación con optimización.

**Tabla 3.43 Valores de (Pn, Qn, Un, Cos Fi) de la variante después de la compensación con optimización.**

| Nodo | Pn(MW) | Qn(MVAr) | Qc(cMVAr) | Un | Cos Fi |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 1.079 | 0.330 | 0 | 10.5 | 0.92 |
| 3 | 1.091 | 0.452 | 0.111 | 0.476 | 0.92 |
| 4 | 0.426 | 0.153 | 0.322 | 0.452 | 0.94 |
| 5 | 0.436 | 0.211 | 0.316 | 0.445 | 0.90 |
| 6 | 0.217 | 0.078 | 0.302 | 0.465 | 0.94 |

**Tabla 3.44 Comportamiento de la potencia activa, potencia reactiva, pérdidas activas y pérdidas reactivas entre nodos después de la compensación con optimización.**

| Desde Nodo | Hasta Nodo | P(MW) | Q(MVAr) | Pérdida P(MW) | Pérdida Q(MVAr) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 3 | 1.094 | 0.469 | | |
| 3 | 2 | 1.091 | 0.452 | 0.003 | 0.018 |
| 3 | 4 | 0.431 | 0.203 | | |
| 4 | 3 | 0.426 | 0.153 | 0.005 | 0.05 |
| 3 | 5 | 0.442 | 0.27 | | |
| 5 | 3 | 0.436 | 0.211 | 0.006 | 0.059 |
| 3 | 6 | 0.218 | 0.09 | | |
| 6 | 3 | 0.217 | 0.078 | 0.001 | 0.012 |

Mediante la optimización de la compensación se logró el ajuste óptimo de los bancos de condensadores de (0.11 – 0.322) obteniéndose numerosos cambios en el factor de potencia que experimenta una variación entre sus valores óptimos de (0.92 – 0.94) lo que trae consigo una reducción de las pérdidas entre nodos que oscilan entre (0.001 – 0.006 MW), con una pérdida del sistema de 0.013MW provocando un gasto de energía perdida de134777.593 kWh con un costo de 10782.21$. Ver Tabla 3.43 y 3.44.

- **Variante 11: Variación de la potencia activa en un 8% y la reactiva en un 1%.**

Compensación sin optimización.

**Tabla 3.45 Valores de (Pn, Qn, Un, Cos Fi) de la variante base después de la compensación sin optimización.**

| Nodo | Pn(MW) | Qn(MVAr) | Qc(cMVAr) | Un | Cos Fi |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 0.995 | 0.379 | 0 | 10.5 | 0.89 |
| 3 | 1.006 | 0.487 | 0.102 | 0.476 | 0.90 |
| 4 | 0.365 | 0.177 | 0.305 | 0.451 | 0.90 |
| 5 | 0.416 | 0.201 | 0.284 | 0.447 | 0.90 |
| 6 | 0.214 | 0.104 | 0.261 | 0.462 | 0.90 |

**Tabla 3.46 Resultados de potencia activa, potencia reactiva, pérdidas activas y pérdidas reactivas entre nodos después de la compensación sin optimización.**

| Desde Nodo | Hasta Nodo | P(MW) | Q(MVAr) | Pérdida P(MW) | Pérdida Q(MVAr) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 3 | 1.009 | 0.503 | | |
| 3 | 2 | 1.006 | 0.487 | 0.003 | 0.016 |
| 3 | 4 | 0.369 | 0.217 | | |
| 4 | 3 | 0.365 | 0.117 | 0.004 | 0.04 |
| 3 | 5 | 0.421 | 0.255 | | |
| 5 | 3 | 0.416 | 0.201 | 0.005 | 0.054 |
| 3 | 6 | 0.215 | 0.117 | | |
| 6 | 3 | 0.214 | 0.104 | 0.001 | 0.013 |

Mediante la compensación se pudo observar a partir del ajuste de los bancos de condensadores con un valor entre (0.102 - 0.305 cMVAr) el factor de potencia se elevó hasta 0.9. Provocando una reducción de las pérdidas del sistema hasta 0.014MW con un gasto de energía perdida de 119317.854 kWh lo que representa un costo por este concepto de 9545.43$ y una variación de las pérdidas activas entre los nodos de (0.001 – 0.006MW). Ver Tabla 3.45 y 3.46.

Compensación con optimización.

**Tabla 3.47 Valores de (Pn, Qn, Un, Cos Fi) de la variante después de la compensación con optimización.**

| Nodo | Pn(MW) | Qn(MVAr) | Qc(cMVAr) | Un | Cos Fi |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 0.995 | 0.254 | 0 | 10.5 | 0.94 |
| 3 | 1.005 | 0.35 | 0.113 | 0.477 | 0.94 |
| 4 | 0.365 | 0.116 | 0.367 | 0.459 | 0.95 |
| 5 | 0.416 | 0.173 | 0.312 | 0.451 | 0.92 |
| 6 | 0.214 | 0.078 | 0.287 | 0.466 | 0.94 |

**Tabla 3.48 Comportamiento de la potencia activa, potencia reactiva, pérdidas activas y pérdidas reactivas entre nodos después de la compensación con optimización.**

| Desde Nodo | Hasta Nodo | P(MW) | Q(MVAr) | Pérdida P(MW) | Pérdida Q(MVAr) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 3 | 1.007 | 0.365 | | |
| 3 | 2 | 1.005 | 0.35 | 0.003 | 0.014 |
| 3 | 4 | 0.368 | 0.151 | | |
| 4 | 3 | 0.365 | 0.116 | 0.003 | 0.035 |
| 3 | 5 | 0.421 | 0.223 | | |
| 5 | 3 | 0.416 | 0.173 | 0.005 | 0.05 |
| 3 | 6 | 0.215 | 0.087 | | |
| 6 | 3 | 0.214 | 0.078 | 0.001 | 0.012 |

Mediante la optimización de la compensación se logró el ajuste óptimo de los bancos de condensadores de (0.107 – 0.367) obteniéndose numerosos cambios en el factor de potencia que experimenta una variación entre sus valores óptimos de (0.92 – 0.95) lo que trae consigo una reducción de las pérdidas entre nodos que oscilan entre (0.001 – 0.005 MW), con una pérdida del sistema de 0.012MW provocando un gasto de energía perdida de107635.691 kWh con un costo de 8610.86$. Ver Tabla 3.47 y 3.48.

- **Variante 12: Variación de la potencia activa en un 8% y la reactiva en un 27%.**

Compensación sin optimización.

