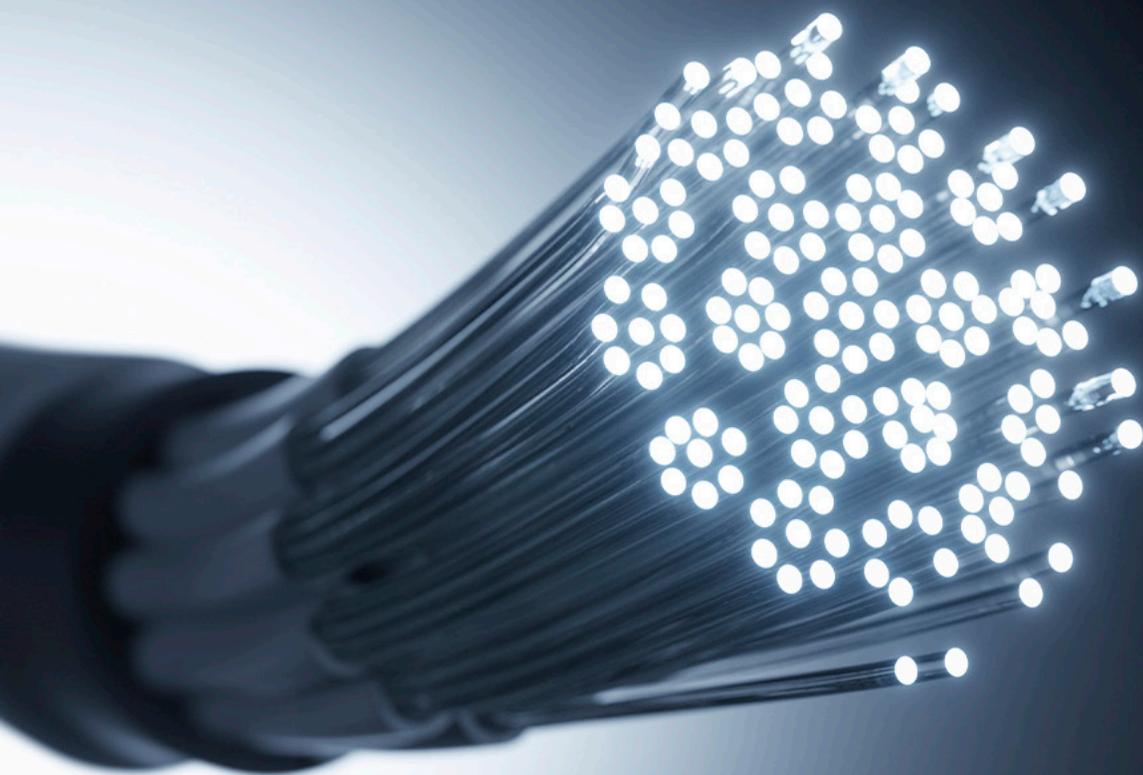


COLEÇÃO

DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA ELÉTRICA 2

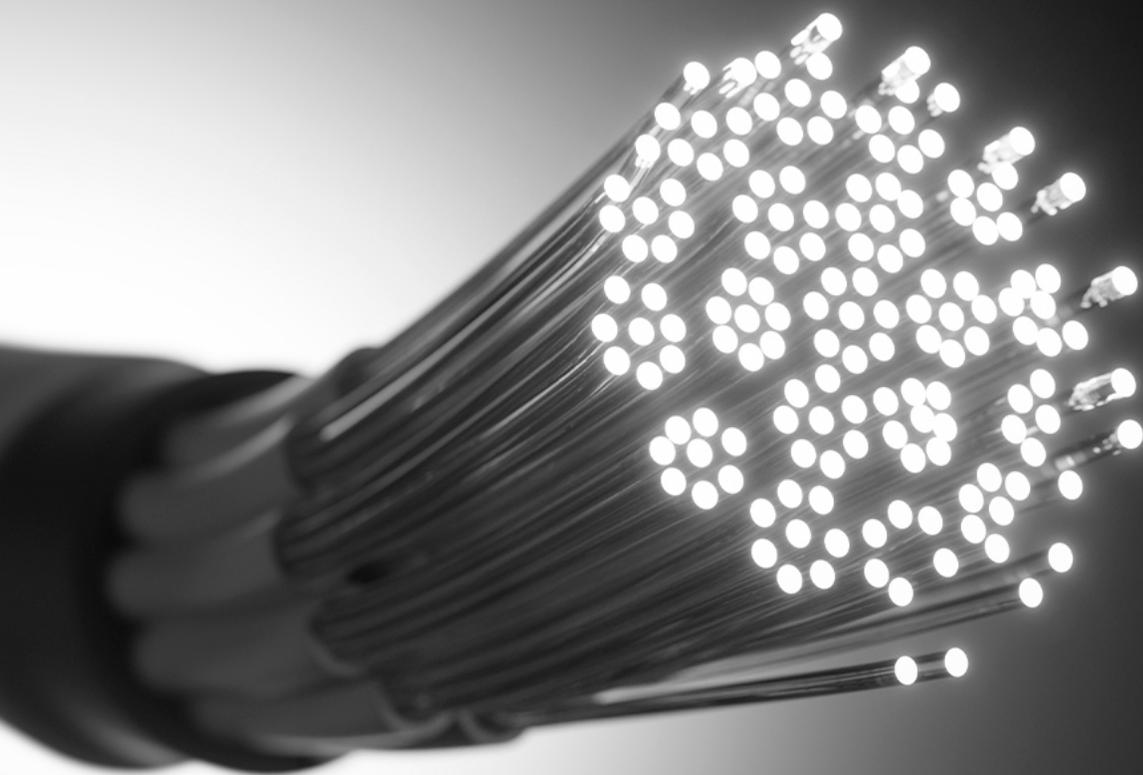


JOÃO DALLAMUTA
HENRIQUE AJUZ HOLZMANN
(ORGANIZADORES)


Atena
Editora
Ano 2021

COLEÇÃO
DESAFIOS
DAS
ENGENHARIAS:

ENGENHARIA ELÉTRICA 2



JOÃO DALLAMUTA
HENRIQUE AJUZ HOLZMANN
(ORGANIZADORES)


Atena
Editora
Ano 2021

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2021 Os autores

Copyright da edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Diagramação: Daphynny Pamplona
Correção: Flávia Roberta Barão
Indexação: Gabriel Motomu Teshima
Revisão: Os autores
Organizadores: João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C691 Coleção desafios das engenharias: engenharia elétrica 2 /
Organizadores João Dallamuta, Henrique Ajuz
Holzmann. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-556-0

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.560211910>

1. Engenharia elétrica. I. Dallamuta, João
(Organizador). II. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). III.
Título.

