UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR

POSGRADOS

Maestría en

ELECTRICIDAD, MENCIÓN
SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA

RPC-SO-30-NO.508-2019

Opción de Titulación:

PROYECTO DE DESARROLLO

Tema:

DISEÑO ÓPTIMO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS CONSIDERANDO CABLEADO CONVENCIONAL Y BLINDO-BARRAS MEDIANTE DECISIÓN MULTICRITERIO CON OBJETIVOS DE CALIDAD, EFICIENCIA Y COSTOS

Autor(es):

Anthony Fernando Espinoza Montesdeoca
Adrián Joel Morales Peñafiel

Director:

ING. ALEXANDER AGUILA TELLEZ, PHD

GUAYAQUIL – Ecuador
2025

Autores:

Adrián Joel Morales Peñafiel
Ingeniero Eléctrico
Candidato a Magíster en Electricidad, Mención Sistemas Eléctricos de Potencia por la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Guayaquil
amoralesp2@est.ups.edu.ec

Anthony Fernando Espinoza Montesdeoca
Ingeniero Eléctrico
Candidato a Magíster en Electricidad, Mención Sistemas Eléctricos de Potencia por la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Guayaquil
aespinozam3@est.ups.edu.ec

Dirigido por:

Alexander Águila Tellez
Ingeniero Eléctrico
Máster en Eficiencia Energética
Magister en Ingeniería
Doctor en Ingeniería Área Energía, PhD.
aaguila@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS
©2025 Universidad Politécnica Salesiana.
GUAYAQUIL – ECUADOR – SUDAMÉRICA
ANTHONY FERNANDO ESPINOZA MONTESDEOCA
ADRIÁN JOEL MORALES PEÑAFIEL
DISEÑO ÓPTIMO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS CONSIDERANDO CABLEADO CONVENCIONAL Y BLINDO-BARRAS MEDIANTE DECISIÓN MULTICRITERIO CON OBJETIVOS DE CALIDAD, EFICIENCIA Y COSTOS

Agradecimientos

En primer lugar, le agradezco a Dios, por permitirme continuar con mi superación personal, dándome salud, sabiduría y sobre todo disciplina. Segundo le agradezco a mis padres Pedro Morales y Roció Peñafiel, por siempre apoyarme y estar conmigo en todo momento desde lo económico hasta lo moral. Tercero, agradecerles a mis hermanos Angelina Morales y Mateo Morales por todo el apoyo familiar que me han otorgado. Sumado a esto, quiero agradecerles a las personas que me dieron la oportunidad de ir formándome continuamente en lo que es la ingeniería eléctrica, gracias a dicha pasión es que me impulsa día a día a capacitarme sobre esta inmensa carrera llamada electricidad. Gracias totales a las personas que han sido parte de mi proceso, he aprendido de todos un poco, teniendo un sin número de experiencias positivas y espero continuar de esa manera para profesionalizarme en varios ámbitos, así como también en lo personal. Adicionalmente, le agradezco al profesor tutor que nos ha dirigido en esta maestría para cumplir con los objetivos de esta, que es graduarme. Esperando que Dios lo siga bendiciendo y nos siga apoyando como lo ha venido haciendo durante este periodo de aprendizaje constante.

Adrián Joel Morales Peñafiel

Primero, quiero darle gracias a Dios por darme salud y la oportunidad de continuar con mi crecimiento profesional y culminar este gran objetivo académico como lo es la maestría. Segundo, agradecerle a mis padres y hermanas por su apoyo incondicional a lo largo de este proceso, dándome esa motivación, amor y confianza que necesito para cumplir cada una de mis metas y objetivos. También, un grato agradecimiento a mi director de Tesis, Ing. Alexander Águila Tellez, por todos sus consejos, conocimientos y por su guía a lo largo del camino para poder culminar este proceso de titulación de la mejor manera.

Anthony Fernando Espinoza Montesdeoca

Índice general

Índice de Figuras **6**

Índice de Tablas **9**

Abstract **13**

1. INTRODUCCIÓN. **15**
1.1. Antecedentes. 16
1.2. Descripción general del problema. 18
1.3. Objetivos. 18
1.3.1. Objetivo general. 18
1.3.2. Objetivos específicos. 18
1.4. Justificación. 19
1.5. Organización del manuscrito. 20

2. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL. **22**
2.1. Estado del Arte. 23
2.1.1. Comparación entre otros estudios realizados empleando decisión multicriterio. 26
2.2. Fundamentos Teóricos. 30
2.2.1. Redes, diseño e instalaciones eléctricas. 30
2.2.2. Cableado convencional. 32
2.2.3. ¿Qué son blindo-barras? 34
2.2.4. Introducción y desarrollo de aplicaciones en MATLAB®. . 36
2.2.5. Eficiencia energética. 38
2.2.6. Análisis de costos. 41
2.2.7. Decisión Multicriterio. 43

3. METODOLOGÍA PROPUESTA. 45
3.1. Cálculo de Carga. 46
3.1.1. Cálculos en Planta Baja. 46
3.1.2. Plantilla Final del Cálculo de Carga. 49
3.2. Ecuaciones de las variables analizadas en este proyecto. 50
3.2.1. Pérdidas en Kilovatios. 50
3.2.2. Desviación de Voltaje. 51
3.2.3. Costos por Escenarios. 51
3.3. Formulación Teórica del Método CRITIC. 52
3.3.1. Matriz de Decisión. 53
3.3.2. Normalización de la Matriz de Decisión. 54
3.3.3. Aplicación de la Desviación Estándar en los Criterios. . . . 55
3.3.4. Aplicación de la Matriz de Correlación. 55
3.3.5. Cálculo de las Ponderaciones “Pesos” con el Método CRITIC. 56
3.3.6. Normalización de las Ponderaciones “Pesos”. 57
3.3.7. Cálculo por Escenario de las Sumas Ponderadas. 58
3.3.8. Elección del Escenario Óptimo. 59

4. CASO DE ESTUDIO EN DIGSILENT. 60
4.1. Descripción del “EDIFICIO AA”. 60
4.2. Diseño del Diagrama Unifilar en Power Factory DigSILENT. 61
4.2.1. Acometida CNEL EP. 62
4.2.2. Barra de 13.8 kV. 63
4.2.3. Transformador de 250 kVA. 63
4.2.4. Barra de 0.22 kV. 64
4.2.5. Tableros de Distribución y Carga. 64
4.2.6. Cargas. 68
4.3. Tramos de conexión. 69
4.3.1. Primer Tramo. 70
4.4. Escenarios Propuestos. 71
4.4.1. Primer Escenario. 72
4.4.2. Segundo Escenario. 74
4.4.3. Tercer Escenario. 75
4.4.4. Cuarto Escenario. 75
4.4.5. Quinto Escenario. 76
4.4.6. Sexto Escenario. 77
4.4.7. Séptimo Escenario. 77
4.4.8. Octavo Escenario. 78

4.4.9. Noveno Escenario. 79
4.4.10. Décimo Escenario. 79
4.4.11. Décimo Primer Escenario. 80
4.4.12. Décimo Segundo Escenario. 81
4.4.13. Décimo Tercer Escenario. 81
4.4.14. Décimo Cuarto Escenario. 82
4.4.15. Décimo Quinto Escenario. 83

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS. 84
5.1. Criterio N°1. 86
5.2. Criterio N°2. 87
5.3. Criterio N°3. 88
5.4. Resumen de resultados de acuerdo con los criterios. 89
5.4.1. Escenario Ganador N°3 con Respecto a los Criterios N°1 y N°2. 90
5.4.2. Escenario Ganador N°7 con Respecto al Criterio N°3. 91
5.4.3. Comparación de resultados de las variables de los Escenarios Ganadores N°3 y N°7. 93

6. CONCLUSIONES. 96

7. Glosario 97

Glosario 97

Referencias 98

8. ANEXOS. 104
8.1. ANEXO A – Cálculo de Carga. 104
8.1.1. Cálculos en El Piso 1. 104
8.1.2. Cálculos en El Piso 2. 105
8.1.3. Cálculos en El Piso 3. 107
8.1.4. Cálculos en El Piso 4. 109
8.1.5. Cálculos en El Piso 5. 111
8.1.6. Cálculos en La Terraza 114
8.2. ANEXO B – Código Principal. 115
8.2.1. Código: Criterio N°1. 115
8.2.2. Código: Criterio N°2. 117
8.2.3. Código: Criterio N°3. 120

8.3. ANEXO C – Código Gráficas. 122
8.4. ANEXO D – Cargas. 124
8.4.1. PD-N-01. 124
8.4.2. PD-N-02. 124
8.4.3. PD-N-03. 125
8.4.4. PD-N-04. 126
8.4.5. PD-N-05. 126
8.4.6. PD-MONITOREO. 127
8.5. ANEXO E – Tramos de conexión. 128
8.5.1. Segundo Tramo. 128
8.5.2. Tercer Tramo. 129
8.5.3. Cuarto Tramo. 130
8.5.4. Quinto Tramo. 131
8.5.5. Sexto Tramo. 132
8.5.6. Séptimo Tramo. 133
8.5.7. Octavo Tramo. 134
8.5.8. Noveno Tramo. 135

Índice de Figuras

2.1. Redes eléctricas que llegan a una subestación de distribución. Fuente: Los Autores . . . 31
2.2. Uso de lámparas LED para el ahorro energético. Fuente: Los Autores. . . . 38

3.1. Valores de los circuitos del tablero PD-L01 de la Planta Baja. Fuente: Los Autores. . . . 47
3.2. Valores de los circuitos del tablero PD-L02 de la Planta Baja. Fuente: Los Autores. . . . 48
3.3. Valores de los circuitos del tablero PD-L03 de la Planta Baja. Fuente: Los Autores. . . . 48

4.1. Diagrama Unifilar Base en el programa AUTOCAD. Fuente: Los Autores. . . . 61
4.2. Diagrama Unifilar Base en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores. . . . 62
4.3. Primer Escenario evaluado en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores. . . . 73

5.1. Valores de las Pérdidas de Potencia por Escenarios. Fuente: Los Autores. . . . 85
5.2. Valores del Promedio de la Desviación de Voltaje por Escenarios. Fuente: Los Autores. . . . 85
5.3. Valores de los Costos Totales por Escenarios. Fuente: Los Autores. 86
5.4. Valores de las Sumas Ponderadas por Escenarios del Criterio N°1, resultado óptimo ESCENARIO N°3. Fuente: Los Autores. . . . 87
5.5. Valores de las Sumas Ponderadas por Escenarios del Criterio N°2, resultado óptimo ESCENARIO N°3. Fuente: Los Autores. . . . 88

5.6. Valores de las Sumas Ponderadas por Escenarios del Criterio N°3, resultado óptimo ESCENARIO N°7. Fuente: Los Autores. 89
5.7. Valores medidos en DigSILENT de los voltajes reales de cada barra de los Escenarios N°3 y N°7. Fuente: Los Autores. 93
5.8. Valores medidos en DigSILENT de las pérdidas en potencia activa en kW de cada tramo de conexión de los Escenarios N°3 y N°7. Fuente: Los Autores. 94
5.9. Valores de los costos individuales y totales de los tramos de conexión de los Escenarios N°3 y N°7. Fuente: Los Autores. 95

8.1. Valores de los circuitos del tablero PD-N-01 del Piso 1. Fuente: Los Autores. 104
8.2. Valores de los circuitos del tablero PD-N-02 del Piso 2. Fuente: Los Autores. 105
8.3. Valores de los circuitos del tablero TD-02 del Piso 2. Fuente: Los Autores. 106
8.4. Valores de los circuitos del tablero PD-N-03 del Piso 3. Fuente: Los Autores. 107
8.5. Valores de los circuitos del tablero TD-03 del Piso 3. Fuente: Los Autores. 108
8.6. Valores de los circuitos del tablero PD-N-04 del Piso 4. Fuente: Los Autores. 109
8.7. Valores de los circuitos del tablero TD-04 del Piso 4. Fuente: Los Autores. 110
8.8. Valores de los circuitos del tablero PD-N-05 del Piso 5. Fuente: Los Autores. 111
8.9. Valores de los circuitos del tablero PDN-MONITORCAM del Piso 5. Fuente: Los Autores. 112
8.10. Valores de los circuitos del tablero TD-MONITORCAM del Piso 5. Fuente: Los Autores. 113
8.11. Valores de los circuitos del tablero TD-TERRAZA-05 de la Terraza. Fuente: Los Autores. 114
8.12. Datos de la carga PD-N-01 en el Diagrama Unifilar Base en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores. 124
8.13. Datos de la carga PD-N-02 en el Diagrama Unifilar Base en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores. 125
8.14. Datos de la carga PD-N-03 en el Diagrama Unifilar Base en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores. 125

8.15. Datos de la carga PD-N-04 en el Diagrama Unifilar Base en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores. 126
8.16. Datos de la carga PD-N-05 en el Diagrama Unifilar Base en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores. 127
8.17. Datos de la carga PD-MONITOREO en el Diagrama Unifilar Base en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores. . . 127
8.18. Longitud del segundo tramo en el Diagrama Unifilar Base en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores. 128
8.19. Longitud del tercer tramo en el Diagrama Unifilar Base en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores. 129
8.20. Longitud del cuarto tramo en el Diagrama Unifilar Base en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores. 130
8.21. Longitud del quinto tramo en el Diagrama Unifilar Base en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores. 131
8.22. Longitud del sexto tramo en el Diagrama Unifilar Base en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores. 132
8.23. Longitud del séptimo tramo en el Diagrama Unifilar Base en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores. 133
8.24. Longitud del octavo tramo en el Diagrama Unifilar Base en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores. 134
8.25. Longitud del noveno tramo en el Diagrama Unifilar Base en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores. 135

Índice de Tablas

2.1. Ventajas y desventajas de otros estudios similares. Fuente: Los Autores 29
2.2. Tipos de montajes eléctricos. Fuente: [1]. 32
2.3. Características Principales del Cableado Convencional. Fuente: [2]. 32
2.4. Proceso de instalación eléctrica de un edificio. Fuente: [3]. 34
2.5. Proceso de instalación eléctrica de una vivienda. Fuente: [3]. 34
2.6. Ventajas y Desventajas de las Blindo-Barras. Fuente: Los Autores. 36
2.7. Temarios relevantes en la programación avanzada de MATLAB®. 37
2.8. Principios energéticos tomados en cuenta en complejos multifuncionales. 39
2.9. Ejemplos de medidas y estrategias para mejorar la eficiencia energética. 40
2.10. Tipos de costos. 41

3.1. Resumen del estudio de carga del tablero PD-L01 de la Planta Baja. Fuente: Los Autores. 47
3.2. Resumen del estudio de carga del tablero PD-L02 de la Planta Baja. Fuente: Los Autores. 48
3.3. Resumen del estudio de carga del tablero PD-L03 de la Planta Baja. Fuente: Los Autores. 49
3.4. Resumen de los resultados del estudio de carga en cada área del Proyecto “EDIFICIO AA”. Fuente: Los Autores. 50

4.1. Parámetros y datos de la “External Grid” en el Diagrama Unifilar Base en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores. 63
4.2. Datos Básicos de la Barra de 13.8 kV en el Diagrama Unifilar Base en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores. . . 63