**Tabla 3.49 Valores de (Pn, Qn, Un, Cos Fi) de la variante base después de la compensación sin optimización.**

| Nodo | Pn(MW) | Qn(MVAr) | Qc(cMVAr) | Un | Cos Fi |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 1.081 | 0.400 | 0 | 10.5 | 0.89 |
| 3 | 1.094 | 0.529 | 0.124 | 0.476 | 0.90 |
| 4 | 0.427 | 0.207 | 0.271 | 0.445 | 0.90 |
| 5 | 0.434 | 0.21 | 0.312 | 0.445 | 0.90 |
| 6 | 0.22 | 0.107 | 0.261 | 0.461 | 0.90 |

**Tabla 3.50 Resultados de potencia activa, potencia reactiva, pérdidas activas y pérdidas reactivas entre nodos después de la compensación sin optimización.**

| Desde Nodo | Hasta Nodo | P(MW) | Q(MVAr) | Pérdida P(MW) | Pérdida Q(MVAr) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 3 | 1.097 | 0.548 | | |
| 3 | 2 | 0.1.094 | 0.529 | 0.003 | 0.019 |
| 3 | 4 | 0.433 | 0.264 | | |
| 4 | 3 | 0.427 | 0.207 | 0.006 | 0.057 |
| 3 | 5 | 0.44 | 0.269 | | |
| 5 | 3 | 0.434 | 0.21 | 0.006 | 0.059 |
| 3 | 6 | 0.221 | 0.121 | | |
| 6 | 3 | 0.22 | 0.107 | 0.001 | 0.014 |

Mediante la compensación se pudo observar cómo a través del ajuste de los bancos de condensadores con un valor entre (0.124 - 0.312 cMVAr) el factor de potencia se elevó hasta 0.9. Provocando una reducción de las pérdidas del sistema hasta 0.016MW con un gasto de energía perdida de 143524.817 kWh lo que representa un costo de 11481.99 $ y una variación de las pérdidas activas entre los nodos de (0.001 – 0.006MW). Ver Tabla 3.49 y 3.50.

Compensación con optimización.

**Tabla 3.51 Valores de (Pn, Qn, Un, Cos Fi) de la variante después de la compensación con optimización.**

| Nodo | Pn(MW) | Qn(MVAr) | Qc(cMVAr) | Un | Cos Fi |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 1.081 | 0.276 | 0 | 10.5 | 0.94 |
| 3 | 1.093 | 0.393 | 0.136 | 0.476 | 0.94 |
| 4 | 0.427 | 0.153 | 0.326 | 0.453 | 0.94 |
| 5 | 0.434 | 0.179 | 0.344 | 0.449 | 0.92 |
| 6 | 0.22 | 0.08 | 0.288 | 0.465 | 0.94 |

**Tabla 3.52 Comportamiento de la potencia activa, potencia reactiva, pérdidas activas y pérdidas reactivas entre nodos después de la compensación con optimización.**

| Desde Nodo | Hasta Nodo | P(MW) | Q(MVAr) | Pérdida P(MW) | Pérdida Q(MVAr) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 3 | 1.096 | 0.41 | | |
| 3 | 2 | 0.093 | 0.393 | 0.003 | 0.017 |
| 3 | 4 | 0.432 | 0.203 | | |
| 4 | 3 | 0.27 | 0.153 | 0.005 | 0.05 |
| 3 | 5 | 0.439 | 0.234 | | |
| 5 | 3 | 0.434 | 0.179 | 0.005 | 0.055 |
| 3 | 6 | 0.221 | 0.093 | | |
| 6 | 3 | 0.22 | 0.08 | 0.001 | 0.013 |

Mediante la optimización de la compensación se logró el ajuste óptimo de los bancos de condensadores de (0.136 – 0.344) obteniéndose numerosos cambios en el factor de potencia que experimenta una variación entre sus valores óptimos de (0.924 – 0.942) lo que trae consigo una reducción de las pérdidas entre nodos que oscilan entre (0.001 – 0.005 MW), con una pérdida del sistema de 0.015MW provocando un gasto de energía perdida de130185.425 kWh con un costo de 10414.83$. Ver Tabla 3.51 y 3.52.

- **Variante 13: Variación de la potencia activa en un 4% y la reactiva en un 2%.**

Compensación sin optimización.

**Tabla 3.53 Valores de (Pn, Qn, Un, Cos Fi) de la variante base después de la compensación sin optimización.**

| Nodo | Pn(MW) | Qn(MVAr) | Qc(cMVAr) | Un | Cos Fi |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 1.040 | 0.389 | 0 | 10.5 | 0.89 |
| 3 | 1.052 | 0.509 | 0.114 | 0.476 | 0.90 |
| 4 | 0.365 | 0.177 | 0.305 | 0.45 | 0.90 |
| 5 | 0.455 | 0.22 | 0.31 | 0.443 | 0.90 |
| 6 | 0.22 | 0.107 | 0.283 | 0.461 | 0.90 |

**Tabla 3.54 Resultados de potencia activa, potencia reactiva, pérdidas activas y pérdidas reactivas entre nodos después de la compensación sin optimización.**

| Desde Nodo | Hasta Nodo | P(MW) | Q(MVAr) | Pérdida P(MW) | Pérdida Q(MVAr) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 3 | 1.055 | 0.527 | | |
| 3 | 2 | 1.052 | 0.509 | 0.003 | 0.017 |
| 3 | 4 | 0.369 | 0.217 | | |
| 4 | 3 | 0.365 | 0.177 | 0.004 | 0.041 |
| 3 | 5 | 0.462 | 0.285 | | |
| 5 | 3 | 0.455 | 0.22 | 0.007 | 0.065 |
| 3 | 6 | 0.221 | 0.121 | | |
| 6 | 3 | 0.22 | 0.107 | 0.001 | 0.014 |

Mediante la compensación se pudo observar cómo a través del ajuste de los bancos de condensadores con un valor entre (0.114- 0.305 cMVAr) el factor de potencia se elevó hasta 0.9. Provocando una reducción de las pérdidas del sistema hasta 0.015MW c con un gasto de energía perdida de 132523.508 kWh lo que representa un costo por este concepto de 10601.88$ en pérdidas y una variación de las pérdidas activas entre los nodos de (0.001 – 0.007MW). Ver Tabla 3.53 y 3.54.

Compensación con optimización.