CDD 621.3

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, desta forma não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

APRESENTAÇÃO

A engenharia elétrica tornou-se uma profissão há cerca de 130 anos, com o início da distribuição de eletricidade em caráter comercial e com a difusão acelerada do telégrafo em escala global no final do século XIX.

Na primeira metade do século XX a difusão da telefonia e da radiodifusão além do crescimento vigoroso dos sistemas elétricos de produção, transmissão e distribuição de eletricidade, deu os contornos definitivos para a carreira de engenheiro eletricista que na segunda metade do século, com a difusão dos semicondutores e da computação gerou variações de ênfase de formação como engenheiros eletrônicos, de telecomunicações, de controle e automação ou de computação.

Produzir conhecimento em engenharia elétrica é portando pesquisar em uma gama enorme de áreas, subáreas e abordagens de uma engenharia que é onipresente em praticamente todos os campos da ciência e tecnologia.

Neste livro temos uma diversidade de temas, níveis de profundidade e abordagens de pesquisa, envolvendo aspectos técnicos e científicos. Aos autores e editores, agradecemos pela confiança e espírito de parceria.

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

PHOTODETECTOR OPTIC POWER OPTIMIZATION TO INCREASE THE GAIN ON SUB-OCTAVE MICROWAVE PHOTONIC LINK

Naiara Tieme Mippo
Paulo Henrique Kiohara Acyoli Bastos
Felipe Streitenberger Ivo
Olympio Lucchini Coutinho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5602119101>

CAPÍTULO 2..... 14

OPTOELECTRONIC SENSOR APPLIED TO FLOW RATE MEASUREMENTS ON OIL AND GAS INDUSTRY

Alexandre Silva Allil
Fabio da Silva Dutra
Cesar Cosenza de Carvalho
Regina Célia da Silva Barros Allil
Marcelo Martins Werneck

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5602119102>

CAPÍTULO 3..... 25

ANÁLISE DO ENVELHECIMENTO, PRECISÃO E EXATIDÃO EM SENSORES ÓTICOS FBG E RFBG QUE MEDEM TEMPERATURAS ENTRE 5 °C E 60 °C POR 16 SEMANAS

Karoline Akemi Sato
Camila Carvalho de Moura
Antonio Carlos Ribeiro Filho
Luis Camilo Jussiani Moreira
Valmir de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5602119103>

CAPÍTULO 4..... 38

EVALUACIÓN PARA INVERSIÓN CON OPTIMIZACIÓN DE SECCIÓN CONDUCTOR Y TENSIÓN DE DISTRIBUCIÓN. APLICACIÓN DE LOS ALGORITMOS DEL LEY DE KELVIN

Christian Arturo Ramirez Osorio
Enrique Buzarquis
Rodney Damián Fariña Martínez

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5602119104>

CAPÍTULO 5..... 55

STRATEGIES OF VOLTAGE CONTROL BASED IN FUZZY LOGIC ALGORITHMS WITH ALTERNATIVE, CLEAN AND RENEWABLE GENERATION OPERATING WITH ANOTHER CONVENTIONAL ELECTRIC GENERATION IN WITH RADIAL LOADS IN POWER SYSTEMS STABILITY

Rodney Damián Fariña Martínez
Antonio Carlos Zambroni de Souza
Eliane Valença Nascimento de Lorenci

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5602119105>

CAPÍTULO 6..... 72

ESTUDOS DE TRANSITÓRIOS ELETROMAGNÉTICOS E ELETROMECAÑICOS” DA ENERGIZAÇÃO DA LT 500KV AYOLAS-VILLA HAYES SEM REATOR DESDE A CENTRAL HIDRELÉTRICA ITAIPÚ

Elisandro Rodriguez Buzarquis
Rodney Damián Fariña Martínez
Antônio Carlos Zambroni de Souza

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5602119106>

CAPÍTULO 7..... 86

TRANSMISSÃO DE ENERGIA SEM FIO POR MEIO DE ACOPLAMENTO MAGNÉTICO RESSONANTE COM METAMATERIAIS CONVENCIONAIS E SUPERCONDUTORES

Arthur Henrique de Lima Ferreira
Lucas Douglas Ribeiro
Rose Mary de Souza Batalha

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5602119107>

CAPÍTULO 8..... 96

DEGRADAÇÃO POR POTENCIAL INDUZIDO (PID): REVISÃO

Hellen Ferreira Barreto Miranda
Luan Peixoto da Costa
Stefhany Oliveira Soares
Jonathan Velasco da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5602119108>

CAPÍTULO 9..... 108

CAPACITOR BANK ALLOCATION IN DISTRIBUTION SYSTEMS USING THE DISCRETE PSO ALGORITHM

Luís Henrique Chouay Dall’ Agnese
Carlos Roberto Mendonça da Rocha

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5602119109>

CAPÍTULO 10..... 119

DESIGN OF A TRANSMISSION-LINE METAMATERIAL WITH A NEGATIVE INDEX OF REFRACTION AT S-BAND

Lucas Douglas Ribeiro
Juscelino Júnior de Oliveira
Arthur Henrique de Lima Ferreira
Rose Mary de Souza Batalha

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.56021191010>

CAPÍTULO 11..... 129

RADIO PROPAGAÇÃO E MODELAGEM PARA UMA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS

PARA LTE

Alaim de Jesus Leão Costa
Thiago Eleuterio da Silva
Diego Kasuo Nakata da Silva
Leslye Estefania Castro Eras

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.56021191011>

CAPÍTULO 12..... 141

TESTES DE IMUNIDADE CONTRA SURTOS ELÉTRICOS EM ELETRODOMÉSTICOS

Gustavo Oliveira Cavalcanti
Marcílio André Félix Feitosa
Kayro Félyx Henrique Pereira
Manoel Henrique da Nóbrega Marinho
Antonio Samuel Neto
Lucas de Carvalho Sobral
Pollyana Maria Ramos Gonçalves
Douglas Thiago Moreira Lara
Thiago Francisco Gomes
Renato Jardim Teixeira
Wagner Almeida Barbosa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.56021191012>

CAPÍTULO 13..... 152

AUTOMAÇÃO DA ILUMINAÇÃO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES - O SISTEMA DE CONTROLE DE ILUMINAÇÃO DALI: UM ESTUDO DE CASO

Marcos Noboru Kurata
Ênio Carlos Segatto

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.56021191013>

CAPÍTULO 14..... 163

INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS E CONSTRUTIVAS NO EIXO DO ROTOR EÓLICO

Leonardo Pavan
Evandro André Konopatzki
Cristiane Lionço de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.56021191014>

