Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Mecánica

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Diseño de un banco de condensadores de 9.6 MVAR en media tensión para incrementar el límite de consumo de potencia activa en plantas industriales

Para obtener el título profesional de Ingeniero Mecánico Electricista

Elaborado por:

Carlos Antonio Gutierrez Romero

ID: 0009-0001-8027-5500

Asesor:

Dr. Javier Chávez Vivar

ID: 0000-0002-1979-4264

LIMA – PERÚ

2024

Lista de Contenidos

Lista de Contenidos 2

Lista de Tablas 5

Lista de Figuras 7

Resumen 9

ABSTRACT 10

INTRODUCCIÓN 11

Capítulo I 12

1. Generalidades 12

1.1 Antecedentes de la Investigación 12

1.1.1 Antecedentes Internacionales 12

1.1.2 Antecedentes Nacionales 15

1.2 Identificación y Descripción del Problema de Estudio 17

1.3 Formulación del Problema 21

1.4 Justificación e Importancia 21

1.5 Objetivos 24

1.5.1 Objetivo General 24

1.6 Hipótesis 24

1.6.1 Hipótesis General 24

1.7 Variables y Operacionalización de variables 24

1.7.1 Operacionalización de Variables 24

1.8 Metodología de la Investigación 24

1.8.1 Unidad de Análisis 24

1.8.2 Tipo, Enfoque y Nivel de Investigación 25

1.8.3 Diseño de la Investigación 25

1.8.4 Fuentes de Información 26

1.8.5 Población y Muestra 26
1.8.6 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos 26
1.8.7 Análisis y Procesamiento de Datos 26
Capítulo II 28
2. Marcos teórico y conceptual 28
2.1 Bases Teóricas 28
2.1.1 Compensación Reactiva 28
2.1.2 Factor de Potencia 30
2.1.3 Corriente de Inserción Durante Conmutación de Bancos de Condensadores 32
2.1.4 Sistema de Protección y Control Para Bancos de Condensadores 36
2.1.5 Coordinación del Aislamiento 39
2.1.6 Mecanismos de protección contra sobretensiones 41
2.1.7 Capacitores 42
2.1.8 Flujo de potencia 45
2.2 Marco Conceptual: Definición de términos o conceptos 48
Capítulo III 49
3. Desarrollo del trabajo de investigación 49
3.1 Recolección de Datos 49
3.2 Cálculos y Selección de Componentes 52
3.2.1 Coordinación del aislamiento 52
3.2.2 Selección de condensadores 57
3.2.3 Selección de llaves de vacío para conmutación de pasos 58
3.2.4 Sistema de protección 59
3.2.5 Cálculo de corriente transitoria 62
3.2.6 Arreglo general del banco de condensadores 67
3.2.7 Simulación de flujo de potencia 70
Capítulo IV 76

4. Resultados, Contrastación de Hipótesis y Discusión de Resultados 76

CONCLUSIONES 78

RECOMENDACIONES 80

REFERENCIAS 82

ANEXOS 84

Anexo A: Matriz de Consistencia 85

Anexo B: Datos de mediciones de campo 86

Lista de Tablas

Tabla 1: *Eventos de colapso de tensión* 19

Tabla 2: *Ejemplo de flujo de potencia en un sistema radial* 29

Tabla 3: *Factor de potencia y ratio Q/P* 32

Tabla 4: *Valores típicos de inductancias entre bancos de condensadores* 36

Tabla 5: *Tipos de tensiones y sobretensiones* 39

Tabla 6: *Niveles de tensión de aislamiento normalizados* 40

Tabla 7: *Puntos de medición en planta Trupal* 50

Tabla 8: *Datos técnicos de pararrayos* 52

Tabla 9: *Tensiones de soportabilidad requeridas* 55

Tabla 10: *Tensiones de soportabilidad normalizadas* 56

Tabla 11: *Tensiones de soportabilidad normalizadas requeridas* 56

Tabla 12: *Datos técnicos de unidades capacitivas seleccionadas* 58

Tabla 13: *Datos técnicos de llave de vacío unipolar* 59

Tabla 14: *Datos para el cálculo de corriente de desbalance* 60

Tabla 15: *% fallado que afecta la capacidad de una unidad capacitiva* 60

Tabla 16: *Corriente de desbalance* 60

Tabla 17: *Datos técnicos de relé de protección de desbalance* 61

Tabla 18: *Datos para cálculo de corriente transitoria* 62

Tabla 19: *Cálculos previos de inductancias* 62

Tabla 20: *Corriente transitória para escenario 1* 62

Tabla 21: *Corriente transitoria para escenario 2* 63

Tabla 22: *Corriente transitoria para escenario 3* 63

Tabla 23: *Corriente transitoria para escenario 1A* 64

Tabla 24: *Corriente transitoria para escenario 2A* 64

Tabla 25: *Corriente transitoria para escenario 3A* 64

Tabla 26: *Resultados de flujo de potencia sin banco de condensadores*..... 71

Tabla 27: *Resultados de flujo de potencia con banco de condensadores*..... 73

Tabla 28: *Corriente de desbalance*..... 76

Lista de Figuras

Figura 1: *Corriente de inserción durante energización de banco mientras otro está energizado (back to back switching)* 13

Figura 2: *Escenarios de Proyección de Demanda Perú* 17

Figura 3: *Venta de energía por tipo de uso (GWh) 2021 Trimestre III* 18

Figura 4: *Corriente de motor durante el arranque directo* 20

Figura 5: *Proceso Productivo de una Industria Papelera* 22

Figura 6: *Consumo de energía en la industria papelera* 22

Figura 7: *Consumo de energía eléctrica en una industria papelera* 23

Figura 8: *Diagrama unifilar de un sistema trifásico radial* 28

Figura 9: *Diagrama fasorial del sistema sin compensación reactiva* 29

Figura 10: *Diagrama fasorial del sistema con compensación reactiva* 30

Figura 11: *Relación entre potencia activa, reactiva y aparente* 31

Figura 12: *Diagrama unifilar de energización de banco de condensadores aislado* 33

Figura 13: *Típica tensión y corriente transitoria durante la energización de un banco de condensadores aislado* 33

Figura 14: *Esquema típico de banco de condensadores de varios pasos* 35

Figura 15: *Cuatro de configuraciones más comunes en bancos de condensadores* 36

Figura 16: *Desbalance de corriente/tensión del neutro* 37

Figura 17: *Desbalance de corriente/tensión del neutro* 38

Figura 18: *Fases del diseño de pararrayos* 41

Figura 19: *Esquema banco de condensadores con capacitores de fusibles externos* 43

Figura 20: *Esquema banco de condensadores con capacitores de fusibles internos* 44

Figura 21: *Esquema de un banco de condensadores con capacitores sin fusibles* . 45

Figura 22: *Espacio disponible para instalación de banco de condensadores* 49

Figura 23: *Esquema unifilar planta Trupal con puntos de medición en campo* 51

Figura 24: *Evaluación del factor de coordinación estadística Kcd* 54
Figura 25: *Unidades capacitivas seleccionadas* 57
Figura 26: *Llave de vacío unipolar* 58
Figura 27: *Relé de protección de desbalance* 61
Figura 28: *Inductancia de inserción* 65
Figura 29: *Diagrama trifilar de banco de condensadores* 66
Figura 30: *Disposición general de equipos para banco de condensadores* 68
Figura 31: *Instalación de banco de condensadores* 69
Figura 32: *Instalación de banco de condensadores* 69
Figura 33: *Instalación de banco de condensadores* 70
Figura 34: *Diagrama P-V de barra 13.8 kV sin banco de condensadores* 71
Figura 35: *Diagrama P-V de barra 13.8 kV con banco de condensadores* 72
Figura 36: *Diagrama P-V de barra 13.8 kV con y sin banco de condensadores* 73
Figura 37: *Simulación de flujo de potencia con banco de condensadores y una máxima potencia de 34 MW* 74
Figura 38: *Simulación de flujo de potencia sin banco de condensadores y una máxima potencia de 30 MW* 75

Resumen

El objetivo de la presente investigación fue diseñar un banco de condensadores en media tensión que será utilizado en la red eléctrica de una planta industrial, con el propósito de ampliar los límites de demanda de potencia activa para asegurar el crecimiento de la producción futura y mejorar la calidad de energía.

La compensación de potencia reactiva es necesaria en empresas industriales debido a que la característica de sus cargas posee un bajo factor de potencia y, por lo tanto, tienen un elevado consumo de potencia reactiva, sin embargo, una de las principales razones para utilizar este tipo de compensación se debe a que la red de transmisión, asociada a la planta industrial, no está debidamente reforzada para soportar los requerimientos de incremento de carga que este tipo de compañías demanda.

Los bancos de condensadores son integraciones de varios componentes, por lo tanto, no existe una guía específica para su diseño, sin embargo, en esta investigación se tomarán las recomendaciones de los estándares de la IEEE e IEC para la selección de los equipos y para los cálculos asociados. Asimismo, se tomarán en cuenta las especificaciones técnicas del banco definidas por la planta y las restricciones de espacio y de instalación, además, se realizarán simulaciones de flujo de potencia para conocer el nivel de carga que la compañía incrementará manteniendo niveles apropiados de tensión en sus respectivas barras. Palabras clave: Banco de condensadores, potencia activa y tensión.

ABSTRACT

The current research had as a main goal the design of a capacitor bank which will be installed in the medium voltage grid of an industrial factory with the purpose of increase the limit of active power demand and assure the growing of future production and improve the energy quality.

The reactive power compensation has become necessary in industrials companies due to its loads have a low power factor and for that reason consume big amount of reactive power, however one of the main reasons to install this kind of compensation is mainly due to the transmission grid associate to the industrial plant is not properly reinforced to support the load increase that this kind of industry demands.

The capacitors banks are the assembly of many electrical components, for that reason it does not exist a specific guide for its design, however in this research it will be use the recommendation of IEEE and IEC standards for the selection of equipment and calculation. Furthermore, it will be used the technical specification of the bank provided by the industry and the site restrictions related to space and installation, additionally it will be carried out power flow simulation to know the level of active power that the company can increase maintaining proper levels of voltage.

Key words: Capacitor banks, active power and voltage.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de suficiencia profesional tiene como finalidad ampliar los límites de consumo de potencia activa de una planta industrial mediante el diseño de un banco de condensadores de media tensión. Esta investigación está compuesta por los siguientes capítulos:

En el capítulo I se presenta la introducción, la descripción de la problemática relacionada a la compensación reactiva, el objetivo general y los antecedentes investigativos.

En el capítulo II se presentan las bases teóricas y marco conceptual que describen los principales conceptos relacionados a la compensación reactiva que han sido utilizados para el desarrollo del presente trabajo.

En el capítulo III se presentan la hipótesis general y operacionalización de variables independiente y dependiente cada una con su respectivo indicador.

En el capítulo IV se aborda la metodología de la investigación, donde se describe el tipo investigación de acuerdo con las 7 características epistemológicas, el diseño de la investigación, la unidad de análisis y la matriz de consistencia.

En el capítulo V corresponde al desarrollo del trabajo de investigación y comprende el diseño del banco de condensadores, así como simulaciones mediante software para validar la hipótesis.

En el capítulo VI se desarrollan el análisis y discusión de resultados obtenidos en el capítulo anterior y se lleva a cabo la contrastación de la hipótesis.

Como última parte se presentan las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos utilizados en el presente trabajo de suficiencia profesional.

Capítulo I

1. Generalidades

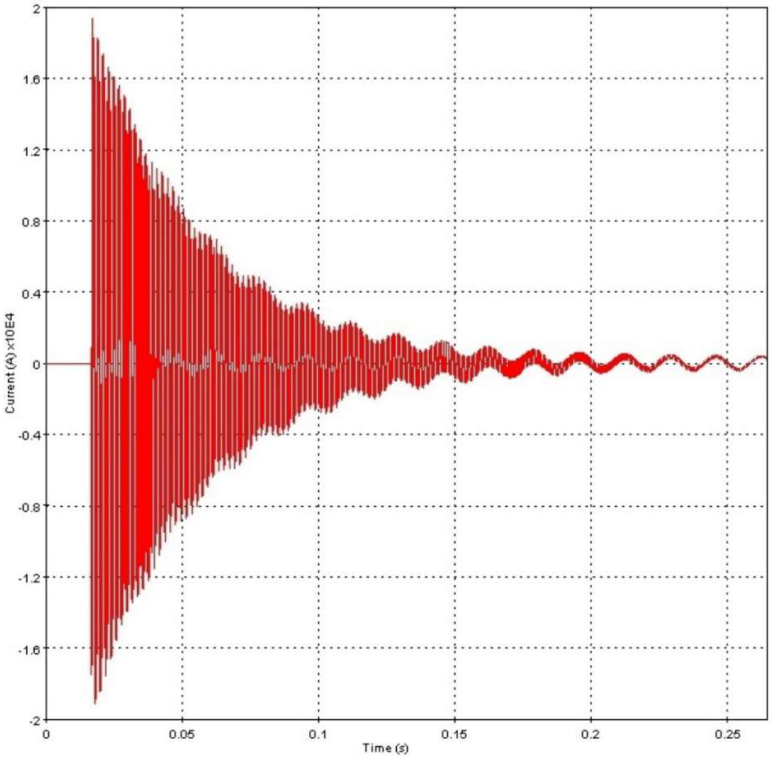
1.1 Antecedentes de la Investigación

1.1.1 Antecedentes Internacionales

En el artículo de J. Marius (2015) “Design Aspects of Medium Voltage Capacitor Banks” [1], el autor describe de manera general los aspectos a considerar en el diseño de bancos de condensadores, que incluyen: el diseño eléctrico, requerimientos operativos y restricciones para su instalación, y enfatiza en considerar las condiciones reales del sitio (temperatura, altitud, nivel de polución, etc.) para diseñar un equipo confiable y eficiente que permita incrementar su vida útil. Asimismo, resalta la necesidad de evaluar la utilización de bancos de condensadores del tipo compactos o “Metal Enclosed” cuando no se cuenta con espacio suficiente, o cuando se necesite minimizar los trabajos en sitio para su instalación.

En el artículo de ABB (2018) “Medium voltage capacitor switching” [2], se analizan los problemas que ocasiona la conmutación de bancos de condensadores y como progresivamente deterioran los componentes de una determinada instalación sobre todo cuando se energiza un banco de condensadores mientras otro banco se encuentra ya energizado (“back to back switching”).

Figura 1:
Corriente de inserción durante energización de banco mientras otro está energizado (back to back switching)



Fuente: ABB (2018) "Medium voltage capacitor switching" [10]

También examina la teoría para el cálculo de la corriente de inserción y propone alternativas, como la instalación de inductancia en serie, resistencia de pre - inserción y el uso de dispositivos de conmutación basados en diodos, para mitigar sus efectos adversos sobre los dispositivos que forman parte del banco de condensadores. La figura 1 grafica la corriente de inserción durante un "back to back switching".

En el artículo de Northeast Power Systems (NEPSI) (2015) "Medium Voltage Metal-Enclosed Power Capacitor Banks" [3], el autor compara las dos configuraciones para bancos de condensadores de media tensión, es decir, entre la solución abierta o "Open Rack" y la compacta o "Metal Enclosed", describe las principales diferencias, así como las ventajas y desventajas de cada configuración. Asimismo, resalta una de las principales ventajas de la opción compacta, que es su tamaño, comparado con la otra alternativa y

como esta solución compacta se aplica también a otro tipo de soluciones como filtros de armónicos.

En el artículo de M. Vipin et al. (2019) “Power Loss Reduction of 11 kV Feeder using Capacitor Banks to Distribution Transformers-A Case Study” [4], se evidencia que los problemas de compensación reactiva no son exclusivos de plantas industriales sino que también se presentan en áreas rurales donde se tenemos como actividad económica la agricultura, en el caso de estudio se cuenta con una red de distribución en 33 y 11 kV donde debido a la desorganización del crecimiento de este tipo de cargas el sistema presenta altas pérdidas de transmisión que ocasionan un bajo factor de potencia y problemas de niveles de tensión. Asimismo, en este sistema se describe que generalmente la compensación reactiva se coloca en las barras de 33 kV y raramente en las barras de 11 kV evitando que la compensación sea más efectiva. En el estudio realizado el autor propone acercar mucho más la compensación a las cargas analizando y simulando la instalación de bancos de condensadores en las barras de 0.415 kV, es decir, más cerca a la carga haciendo de esta forma que la compensación sea mucho más efectiva. Se analizan dos casos; uno sin compensación y otro con compensación y los resultados evidencian las mejoras en la reducción de pérdidas en las líneas de transmisión, reducción en el porcentaje de carga del sistema lo que deja un mayor margen de reserva, mejora en el perfil de tensiones sobre todo en aquellas barras donde las tensiones se acercaban al límite inferior.

La compensación reactiva no solo es de uso exclusivo de industrias convencionales, sino que también se utiliza en la generación de energía eólica y en los sistemas de trenes para transporte de personas, en el artículo de W. Zhen et al. (2021) “Advanced Reactive Power Compensation of Wind Power Plant Using PMU Data” [5], el autor describe los problemas asociados a este tipo de generación que debido a que cuenta con un generador inductivo consume mucha potencia reactiva que a su vez genera una gran cantidad de “flickers” en la salida, en algunos casos estos flicker exceden los límites

permitidos y perjudican la red donde se encuentra conectada, para solucionar este problema se propone implementar un sistema de compensación reactiva utilizando un nuevo método que modela la demanda de potencia reactiva de plantas eólicas. Asimismo, el autor comenta que normalmente se utilizan bancos de condensadores como compensación reactiva convencional pero debido a la naturaleza intermitente de la generación en grandes plantas eólicas, este tipo de compensación estática no es la más adecuada, por eso utiliza equipos de compensación controlados por tiristores como los "Static Var Compensators" que son más precisos para compensar la potencia reactiva que se requiere. En el artículo de V. Morais et al. (2020) "New Reactive Power Compensation Strategies for Railway Infrastructure Capacity Increasing" [6], utiliza un algoritmo de optimización para mejorar el desempeño del sistema eléctrico de trenes y la disminución de pérdidas que potencialmente llega al 50% en las catenarias. Asimismo, basado en sus resultados concluye que la compensación reactiva amplía la capacidad del sistema de trenes en 50%.

1.1.2 Antecedentes Nacionales

En la tesis de V. Paz (2019) "Banco de Compensación de Potencia Reactiva Capacitiva y la Calidad de Tensión en la Subestación N° 0010010 de la Calle Almagro de la Ciudad del Cusco" [7], el autor evidencia como los problemas de caída de tensión y calidad de energía no solo se presentan en el sector industrial, sino que también son problemas en las redes residenciales como en el centro histórico del Cusco, donde propone una solución para corrección del factor de potencia mediante la utilización de bancos de condensadores. Asimismo, resalta el impacto que tienen las cargas inductivas en la reducción del factor de potencia, y como los bancos de condensadores son una alternativa efectiva sobre todo en zonas donde el reforzamiento de redes de distribución o subestaciones no son soluciones prácticas.

En la tesis de D. Torres (2017) "Localización Óptima de Capacitores en Redes de Distribución Para Mejorar la Eficiencia Energética del Sistema Eléctrico Chungar – Volcan"

[8], el autor se enfoca en la utilización de técnicas avanzadas como la Optimización Multiobjetivo para la ubicación optima de bancos de condensadores para redes de baja y media tensión. Este trabajo no se enfoca en el diseño puntual de bancos de condensadores, pero nos muestra como el uso de algoritmos ayudan a definir la ubicación y tamaños de los equipos de tal manera que permita que la inversión sea la más reducida posible cumpliendo con los requerimientos técnicos de calidad de energía.

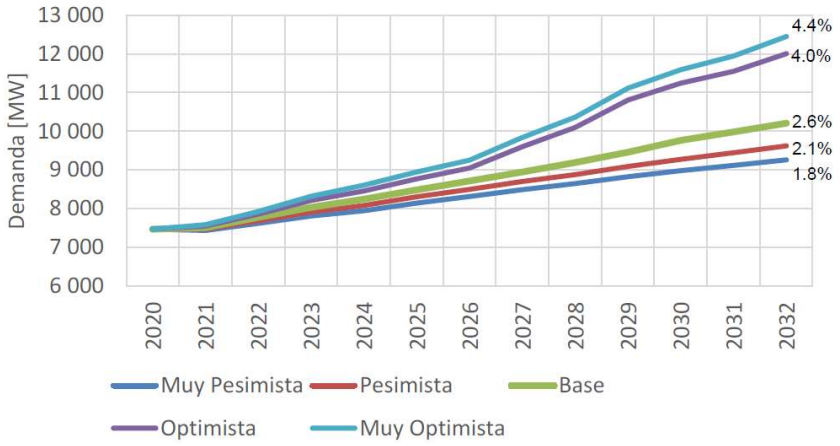
En la tesis de J. Jaco et al. (2016) “Modelo para soluciones avanzadas de sistemas de compensación de energía reactiva para el proyecto minero Tambomayo - Arequipa” [9], el autor reitera y comprueba la importancia de analizar las cargas como principal insumo para el diseño de bancos de condensadores, se analiza los tipo de cargas especialmente las del tipo no lineales y se utiliza simulaciones avanzadas para seleccionar el tipo de compensación más adecuado de acuerdo s su análisis que resulta en la utilización de bancos de condensadores convencionales, bancos de condensadores con reactancias anti resonantes y filtros activos. Asimismo, analiza la red eléctrica completa incluyendo la parte de baja y media tensión consiguiendo resultados importantes tanto para la reducción de la polución del sistema eléctrico como la mejora del factor de potencia.