4.3. Datos Básicos del Transformador de 250 kVA con nivel de voltaje de 13.8/0.22 kV en el Diagrama Unifilar Base en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores. 64
4.4. Datos Básicos de la Barra de 0.22 kV en el Diagrama Unifilar Base en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores. . . 64
4.5. Nombre de los tableros de distribución y carga. Fuente: Los Autores. 65
4.6. Datos Básicos del TD-PB a nivel de 0.22 kV en el Diagrama Unifilar Base en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores. 65
4.7. Datos Básicos del TD-01 a nivel de 0.22 kV en el Diagrama Unifilar Base en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores. 65
4.8. Datos Básicos del TD-02 a nivel de 0.22 kV en el Diagrama Unifilar Base en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores. 66
4.9. Datos Básicos del TD-03 a nivel de 0.22 kV en el Diagrama Unifilar Base en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores. 66
4.10. Datos Básicos del TD-04 a nivel de 0.22 kV en el Diagrama Unifilar Base en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores. 66
4.11. Datos Básicos del TD-05 a nivel de 0.22 kV en el Diagrama Unifilar Base en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores. 67
4.12. Datos Básicos del TD- MONITOREO a nivel de 0.22 kV en el Diagrama Unifilar Base en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores. 67
4.13. Datos Básicos del Nodo 1 a nivel de 0.22 kV en el Diagrama Unifilar Base en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores. 67
4.14. Datos Básicos del Nodo 2 a nivel de 0.22 kV en el Diagrama Unifilar Base en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores. 68
4.15. Nombre de las cargas distribuidas en cada piso. Fuente: Los Autores. 68
4.16. Datos de la Carga-PB en el Diagrama Unifilar Base en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores. 69
4.17. Cargas definidas por cada piso. Fuente: Los Autores. 69
4.18. Valores definidos del metraje de cada tramo que conforma el Diseño del Diagrama Unifilar. Fuente: Los Autores. 70
4.19. Parámetros del primer tramo en el Diagrama Unifilar Base en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores. 70
4.20. Descripción de los escenarios a simular. Fuente: Los Autores. . . . 71
4.21. Variables del Primer Escenario evaluado en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores. 74

4.22. Variables del Segundo Escenario evaluado en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores. 74
4.23. Variables del Tercer Escenario evaluado en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores. 75
4.24. Variables del Cuarto Escenario evaluado en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores. 76
4.25. Variables del Quinto Escenario evaluado en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores. 76
4.26. Variables del Sexto Escenario evaluado en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores. 77
4.27. Variables del Séptimo Escenario evaluado en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores. 78
4.28. Variables del Octavo Escenario evaluado en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores. 78
4.29. Variables del Noveno Escenario evaluado en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores. 79
4.30. Variables del Décimo Escenario evaluado en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores. 80
4.31. Variables del Décimo Primer Escenario evaluado en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores. 80
4.32. Variables del Décimo Segundo Escenario evaluado en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores. 81
4.33. Variables del Décimo Tercer Escenario evaluado en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores. 82
4.34. Variables del Décimo Cuarto Escenario evaluado en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores. 82
4.35. Variables del Décimo Quinto Escenario evaluado en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores. 83

5.1. Resumen de resultados de acuerdo con los criterios. Fuente: Los Autores. 89
5.2. Valores de corriente y pérdidas de potencia activa de cada tramo de conexión del escenario ganador N°3. Fuente: Los Autores. . . . 90
5.3. Valores en por unidad y reales del voltaje en cada barra y el costo total del escenario ganador N°3. Fuente: Los Autores. 91
5.4. Valores de corriente y pérdidas de potencia activa de cada tramo de conexión del escenario ganador N°7. Fuente: Los Autores. . . . 92

5.5. Valores en por unidad y reales del voltaje en cada barra y el costo total del escenario ganador N°7. Fuente: Los Autores. 92

8.1. Resumen del estudio de carga del tablero PD-N-01 del Piso 1. Fuente: Los Autores. 105
8.2. Resumen del estudio de carga del tablero PD-N-02 del Piso 2. Fuente: Los Autores. 106
8.3. Resumen del estudio de carga del tablero TD-02 del Piso 2. Fuente: Los Autores. 107
8.4. Resumen del estudio de carga del tablero PD-N-03 del Piso 3. Fuente: Los Autores. 108
8.5. Resumen del estudio de carga del tablero TD-03 del Piso 3. Fuente: Los Autores. 109
8.6. Resumen del estudio de carga del tablero PD-N-04 del Piso 4. Fuente: Los Autores. 110
8.7. Resumen del estudio de carga del tablero TD-04 del Piso 4. Fuente: Los Autores. 111
8.8. Resumen del estudio de carga del tablero PD-N-05 del Piso 5. Fuente: Los Autores. 112
8.9. Resumen del estudio de carga del tablero PDN-MONITORCAM del Piso 5. Fuente: Los Autores. 113
8.10. Resumen del estudio de carga del tablero TD-MONITORCAM del Piso 5. Fuente: Los Autores. 114
8.11. Resumen del estudio de carga del tablero TD-TERRAZA-05 de la Terraza. Fuente: Los Autores. 115

Resumen

El siguiente proyecto de desarrollo está enfocado en el diseño óptimo de instalaciones eléctricas, en las que se consideró cableado convencional y blindo-barras mediante la decisión multicriterio con respecto a la eficiencia, costo y calidad. Para ello se realizó la simulación de quince escenarios, donde se ejecutó un diagrama base el cual determina las longitudes y parámetros técnicos-eléctricos. Sumado a esto, cabe indicar que para el diagrama que se mencionó anteriormente se definen nueve tramos de conexiones, los cuales varían de acorde a cada uno de los escenarios en mención. Sin embargo, los diagramas de cada uno de estos escenarios fueron modelados y esquematizados mediante el software de DIgSILENT®. Donde se logró determinar el comportamiento de tres diferentes variables para los quince escenarios, las mismas que fueron, pérdidas en kilovatios, desviación de voltaje y costos. Una vez que se determinaron los valores de estas tres variables para los quince escenarios se aplicó el análisis multicriterio por medio del CRITIC usando el software de MATLAB®, donde se aplicó los tres diferentes criterios; En el primero se le asignó un mayor peso a la variable de la desviación de voltaje, en el segundo criterio se consideró un mayor peso a la variable de pérdidas en kilovatios y en el tercer criterio se estableció mayor peso a la variable de costo. Con estos tres criterios se obtuvo los siguientes resultados; criterio 1: escenario 3 óptimo, criterio 2: escenario 3 óptimo y criterio 3: escenario 7 óptimo. Una vez que se obtuvo estos resultados, mediante el método CRITIC se logra determinar que el óptimo escenario ganador sería el número 3, quiere decir, la implementación de blindo-barras a los cinco primeros tramos y a los cuatro últimos tramos la implementación de cableado convencional.

Palabras clave:
Óptimo, cableado convencional, blindo-barras, Power System Solutions (DIgSILENT®), kilovatios, desviación de voltaje, Método CRITIC (CRITIC) y Laboratorio de Matrices (MATLAB®).

Abstract

The following development project is focused on the optimal design of electrical installations, in which conventional cabling and busbars were considered through multi-criteria decision-making regarding efficiency, cost and quality. For this purpose, a simulation of fifteen scenarios was carried out, where a base diagram was executed which determines the lengths and technical-electrical parameters. In addition to this, it should be noted that for the diagram mentioned above, nine connection sections are defined, which vary according to each of the scenarios mentioned. However, the diagrams for each of these scenarios were modeled and schematized using DIGSILENT® software. Where it was possible to determine the behavior of three different variables for the fifteen scenarios, which were losses in kilowatts, voltage deviation and costs. Once the values of these three variables were determined for the fifteen scenarios, the multi-criteria analysis was applied through the CRITIC method using MATLAB software, where the three different criteria were applied; In the first criterion, a greater weight was assigned to the voltage deviation variable, in the second criterion a greater weight was considered to the kilowatt losses variable and in the third criterion a greater weight was established to the cost variable. With these three criteria the following results were obtained; criterion 1: optimal scenario 3, criterion 2: optimal scenario 3 and criterion 3: optimal scenario 7. Once these results were obtained, through the CRITIC method it was possible to determine that the optimal winning scenario would be number 3, that is, the implementation of bus bars in the first five sections and the implementation of conventional cabling in the last four sections.

Keywords:
Optimal, conventional wiring, busbars, DIgSILENT®, kilowatts, voltage deviation, CRITIC and MATLAB®.

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN.

El desarrollo del proyecto de maestría se enfoca en el “DISEÑO ÓPTIMO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS CONSIDERANDO CABLEADO CONVENCIONAL Y BLINDO-BARRAS MEDIANTE DECISIÓN MULTICRITERIO CON OBJETIVOS DE CALIDAD, EFICIENCIA Y COSTOS”, para ello se basa de una planificación y ejecución del diseño de un sistema de distribución de energía eléctrica, con el fin de establecer un diseño viable, dado que es esencial para garantizar un abastecimiento seguro, eficiente y económicamente factible de energía. Este proyecto requiere una cuidadosa consideración de diferentes opciones, incluyendo el uso de las blindo-barras, así como también las del cable convencional, sin embargo, la elección entre estas opciones no es fortuita, ya que implica nivelar múltiples criterios, como la calidad del abastecimiento, la eficiencia energética y los costos asociados. En este proyecto, la implementación de decisión multicriterio emerge como una herramienta invaluable, logrando una evaluación exhaustiva de las diversas opciones disponibles, que está pensado en identificar y ponderar adecuadamente los objetivos claves, tales como; calidad de la energía, eficiencia operativa y costos de instalación, así como también de mantenimientos, al completar estos objetivos en un marco analítico coherente, se suministra la selección de la solución más óptima para cada escenario disponible, certificando así un diseño eléctrico óptimo que efectúe con los requisitos económicos, técnicos y de calidad. En este proyecto se puntualiza el análisis multicriterio, dado que puede orientar en la toma de decisiones para el diseño de instalaciones eléctricas, considerando el uso de blindo-barras, así como también el cableado convencional, con el objetivo de conseguir resultados superiores en términos de eficiencia, costos y calidad.

1.1. Antecedentes.

Hoy en día se está experimentando un notable auge en el ámbito urbano, lo que ha dado lugar a una multiplicación de proyectos tanto residenciales como corporativos. Esta expansión, a su vez, está angostamente vinculada con el crecimiento en la demanda de energía eléctrica, por ende, surge la imperiosa necesidad de implementar un sistema eléctrico que cumpla con las duras normativas tanto en términos constructivos como de calidad. Este sistema debe concordar meticulosamente a los lineamientos establecidos por las autoridades competentes en el ámbito eléctrico del país, avalando así su eficiencia y seguridad. Es fundamental que dicho sistema sea capaz de satisfacer de manera óptima las demandas eléctricas de los diversos sectores a los que está destinado, proporcionando un suministro fiable y continuo de energía, tal como lo efectuó el autor Lamadrid Mesones [4] en la preparación de sus tesis de grado.

La distribución de energía eléctrica en los edificios compone un aspecto crucial que requiere una atención meticulosa durante el diseño de la instalación, este proceso implica el uso de conductores de cobre con diversas secciones, las cuales aumentan proporcionalmente a medida que crece la demanda energética, y este incremento en la demanda conlleva un aumento tanto en la mano de obra como en la cantidad de materiales necesarios para llevar a cabo estas instalaciones. Uno de los desafíos inherentes a este tipo de distribución eléctrica mediante conductores radica en la caída de tensión que ocurre en los tramos largos hasta alcanzar el punto de consumo deseado, este fenómeno puede generar pérdidas de energía y afectar la eficiencia del sistema en su conjunto, así lo afirma el autor Capcha Quispe [5].

Debido a los desafíos planteados por la distribución convencional de energía eléctrica, surge la elección innovadora de la implementación de blindobarras. Este sistema, que integra de manera compacta tanto los conductores como las canalizaciones, representa una solución segura y eficaz. El uso de blindo-barras ofrece numerosas ventajas, entre las que se incluyen la reducción de costos asociados con el mantenimiento y la depreciación del material. Al fortalecer los componentes necesarios para la distribución de energía en un único sistema, se merma la necesidad de ejecutar intervenciones frecuentes y se prolonga la vida útil de los materiales empleados. Además, la unificación compacta de conductores y canalizaciones contribuye a disminuir el espacio disponible, lo que resulta especialmente provechoso en entornos donde el espacio es limitado, dado que el uso de blindo-barras personifica una solución enérgica y económica para mejorar la distribución de energía eléctrica en dife-

rentes aplicaciones, así lo señala el investigador Patal Batzibal [6] en su trabajo de titulación.

El sistema de distribución mediante blindo-barras se compone de tramos de barras enchufables, fabricadas con cobre o aluminio, diseñadas con precisión para interconectarse entre sí mediante tramos rectos, ángulos y accesorios, su función principal es transportar eficientemente la energía eléctrica desde el transformador hasta los diferentes centros de carga ubicados dentro del proyecto. Estas barras enchufables ofrecen una solución versátil y modular que facilita la instalación y la adaptación a las necesidades específicas de cada proyecto. Al eliminar la necesidad de realizar conexiones complejas y laboriosas, este sistema acelera el proceso de montaje y minimiza el riesgo de errores durante la instalación, además, la implementación de materiales de alta calidad como el cobre o el aluminio garantiza una conductividad eficaz y una larga vida útil del sistema, dado que el sistema de distribución mediante blindo-barras representa una opción eficiente y factible para garantizar el suministro eléctrico en todo tipo de edificaciones conforme a lo realizado en la investigación de Ramón Gómez [7].

El dimensionamiento adecuado de una instalación eléctrica es esencial y debe realizarse conforme a las normativas y protocolos establecidos en la región correspondiente, en el cual se aborda diversos aspectos, como la eficiencia energética, la seguridad, la facilidad de instalación y mantenimiento, así como los costos asociados a la implementación del sistema de blindo-barras en comparación con los métodos tradicionales de distribución eléctrica, se examinan los posibles impactos ambientales y económicos de esta evolución, así como las posibles ventajas competitivas que podría ofrecer a los proyectos urbanísticos y corporativos en desarrollo, tal como lo ejecutó Ramírez Rincón [8] en su proyecto de grado.

El análisis se llevará a cabo mediante una valoración multicriterio que considerará tanto la eficiencia técnica como la económica asociada a la implementación del sistema de blindo-barras. El objetivo es conseguir un diseño óptimo del sistema que admita mejorar la entrega de energía eléctrica a los diversos tipos de consumidores finales. En este proceso de evaluación se tomarán en cuenta múltiples factores, como la capacidad de carga, la resistencia a fallas, el mantenimiento, la vida útil del sistema, los costos de instalación y operación, tomando de referencia lo indicado por el autor Torres Reymundez [9] en su proyecto de desarrollo.

A través de un enfoque integral, se buscará nivelar las ventajas y desventajas de la adopción del sistema de blindo-barras en comparación con otras

alternativas de distribución eléctrica. Esto aprobará tomar decisiones informadas y maximizar los beneficios tanto en términos técnicos como económicos para los proyectos de desarrollo urbano y corporativo, y para ello se toma de referencia lo realizado por Rico Pérez [10] en su trabajo de titulación.

El propósito de este estudio es investigar la viabilidad de acoger un sistema de blindo-barras como alternativa más compacta y segura para la distribución de energía eléctrica, ya sea de forma integral o parcial.

1.2. Descripción general del problema.

Una problemática clave en el diseño óptimo de instalaciones eléctricas es la selección apropiada entre el cableado convencional y el sistema de blindo-barras. Esta decisión se retorna compleja debido a la necesidad de igualar múltiples objetivos, como la calidad del suministro eléctrico, la eficiencia energética y los costos asociados. La diversidad de factores a considerar, como la capacidad de carga, la resistencia a fallos, la facilidad de mantenimiento y los requisitos específicos del proyecto, dificulta la elección de la solución más adecuada. La aplicación de técnicas de decisión multicriterio se convierte, entonces, en una herramienta precisa para evaluar de manera integral las distintas opciones disponibles y alcanzar un diseño que optimice la complacencia de los requisitos técnicos, la eficiencia operativa y la rentabilidad económica.

