

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Eléctrica

Tesis

**Diseño de reactores limitadores de corriente  
mediante el cálculo y análisis de la reducción de los  
niveles de cortocircuito en una refinería de  
petróleo**

Jorge Antonio Alatrística Rojas

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Electricista

Huancayo, 2024

## INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

**A** : Decano de la Facultad de Ingeniería  
**DE** : Erick Hans Araca Berrios  
Asesor de trabajo de investigación  
**ASUNTO** : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación  
**FECHA** : 21 de agosto de 2024

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

**Título:**

DISEÑO DE REACTORES LIMITADORES DE CORRIENTE MEDIANTE EL CÁLCULO Y ANÁLISIS DE LA REDUCCIÓN DE LOS NIVELES DE CORTOCIRCUITO EN UNA REFINERÍA DE PETRÓLEO.

**Autores:**

1. Jorge Antonio Alatrística Rojas – EAP. Ingeniería Eléctrica

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 14.0 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI  NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores SI  NO   
Nº de palabras excluidas (en caso de elegir "SI"): 40
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI  NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,



Firmado digitalmente por:  
ARACA BERRIOS ERICK HANS  
FIR 44741202 hard  
Motivo: En señal de  
conformidad  
Fecha: 21/08/2024 08:15:18-0500

Asesor de trabajo de investigación

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTOS .....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	x
RESUMEN .....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCION .....	xiv
CAPÍTULO I: PLANTAMIENTO DEL ESTUDIO .....	1
1.1 Planteamiento y formulación del problema.....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Justificación e importancia .....	2
1.4 Delimitación del proyecto.....	3
1.5 Hipótesis y descripción de variables.....	3
CAPÍTULO II: MARCO TEORICO .....	5
2.1 Antecedentes del problema.....	5
2.2 Bases teóricas .....	7
CAPITULO III: METODOLOGIA .....	27
3.1 Métodos y alcance de la investigación .....	27
3.2 Diseño de la investigación.....	27
3.3 Población y Muestra .....	27
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	28
3.5 Técnica de procesamiento y análisis de datos .....	28
CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSION .....	30
4.1 Sistema equivalente de Sistema eléctrico de refinería.....	30

4.2	Diseño básico de los RLC.....	34
4.3	Estudio de preoperatividad .....	39
4.4	Diseño del reactor limitador de corriente .....	57
	DISCUSION DE RESULTADOS .....	62
	CONCLUSIONES .....	64
	RECOMENDACIONES.....	66
	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS .....	67
	ANEXOS: .....	70
	Anexo N°1 Análisis de cortocircuito previo .....	71
	Anexo N°2 Calculo de la corriente simétrica a la salida del RLC en 33 KV .....	73
	Anexo N°3 Diagrama eléctrico S.E SET .....	74
	Anexo N°4 Diagrama eléctrico S.E SEP.....	76
	Anexo N°5 Cotización RLC.....	78
	Anexo N°6 Diseño preliminar del RLC .....	79
	Anexo N°7 Autorización de uso de información .....	81
	Anexo N°8 Uso de Software .....	82

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ilustración del cálculo de la corriente de cortocircuito simétrica inicial según el procedimiento de la fuente de tensión.....	8
Figura 2. Respuesta de sistema sin planta de cogeneración.....	20
Figura 3. Circuito equivalente resonancia en serie. ....	23
Figura 4. Impedancia con respecto a la variación de frecuencia en resonancia en serie.....	24
Figura 5. Circuito equivalente resonancia en paralelo. ....	25
Figura 6. Comportamiento de la corriente en Resonancia en Paralelo .....	25
Figura 7. Sistema equivalente de Sistema eléctrico de refinería.....	33
Figura 8. Estudio de cortocircuito simulacion de falla en software ETAP .....	35
Figura 9. Configuracion parametros de simulacion de cortocircuito en software ETAP .....	36
Figura 10. Configuracion de parametros RLC simulacion en software ETAP .....	36
Figura 11. Selecccion de tipo de cortocircuito software ETAP.....	37
Figura 12. Estudio de cortocircuito para los RLC con un valor de impedancia de 15 $\Omega$ .....	38
Figura 13. Esquema eléctrico de Flujo de carga RLC con 15 $\Omega$ de impedancia de diseño, RLC A, B y banco de condensadores conectados .....	41
Figura 14. Esquema eléctrico de Flujo de carga RLC con 15 $\Omega$ de impedancia de diseño, solo RLC A y banco de condensadores conectados .....	42
Figura 15. Perfil de voltaje, Falla en barras 2.4 KV Condición 1 mínima carga .....	44
Figura 16. Velocidad de generadores, Falla en barras 2.4 KV Condición 1 mínima carga ....	44
Figura 17. Angulo de potencia de generadores, Falla en barras 2.4 KV Condición 1 mínima carga.....	45
Figura 18. Perfil de voltaje, Falla en barras 2.4 KV Condición 1 máxima carga .....	45
Figura 19. Velocidad de generadores, Falla en barras 2.4 KV Condición 1 máxima carga ...	46
Figura 20. Angulo de potencia de generadores, Falla en barras 2.4 KV Condición 1 máxima carga.....	46
Figura 21. Perfil de voltaje, Falla en barras 2.4 KV Condición 2 mínima carga .....	47
Figura 22. Perfil de voltaje, Falla en barras 2.4 KV Condición 2 máxima carga .....	47