La compensación reactiva en muchos casos se utiliza para corregir problemas relacionados a caídas de tensión y reducción de pérdidas de potencia, sin embargo, estas soluciones son complementadas para también reducir otro tipo de problemas como la reducción del nivel de armónicos en la red donde se conecta. En la tesis de B. Capcha (2022) “Compensación reactiva para mejorar la calidad de suministro eléctrico en subestación eléctrica Bolívar de sociedad minera Catalina Huanca S.A.C” [10], el autor analiza los perfiles de tensiones en las barras, corrientes en los alimentadores, variaciones de frecuencia, perfiles de potencia y armónicos de tensión. Asimismo, consigue dimensionar adecuadamente el banco de condensadores para la subestación y el respectivo filtro de armónicos para atenuar el nivel de armónicos de tensión y corriente del punto de conexión eléctrico utilizado.

1.2 Identificación y Descripción del Problema de Estudio

La demanda de energía eléctrica en el país aumenta progresivamente cada año, el Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional (COES-SINAC) en su informe “Propuesta Definitiva de Actualización del Plan de Transmisión 2023 – 2032” [11], calcula un incremento de potencia anual entre 1.8% y 4.4% que se muestra en la figura 2. Asimismo, concluye que se debe reforzar la red de transmisión para atender la demanda proyectada, este reforzamiento considera la utilización de bancos de condensadores como pieza clave para que la red de transmisión cumpla con los criterios técnicos de buen desempeño.

Figura 2:
Escenarios de Proyección de Demanda Perú

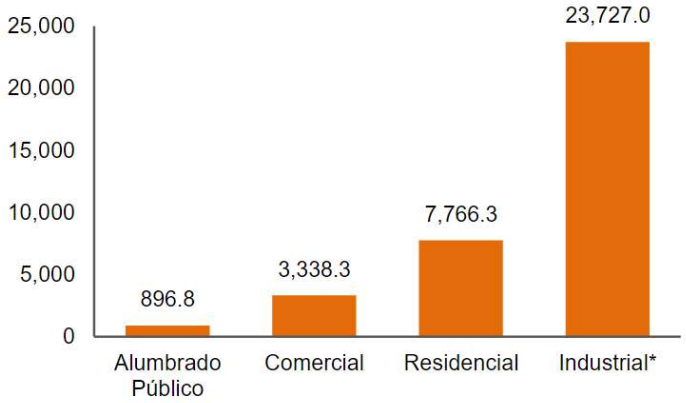


Fuente: COES (2023) “PROPUESTA DEFINITIVA DE ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE TRANSMISIÓN 2023 - 2032” [3]

Las empresas industriales son las principales responsables del incremento del consumo de energía eléctrica cada año, de acuerdo con Pacific Credit Rating (2022) INFORME SECTORIAL Perú: Sector Electricidad [12], en el III trimestre del 2021 el consumo de energía del sector industrial representó el 65% del total consumido como se muestra en la Figura 3, sin embargo, en algunos casos los planes de expansión de estas empresas son técnicamente inviables debido a que la red eléctrica no ha sido reforzada adecuadamente para soportar estos incrementos, en estos casos las empresas deciden

reforzar su sistema eléctrico mediante la instalación de bancos de condensadores que permitan viabilizar sus planes de crecimiento.

Figura 3:
Venta de energía por tipo de uso (GWh) 2021 Trimestre III



Fuente: Pacific Credit Rating (2022) INFORME SECTORIAL Perú: Sector Electricidad [4]

Los problemas relacionados con la compensación reactiva no solo se limitan a los relacionados con la ampliación de la disponibilidad de potencia activa, sino que son muchos más amplios e involucran por ejemplo la estabilidad de tensión que es la habilidad del sistema eléctrico para mantener niveles aceptables de tensión en todas sus barras en condiciones normales y de contingencia, en la tesis de A. Amer (2000) “Voltage collapse prediction for interconnected power systems” [13], el autor afirma que los principales problemas de estabilidad de tensión se producen debido a que los sistemas eléctricos están fuertemente cargados y no son capaces de suministrar la potencia reactiva demandada sobre todo en sistemas radiales compuestos por líneas de transmisión extensas. Asimismo, propone que una alternativa eficiente para contrarrestar este problema es a través de la instalación de dispositivos de compensación reactiva como generadores síncronos, condensadores síncronos y condensadores estáticos.

En la tabla 1 se aprecian algunos de los eventos más destacados a nivel mundial relacionados con los problemas de estabilidad de tensión que varían desde segundos hasta horas.

Uno de los principales problemas de las industrias es que sus cargas en su mayoría están conformadas por motores de inducción que cuentan con valores de factor de potencia entre 0.3 y 0.9 de acuerdo con N. Ramasamy (2005) “Power system Capacitors” [14], contar con un factor de potencia tan bajo significa una gran demanda de potencia reactiva que en condiciones normales llega a través de las redes de distribución originando una mayor cantidad de pérdidas de energía, sin embargo uno de los principales problemas del exceso de consumo de potencia reactiva es que afecta negativamente en la calidad y confiabilidad del sistema eléctrico, tal como lo describe en su tesis D. Torres (2017) “Localización Óptima de Capacitores en Redes de Distribución Para Mejorar la Eficiencia Energética del Sistema Eléctrico Chungar – Volcan” [8], provocando caídas de tensión que sobrepasan los límites permitidos teniendo como consecuencia la reducción de la carga, es decir, la desconexión de motores y por consiguiente la reducción en la producción de las plantas industriales afectando negativamente sus objetivos de producción y por lo tanto sus resultados económicos.

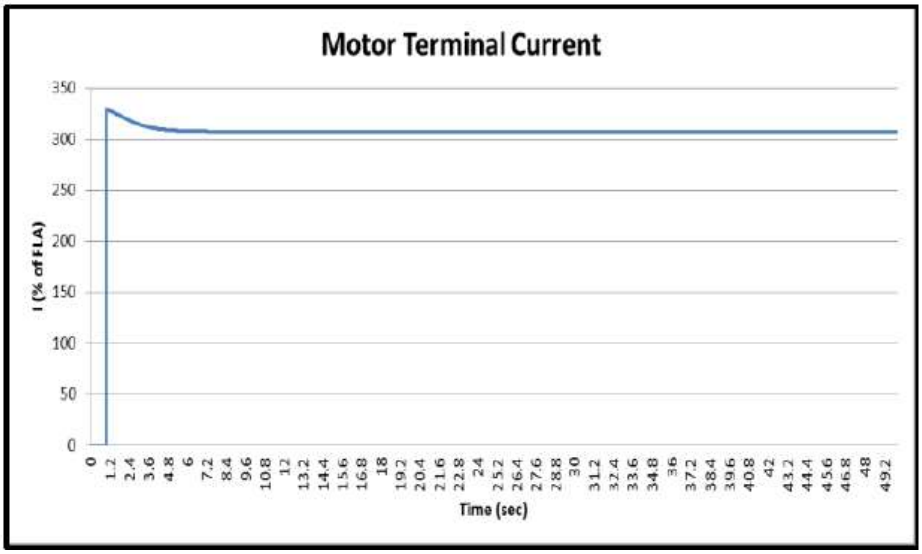
Tabla 1:
Eventos de colapso de tensión

Fecha	Lugar	Duración
13 Abril 1986	Winnipeg, Canada Nelson River HVDC link	1 segundo
30 Nov. 1986	SE Brazil, Paraguay	2 segundos
17 May. 1985	South Florida	4 segundos
22 Ago. 1987	Western Tennessee	10 segundos
27 Dic. 1983	Sweden	55 segundos
21 May. 1983	Northern California	2 minutos
2 Sep. 1982	Florida	1-3 minutos
26 Nov. 1982	Florida	1-3 minutos
28 Dic. 1982	Florida	1-3 minutos
30 Dic. 1982	Florida	1-3 minutos
22 Sep. 1977	Jacksonville, Florida	Unos cuantos minutos
4 Ago. 1982	Belgium	4.5 minutos
20 May. 1986	England	5 minutos
12 Ene. 1987	Western France	6-7 minutos
22Sep.1970	New York State	Varias horas

Fuente: A. Amer (2000) “VOLTAGE COLLAPSE PREDICTION FOR INTERCONNECTED POWER SYSTEMS” [5]

Asimismo, al contar con motores de gran potencia sin sistemas de arranque especiales se producen caídas de tensión extensas como se indica en el artículo de M. Heram et al. (2018) “Application of Capacitor for Startinga Large 3 Phase Induction Motor in a Stand Alone Grid” [15], y aunque su duración es muy corta es suficiente como para que los sistemas de protección de los motores actúen desconectando estos equipos produciendo la interrupción de las operaciones o simplemente que su arranque no sea posible. En la figura 4 se aprecia la corriente que se genera con el arranque de motores de gran potencia y como impacta en la tensión de la red.

Figura 4:
Corriente de motor durante el arranque directo



Fuente: M. Heram et al. (2018) “Application of Capacitor for Startinga Large 3 Phase Induction Motor in a Stand Alone Grid” [8]

En el diseño de bancos de condensadores de media tensión se disponen de 2 tipos de configuraciones, el diseño abierto o “Open Rack” y el compacto o “Metal Enclosed” y aunque su selección depende de varias variables técnicas como el nivel de tensión y capacidad requerida, hay otros factores como el área requerida y el nivel de trabajos complementarios para su instalación que deben ser tomados en cuenta. Llevar a cabo una

evaluación basada solo en el precio individual del equipo deriva en complicaciones durante su implementación, incrementando, por ejemplo, el área requerida y los costos de obras civiles e instalación asociados.

1.3 Formulación del Problema

El problema principal para este tipo de industria es que debido a la falta de una adecuada infraestructura eléctrica no pueden incrementar su consumo de potencia activa sin producir una caída de tensión que esté fuera de los límites permitidos (± 5% de acuerdo con la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos) haciendo inviable una expansión de su demanda y evitando el crecimiento económico que este tipo de industria pretende.

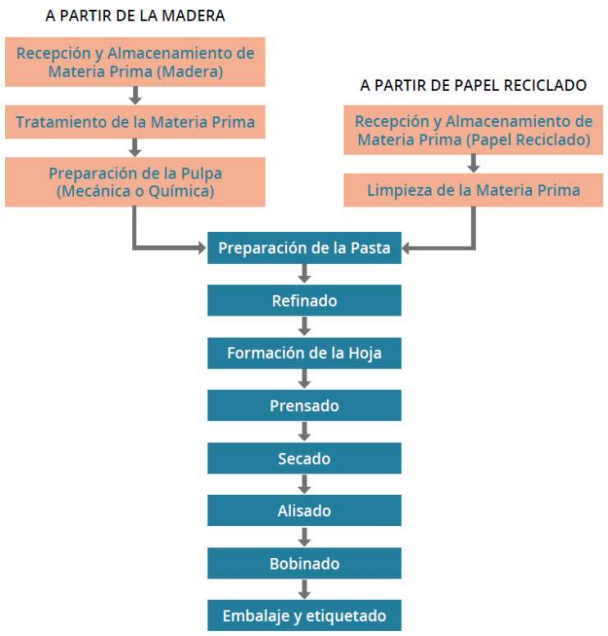
Teniendo en cuenta lo descrito líneas arriba planteamos la siguiente interrogante: ¿Cómo la falta de compensación reactiva afecta negativamente en los planes de expansión de plantas industriales?

1.4 Justificación e Importancia

La industria del papel es un sector importante en la economía del país que representa aproximadamente 0.4% del PBI total. Asimismo, brinda trabajo a más de 10,000 personas de acuerdo con la tesis de C. Cárdenas (2019) “La importación de papel y el efecto de las políticas de desarrollo sostenible aplicados en el Perú” [16].

En el artículo de la Dirección General de Eficiencia Energética (2016) “Guía de Orientación del Uso Eficiente de la Energía y de Diagnóstico Energético” [17] indica que el proceso productivo depende del tipo de papel que se elabore, en la figura 5 se muestra un proceso general típico de fabricación.

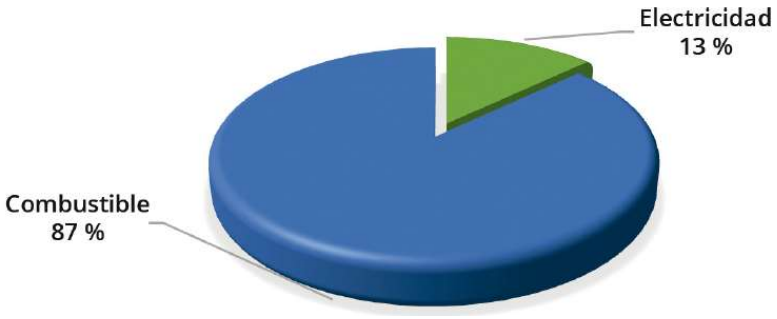
Figura 5:
Proceso Productivo de una Industria Papelera



Fuente: Dirección General de Eficiencia Energética (2016) "Guía de Orientación del Uso Eficiente de la Energía y de Diagnóstico Energético" [2]

En este sector se utilizan tanto energía eléctrica como combustibles para la operación de la producción. Los combustibles se emplean para generar energía térmica mediante calderas y producir vapor. En la figura 6 se aprecia la distribución del consumo de energía.

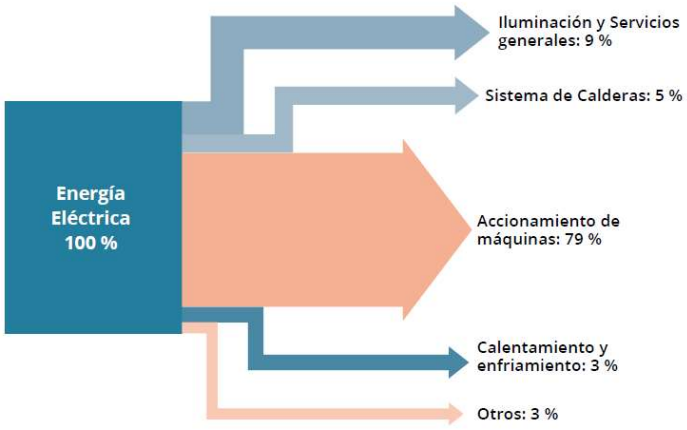
Figura 6:
Consumo de energía en la industria papelera



Fuente: Dirección General de Eficiencia Energética (2016) "Guía de Orientación del Uso Eficiente de la Energía y de Diagnóstico Energético" [2]

Si bien la energía eléctrica solo representa un 13% del total de la energía que requieren las plantas papeleras, se utiliza para el accionamiento de equipos críticos del proceso como motores eléctricos. En la figura 7 se detalla el uso de energía eléctrica.

Figura 7:
Consumo de energía eléctrica en una industria papelera



Fuente: Dirección General de Eficiencia Energética (2016) "Guía de Orientación del Uso Eficiente de la Energía y de Diagnóstico Energético" [2]

La mantención de un sistema eléctrico confiable para este tipo de industria es fundamental. Asimismo, considerando que la expansión de la red eléctrica no depende necesariamente de los propietarios de las plantas, se vuelve imperativo que estas empresas se centren en soluciones eléctricas que les permitan crecer y mantener un sistema confiable considerando la menor inversión, una de esas alternativas es la utilización de bancos de condensadores para reforzar la confiabilidad del sistema eléctrico para permitir la ampliación del consumo de energía eléctrica manteniendo una inversión relativamente baja.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Diseñar un banco de condensadores de 9.6 MVAR en media tensión que permitirá incrementar el límite de consumo de potencia activa en plantas industriales.

1.6 Hipótesis

1.6.1 Hipótesis General

El diseño de un banco de condensadores en media tensión permitirá incrementar el límite de consumo de potencia activa en plantas industriales.

1.7 Variables y Operacionalización de variables

1.7.1 Operacionalización de Variables

Variables	Indicadores
V.I.: Diseño de banco de condensadores.	• Potencia reactiva (MW) • Tensión (kV) • Número de pasos (unidad)
V.D.: Variabilidad de potencia activa.	• Relación entre potencia activa inicial y final (%).

1.8 Metodología de la Investigación

1.8.1 Unidad de Análisis

Esta investigación tendrá como unidad de análisis la planta de fabricación de papeles y cartones de Trupal S.A. ubicada en Sector Malca S/N-Santiago de Cao-Ascope-La Libertad. Trupal es uno de los fabricantes más importantes del país en la fabricación de empaques, cajas de cartón y empaques flexibles, cuentas con 5 plantas de producción y tiene más de 1,200 trabajadores.

1.8.2 Tipo, Enfoque y Nivel de Investigación

La presente investigación es del tipo pura debido a que el objetivo es aplicar los conocimientos obtenidos para resolver problemas específicos, desde el punto de vista de enfoque es del tipo cuantitativa porque 6 de las 7 características epistemológicas corresponden a una naturaleza cuantitativa, las cuales son:

- Su característica de percepción de la realidad es objetiva debido a que se utilizarán y calcularán datos numéricos como la potencia, tensiones, factor de potencia y dimensiones del equipo.
- Desde el punto de vista del razonamiento es deductiva porque se llevarán a cabo cálculos y simulaciones para contrastar la hipótesis.
- Su finalidad es la comprobación de la hipótesis mediante los resultados obtenidos.
- Es orientada al resultado porque definirá el éxito de la investigación.
- Desde la perspectiva del investigador se trabaja desde afuera porque el investigador no tiene control de los datos y es externo a la realidad problemática.
- La causalidad tiene antecedentes específicos debido a que tenemos influencia directa en la variable dependiente proveniente de la variable independiente durante la investigación.

La característica epistemológica cualitativa es:

- Desde el principio de la verdad es dinámica porque las técnicas de investigación se actualizan constantemente.

El alcance de la investigación es del tipo correlacional debido a que utilizaremos dos variables que interactúan entre si durante la investigación.

1.8.3 Diseño de la Investigación

El diseño de la investigación es no experimental porque se utilizarán los datos existentes sin modificarlos ni alterarlos.

1.8.4 Fuentes de Información

Las fuentes de información consultadas serán tesis de trabajos similares, así como artículos nacionales e internacionales. Asimismo, se revisarán libros para las bases teóricas.

1.8.5 Población y Muestra

La población considerada en esta investigación son las empresas industriales que tienen consumos de potencia superiores a los 5 MW y están conectadas a una red de media tensión.

La muestra seleccionada son las 5 plantas de producción que actualmente opera la empresa Trupal S.A.

1.8.6 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Para iniciar el diseño del banco de condensadores se utilizará como datos de entrada las especificaciones técnicas del cliente, donde se definen: la potencia del banco, el número de pasos y nivel de tensión. Para la etapa de verificación de la hipótesis se recopilarán datos del consumo de potencia de toda la planta y del nivel de tensión en las barras, dichos datos se obtendrán de la planilla de medición hecha en campo de acuerdo con el Anexo N° 1.

1.8.7 Análisis y Procesamiento de Datos

Finalmente presentaremos los detalles del diseño del banco de condensadores de acuerdo con los requerimientos iniciales y los resultados de las simulaciones para comprobar las mejoras de acuerdo con el objetivo de la investigación.

En el procesamiento de la información se utilizará “Microsoft Excel” para listar los datos de potencias y tensiones en cada barra. Para las barras donde no se pudo obtener una

medición se estimará la potencia analizando el diagrama unifilar del cliente y estimado la carga faltante. Una vez definidos los parámetros se modelará el sistema eléctrico en un software de análisis de flujo de potencia y se realizarán corridas para verificar la mejora en el límite de consumo de potencia activa.

Capítulo II

2. Marcos teórico y conceptual

2.1 Bases Teóricas

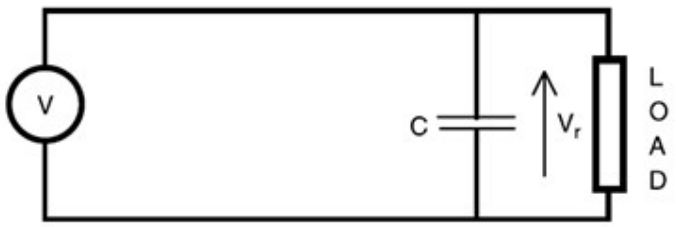
2.1.1 Compensación Reactiva

N. Ramasamy (2005) “Power system Capacitors” [14]:

En los sistemas eléctricos de distribución, los niveles de tensión en las barras de carga más lejanas disminuyen debido a la falta de potencia reactiva, para suprimir esta reducción se utilizan bancos de condensadores en derivación para obtener un soporte local de potencia reactiva y mejorar la tensión.

Para líneas de transmisión extensas, la disponibilidad de potencia reactiva es reducida durante los picos de demanda de potencia, y debe ser suministrada a través de la instalación de bancos de condensadores en derivación. Un ejemplo de compensación reactiva se aprecia en la figura 8, consiste en un sistema radial de 460 V con y sin compensación reactiva.

Figura 8:
Diagrama unifilar de un sistema trifásico radial



Fuente: N. Ramasamy (2005) “Power system Capacitors” [6]

En la Tabla 2 se aprecian los resultados del cálculo de flujo de potencia para el sistema de la figura 8, donde se evidencia que la potencia reactiva, la potencia activa y corriente suministrada desde la fuente es menor cuando se cuenta con compensación reactiva. Asimismo, se evidencia una mejora del factor de potencia en la carga.