1.3. Objetivos.

1.3.1. Objetivo general.

Diseñar de manera óptima instalaciones eléctricas en sistemas de distribución considerando cableado convencional y blindo-barras mediante decisión multicriterio para mejorar conjuntamente la calidad y la eficiencia al menor costo posible.

1.3.2. Objetivos específicos.

1. Diseñar las instalaciones eléctricas para un escenario del tipo Residencial y un Parque Industrial en medio y bajo voltaje considerando cableado convencional y blindo-barras.

2. Realizar un análisis multicriterio que considere distintos escenarios de diseño eléctrico con empleo único y parcial del cableado convencional y las blindo-barras.

3. Realizar un estudio técnico y económico mediante cuadros comparativos para establecer la viabilidad del diseño empleando cableado convencional y el diseño con las blindo-barras.

1.4. Justificación.

Un diseño efectivo del sistema eléctrico no solo debe garantizar la eficiencia y la seguridad de la edificación, sino también la seguridad y el bienestar de sus ocupantes. Es crucial que estos sistemas se integren de manera armoniosa con la parte arquitectónica de la estructura, lo que conlleva una amplia gama de soluciones para satisfacer las necesidades eléctricas específicas, al tiempo que se cumplen con los estándares establecidos por las normativas eléctricas vigentes en Ecuador. Actualmente, el método más común de distribución eléctrica en niveles de media y baja tensión implica el uso de conductores eléctricos. Esta opción suele ser viable en edificaciones de menor escala, donde no se espera un aumento significativo en las cargas eléctricas que requieran secciones de conductores más grandes. Esto evita incurrir en costos elevados durante la fase de construcción. Es esencial encontrar un equilibrio entre la funcionalidad, la seguridad y la economía al seleccionar el sistema de distribución eléctrica más adecuado para cada proyecto.

En el contexto de edificaciones corporativas, es común observar un aumento en las secciones de los conductores eléctricos. Este incremento puede atribuirse a la creciente demanda de energía necesaria para abastecer todas las áreas de la edificación, así como a la necesidad de evitar la pérdida de tensión a lo largo de los extensos recorridos hacia los puntos de consumo finales. Por esta razón, el uso de blindo-barras emerge como una opción preferida, proporcionando un sistema compacto que ofrece una mayor seguridad ante posibles fallos, gracias a su resistencia al fuego. Su diseño modular facilita la sustitución de tramos individuales en caso de daño, sin afectar el funcionamiento global del sistema. En contraste, los conductores eléctricos convencionales, al sufrir una falla como un cortocircuito, requieren ser reemplazados en su totalidad, lo que resulta en mayores costos y tiempos de inactividad. Dada su eficacia y su relativo costo competitivo en comparación con el cableado convencional, el

uso de blindo-barras se ha vuelto una elección común en este tipo de edificaciones corporativas.

La importancia de considerar múltiples criterios reside en la búsqueda de un diseño óptimo del sistema eléctrico, el cual debe poseer en cuenta aspectos técnicos, económicos y de eficiencia. Estos criterios son esenciales para tomar decisiones informadas sobre el tipo de sistema a monopolizar, ya sea mediante cableado convencional o blindo-barras, en función de las características específicas de la edificación y del tipo de demanda energética solicitada. La evaluación de estos criterios permite identificar la solución más adecuada que avale un suministro eléctrico seguro, eficiente y rentable, al mismo tiempo que se adapta a las necesidades particulares del proyecto. En última instancia, la consideración de múltiples criterios asegura que el diseño del sistema eléctrico satisfaga de manera exhaustiva los requisitos y objetivos establecidos, contribuyendo así al éxito y la efectividad del proyecto en su conjunto.

1.5. Organización del manuscrito.

El proyecto de desarrollo titulado "DISEÑO ÓPTIMO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS CONSIDERANDO CABLEADO CONVENCIONAL Y BLINDO-BARRAS MEDIANTE DECISIÓN MULTICRITERIO CON OBJETIVOS DE CALIDAD, EFICIENCIA Y COSTOS" ha sido estructurado para abordar una serie de fases esenciales, cada una diseñada para contribuir una comprensión profunda y una resolución efectiva a los desafíos planteados. Estas fases son las siguientes:

INTRODUCCIÓN. – En fase inicial, se ofrece una exposición detallada que abarca desde los antecedentes hasta una descripción del problema en cuestión, además, se delinean tanto el objetivo general como los objetivos específicos proporcionando así una idea clara del proyecto de desarrollo. Finalmente, se justifica la relevancia y la necesidad del proyecto de desarrollo en este contexto.

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL. – En esta fase se abarca un análisis íntegro del trabajo previo realizado por diferentes autores en áreas relacionadas con el tema central del proyecto de desarrollo, para ello se recopila y sintetiza la investigación relevante, proporcionando así un contexto rico y diverso para el estudio en curso.

FUNDAMENTOS TEÓRICOS. – En esta fase se profundiza en la comprensión de los conceptos teóricos esenciales que sustentan el enfoque y la metodología adoptados en el proyecto de desarrollo, conjuntamente se clarifica el significado y la aplicación de los principios esenciales que guían el desarrollo y

la implementación de las soluciones propuestas.

METODOLOGÍA PROPUESTA. – En esta fase se puntualiza la metodología específica adoptada para abordar los objetivos del proyecto de desarrollo, destacando especialmente el uso de la potente herramienta del software MATLAB®. Se describe cómo esta metodología ha sido aplicada de manera efectiva en la resolución de los desafíos planteados, proporcionando una estructura coherente y rigurosa para el proyecto de desarrollo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN. – En esta fase se muestran y analizan los resultados obtenidos a través de una variedad de enfoques, incluyendo representaciones gráficas, métricas cuantitativas y tablas comparativas, al mismo tiempo se fomenta un diálogo crítico en torno a estos resultados, permitiendo así una evaluación profunda de su significado y relevancia en el contexto del proyecto.

CONCLUSIONES. – En esta fase final, se sintetizan las conclusiones clave derivadas del proyecto de desarrollo, destacando los hallazgos más significativos y las implicaciones prácticas de los mismos, además se ofrece una reflexión integral sobre su ejecución y sus resultados.

Finalmente, se incluyen las referencias bibliográficas pertinentes y los anexos utilizados a lo largo del proceso del proyecto de desarrollo, proporcionando una base sólida para futuras investigaciones en este campo.

Capítulo 2

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.

El diseño de instalaciones eléctricas es un aspecto crítico en el desarrollo y funcionamiento eficiente de diversos sistemas y estructuras, desde residenciales hasta industriales, con la creciente demanda de energética que se ha vivido en el transcurso de los últimos años del 2023 y 2024 en Ecuador, existe la necesidad de mejorar recursos, surge la imperiosa tarea de encontrar metodologías que permitan abordar este proceso de manera integral, considerando aspectos de calidad, eficiencia y costos.

Para este proyecto de desarrollo se centra en la búsqueda de un diseño óptimo de instalaciones eléctricas, tomando en cuenta dos enfoques principales: el cableado convencional y las blindo-barras, dos opciones que representan tecnologías ampliamente empleadas en el sector eléctrico, cada una con sus ventajas y desafíos particulares.

El enfoque de decisión multicriterio emerge como un componente esencial en este proceso, dado que facilita la evaluación y comparación de diferentes alternativas, considerando simultáneamente múltiples objetivos. Entre estos objetivos se recalcan la calidad del suministro eléctrico, la eficiencia energética y los costos asociados tanto a la implementación como al mantenimiento de las instalaciones. Este enfoque integral permite ponderar adecuadamente cada criterio y tomar decisiones informadas que maximicen el rendimiento y la rentabilidad de las instalaciones eléctricas diseñadas.

En este marco teórico referencial, se explora los aspectos fundamentales del diseño de instalaciones eléctricas, recalcando una revisión exhaustiva de la literatura actual o estado del arte. Este análisis incluirá proyectos realizados por otros investigadores que han abordado el diseño convencional y la implementación de blindo-barras en sus sistemas eléctricos. Además, se examinarán

detalladamente las metodologías de decisión multicriterio empleadas por estos autores, con el objetivo de identificar prácticas óptimas que satisfagan los requisitos de calidad, eficiencia y costos en el diseño de instalaciones eléctricas.

2.1. Estado del Arte.

En el año 2015 el autor Solano Vacas [11] presentó una propuesta técnica para la implementación de electro-barras en edificios residenciales y corporativos, estableciendo un reglamento técnico para su diseño y construcción basado en normativas internacionales, en la cual examina la situación actual de los sistemas de alimentación y distribución de energía en edificios grandes, señalando la obsolescencia de los cables convencionales para manejar corrientes considerables, además tomo en cuenta las características técnicas y ventajas de las electro-barras como sistema de alimentación, respaldadas por una normativa específica para su uso, posterior a eso presentó un caso de estudio en el diseño eléctrico del edificio “He Park”, donde se comparan dos alternativas de sistemas de alimentación: cables de cobre convencionales y electro-barras, y argumenta que está a favor del uso de electro-barras dado que se acopla al crecimiento de la demanda de energía.

En ese mismo año del 2015 el autor Murillo Vargas [12] ha realizado su trabajo de titulación en el cual abordo la importancia del suministro de energía eléctrica en el contexto moderno, destacando su relevancia en los sectores industrial, comercial y residencial, y primordialmente en instalaciones de asistencia médica, donde la interrupción del servicio eléctrico puede tener consecuencias graves, tanto económicas como humanas, el trabajo de grado de Murillo se enfoca en la propuesta de regeneración de la subestación eléctrica del Hospital Universitario San Jorge de Pereira, que implica un aumento de capacidad de 630 kVA a 1000 kVA, siguiendo las directrices del RETIE, la NTC 2050 y las normativas de la EEP.

Sigüenza y sus investigadores [13], realizaron un estudio exhaustivo que examina detalladamente los métodos de decisión multicriterio aplicados en la planificación energética rural, esta herramienta fue un pilar fundamental en el proceso de toma de decisiones al reducir elocuentemente la subjetividad inherente del proceso analizado en su estudio, dado que al establecer filtros de selección y ofrecer la posibilidad de optar entre diversas alternativas, incluso aquellas de naturaleza compleja y conflictiva, permitieron una evaluación más

objetiva y sistemática de las opciones disponibles, y resulta esencial que la selección de la metodología multicriterio sea cuidadosamente adaptada a todas las restricciones y particularidades que presenta la modelización del problema en cuestión.

A inicios del 2019 el investigador Barrena Marabotto [14] realizó su trabajo de investigación en la ciudad de Sevilla, España, en el cual presentó el uso de blindo-barras como alternativa en la distribución de energía eléctrica en instalaciones de baja tensión, aquel estudio analizó la viabilidad técnica y económica de la implementación de blindo-barras en comparación con las líneas independientes convencionales, además puntualizó el diseño, dimensionamiento y cálculo de la instalación eléctrica mediante una hoja de cálculo en Microsoft Excel, luego del análisis técnico y económico, se llevó a cabo una discusión para valorar la pertinencia de adoptar el nuevo sistema de blindo-barras en lugar de las líneas existentes.

A finales de ese mismo año 2019 el autor Muñoz García [15] ha investigado el proceso de representación gráfica de instalaciones eléctricas una vez diseñadas y calculadas, siendo esta una parte esencial de su proyecto, específicamente, se enfoca en los esquemas o diagramas unifilares, los cuales tienen como objetivo clarificar y reducir la instalación, así como especificar sus características, porque se sabe que estas tareas se realizaban manualmente antes de la disponibilidad de la potencia computacional necesaria para el diseño y los cálculos mediante ordenadores, los cuales fueron sistematizados por ingenieros proyectistas, con ello se tiene la representación gráfica que solía ser llevada a cabo mediante programas de diseño asistido por ordenador.

A principios de 2020 en Bogotá D.C., los investigadores Plata y Rojas [16] llevaron a cabo su trabajo de grado, centrándose en el desarrollo de un sistema de gestión destinado a la presentación de proyectos, comprendiendo sistemas de media tensión para la empresa PYH. En su investigación, recalcaron la importancia crucial de una presentación eficiente de proyectos de instalaciones eléctricas en este rango de tensión. Subrayaron que esta eficacia es fundamental para agilizar el proceso de aprobación por parte de los operadores de red. Además, resaltaron la necesidad de formación del ingeniero electricista, subrayando la importancia de considerar los criterios de evaluación de los operadores de red a nivel nacional.

En el 2021 el autor Martínez Carillo [17] investigó la viabilidad de emplear un sistema de electro-barras como método de distribución de energía en infraestructuras de la ciudad de Cartagena, dicho estudio surgió de la necesidad identificada en el desarrollo de varios proyectos, incluyendo la construcción de

un hotel de lujo y la restauración del Club Cartagena y el Claustro San Francisco, ambos declarados bienes de interés cultural nacional, el objetivo principal era comprender los factores técnico-económicos para implementar alternativas que satisficieran las demandas de distribución de energía en estas infraestructuras, además, el estudio buscó optimizar un sistema fotovoltaico (PV) para obtener el máximo rendimiento y evaluar la viabilidad económica de su implementación en los proyectos mencionados.

A inicios del 2022 el autor Ponce [18] llevó a cabo un anheloso proyecto de grado que abordaba uno de los desafíos más cruciales en el diseño de instalaciones eléctricas: la selección óptima de conductores eléctricos en sistemas de medio y bajo voltaje. Reconociendo la complejidad inherente a esta tarea y la importancia de considerar múltiples criterios para una toma de decisiones informada, Ponce prefirió aplicar un enfoque de análisis multicriterio, dicho enfoque le permitió evaluar una variedad de aspectos críticos, incluyendo la calidad, el costo y la eficiencia de la potencia eléctrica, la metodología implementada por Ponce se fundamentó en el método CRITIC (Criterio Interactivo para Estructuración de Problemas de Toma de Decisiones).

El método CRITIC es soberanamente reconocido por su capacidad para abordar la complejidad inherente a los problemas de decisión, ofreciendo un marco estructurado y riguroso para evaluar múltiples criterios de manera interactiva. Para llevar a cabo este análisis meticuloso, Ponce desarrolló un algoritmo personalizado utilizando el software avanzado MATLAB®, el cual ofreció las herramientas necesarias para modelar y simular escenarios complejos, e inclusive este software facilitó la realización de cálculos precisos y exhaustivos, permitiendo una evaluación detallada de cada elección considerada, la combinación de la metodología CRITIC y el uso de MATLAB® son una base sólida y confiable para abordar los desafíos planteados en su proyecto de grado.

En el 2023 la investigadora Venegas Poveda [19] ha llevado a cabo un proyecto de integración que implica a las disciplinas de ingeniería civil, eléctrica, mecánica y electrónica para la ampliación del Data Center DC4 Colombia XV de CenturyLink, un proyecto que tenía como objetivo satisfacer las necesidades del cliente, conforme se detallaba en el contrato vigente, a lo largo de la implementación del proyecto, se elaboró un cronograma general de obra que incluía todos los sistemas, subsistemas y actividades de cada disciplina, en la cual se llevaron a cabo diseños, verificaciones de rutas y cruces, cotizaciones, órdenes de compra, visitas en sitio, solicitud de materiales, ejecución, verificación de la calidad del trabajo y entrega final al cliente.

A mediados del 2023 el autor Torres Johnny [20] formuló un diseño inno-

vador para la instalación y distribución de electricidad en el Edificio Torre de Panamá en Lima, Perú, utilizando ductos de barras, dado que el objetivo era mermar el espacio de los cuartos de instalaciones eléctricas en cada piso, para obtener beneficios técnicos y económicos en una zona crecidamente valorizada como el distrito de San Isidro en Perú, dicho proyecto surgió de la necesidad de comercializar la energía eléctrica de manera eficiente en la Torre de Panamá, evitando la ocupación excesiva de espacio de los cuartos técnicos, habitualmente destinados a sectores de alimentadores eléctricos que requieren cables eléctricos y ocupan más espacio.