**Tabla 3.55 Valores de (Pn, Qn, Un, Cos Fi) de la variante después de la compensación con optimización.**

| Nodo | Pn(MW) | Qn(MVAr) | Qc(cMVAr) | Un | Cos Fi |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 1.040 | 0.371 | 0 | 10.5 | 0.90 |
| 3 | 1.052 | 0.488 | 0.103 | 0.476 | 0.91 |
| 4 | 0.365 | 0.177 | 0.305 | 0.451 | 0.90 |
| 5 | 0.455 | 0.205 | 0.325 | 0.445 | 0.91 |
| 6 | 0.22 | 0.092 | 0.297 | 0.463 | 0.92 |

**Tabla 3.56 Comportamiento de la potencia activa, potencia reactiva, pérdidas activas y pérdidas reactivas entre nodos después de la compensación con optimización.**

| Desde Nodo | Hasta Nodo | P(MW) | Q(MVAr) | Pérdida P(MW) | Pérdida Q(MVAr) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 3 | 1.055 | 0.505 | | |
| 3 | 2 | 1.052 | 0.488 | 0.003 | 0.017 |
| 3 | 4 | 0.369 | 0.217 | | |
| 4 | 3 | 0.365 | 0.117 | 0.004 | 0.04 |
| 3 | 5 | 0.461 | 0.268 | | |
| 5 | 3 | 0.455 | 0.205 | 0.006 | 0.063 |
| 3 | 6 | 0.221 | 0.106 | | |
| 6 | 3 | 0.22 | 0.092 | 0.001 | 0.013 |

Mediante la optimización de la compensación se logró el ajuste óptimo de los bancos de condensadores de (0.103 – 0.325) obteniéndose numerosos cambios en el factor de potencia que experimenta una variación entre sus valores óptimos de (0.90 – 0.92) lo que trae consigo una reducción de las pérdidas entre nodos que oscilan entre (0.001 – 0.006 MW), con una pérdida del sistema de 0.015MW provocando un gasto de energía perdida de129410.049 kWh con un costo de 10352.80$. Ver Tabla 3.55 y 3.56.

- **Variante 14: Variación de la potencia activa en un 5% y la reactiva en un 1%.**

Compensación sin optimización.

**Tabla 3.57 Valores de (Pn, Qn, Un, Cos Fi) de la variante base después de la compensación sin optimización.**

| Nodo | Pn(MW) | Qn(MVAr) | Qc(cMVAr) | Un | Cos Fi |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 1.092 | 0.402 | 0 | 10.5 | 0.89 |
| 3 | 1.052 | 0.509 | 0.114 | 0.476 | 0.90 |
| 4 | 0.365 | 0.177 | 0.305 | 0.45 | 0.90 |
| 5 | 0.455 | 0.22 | 0.31 | 0.443 | 0.90 |
| 6 | 0.22 | 0.107 | 0.283 | 0.461 | 0.90 |

**Tabla 3.58 Resultados de potencia activa, potencia reactiva, pérdidas activas y pérdidas reactivas entre nodos después de la compensación sin optimización.**

| Desde Nodo | Hasta Nodo | P(MW) | Q(MVAr) | Pérdida P(MW) | Pérdida Q(MVAr) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 3 | 1.055 | 0.527 | | |
| 3 | 2 | 1.052 | 0.509 | 0.003 | 0.017 |
| 3 | 4 | 0.369 | 0.217 | | |
| 4 | 3 | 0.365 | 0.177 | 0.004 | 0.041 |
| 3 | 5 | 0.462 | 0.285 | | |
| 5 | 3 | 0.455 | 0.22 | 0.007 | 0.065 |
| 3 | 6 | 0.221 | 0.121 | | |
| 6 | 3 | 0.22 | 0.107 | 0.001 | 0.014 |

Mediante la compensación se pudo observar cómo a través del ajuste de los bancos de condensadores con un valor entre (0.114 - 0.310 cMVAr) el factor de potencia se elevó hasta 0.9. Provocando una reducción de las pérdidas del sistema hasta 0.017MW con un gasto de energía perdida de 132523.508 kWh lo que representa un costo por este concepto de 10601.88$ en pérdidas y una variación de las pérdidas activas entre los nodos de (0.001 – 0.007MW). Ver Tabla 3.57 y 3.58.

Compensación con optimización.

**Tabla 3.59 Valores de (Pn, Qn, Un, Cos Fi) de la variante después de la compensación con optimización.**

| Nodo | Pn(MW) | Qn(MVAr) | Qc(cMVAr) | Un | Cos Fi |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 1.092 | 0.300 | 0 | 10.5 | 0.90 |
| 3 | 1.052 | 0.488 | 0.103 | 0.476 | 0.91 |
| 4 | 0.365 | 0.177 | 0.305 | 0.451 | 0.90 |
| 5 | 0.455 | 0.205 | 0.325 | 0.445 | 0.91 |
| 6 | 0.22 | 0.092 | 0.297 | 0.463 | 0.92 |

**Tabla 3.60 Comportamiento de la potencia activa, potencia reactiva, pérdidas activas y pérdidas reactivas entre nodos después de la compensación con optimización.**

| Desde Nodo | Hasta Nodo | P(MW) | Q(MVAr) | Pérdida P(MW) | Pérdida Q(MVAr) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 3 | 1.055 | 0.505 | | |
| 3 | 2 | 1.052 | 0.488 | 0.003 | 0.017 |
| 3 | 4 | 0.369 | 0.217 | | |
| 4 | 3 | 0.365 | 0.177 | 0.004 | 0.04 |
| 3 | 5 | 0.461 | 0.268 | | |
| 5 | 3 | 0.455 | 0.205 | 0.006 | 0.063 |
| 3 | 6 | 0.221 | 0.006 | | |
| 6 | 3 | 0.22 | 0.092 | 0.001 | 0.013 |

Mediante la optimización de la compensación se logró el ajuste óptimo de los bancos de condensadores de (0.103 – 0.325) obteniéndose numerosos cambios en el factor de potencia que experimenta una variación entre sus valores óptimos de (0.92 – 0.92) lo que trae consigo una reducción de las pérdidas entre nodos que oscilan entre (0.003 – 0.006 MW), con una pérdida del sistema de 0.015MW provocando un gasto de energía perdida de129410.049 kWh con un costo de 10352.80$. Ver Tabla 3.59 y 3.60.