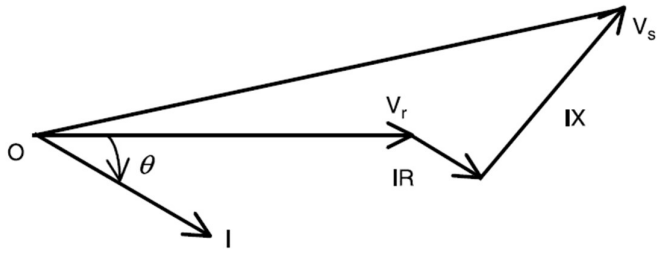
Tabla 2:
Ejemplo de flujo de potencia en un sistema radial

Description	Without Shunt Capacitor	With Shunt Capacitor
Power, kW	40	40
Reactive power, kVAR	53.4	13.1
kVA	66.7	42.1
Power factor	0.6	0.95
Line current, A	83.7	52.8

Fuente: N. Ramasamy (2005) "Power system Capacitors" [6]

La compensación en derivación reduce la corriente que fluye a través de la línea de transmisión y esta reduce la caída de tensión, en la figura 9 se aprecia la caída que sufre la tensión en la carga como consecuencia de su impedancia (R + jX), tanto IR como IX tienen un módulo considerable debido a la alta corriente que circula a través de la línea, y provocan una caída de tensión considerable.

Figura 9:
Diagrama fasorial del sistema sin compensación reactiva



Fuente: N. Ramasamy (2005) "Power system Capacitors" [6]

Una tensión por debajo del nivel aceptable provoca que los motores de inducción trabajen con corrientes superiores a sus nominales, y reducirá la capacidad del sistema eléctrico para recuperarse después de una falla.

Las siguientes ecuaciones correspondes al sistema mostrado en la figura 9:

$$V_{\mathrm{R}} = V_{\mathrm{S}} - I\ (\cos\theta \pm \mathrm{j}\ \sin\theta)\ (R + \mathrm{j}X) \qquad \text{(Ec. 2.1)}$$

Donde:

Vs: Tensión en la barra de envío

V_R: tensión en la barra de la carga

I: Corriente, A

R: Resistencia, Ohm/fase

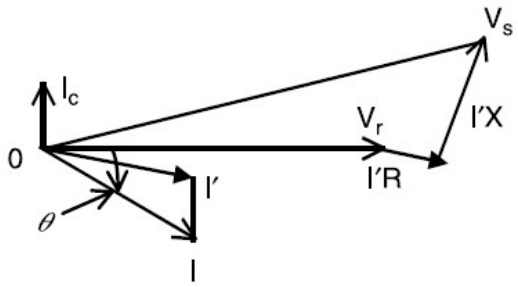
X: Reactancia, Ohm/fase

θ: Angulo de factor de potencia, grados

El diagrama fasorial del sistema considerando compensación reactiva se muestra en la figura 10, donde se tienen las siguientes ecuaciones:

$$I' = I(\cos\theta \pm \mathrm{j}\ \sin\theta) - \mathrm{j}I_C \qquad \text{(Ec. 2.2)}$$

Figura 10:
Diagrama fasorial del sistema con compensación reactiva



Fuente: N. Ramasamy (2005) "Power system Capacitors" [6]

Donde la corriente capacitiva es:

$$I_C = \frac{V}{X_C} \qquad \text{(Ec. 2.3)}$$

El perfil de tensión que se tiene en la barra de carga mejora debido a que la corriente en la línea de transmisión se ha reducido ocasionando una menor caída de tensión.

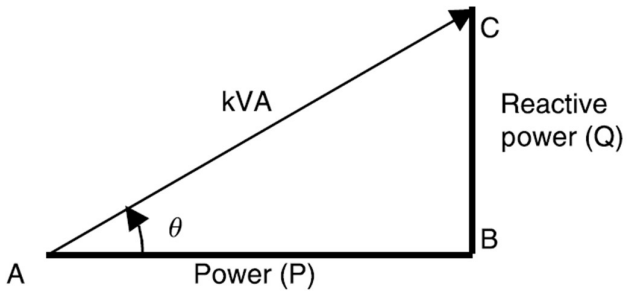
2.1.2 Factor de Potencia

N. Ramasamy (2005) "Power system Capacitors" [14]:

Alrededor del 60% de la carga atendida por las empresas eléctricas corresponden a motores de inducción cuyo factor de potencia está por debajo del valor optimo y por consiguiente ocasionan que el factor de potencia de todo el sistema eléctrico no sea el adecuado. Dependiendo del tamaño y condiciones de operación, el factor de potencia de estos motores tiene un valor entre 0.3 y 0.9.

El desempeño del sistema de potencia se mejora si incrementamos el factor de potencia, en la figura 11 se aprecia la relación entre la potencia activa y reactiva que definen el valor del factor de potencia.

Figura 11:
Relación entre potencia activa, reactiva y aparente



Fuente: N. Ramasamy (2005) "Power system Capacitors" [6]

$$\text{Factor de Potencia} = P / kVA \qquad \text{(Ec. 2.4)}$$

Donde P y kVA son la potencia activa y aparente respectivamente, la relación entre el factor de potencia y Q / P se aprecia en la tabla 3, donde se aprecia que para un factor de potencia de 90% el requerimiento de potencia reactiva es de 48% del valor de la potencia activa, a valores de factor de potencia menores el requerimiento de potencia reactiva es mucho mayor, por consiguiente la necesidad de recurrir a la compensación reactiva en plantas industriales que permitan utilizar de manera más eficiente el sistema eléctrico.

Tabla 3:
Factor de potencia y ratio Q/P

Power Factor %	Angle Degree	Q/P Ratio
100	0	0.00
95	11.4	0.20
90	26.8	0.48
85	31.8	0.62
80	36.8	0.75
70.7	45.0	1.00
60	53.1	1.33
50	60.0	1.73

Fuente: N. Ramasamy (2005) "Power system Capacitors" [6]

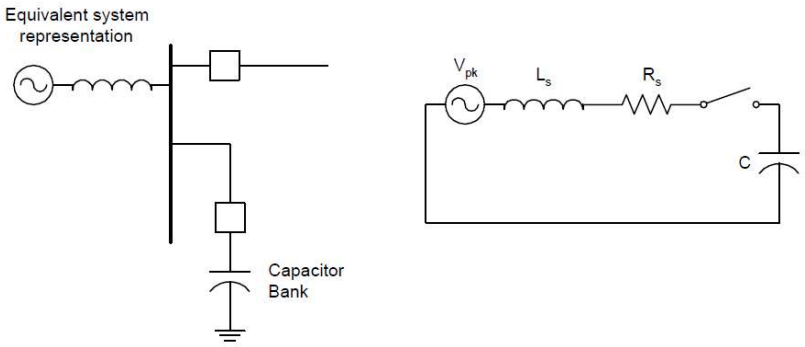
La compensación reactiva se implementa en barras de alta tensión, barras de distribución o en barras de carga, los beneficios para los clientes son la reducción del consumo de potencia reactiva, menor consumo de energía e incremento de la potencia de corto circuito. Asimismo, permite a las empresas a viabilizar sus planes de expansión desde el punto de vista de la potencia activa.

2.1.3 Corriente de Inserción Durante Conmutación de Bancos de Condensadores

EATON (2016) "Calculation of Inrush Currents in Single- and Multi-Step Capacitor Bank Installations" [18].

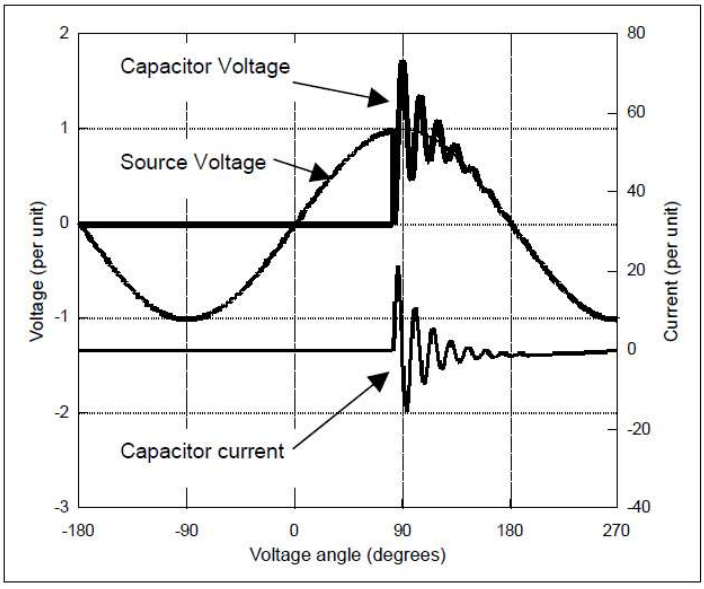
Cuando un banco de condensadores es energizado por primera vez, se genera una corriente transitoria de carga que trata de igualar la tensión de la red y la tensión del banco. Asimismo, la magnitud y frecuencia de esta corriente transitoria se calcula y su magnitud dependerá de la tensión aplicada y de la capacitancia y reactancia del sistema eléctrico. En la figura 12 se aprecia el circuito equivalente de un sistema eléctrico con un banco de condensadores de un solo paso o aislado, al cerrar el interruptor se produce una tensión transitoria que tiene como valor máximo 2 veces el valor nominal para una configuración estrella con neutro aislado como se muestra en la figura 13.

Figura 12:
Diagrama unifilar de energización de banco de condensadores aislado



Fuente: IEEE std 1036-2010 [24]

Figura 13:
Típica tensión y corriente transitoria durante la energización de un banco de condensadores aislado



Fuente: IEEE std 1036-2010 [24]

Las siguientes son las fórmulas para calcular la corriente y frecuencia de inserción cuando se energiza un banco de condensadores aislado:

$$f_t = \frac{1}{2\pi \times \sqrt{L_{SC} \times C}} = f_S \times \sqrt{\frac{I_{SC}}{I_C}} \qquad \text{(Ec. 2.5)}$$

$$I_{\max\ pk} = \sqrt{2} \times \sqrt{I_{SC} \times I_C} \qquad \text{(Ec. 2.6)}$$

Donde:

$I_{max\ pk}$: Corriente de inserción pico

I_{SC}: Corriente de corto circuito em la barra de conexión del banco

I_C: Corriente del banco a energizar

f_t: Frecuencia transitoria

L_{SC}: Inductancia de corto circuito del sistema

C: Capacitancia del banco de condensadores

f_s: Frecuencia del sistema

Cuando un banco de condensadores está conectado en paralelo con otros bancos, una corriente transitoria fluirá desde los bancos energizados al que está energizándose, esta corriente se produce porque los bancos energizados se descargarán en el banco a energizarse. Siempre se asume que el banco a energizarse tiene tensión cero y que la tensión del sistema es la tensión pico, de esta manera se obtiene la mayor corriente transitoria de inserción.

Se conoce por experiencia que la corriente transitoria de inserción en bancos de condensadores de varios pasos oscila entre 20 y 250 veces la corriente nominal del banco. Las siguientes son las ecuaciones para calcular la corriente y frecuencia transitoria de inserción:

$$f_t = \frac{1}{2 \times \pi \times \sqrt{L_{eq} \times C_{eq}}} \qquad \text{(Ec. 2.7)}$$

$$I_{\max\ pk} = 1000 \times V_{LL} \times \sqrt{\frac{2}{3}} \times \sqrt{\frac{C_{eq}}{L_{eq}}} \qquad \text{(Ec. 2.8)}$$

Donde:

$I_{max\ pk}$: Corriente de inserción pico, en amperios

V_{LL}: Tensión máxima de línea rms en kV

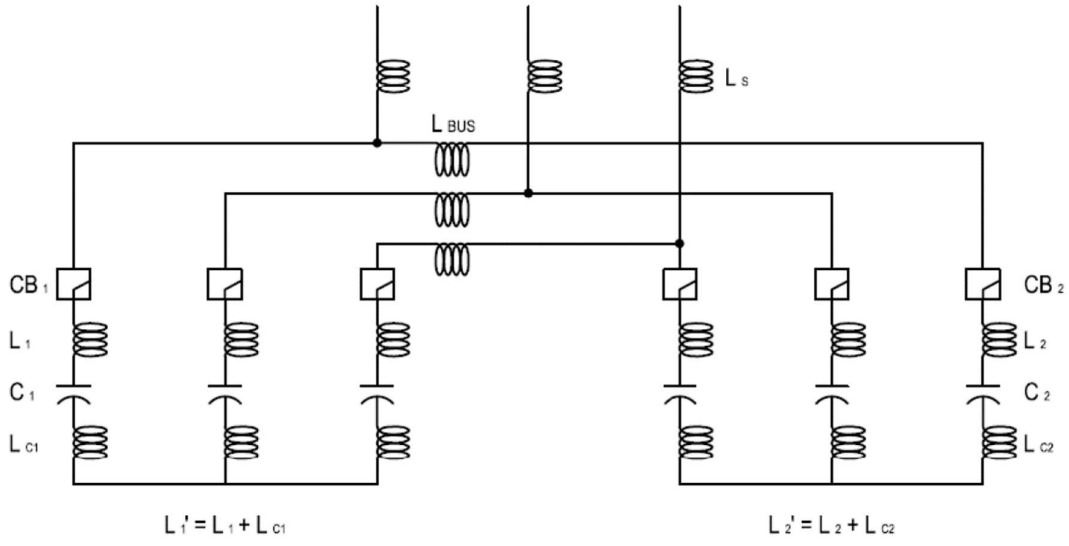
C_{eq}: Capacitancia equivalente de bancos en paralelo en faradios

L_{eq}: Inductancia equivalente de bancos en paralelo en henrios

f_t: Frecuencia transitoria en kHz

La figura 14 muestra un diagrama típico donde se producen corrientes transitorias "back to back switching", de acuerdo con la IEEE Std C37.012-2014, las inductancias internas del banco de condensadores (LC1 and LC2) están en el orden de 10 µH para bancos superiores a 52 kV y 5µH para bancos menores a 52 kV. El standard IEEE Std C37.66-2005 recomienda un valor de 0.984 µH por cada metro del sistema de barras colectoras o 0.295 µH por metro de cable.

Figura 14:
Esquema típico de banco de condensadores de varios pasos



Fuente: EATON (2016) "Calculation of Inrush Currents in Single- and Multi-Step Capacitor Bank Installations" [18]

La tabla 4 del standard IEEE Std C37.012-2014 muestra los valores típicos de inductancias por fase entre bancos de condensadores en paralelo o “back to back”. La inductancia de las llaves de conmutación es despreciable.

Tabla 4:
Valores típicos de inductancias entre bancos de condensadores

Rated maximum voltabe (kV)	Inductance per phase of busbar (μH/m)	Typical inductance between banks (μH)	Total inductance between banks*, L_{eq} (μH)
17.5 and below	0.702	10-20	20-30
36	0.781	15-30	25-40
52	0.840	20-40	30-50
72.5	0.840	25-50	45-70
123	0.856	35-70	55-90
145	0.856	40-80	60-100
170	0.879	60-120	80-140
245	0.935	85-170	105-190
*This value includes the inductance within the capacitor bank itself.			

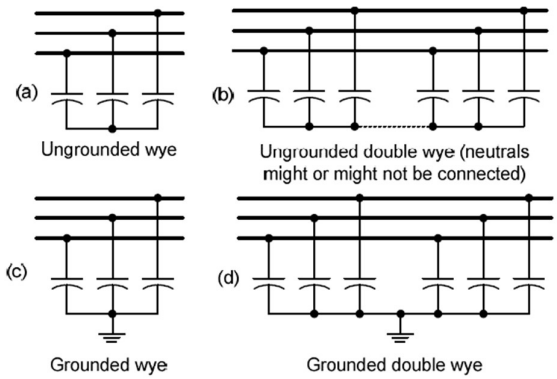
Fuente: EATON (2016) “Calculation of Inrush Currents in Single- and Multi-Step Capacitor Bank Installations” [18]

2.1.4 Sistema de Protección y Control Para Bancos de Condensadores

S. Satishet et al. (2009) “Principles of Shunt Capacitor Bank Application and Protection” [19]:

La figura 15 muestra las configuraciones de instalación más comunes para bancos de condensadores en derivación.

Figura 15:
Cuatro de configuraciones más comunes en bancos de condensadores

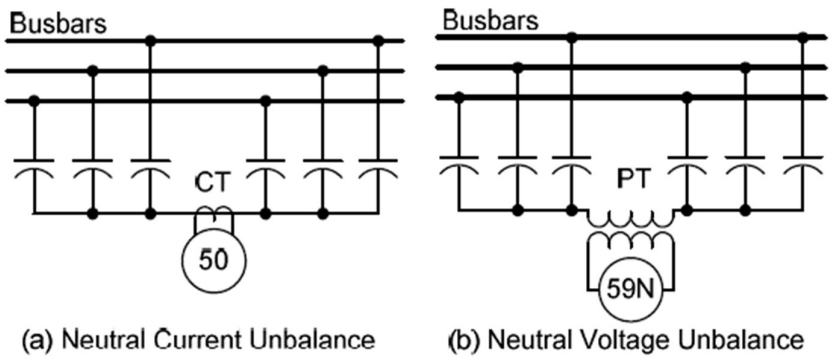


Fuente: S. Satish et al. (2009) “Principles of Shunt Capacitor Bank Application and Protection” [19]

La mayoría de las configuraciones en bancos de condensadores para sistemas de transmisión y distribución son conexiones estrella a tierra o estrella con neutro aislado. Asimismo, existen condensadores con fusibles externos, fusibles internos y sin fusibles, la selección del tipo de condensador dependerá de la aplicación que se requiere, por ejemplo los condensadores con fusibles internos están fabricados con muchos elementos en paralelo, cuando un elemento falla el fusible se funde desconectando el elemento defectuoso, al contar con muchos elementos en paralelo, la pérdida de capacitancia de todo el conjunto es pequeña y el aumento de la tensión en las unidades sanas también es pequeño.

El sistema de protección para bancos de condensadores con configuración de doble estrella con neutro aislado, como se muestra en la figura 16, está compuesto por relés de desbalance de corriente o tensión, este tipo de protección censa la corriente/tensión de desbalance entre grupos de bancos debido a la falla de alguna unidad capacitiva.

Figura 16:
Desbalance de corriente/tensión del neutro



Fuente: S. Satish et al. (2009) "Principles of Shunt Capacitor Bank Application and Protection" [19]

El estándar IEEE C37.99-2000 "IEEE Guide For The Protection of Shunt Capacitor Banks" [20], es una guía confiable para el cálculo de la corriente o tensión de desbalance producido por la falla en algún elemento capacitivo. Asimismo, provee una guía para el cálculo de acuerdo con el tipo de capacitor, es decir, para capacitores con fusibles externos,

con fusibles internos y sin fusibles. En [19] se lleva a cabo una comparación calculando los parámetros de acuerdo con el estándar C37.99 y con los simulados mediante un modelo matemático. Los resultados obtenidos son muy similares con errores entre 0% y 5.83% para el caso de medición de corriente de desbalance con capacitores con fusibles internos.

En [14] se define como calcular la corriente de desbalance entre neutros para la configuración de bancos de condensadores en doble estrella considerando la figura 17.

$$I_{\mathrm{N}} = [I_{\mathrm{c}} N]\left[\frac{V_{\mathrm{ph}}}{S V_{\mathrm{c}}}\right]\left[\frac{3F}{6S(N-F)+5F}\right] \qquad \text{(Ec. 2.9)}$$

Donde:

IN : Corriente de desbalance

Ic : Corriente nominal de la unidad capacitiva

N : Número de unidades capacitivas por fase

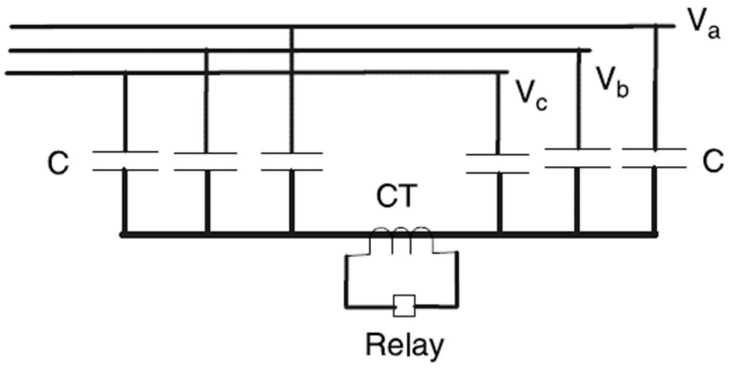
Vph : Tensión de fase del sistema

S : Número de unidades capacitivas en serie

Vc : Tensión nominal de la unidad capacitiva

F : % fallado de una unidad capacitiva

Figura 17:
Desbalance de corriente/tensión del neutro



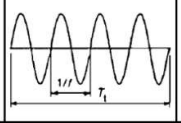
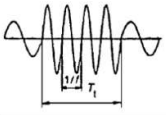
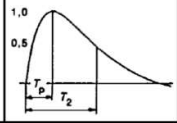
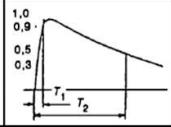
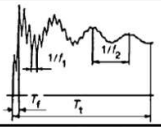
Fuente: N. Ramasamy (2005) "Power system Capacitors" [6]

2.1.5 Coordinación del Aislamiento

M. Villegas (2003) “Diseño de subestaciones de alta y extra alta tensión” [21]:

La coordinación del aislamiento se define como la selección de la rigidez dieléctrica de un determinado equipo basado en los niveles de tensión que aparecen en el sistema eléctrico de acuerdo con sus condiciones de servicio y en los sistemas de protección contra sobretensiones que se tienen implementados. El estándar IEC 60071-1 “Coordinación de aislamiento, Parte 1: Definiciones, principios y reglas” [22] define la sobretensión como la tensión entre una fase y tierra o entre fases cuyo valor de cresta es superior al valor de cresta de la tensión más alta del determinado equipo. Asimismo, separa los tipos de tensiones y sobretensiones de acuerdo con la tabla 5.