En ese mismo año del 2023 el investigador Farinango Guaña [21] realizó un proyecto cuyo objetivo fue ejecutar un análisis comparativo de los parámetros eléctricos, tanto a nivel técnico como económico, para un diseño eléctrico residencial utilizando conductores como líneas principales de alimentación en contraposición a un sistema de distribución con blindo-barras, con el propósito de establecer un sistema más seguro y eficiente para su implementación. A través de este enfoque, se realizaron estudios de carga correspondientes para dimensionar la capacidad de los conductores en ambos sistemas, obteniendo resultados que demostraron que el cable eléctrico presentaba problemas de caída de voltaje y pérdidas de potencia resistivas debido a su topología de diseño, por ende, se determinó que las blindo-barras ofrecían un sistema eléctrico superior.

2.1.1. Comparación entre otros estudios realizados empleando decisión multicriterio.

Durante el 2017 el autor Vinueza Carrillo [22], culminó un artículo el cual establece una modelación matemática de optimización para mejorar el índice de frecuencia de interrupciones promedio del sistema SAIFI, un indicador de confiabilidad aplicado a los sistemas de distribución, con el objetivo principal de maximizar la continuidad del servicio eléctrico en circuitos de distribución con una topología netamente radial, y lo logró mediante un análisis multicriterial óptimo para la ubicación de reconectadores. Para realizar el artículo fue necesario un estudio, el cual se focalizó en la implementación de un modelo de optimización, el cual es resuelto utilizando el software Algebraic Modeling System (GAMS), aplicando la programación no lineal entera mixta, aquel modelo establece la ubicación óptima de elementos de protección en un circuito de distribución de doce barras, que se tomó como caso de estudio. La metodo-

logía empleada describe la factibilidad de ubicar dispositivos de protección de forma óptima desde los puntos de vista técnico, económico y de operabilidad, aquellos factores son considerados en la planificación y el diseño de los alimentadores primarios, con el objetivo de minimizar las interrupciones de servicio y la energía no suministrada.

En septiembre del 2018 el investigador Cóndor Piarpuezán [23], propuso un innovador algoritmo de optimización diseñado para mejorar la eficiencia energética y reducir los costos en sistemas de alumbrado público, aquel algoritmo, fue desarrollado en el entorno de MATLAB®, empleando programación lineal entera mixta para evaluar diversas variables, tales como la tecnología de iluminación más adecuada, el costo de energía, las características de la calzada, la altura de los postes y la distancia entre ellos, considerando el ciclo de vida del proyecto. Los resultados obtenidos por este algoritmo proporcionan un escenario óptimo para la disposición y el tipo de luminarias que se deben utilizar en el alumbrado público El propósito de Cóndor fue brindar noción a las empresas eléctricas para que adopten este algoritmo de optimización en sus sistemas, facilitando así la toma de decisiones en relación con la minimización de costos y la mejora de la eficiencia energética de las tecnologías de iluminación utilizadas en el alumbrado público.

Aproximadamente a mediados del 2021 el autor Villacis Guillen [24], presentó una solución innovadora para reducir los altos costos operativos del sistema de riego bananero de la empresa Reybanpac, para esto aplico el proceso analítico jerárquico del análisis multicriterio, y considerando las necesidades de recursos hídricos en la zona de estudio, propuso implementar un sistema de bombeo que podría ser alimentado por energía solar fotovoltaica, la red eléctrica pública o un sistema de combustión de bajo consumo, este proceso de selección priorizó tecnologías que sean ambientalmente sostenibles y que reduzca el uso de combustibles fósiles, aquel análisis se realizó evaluando criterios de eficiencia, impacto ambiental, costos económicos y factores sociales, para la validación de la solución seleccionada se llevó a cabo aplicando el indicador económico de costo-beneficio, con el fin de asegurar la correcta operación y dimensionamiento del sistema seleccionado, se utilizó la herramienta computacional PVsyst. Esta herramienta no solo proporcionó una evaluación precisa de la energía disponible en la zona de estudio, sino que también verificó la precisión de los parámetros eléctricos.

En febrero del 2022 el investigador Jima Cóndor [25] realizó un estudio centrado en un algoritmo de optimización multicriterio diseñado para mejorar el sistema de alumbrado público, incrementando tanto su eficiencia como la ca-

lidad de la iluminación, implementó el método multicriterio dado que permite seleccionar la solución óptima entre varias opciones posibles, basándose en el análisis detallado de diversas variables de criterio, aquel algoritmo fue desarrollado en el entorno de MATLAB®, y se encargó de evaluar criterios como los costos, el nivel de iluminación, la eficiencia, el factor de uniformidad y el deslumbramiento. Los resultados obtenidos por Jima proporcionan la solución óptima para aplicaciones específicas en calles urbanas y carreteras, los cuales fueron los casos de estudio propuestos en esta investigación, mejorando significativamente la toma de decisiones.

A inicios del 2022 el autor Ponce León [18] culminó un artículo que presenta una metodología genérica para la selección óptima de conductores en sistemas eléctricos, con el objetivo principal de identificar el conductor más adecuado que mantenga niveles de voltaje apropiados, minimice las pérdidas de potencia y sea económicamente viable, para ello, empleó una metodología multicriterio basada en el método CRITIC, el cual asigna ponderaciones a cada criterio según su importancia relativa. Analizó dos casos de estudio considerados, los cuales fueron los sistemas IEEE 4 e IEEE 13, analizados en 24 escenarios diferentes. Para calcular los criterios y desarrollar el algoritmo de decisión, utilizó MATLAB®, y los resultados obtenidos destacan una mejora significativa en los perfiles de voltaje y una reducción en las pérdidas de potencia de los conductores.

2.1.1.1. Ventajas y Desventajas.

En la tabla 2.1 se muestra las ventajas y desventajas de la comparación entre otros estudios similares aplicando la decisión multicriterio realizados por otros autores.

Tabla 2.1: Ventajas y desventajas de otros estudios similares. Fuente: Los Autores

Autor	Ventajas	Desventajas
Vinueza Carrillo Mario Divaldo	Uso de software GAMS para la optimización aplicando programación no lineal entera mixta.	Usó único de un circuito de distribución radial.
Cóndor Piarpuezán Juan Braulio	Implementación con el software de MATLAB®, empleando programación lineal entera mixta.	Durante su estudio entre las lámparas VSAP y VSP, indica que la desventaja es que la VSAP maneja una vida útil reducida que las luminarias VSP.
Villacis Guillen Kevin Geovanny	Aplicación del proceso analítico jerárquico (AHP) del análisis multicriterio, aplicó el software de PVSyst para determinar la evaluación correcta.	Zona limitada dentro del estudio, dado que la implementación de un sistema solar fotovoltaico sería para determinar la generación de energía eléctrica en una zona específica.
Jima Cóndor Alex Fabricio	Implementación con el software de MATLAB®, y se encargó de evaluar diversas variables de criterios.	Propone a futuro trabajar en el método para maximizar las variables de criterio y aplicar diversos escenarios.
Ponce León Andrés Alexander	Utilizó MATLAB® con el fin de realizar el algoritmo de decisión multicriterio baso en el método CRITIC.	Propone analizar la influencia de la temperatura y como este puede afectar en la resistencia del conductor.

2.2. Fundamentos Teóricos.

El diseño óptimo de instalaciones eléctricas es un proceso complejo que requiere considerar una variedad de factores, desde la calidad y eficiencia del sistema hasta los costos asociados, la integración de decisiones multicriterio se convierte en un enfoque fundamental para tomar decisiones informadas y equilibradas, con el fin de evaluar y comparar diferentes alternativas de diseño en función de múltiples criterios, como calidad, eficiencia y costos, para identificar la solución más adecuada e inclusive el análisis abarca tanto el cableado convencional como las blindo-barras, dos sistemas con características técnicas y requisitos específicos que deben ser tenidos en cuenta.

Para detallar una correcta fundamentación teórica para proporcionar el marco necesario para abordar temas en específicos, combinando principios de ingeniería eléctrica, teoría de la decisión multicriterio, análisis de costos, técnicas de optimización y en otros.

2.2.1. Redes, diseño e instalaciones eléctricas.

2.2.1.1. Redes eléctricas.

Las redes eléctricas son fundamentales en los sistemas eléctricos de potencia, desempeñando un papel crucial en la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica para alimentar tanto a los sistemas industriales como a las redes domésticas. Funcionan como una intrincada red de senderos por los cuales la electricidad se desplaza desde las instalaciones de generación hasta los usuarios finales. En este proceso, la electricidad se origina en centrales eléctricas y luego se transmite a través de cables de alta tensión a lo largo de extensas distancias. Posteriormente, se distribuye a los consumidores mediante redes de distribución de menor voltaje [26]. En la figura 2.1 se logra representar como las redes eléctricas de alta tensión llegan a una subestación de distribución, la cual se encargará de distribuir la energía a sus diferentes cargas.

Figura 2.1: Redes eléctricas que llegan a una subestación de distribución. Fuente: Los Autores

2.2.1.2. Diseño de instalaciones eléctricas.

La calidad y eficiencia de las instalaciones eléctricas dependen en gran medida de una planificación exhaustiva y la aprobación meticulosa de los proyectos. Es esencial reconocer que un diseño eléctrico óptimo se construye sobre la base de tres elementos esenciales: el plano eléctrico, el análisis detallado de la carga y la documentación técnica, así lo afirman en [27] estos elementos forman el núcleo de un diseño eléctrico robusto y confiable, asegurando así un funcionamiento eficiente y seguro de las instalaciones. El plano eléctrico detalla las conexiones eléctricas del área de implementación, siguiendo normativas vigentes y asegurando la inclusión de todos los elementos esenciales. Por otro lado, el estudio de carga establece la cantidad de potencia que cada dispositivo puede consumir o suministrar, facilitando así el dimensionamiento adecuado del sistema eléctrico.

2.2.1.3. Montaje de instalaciones eléctricas.

Según Ávila Ramírez Sara [1], es esencial que el montaje de instalaciones eléctricas sea llevado a cabo tras la aprobación de profesionales expertos en el ámbito energético, y en algunos casos, la aprobación del arquitecto o del responsable de la construcción también resulta imprescindible para garantizar la seguridad y eficiencia del proceso. La jerarquía de esta aprobación radica en la complejidad y la sensibilidad de las instalaciones eléctricas, las cuales pue-

den afectar elocuentemente el funcionamiento y la seguridad de un edificio o estructura. Ávila Sara enfatiza seis tipos fundamentales de montajes eléctricos, los cuales se detallan en la tabla 2.2.

Tabla 2.2: Tipos de montajes eléctricos. Fuente: [1].

1	Montar y mantener instalaciones eléctricas de baja tensión en edificios destinados principalmente a viviendas.
2	Montar y mantener instalaciones eléctricas de baja tensión en edificios comerciales, de oficinas y de una o varias industrias.
3	Montar y mantener instalaciones de automatismos en el entorno de viviendas y pequeña industria.
4	Montar y mantener redes eléctricas aéreas de baja tensión.
5	Montar y mantener redes eléctricas subterráneas de baja tensión.
6	Montar y mantener máquinas eléctricas.

2.2.2. Cableado convencional.

2.2.2.1. Características principales del cableado convencional.

De acuerdo con lo mencionado por [2] existen varias características que son esenciales y principales en el cableado convencional y se detallan en la tabla 2.3.

Tabla 2.3: Características Principales del Cableado Convencional. Fuente: [2].

1	Protección Mecánica y Asilamiento.
2	Resistencia a la corrosión y humedad.
3	Protección contra Interferencias Electromagnéticas.
4	Resistencia Térmica.
5	Resistencia a Roedores y sustancias químicas.
6	Cumplimiento de normativas de seguridad y estándares técnicos como lo detalla la NEC, IEC e IEEE.

2.2.2.2. Componentes del cableado convencional.

Los componentes del cableado convencional se diferencian en cuatro capas diferente, así se muestra en [28], y esos componentes se refieren a continuación:

- El conductor del cable. – Con el fin de determinar la corriente eléctrica que circula por el material del conductor, además para determinar la cantidad de conductores necesarios en el cable.
- El aislamiento del cable. – Es fundamental describir el tipo del aislamiento del cable como por ejemplo los que son habituales XLPE y EPR.
- Las protecciones metálicas del cable. – Las protecciones en el cable por lo general se las conoce como pantallas que se aplican para aislar señales que pasan por el interior del cable.
- La cubierta exterior del cable. – Es indispensable tener los componentes físicos de la cubierta del cable, ya que con eso se logra dimensionar protecciones del cable.

2.2.2.3. Proceso de instalación del cableado convencional.

Existen otros procesos cuando se desea realizar una instalación con cableado convencional en concordancia con lo asentado en [3], como por ejemplo cuando se desea perpetrar una instalación eléctrica de un edificio, el proceso se puntualiza en la tabla 2.4, y en cambio cuando se desea efectuar una instalación del cableado convencional en el interior de una vivienda el proceso se particulariza en la tabla 2.5.

2.2.2.4. Normativas y regulaciones aplicables.

Existe algunos tipos de normativas y regulaciones que son aplicables al cableado convencional, según lo indicado en [29], las cuales se detallan a continuación:

- TIA (Telecommunications Industry Association).
- ANSI (American National Standards Institute).
- EIA (Electronic Industries Alliance).

Tabla 2.4: Proceso de instalación eléctrica de un edificio. Fuente: [3].

1	Línea de acometida.
2	Caja general de protección.
3	Línea repartidora.
4	Centralización de contadores.
5	Derivaciones individuales.
6	Interruptor de control de potencia.
7	Cuadro general de mando y protección.
8	Toma de tierra del edificio.

Tabla 2.5: Proceso de instalación eléctrica de una vivienda. Fuente: [3].

1	Circuitos independientes de la vivienda.
2	Cableado de la instalación eléctrica interior.
3	Grados de electrificación de la vivienda.
4	Esquemas de instalaciones eléctricas.
5	Circuitos básicos de la vivienda.

- ISO (International Standards Organization).
- IEEE (Instituto de Ingenieros Eléctricos y de Electrónica).

Existen algunas derivaciones que se deben de tomar en cuenta cuando se vaya a realizar algún cableado en específico y fijar la zona del cableado.

2.2.3. ¿Qué son blindo-barras?

El concepto de blindo-barra en un sistema de distribución de energía eléctrica busca facilitar la instalación al impedir el uso de cables de cobre convencionales, en su lugar, utiliza electro-barras de aluminio, lo que sobrelleva a que la instalación sea más económica. Estas barras facilitan una apariencia más limpia al ser una única estructura compacta, e inclusive el diseño facilita y acelera el proceso de instalación gracias a su fácil ensamblaje, y por último las

blindo-barras ofrecen una alternativa eficiente y rentable para la distribución de energía eléctrica [30].

2.2.3.1. Características principales de las Blindo-Barras.

Las blindo-barras presentan características esenciales y necesarias al momento de utilizarse en las instalaciones eléctricas, las cuales se detallan a continuación.

- Flexibilidad de utilización; permiten ser usadas en una amplia gama de soluciones.
- Fijaciones; permiten ser colocadas en techo o paredes y manejan diferentes ángulos de derivaciones.
- Conexiones de derivación; logran conectarse mediante acoples.
- Canalización eléctrica; acceden a diversas conexiones y tipos de fabricaciones.
- Pueden ser usadas en diferentes niveles de voltaje, y los valores en ohmios de la resistencia y reactancia cambian de acuerdo con el nivel de tensión aplicada.

2.2.3.2. Ventajas y Desventajas de las Blindo-Barras.

En la tabla 2.6 se puntualiza las ventajas y desventajas de usar blindo-barras.

Tabla 2.6: Ventajas y Desventajas de las Blindo-Barras. Fuente: Los Autores.