## 3.4 Análisis de los resultados obtenidos en la compensación sin optimización y con optimización.

Después de haber desarrollado el proceso de compensación sin optimización y con optimización hemos llegado a la conclusión que cuando compensamos sin optimizar obtenemos una sola posible solución aplicable al sistema. Mientras que en la optimización encontramos un conjunto de soluciones óptimas dándonos la posibilidad de escoger la más eficiente, lográndose a través de esta solución eficiente una mejora del factor de potencia por encima de 0.9, trayendo consigo una disminución en las pérdidas tanto activas como reactivas dentro de la red eléctrica.

A continuación se mostrará en la tabla 3.61 los resultados del factor de potencia, las pérdidas de potencia activa y reactiva totales del sistema sin optimización y con optimización con sus respectivos gráficos, que muestran como el factor de potencia que se logró mediante la optimización se mantiene por encima del que se obtuvo sin optimizar, consiguiéndose que las pérdidas obtenidas en la optimización se mantengan con valores por debajo de las que se obtuvieron sin optimizar y seguidamente

**Tabla 3.61 Resultados de factor de potencia, pérdidas en energía de potencia activa y reactiva totales del sistema sin optimización y con optimización.**

| Variantes (horas) | fp (Sin optim.) | fp (Con optim.) | Pérd.en Energ.(kWh) (Sin optim.) | Costo ($) | Pérd.en Energ.(kWh) (Con optim.) | Costo ($) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Base | 0.90 | 0.94 | 124788.13 | 9983.05 | 112532.465 | 9002.6 |
| 1 | 0.90 | 0.94 | 166600.774 | 13328.06 | 151097.765 | 12087.82 |
| 2 | 0.90 | 0.94 | 119355.867 | 9548.47 | 107611.41 | 8608.91 |
| 3 | 0.90 | 0.92 | 424253.82 | 33940.31 | 409421.27 | 327553.7 |
| 4 | 0.90 | 0.95 | 140091.85 | 11207.35 | 126482.76 | 10118.62 |
| 5 | 0.90 | 0.94 | 167333.79 | 13386.7 | 152821.31 | 12225.71 |
| 6 | 0.90 | 0.94 | 121556.28 | 9724.5 | 109424.58 | 8753.97 |
| 7 | 0.90 | 0.94 | 142244.83 | 11379.59 | 128796.61 | 10303.73 |
| 8 | 0.90 | 0.92 | 133846.2 | 10707.7 | 127328.08 | 10186.25 |
| 9 | 0.90 | 0.94 | 130289.96 | 10423.2 | 117693.97 | 9415.52 |
| 10 | 0.90 | 0.93 | 143327.95 | 11466.24 | 134777.59 | 10782.21 |
| 11 | 0.90 | 0.94 | 119317.854 | 9545.43 | 107635.69 | 8610.86 |
| 12 | 0.90 | 0.94 | 143524.817 | 11481.99 | 130185.425 | 10414.83 |
| 13 | 0.90 | 0.91 | 132523.51 | 10601.88 | 129410.05 | 10352.8 |
| 14 | 0.90 | 0.94 | 132523.51 | 10601.88 | 129410.049 | 10352.8 |

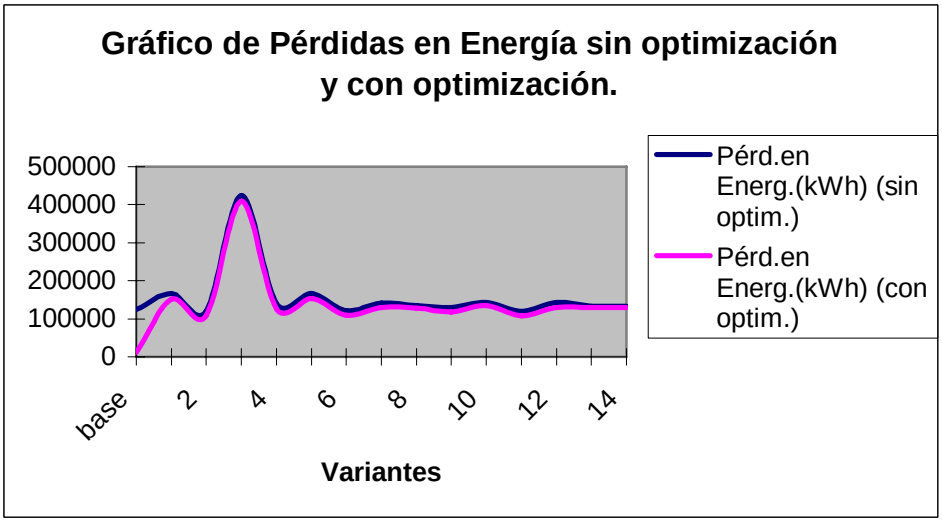



**Fig. 3.2 Comportamiento de las pérdidas en energía con optimización y sin optimización.**

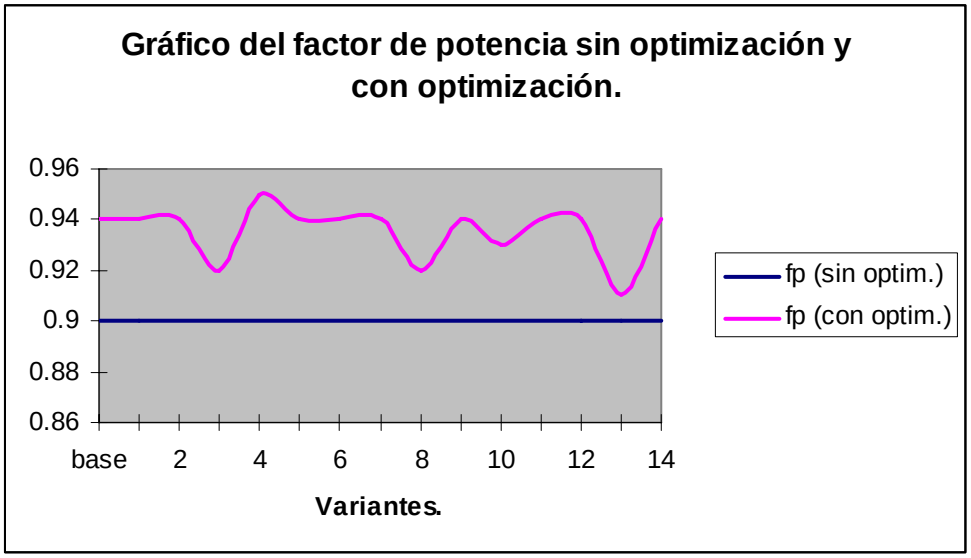



**Fig. 3.3 Comportamiento del factor de potencia con optimización y sin optimización.**

Para la validación del programa creado en MATLAB se mostrará a continuación mediante la Tabla 3.62 y 3.63 los resultados obtenidos en la variante base después de la compensación en el Dycse con los del programa de MATLAB.