CAPÍTULO 15..... 172

VIABILIDADE DO SISTEMA FOTOVOLTAICO NA REGIÃO DO RECÔNCAVO DA BAHIA

Gabriel Garcia Bastos de Almeida
Luanna Valéria Sousa Fonseca
Andréa Jaqueira da Silva Borges

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.56021191015>

SOBRE OS ORGANIZADORES 183

ÍNDICE REMISSIVO..... 184

CAPÍTULO 4

EVALUACIÓN PARA INVERSIÓN CON OPTIMIZACIÓN DE SECCIÓN CONDUCTOR Y TENSIÓN DE DISTRIBUCIÓN. APLICACIÓN DE LOS ALGORITMOS DEL LEY DE KELVIN

Data de aceite: 01/10/2021

Christian Arturo Ramirez Osorio

Facultad Politécnica. Universidad Nacional de Asunción
San Lorenzo - Paraguay

Enrique Buzarquis

Facultad Politécnica. Universidad Nacional de Asunción
San Lorenzo - Paraguay

Rodney Damián Fariña Martínez

Universidade Federal de Itajubá
Minas Gerais - Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1699708890823093>

RESUMEN: A inicios de la expansión de los Sistemas Eléctricos de Potencia se publicaron varias teorías respecto a las condiciones óptimas para transmitir la energía eléctrica. Una de ellas es la enunciada por Lord Kelvin, en Inglaterra en el año 1881, teoría conocida como la Ley de Kelvin. En la actualidad los niveles de tensiones de transmisión y distribución están definidas por normas internacionales y regionales, en este estudio se analizan los paradigmas relacionados a que valor de estas tensiones normalizadas sería el óptimo para el caso de estudio y para ello se aplica el fundamento de la Ley de Kelvin, con el fin de evaluar inversiones para la expansion del sistema eléctrico de distribución. Se debe mencionar que en la práctica este concepto tiene limitaciones, por lo que en este trabajo se diseña una metodología utilizando algoritmos en donde se integran los valores anuales de las variables

que intervienen en el fundamento teórico, tambien se definen las restricciones de tal forma a que los resultados obtenidos sean aplicables. Así, gracias a la metodología desarrollada, se hallan las curvas de costos anuales de construcción, depreciación, intereses para el financiamiento de las líneas y pérdidas de energía eléctrica, donde la función objetivo será minimizar la suma de los mismos. Para ello se utilizan funciones de comandos de Matlab, obteniendo de esta forma la sección óptima del conductor como así también la tensión de distribución óptima asociado a este para una proyección de 10 años.

PALABRAS CLAVE: Ley de Kelvin. Cálculo de Pérdidas de Energía, Costos Anuales de construcción de líneas de distribución. Optimización estática.

AVALIAÇÃO DE INVESTIMENTO COM OTIMIZAÇÃO DE SEÇÃO DO CONDUTOR E TENSÃO DE DISTRIBUIÇÃO. APLICAÇÃO DOS ALGORITMOS DA LEI DE KELVIN

RESUMO: No início da expansão dos Sistemas Elétricos de Potência, várias teorias foram publicadas sobre as condições ótimas de transmissão de energia elétrica. Uma delas é a enunciada por William Thomson, na Inglaterra em 1881, teoria conhecida como Lei de Kelvin. Atualmente os níveis de tensões de transmissão e distribuição são definidos por normas internacionais e regionais, neste estudo são analisados os paradigmas relacionados a qual valor dessas tensões normalizadas seria o ótimo para o estudo de caso e para isso são analisados

os fundamentos da Lei de Kelvin, em a fim de avaliar investimentos para a expansão do sistema de distribuição de energia elétrica. De referir que na prática este conceito apresenta limitações, pelo que neste trabalho é desenhada uma metodologia utilizando algoritmos onde se integram os valores anuais das variáveis que intervêm na fundamentação teórica, sendo as restrições também definidas de forma a que os resultados obtidos são aplicáveis. Assim, graças à metodologia desenvolvida, encontram-se as curvas de custos anuais de construção, depreciação, juros de financiamento das linhas e perdas de energia elétrica, onde a função objetivo será minimizar a soma delas utilizando funções de comando do MATLAB®; obtendo assim a seção ótima do condutor, bem como a tensão de distribuição ótima associada a ele para uma projeção de 10 anos.

PALAVRAS-CHAVE: Lei de Kelvin. Cálculo de perdas de energia. Custos anuais de construção de linhas de distribuição. Otimização estática.

EVALUATION FOR INVESTMENT WITH OPTIMIZATION OF CONDUCTOR SECTION AND DISTRIBUTION VOLTAGE. APPLICATION OF KELVIN'S LAW ALGORITHMS

ABSTRACT: At the beginning of the expansion of Electric Power Systems, several theories were published about the optimal conditions for electric energy transmission. One of them is enunciated by William Thomson, in England in 1881, a theory known as Kelvin's Law. Currently, the transmission and distribution voltage levels are defined by international and regional standards, in this study the paradigms related to which value of these normalized voltages would be the optimal for the case study are analyzed, and for this, the fundamentals of Kelvin's Law are analyzed, in order to evaluate investments for the expansion of the electric energy distribution system. It should be noted that in practice this concept has limitations, so in this work a methodology is designed using algorithms where the annual values of the variables that intervene in the theoretical foundation are integrated, and the restrictions are also defined so that the results obtained are applicable. Thus, thanks to the developed methodology, the annual construction cost curves, depreciation, interest on financing lines and electricity losses are found, where the objective function will be to minimize their sum using MATLAB® command functions; thus obtaining the optimum conductor section as well as the optimum distribution voltage associated with it for a 10-year projection.

KEYWORDS: Kelvin's Law. Calculation of energy losses. Annual costs, construction of distribution lines. Static optimization.

1 | INTRODUCCIÓN

En Paraguay existen varias restricciones para la expansión del sistema de distribución de energía eléctrica, principalmente en áreas urbanas densamente pobladas. Una de ellas representa a los problemas estructurales para la edificación de nuevas obras con el fin atender la demanda de suministro de energía eléctrica mediante la construcción de nuevas Estaciones de Transformación, como así también ampliaciones de la red de media tensión de distribución.

Para el caso de la expansión del sistema de distribución, el medio físico donde se

deben hacer las ampliaciones de los locales de transformación, generalmente están muy limitados en cuanto al espacio para la construcción e instalación de ductos y salidas de nuevos alimentadores, esto hace que inevitablemente se tenga aglomeración de los conductores en las canaletas o ductos, lo que hace que la capacidad de conducción de corriente real de los mismos sea considerablemente menor, esto conlleva pérdidas considerables de energía por efecto Joule y en el peor de los casos, la ocurrencia de fallas en los conductores con la consecuencia de un corte de energía eléctrica, valorado a partir del Costo de Energía no Suministrada (CENS).