Ventajas	Desventajas
Mayor Seguridad	Costo Inicial Elevado
Reducción de Pérdidas de Energia	Instalación Especializada
Fácil Instalación y Expansión	Dificultad para Ajustes Menores o Reubicaciones
Ahorro de Espacio	Rigidez y Falta de Flexibilidad
Mayor Capacidad de Carga	Requieren Espacio Adicional en Instalaciones Verticales
Baja Mantenibilidad	Limitaciones de Longitud en una Sola Unidad
Alta Resistencia	Mantenimiento Complicado en Entornos Dificiles
Distribución Ordenada	Generación de Calor en Altas Corrientes
Reducción del Tiempo de Inactividad	Problemas de Expansión en Sistemas Antiguos
Facilidad para Integración de Puntos de Toma	Vulnerabilidad ante Movimientos Estructurales

2.2.4. Introducción y desarrollo de aplicaciones en MATLAB®.

MATLAB®, fundado por MathWorks© [31], es un software considerablemente utilizado en diversas áreas de la ingeniería, destacado por su capacidad para solucionar problemas complejos, ofrece varias áreas de trabajo para cubrir diversas necesidades. Primero, proporciona un entorno de "Script"para codificar algoritmos y utilizar soluciones específicas, además, incluye "Guide", que es una herramienta con el fin de simplificar la creación de interfaces gráficas de usuario (GUI), perfeccionando la interacción con los programas de MATLAB®. Por último, está "Simulink", diseñado para representar y simular sistemas de ingeniería.

El entorno de MATLAB® [32] ofrece diversos conceptos, entre ellos uno sobre Fundamentos de MATLAB®, este abarca temas como análisis de datos, visualización, modelado y programación, que son detallados a continuación:

- Interfaz de usuario de MATLAB®.

- Ejecución de comandos y creación de variables.
- Análisis sobre vectores y matrices.
- Representación gráfica de datos vectoriales y matriciales.
- Trabajar con archivos y tipos de datos.
- Automatización de comandos con scripts.
- Escritura de programas con ramificaciones y bucles.
- Escritura de funciones.

MATLAB® suministra herramientas y funciones para crear interfaces de usuario interactivas [33], permitiendo adicionar elementos como botones y controles deslizantes. También facilita la inclusión de gráficas para visualizar y explorar datos en estas interfaces. Para obtener un nivel avanzado de programación en MATLAB, es crucial cumplir con los requisitos establecidos por MathWorks© [34], esto incluye una comprensión profunda del entorno de MATLAB®, y para ello es necesario tener un conocimiento sólido sobre temarios esenciales, los cuales se especifican en la tabla 2.7.

Tabla 2.7: Temarios relevantes en la programación avanzada de MATLAB®.

N°	Temarios de la programación avanzada
1	Aplicar el patrón de diseño modelo-vista-controlador (MVC) en MATLAB.
2	Crear una clase de modelo que actúe como repositorio de datos de una aplicación.
3	Trabajar eficazmente con gráficas de MATLAB y objetos de control de la interfaz de usuario.
4	Gestionar el diseño de los componentes de la aplicación.
5	Diseñar clases de vista para visualizar los datos de la aplicación
6	Diseñar clases de controlador para permitir la interacción del usuario con la aplicación.
7	Integrar componentes de aplicaciones dentro de una clase de iniciador de aplicaciones.
8	Empaquetar, desplegar y compartir apps.

2.2.5. Eficiencia energética.

2.2.5.1. Concepto de eficiencia energética.

La eficiencia energética detallada por BBVA [35], da a conocer como abarca la optimización del consumo de energía con el fin de alcanzar niveles específicos de confort y servicio. Cuando un país logra un nivel adecuado de eficiencia energética, se fortalece la seguridad en el suministro energético para toda la población. En el ámbito doméstico, esto se materializa en una reducción significativa en las facturas de energía, lo que motiva la búsqueda activa de prácticas que generen ahorro energético. Un ejemplo concreto de esta tendencia es el creciente uso de lámparas LED, como se ilustra en la figura 2.2, como una forma de comprimir el consumo eléctrico y, por ende, los costos asociados.

Figura 2.2: Uso de lámparas LED para el ahorro energético. Fuente: Los Autores.

2.2.5.2. Principios de la eficiencia energética.

Los principios de la eficiencia energética constituyen un pilar primordial en cualquier proyecto, abarcando diferentes ámbitos como la tecnología, la economía y otros, estos principios energéticos son fundamentalmente destacados

en el estudio realizado por el investigador Zhovka O. [36], quien profundizó en la aplicación de estos principios en complejos multifuncionales, aquella investigación abordó áreas críticas como la construcción y la ingeniería eléctrica, reconociendo la necesidad de una coordinación fluida entre contratistas para asegurar la ejecución de obras de acuerdo con una planificación integral que no afecte a ningún aspecto del proyecto. Es fundamental que dicha planificación integre los principios energéticos detallados en la tabla 2.8, garantizando así la optimización del uso de recursos y la sostenibilidad ambiental en todas las etapas del proyecto.

Tabla 2.8: Principios energéticos tomados en cuenta en complejos multifuncionales.

N°	Principios energéticos tomados en cuenta en complejos multifuncionales
1	Optimización del uso de recursos.
2	Reducción de la demanda energética
3	Empleo de tecnologías eficientes.
4	Diseño sostenible.
5	Educación y concienciación
6	Políticas y regulaciones.

2.2.5.3. Tecnologías y prácticas para mejorar la eficiencia energética.

Las estrategias y materiales para agrandar la eficiencia energética abarcan una variedad de áreas y acciones diseñados para reducir el uso de energía y optimizar su eficacia, esto conlleva la adopción de tecnologías más avanzadas, como luces LED y electrodomésticos que consumen menos energía como lo indica el autor Otero J. [37] quien describe varios ejemplos de medidas y estrategias de cómo mejorar la eficiencia energética y se describen en la tabla 2.9.

Tabla 2.9: Ejemplos de medidas y estrategias para mejorar la eficiencia energética.

N°	Ejemplos de medidas y estrategias para mejorar la eficiencia energética
1	Digitalizar procesos y sistemas.
2	Estudiar los datos.
3	Modernizar máquinas y equipos.
4	Emplear iluminación de bajo consumo.
5	Optimizar la climatización.
6	Reemplazar ventanas y puertas.
7	Ejecutar un buen mantenimiento preventivo.
8	Desafiar por energías renovables.
9	Otras acciones enmarcadas en una eficiencia 4.0.

2.2.5.4. Normativas y certificaciones en eficiencia energética.

Las normativas y certificaciones en eficiencia energética son conjuntos de reglas y estándares determinados por autoridades gubernamentales, organizaciones internacionales o entidades especializadas, aquellas regulaciones definen los requisitos mínimos que deben cumplir los productos, edificaciones y sistemas en términos de consumo de energía y rendimiento ambiental, siguiendo la metodología indicada por la ISO 50001 [38], además implica cuatro aspectos que benefician a dicha normativa, las cuales se describen a continuación:

- Reducción de costos: Utilizar un sistema de gestión de energía que siga la norma ISO 50001 puede simplificar la identificación y aprovechamiento de oportunidades para reducir el consumo energético.
- Mejora del desempeño energético: La certificación ISO 50001 favorece a las empresas a perfeccionar constantemente su eficiencia en el uso de la energía.
- Mejora la imagen corporativa y RSE: Demuestra que es una organización la cual está comprometida con la gestión responsable de la energía y el cuidado del medio ambiente.

2.2.6. Análisis de costos.

2.2.6.1. Concepto de análisis de costos.

El análisis de costos es esencial para estimar la viabilidad económica de un proyecto, servicio o producto. Es crucial seleccionar el tipo adecuado de análisis para cada situación, estos costos se clasifican en directos e indirectos, donde los primeros están vinculados directamente a la producción, mientras que los segundos son gastos generales, e incluso se distinguen entre costos directos, asociados con la producción, y costos indirectos, que se distribuyen entre diversos aspectos, los directos tienden a ser más altos, ya que están vinculados a un producto definido, a diferencia de los indirectos [39].

2.2.6.2. Componentes del análisis de costos.

Una gestión financiera efectiva requiere percibir los diversos componentes que conforman el análisis de costos, ya que, al diversificar y clasificar los tipos de costos pertinentes, se puede instituir una base sólida para la planificación y toma de decisiones empresariales. En este sentido, asemejamos al menos nueve elementos clave que abarcan desde los costos directos e indirectos hasta los costos fijos y variables, cada uno desempeñando un papel crucial en la estructura financiera y operativa de la empresa [40], estos costos están descritos en la tabla 2.10.

Tabla 2.10: Tipos de costos.

N°	Tipos de costos
1	Costos directos.
2	Costos indirectos.
3	Costos fijos.
4	Costos variables.
5	Costos operativos o costos de funcionamiento.
6	Costos de oportunidad.
7	Costos hundidos.
8	Costos controlables
9	Costos no controlables.

2.2.6.3. Métodos de estimación y evaluación de costos.

De acuerdo con lo estipulado en [41] existen diversos métodos de como estimar y evaluar los costos de la electricidad, la cual se detallan a continuación:

- Lecturas de contadores y patrones de consumo: El estimador de costos de electricidad se basa en los datos del medidor eléctrico, que inspecciona el consumo a lo largo del tiempo, ya sea analógico o digital, se emplea una base de datos históricos para prever el consumo futuro.
- Aranceles y Tarifas: Los servicios eléctricos se facturan según tarifas específicas que se modifican según la ubicación, la hora y el tipo de cliente, estas tarifas pueden ser fijas, escalonadas o por tiempo de uso.
- Ajustes estacionales y factores climáticos: El consumo de electricidad se ve afectado por el clima, con inviernos fríos aumentando la calefacción y veranos calurosos incrementando el uso del aire acondicionado. El estimador de costos toma en cuenta datos meteorológicos históricos para ajustar sus predicciones en función de las condiciones climáticas.
- Perfiles de electrodomésticos: Pueden ser por los consumos concretos del electrodoméstico, carga fantasma y energía, horas pico, estimaciones, factores o algoritmos.

2.2.6.4. Consideraciones adicionales en el análisis de costos.

Es importante establecer y profundizar los costos incrementales en cualquier proyecto tal como se refleja en los estudios ejecutado por [42] en la cual dan a conocer los conceptos de los costos incrementales y como se clasifican. Para un análisis preciso de los costos, es importante percibir a fondo los costos incrementales, también llamados costos diferenciales, los cuales se puntualizan a continuación:

- Identificación de costos incrementales: Identificar los costos incrementales implica comparar los costos asociados con diferentes alternativas, estos costos son la diferencia entre los costos de dos alternativas consideradas, dado el ejemplo, se puede decidir entre producir un nuevo producto o mantener la línea de productos existente.

- Ejemplos de costos incrementales: En el caso de una empresa manufacturera que considera reemplazar su maquinaria antigua por equipos más eficientes de buena calidad, los costos incrementales abarcarían la adquisición de la nueva maquinaria, los costos de instalación, capacitación de empleados y cualquier gasto adicional de mantenimiento u operación asociado con el nuevo equipo.

- Consejos para analizar los costos incrementales: Para un análisis exhaustivo de costos incrementales, es esencial definir claramente la decisión o alternativa en consideración y luego identificar todos los costos pertinentes asociados con cada opción. El enfoque debe centrarse en los costos incrementales que difieren entre las alternativas, abarcando tanto los costos a corto como a largo plazo, e inclusive se debe considerar cualquier ahorro potencial o beneficio que pueda surgir de la decisión tomada, este escenario sistemático garantiza una evaluación completa y precisa de los costos asociados.

- Estudio de caso: Análisis de costos para una empresa manufacturera: En una empresa manufacturera considerando subcontratar parte de su producción, los costos incrementales incluirían la compra del componente, transporte, control de calidad adicional y riesgos de dependencia del proveedor externo, comparados con los costos internos de producción, comprender los costos incrementales es esencial para tomar decisiones informadas que optimicen la rentabilidad y eficiencia.

2.2.7. Decisión Multicriterio.

2.2.7.1. Concepto de decisión multicriterio.

La Toma de Decisiones Multicriterio (TDM) se refiere al proceso de elegir la mejor opción entre varias alternativas, utilizando criterios específicos y modelos para identificar la alternativa óptima. Este enfoque busca diseñar la selección más favorable considerando diversos atributos [43]. Además, como menciona Águila y sus colegas [44] el uso de métodos de decisión multicriterio para resolver problemas de ubicación óptima en sistemas de distribución eléctrica resulta crucial, dado que es esencial tener indicadores de confiabilidad, consideraciones de costos, restricciones en la confiabilidad, eficiencia y calidad de la energía eléctrica. En la tesis doctoral de Águila T. [45], propone el uso indefinido del método CRITIC, dado que se basó en las sumas de ponderaciones para las

diversas variables empleadas, y como esté método es esencial para definir escenarios óptimos y análisis de resultados mediante un algoritmo de Búsqueda Exhaustiva.

2.2.7.2. Métodos y técnicas de decisión multicriterio.

La Toma de Decisiones Multicriterio (TDM) en el proceso de selección del mejor contratista. Los métodos y técnicas de la TDM implican la identificación de criterios y subcriterios de evaluación, asignación de pesos, comparaciones pareadas para medir relaciones y la evaluación por parte de expertos. Estos pasos conducen a la determinación de la alternativa óptima para el problema en cuestión, basada en el juicio profesional de los expertos [43]. La toma de decisión multicriterio es esencial además cuando se analiza sistemas eléctricos que presentan falla en alguna parte del diseño, tal como lo afirma Guanochanga y sus colegas [46], ya que analizaron un sistema de distribución ante una falla para verificar el comportamiento de los índices de confiabilidad, pérdidas de potencia activa, así como también los tiempos de juste y los costos de operación, con el algoritmo de toma de decisión multicriterio validaron las mejores alternativas.

2.2.7.3. Proceso de aplicación de la decisión multicriterio.

El proceso de aplicación de la decisión multicriterio por lo general viene descrito con una metodología la cual puede ser clasificar los elementos del problema de decisión, describir exhaustivamente los métodos con los que se vaya a aplicar al caso de estudio, realizar las respectivas pruebas y análisis para determinar criterios adecuados, y así poder recomendar o concluir el caso de estudio [47]. Aplicar decisión multicriterio es esencial en el análisis de los sistemas de ingeniería eléctrica, así se destaca en la investigación de Águila T. [48], ya que analiza la ubicación y dimensionamiento óptimo de capacitores para microrredes y como el uso del método CRITIC es fundamental en la toma de decisión, además de cómo se da soporte con un segundo algoritmo que pondera cada variable, adaptándose a un criterio de minimización.

Capítulo 3

METODOLOGÍA PROPUESTA.

En el desarrollo de este proyecto de desarrollo titulado "Diseño Óptimo de Instalaciones Eléctricas Considerando Cableado Convencional y Blindo-Barras Mediante Decisión Multicriterio con Objetivos de Calidad, Eficiencia y Costos", se propone una metodología basada en las bases teóricas y el estado del arte expuestos en el capítulo de Marco Teórico Referencial. La metodología está estructurada para integrar de manera óptima los conceptos y prácticas actuales en el diseño de instalaciones eléctricas, aprovechando las ventajas de las técnicas de decisión multicriterio.

Paso 1: Revisión de Conceptos y Fundamentos.

La metodología comienza con una revisión exhaustiva de los fundamentos teóricos relacionados con las redes y el diseño de instalaciones eléctricas, abordados en el capítulo de Marco Teórico Referencial apartado Fundamentos Teóricos. Este proceso incluye una evaluación de las características del cableado convencional y el uso de blindo-barras, estableciendo así un marco de referencia para el diseño óptimo de instalaciones eléctricas.

Paso 2: Identificación de Variables de Análisis.