**Tabla 3.62 Resultados obtenidos en los dos programas antes de la compensación.**

| | MATLAB | Dycse | MATLAB | Dycse | MATLAB | Dycse |
|---|---|---|---|---|---|---|
| (Barras) | (Fp) | (Fp) | Pérd. P (MW) | Pérd. P (MVAr) | Pérd. de Q (MW) | Pérd. de Q (MVAr) |
| 3 | 0.53 | 0.53 | 0.0089 | 0.009 | 0.0517 | 0.052 |
| 4 | 0.60 | 0.60 | 0.01105 | 0.011 | 0.1129 | 0.113 |
| 5 | 0.64 | 0.64 | 0.01458 | 0.015 | 0.1488 | 0.149 |
| 6 | 0.50 | 0.50 | 0.00563 | 0.005 | 0.05102 | 0.051 |

**Tabla 3.63 Resultados obtenidos en los dos programas después de la compensación.**

| | MATLAB | Dycse | MATLAB | Dycse | MATLAB | Dycse |
|---|---|---|---|---|---|---|
| (Barras) | Pérd. P (MW) | Pérd. P (MVAr) | Pérd. de Q (MW) | Pérd. de Q (MVAr) | Qc(cMVAr) | Qc(cMVAr) |
| 3 | 0.00302 | 0.003 | 0.01623 | 0.016 | 0.1065 | 0.107 |
| 4 | 0.00421 | 0.004 | 0.04045 | 0.041 | 0.30547 | 0.305 |
| 5 | 0.00595 | 0.006 | 0.05879 | 0.059 | 0.31328 | 0.312 |
| 6 | 0.00103 | 0.001 | 0.013 | 0.013 | 0.22662 | 0.266 |

A través de todo el proceso realizado anteriormente podemos decir que se ha demostrado de forma manual el funcionamiento que podría realizar un sistema de control automático. Pues se proceso toda la información disponible de potencia activa, potencia reactiva, factor de potencia, que presentaba el sistema inicialmente partiendo de una variante base. Para luego, realizar un ajuste de los Qc en cada banco de capacitores conectados en las barras. Efectuándose la compensación sin optimización y con optimización tomándose como vía más factible la optimizada mediante la cual se realizará una búsqueda exhaustiva de la solución más óptima, para así de esta manera minimizar las pérdidas en el sistema y ajustar el Qc de forma independiente en cada banco. Repitiéndose este proceso cada vez que haya una nueva variación de potencia activa y reactiva en el sistema como se muestra en cada una de las variantes. En el caso de mi trabajo ocurren catorce variaciones de potencia, ofreciéndonos catorce variantes a optimizar. Después de este comentario podemos realizar la propuesta de un sistema de control a partir de una optimización online.

## 3.5 Propuesta del sistema de control a partir de una optimización online.

Al comprobar los resultados obtenidos en la optimización que garantizan el correcto funcionamiento del sistema y una minimización de las pérdidas en energía al máximo. Haré la propuesta de un sistema de control, el cual deberá ser operado en futuras investigaciones de forma automática siguiendo este mismo proceso. **Ver Fig.3.4**

A continuación les damos una pequeña explicación de cómo podría funcionar de forma automática:

- Primeramente la computadora recibe los valores actualizados que presentan las barras (3, 4, 5, 6) de forma independiente. Estos valores pueden ser recibidos cada media hora o una hora según sea necesario.
- Luego se procesará esta información y se realizará una compensación de potencia reactiva mediante una optimización precisa. Obteniendo un conjunto de soluciones optimas, con el objetivo de minimizar las pérdidas al máximo, tomándose la solución más óptima.
- Al tomar la propuesta más óptima se mandará una señal al regulador máster.
- Este regulador es el encargado de dirigir los otros cuatro reguladores esclavos que están conectados a cada sistema de bancos de condensadores instalados en las cuatro barras de forma independiente.
- Estos reguladores esclavos solo actúan al recibir la señal del regulador master. Cuando reciben esta señal proceden de forma independiente en cada sistema de bancos de condensadores al que están conectados. Regulando los Qc de los bancos hasta lograr satisfacer la solución más óptima.
- Al regularse los Qc de forma automática se obtiene como resultado una minimización de las pérdidas en cada barra del sistema.
- Después de todo este proceso si ocurre alguna variación en las pérdidas o potencias se volverá a realizar nuevamente.

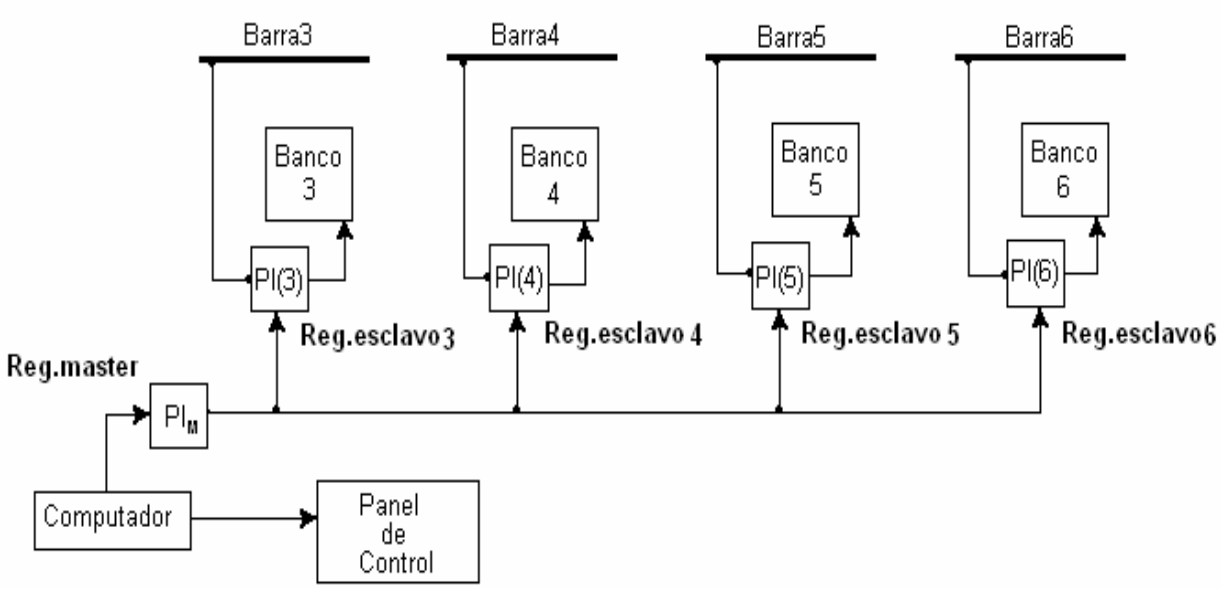



**Fig 3.4.Propuesta del sistema de control a partir de una optimización online.**

## 3.6 Propuesta de un algoritmo para el sistema de control.

Para el sistema de control antes mencionado se realizó la propuesta de un algoritmo para su funcionamiento, ver figura 3.5.