Figura 23. Perfil de voltaje, Falla en barras 33 KV Condición 1 mínima carga.....	48
Figura 24. Velocidad de generadores, Falla en barras 33 KV Condición 1 mínima carga.....	48
Figura 25. Angulo de potencia de generadores, Falla en barras 33 KV Condición 1 mínima carga.....	49
Figura 26. Perfil de voltaje, Falla en barras 33 KV Condición 1 máxima carga.....	49
Figura 27. Velocidad de generadores, Falla en barras 33 KV Condición 1 máxima carga.....	50
Figura 28. Angulo de potencia de generadores, Falla en barras 33 KV Condición 1 máxima carga.....	50
Figura 29. Perfil de voltaje, Falla en barras 33 KV Condición 2 mínima carga.....	51
Figura 30. Perfil de voltaje, Falla en barras 33 KV Condición 2 máxima carga.....	51
Figura 31. Onda sinusoidal con los RLC(15Ω) insertados.....	53
Figura 32. Estudio de resonancia preliminar.....	54
Figura 33. Resonancia en paralelo valor de impedancia en barras SEP 33 KV.....	55
Figura 34. Resonancia en paralelo valor de impedancia en barras SET 2.4 KV.....	55

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Variables de la Investigación .....	4
Tabla 2. Datos para el diseño de RLC según IEC 60076-6 .....	9
Tabla 3. Nivel de voltaje de prueba .....	10
Tabla 4. Datos extras para la fabricación del diseño RLC .....	11
Tabla 5. Símbolos de letra de medios de refrigeración .....	12
Tabla 6. Límites de calentamiento de los arrollamientos.....	12
Tabla 7. Análisis técnico-económico de soluciones para limitar corrientes de cortocircuito .	14
Tabla 8. Valores del factor de tensión "C" (IEC 60909) .....	18
Tabla 9. Valores de las corrientes de cortocircuito en función de las impedancias directas, inversa y homopolar de una red. ....	19
Tabla 10. Límites para la distorsión armónica de voltaje .....	21
Tabla 11. Matriz recolección de datos. ....	28
Tabla 12. Tolerancias estudio de preoperatividad .....	29
Tabla 13. Fuentes de alimentación en base a 100 MVA - SEIN.....	30
Tabla 14. Fuentes de alimentación - Generadores .....	31
Tabla 15. Transformadores SEP .....	31
Tabla 16. Transformadores SET .....	32
Tabla 17. Parámetros de diseño básico del RLC .....	34
Tabla 18. Resultados simulación valores de Impedancia de RLC vs Nivel de cortocircuito..	37
Tabla 19. Parámetros del diseño básico de los RLC.....	39
Tabla 20. Resultados de casos estudio Flujo de Carga .....	40
Tabla 21. Casos de análisis estudio de Estabilidad Transitoria .....	43
Tabla 22. Resumen de resultados Estabilidad Transitoria .....	52
Tabla 23. Distorsión armónica con los RLC en funcionamiento .....	53
Tabla 24. Preoperatividad de los RLC con 15 $\Omega$ de impedancia .....	56
Tabla 25. Datos eléctricos según IEC 60076-6 para el diseño de RLC .....	57

Tabla 26. Datos adicionales para el Diseño del RLC.....	59
Tabla 27. Datos para el Diseño de RLC.....	61



## RESUMEN

Durante la fase de expansión de las empresas, es común efectuar ajustes en la infraestructura eléctrica para manejar la entrada y salida de cargas. Es crucial garantizar el óptimo desempeño del sistema eléctrico y resguardar la seguridad de los trabajadores mediante un control preciso de la corriente de cortocircuito. Esta corriente fluctúa de acuerdo con los cambios en la incorporación o eliminación de cargas en el sistema eléctrico, lo que demanda una supervisión constante para mantener un entorno seguro y eficiente.

En el contexto de esta investigación, se ha llevado a cabo un meticuloso y detallado análisis acerca de la limitación de corrientes de cortocircuito, haciendo hincapié en la aplicación estratégica de reactores limitadores de corriente. Asimismo, se ha profundizado considerablemente en los diversos estudios requeridos para asegurar y respaldar el funcionamiento óptimo de estos dispositivos dentro del entramado del sistema eléctrico en cuestión.

La presente tesis realizó estudios de cortocircuito, flujo de carga, estabilidad transitoria, estudio de armónicos y estudio de resonancia con el objetivo de asegurar que al insertar los Reactores Limitadores de Corriente en el esquema eléctrico estos aseguren la limitación de los niveles de cortocircuito y su correcto funcionamiento durante su operación.

Siendo que el resultado final es el diseño de reactores limitadores de corriente con una impedancia de  $15 \Omega$  por fase permitiendo la reducción de 64KA a 25.756 KA y sin un impacto negativo sobre el sistema eléctrico de una refinería de petróleo.

**PALABRAS CLAVES:** Corriente de cortocircuito, Reactores Limitadores de cortocircuito, Estudio de cortocircuito.

## ABSTRACT

During the expansion phase of companies, it is common to make adjustments to the electrical infrastructure to handle the incoming and outgoing loads. It is crucial to ensure the optimal performance of the electrical system and safeguard the safety of workers through precise control of the short-circuit current. This current fluctuates according to changes in the addition or elimination of loads in the electrical system, demanding constant monitoring to maintain a safe and efficient environment.

In the context of this research, a meticulous and detailed analysis of short-circuit current limitation has been carried out, emphasizing the strategic application of current-limiting reactors. Additionally, considerable depth has been reached in the various studies required to ensure and support the optimal operation of these devices within the framework of the electrical system in question.

This thesis conducted studies on short-circuit, load flow, transient stability, harmonic study, and resonance study with the aim of ensuring that by inserting the Current-Limiting Reactors into the electrical scheme, they ensure the limitation of short-circuit levels and their correct operation during their operation.

The final result is the design of current-limiting reactors with an impedance of  $15 \Omega$  per phase, allowing the reduction from 64KA to 25.756 KA without a negative impact on the electrical system of an oil refinery.

**KEYWORDS:** Short-circuit current, Current-limiting reactors, Short-circuit study.