Con base en la revisión anterior y en el estado del arte descrito en el capítulo de Marco Teórico Referencia apartado del Estado del Arte, se identifican las variables clave para el análisis multicriterio, que se realizarán en el software MATLAB®. Estas variables incluyen:

Costos: Se considera tanto los costos de implementación e instalación.

Pérdidas de potencia activa: Valor que afecta directamente la eficiencia del

sistema.

Desviación de voltaje (promedio, máximo y/o mínimo) Variable importante con el fin de garantizar la calidad del suministro eléctrico.

Paso 3: Elaboración de la Matriz de Decisión Multicriterio.

Estas variables se integran en una matriz de decisión multicriterio, donde se ponderan y comparan distintos escenarios de diseño eléctrico que involucran el uso exclusivo o parcial de cableado convencional y blindo-barras. El análisis multicriterio se realizará utilizando herramientas de MATLAB®, aplicando métodos específicos.

Paso 4: Análisis Comparativo y Validación.

Se realizará un análisis comparativo entre las diferentes alternativas de diseño, evaluando su viabilidad técnica y económica. Este análisis se complementará con un estudio de sensibilidad para determinar cómo las variaciones en las variables clave afectan la solución óptima.

3.1. Cálculo de Carga.

Para validar la metodología propuesta, se realizó un estudio de cálculo de carga en un edificio denominado Proyecto “EDIFICIO AA”. Este estudio abarca cálculos detallados en las diversas áreas del edificio, distribuidas de la siguiente manera:

Planta Baja: Incluye áreas comunes, accesos y servicios básicos.

Piso 1 a Piso 5: Cada piso comprende unidades habitacionales o áreas de oficinas, dependiendo de la naturaleza del proyecto.

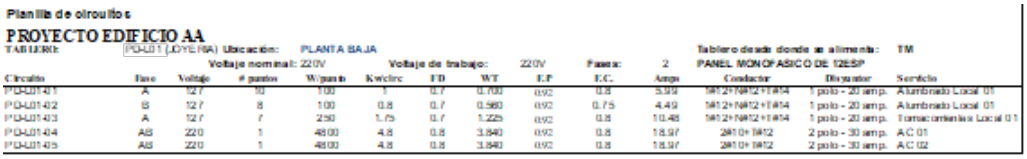
Terraza: Se consideró la carga asociada a la iluminación, ventilación y posibles áreas de recreación.

Cada una de estas áreas se desglosa en tablas de cálculo de carga, donde se detallan las cargas específicas, los factores de demanda aplicados y las previsiones para futuras expansiones.

3.1.1. Cálculos en Planta Baja.

Para determinar el valor de la carga total que se tiene en Planta Baja se realizó su respectivo estudio de carga en el cuál consta de tres tableros, los cuales se

detallan a continuación. En la figura 3.1 se detalla el cálculo del tablero denominado PD-L01 y en la tabla 3.1 el resumen de los resultados del tablero.



Planilla de circuitos

PROYECTO EDIFICIO AA

TABLERO: PD-L01 (JOYERIA) Ubicación: PLANTA BAJA — Tablero desde donde se alimenta: TM

Voltaje nominal: 220V — Voltaje de trabajo: 220V — Fases: 2 — PANEL MONOFASICO DE 12ESP

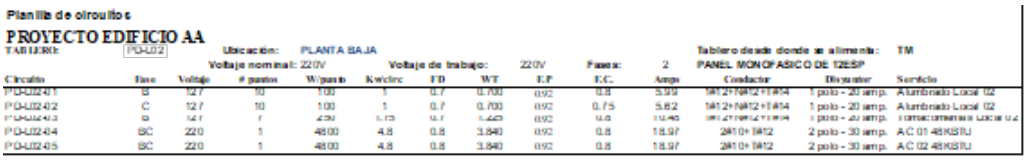
Circuito	Fase	Voltaje	# puntos	W/punto	Kw/circ	FD	WT	F.P	F.C.	Amps	Conductor	Disyuntor	Servicio
PD-L01-01	A	127	10	100	1	0.7	0.700	0.92	0.8	5.99	3#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Alumbrado Local 01
PD-L01-02	B	127	8	100	0.8	0.7	0.560	0.92	0.75	4.49	3#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Alumbrado Local 01
PD-L01-03	A	127	7	250	1.75	0.7	1.225	0.92	0.8	10.46	3#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Tomacorrientes Local 01
PD-L01-04	AB	220	1	4800	4.8	0.8	3.840	0.92	0.8	16.97	2#10+T#12	2 polo - 30 amp.	AC 01
PD-L01-05	AB	220	1	4800	4.8	0.8	3.840	0.92	0.8	16.97	2#10+T#12	2 polo - 30 amp.	AC 02

Figura 3.1: Valores de los circuitos del tablero PD-L01 de la Planta Baja. Fuente: Los Autores.

Tabla 3.1: Resumen del estudio de carga del tablero PD-L01 de la Planta Baja. Fuente: Los Autores.

Demanda (Kw):	10.17	
Factor de coincidencia:	0.7	
Porcentaje de reserva:	20%	
Carga efectiva (Kw)	**8.54**	
Voltaje	220.00	
Amperaje	42.19	
Breaker	52.73	**2P-70A**
Conductor	2#4+N#6+T#8 AWG Cu THHN.	

En la figura 3.2 se detalla el cálculo del tablero denominado PD-L02 y en la tabla 3.2 el resumen de los resultados del tablero.



Planilla de circuitos

PROYECTO EDIFICIO AA

TABLERO: PD-L02 | Ubicación: PLANTA BAJA | Voltaje nominal: 220V | Voltaje de trabajo: 220V | Fases: 2 | Tablero desde donde se alimenta: TM | PANEL MONOFASICO DE 12ESP

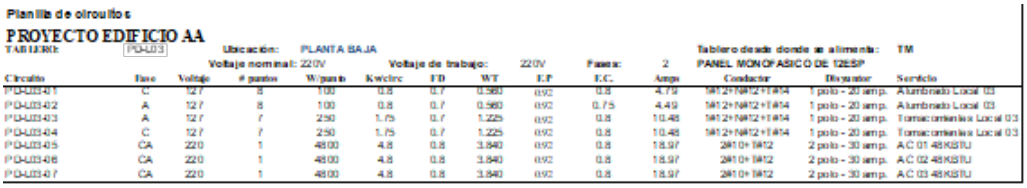
Circuito	Fase	Voltaje	# puntos	W/punto	Kw/circ	FD	WT	F.P	F.C.	Amps	Conductor	Disyuntor	Servicio
PD-L02-01	B	127	10	100	1	0.7	0.700	0.92	0.8	5.93	3#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Alumbrado Local 02
PD-L02-02	C	127	10	100	1	0.7	0.700	0.92	0.75	5.62	3#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Alumbrado Local 02
PD-L02-03	B	127	7	250	1.75	0.7	1.225	0.92	0.8	10.46	3#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Tomacorrientes Local 02
PD-L02-04	BC	220	1	4800	4.8	0.8	3.840	0.92	0.8	18.97	2#10+1#12	2 polo - 30 amp.	AC 01 48KBTU
PD-L02-05	BC	220	1	4800	4.8	0.8	3.840	0.92	0.8	18.97	2#10+1#12	2 polo - 30 amp.	AC 02 48KBTU

Figura 3.2: Valores de los circuitos del tablero PD-L02 de la Planta Baja. Fuente: Los Autores.

Tabla 3.2: Resumen del estudio de carga del tablero PD-L02 de la Planta Baja. Fuente: Los Autores.

Demanda (Kw):	10.31	
Factor de coincidencia:	0.7	
Porcentaje de reserva:	20%	
Carga efectiva (Kw)	**8.66**	
Voltaje	220.00	
Amperaje	42.77	
Breaker	53.46	**2P-70A**
Conductor	2#4+N#6+T#8 AWG Cu THHN.	

En la figura 3.3 se detalla el cálculo del tablero denominado PD-L03 y en la tabla 3.3 el resumen de los resultados del tablero.



Planilla de circuitos

PROYECTO EDIFICIO AA

TABLERO: PD-L03 | Ubicación: PLANTA BAJA | Voltaje nominal: 220V | Voltaje de trabajo: 220V | Fases: 2 | Tablero desde donde se alimenta: TM | PANEL MONOFASICO DE 12ESP

Circuito	Fase	Voltaje	# puntos	W/punto	Kw/circ	FD	WT	F.P	F.C.	Amps	Conductor	Disyuntor	Servicio
PD-L03-01	C	127	8	100	0.8	0.7	0.560	0.92	0.8	4.73	3#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Alumbrado Local 03
PD-L03-02	A	127	8	100	0.8	0.7	0.560	0.92	0.75	4.49	3#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Alumbrado Local 03
PD-L03-03	A	127	7	250	1.75	0.7	1.225	0.92	0.8	10.46	3#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Tomacorrientes Local 03
PD-L03-04	C	127	7	250	1.75	0.7	1.225	0.92	0.8	10.46	3#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Tomacorrientes Local 03
PD-L03-05	CA	220	1	4800	4.8	0.8	3.840	0.92	0.8	18.97	2#10+1#12	2 polo - 30 amp.	AC 01 48KBTU
PD-L03-06	CA	220	1	4800	4.8	0.8	3.840	0.92	0.8	18.97	2#10+1#12	2 polo - 30 amp.	AC 02 48KBTU
PD-L03-07	CA	220	1	4800	4.8	0.8	3.840	0.92	0.8	18.97	2#10+1#12	2 polo - 30 amp.	AC 03 48KBTU

Figura 3.3: Valores de los circuitos del tablero PD-L03 de la Planta Baja. Fuente: Los Autores.

Tabla 3.3: Resumen del estudio de carga del tablero PD-L03 de la Planta Baja. Fuente: Los Autores.

Demanda (Kw):	15.09	
Factor de coincidencia:	0.7	
Porcentaje de reserva:	20%	
Carga efectiva (Kw)	**12.68**	
Voltaje	220.00	
Amperaje	62.63	
Breaker	78.28	**2P-100A**
Conductor	2#2+N#4+T#6 AWG Cu THHN.	

3.1.2. Plantilla Final del Cálculo de Carga.

Una vez determinado los cálculos del estudio de carga en las diversas áreas del edificio, se procedió a realizar un resumen de dichos resultados para obtener los valores en potencia activa y aparente. Posterior a tener los resultados en kW se procedió a multiplicar estas cargas por un factor de carga (FC) el cual se tomó de referencia un valor del 70 porciento es decir 0.70, este valor es multiplicado por la carga final de cada área del edifico y estos valores son los que se implementan en el modelo del Diseño del Diagrama Unifilar en Power Factory DigSILENT. Los cálculos de las cargas por los 5 pisos y la terraza se detallan en la tabla 3.4 y los respaldos de los cálculos de carga se detallan en Anexo A.

Tabla 3.4: Resumen de los resultados del estudio de carga en cada área del Proyecto “EDIFICIO AA”. Fuente: Los Autores.

LUGAR	Nombre DS	CARGAS FINALES AGREGADAS EN EL DIGSILENT				
		[KW] sin FC	[KW] con FC	[MW]	[KVA]	[MVA]
PB	Carga-PB	29.87	20.909	0.0209	22.73	0.0227
PISO-1	PD-N-01	15.25	10.675	0.0107	11.60	0.0116
PISO-2	PD-N-02	24.96	17.472	0.0175	18.99	0.0190
PISO-3	PD-N-03	24.66	17.262	0.0173	18.76	0.0188
PISO-4	PD-N-04	24.62	17.234	0.0172	18.73	0.0187
PISO-5	PD-N-05	35.73	25.011	0.0250	27.19	0.0272
TERRAZA	PD-MONITOREO	88.43	61.901	0.0619	67.28	0.0673
TOTAL		**243.52**	**170.464**	**0.170464**	**185.29**	**0.185**

3.2. Ecuaciones de las variables analizadas en este proyecto.

3.2.1. Pérdidas en Kilovatios.

Las pérdidas de energía del sistema de distribución presentado en el proyecto de desarrollo se refieren a la cantidad de energía que se disipa en forma de calor en los tramos de conexión, esto es debido a la resistencia inherente de los materiales. Estas pérdidas, expresadas en kilovatios (kW), se emiten esencialmente en los cables y blindo-barras que transportan la electricidad a través del sistema de distribución a sus respectivas cargas. La ecuación 1 (3.2.1) se detalla el cálculo para las pérdidas en kilovatios.

Ecuación 1 (3.2.1) Pérdidas en kilovatios

Pérdidas [kW] = I^2XR

Donde,

I: Representa la corriente que circula por los tramos de conexión en amperios.

R: Representa la resistencia de la impedancia de los tramos de conexión en ohmios.

Estas pérdidas de potencia se deberán evaluar en cada uno de los tramos de conexión, así como también en cada escenario, con el fin de estimar la eficiencia total del sistema de distribución del proyecto "Edificio AA".

3.2.2. Desviación de Voltaje.

La desviación de voltaje es una de las variables importantes para el sistema de distribución, dado que se refiere a la diferencia entre el voltaje suministrado en la fuente y el voltaje real que se encuentra en cada uno de los tableros de distribución de cargas de cada piso del proyecto "Edificio AA". Esta desviación de voltaje ocurre debido a las caídas de voltaje en los tramos de conexión que conectan la fuente con los tableros de distribución y estos a sus diferentes cargas, lo cual es influenciado por factores como la longitud de los tramos de conexión, la sección del cable convencional o las blindo-barras, la corriente y la resistencia del material. La desviación de voltaje se puede calcular mediante la ecuación 2 (3.2.2).

Ecuación 2 (3.2.2). Desviación de voltaje.

$$\text{Desviación de voltaje (\%)} = \frac{V_{fuente} - V_{Carga}}{V_{fuente}} X100$$

Donde,

V_{fuente}: Representa el valor del voltaje del punto de origen (Fuente)

V_{Carga}: Representa el valor del voltaje medido en el punto de la carga (Tablero de Distribución de Carga por cada Piso).

3.2.3. Costos por Escenarios.

Este apartado aborda el análisis de los costos de instalación y materiales de los tramos de conexión entre cables convencionales y blindo-barras empleados en el proyecto "Edificio AA". Cabe recalcar que los costos están diferenciados en función de los escenarios y tipos de conexiones considerando las blindo-barras y/o cables convencionales. Para ello, se emplearon precios referenciales obtenidos entre los meses de enero a octubre del 2024 en varias empresas y sucursales de Guayaquil – Ecuador. Los costos se calcularán considerando dos puntos esenciales:

- Costo del material: El precio de las blindo-barras y el cable convencional varían en cada tramo de conexión y esto es de acuerdo con el presupuesto de cada proveedor consultado.
- Costo de instalación: El precio puede variar según la complejidad del montaje de las blindo-barras frente al cable convencional.

Para el análisis de blindo-barras se tomó de referencia los precios cotizados en LEGRAND empresa que distribuye este tipo de materiales, en el caso del cable convencional se tomó de referencia los precios de los diversos calibres de cables, y se empleó la ecuación 3 (3.2.3) en la cual se detalla el precio por cada tramo de conexión.

Ecuación 3 (3.2.3). Costo por tramos de conexión.

$$\text{Costo por tramos (\$)} = \text{Distancia X } [(3X\$_{Calibre-Fase}) + (\$_{Calibre-Neutro})]$$

Una vez definida la ecuación que se empleará por cada tramo de conexión, se sumarán todos los tramos empleados en el proyecto "EDIFICIO AA", luego se sumarán todos estos tramos y este sería el valor final por cada escenario cuyo cálculo se refleja en la ecuación 4 (3.2.3).