Otra problemática desde el punto de vista estructural se observa en el sistema de transmisión, en donde se tiene la dificultad de emprender la construcción de nuevas Estaciones de Transformación en áreas urbanas densamente pobladas, debido a la escasez de terrenos de las dimensiones adecuadas para instalación de las mismas.

Estas limitaciones, son en la actualidad algunas de las principales condicionantes para la expansión del Sistema Eléctrico de Distribución en Paraguay.

En base al análisis de la problemática enunciada, a fin de optimizar las inversiones y de obtener mayor capacidad de transporte de energía eléctrica en el sistema de distribución, en este estudio se aplica la Ley de Kelvin. De esta forma se encuentra el momento y la sección de conductor económicamente conveniente de manera a incrementar la línea troncal del alimentador estudiado y seleccionado como muestra.

Con este mismo fundamento, se realiza un análisis similar con otros valores de tensión n veces superior a la tensión de distribución actual, considerando que la relación de capacidad de transporte en Vatios a una tensión superior es n^2 , ya que con ello se tendría la posibilidad de transportar n^2 veces más potencia en las mismas condiciones de infraestructura en cuanto a espacio físico disponible.

Para ello, en este trabajo se investigan los criterios actuales para definición de niveles de tensión de distribución y se desarrolla una metodología para hallar la tensión óptima para centros de carga con las características del alimentador seleccionado como muestra.

Todas las variables que intervienen en la aplicación de Ley de Kelvin son integradas al algoritmo desarrollado en este estudio.

Se debe hacer mención que, en la práctica, el fundamento de la Ley de Kelvin tiene ciertas limitaciones para su aplicación, la cuales se citan a continuación:

- I. No es fácil estimar la pérdida de energía en la línea sin curvas de carga reales, que no están disponibles en el tiempo de estimación.
- II. El costo anual a cuenta de intereses y la depreciación en el desembolso de capital no tienen una forma lineal.
- III. Esta ley no tiene en cuenta varios factores como la densidad de corriente segura, resistencia mecánica, pérdida de corona, etc.
- IV. El tamaño del conductor determinado por esta ley puede no siempre puede ser practicable, puede ser demasiado pequeño para el transporte seguro de

la corriente necesaria.

- V. El interés y la depreciación en el desembolso de capital no pueden ser determinados con precisión. [1].

Con la metodología a implementar se logrará gracias a la programación y manipulación de datos masivos, estimar las curvas de cargas reales determinando posteriormente las pérdidas por efecto Joule, utilizando el Software CYMDIST¹ y teniendo en cuenta diferentes valores de proyección de la demanda de energía eléctrica. También se obtienen las curvas referentes a los costos de los materiales y la variación de estos en función a la sección y tensiones de servicio de los mismos.

Para que el conductor a definir, utilizando el concepto de la Ley de Kelvin, sea seguro (referida a la densidad de corriente), se utilizará en el algoritmo el Costo de la Energía Eléctrica no Suministrada (CENS), de tal forma a que este valor sea la restricción a las soluciones posibles.

De esta manera, una vez obtenidas las matrices de estas variables la función objetivo será minimizar la suma de la relación entre el costo anual de interés y depreciación referente a los costos de construcción y el área de la sección del conductor, como así también la relación entre el costo anual de energía desperdiciada y el área de sección del conductor, así se obtendrá la sección óptima económica para la proyección de la demanda especificada.

La misma metodología será aplicada a otros niveles de tensión normalizados a fin de verificar la variación de los costos y la conveniencia respecto a la construcción de nuevas Estaciones de Transformación.

OBJETIVOS DEL TRABAJO

Tomando como base lo expuesto en el apartado anterior, en el presente trabajo se propone como objetivo general “Hallar el valor óptimo de tensión de distribución, como así también la sección de conductor óptima para el alimentador seleccionado como muestra, desarrollando una metodología basada en la Ley de Kelvin, con la cual se pueda evaluar opciones de inversión para un plazo de 10 años”.

Considerando la necesidad de que el sistema de distribución se adapte a la expansión del sistema eléctrico, además se instauran los siguientes objetivos específicos:

- Identificar los criterios y normas a ser tenidos en cuenta para adoptar un determinado nivel de tensión en distribución.
- Desarrollar algoritmos a fin de observar el comportamiento de las variables y realizar los cálculos necesarios para la aplicación de la Ley de Kelvin para distintos escenarios.
- Estimar los costos del financiamiento para la construcción y depreciación de

¹ Paquete base para el análisis del sistema de distribución del software CYME, utilizada en la Administración Nacional de Electricidad (ANDE)

nuevas líneas de distribución.

- Hallar los costos anuales de las pérdidas de energía eléctrica por efecto Joule en conductores a tensiones normalizadas para el alimentador seleccionado como muestra.

Las preguntas guía para el presente trabajo son: i) Ya que en el segmento de generación y en muchos casos en transmisión, se encuentran cantidades de excedentes de potencia. ¿Qué alternativa sería la óptima para distribuir dicha cantidad de excedente teniendo en cuenta las restricciones estructurales existentes? ¿Cómo se pueden integrar las distintas variables que componen la determinación de un valor de tensión y sección de conductor óptimo en distribución? En relación con las preguntas se plantean las siguientes hipótesis: i) El valor óptimo de tensión y sección óptima del sistema de distribución en estudio es el que presenta menores costos anuales totales para el tiempo analizado. ii) El desarrollo de un algoritmo basado en la Ley de Kelvin permitirá evaluar los costos anuales totales para diferentes niveles de tensión y secciones de conductores.

REVISIÓN DE LA LITERATURA

Las Tensiones de Distribución Normalizadas en Paraguay se definen en el Pliego de Tarifas N°21 [2].

Tensiones trifásicas (entre fases)

Muy alta tensión: 220.000 Voltios

Alta tensión: 66.000 Voltios

Media tensión: 23.000 Voltios

Baja tensión: 380/220 Voltios

Tensiones monofásicas (entre fase y neutro)

Media tensión: 23.000 / $\sqrt{3}$ Voltios

Este pliego a su vez está basado en el Reglamento Para Instalaciones Eléctricas de Media Tensión, que data del año 1975, así como también del Reglamento para instalaciones de Baja Tensión que data del año 1971 [2].

En los últimos años se construyeron las líneas de transmisión ITAIPU-VILLA HAYES y AYOLAS-VILLA HAYES, en 500kV, por lo que este nivel de tensión pasa a formar parte de los niveles de tensiones utilizados en el Sistema Eléctrico Paraguayo.

Los conductores normalizados y utilizados en el sistema de distribución eléctrica en Paraguay y a los que está enfocado el presente estudio son: [5].