Tabla 5:
Tipos de tensiones y sobretensiones

Clase	Baja frecuencia		Transitoria		
	Permanente	Temporal	De frente lento	De frente rápido	De frente muy rápido
Forma de tensión					
Rango de formas de tensión	f = 50 Hz ó 60 Hz $T_t \geq 3\,600$ s	10 Hz < f < 500 Hz 3 600 s ≥ T_t ≥ 0,03 s	5 000 µs ≥ T_p > 20 µs $T_2 \leq 20$ ms	20 µs ≥ T_1 > 0,1 µs $T_2 \leq 300$ µs	100 ns ≥ T_f > 3 ns 0,3 MHz < f_1 < 100 MHz 30 kHz < f_2 < 300 kHz $T_t \leq 3$ ms
Forma normalizada de tensión	f = 50 Hz ó 60 Hz T_t*	48 Hz ≤ f ≤ 62 Hz T_t = 60 s	T_p = 250 µs T_2 = 2 500 µs	T_1 = 1,2 µs T_2 = 50 µs	*
Ensayo de tensión soportada normalizada	*	Ensayo de corta duración a frecuencia industrial	Ensayo de impulsos tipo maniobra	Ensayo de impulsos tipo rayo	*

Fuente: IEC 60071-1 “Coordinación de aislamiento, Parte 1: Definiciones, principios y reglas” [22]

Igualmente define los niveles de aislamiento normalizados que se aprecian en la tabla 6.

Tabla 6:
Niveles de tensión de aislamiento normalizados

Tensión más elevada para el material U_m kV (valor eficaz)	Tensión soportada normalizada de corta duración a frecuencia industrial kV (valor eficaz)	Tensión soportada normalizada a los impulsos tipo rayo kV (valor de cresta)
3,6	10	20 40
7,2	20	40 60
12	28	60 75 95
17,5	38	75 95
24	50	95 125 145
36	70	145 170
52	95	250
72,5	140	325
123	(185)	450
	230	550
145	(185)	(450)
	230	550
	275	650
170	(230)	(550)
	275	650
	325	750
245	(275)	(650)
	(325)	(750)
	360	850
	395	950
	460	1 050

Fuente: IEC 60071-1 "Coordinación de aislamiento, Parte 1: Definiciones, principios y reglas" [22]

Solo se requieren dos niveles de tensión normalizadas para definir el nivel de aislamiento de un equipo eléctrico:

- La tensión soportada normalizada de corta duración a frecuencia industrial.
- La tensión soportada normalizada a los impulsos tipo rayo.

2.1.6 Mecanismos de protección contra sobretensiones

Hitachi Energy (2018) “Metal-oxide surge arresters in medium-voltage systems” [23]:

Las sobretensiones en los sistemas eléctricos se producen por 2 motivos: la provocada por caída de descargas atmosféricas y las provocadas por accionamiento de dispositivos de maniobra, este tipo de sobretensiones son inevitables y no es posible diseñar equipos que soporten dichos valores de sobretensiones. La protección contra este tipo de fenómenos se consigue evitando las sobretensiones en el punto de origen mediante la utilización de cables de guarda en la entrada de subestaciones o limitando su efecto en las cercanías del equipo. En sistemas eléctricos de alta tensión generalmente se utilizan ambas soluciones mientras que en media tensión no es usual utilizar cables de guarda y solo se instalan pararrayos en las cercanías del equipo a proteger.

Los pararrayos constan básicamente de dos partes: la parte activa que consiste en resistencias de oxido metálico apiladas y el encerramiento que es de porcelana o silicona y que garantiza el grado de aislamiento y la rigidez mecánica. En la figura 18 se aprecia las fases de diseño de un pararrayo.

Figura 18:
Fases del diseño de pararrayos

Fuente: Hitachi Energy (2018) “Metal-oxide surge arresters in medium-voltage systems” [23]

2.1.7 Capacitores

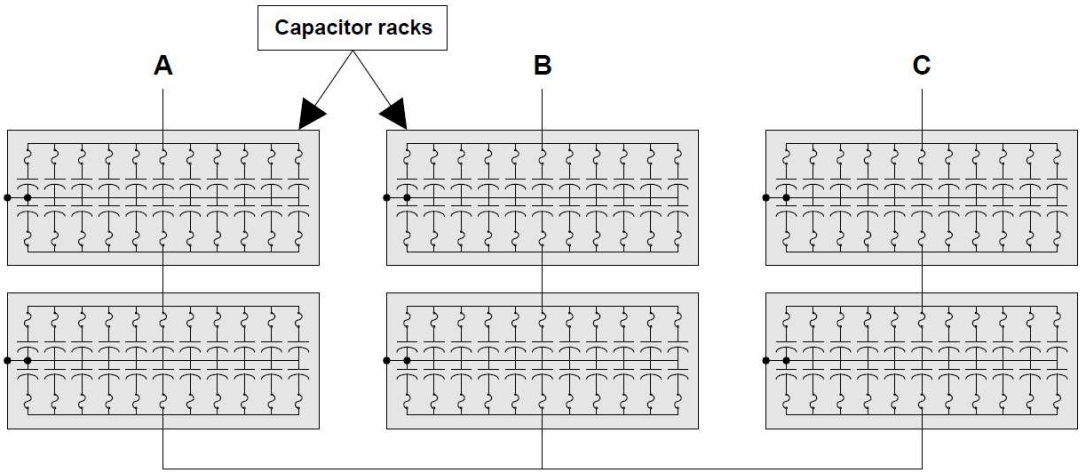
IEEE std 1036-2010 (2010) “IEEE Guide for Application of Shunt Power Capacitors” [24]:

Existen 3 tipos de diseño para bancos de condensadores:

- Con fusibles externos
- Con fusibles internos
- Sin fusibles

Los bancos de condensadores con fusibles externos utilizan unidades capacitivas que son protegidas individualmente por fusibles montados externamente a cada unidad. Cada unidad capacitiva está formada por elementos en paralelo conectados en serie, a medida que fallan los elementos, dentro de la unidad capacitiva, la corriente a través del capacitor se incrementa hasta que el fusible externo actúa y la aísla, tal como se muestra en la figura 19. Cuando falla una unidad capacitiva en una fase, la capacitancia varia provocando que sea mayor en las fases sin falla e incrementando la tensión en dichas fases, para limitar el incremento de sobretensión debido a la falla de una unidad capacitiva normalmente se reduce su capacidad en kVAR de cada unidad. El número máximo de unidades capacitivas en paralelo está limitado por la siguiente consideración: cuando una unidad falla las otras unidades en paralelo tendrán energía almacenada y mediante un transitorio de alta frecuencia fluirán hacia la unidad fallada, tanto la unidad capacitiva como su base fusible deberán ser capaces de soportar esta descarga sin romperse. Asimismo, para minimizar la probabilidad de falla de la base fusible o la ruptura de la unidad capacitiva fallada, la energía almacenada en las unidades capacitivas no falladas no deberá exceder la energía que soporta la unidad capacitiva o el fusible.

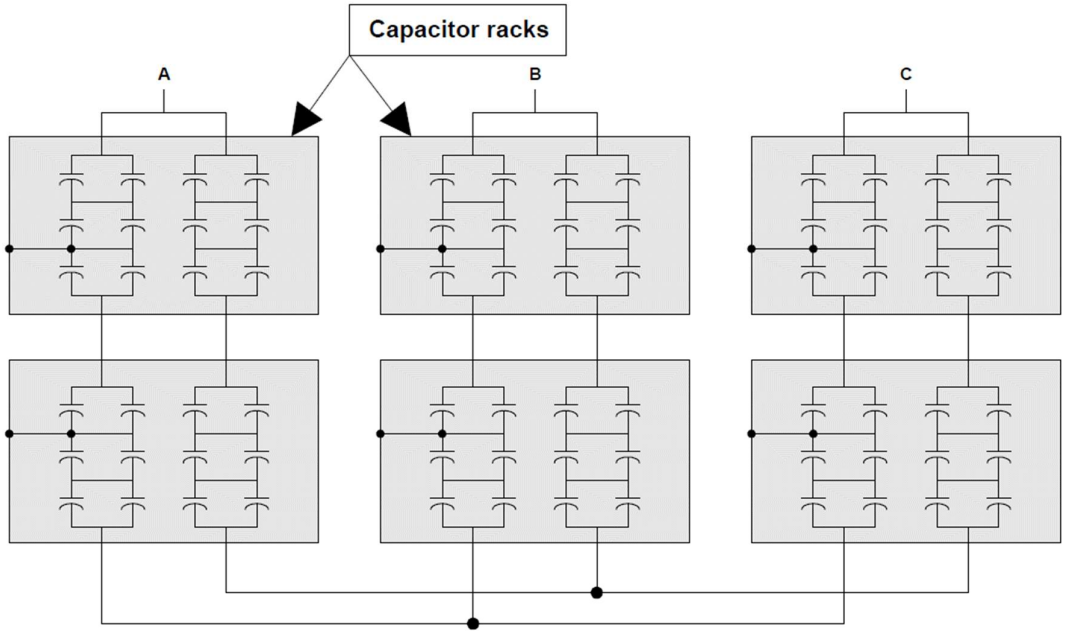
Figura 19:
Esquema banco de condensadores con capacitores de fusibles externos



Fuente: IEEE std 1036-2010 (2010) "IEEE Guide for Application of Shunt Power Capacitors" [24]

Los bancos de condensadores con fusibles internos utilizan unidades capacitivas que están formadas por elementos capacitivos en paralelo y en serie, cada elemento está protegido por un fusible interno conectado en serie como se muestra en la figura 20. Ante un corto circuito en el elemento, el fusible se funde y aísla el elemento fallado. Asimismo, las unidades capacitivas están formador por suficientes elementos en paralelo de tal manera que si opera el fusible de un elemento no resulta un incremento de tensión considerable en los otros elementos en paralelo.

Figura 20:
Esquema banco de condensadores con capacitores de fusibles internos

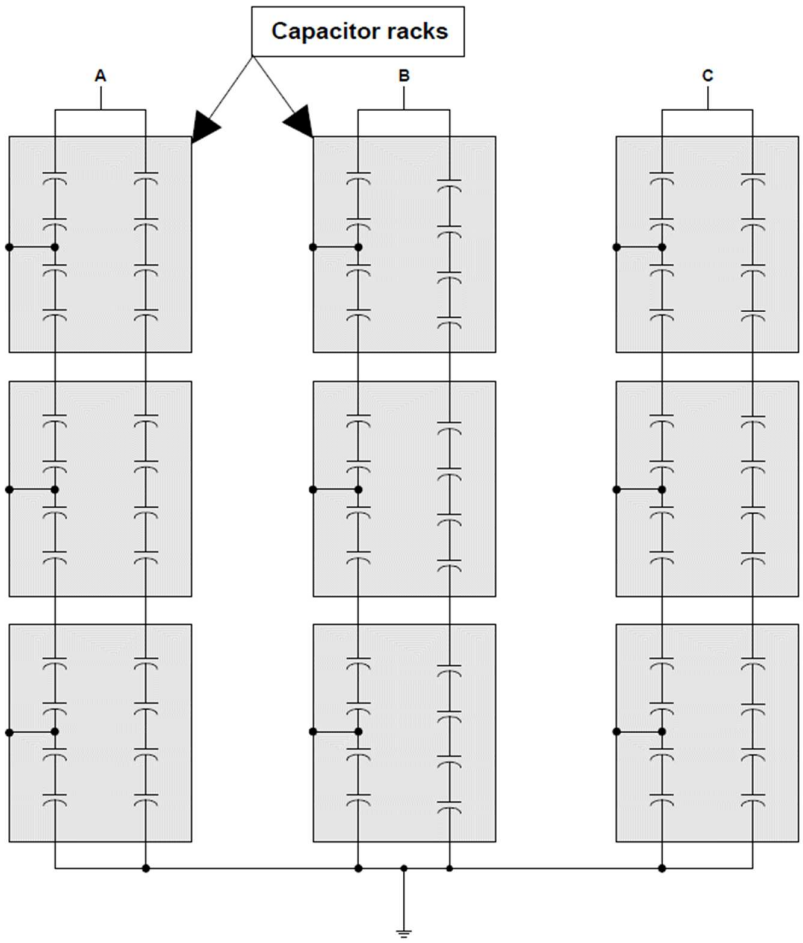


Fuente: IEEE std 1036-2010 (2010) "IEEE Guide for Application of Shunt Power Capacitors" [24]

Es recomendable que al menos se tengan dos unidades capacitivas en paralelo por cada grupo en serie debido a que si fallan varios elementos de una unidad, la otra ayuda a mantener una tensión baja en la unidad fallada. Una de las limitaciones que tiene este tipo de bancos es no poder identificar la unidad capacitiva que presenta problemas.

En los bancos de condensadores con unidades capacitivas sin fusibles, como se muestra en la figura 21, cada unidad está compuesta por elementos capacitivos en serie que se colocan en paralelo con otras unidades.

Figura 21:
Esquema de un banco de condensadores con capacitores sin fusibles



Fuente: IEEE std 1036-2010 (2010) "IEEE Guide for Application of Shunt Power Capacitors" [24]

2.1.8 Flujo de potencia

Amer A. (2000) "Voltage collapse prediction for interconnected power systems" [13]:

Los estudios de flujo de potencia son ampliamente utilizados en los estudios de sistemas de potencia, y es una herramienta fundamental para planificar la expansión de la infraestructura eléctrica. Asimismo, este tipo de estudios son la base para el desarrollo de otro tipo de estudios eléctricos como el cálculo de corto circuito o estabilidad.

La solución del problema de flujo de potencia determinará las condiciones del sistema eléctrico cuando es sometido a condiciones específicas de carga. El resultado

proveerá los niveles de tención en cada barra y la potencia de generación y cargabilidad de líneas y transformadores.

El problema de flujo de carga es formulado como el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\mathrm{I} = \mathrm{YV} \qquad \text{(Ec. 2.10)}$$

I : Matriz Corriente inyectada en cada barra

Y: Matriz Admitancia

V. Matriz Voltaje de cada barra

$$I_k = \sum_{m=1}^{n} Y_{km} V_m \qquad \text{(Ec. 2.11)}$$

$$P_k - jQ_k = V_k^* I_k = V_k^* \sum_{m=1}^{n} Y_{km} V_m \qquad \text{(Ec. 2.12)}$$

$$V_k = V_k e^{j\delta_k} \qquad \text{(Ec. 2.13)}$$

$$V_m = V_m e^{j\delta_m} \qquad \text{(Ec. 2.14)}$$

$$Y_{km} = Y_{km} e^{j\theta_{km}} \qquad \text{(Ec. 2.15)}$$

$$P_k = \sum_{m=1}^{n} |Y_{km} V_k V_m| \cos(\theta_{km} + \delta_k - \delta_m) \qquad \text{(Ec. 2.16)}$$

$$Q_k = -\sum_{m=1}^{n} |Y_{km} V_k V_m| \sin(\theta_{km} + \delta_k - \delta_m) \qquad \text{(Ec. 2.17)}$$

A las ecuaciones anteriores se les denomina las “Static Load Flow Equation”.

Lo usual en estudios de flujo de carga es identificar tres tipos de barras en la red. En cada barra se especifican dos de las cuatro variables: Pk, Qk, Vk y δk y se calculan las faltantes. Las variables se seleccionan de acuerdo con el siguiente criterio:

La solución de las ecuaciones de flujo de carga requiere el uso de técnicas de iteración, el algoritmo más utilizado y confiable es el de Newton-Raphson, el cual se basas en la expansión de la serie de Taylor para una función de dos o más variables.

Si en cada barra se especifica la potencia activa y reactiva, podremos escribir las ecuaciones de flujo de carga de la siguiente manera:

$$P_1(\delta_1, \dots, \delta_n, V_1, \dots, V_n) = P_1^{sp}$$

$$\dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots$$

$$P_n(\delta_1, \dots, \delta_n, V_1, \dots, V_n) = P_n^{sp}$$

$$Q_1(\delta_1, \dots, \delta_n, V_1, \dots, V_n) = Q_1^{sp}$$

$$\dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots$$

$$Q_n(\delta_1, \dots, \delta_n, V_1, \dots, V_n) = Q_n^{sp}$$

Siguiendo el procedimiento para la aplicación del método:

$$\begin{bmatrix} P_1^{sp} - P_1(\delta_1^0, \dots, \delta_n^0, V_1^0, \dots, V_n^0) \\ \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \\ \vdots \\ P_n^{sp} - P_n\left(\delta_1^0, \dots, \delta_n^0, V_1^0, \dots, V_n^0\right) \\ \vdots \\ Q_1^{sp} - Q_1\left(\delta_1^0, \dots, \delta_n^0, V_1^0, \dots, V_n^0\right) \\ \vdots \\ \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \\ \vdots \\ Q_n^{sp} - Q_n(\delta_1^0, \dots, \delta_n^0, V_1^0, \dots, V_n^0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_1}{\partial \delta_1} & \dots & \frac{\partial P_1}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_1}{\partial V_1} & \dots & \frac{\partial P_1}{\partial V_n} \\ & & \vdots & & & \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ & & \vdots & & & \\ \frac{\partial P_n}{\partial \delta_1} & \dots & \frac{\partial P_n}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_n}{\partial V_1} & \dots & \frac{\partial P_n}{\partial V_n} \\ & & \vdots & & & \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ & & \vdots & & & \\ \frac{\partial Q_1}{\partial \delta_1} & \dots & \frac{\partial Q_1}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_1}{\partial V_1} & \dots & \frac{\partial Q_1}{\partial V_n} \\ & & \vdots & & & \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ & & \vdots & & & \\ \frac{\partial Q_n}{\partial \delta_1} & \dots & \frac{\partial Q_n}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_n}{\partial V_1} & \dots & \frac{\partial Q_n}{\partial V_n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\delta_1 \\ \vdots \\ \Delta\delta_n \\ \vdots \\ \Delta V_1 \\ \vdots \\ \Delta V_n \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \vdots \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} \frac{\partial P}{\partial \delta} & \frac{\partial P}{\partial V} \\ \vdots & \vdots \\ \frac{\partial Q}{\partial \delta} & \frac{\partial Q}{\partial V} \end{bmatrix}}_{\text{Matriz Jacobiano}} \begin{bmatrix} \Delta\delta \\ \vdots \\ \Delta V \end{bmatrix}$$

Donde:

ΔP : Vector error de la potencia activa

ΔQ : Vector error de la potencia reactiva

Cuando utilizando el método de Newton-Raphson llegamos a una solución, significa que tenemos un modelo linealizado alrededor de un determinado punto de operación. Las ecuaciones nos permiten determinar las variaciones de δ y V a partir de los cambios en P y Q, lo cual nos será muy útil para realizar el análisis de estabilidad de voltaje.

2.2 Marco Conceptual: Definición de términos o conceptos

Tensión: Magnitud encargada de establecer la diferenciación de potencial eléctrico que existe entre dos puntos.

Derivación: Dispositivo que crea un camino de baja resistencia para la corriente eléctrica, para permitirle pasar alrededor de otro punto en el circuito.

Trifásico: Sistema de producción, distribución y consumo de energía eléctrica formado por tres corrientes alternas monofásicas de igual frecuencia y amplitud.

Radial: El sistema de alimentación eléctrica en el cual cada carga está conectada con el centro de alimentación a través de un cable o línea exclusiva.

Barra: Conjunto de conductores eléctricos que se utilizan como conexión común de los diferentes circuitos que consta una subestación.

Carga: Potencia que es consumida en cada barra del sistema eléctrico que se mide en MW o MVA.

Neutro: Conductor con potencial cero. Su función es precisamente crear un desequilibrio, una diferencia de potencial que permita la existencia de corriente eléctrica por el conductor de Fase.

Capítulo III

3. Desarrollo del trabajo de investigación

3.1 Recolección de Datos

Para el diseño del banco de condensadores se utilizaron las especificaciones técnicas definidas por la planta industrial, las cuales constan de lo siguiente:

- Potencia: 9.6 MVAR
- Tensión: 13.8 kV
- Número de pasos: 4 (2.4 MVAR/paso)
- Frecuencia: 60 Hz
- Tipo: compacto

Asimismo, se determinó utilizar un equipo compacto tipo “metal enclosed” debido a que su instalación sería en interior donde no se contaba con mucha área disponible como se muestra en la figura 22.

Figura 22:
Espacio disponible para instalación de banco de condensadores

Fuente: Trupal

Los datos de consumo de potencia se midieron en campo mediante la instalación de equipos de medición en diferentes puntos del sistema eléctrico de la planta de Trupal. Asimismo, al momento de proceder a medir en los puntos consignados inicialmente, se descubrió que los equipos y/o dispositivos de medición de las celdas de media tensión no estaban operativos a causa de una falla, el cual los dejo inoperativos. Ante dicha situación se procedió a realizar mediciones en el lado de baja de tensión (Tableros generales de cada subestación eléctrica), esto acarreo mayores puntos de medición (Ahora son 15 puntos de medición y análisis). Tal como se aprecia en la siguiente tabla 7 y figura 23.