Ecuación 4 (3.2.3). Costo total por escenario.

$$\text{Costo por Escenario (\$)} = \sum_{n=1}^{9} (Costo por tramos_n)(\$)$$

3.3. Formulación Teórica del Método CRITIC.

Aplicar el método CRITIC es fundamental y se lo puede corroborar en a investigación de Águila y sus compañeros [49] ya que presentaron una metodología novedosa para definir la ubicación óptima de dispositivos de conmutación en sistemas de distribución eléctrica mediante la implementación de reconectadores, para ello se basaron fundamentalmente del algoritmo del método CRITIC para analizar el sistema de 15 barras de la IEEE con lo cual llegaron analizar los indicadores [SAIFI (Índice de frecuencia media de las interrupciones del sistema), SAIDI (Índice de duración media de las interrupciones del sistema) y CAIDI (Índice de duración media de las interrupciones del cliente)] y definieron cuales de los escenarios fue el óptimo.

Para establecer la formulación teórica aplicando el método CRITIC se implementaron códigos realizados en el software de MATLAB®, dichos códigos se encuentran detallados en los Anexos B y C.

3.3.1. Matriz de Decisión.

En la ecuación 5 (3.3.1) muestra la matriz de decisión, y está se representará de la forma X = $[x_{i,j}]$, en la cual se describe los valores del criterio i en los escenarios j.

Ecuación 5 (3.3.1). Matriz de Decisión.

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{pmatrix}$$

Donde:

- m, representa el número de criterios lo cual son las filas, en nuestro caso serían 3 criterios, dado que son 3 variables por usar.
- n, representa el número de columnas, los cuales representarían los escenarios a emplear, que en este caso serían 15 escenarios.

A continuación, se muestra los pasos para determinar la matriz de decisión, pseudocódigo principal realizado en MATLAB®.

```
1
2  % PSEUDOCODIGO MATRIZ DE DECISION.
3
4  %% PASO N01: LECTURA DE VARIABLES:
5  VARIABLES_table=readtable("RESUMEN_VARIABLES_ESCENARIOS.
       xlsx");
6  VARIABLES_double=table2array(VARIABLES_table);
7  %% PASO N02: ASIGNACION DE VARIABLES:
8  Perdidas_Potencia=VARIABLES_double(1,:);
9  Desviacion_Voltaje=VARIABLES_double(2,:);
10 Costo_Total=VARIABLES_double(3,:);
```

```
%% PASO N03: DEFINICION DE LA MATRIZ DE DECISION {Filas
   y columnas}:
Matriz_Decision=[Perdidas_Potencia;...
                 Desviacion_Voltaje;...
                 Costo_Total];
[num_criterios, num_escenarios] = size(Matriz_Decision);
```

3.3.2. Normalización de la Matriz de Decisión.

Posterior a definir la matriz de decisión, se procede a normalizar la matriz mediante el método de normalización por rango empleando la ecuación 6 (3.3.2).

Ecuación 6 (3.3.2). Normalización de la Matriz de Decisión.

$$X'_{ij} = \frac{x_{ij} - min(x_i)}{max(x_i) - min(x_i)}$$

Donde:

- x_{ij} es el valor del criterio i en el escenario j.
- $min(x_i)$ y $max(x_i)$ son los valores mínimo y máximo del criterio i, respectivamente.
- X'_{ij} es el valor normalizado.

A continuación, se muestra el paso de la normalización de la matriz de decisión usando normalización por rango, pseudocódigo principal realizado en MATLAB®.

```

% PSEUDOCODIGO NORMALIZACION DE LA MATRIZ DE DECISION.

%% PASO N04: Normalizacion de la matriz de decision
   usando normalizacion por rango:
Matriz_Normalizada = zeros(size(Matriz_Decision));
for i = 1:num_criterios
    Matriz_Normalizada(i,:) = (Matriz_Decision(i,:) -
       min(Matriz_Decision(i,:))) / (max(Matriz_Decision
       (i,:)) - min(Matriz_Decision(i,:)));
```

```
8 end
```

3.3.3. Aplicación de la Desviación Estándar en los Criterios.

Luego de normalizar la matriz de decisión, se aplica la desviación estándar en los criterios de nuestro proyecto, en este caso serían a los 3 criterios dado que son 3 variables por usar, y esta aplicación se muestra en la ecuación 7. (3.3.3).

Ecuación 7 (3.3.3). Desviación Estándar en los Criterios.

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}(X'_{ij} - u_i)^2}$$

Donde:

- σ_i es la desviación estándar para cada criterio i.
- u_i es el valor medio del criterio i.
- X'_{ij} es el valor normalizado.

A continuación, se muestra el paso para el cálculo de la desviación estándar de cada criterio, pseudocódigo principal realizado en MATLAB®.

```
1
2 % PSEUDOCODIGO APLICACION DE LA DESVIACION ESTANDAR EN
     LOS CRITERIOS.
3
4 %% PASO N05: Calculo de la desviacion estandar de cada
     criterio:
5 Desviacion_estandar = std(Matriz_Normalizada, 0, 2);
6 % NOTA: 0 para la desviacion estandar muestral, 2 para
     operar por filas.
```

3.3.4. Aplicación de la Matriz de Correlación.

Se aplica el criterio de la correlación de Pearson [18] para determinar la matriz de correlación con el fin de medir la dependencia entre los criterios, tal como se representa en la ecuación 8. (3.3.4).

Ecuación 8 (3.3.4). Matriz de Correlación.

$$r_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^{n}(X'_{ij} - u_i)(X'_{jk} - u_j)}{\sqrt{\sum_{k=1}^{n}(X'_{ij} - u_i)^2} \cdot \sqrt{\sum_{k=1}^{n}(X'_{jk} - u_j)^2}}$$

Donde:

- r_{ij} es la correlación entre los criterios i y j.

A continuación, se muestra el paso para el cálculo de la matriz de correlación entre criterios, pseudocódigo principal realizado en MATLAB®.

```
1
2 % PSEUDOCODIGO APLICACION DE LA MATRIZ DE CORRELACION.
3
4 %% PASO N06: Calculo de la matriz de correlacion entre
     criterios:
5 R = corrcoef(Matriz_Normalizada');
6 % NOTA: Transponemos para calcular la correlacion entre
     filas.
```

3.3.5. Cálculo de las Ponderaciones "Pesos" con el Método CRITIC.

Una vez determinada la desviación estándar y la matriz de correlación se procede a calcular las ponderaciones de cada criterio con la ecuación 9. (3.3.5).

Ecuación 9 (3.3.5). . Ponderaciones con el Método CRITIC.

$$w_i = \sigma_i . \sum_{j=1}^{m} 1 - r_{ij}$$

Donde:

- w_i es el peso del criterio i.
- σ_i es la desviación estándar del criterio i.
- r_{ij} es la correlación entre el criterio i y el criterio j.

A continuación, se muestra el paso para el cálculo de las ponderaciones usando CRITIC, pseudocódigo principal realizado en MATLAB®.

```
% PSEUDOCODIGO CALCULO DE LAS PONDERACIONES "PESOS" CON
   EL METODO CRITIC.

%% PASO N07: Calculo de las ponderaciones usando CRITIC:
Ponderacion = zeros(num_criterios,1);
for i = 1:num_criterios
    Ponderacion(i) = Desviacion_estandar(i) * sum(1 - R(
       i,:)); % Peso para cada criterio
end
```

3.3.6. Normalización de las Ponderaciones “Pesos”.

Una vez determinado los valores de las Ponderaciones “Pesos” se procede a normalizar con el fin de que la suma de estos pesos dé un valor de 1, tal como se representa en la ecuación 10. (3.3.6).

Ecuación 10 (3.3.6). Normalización de las Ponderaciones.

$$w_i^{'} = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^{m} w_i}$$

Donde:

- w_i es el peso de cada criterio normalizado.

A continuación, se muestra el paso para la normalización de las ponderaciones, pseudocódigo principal realizado en MATLAB®.

```
% PSEUDOCODIGO NORMALIZACION DE LAS PONDERACIONES "PESOS
   ".

%% PASO N08: Normalizacion de las ponderaciones:
Ponderacion_Normalizada = Ponderacion / sum(Ponderacion)
   ;
```

3.3.7. Cálculo por Escenario de las Sumas Ponderadas.

Se define la puntuación final de los escenarios mediante la multiplicación de los valores normalizados por los pesos ajustados, tal como se detalla en la ecuación 11. (3.3.7).

Ecuación 11 (3.3.7). Normalización de las Ponderaciones.

$$S_j = \sum_{i=1}^{m} X'_{ij} . w'_i$$

Donde:

- S_j es la puntuación del escenario j.

A continuación, se muestran los pasos para calcular las sumas ponderadas de los escenarios, pseudocódigo principal realizado en MATLAB®.

```
1
2  % PSEUDOCODIGO CALCULO POR ESCENARIO DE LAS SUMAS
       PONDERADAS.
3
4  %% PASO N09: Ajustar ponderaciones segun sea la
       preferencia:
5  % NOTA: Se asigna mas peso a la fila 2, luego 1 y 3.
6  % CRITERIO N1.
7  Ponderacion_Ajustada = Ponderacion_Normalizada;
8  Ponderacion_Ajustada(1) = 0.80;  % Peso para la fila 1 (
       perdidas en kilovatios).
9  Ponderacion_Ajustada(2) = 0.90;  % Peso para la fila 2 (
       desviacion de voltaje).
10 Ponderacion_Ajustada(3) = 0.30;  % Peso para la fila 3 (
       costos).
11
12 %% PASO N10: Normalizar nuevamente posterior al ajuste:
13 Ponderacion_Ajustada = Ponderacion_Ajustada / sum(
       Ponderacion_Ajustada);
14
15 %% PASO N11: Calcular las sumas ponderadas de los
       escenarios:
16 Sumas_Ponderadas = zeros(1, num_escenarios);
```

```
for i = 1:num_escenarios
    Sumas_Ponderadas(i) = sum(Matriz_Normalizada(:,i) .*
        Ponderacion_Ajustada);
end
```

3.3.8. Elección del Escenario Óptimo.

Para escoger el escenario óptimo se definide el criterio escogiendo el valor mínimo de la puntuación del escenario, es decir el valor más bajo sería el óptimo, y esta representación se detalla en la ecuación 12 (3.3.8).

Ecuación 12 (3.3.8). Elección del Escenario Óptimo.

$$E_{scenario} - G_{anador} \{ \text{Optimo} \} = \arg\min_j (S_j)$$

A continuación, se muestran los pasos para determinar el escenario ganador (mínimo valor), pseudocódigo principal realizado en MATLAB®.

```

% PSEUDOCODIGO ELECCION DEL ESCENARIO OPTIMO.

%% PASO N12: Determinar el escenario ganador (minimo
   valor):
[win_case, Escenario_Ganador] = min(Sumas_Ponderadas);

%% PASO N13: Determinar el escenario ganador (minimo
   valor):
disp("Las ponderaciones ajustadas son:");
disp(Ponderacion_Ajustada);
disp("Las sumas ponderadas para cada escenario son:");
disp(Sumas_Ponderadas);
disp(["El escenario ganador es: Escenario ", num2str(
   Escenario_Ganador)]);
```

Capítulo 4

CASO DE ESTUDIO EN DIGSILENT.

4.1. Descripción del “EDIFICIO AA”.

Para satisfacer la metodología del Proyecto “EDIFICIO AA”, se estableció una distribución de carga. este estudio analiza los cálculos detallados en las distintas áreas del edificio, las cuales se distribuyó de la siguiente manera:

- **Planta Baja:** Área comunes y servicios básicos del “EDIFICIO AA”.
- **Piso 1 a Piso 5:** En cada piso se ubican diversos residentes con diferentes cargas dependiendo si son de manera industrial o comercial.
- **Terraza:** Se estableció las cargas correspondientes a sistema de iluminación y sistemas de aires acondicionados.

Con respecto a los cálculos realizados en el apartado de Cálculo de carga, se logró diseñar en el programa de AUTOCAD el diagrama unifilar del Proyecto “EDIFICIO AA” expuesto en la figura 4.1, en el cual se visualiza los elementos estructurales, distribuciones de paneles, tramos de conexión y cargas definidas por pisos, cabe recalcar que para los tramos de conexión se emplea diversos valores de impedancia para los elementos de blindo-barras y cable convencional.

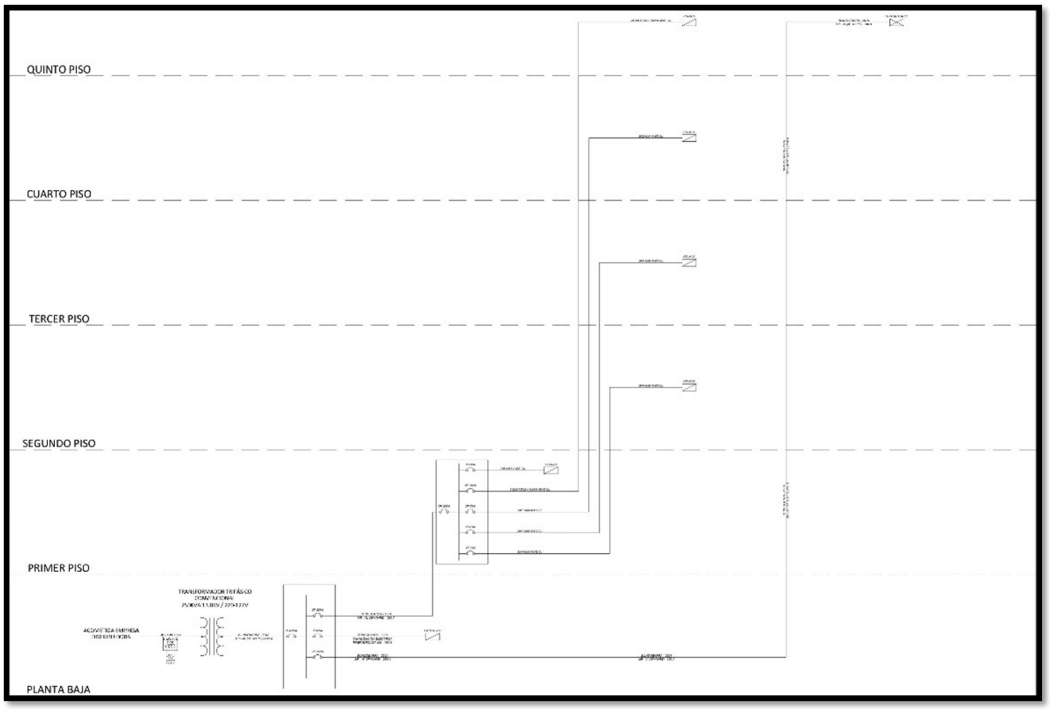


Figura 4.1: Diagrama Unifilar Base en el programa AUTOCAD. Fuente: Los Autores.

4.2. Diseño del Diagrama Unifilar en Power Factory DigSILENT.

Una vez realizado el cálculo de carga en la zona de estudio se procedió a realizar el diagrama unifilar base en el software de Ingeniería Power Factory DigSILENT tal como se presenta en la figura 4.2.