Conductor Desnudo de Aleación de Aluminio

- Conductor Desnudo de Aleación de Aluminio, de 35 mm²
- Conductor Desnudo de Aleación de Aluminio, de 50 mm²

- Conductor Desnudo de Aleación de Aluminio, de 70 mm²
- Conductor Desnudo de Aleación de Aluminio, de 95 mm²
- Conductor Desnudo de Aleación de Aluminio, de 150 mm²
- Conductor Desnudo de Aleación de Aluminio, de 240 mm²
- Conductor Desnudo de Aleación de Aluminio, de 300 mm²

Normas internacionales

Definición de los niveles de tensión según la Norma IEC 60038

Serie I			Serie II	
Tensión máxima para el equipo (kV)	Tensión nominal del sistema (kV)		Tensión máxima para el equipo (kV)	Tensión nominal del sistema (kV)
3,6	3,3	3	4,40	4,16
7,2	6,6	6	-	-
12	11	10	-	-
-	-	-	13,2	12,47
-	-	-	13,97	13,2
-	-	-	14,52	13,8
(17,5)	-	(15)	-	-
24	22	20	-	-
-	-	-	26,4	24,94
36	33	25	-	-
-	-	-	36,5	34,5
40,5	-	35	-	-

Tabla 1- Tensiones nominales entre 1 kV y que no excedan de 36 kV. [6].

Ley de Kelvin

El área de conductor más económica es aquella para la cual el costo total anual de la línea de transmisión es mínimo. Esto se conoce como Ley de Kelvin. Fue Lord Kelvin quien lo declaró por primera vez en 1881. “El costo anual total de la línea de transmisión se puede dividir ampliamente en dos partes: Tasa anual de desembolso de capital y costo anual de energía desperdiciada en el conductor” [7]. Si bien la definición de la Ley de Kelvin se refiere a sistemas de transmisión, para este estudio, este concepto será aplicado a sistemas de distribución ².

Este costo anual se puede ilustrar gráficamente trazando el costo anual contra el área ‘a’ del conductor como se muestra en la Ilustración 1. En el diagrama, la línea recta (1) muestra la relación entre los costos anuales (es decir, P1 + P2a) y el área de la sección ‘a’

² Elaborado por el autor

del conductor. De manera similar, la hipérbola rectangular (2) proporciona la relación entre el costo anual de energía desperdiciada y el área de sección 'a'. Al sumar las ordenadas de las curvas (1) y (2), se obtiene la curva (3). Esta última curva muestra la relación entre el costo anual total ($P_1 + P_2a + P_3 / a$) de la línea y el área de la sección 'a'. El punto más bajo de la curva (es decir, el punto P) representa el área más económica de la sección. [1].

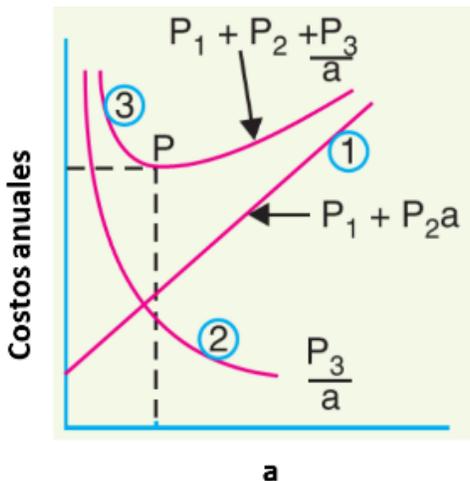


Ilustración 1 - Representación gráfica de la Ley de Kelvin [1].

a: Sección del conductor.

P_1 : Costo de la línea de transmisión o distribución que no depende de la sección del conductor.

P_2 : Costo de la línea de transmisión o distribución que depende de la sección del conductor (Interés para el financiamiento de la construcción de la línea y depreciación del material).

P_3 : Costo de las pérdidas por efecto Joule.

Para la elección del voltaje óptimo, se obtiene una curva para el costo total de transmisión contra el voltaje, como se muestra en la Ilustración 2. El punto más bajo (P) en la curva proporciona la tensión de transmisión económica. Por lo tanto, en el presente caso, OA es la tensión de transmisión óptima [1].

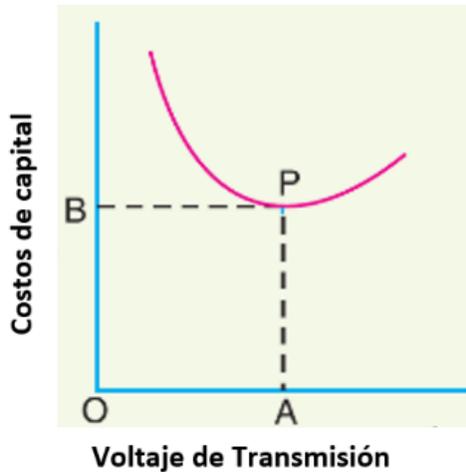


Ilustración 2 - Voltaje de transmisión óptimo [1].

Por otro lado, la tendencia actual es seguir ciertas fórmulas empíricas para encontrar la tensión de transmisión económica. Así, de acuerdo con la práctica estadounidense, el voltaje económico entre las líneas de un sistema trifásico AC es: [7].

$$V = 5,5 \sqrt{0,62l + \frac{3P}{150}} \quad (1)$$

l: longitud de la línea de transmisión o distribución.

P: Potencia a transmitir.

V: Tensión económica

Proyección de la Demanda

En la Tabla 2, se presenta una comparación de las tasas de crecimiento de la demanda máxima consideradas por la Administración Nacional de Electricidad (ANDE) en su plan de expansión y de las resultantes del análisis de demanda llevada a cabo en el marco del estudio de tarifas eléctricas.

Proyección	Caso Bajo	Caso Medio	Caso Alto II	Caso Alto I y Esc. ANDE
ANDE	4,1%	5,8%	7,1%	9,3%
EEC 3 ³	3,8%	5,0%	5,3%	6,1%

Tabla 2 - Comparación de Demanda máxima - tasas anuales acumulativas proyectadas 2012-2022 [8].

³ Estudios Energéticos Consultores

Costo Marginal de Generación

En función a estudios referenciados, se definió como Costo Marginal de Largo Plazo de la Energía (CMLPE) de 35,66 USD/MWh. Que es el costo a utilizar para hallar los costos por perdidas de energía [8].

Determinación del Costo de la Falla

Los resultados de estudios referenciados oscilan en el rango [2,94 USD/kWh a 4,09 USD/kWh] los cuales resultan consistentes con las experiencias internacionales [8].