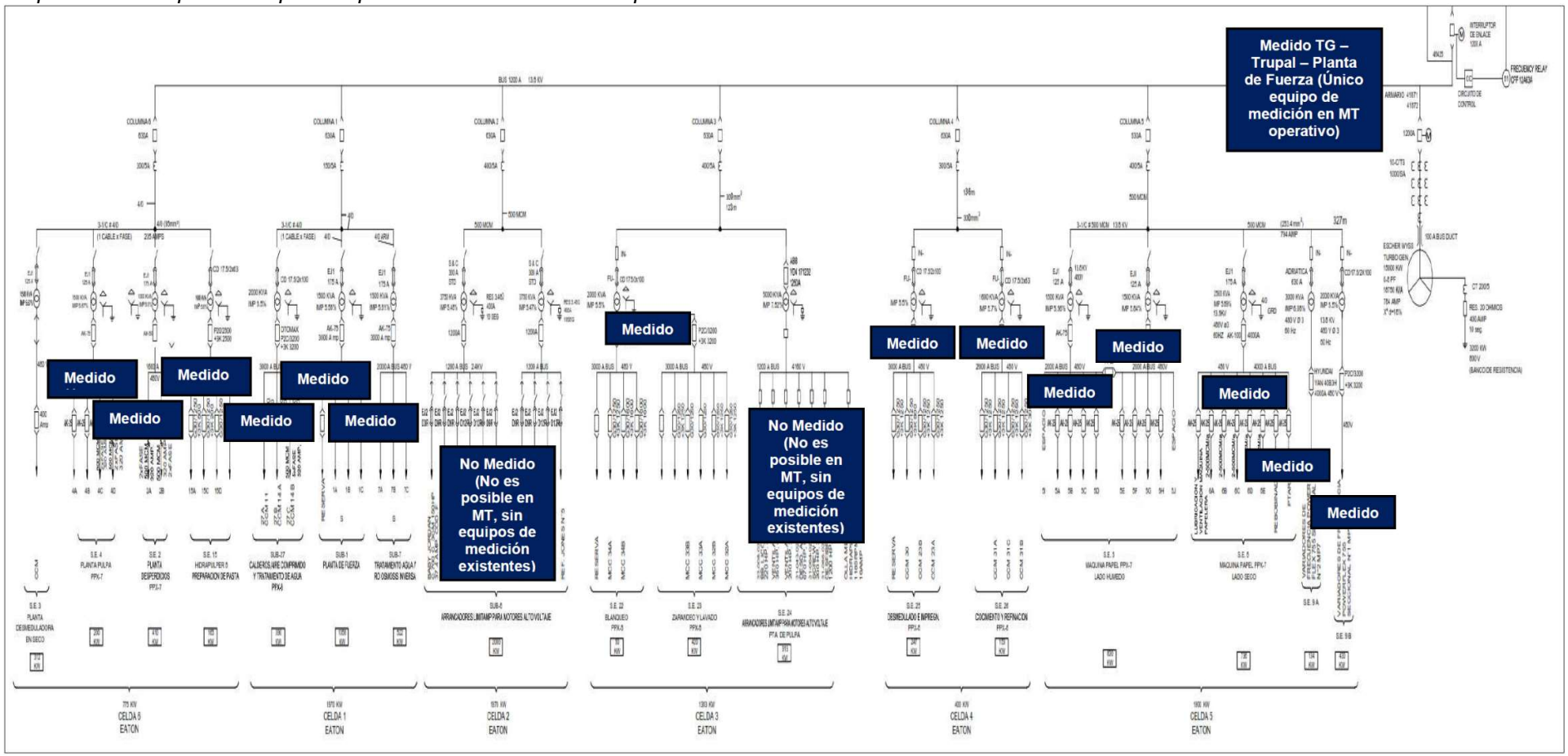
Tabla 7:
Puntos de medición en planta Trupal

ITEM	PUNTOS DE MEDICIÓN
1	TABLERO PRINCIPAL DE ALIMENTACIÓN - TRUPAL TOTAL - 13,8 kV
2	SE 27 - TABLERO GENERAL 480 V
3	SE 25 - TABLERO GENERAL 480 V
4	SE 06 - TABLERO GENERAL 480 V
5	SE 22 - TABLERO GENERAL 480 V
6	SE 9B - TABLERO GENERAL 480 V
7	SE 9A - TABLERO GENERAL 480 V
8	SE 07 - TABLERO GENERAL 480 V
9	SE 5 - B - TABLERO GENERAL 480 V
10	SE 5 - A - TABLERO GENERAL 480 V
11	SE 01 - TABLERO GENERAL 480 V
12	SE 15 - PULPA 8 - TABLERO GENERAL 480 V
13	SE 26 - TABLERO GENERAL 480 V
14	SE 4 - TABLERO GENERAL 480 V
15	SE 2 - PULPA 7 - - TABLERO GENERAL 480 V

Fuente: Elaboración propia

Figura 23:

Esquema unifilar planta Trupal con puntos de medición en campo



Fuente: Trupal

3.2 Cálculos y Selección de Componentes

3.2.1 Coordinación del aislamiento

Determinación de tensiones representativas:

Para el nivel de tensión de 13.8 kV se tiene una tensión máxima de operación de 17.5 kV y una tensión máxima de operación continua:

Uc = 17.5 X 1.05 / √3 = 10.6 kV, fase – tierra (15 kVp).

Cálculo y dimensionamiento de pararrayos:

Tensión de operación continua: Uc = 10.6 kV

Tensión asignada: Ur = 1.25 x Uc = 13.3 kV

El modelo seleccionado es el ZHP015 de la marca MacLean Power System, que tiene los siguientes valores, y sus detalles se aprecian en la tabla 8:

Uc = 12.7 kV

Ur = 15 kV

Nivel de protección al impulso de maniobra: Ups = 35 kV

Nivel de protección al impulso atmosférico: Upl = 54.2 kV

Tensión residual a 5 kA = 43.4 kV

Tensión residual a 10 kA = 47.9 kV

Tabla 8:
Datos técnicos de pararrayos

Catalog Number	Voltage Rating (Ur) (kV rms)	MCOV (Uc) (kVrms)	Equivalent F.O.W. kV (Crest)	Switching Surge kV (crest)	Discharge Voltage (1.5kA)	Discharge Voltage (2.5kA)	Discharge Voltage (3kA)	Discharge Voltage (5kA)	Discharge Voltage (10kA)	Discharge Voltage (20kA)	Discharge Voltage (40kA)
ZHP003	3	2.55	11.5	7.5	8.4	8.6	8.7	9.2	10.2	11.6	13.7
ZHP006	6	5.1	23.4	15.1	17.1	17.5	17.7	18.8	20.7	23.6	27.7
ZHP009	9	7.65	33.5	21.6	24.4	25.0	25.4	26.8	29.6	33.8	39.7
ZHP010	10	8.4	36.3	23.5	26.5	27.2	27.5	29.1	32.1	36.6	43.0
ZHP012	12	10.2	43.5	28.2	31.8	32.6	33.0	34.9	38.5	44.0	51.6
ZHP015	15	12.7	54.2	35.0	39.5	40.5	41.0	43.4	47.9	54.7	64.2

Fuente: MacLean Power

Sobretensión temporal:

Se consideran los valores sugeridos en el estándar IEC-60071-2, los cuales son resultados conservadores.

Falla fase – tierra: Urp = 1.5 Us / √3 = 15 kV fase - tierra

Rechazo de carga: Urp = 1.4 Us = 25 kV fase - fase

Sobretensión de frente lento:

Impulsos que afectan todos los equipos:

Fase – tierra: Uet = 2.13 x 15 kVp = 32 kV

Fase – fase: Upt = 3.2 x 15 kVp = 48 kV

Nota: Valores calculados de acuerdo con lo sugerido en el anexo H de la IEC 60071-2.

Pararrayos a la entrada:

Fase – tierra para cualquier equipo: Urp = Ups = 35 kV

Fase – fase para equipo de entrada: Urp = 2 x Ups = 70 kV

Fase – fase para equipo excepto en la entrada: Urp = Upt = 48 kV

Tensiones de coordinación:

Sobretensiones temporales:

Ucw = Kc x Urp

Fase - tierra: Kc = 1 Ucw = 15 kV

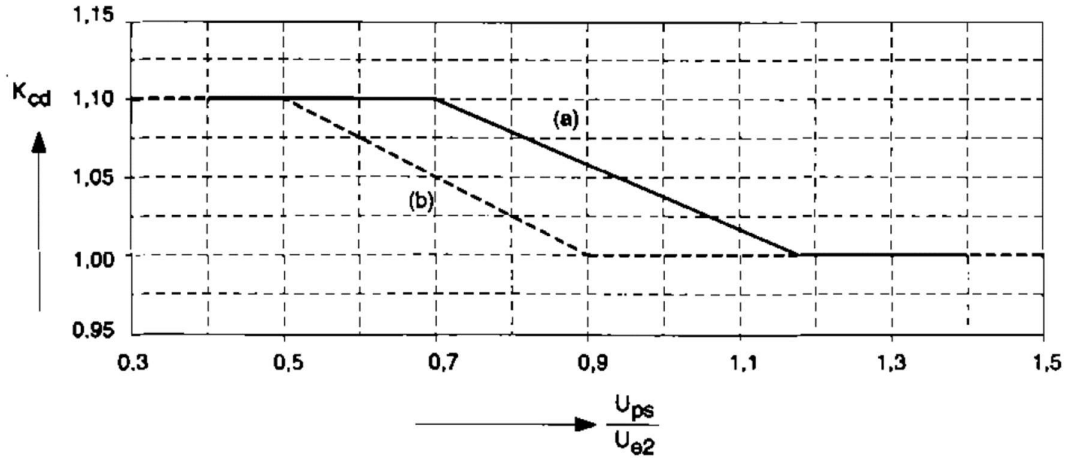
Fase - fase: Kc = 1 Ucw = 25 kV

Kc = 1, factor sugerido en 3.3.1 por la IEC 60071-2

Sobretensiones de frente lento:

Factor de coordinación determinístico cuyo valor es calculado de acuerdo con lo recomendado por IEC 60071-2 y mostrado en la figura 24:

Figura 24:
Evaluación del factor de coordinación estadística Kcd



Fuente: IEEE std 1036-2010 (2010) "IEEE Guide for Application of Shunt Power Capacitors" [24]

Fase - tierra:	Kc = 1 .1	Ucw = 1.1 x 35 = 38.5 kVp
	Kc = 1 .03	Ucw = 1.03 x 35 = 36.05 kVp
Fase - fase:	Kc = 1 .01	Ucw = 1.01 x 70 = 70.7 kVp
	Kc = 1	Ucw = 1 x 48 = 48 kVp

Sobretensiones de frente rápido:

Upl del pararrayo = 54.2 kV

Factor A = 900 kV de acuerdo con IEC 61700-2, tabla F2.

Cantidad de líneas conectadas a la subestación n = 2

Distancia de pararrayos al último equipo L = 10m externo

Distancia de pararrayos al último equipo L = 20m interno

Vano típico de línea Lsp = 40m

Índice de fallas Rkm = 2 / 100 km año

Tasa de falla aceptable Ra = 1 / 200 años

Longitud equivalente de la línea que produce una cantidad de salidas igual a la tasa de fallas aceptable:

La = Ra / Rkm = 250 m

Aplicando la formula recomendada por la IEC:

Aislamiento externo:

Ucw = Upl +(A / n) x (L / (Lsp + La)) = 54.2 + (900 / 2) x (20 / (40+250))

Ucw = 85.23 kV

Aislamiento interno:

Ucw = Upl +(A / n) x (L / (Lsp + La)) = 54.2 + (900 / 2) x (10 / (40+250))

Ucw = 69.72 kV

Determinación de tensiones de soportabilidad requeridas:

Aislamiento interno Ks = 1.15

Aislamiento externo Ks = 1.05

Factor de corrección por altura Ka = 1 (instalación a menos de 1,000m)

Tensiones de soportabilidad requeridas:

Aislamiento externo: Urw = Ucw x Ks x Ka

Aislamiento interno: Urw = Ucw x Ks

Aplicando los factores de seguridad se tienen los siguientes resultados mostrados en la tabla 9:

Tabla 9:
Tensiones de soportabilidad requeridas

Aislamiento		Equipos	Ucw (kV)		Urw (kV)	
			Externo	Interno	Externo	Interno
Sobretensiones temporales	Fase-tierra		15	15	16	17
	Fase-fase		25	25	26	29
Sobretensiones de frente lento	Fase-tierra	Entrada	39	39	40	44
		Otros	36	36	38	41
	Fase-fase	Entrada	71	71	74	81
		Otros	48	48	50	55
Sobretensiones de frente rápido	Fase-tierra		85	70	89	80
	Fase-fase		85	70	89	80

Fuente: Elaboración propia

Conversión a tensiones de soportabilidad normalizadas en tabla 10:

Tabla 10:
Tensiones de soportabilidad normalizadas

Aislamiento	Tensión	Equipo	Soportabilidad de corta duración a frecuencia indsutrial SDW (kV)	Soportabilidad al impulso tipo rayo LIW (kV)
Interno	Fase-tierra	Entrada	22	44
		Otros	21	41
	Fase-fase	Entrada	41	81
		Otros	28	55
Externo	Fase-tierra	Entrada	24	43
		Otros	23	40
	Fase-fase	Entrada	45	79
		Otros	30	53

Fuente: Elaboración propia

Resumen de los valores de soportabilidad requeridos en tabla 11:

Tabla 11:
Tensiones de soportabilidad normalizadas requeridas

		Externo		Interno	
		No convertido Urw (kV)	Convertido Urw (kV)	No convertido Urw (kV)	Convertido Urw (kV)
Impulso atmosférico	Fase-tierra	89	43	80	44
Impulso de maniobra		40	-	44	-
Frecuencia industrial		16	24	17	22
Impulso atmosférico	Fase-fase	89	79	80	81
Impulso de maniobra		74	-	81	-
Frecuencia industrial		26	45	29	41

Fuente: Elaboración propia

Selección del aislamiento normalizado: Se debe tener en cuenta que el banco de condensadores es una integración de varios componentes que tienen normativas diferentes por lo que la selección de los valores de aislamientos se llevará a cabo para las dos normativas utilizadas, es decir, para la IEC y IEEE.

Interno: La mayor tensión calculada para sobretensiones de frecuencia industrial es 29 kV fase - fase, se selecciona el valor superior normalizado que corresponde 38 kV para IEC y para 35 kV para IEEE, los cuales están asociados a una soportabilidad al

impulso atmosférico de 95 kV que es superior a la tensión requerida según los cálculos, que resultó 45 kV.

Externo: Para estas instalaciones que están localizadas al nivel del mar se deben utilizar una soportabilidad mínima al impulso atmosférico de 95 kV que corresponde a una soportabilidad de frecuencia industrial de 38 kV con Us = 17.5 kV para IEC y, 35 kV con Us = 15 kV para IEEE.

3.2.2 Selección de condensadores

La normativa empleada para la selección de condensadores es IEC-60871 “Shunt capacitors for a.c. power systems having a rated voltage above 1000 V”. Asimismo, debido a la necesidad de hacer compacto el banco de condensadores se seleccionaron unidades con fusibles internos con los niveles de aislamiento calculados en 3.7.1 y con una configuración doble estrella, es decir, dos unidades en paralelo tal como lo indicado en 2.1.7. Se muestran en la figura 25 y tabla 12.

Figura 25:
Unidades capacitivas seleccionadas

Fuente: Leyden

Tabla 12:
Datos técnicos de unidades capacitivas seleccionadas

CAPACITOR DE POTENCIA EN DERIVACION — MARCA REGISTRADA — IEYDEN, S.A.		
IEC 60871−1 (2014) IRAM 2326 (1993) NBR 5282 (1998)	FUSIBLES INT. SI	N°
TIPO 079XMFZ400	Qn 400 kVAr	NIVEL AISL. 38/95 kV
f 60 Hz	Un 7960 V	FASES 1
C 16,75 µF	DESCARG. INT. 3 MΩ	CONEX. M
PESO 63 Kg.	AÑO 2021	TEMP.CAT. −25/50 °C
O/C: 6957-2	Cmed.: µF	
IMPREGNANTE SINTETICO BIODEGRADABLE INDUSTRIA ARGENTINA JAR.C101D		

Fuente: Leyden

3.2.3 Selección de llaves de vacío para conmutación de pasos

Para la conmutación de cada paso del banco de condensadores se utilizaron llaves de vacío unipolares especialmente diseñadas para bancos de condensadores, el modelo seleccionado es de la marca ABB, modelo VerSaVac como se aprecia en la figura 26 y tabla 13, el cual cumple con las recomendaciones del estándar IEEE C37.66-2021 “Standard Requirements for Capacitor Switches for AC Systems (1 kV to 38 kV)”. Más adelante se verificará la soportabilidad durante eventos transitorios.

Figura 26:
Llave de vacío unipolar

Fuente: ABB

Tabla 13:
Datos técnicos de llave de vacío unipolar

Ratings

			Exceeds electrical requirements of ANSI C37.66
Continuous current			200 A
Short-time current			6 kA (½ sec.), 4.5 kA (1 sec.)
Asymmetrical momentary/making current			9 kA Asymmetrical RMS/23 kA Peak
Peak inrush current limit for parallel or back-to-back switching applications			6 kA
Control voltages			120 V AC, 240 V AC (see accessories, p. 15)
Minimum operating voltage			80 V AC, 160 V AC
Recommended control pulse time			100 msec.
Auxiliary contact rating			15A @ 120 V AC, .5A @ 125 VDC
Operating temperature range			-60˚ to 40 ˚C
Voltage class (kV)			
Maximum voltage			
Solid grounded applications (kV)	15.5	27.5	38
Ungrounded applications (kV)	15.5	27.5	N/A
Ungrounded applications with manual trip* (kV)	12.47	22.5	N/A
Impulse withstand (kV BIL)			
Line to ground	95	125	150
Open-gap	95	95/125	125
Power frequency AC withstand dry/wet (kV RMS)	36/30	60/50	70/60

Fuente: ABB

3.2.4 Sistema de protección

El sistema de protección del banco de condensadores estará compuesto por lo siguiente:

Seccionadores fusibles para actuar por fallas y protección de desbalance mediante relé y para la protección de desbalance de corriente de neutro se utilizó un transformador de corriente que censa la corriente de desbalance entre neutros de cada arreglo en estrella, al tratarse de un sistema solo con 2 unidades por fase se analizarán escenarios donde un capacitor falla parcialmente de acuerdo con los datos de la tabla 14 y 15:

Tabla 14:
Datos para el cálculo de corriente de desbalance

Vn	13.80	kV
Vph	7.97	kV
Q	9,600.00	kVAR
Qc	400.00	kVAR
S	1.00	
N	2.00	
F	0.1429	
Ic	50.25	A
Vc	7.96	kV
C	16.75	µF

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15:
% fallado que afecta la capacidad de una unidad capacitiva

Falla	% fallado	Capacitancia fallada µF
1	1.75%	0.29
2	3.70%	0.62
3	5.88%	0.98
4	**8.33%**	**1.39**
5	11.11%	1.86
6	**14.29%**	**2.39**

Fuente: Elaboración propia

Con esta información se calculará la corriente de desbalance utilizando la Ec. 2.9 y considerando un transformador de corriente con relación de transformación de 10/5, y se muestra en la tabla 16:

Tabla 16:
Corriente de desbalance

Falla	% fallado	Capacitancia fallada µF	Io primaria	Io secundaria
1	1.75%	0.29	0.44	0.22
2	3.70%	0.62	0.93	0.47
3	5.88%	0.98	1.49	0.74
4	**8.33%**	**1.39**	**2.11**	1.05
5	11.11%	1.86	2.82	1.41
6	**14.29%**	**2.39**	**3.64**	1.82

Fuente: Elaboración propia

Se define como alarma el valor de 1.05 A y 1.82 como valor para el disparo. Se selecciona el relé de protección de la marca Selec modelo 900CPR-1-BL-U como se muestra en la figura 27 y tabla 17.

Figura 27:
Relé de protección de desbalance

Fuente: Selec

Tabla 17:
Datos técnicos de relé de protección de desbalance

Functions	
Measurements	Under current and Over current
Time Settings	Power ON delay, Trip time delay, Recovery time delay
Alarm Indications	Trip
Latching	Selectable
Reset	Auto / Manual (Selectable)
Electrical Connection	1Ø - 2 wire
CT Settings	
CT Primary	1A / 5A - 999A (Selectable)
CT Secondary	1A / 5A (Selectable)
Current Rating	
Measuring Range (RMS Value)	0 - 1.19kA
Trip Settings	
Under Current	0 - 999A (0 - 100% of CT Primary Setting)
Over Current	0.5A - 1.19kA (10 - 120% of CT Primary Setting)
Current Asymmetry	5.0 - 99.9%

Fuente: Selec

3.2.5 Cálculo de corriente transitoria

Con los componentes seleccionados se elaboró el diagrama unifilar del banco de condensadores mostrado en la figura 29. Asimismo, se utilizaron las recomendaciones indicadas en [24], los datos se muestran en la tabla 18:

Tabla 18:
Datos para cálculo de corriente transitoria

Lcable =	0.295	µH/m
Lbarras =	0.702	µH/m
Lconde =	5.00	µH
Long cab=	3.75	m
Long bar=	7.20	m
MVAR paso	2,400	kVAR
VLL	13.80	kV
fs	60	Hz

Fuente: Elaboración propia

Cálculos previos mostrados en la tabla 19:

Tabla 19:
Cálculos previos de inductancias

L1=LC1+Lcable+Ltr		
LC1 =	5.00	µH
Lcable =	1.11	µH
Ltr	-	µH
L1 =	6.11	µH
LB =	5.05	µH
IC1 =	100.41	A

Fuente: Elaboración propia

Ltr: inductancia de reactor de inserción.

Escenario 1: Ingreso de C2 estando energizado C1, mostrado en la tabla 20.

Tabla 20:
Corriente transitória para escenario 1

Leq =	L1+LB/3+L2	(L1=L2=L3=L4)
Leq =	13.90	µH
Imaxpk	12,355.75	A
ft	10.44	kHz

Fuente: Elaboración propia

Escenario 2: Ingreso de C1 estando energizado C2, C3, mostrado en la tabla 21.

Tabla 21:
Corriente transitoria para escenario 2

Leq =	L1+LB/3+(L2+L3+LB/3)/(L2*(L3+LB/3))	
Leq =	8.08	µH
Imaxpk	16,201.06	A
ft	13.69	kHz

Fuente: Elaboración propia

Escenario 3: Ingreso de C1 estando energizado C2, C3, C4, mostrado en la tabla 22.