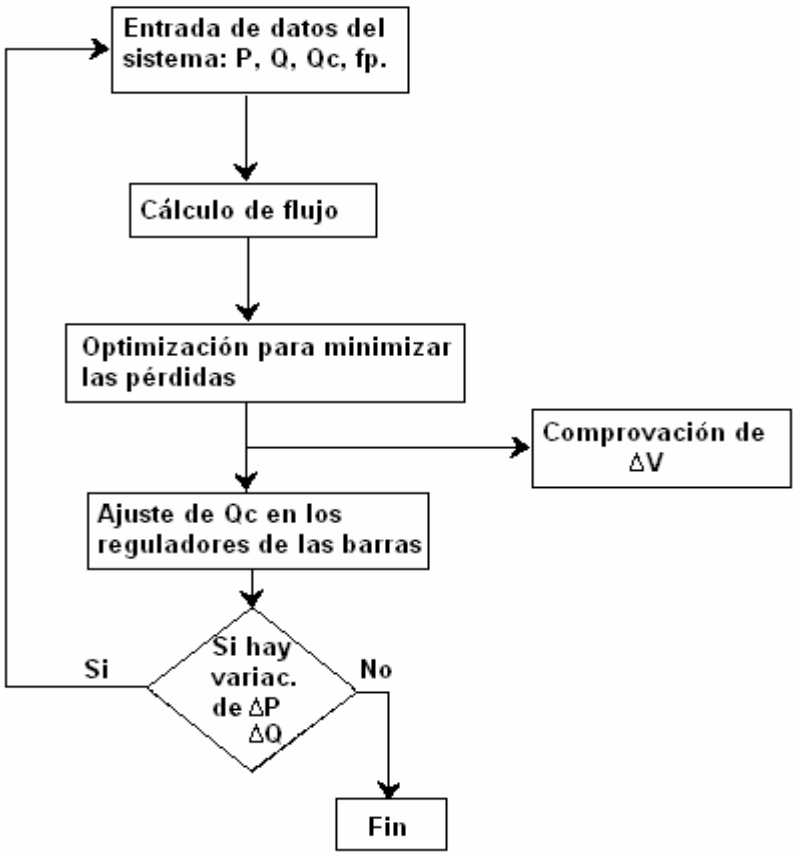



**Fig 3.5. Algoritmo.**

## 3.7 Conclusiones.

En el presente capítulo se tienen las siguientes conclusiones.

- La optimización aplicada a la compensación ofrece un conjunto de soluciones, capaces de elevar el factor de potencia por encima de 0.9.

- Las pérdidas en energía dentro de la compensación optimizada están entre los 138221.93 kWh mientras que la obtenidas mediante la compensación sin optimización están en los 156105. 2761 kWh. Pudiéndose decir que la optimización es una vía eficiente dentro de la compensación.

# Conclusiones Generales.

A partir del trabajo realizado hemos podido observar los diferentes problemas existentes dentro de los sistemas eléctricos industriales, realizándose un proceso minucioso con vista a darle solución, pudiéndose arribar a las siguientes conclusiones:

- Mediante la compensación se puede obtener solo una solución para resolver el problema del factor de potencia y las pérdidas en energía, mientras que al aplicar la optimización de este proceso se obtuvo un conjunto de soluciones, dando la oportunidad de seleccionar la más eficiente.
- A través de la optimización se logró una reducción de las pérdidas en energía de hasta un 10%. Pudiéndose garantizar la eficiencia dentro del sistema eléctrico industrial.
- Según los resultados obtenidos la vía de optimización es la más adecuada para la aplicación del sistemas de control dentro de las redes eléctricas industriales. Permitiendo escoger dentro de una amplia gama de propuestas la más factible.

# Recomendaciones.

Se recomienda en futuras investigaciones poder aplicar el procedimiento realizado en este trabajo a un sistema de control automatizado que realice de forma automática el ajuste de los bancos de capacitares y la compensación óptima de la potencia reactiva. Lográndose mejorar de forma más eficiente el funcionamiento del sistema eléctrico industrial.

# Bibliografía.

[1] Carrillo Caicedo, Gilberto; Ordóñez Plata, Gabriel; Petit Suárez, Johann Farith; Ustariz Farfán Armando J.: Metodología para la compensación de potencia reactiva en sistemas de distribución, 2001.

[2] Feodorov, .A.A; Rodríguez López, Eduardo: Suministro Eléctrico de Empresas Industriales, 2000.

[3] Ferrero, Marta B; Chiotti, Omar J. A.: Optimización, 2001.

[4] González Palau, MsC Iliana; Arzola Ruiz, Dr C. José; Marrero Ramírez, Dr C. Secundino; Legrá Lovaina, Dr C. Arístides: Operación bajo criterios múltiples para la compensación de potencia reactiva en redes de suministro eléctrico industriales, 2001.

[5] Guía técnica de la distribución eléctrica en baja tensión Schneider Electric. "Compensación de Energía Reactiva", 2001.

[6] Muñoz, Mario A.; López, Jesús A.; Caicedo, Eduardo F.: Grupo Control Inteligente Usando Optimización por Colonia de Hormigas de Investigación en Percepción y Sistemas Inteligentes, Universidad del Valle, Cali, Colombia, 2001.