MARCO METODOLÓGICO

Universo de estudio

Los análisis se basaron en la Estación Transformadora de 220/66/23 kV llamada Estación San Lorenzo, en adelante ES-SLO, y como muestra se ha seleccionado el alimentador de 23 KV SLO-18.

Técnicas de recolección de datos

La selección de nivel de tensión de distribución para zonas urbanas será hecha con la técnica del análisis documental. Así, las tensiones normalizadas serán las expuestas en la Tabla 1 del presente estudio.

Con respecto a la definición de los Costos de construcción de líneas de distribución para diferentes secciones de conductores normalizados, será hecha con la técnica del análisis documental. De esta manera se tienen los costos modulares para la construcción de los alimentadores aéreos de Aleación de Aluminio Desnudo de Media Tensión (MT). En la Tabla 3 son representados estos valores en USD/km.

Item	Construcción de Línea de MT	Materiales		Mano de obra	Total
		Conductor	Estructuras/postes		
1	Línea Trifásica de 3x35mm ²	484	9.199	3.565	13.248
2	Línea Trifásica de 3x50mm ²	533	10.119	3.921	14.573
3	Línea Trifásica de 3x70mm ²	620	11.784	4.901	17.304
4	Línea Trifásica de 3x95mm ²	806	15.319	6.371	22.496
5	Línea Trifásica de 3x150mm ²	841	15.981	6.906	23.728
6	Línea Trifásica de 3x240mm ²	1.093	20.775	7.485	29.354
7	Línea Trifásica de 3x300mm ²	1.421	27.008	8.113	36.542

Tabla 3 - Costos modulares de materiales y mano de obra (USD/km), para construcción de alimentadores MT [5].

Interés y depreciación de líneas de distribución

Los valores hallados correspondientes a la Depreciación Anual para los diferentes tipos de líneas adoptadas en este estudio fueron:

ce23=	[68073	74880	87198	113357	118259	153736	199857]
cc23=	[3583	3941	4589	5966	6224	8091	10519]
p23=	ce23 + cc23						

$$d23 = \frac{p23 - vd}{vu} \quad (2)$$

ce23 = costos de postación (estructuras, aisladores, postes), tensión 23kV

cc23 = costo de conductores, tensión 23kV

$$cil = (cons23 - \sum_1^{n-1} a) * il \quad (3)$$

a = amortización

vu = Vida Útil

vd = Valor de desecho (se considera 0)

Los intereses para el financiamiento de las obras para los conductores se hallaron de la siguiente forma:

$$cons\ 23 = cc\ 23 + ce\ 23 + cm\ 23 = \text{costo de la obra (USD)} \quad (4)$$

$$ci\ 23 = cis + cil = \text{costo anual de interés del financiamiento (USD)} \quad (5)$$

$$a = cons\ 23 / n \quad (6)$$

$$cis = (cons\ 23 - \sum_1^{n-1} a) * is \quad (7)$$

n = número de periodos de pagos

is = Interés fijo

il = Interés variable (tasa Libor [10])

ce23 = costos de postación (estructuras, aisladores, postes), tensión 23kV

cc23 = costo de conductores, tensión 23kV

cm23 = costo de mano de obra, tensión 23kV

Una vez obtenidos los valores anualizados de los intereses y depreciación se definen los mismos, a fin de tener la curva 1 (Ilustración 1) a ser analizados con el fundamento de la ley de Kelvin. La matriz de resultados se muestra en la Tabla 4 con su correspondiente representación en la Ilustración 3.

Año	Sección (mm ²)						
	35	50	70	95	150	240	300
1	6.851	7.536	8.897	10.558	12.160	15.267	19.261
2	6.371	7.008	8.270	9.806	11.300	14.203	17.936
3	5.890	6.479	7.642	9.054	10.440	13.139	16.611
4	5.410	5.951	7.015	8.302	9.579	12.074	15.286
5	4.930	5.422	6.387	7.550	8.719	11.010	13.961
6	4.449	4.894	5.760	6.798	7.858	9.945	12.636
7	3.969	4.366	5.132	6.046	6.998	8.881	11.311
8	3.488	3.837	4.505	5.294	6.138	7.817	9.986
9	3.008	3.309	3.877	4.542	5.277	6.752	8.661
10	2.528	2.780	3.250	3.790	4.417	5.688	7.336

Tabla 4 - Costos anuales (USD) de interés y depreciación - tensión 23kV.

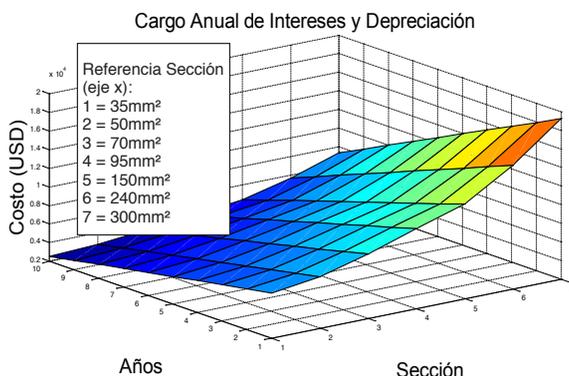


Ilustración 3 - Costos Anuales de Interés y Depreciación, tensión 23kV.

Los resultados obtenidos indicados en la Tabla 4 son mostrados en función del tiempo y para cada sección de conductor estudiado. Se puede observar que para una sección menor se tiene menores costos anuales referentes a la depreciación y gastos en intereses en relación a los conductores de secciones superiores que requieren mayor inversión inicial.

Pérdidas de energía eléctrica, para líneas MT de 23kV

El Costo de la Energía no Suministrada (CENS), fue hecha con la técnica del análisis documental, se ha utilizado el valor de 4.09 USD/kWh, que es el resultado obtenido por [8].

Las pérdidas y costos por efecto Joule en las líneas se hallaron mediante simulaciones hechas en el software CYMDIST ⁴.

En la Tabla 5 son representados los valores de las pérdidas en los conductores para distintos factores de carga, calculadas en el software.

⁴ CYMDIST: paquete base para el análisis del sistema de distribución del software CYME, utilizada en ANDE.