Tabla 22:
Corriente transitoria para escenario 3

L34	(L3+(L4+LB/3))/(L3*(L4+LB/3))	
L34	0.29	µH
L24	(L2+(LB/3+L34))/(L2*(LB/3+L34))	
L24	0.67	µH
Leq	L1+LB/3+L24	
Leq	8.46	µH
Imaxpk	15,835.52	A
ft	13.38	kHz

Fuente: Elaboración propia

En todos los escenarios donde no se cuenta con reactores de inserción las corrientes transitorias calculadas superan los valores especificados por las llaves de vacío seleccionadas las cuales soportan hasta 6 kA de corriente transitoria, el peor es el escenario 3 donde se tiene una corriente transitoria de 16.2 kA. Por lo tanto, se realizan nuevos cálculos considerando reactores de inserción Ltr = 100 µH.

Escenario 1A: Ingreso de C2 estando energizado C1, tabla 23.

Tabla 23:
Corriente transitoria para escenario 1A

Leq =	L1+LB/3+L2	(L1=L2=L3=L4)
Leq =	213.90	µH
Imaxpk	3,149.43	A
ft	2.66	kHz

Nota: Fuente Elaboración propia

Escenario 2A: Ingreso de C1 estando energizado C2, C3, mostrado en tabla 24.

Tabla 24:
Corriente transitoria para escenario 2A

Leq =	L1+LB/3+(L2+L3+LB/3)/(L2*(L3+LB/3))	
Leq =	107.81	µH
Imaxpk	4,436.14	A
ft	3.75	kHz

Fuente: Elaboración propia

Escenario 3A: Ingreso de C1 estando energizado C2, C3, C4, tabla 25.

Tabla 25:
Corriente transitoria para escenario 3A

L34	(L3+(L4+LB/3))/(L3*(L4+LB/3))	
L34	0.02	µH
L24	(L2+(LB/3+L34))/(L2*(LB/3+L34))	
L24	0.60	µH
Leq	L1+LB/3+L24	
Leq	108.39	µH
Imaxpk	4,424.30	A
ft	3.74	kHz

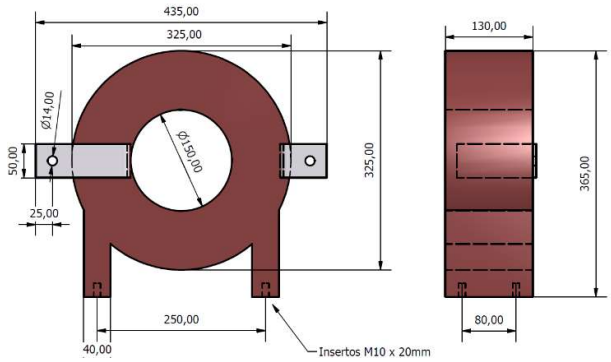
Fuente: Elaboración propia

Incluyendo reactores de inserción en el banco de condensadores se consigue disminuir las corrientes transitorias siendo el escenario 2A el que tiene la mayor corriente de 4.4 kA aunque este valor está por debajo de la soportabilidad de las llaves de vacío seleccionadas que tienen 6 kA. La inductancia seleccionada es de la marca Tramaq como se aprecia en la figura 28 y tiene las siguientes especificaciones técnicas:

- Inductancia: 100 µH
- Tipo: Encapsulado en resina

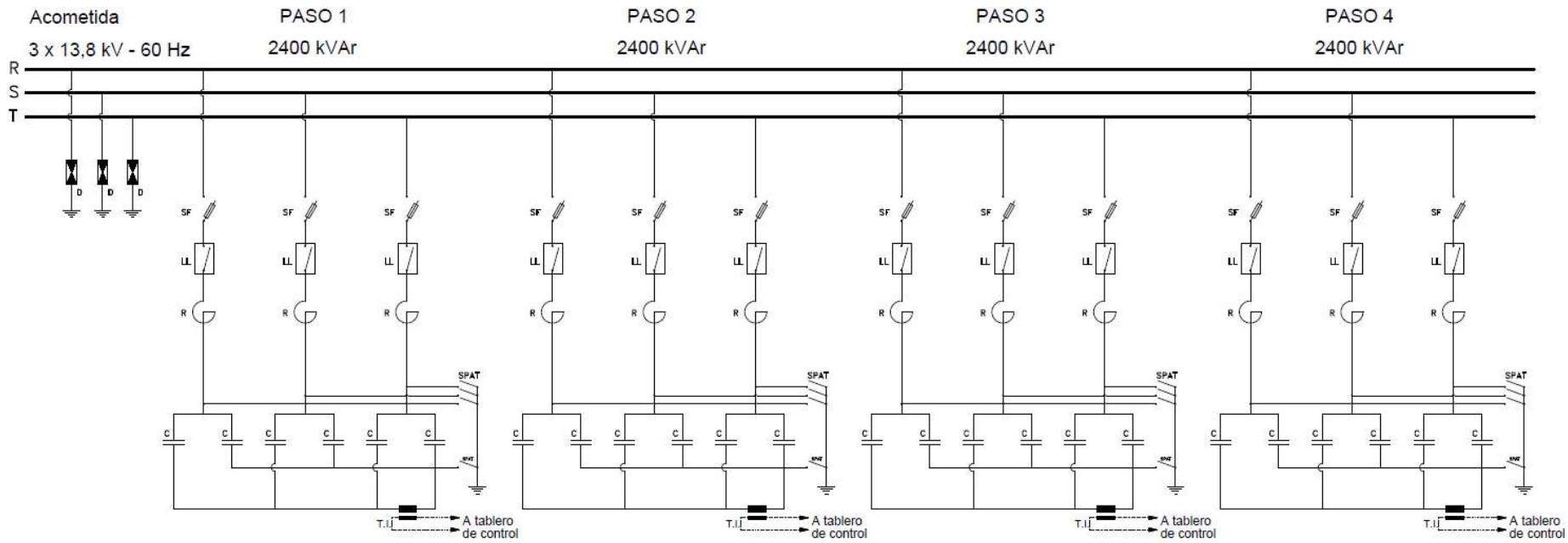
- Intensidad nominal/máxima: 100/150 A
- Tensión: 13.8 kV
- Instalación: Interior

Figura 28:
Inductancia de inserción



Fuente: Tramaq

Figura 29:
Diagrama trifilar de banco de condensadores



Fuente: Trupal

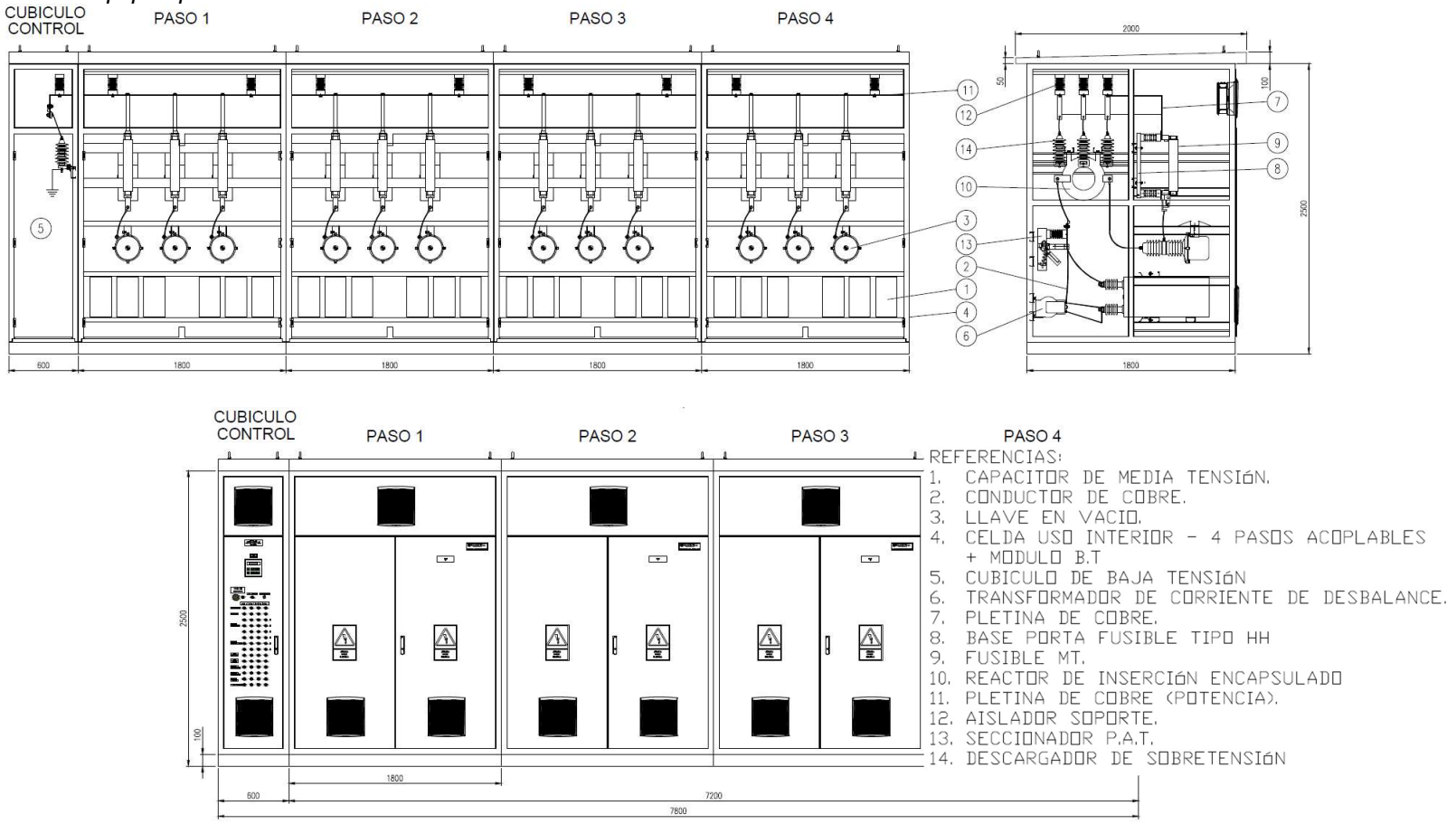
3.2.6 Arreglo general del banco de condensadores

Con los equipos seleccionados elaboramos el diagrama general de ensamble del equipo como se muestra en la figura 30. Para la disposición general se consideró la necesidad de construir de manera compacto el banco. Asimismo, con esta información se procedió con la construcción del banco de condensadores.

En las figuras 31, 32 y 33 se aprecia la instalación final del banco de condensadores en la planta Trupal.

Figura 30:

Disposición general de equipos para banco de condensadores



Fuente: Trupal

Figura 31:
Instalación de banco de condensadores

Fuente: Trupal

Figura 32:
Instalación de banco de condensadores

Fuente: Trupal

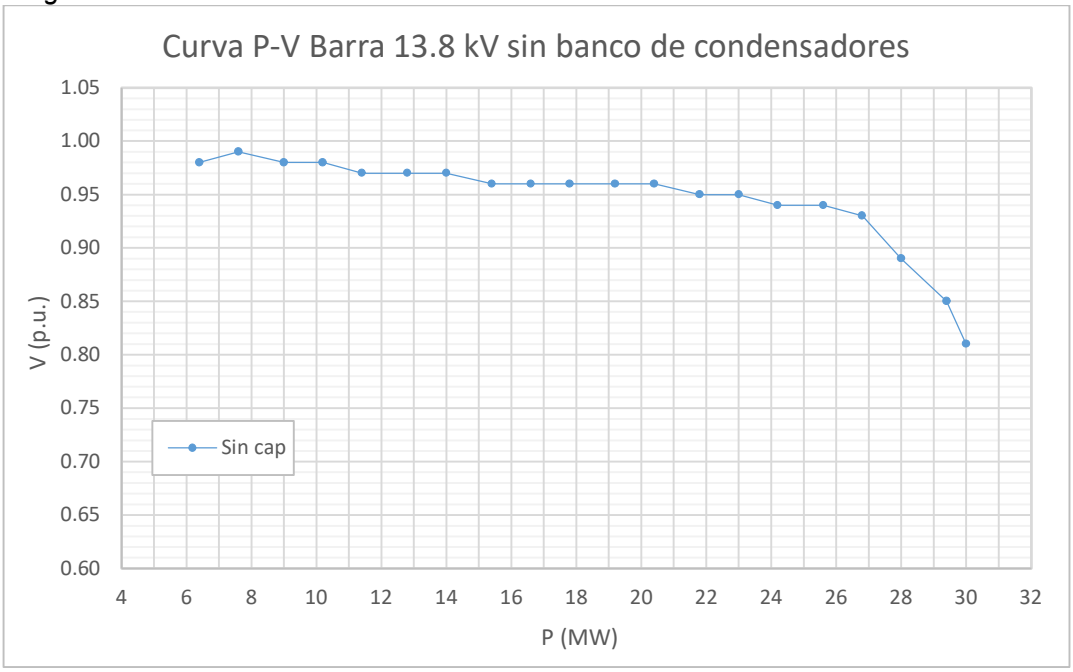
Figura 33:
Instalación de banco de condensadores

Fuente: Trupal

3.2.7 Simulación de flujo de potencia

Llevamos a cabo simulaciones de flujo de potencia del sistema eléctrico de Trupal para verificar cuales son los límites de consumo de potencia activa a los cuales alcanza con el nuevo banco de condensadores. Se realizaron simulaciones sin considerar el banco de condensadores e incrementando progresivamente la carga para conocer el límite de potencia activa que el sistema soporta, luego se repite el mismo proceso, pero considerando la incorporación del banco de condensadores. En el primer escenario presentado en la figura 34 tenemos la curva P-V donde se aprecia como la tensión se degrada progresivamente a medida que se incrementa la potencia llegando a su límite aproximadamente cuando la carga total es de 30 MW.

Figura 34:
Diagrama P-V de barra 13.8 kV sin banco de condensadores



Fuente: Elaboración propia

Tabla 26:
Resultados de flujo de potencia sin banco de condensadores

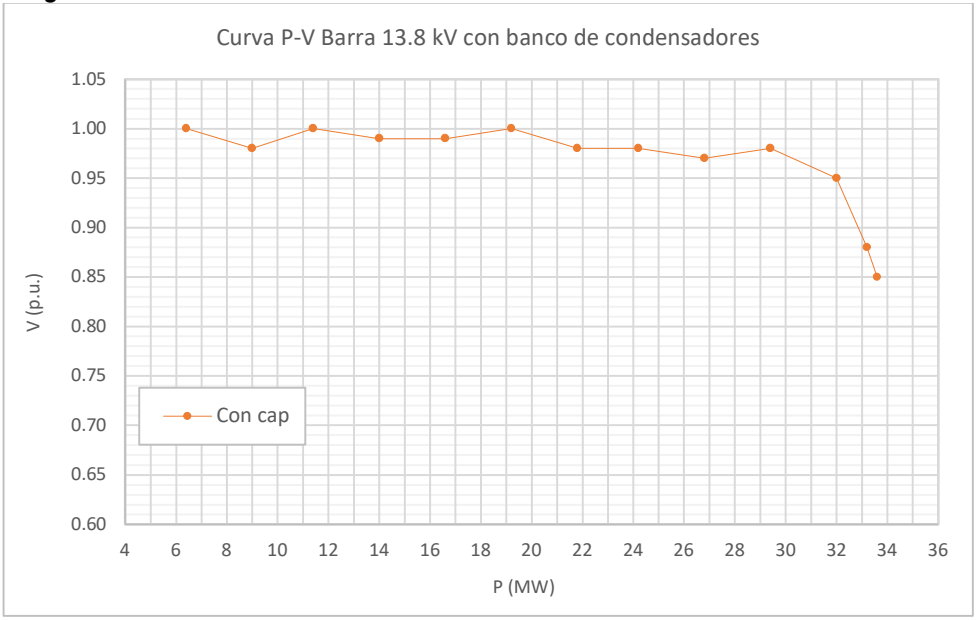
P (MW)	V (kV)	pu	Caída tensión
6.40	13.5	0.98	2.2%
7.60	13.6	0.99	1.4%
9.00	13.5	0.98	2.2%
10.20	13.5	0.98	2.2%
11.40	13.4	0.97	2.9%
12.80	13.4	0.97	2.9%
14.00	13.4	0.97	2.9%
15.40	13.2	0.96	4.3%
16.60	13.2	0.96	4.3%
17.80	13.2	0.96	4.3%
19.20	13.2	0.96	4.3%
20.40	13.2	0.96	4.3%
21.80	13.2	0.95	4.3%
23.00	13.1	0.95	5.1%
24.20	13.0	0.94	5.8%
25.60	12.9	0.94	6.5%
26.80	12.8	0.93	7.2%
28.00	12.3	0.89	10.9%
29.40	11.8	0.85	14.5%
30.00	11.2	0.81	18.8%

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 26 se aprecian los valores de tensión y potencia resultantes de las simulaciones de flujo de potencia cuando no se tiene el banco de condensadores.

En el caso cuando tenemos instalado el banco de condensadores tenemos un comportamiento similar mostrado en la figura 35 pero se aprecia que el colapso del sistema se produce a los 33 MW de carga total.

Figura 35:
Diagrama P-V de barra 13.8 kV con banco de condensadores

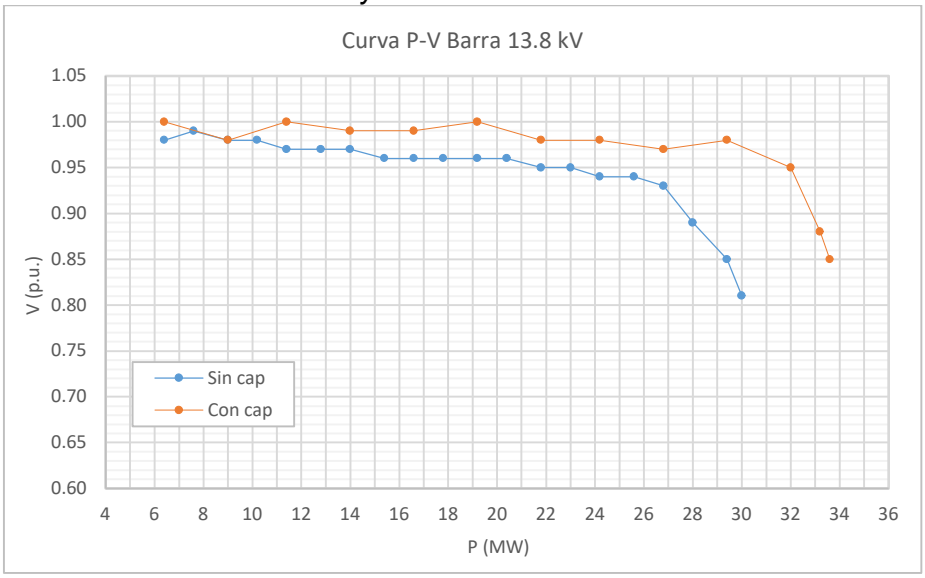


Fuente: Elaboración propia

Si comparamos ambas figuras podemos apreciar la diferencia en el comportamiento de la tensión cuando se incrementa la potencia como se muestra en la figura 36. La mejora en el perfil de tensiones es evidente cuando se cuenta con el banco de condensadores conectado a la barra de 13.8 kV. Asimismo, para una tensión de 0.9 p.u. el escenario con el banco de condensadores trabaja con una carga de hasta 33 MW mientras que cuando no te tiene el banco el sistema solo permitiría una carga de 28 MW, es decir una diferencia de aproximadamente 18%.

En la tabla 27 se aprecian los valores de tensión y potencia resultantes de las simulaciones de flujo de potencia cuando se cuenta el banco de condensadores.