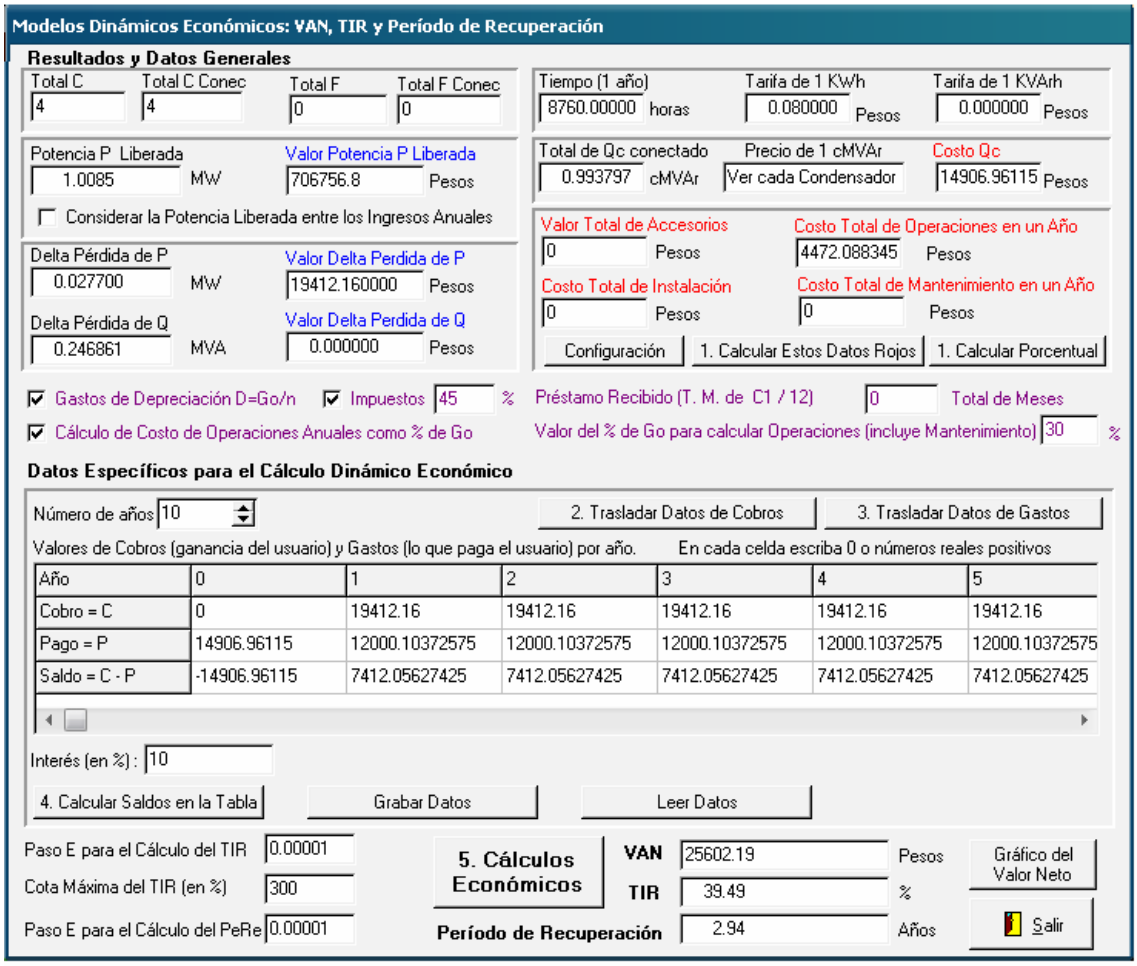
[7] Pajan Lan, Percy Alan: Compensación óptima de potencia reactiva en sistemas eléctricos de potencia mediante algoritmos genéticos, 2000.

[8] PONCE DE LEÓN, DRA. EUNICE ESTHER.; PADILLA, DR. FELIPE.; PADILLA, DR. ALEJANDRO: Diseño de un Modelo de Optimización con Colonias de Hormigas, 2001.

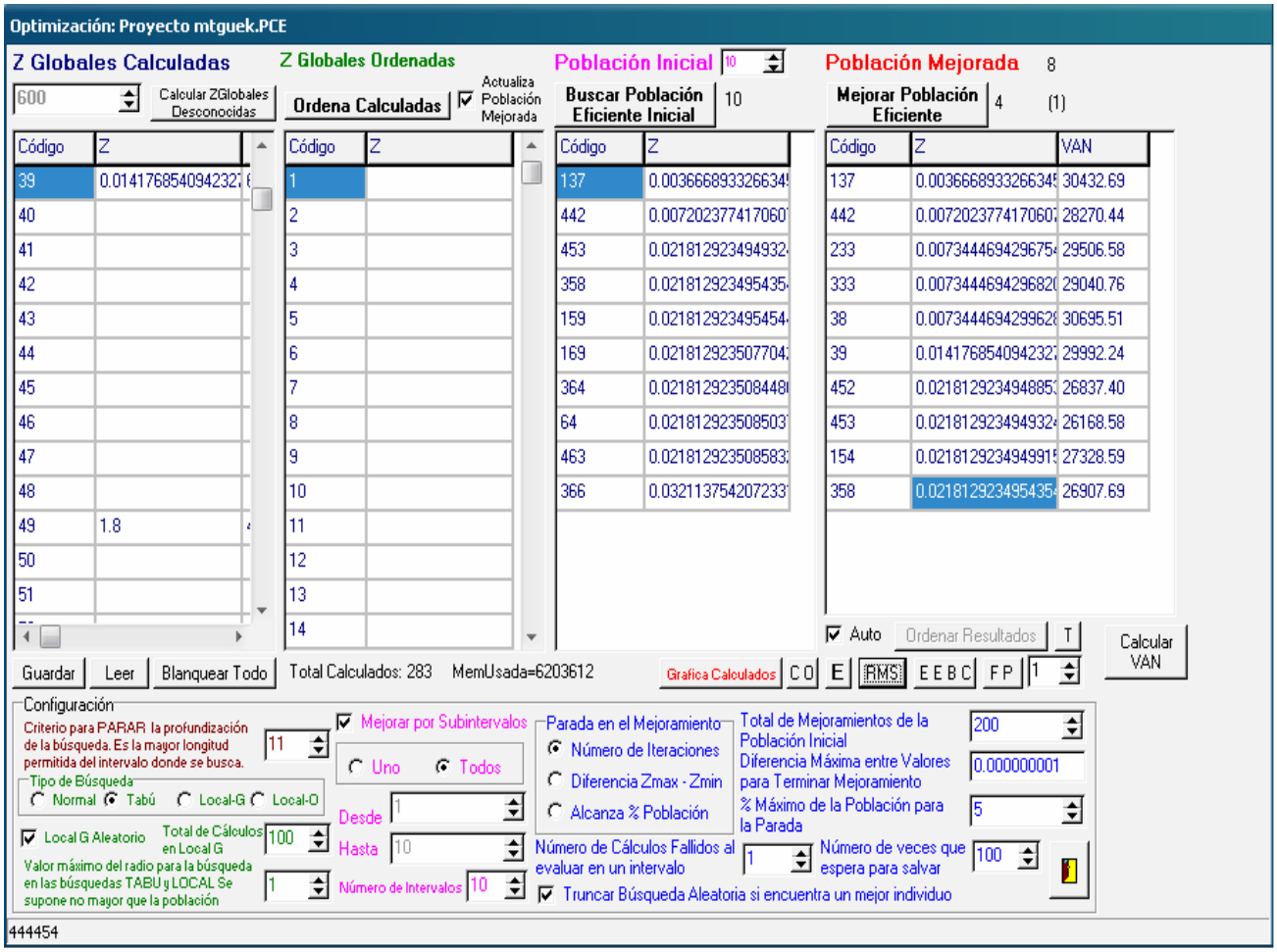
[9] Scenna, Nicolás J.: Modelado, Simulación y Optimización de Procesos Químicos, 1999.