Sección del conductor		35mm ²	50mm ²	70mm ²	95mm ²	150mm ²	240mm ²	300mm ²
Carga		Pérdidas (KW)						
(kW)	(A)							
1.000	27,92	10,80	7,60	5,60	4,20	2,50	1,60	1,40
2.000	55,85	43,70	30,60	22,60	16,70	10,00	6,60	5,50
3.000	83,77	99,10	69,30	50,80	37,50	22,60	14,90	12,40
4.000	111,70	177,30	123,80	90,40	66,80	40,20	26,60	22,10
5.000	139,62	278,90	194,50	141,40	104,40	63,00	41,70	34,50
6.000	167,55	404,00	281,50	203,70	150,50	91,00	60,10	49,70
7.000	195,47	552,80	384,90	277,40	204,90	124,10	82,00	67,60
8.000	223,40	725,30	505,00	362,50	267,80	162,50	107,30	88,30
9.000	251,32	921,30	641,70	459,10	339,00	206,10	136,00	111,80
10.000	279,24	1.140,3	795,10	567,00	418,80	255,00	168,20	138,10
11.000	307,17	1.381,5	965,10	682,60	506,90	309,30	203,90	167,20
12.000	335,09	1.643,5	1.151,70	814,80	603,40	368,90	243,10	199,00
13.000	363,02	1.924,4	1.354,50	958,80	708,40	433,80	285,70	233,60
14.000	390,94	2.221,3	1.573,10	1.112,1	821,80	504,20	332,00	271,10
15.000	418,87	2.530,3	1.807,00	1.276,7	943,50	579,90	381,00	311,20

Tabla 5 - Pérdidas en los conductores por efecto Joule, tensión 23kV (Simulación efectuada en el software CYMDIST).

A fin de tener cuantificadas y anualizadas las pérdidas se elabora una curva de pérdidas característica (ilustración 4) a partir de la Tabla 5 para cada sección de conductor y para diferentes valores cargas horarias (CAH), que fueron datos suministrados por el Centro de Operaciones de ANDE.

Ecuaciones obtenidas a partir de la matriz de pérdidas

$$p_{35} (i) = 0,00129 * CAH (i) \quad 2, 0208 \quad (8)$$

$$p_{50} (i) = 0,009 * CAH (i) \quad 2, 0229 \quad (9)$$

$$p_{70} (i) = 0,0071 * CAH (i) \quad 2, 0035 \quad (10)$$

$$p_{95} (i) = 0,0053 * CAH (i) \quad 2, 0008 \quad (11)$$

$$p_{150} (i) = 0,0031 * CAH (i) \quad 2, 0122 \quad (12)$$

$$p_{240} (i) = 0,002 * CAH (i) \quad 2, 0177 \quad (13)$$

$$p_{300} (i) = 0,0018 * CAH (i) \quad 1,9982 \quad (14)$$

$p_{(i)}$ = Energía pérdida (kWh), para cada tipo de conductor.

CAH = Carga máxima horaria del alimentador (A) SLO – 18.

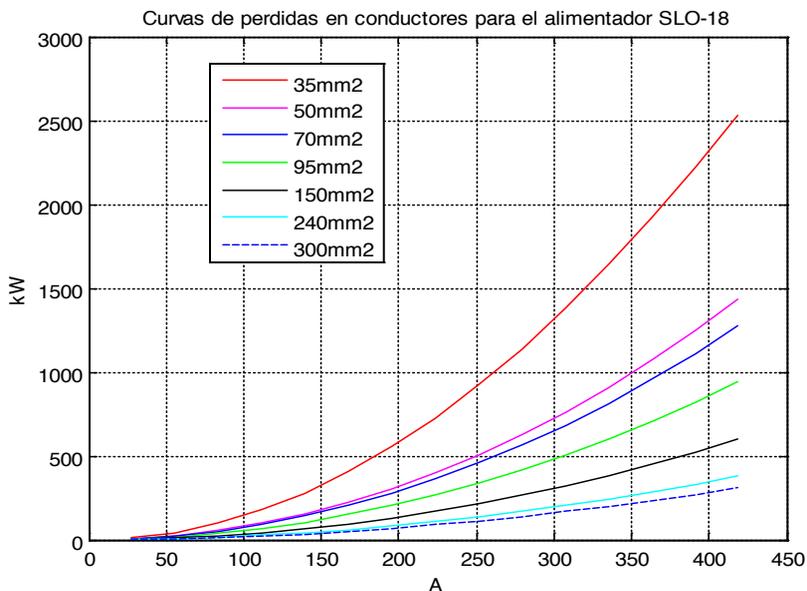


Ilustración 4 - Curva de pérdidas por sección de conductor.
Principal del alimentador SLO-18.

Cálculo del costo de pérdidas anuales en USD, por cada tipo de conductor

Desarrollado el algoritmo, se aplica una tasa de crecimiento de la demanda de 9,3%, se obtiene la matriz $C_{8760 \times 10}$, que contendrá la demanda horaria proyectada para el tiempo de estudio. Si bien es poco probable que la configuración del alimentador se mantenga invariable en el tiempo, para este estudio se considera constante.

El algoritmo compara cada uno de estos valores con la capacidad de conducción de cada uno de los tipos de conductores principales estudiados, definiendo como restricción el límite de conducción de estos, para así aplicar el criterio del CENS.

Queda así definida la matriz $cp(i,j)$, que es la matriz del costo anualizado de las pérdidas para cada tipo de conductor para un periodo de 10 años, a ser analizadas con el fundamento de la ley de Kelvin y representados en la Ilustración 5 y en la Tabla 6 en forma matricial.

Año	Sección (mm ²)						
	35	50	70	95	150	240	300
	(USD)						
1	10.172.649	3.752.970	636.745	79.223	27.928	18.538	15.083
2	13.770.329	5.995.614	1.618.793	201.971	35.412	22.181	18.016
3	17.842.561	9.167.516	3.189.729	538.055	52.977	26.541	21.519

2 | CONCLUSIONES

Se identificaron las tensiones normalizadas según norma IEC 60038, esto es muy importante ya que la mayoría de los fabricantes de equipos que son utilizados en sistemas de distribución, los fabrican para estos valores. Por lo que los cálculos y estimaciones también fueron hechos para estos.

Se definieron los costos de construcción de líneas de media tensión utilizando como fuente la base de datos de ANDE para líneas con conductores de hasta 150mm², para los conductores de secciones superiores, se estimaron con factores proporcionales. Para los costos de construcción de líneas de media tensión a tensiones superiores se utilizaron ecuaciones y normas para la determinación de las distancias horizontales y verticales respectivamente, estimando la diferencia de costos de los materiales con respecto a las líneas de 23kV para la construcción de líneas de hasta 44kV. Para este estudio se consideró que la línea no tiene otra de menor tensión en el mismo recorrido, ya que si fuese así, las distancias eléctricas verticales serían mayores y necesariamente de deberían aumentar la altura de los postes. Para esta hipótesis, según norma, no fue necesario aumentar las alturas de los postes.

Se logró, a través de entrevistas y revisión documental, conocer y tener en cuenta las condiciones contractuales para el financiamiento de las obras de expansión del sistema de distribución, así también, se estudió la metodología y los valores para el cálculo de la depreciación de los bienes, necesarios para la aplicación de la ley Kelvin.