Figura 36:
Diagrama P-V de barra 13.8 kV con y sin banco de condensadores



Fuente: Elaboración propia

Tabla 27:
Resultados de flujo de potencia con banco de condensadores

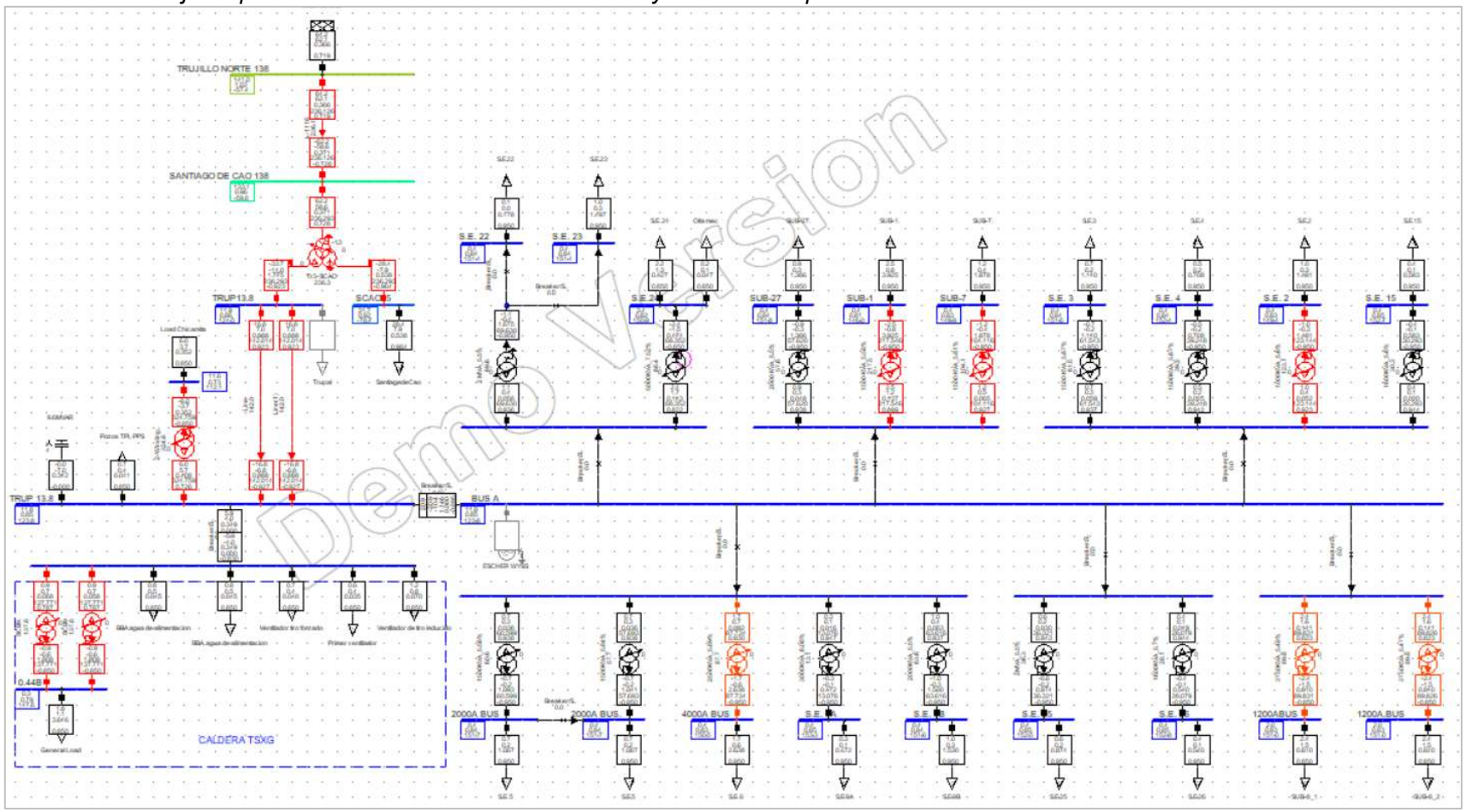
P (MW)	V (kV)	pu	MVAR	Caida tensión
6.40	13.8	1.00	2.4	0.0%
9.00	13.6	0.98	2.4	1.4%
11.40	13.8	1.00	4.8	0.0%
14.00	13.6	0.99	4.8	1.4%
16.60	13.6	0.99	7.2	1.4%
19.20	13.8	1.00	9.6	0.0%
21.80	13.6	0.98	9.6	1.4%
24.20	13.5	0.98	9.6	2.2%
26.80	13.4	0.97	9.6	2.9%
29.40	13.5	0.98	9.6	2.2%
32.00	13.1	0.95	9.6	5.1%
33.20	12.2	0.88	9.6	11.6%
33.60	11.8	0.85	9.6	14.5%

Fuente: Elaboración propia

En la figura 37 se aprecian la simulación de flujo de potencia para el sistema eléctrico que no incluye el banco de condensadores mientras que la figura 38 corresponde al que si lo incluye dentro del sistema.

Figura 37:

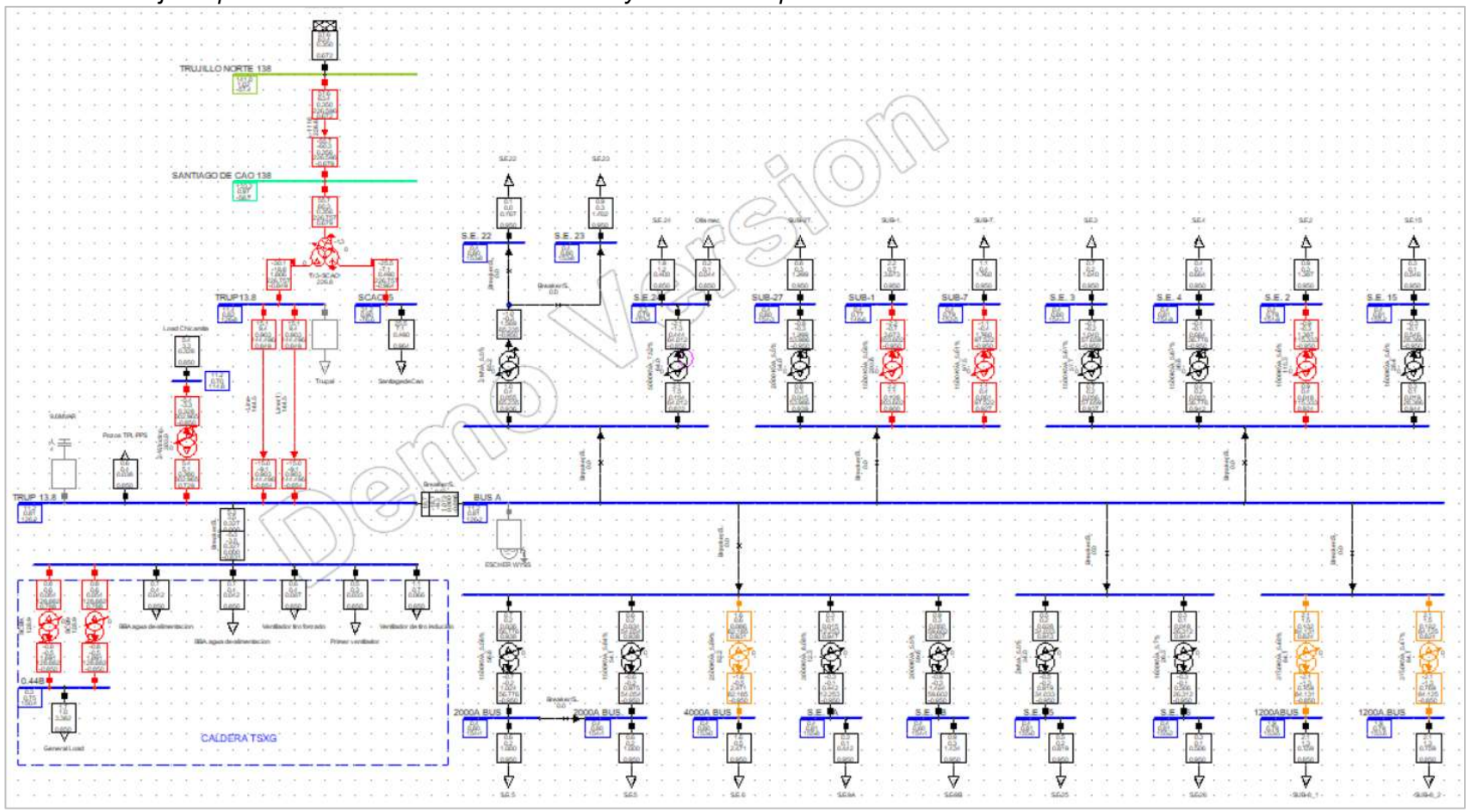
Simulación de flujo de potencia con banco de condensadores y una máxima potencia de 34 MW



Fuente: Elaboración propia

Figura 38:

Simulación de flujo de potencia sin banco de condensadores y una máxima potencia de 30 MW



Fuente: Elaboración propia

Capítulo IV

4. Resultados, Contrastación de Hipótesis y Discusión de Resultados

Para nuestra variable independiente; diseño de banco de condensadores, utilizamos las recomendaciones de la IEC y IEEE para realizar los cálculos eléctricos y seleccionar los componentes. Asimismo, se diseñó un banco de condensadores compacto de 4 pasos. Las tensiones de aislamiento seleccionadas para sobretensiones a frecuencia industrial difieren (38 kV para IEC y 35 para IEEE) debido a que se utilizaron normativa IEC y IEEE para los equipos, sin embargo, la tensión de soportabilidad al impulso atmosférico (95 kV) resultó la misma bajo ambas normativas. Para el cálculo de la corriente de inserción utilizamos las recomendaciones de la IEEE y analizamos varios escenarios para determinar el reactor de inserción que permita mantener una corriente de inserción por debajo del valor de corriente especificado en la llave de vacío. El sistema de protección se analizó considerando las recomendaciones de la IEEE para bancos de condensadores con conexión en doble estrella y considerando que una unidad capacitiva con fusibles internos falla parcialmente de acuerdo con la tabla 28:

Tabla 28:
Corriente de desbalance

Falla	% fallado
1	1.75%
2	3.70%
3	5.88%
4	**8.33%**
5	11.11%
6	**14.29%**

Fuente: Elaboración propia

La falla parcial en una unidad capacitiva reduce su capacitancia lo que ocasiona un desbalance de capacitancias entre unidades y genera una corriente de desbalance

que es censada por el relé de protección el cual de acuerdo con la su configuración emite una alerta o disparo.

En el análisis de flujo de potencia, cuando el sistema no cuenta con el banco de condensadores, la planta consume una potencia de hasta 23 MW, y cuando se incorpora el banco de condensadores, la potencia que consume se extiende hasta los 32 MW, en ambos casos manteniendo un nivel de tensión de 0.95pu, es decir, la variabilidad de potencia activa (variable dependiente) obtenida es de 9 MW y nuestro indicador, que mide la relación entre la potencia activa inicial y final, es de 39%.

Con respecto a nuestra hipótesis: “El diseño de un banco de condensadores en media tensión permitirá incrementar el límite de consumo de potencia activa en plantas industriales”, podemos determinar que es positiva debido a que nuestro diseño e incorporación en el sistema eléctrico de Trupal permite ampliar el consumo de potencia activa en 39% manteniendo una caída de tensión máxima de 5%.

CONCLUSIONES

Nuestra investigación permite verificar que el consumo de potencia activa en la plata de Trupal se incrementa hasta un 39% cuando se utiliza un banco de condensadores de 9.6 MVAR que consta de 4 pasos progresivos de 2.4 MVAR cada uno, manteniendo la tensión dentro de los límites permitidos (0.95pu).

Para implementaciones donde no se cuenta con área suficiente, la mejor opción es utilizar un banco de condensadores compacto o “metal enclosed”, como el diseñado en nuestra investigación, con unas dimensiones de 7.8m de largo por 1.8m de profundidad conseguimos optimizar el área de instalación en la planta. Este diseño no solo tiene beneficios por su tamaño reducido, sino que son más seguros debido a que no cuentan con componentes energizados expuestos, los trabajos de mantenimiento son mínimos y no está expuestos a interferencias externas como la presencia de animales.

Este tipo de integraciones son muy flexibles debido a que se pueden utilizar diferentes tipos de equipamiento, de diferentes fabricantes y normativas, permitiendo personalizar el diseño para cada tipo de necesidad en lo que se refiere a tamaños, disposiciones, protecciones e integraciones con otros sistemas,

La utilización de compensación reactiva para ampliar los límites de consumo de potencia activa en plantas industriales son una solución efectiva, económica y de fácil implementación considerando que son integraciones que se fabrican relativamente en un corto tiempo. Asimismo, son la mejor alternativa cuando no se cuenta con una red de transmisión adecuada o no se cuenta con una planificación de corto plazo para reforzarla.

Los beneficios de contar con un banco de condensadores también implican la reducción del consumo de potencia reactiva de la concesionaria y por lo tanto la reducción en el pago de este tipo de potencia, mejora la estabilidad de tensión haciendo

al sistema más robusto y preparado para afrontar contingencias como la pérdida de una línea de transmisión cercana.

RECOMENDACIONES

Una de las recomendaciones es realizar estudios más detallados sobre la presencia de armónicos en la red eléctrica de tal manera de determinar la necesidad de algún filtro de armónicos que ayude a mejorar la calidad de energía y asegurar a Trupal una operación continua de largo plazo reduciendo las probabilidades de fallas o interferencias en sus equipos críticos.

Es importante que las empresas industriales planifiquen y realicen las labores de mantenimiento a todos sus equipos eléctricos para asegurar su correcto funcionamiento y evitar la pérdida de equipos críticos como un banco de condensadores. Asimismo, se debe verificar los ajustes de los sistemas de protección eléctrica sobre todo cuando se llevan a cabo nuevas implementaciones.

Se debe planificar de manera muy detallada los trabajos de toma de datos de campo con una coordinación de cerca de los responsables directos operativos para evitar inconvenientes durante estos trabajos, en nuestro caso se evidenció en campo que algunas celdas de media tensión no contaban con transformadores de medición operativos lo que hizo imposible tomar mediciones en esos puntos teniendo que cambiar la planificación de los trabajos.

Realizar estudios eléctricos (flujo de potencia y corto circuito) a medida que la carga de la planta se incremente de modo que se pueda verificar si los sistemas de compensación reactiva existentes son suficientes para soportar el aumento de la demanda.

Analizar la posibilidad de utilizar la menor cantidad de pasos de acuerdo con la operatividad del banco de condensadores, por ejemplo, el sistema diseñado consta de 4 pasos de 2.4 MVAR con una secuencia individual que resulta en los siguientes valores a medida que ingresa cada paso: 2.4, 4.8, 7.2, 9.6 MVAR. Los mismos valores se

pueden conseguir con un banco de tres pasos: 2 de 2.4 MVAR y 1 de 4.8 MVAR, consiguiendo reducir la inversión en este tipo de equipamiento.

REFERENCIAS

[1] J. Marius, Design Aspects of Medium Voltage Capacitor Banks, 2015.

[2] ABB, Medium voltage capacitor switching, 2018.

[3] Northeast Power Systems (NEPSI), Medium Voltage Metal-Enclosed Power Capacitor Banks, 2015.

[4] M. Vipin, Power Loss Reduction of 11 kV Feeder using Capacitor Banks to Distribution Transformers-A Case Study, 2019.

[5] W. Zhen, Advanced Reactive Power Compensation of Wind Power Plant Using PMU Data, 2021.

[6] V. Morais, New Reactive Power Compensation Strategies for Railway Infrastructure Capacity Increasing, 2020.

[7] V. Paz, Banco de Compensación de Potencia Reactiva Capacitiva y la Calidad de Tensión en la Subestación N° 0010010 de la Calle Almagro de la Ciudad del Cusco, 2019.

[8] D. Torres, Localización Óptima de Capacitores en Redes de Distribución Para Mejorar la Eficiencia Energética del Sistema Eléctrico Chungar – Volcan, 2017.

[9] J. Jaco, Modelo para soluciones avanzadas de sistemas de compensación de energía reactiva para el proyecto minero Tambomayo - Arequipa, 2016.

[10] B. Capcha, Compensación reactiva para mejorar la calidad de suministro eléctrico en subestación eléctrica Bolívar de sociedad minera Catalina Huanca S.A.C, 2022.

[11] COES-SINAC, Propuesta Definitiva de Actualización del Plan de Transmisión 2023 – 2032, 2023.

[12] Pacific Credit Rating, INFORME SECTORIAL Perú: Sector Electricidad, 2022.

[13] A. Amer, Voltage collapse prediction for interconnected power systems, 2000.

[14] N. Ramasamy, Power system Capacitors, 2005.

[15] M. Heram, Application of Capacitor for Startinga Large 3 Phase Induction Motor in a Stand Alone Grid, 2018.

[16] C. Cárdenas, La importación de papel y el efecto de las políticas de desarrollo sostenible aplicados en el Perú, 2019.

[17] Dirección General de Eficiencia Energética, Guía de Orientación del Uso Eficiente de la Energía y de Diagnóstico Energético, 2016.

[18] EATON, Calculation of Inrush Currents in Single- and Multi-Step Capacitor Bank Installations, 2016.

[19] S. Satish, Principles of Shunt Capacitor Bank Application and Protection, 2009.

[20] IEEE C37.99-2000, IEEE Guide For The Protection of Shunt Capacitor Banks, 2000.

[21] M. Villegas, Diseño de subestaciones de alta y extra alta tensión, 2003.

[22] IEC 60071-1, Coordinación de aislamiento, Parte 1: Definiciones, principios y reglas, 2019.

[23] Hitachi Energy, Metal-oxide surge arresters in medium-voltage systems, 2018.

[24] IEEE Std. 1036-2010, IEEE Guide for Application of Shunt Power Capacitors, 2010.

ANEXOS

Anexo A: Matriz de Consistencia

Título: Diseño de un banco de condensadores de 9.6 MVAR en media tensión para incrementar el límite de consumo de potencia activa en plantas industriales.

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES		INDICADORES	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS	TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN
			DEPENDIENTE	INDEPENDIENTE			
¿Cómo la falta de compensación de potencia reactiva afecta negativamente en los planes de expansión de plantas industriales?	Diseñar un banco de condensadores de 9.6 MVAR en media tensión que permitirá incrementar el límite de consumo de potencia activa en plantas industriales.	El diseño de un banco de condensadores en media tensión permitirá incrementar el límite de consumo de potencia activa en plantas industriales.	Variabilidad de potencia activa.	Diseño de banco de condensadores.	•Relación entre potencia activa inicial y final (%). •Potencia reactiva (MVAR). •Tensión (kV). •Número de pasos (unidades).	Especificaciones técnicas del cliente. Datos del consumo de potencia de toda la planta y del nivel de tensión en las barras. Diagrama unifilar del sistema eléctrico.	Enfoque: Cuantitativa • Percepción: Objetiva • Razonamiento: Deductiva • Finalidad: Comprobación • Orientada: Resultado • Perspectiva: Desde afuera • Causalidad: Específica Enfoque: Cualitativa • Verdad: Dinámica Alcance: • Correlacional Diseño: • No experimental

Anexo B: Datos de mediciones de campo

Fecha	Hora	'P_total_[W]'	'P_total_[W]'_absoluto	'PF_total'	'PF_total'_absoluto
2022/27/11	11:35:00	2,286,853.50	2,286,853.50	0.749	0.749
2022/27/11	11:36:00	2,171,226.00	2,171,226.00	0.736	0.736
2022/27/11	11:37:00	2,230,637.50	2,230,637.50	0.745	0.745
2022/27/11	11:38:00	2,299,446.25	2,299,446.25	0.751	0.751
2022/27/11	11:39:00	2,291,665.00	2,291,665.00	0.751	0.751
2022/27/11	11:40:00	2,225,943.50	2,225,943.50	0.743	0.743
2022/27/11	11:41:00	2,243,739.00	2,243,739.00	0.746	0.746
2022/27/11	11:42:00	2,178,983.50	2,178,983.50	0.739	0.739
2022/27/11	11:43:00	2,103,647.25	2,103,647.25	0.731	0.731
2022/27/11	11:44:00	2,194,319.75	2,194,319.75	0.739	0.739
2022/27/11	11:45:00	2,166,178.00	2,166,178.00	0.733	0.733
2022/27/11	11:46:00	2,190,268.75	2,190,268.75	0.734	0.734
2022/27/11	11:47:00	2,085,141.00	2,085,141.00	0.718	0.718
2022/27/11	11:48:00	2,327,242.00	2,327,242.00	0.747	0.747
2022/27/11	11:49:00	2,258,227.00	2,258,227.00	0.737	0.737
2022/27/11	11:50:00	2,234,303.00	2,234,303.00	0.74	0.74
2022/27/11	11:51:00	2,531,177.25	2,531,177.25	0.718	0.718
2022/27/11	11:52:00	3,041,941.50	3,041,941.50	0.84	0.84
2022/27/11	11:53:00	3,061,495.25	3,061,495.25	0.989	0.989
2022/27/11	11:54:00	3,020,707.50	3,020,707.50	0.992	0.992
2022/27/11	11:55:00	3,120,567.00	3,120,567.00	0.992	0.992
2022/27/11	11:56:00	3,012,167.25	3,012,167.25	0.991	0.991
2022/27/11	11:57:00	2,958,186.50	2,958,186.50	0.992	0.992
2022/27/11	11:58:00	2,919,963.00	2,919,963.00	0.992	0.992
2022/27/11	11:59:00	3,067,290.00	3,067,290.00	0.992	0.992
2022/27/11	12:00:00	3,202,176.50	3,202,176.50	0.987	0.987
2022/27/11	12:01:00	3,512,304.50	3,512,304.50	0.955	0.955
2022/27/11	12:02:00	3,955,897.75	3,955,897.75	0.952	0.952

2022/27/11	12:03:00	4,211,854.50	4,211,854.50	0.947	0.947
2022/27/11	12:04:00	4,216,282.50	4,216,282.50	0.947	0.947
2022/27/11	12:05:00	4,369,808.00	4,369,808.00	0.946	0.946
2022/27/11	12:06:00	4,319,940.50	4,319,940.50	0.951	0.951
2022/27/11	12:07:00	4,254,432.00	4,254,432.00	0.958	0.958
2022/27/11	12:08:00	4,239,417.00	4,239,417.00	0.955	0.955
2022/27/11	12:09:00	4,221,282.50	4,221,282.50	0.956	0.956
2022/27/11	12:10:00	4,667,405.50	4,667,405.50	0.927	0.927
2022/27/11	12:11:00	4,892,606.00	4,892,606.00	0.957	0.957
2022/27/11	12:12:00	4,853,931.00	4,853,931.00	0.991	0.991
2022/27/11	12:13:00	5,025,579.00	5,025,579.00	0.992	0.992
2022/27/11	12:14:00	5,082,707.50	5,082,707.50	0.993	0.993
2022/27/11	12:15:00	5,005,215.50	5,005,215.50	0.992	0.992
2022/27/11	12:16:00	4,999,458.00	4,999,458.00	0.992	0.992
2022/27/11	12:17:00	5,070,568.00	5,070,568.00	0.992	0.992
2022/27/11	12:18:00	5,279,083.50	5,279,083.50	0.994	0.994
2022/27/11	12:19:00	5,330,205.50	5,330,205.50	0.994	0.994
2022/27/11	12:20:00	5,366,313.00	5,366,313.00	0.994	0.994
2022/27/11	12:21:00	5,532,019.50	5,532,019.50	0.987	0.987
2022/27/11	12:22:00	5,979,039.00	5,979,039.00	0.982	0.982
2022/27/11	12:23:00	6,213,860.00	6,213,860.00	0.986	0.986
2022/27/11	12:24:00	6,292,939.00	6,292,939.00	0.986	0.986
2022/27/11	12:25:00	6,255,821.00	6,255,821.00	0.985	0.985
2022/27/11	12:26:00	6,383,474.00	6,383,474.00	0.979	0.979
2022/27/11	12:27:00	6,629,762.00	6,629,762.00	0.976	0.976
2022/27/11	12:28:00	6,637,505.00	6,637,505.00	0.974	0.974
2022/27/11	12:29:00	6,631,825.00	6,631,825.00	0.975	0.975
2022/27/11	12:30:00	6,556,712.00	6,556,712.00	0.975	0.975
2022/27/11	12:31:00	6,759,281.00	6,759,281.00	0.978	0.978