# Anexos.

**<u>Anexo 1</u>: Cálculo del modelo económico: VAN, TIR y período de recuperación en el software "DYCSE".**



**<u>Anexo 2</u>: Modelo para la búsqueda de posibles soluciones dentro de la optimización mediante el software "DYCSE".**



**Anexo 3: Modelo de resultados del cálculo de flujo después de la compensación sin optimización en el software "DYCSE".**

Resultados :

```
Proyecto mtguek.PCE. Armónico 1
Tabla de Resultados Individuales en cada Nodo
Nodo              P              Q          Qc(Con+SE+F+MS)   U        AngCarg(P/Q)    R
 2    B oo        1.067          0.396        0.000        10.500       20.357        0.012
 3    C           0.000          0.121        0.121         0.480      -90.000        0.000
 4    C          -0.395         -0.191        0.321         0.480       25.842        0.360
 5    C          -0.454         -0.220        0.303         0.480       25.842        0.093
 6    C          -0.218         -0.106        0.249         0.480       25.842        0.189
Unidades         MW            MVAr          cMVAr          KV        Grados          VPU

Resultados para cada Nodo en Régimen de Trabajo (A partir del Cálculo de Flujo de Potencias).
Factor de Aceleración REAL al aplicar el Método de Gauss-Seidel: 1.0636363636
Factor de Aceleración IMAGINARIO al aplicar el Método de Gauss-Seidel: 1.0636363636
Error Máximo: 7.16278926381417E-11 en el nodo 5. No de Iteraciones: 13
Nodo          P Real Acum     Q Real Acum        Un           % Caída U     Ang.Volt.Real    Cos Fi Acum
  2    B  NT       0.000           0.000        10.500          0.000          0.000           0.895
  3    C          -1.080          -0.522         0.476          0.916         -0.713          -0.900
  4    C          -0.395          -0.191         0.448          6.669         -5.773           0.900
  5    C          -0.454          -0.220         0.443          7.673         -6.595           0.900
  6    C          -0.218          -0.106         0.461          3.904         -3.423           0.900
Unidades      MW              MVAr              KV                            Grados
SPCRN : Suma de las Pérdidas en las Conexiones Relacionadas con el Nodo.

Tiempo total de Cálculo (incluye cálculo de tabla de armónicos):        1.766 seg.

Potencia Capacitiva del Sistema, Qc =        0.994 cMVAr

Pérdidas Calculadas del Sistema:
    P =        0.016 MW
    Q =        0.145 MVAr
    S =        0.146 MVA

Balance del Cálculo (Suma de P Reales + Pérdidas de P y Suma de Q Reales + Pérdidas de Q):
```

Guardar en Archivo TXT | Mostrar las Tablas con el EXCEL | Cerrar

**<u>Anexo 4</u>: Modelo de resultados del cálculo de flujo después de la compensación optimizada en el software "DYCSE".**

Resultados :

```
Proyecto mtguek.PCE. Armónico 1
Tabla de Resultados Individuales en cada Nodo
Nodo              P              Q          Qc(Con+SE+F+MS)    U        AngCarg(P/Q)     R
 2    B oo        1.067          0.264        0.000        10.500       13.919        0.012
 3    C           0.000          0.133        0.133         0.480      -90.000        0.000
 4    C          -0.395         -0.127        0.385         0.480       17.841        0.360
 5    C          -0.454         -0.190        0.333         0.480       22.669        0.093
 6    C          -0.218         -0.081        0.274         0.480       20.300        0.189
Unidades          MW            MVAr          cMVAr          KV        Grados          VPU

Resultados para cada Nodo en Régimen de Trabajo (A partir del Cálculo de Flujo de Potencias).
Factor de Aceleración REAL al aplicar el Método de Gauss-Seidel: 1.0636363636
Factor de Aceleración IMAGINARIO al aplicar el Método de Gauss-Seidel: 1.0636363636
Error Máximo: 9.85904392665913E-11 en el nodo 5. No de Iteraciones: 13
Nodo          P Real Acum     Q Real Acum        Un           % Caída U     Ang.Volt.Real    Cos Fi Acum
  2    B  NT       0.000           0.000        10.500          0.000          0.000           0.939
  3    C          -1.078          -0.379         0.476          4.921         -0.730          -0.944
  4    C          -0.395          -0.127         0.456          6.718         -5.772           0.952
  5    C          -0.454          -0.190         0.448          6.582         -6.582           0.823
  6    C          -0.218          -0.081         0.465          3.140         -3.446           0.938
Unidades      MW              MVAr              KV                            Grados
SPCRN : Suma de las Pérdidas en las Conexiones Relacionadas con el Nodo.

Tiempo total de Cálculo:        1.000 seg.

Potencia Capacitiva del Sistema, Qc =        1.125 cMVAr

Pérdidas Calculadas del Sistema:
    P =        0.014 MW
    Q =        0.131 MVAr
    S =        0.132 MVA

Balance del Cálculo (Suma de P Reales + Pérdidas de P y Suma de Q Reales + Pérdidas de Q):
```

Guardar en Archivo TXT | Mostrar las Tablas con el EXCEL | Cerrar