Mediante el programa CYMDIST, se logró calcular las pérdidas para diferentes secciones de conductores para línea de media tensión de 23kV y obtener las ecuaciones de pérdidas en función de la carga, como así también para tensiones superiores (34,5kV), según norma IEC 60038, también se ha simulado para una tensión de 44kV, a pesar de no corresponder a la referida norma, debido a que es también una tensión de distribución utilizada en la región. Una vez obtenidas las pérdidas anuales para una proyección de la demanda de 10 años, se obtuvieron las matrices de pérdidas para cada sección de conductor y tensión de distribución.

Halladas las pérdidas por efecto Joule en las líneas de distribución, aplicando el algoritmo desarrollado, se obtuvieron las matrices de costos de pérdidas anuales, para cada sección de conductor y tensiones de distribución.

Se halló el conductor óptimo con el fundamento de la Ley de Kelvin, se obtuvieron los resultados para el escenario propuesto. Los cálculos se efectuaron en el escenario donde se adoptaron los valores más altos correspondientes a tasas de intereses y tasa de crecimiento de la demanda. Se obtuvieron las matrices de costos anuales para cada sección de conductor

y tensión de distribución, llegando a la conclusión de que no es conveniente aumentar el nivel de tensión de distribución aplicado a la muestra en estudio, debido a que, para estos casos, los costos globales a tensiones superiores son mayores a los costos para la tensión de distribución a 23KV.

Con todos los objetivos específicos logrados, y superadas las limitaciones de la Ley de Kelvin, se concluye que se logró el objetivo general de este estudio, el cual es definir el valor óptimo de tensión de distribución para la muestra en estudio, siendo así la tensión de 23kV, el valor óptimo para este caso. También se determinó la sección de conductor óptima, comprobando que con el algoritmo y la metodología utilizada se puede definir el momento más conveniente de ampliación de la red de distribución estudiada, o aumento de sección del mismo teniendo en cuenta todas las variables que intervienen en la Ley de Kelvin.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] **EL-SAADAWI, D. M.** (2010). Electric Supply Systems. Recuperado el 8 de Mayo de 2020, de http://www.saadawi1.net/upLoadedFiles/extra_files/6il7b60h9e.pdf.
- [2] **ADMINISTRACION NACIONAL DE ELECTRICIDAD ANDE** (1975). Reglamento de Media Tensión. ANDE. (2017).
- [3] **ADMINISTRACION NACIONAL DE ELECTRICIDAD ANDE.** Piego de Tarifas N°21. ANDE. (2018).
- [4] **ADMINISTRACION NACIONAL DE ELECTRICIDAD ANDE.** Compilación Estadística 1997-2017. ANDE. (2019).
- [5] **BASE DE DATOS.** ANDE. (2020). Compilación Estadística 1997-2019. Cier. (17 de abril de 2017). ANDE tiene las tarifas más bajas para industrias. Asunción. Paraguay.
- [6] **SCHNEIDER, E.** (2010). Guía de Diseño de Instalaciones Eléctricas Según Normas Internacionales IEC. Obtenido de https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Application+solutions&p_File_Name=020511_E10-guia-diseno-instalac-electricas.pdf&p_Doc_Ref=020511E10. Schneider, Electric . (2010). Guía de Diseño de Instalaciones Eléctricas 2010. Barcelona: Schneider.
- [7] **STILL, A.** (1919). Electric Power Transmission. New York: Mc Graw-Hill Book Company, Inc.
- [8] **ESTUDIOS ENERGÉTICOS CONSULTORES.** (2005). Asistencia Técnica para la Elaboración de los Estudios de Costos y Tarifas, Caracterización;
- [9] **DIAZ, T.** (2010). Definición de Libor. Recuperado el 4 de Diciembre de 2019, de <https://www.economiasimple.net/glosario/libor>.
- [10] **ENCICLOPEDIA, E.** (2018). Enciclopedia Económica. Recuperado el 6 de Abril de 2019, de <https://enciclopediaeconomica.com/depreciacion/>
- [11] **MoneyCafe.com.** (2019). 6 Month LIBOR (Reported Monthly) Definition. Recuperado el 4 de Agosto de 2020, de <https://www.moneycafe.com/6-month-libor/>

ÍNDICE REMISSIVO

A

Acoplamento magnético ressonante forte 84

Automação de iluminação 150

C

Cálculo de perdas de energia 39

Composto direito/esquerdo (CRLH) 117

Controle da iluminação 150

Correlação-cruzada 15

Custos anuais de construção de linhas de distribuição 39

D

Detecção 94, 154

Durabilidade de rede de Bragg 25

E

Eficiência energética 7, 150, 151, 153, 160

Encapsulamento 25, 27, 29, 30, 31, 32, 35

Energia eólica 161, 162, 168

Enlace analógico a fibra óptica 1, 13

Enlace fotônico sob baixa polarização 1

Estruturas periódicas 117

F

FBG 5, 14, 15, 16, 18, 19, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 32, 35, 36, 37

Fotovoltaico 7, 94, 170, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180

Fuzzy Logic 5, 54, 55, 65, 68

I

Índice de refração negativo 117

Inteligência artificial 55

L

Lei de Kelvin 38, 39

LTE 7, 118, 125, 127, 128, 129, 136, 137

M

Metamateriais 6, 84, 117

N

Neuro-Fuzzy 127, 129, 130, 133, 134, 136, 137

O

Otimização estática 39

P

Perda de propagação 127, 128, 136

Permeabilidade negativa 117

Permissividade negativa 117

PID 6, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105

Planejamento de potência reativa 106

Proteção contra surtos 139, 140

R

Rádio propagação sobre pontes 127

Rede de fibra de Bragg (FBG) 15

Refrigerador 139, 140, 141, 146, 147, 148

Reversão 94

Revisão literária 94

RFBG 5, 25, 26, 27, 28, 31, 32

RF em fotônica 1

Rotação 161, 162, 164, 166, 167, 168, 169

S

Sensor à fibra óptica 15

Sistema DALI 150, 154, 155

Sistemas de alívio 15

Sistemas de distribuição 106, 115, 141

Sistemas de potência 106

Supercondutividade 84

Surtos elétricos 7, 139, 140, 141, 142, 144, 146, 148, 149

T

Televisor 139, 140, 141, 144, 145

Transmissão de energia sem fio 6, 84

V

Vazão 14, 15

Velocidade do vento 161, 163, 164, 165, 166, 167, 168

Vida útil 47, 139, 140, 141, 147, 148, 170

COLEÇÃO

DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA ELÉTRICA 2

- 
-  www.atenaeditora.com.br
 -  contato@atenaeditora.com.br
 -  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
 -  www.facebook.com/atenaeditora.com.br

COLEÇÃO

DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA ELÉTRICA 2

-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br