2022/27/11	12:32:00	6,886,861.00	6,886,861.00	0.988	0.988
2022/27/11	12:33:00	7,036,959.50	7,036,959.50	0.992	0.992
2022/27/11	12:34:00	7,037,945.00	7,037,945.00	0.992	0.992
2022/27/11	12:35:00	7,144,888.00	7,144,888.00	0.992	0.992
2022/27/11	12:36:00	7,096,532.50	7,096,532.50	0.992	0.992
2022/27/11	12:37:00	7,100,962.00	7,100,962.00	0.992	0.992
2022/27/11	12:38:00	7,277,892.00	7,277,892.00	0.992	0.992
2022/27/11	12:39:00	7,578,579.00	7,578,579.00	0.994	0.994
2022/27/11	12:40:00	7,607,729.50	7,607,729.50	0.995	0.995
2022/27/11	12:41:00	7,734,754.50	7,734,754.50	0.995	0.995
2022/27/11	12:42:00	7,828,913.00	7,828,913.00	0.995	0.995
2022/27/11	12:43:00	7,810,488.00	7,810,488.00	0.995	0.995
2022/27/11	12:44:00	7,710,904.00	7,710,904.00	0.994	0.994
2022/27/11	12:45:00	7,551,231.00	7,551,231.00	0.995	0.995
2022/27/11	12:46:00	7,556,293.50	7,556,293.50	0.995	0.995
2022/27/11	12:47:00	7,536,398.00	7,536,398.00	0.996	0.996
2022/27/11	12:48:00	8,024,888.00	8,024,888.00	0.994	0.994
2022/27/11	12:49:00	8,438,098.00	8,438,098.00	0.995	0.995
2022/27/11	12:50:00	8,526,588.00	8,526,588.00	0.993	0.993
2022/27/11	12:51:00	8,634,937.00	8,634,937.00	0.993	0.993
2022/27/11	12:52:00	8,737,764.00	8,737,764.00	0.995	0.995
2022/27/11	12:53:00	8,947,652.00	8,947,652.00	0.995	0.995
2022/27/11	12:54:00	8,949,838.00	8,949,838.00	0.995	0.995
2022/27/11	12:55:00	8,796,504.00	8,796,504.00	0.996	0.996
2022/27/11	12:56:00	8,933,914.00	8,933,914.00	0.995	0.995
2022/27/11	12:57:00	8,899,981.00	8,899,981.00	0.995	0.995
2022/27/11	12:58:00	8,940,507.00	8,940,507.00	0.995	0.995
2022/27/11	12:59:00	8,966,566.00	8,966,566.00	0.992	0.992
2022/27/11	13:00:00	8,898,452.00	8,898,452.00	0.993	0.993

2022/27/11	13:01:00	8,937,126.00	8,937,126.00	0.993	0.993
2022/27/11	13:02:00	8,560,000.00	8,560,000.00	0.995	0.995
2022/27/11	13:03:00	8,607,188.00	8,607,188.00	0.994	0.994
2022/27/11	13:04:00	8,711,138.00	8,711,138.00	0.994	0.994
2022/27/11	13:05:00	8,549,949.00	8,549,949.00	0.995	0.995
2022/27/11	13:06:00	8,361,129.00	8,361,129.00	0.996	0.996
2022/27/11	13:07:00	8,371,746.00	8,371,746.00	0.996	0.996
2022/27/11	13:08:00	8,314,805.00	8,314,805.00	0.995	0.995
2022/27/11	13:09:00	8,274,734.50	8,274,734.50	0.996	0.996
2022/27/11	13:10:00	8,266,029.00	8,266,029.00	0.995	0.995
2022/27/11	13:11:00	8,302,890.00	8,302,890.00	0.995	0.995
2022/27/11	13:12:00	8,229,516.00	8,229,516.00	0.995	0.995
2022/27/11	13:13:00	8,127,741.00	8,127,741.00	0.995	0.995
2022/27/11	13:14:00	8,195,762.00	8,195,762.00	0.995	0.995
2022/27/11	13:15:00	8,053,550.00	8,053,550.00	0.995	0.995
2022/27/11	13:16:00	8,038,087.00	8,038,087.00	0.995	0.995
2022/27/11	13:17:00	8,139,833.00	8,139,833.00	0.995	0.995
2022/27/11	13:18:00	8,183,834.00	8,183,834.00	0.995	0.995
2022/27/11	13:19:00	8,148,457.00	8,148,457.00	0.995	0.995
2022/27/11	13:20:00	7,889,332.00	7,889,332.00	0.995	0.995
2022/27/11	13:21:00	7,763,756.00	7,763,756.00	0.995	0.995
2022/27/11	13:22:00	7,748,959.00	7,748,959.00	0.995	0.995
2022/27/11	13:23:00	7,808,846.00	7,808,846.00	0.994	0.994
2022/27/11	13:24:00	7,906,955.00	7,906,955.00	0.995	0.995
2022/27/11	13:25:00	8,069,390.00	8,069,390.00	0.995	0.995
2022/27/11	13:26:00	8,016,849.50	8,016,849.50	0.995	0.995
2022/27/11	13:27:00	7,938,988.00	7,938,988.00	0.995	0.995
2022/27/11	13:28:00	7,763,601.00	7,763,601.00	0.994	0.994
2022/27/11	13:29:00	7,891,977.00	7,891,977.00	0.994	0.994

2022/27/11	13:30:00	7,915,035.50	7,915,035.50	0.995	0.995
2022/27/11	13:31:00	7,953,654.00	7,953,654.00	0.994	0.994
2022/27/11	13:32:00	7,679,893.00	7,679,893.00	0.996	0.996
2022/27/11	13:33:00	7,413,441.00	7,413,441.00	0.997	0.997
2022/27/11	13:34:00	7,308,970.00	7,308,970.00	0.997	0.997
2022/27/11	13:35:00	6,991,840.00	6,991,840.00	0.997	0.997
2022/27/11	13:36:00	6,834,684.00	6,834,684.00	0.996	0.996
2022/27/11	13:37:00	6,865,871.50	6,865,871.50	0.996	0.996
2022/27/11	13:38:00	6,697,478.00	6,697,478.00	0.996	0.996
2022/27/11	13:39:00	6,735,128.00	6,735,128.00	0.996	0.996
2022/27/11	13:40:00	6,893,007.00	6,893,007.00	0.996	0.996
2022/27/11	13:41:00	7,074,984.50	7,074,984.50	0.995	0.995
2022/27/11	13:42:00	7,172,206.50	7,172,206.50	0.995	0.995
2022/27/11	13:43:00	7,292,920.00	7,292,920.00	0.995	0.995
2022/27/11	13:44:00	7,230,539.00	7,230,539.00	0.996	0.996
2022/27/11	13:45:00	7,214,744.00	7,214,744.00	0.996	0.996
2022/27/11	13:46:00	7,216,680.00	7,216,680.00	0.996	0.996
2022/27/11	13:47:00	7,282,644.50	7,282,644.50	0.996	0.996
2022/27/11	13:48:00	7,203,696.50	7,203,696.50	0.996	0.996
2022/27/11	13:49:00	7,137,178.00	7,137,178.00	0.996	0.996
2022/27/11	13:50:00	7,167,477.50	7,167,477.50	0.995	0.995
2022/27/11	13:51:00	6,719,965.50	6,719,965.50	0.994	0.994
2022/27/11	13:52:00	6,626,970.00	6,626,970.00	0.995	0.995
2022/27/11	13:53:00	6,524,974.00	6,524,974.00	0.995	0.995
2022/27/11	13:54:00	6,584,339.00	6,584,339.00	0.989	0.989
2022/27/11	13:55:00	6,397,629.00	6,397,629.00	0.963	0.963
2022/27/11	13:56:00	6,335,083.50	6,335,083.50	0.959	0.959
2022/27/11	13:57:00	6,551,729.00	6,551,729.00	0.967	0.967
2022/27/11	13:58:00	6,969,582.50	6,969,582.50	0.98	0.98

2022/27/11	13:59:00	6,955,878.00	6,955,878.00	0.981	0.981
2022/27/11	14:00:00	6,939,805.00	6,939,805.00	0.982	0.982
2022/27/11	14:01:00	7,024,458.00	7,024,458.00	0.983	0.983
2022/27/11	14:02:00	6,890,391.00	6,890,391.00	0.982	0.982
2022/27/11	14:03:00	6,929,292.50	6,929,292.50	0.982	0.982
2022/27/11	14:04:00	6,781,310.50	6,781,310.50	0.979	0.979
2022/27/11	14:05:00	7,071,086.00	7,071,086.00	0.981	0.981
2022/27/11	14:06:00	7,021,352.00	7,021,352.00	0.981	0.981
2022/27/11	14:07:00	6,878,410.00	6,878,410.00	0.98	0.98
2022/27/11	14:08:00	7,135,457.00	7,135,457.00	0.982	0.982
2022/27/11	14:09:00	7,206,456.50	7,206,456.50	0.984	0.984
2022/27/11	14:10:00	7,254,716.00	7,254,716.00	0.984	0.984
2022/27/11	14:11:00	7,195,501.00	7,195,501.00	0.983	0.983
2022/27/11	14:12:00	7,090,515.50	7,090,515.50	0.982	0.982
2022/27/11	14:13:00	7,226,160.50	7,226,160.50	0.984	0.984
2022/27/11	14:14:00	7,037,949.00	7,037,949.00	0.982	0.982
2022/27/11	14:15:00	6,949,295.50	6,949,295.50	0.981	0.981
2022/27/11	14:16:00	7,004,203.50	7,004,203.50	0.982	0.982
2022/27/11	14:17:00	6,724,840.00	6,724,840.00	0.979	0.979
2022/27/11	14:18:00	6,375,821.00	6,375,821.00	0.973	0.973
2022/27/11	14:19:00	5,417,107.00	5,417,107.00	0.912	0.912
2022/27/11	14:20:00	5,109,659.50	5,109,659.50	0.898	0.898
2022/27/11	14:21:00	5,177,440.50	5,177,440.50	0.901	0.901
2022/27/11	14:22:00	5,274,216.00	5,274,216.00	0.906	0.906
2022/27/11	14:23:00	5,450,123.00	5,450,123.00	0.912	0.912
2022/27/11	14:24:00	5,501,431.50	5,501,431.50	0.928	0.928
2022/27/11	14:25:00	5,727,670.00	5,727,670.00	0.946	0.946
2022/27/11	14:26:00	5,906,720.50	5,906,720.50	0.952	0.952
2022/27/11	14:27:00	6,063,358.00	6,063,358.00	0.955	0.955

2022/27/11	14:28:00	6,089,048.00	6,089,048.00	0.955	0.955
2022/27/11	14:29:00	5,973,490.00	5,973,490.00	0.95	0.95
2022/27/11	14:30:00	6,126,282.00	6,126,282.00	0.955	0.955
2022/27/11	14:31:00	6,139,770.00	6,139,770.00	0.956	0.956
2022/27/11	14:32:00	6,071,099.00	6,071,099.00	0.956	0.956
2022/27/11	14:33:00	6,051,663.00	6,051,663.00	0.955	0.955
2022/27/11	14:34:00	6,494,833.00	6,494,833.00	0.97	0.97
2022/27/11	14:35:00	6,369,271.50	6,369,271.50	0.966	0.966
2022/27/11	14:36:00	6,177,684.00	6,177,684.00	0.962	0.962
2022/27/11	14:37:00	6,268,508.00	6,268,508.00	0.959	0.959
2022/27/11	14:38:00	6,216,652.00	6,216,652.00	0.958	0.958
2022/27/11	14:39:00	6,115,312.00	6,115,312.00	0.956	0.956
2022/27/11	14:40:00	6,148,083.00	6,148,083.00	0.958	0.958
2022/27/11	14:41:00	6,314,042.00	6,314,042.00	0.961	0.961
2022/27/11	14:42:00	6,308,580.50	6,308,580.50	0.962	0.962
2022/27/11	14:43:00	6,261,618.50	6,261,618.50	0.96	0.96
2022/27/11	14:44:00	6,175,733.50	6,175,733.50	0.957	0.957
2022/27/11	14:45:00	6,309,732.00	6,309,732.00	0.959	0.959
2022/27/11	14:46:00	5,940,079.50	5,940,079.50	0.942	0.942
2022/27/11	14:47:00	5,492,641.00	5,492,641.00	0.925	0.925
2022/27/11	14:48:00	6,113,381.00	6,113,381.00	0.952	0.952
2022/27/11	14:49:00	6,062,167.00	6,062,167.00	0.952	0.952
2022/27/11	14:50:00	6,139,265.00	6,139,265.00	0.954	0.954
2022/27/11	14:51:00	6,132,517.50	6,132,517.50	0.953	0.953
2022/27/11	14:52:00	6,171,730.50	6,171,730.50	0.949	0.949
2022/27/11	14:53:00	5,994,513.50	5,994,513.50	0.947	0.947
2022/27/11	14:54:00	5,983,545.50	5,983,545.50	0.947	0.947
2022/27/11	14:55:00	5,943,246.50	5,943,246.50	0.945	0.945
2022/27/11	14:56:00	5,936,541.00	5,936,541.00	0.945	0.945

2022/27/11	14:57:00	6,008,684.00	6,008,684.00	0.947	0.947
2022/27/11	14:58:00	5,880,668.50	5,880,668.50	0.944	0.944
2022/27/11	14:59:00	6,110,022.50	6,110,022.50	0.95	0.95
2022/27/11	15:00:00	5,985,051.50	5,985,051.50	0.948	0.948
2022/27/11	15:01:00	6,058,362.00	6,058,362.00	0.95	0.95
2022/27/11	15:02:00	6,058,265.00	6,058,265.00	0.95	0.95
2022/27/11	15:03:00	6,118,049.50	6,118,049.50	0.952	0.952
2022/27/11	15:04:00	6,075,615.00	6,075,615.00	0.951	0.951
2022/27/11	15:05:00	6,086,914.50	6,086,914.50	0.951	0.951
2022/27/11	15:06:00	5,762,402.50	5,762,402.50	0.93	0.93
2022/27/11	15:07:00	5,521,201.00	5,521,201.00	0.912	0.912
2022/27/11	15:08:00	5,538,049.50	5,538,049.50	0.919	0.919
2022/27/11	15:09:00	5,288,876.00	5,288,876.00	0.902	0.902
2022/27/11	15:10:00	5,276,626.50	5,276,626.50	0.898	0.898
2022/27/11	15:11:00	5,289,935.50	5,289,935.50	0.896	0.896
2022/27/11	15:12:00	5,202,139.50	5,202,139.50	0.894	0.894
2022/27/11	15:13:00	5,093,370.50	5,093,370.50	0.889	0.889
2022/27/11	15:14:00	5,279,213.50	5,279,213.50	0.899	0.899
2022/27/11	15:15:00	5,264,532.50	5,264,532.50	0.899	0.899
2022/27/11	15:16:00	5,186,766.00	5,186,766.00	0.893	0.893
2022/27/11	15:17:00	5,197,300.00	5,197,300.00	0.894	0.894
2022/27/11	15:18:00	5,214,870.50	5,214,870.50	0.894	0.894
2022/27/11	15:19:00	5,286,959.50	5,286,959.50	0.897	0.897
2022/27/11	15:20:00	5,106,210.50	5,106,210.50	0.89	0.89
2022/27/11	15:21:00	5,258,629.00	5,258,629.00	0.896	0.896
2022/27/11	15:22:00	5,182,945.00	5,182,945.00	0.893	0.893
2022/27/11	15:23:00	5,110,879.00	5,110,879.00	0.891	0.891
2022/27/11	15:24:00	5,176,792.50	5,176,792.50	0.893	0.893
2022/27/11	15:25:00	5,236,172.00	5,236,172.00	0.895	0.895

2022/27/11	15:26:00	5,286,995.50	5,286,995.50	0.898	0.898
2022/27/11	15:27:00	5,103,020.00	5,103,020.00	0.889	0.889
2022/27/11	15:28:00	5,134,796.00	5,134,796.00	0.89	0.89
2022/27/11	15:29:00	5,131,871.50	5,131,871.50	0.89	0.89
2022/27/11	15:30:00	5,088,869.00	5,088,869.00	0.887	0.887
2022/27/11	15:31:00	4,856,660.00	4,856,660.00	0.862	0.862
2022/27/11	15:32:00	4,892,745.00	4,892,745.00	0.932	0.932
2022/27/11	15:33:00	4,478,797.50	4,478,797.50	0.978	0.978
2022/27/11	15:34:00	4,312,493.50	4,312,493.50	0.974	0.974
2022/27/11	15:35:00	4,314,855.00	4,314,855.00	0.974	0.974
2022/27/11	15:36:00	4,362,948.00	4,362,948.00	0.975	0.975
2022/27/11	15:37:00	4,342,210.00	4,342,210.00	0.976	0.976
2022/27/11	15:38:00	4,234,179.00	4,234,179.00	0.974	0.974
2022/27/11	15:39:00	4,348,361.00	4,348,361.00	0.975	0.975
2022/27/11	15:40:00	4,345,766.50	4,345,766.50	0.975	0.975
2022/27/11	15:41:00	4,306,659.00	4,306,659.00	0.975	0.975
2022/27/11	15:42:00	4,309,190.00	4,309,190.00	0.975	0.975
2022/27/11	15:43:00	4,412,810.00	4,412,810.00	0.978	0.978
2022/27/11	15:44:00	4,332,464.00	4,332,464.00	0.977	0.977
2022/27/11	15:45:00	4,316,042.00	4,316,042.00	0.976	0.976
2022/27/11	15:46:00	4,342,179.50	4,342,179.50	0.977	0.977
2022/27/11	15:47:00	4,395,824.00	4,395,824.00	0.978	0.978
2022/27/11	15:48:00	4,375,475.50	4,375,475.50	0.978	0.978
2022/27/11	15:49:00	4,293,851.00	4,293,851.00	0.976	0.976
2022/27/11	15:50:00	4,363,548.00	4,363,548.00	0.978	0.978
2022/27/11	15:51:00	4,435,880.00	4,435,880.00	0.979	0.979
2022/27/11	15:52:00	4,343,973.50	4,343,973.50	0.977	0.977
2022/27/11	15:53:00	4,340,469.00	4,340,469.00	0.977	0.977
2022/27/11	15:54:00	4,398,322.00	4,398,322.00	0.979	0.979

2022/27/11	15:55:00	4,354,794.50	4,354,794.50	0.978	0.978
2022/27/11	15:56:00	4,218,304.50	4,218,304.50	0.974	0.974
2022/27/11	15:57:00	4,316,454.50	4,316,454.50	0.975	0.975
2022/27/11	15:58:00	4,121,272.50	4,121,272.50	0.961	0.961
2022/27/11	15:59:00	4,220,767.50	4,220,767.50	0.972	0.972
2022/27/11	16:00:00	4,215,831.00	4,215,831.00	0.971	0.971
2022/27/11	16:01:00	4,342,317.00	4,342,317.00	0.975	0.975
2022/27/11	16:02:00	4,273,669.00	4,273,669.00	0.974	0.974
2022/27/11	16:03:00	4,179,649.00	4,179,649.00	0.972	0.972
2022/27/11	16:04:00	4,260,716.00	4,260,716.00	0.973	0.973
2022/27/11	16:05:00	4,286,668.00	4,286,668.00	0.974	0.974
2022/27/11	16:06:00	4,265,366.00	4,265,366.00	0.974	0.974
2022/27/11	16:07:00	4,152,532.00	4,152,532.00	0.97	0.97
2022/27/11	16:08:00	4,221,009.50	4,221,009.50	0.972	0.972
2022/27/11	16:09:00	4,276,156.00	4,276,156.00	0.973	0.973
2022/27/11	16:10:00	4,195,128.50	4,195,128.50	0.971	0.971
2022/27/11	16:11:00	4,156,739.75	4,156,739.75	0.969	0.969
2022/27/11	16:12:00	4,285,957.50	4,285,957.50	0.97	0.97
2022/27/11	16:13:00	4,308,292.50	4,308,292.50	0.97	0.97
2022/27/11	16:14:00	4,229,034.00	4,229,034.00	0.968	0.968
2022/27/11	16:15:00	4,305,553.50	4,305,553.50	0.97	0.97
2022/27/11	16:16:00	4,345,890.00	4,345,890.00	0.972	0.972
2022/27/11	16:17:00	4,321,192.00	4,321,192.00	0.971	0.971
2022/27/11	16:18:00	4,190,189.50	4,190,189.50	0.971	0.971
2022/27/11	16:19:00	4,342,892.00	4,342,892.00	0.976	0.976
2022/27/11	16:20:00	4,195,019.50	4,195,019.50	0.972	0.972
2022/27/11	16:21:00	4,194,598.00	4,194,598.00	0.971	0.971