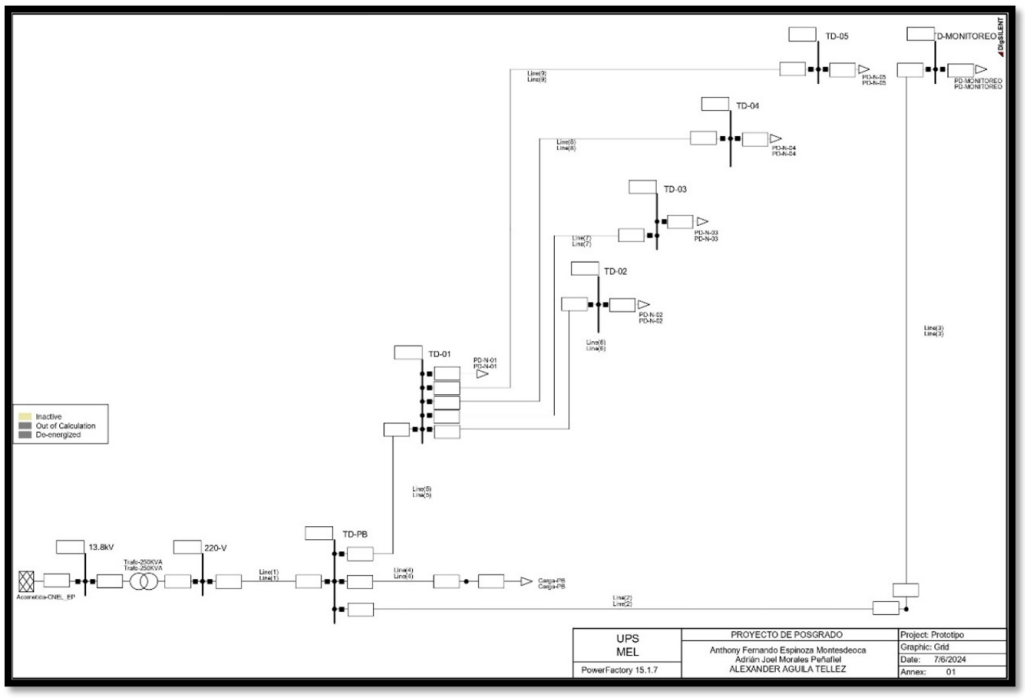


Figura 4.2: Diagrama Unifilar Base en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores.

El diagrama unifilar base realizado en Power Factory DigSILENT está compuesto por los siguientes apartados:

4.2.1. Acometida CNEL EP.

La entrada de la cometida con nivel de voltaje de 13.8 kV de la Corporación Nacional de Electricidad Empresa Pública CNEL-EP se la modeló mediante una “External Grid” con los parámetros y datos mostrados en la tabla 4.1.

Tabla 4.1: Parámetros y datos de la “External Grid” en el Diagrama Unifilar Base en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores.

Nombre	Terminal de conexión	Tipo de Barra	Punto de ajuste
Acometida-CNEL EP	Barra de 13.8 kV	PV	local

4.2.2. Barra de 13.8 kV.

La “External Grid” está conectada a una barra de 13.8 kV tal como se observa en la tabla 4.2 donde se muestra los datos básicos.

Tabla 4.2: Datos Básicos de la Barra de 13.8 kV en el Diagrama Unifilar Base en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores.

Nombre	Terminal de conexión	Tipo de sistema	Tecnología de Fases	Tipo de Uso	Voltaje Línea a Línea (kV)
13.8 kV	Barra de 13.8 kV	AC	ABC	Busbar	13.8

4.2.3. Transformador de 250 kVA.

El Transformador de 250 kVA con nivel de voltaje de 13.8/0.22 kV se la modelo mediante el elemento “2-Winding Transformer” con los datos básicos mostrados en la tabla 4.3.

Tabla 4.3: Datos Básicos del Transformador de 250 kVA con nivel de voltaje de 13.8/0.22 kV en el Diagrama Unifilar Base en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores.

Nombre	Trafo-250KVA
Transformadores en paralelo	1
Factor de calificación	1
Tecnología	Trifásico
Potencia (MVA)	0.25
Frecuencia (Hz)	60
Voltaje en alta (kV)	13.8
Voltaje en baja (kV)	0.22
Grupo Vectorial	YnYn0

4.2.4. Barra de 0.22 kV.

La salida del lado secundario 0.22 kV del Transformador de 250 kVA se conecta a una barra de 0.22 kV tal como se observa en la tabla 4.4 donde se muestra los datos básicos.

Tabla 4.4: Datos Básicos de la Barra de 0.22 kV en el Diagrama Unifilar Base en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores.

Nombre	**Terminal de conexión**	**Tipo de sistema**	**Tecnología de Fases**	**Tipo de Uso**	**Voltaje Línea a Línea (kV)**
220-V	Barra de 220-V	AC	ABC	Busbar	0.22

4.2.5. Tableros de Distribución y Carga.

En el cálculo del flujo de carga de la zona de estudio se representa 7 tableros, entre distribución y carga los cuales representan la distribución del conexionado entre tableros y sus respectivas cargas, estos tableros se describen en la tabla 4.5.

Tabla 4.5: Nombre de los tableros de distribución y carga. Fuente: Los Autores.

Nombre	Área	Descripción
TD-PB	Planta Baja	Tablero de distribución y carga en planta baja.
TD-01	Piso 1	Tablero de distribución y carga en el piso 1.
TD-02	Piso 2	Tablero de carga en el piso 2.
TD-03	Piso 3	Tablero de carga en el piso 3.
TD-04	Piso 4	Tablero de carga en el piso 4.
TD-05	Piso 5	Tablero de carga en el piso 5.
TD-MONITOREO	Piso 5	Tablero de carga en el piso 5.

El tablero de distribución y carga en planta baja (TD-PB) se modelo mediante una barra de 0.22 kV tal como se muestra en la tabla 4.6 donde se detalla los datos básicos.

Tabla 4.6: Datos Básicos del TD-PB a nivel de 0.22 kV en el Diagrama Unifilar Base en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores.

Nombre	Terminal de conexión	Tipo de sistema	Tecnología de Fases	Tipo de Uso	Voltaje Línea a Línea (kV)
TD-PB	Barra de TD-PB	AC	ABC	Busbar	0.22

El tablero de distribución y carga en el piso 1 (TD-01) se modelo mediante una barra de 0.22 kV tal como se detalla en la tabla 4.7 donde se muestra los datos básicos.

Tabla 4.7: Datos Básicos del TD-01 a nivel de 0.22 kV en el Diagrama Unifilar Base en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores.

Nombre	Terminal de conexión	Tipo de sistema	Tecnología de Fases	Tipo de Uso	Voltaje Línea a Línea (kV)
TD-01	Barra de TD-01	AC	ABC	Busbar	0.22

El tablero de carga en el piso 2 (TD-02) se modelo mediante una barra de

0.22 kV tal como se da a conocer en la tabla 4.8 donde se detalla los datos básicos.

Tabla 4.8: Datos Básicos del TD-02 a nivel de 0.22 kV en el Diagrama Unifilar Base en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores.

Nombre	Terminal de conexión	Tipo de sistema	Tecnología de Fases	Tipo de Uso	Voltaje Línea a Línea (kV)
TD-02	Barra de TD-02	AC	ABC	Busbar	0.22

El tablero de carga en el piso 3 (TD-03) se modelo mediante una barra de 0.22 kV tal como se presenta en la tabla 4.9 donde se muestra los datos básicos.

Tabla 4.9: Datos Básicos del TD-03 a nivel de 0.22 kV en el Diagrama Unifilar Base en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores.

Nombre	Terminal de conexión	Tipo de sistema	Tecnología de Fases	Tipo de Uso	Voltaje Línea a Línea (kV)
TD-03	Barra de TD-03	AC	ABC	Busbar	0.22

El tablero de carga en el piso 4 (TD-04) se modelo mediante una barra de 0.22 kV tal como se muestra en la tabla 4.10 donde se especifica los datos básicos.

Tabla 4.10: Datos Básicos del TD-04 a nivel de 0.22 kV en el Diagrama Unifilar Base en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores.

Nombre	Terminal de conexión	Tipo de sistema	Tecnología de Fases	Tipo de Uso	Voltaje Línea a Línea (kV)
TD-04	Barra de TD-04	AC	ABC	Busbar	0.22

El tablero de carga en el piso 5 (TD-05) se modelo mediante una barra de 0.22 kV tal como se detalla en la tabla 4.11 donde se muestra los datos básicos.

Tabla 4.11: Datos Básicos del TD-05 a nivel de 0.22 kV en el Diagrama Unifilar Base en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores.

Nombre	Terminal de conexión	Tipo de sistema	Tecnología de Fases	Tipo de Uso	Voltaje Línea a Línea (kV)
TD-05	Barra de TD-05	AC	ABC	Busbar	0.22

El tablero de carga en el piso 5 (TD-MONITOREO) se modelo mediante una barra de 0.22 kV tal como se da a conocer en la tabla 4.12 donde se detalla los datos básicos.

Tabla 4.12: Datos Básicos del TD- MONITOREO a nivel de 0.22 kV en el Diagrama Unifilar Base en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores.

Nombre	Terminal de conexión	Tipo de sistema	Tecnología de Fases	Tipo de Uso	Voltaje Línea a Línea (kV)
TD-MONITOREO	Barra de TD-MONITOREO	AC	ABC	Busbar	0.22

4.2.5.1. Nodo 1.

El Nodo 1 se modelo mediante una barra de 0.22 kV tal como se presenta en la tabla 4.13 donde se muestra los datos básicos.

Tabla 4.13: Datos Básicos del Nodo 1 a nivel de 0.22 kV en el Diagrama Unifilar Base en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores.

Nombre	Terminal de conexión	Tipo de sistema	Tecnología de Fases	Tipo de Uso	Voltaje Línea a Línea (kV)
Nodo-1	Barra de Nodo-1	AC	ABC	Busbar	0.22

4.2.5.2. Nodo 2.

El Nodo 2 se modelo mediante una barra de 0.22 kV tal como se exhibe en la tabla 4.14 donde se especifica los datos básicos.

Tabla 4.14: Datos Básicos del Nodo 2 a nivel de 0.22 kV en el Diagrama Unifilar Base en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores.

Nombre	Terminal de conexión	Tipo de sistema	Tecnología de Fases	Tipo de Uso	Voltaje Línea a Línea (kV)
Nodo-2	Barra de Nodo-2	AC	ABC	Busbar	0.22

4.2.6. Cargas.

En el cálculo del flujo de carga de la zona de estudio se representa 7 cargas las cuales se encuentran conectadas ya sea en; nodos, tableros de distribución por piso, estas cargas se encuentran detalladas en la tabla 4.15.

Tabla 4.15: Nombre de las cargas distribuidas en cada piso. Fuente: Los Autores.

Nombre	Área	Descripción
Carga-PB	Planta Baja	Carga en planta baja.
PD-N-01	Piso 1	Carga en el piso 1.
PD-N-02	Piso 2	Carga en el piso 2.
PD-N-03	Piso 3	Carga en el piso 3.
PD-N-04	Piso 4	Carga en el piso 4.
PD-N-05	Piso 5	Carga en el piso 5.
PD-MONITOREO	Piso 5	Carga en el piso 5.

4.2.6.1. Carga-PB.

Toda la carga total que se encuentra ubicada en la planta baja se la modelo mediante una “General Load” con los parámetros y datos mostrados en la tabla 4.16.

Tabla 4.16: Datos de la Carga-PB en el Diagrama Unifilar Base en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores.

Nombre	Modelo de entrada	Balanceado o Desbalanceado	Potencia Actica (MW)	Factor de Potencia	Voltaje en por unidad	Factor de escala
Carga-PB	P. cos(phi)	Balanceado	0.020909	0.92	1	1

Las cargas que están ubicadas en los 5 pisos y la terraza se detallan en la tabla 4.17, y los respaldos de los registros en el software Power Factory DigSILENT de cada carga se especifica en el Anexo D.

Tabla 4.17: Cargas definidas por cada piso. Fuente: Los Autores.

LUGAR	Nombre DS	Cargas finales agregadas en el DIgSILENT	
		[KW] con FC	[MW]
PISO-1	PD-N-01	10.675	0.0107
PISO-2	PD-N-02	17.472	0.0175
PISO-3	PD-N-03	17.262	0.0173
PISO-4	PD-N-04	17.234	0.0172
PISO-5	PD-N-05	25.011	0.0250
TERRAZA	PD-MONITOREO	61.901	0.0619

4.3. Tramos de conexión.

Una vez definido los elementos que conforman el Diseño del Diagrama Unifilar, así como sus cargas se procede a limitar los valores del metraje de los tramos de conexión, estos valores se encuentran detallados en la tabla 4.18. Las características técnicas de la impedancia de cada tramo de conexión varían de acuerdo con los escenarios propuestos.

Tabla 4.18: Valores definidos del metraje de cada tramo que conforma el Diseño del Diagrama Unifilar. Fuente: Los Autores.

Nombre DS	Metraje por tramo en metro	Metraje por tramo en km
line(1)	45	0.045
line(2)	25	0.025
line(3)	31	0.031
line(4)	10	0.01
line(5)	10	0.01
line(6)	12	0.012
line(7)	18	0.018
line(8)	24	0.024
line(9)	30	0.03

4.3.1. Primer Tramo.

El primer tramo del Diseño del Diagrama Unifilar en Power Factory DigSILENT conecta la Barra de 0.22 kV con la Barra del TD-PB, en la tabla 4.19 se detalla los parámetros del primer tramo.

Tabla 4.19: Parámetros del primer tramo en el Diagrama Unifilar Base en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores.

Nombre	Line(1)
Tipo	Línea de transmisión
Terminal inicial (i)	Barra de 220-V
Terminal final (j)	Barra de TD-PB
Líneas en paralelo	1
Longitud de la línea	0.045 (km)
Factor de reducción	1
Colocación	Tierra

Los respaldos de los registros en el software Power Factory DigSILENT de cada tramo de conexión se encuentran detallados en el Anexo E.

4.4. Escenarios Propuestos.

En el marco de este trabajo de titulación, se han diseñado 15 escenarios que serán simulados utilizando el software Power Factory DigSILENT. Estos escenarios tienen como objetivo evaluar el desempeño de las instalaciones eléctricas del Proyecto "EDIFICIO AA" bajo diferentes configuraciones de cableado y blindo-barras. A través de estas simulaciones, se obtendrán las variables críticas que permiten realizar un análisis detallado de cada opción de diseño, con el fin de identificar la solución óptima en términos de calidad, eficiencia y costos. Los 15 escenarios están configurados para cubrir un amplio rango de posibilidades, desde el uso exclusivo de blindo-barras o cableado convencional, hasta combinaciones estratégicas de ambos sistemas. Cada escenario está diseñado para explorar diferentes configuraciones, lo que permitirá evaluar cómo varían las variables clave en función de la arquitectura del sistema eléctrico propuesto, estos escenarios se muestran en la tabla 4.20.

Tabla 4.20: Descripción de los escenarios a simular. Fuente: Los Autores.

Escenarios	Descripción
Escenario 1	Uso exclusivo de blindo-barras para toda la distribución eléctrica del edificio.
Escenario 2	Uso exclusivo de cableado convencional en todas las instalaciones del edificio.
Escenarios 3 al 15	Combinaciones de blindo-barras y cableado convencional en distintas proporciones y áreas del edificio, adaptando el diseño a las necesidades específicas de cada piso y sección.

En cada uno de los escenarios propuestos, se simula y analiza las siguientes variables críticas:

- **Corriente:** Medición de la corriente en diferentes puntos del sistema, para asegurar que los conductores y blindo-barras operen dentro de sus límites seguros.

- **Desviación de Voltaje:** Análisis de la desviación de voltaje en los diferentes puntos de la instalación, con el fin de mantener la calidad del suministro eléctrico dentro de los márgenes permitidos.

- **Valor en Por Unidad del Voltaje en Cada Barra:** Evaluación del voltaje en cada barra del sistema en términos de su valor en por unidad (p.u.), lo que facilita la comparación y análisis de estabilidad.

- **Costos de Cada Escenario:** Estimación de los costos asociados a cada escenario, incluyendo tanto los costos de instalación como los costos operativos y de mantenimiento a lo largo del tiempo.

Cada escenario está simulado en Power Factory DigSILENT, la simulación permitirá obtener datos precisos sobre el comportamiento del sistema bajo cada configuración, proporcionando una base sólida para el análisis multicriterio que se realizará posteriormente.

- **Configuración de Parámetros:** Se establecerán los parámetros iniciales de cada escenario, incluyendo la topología del sistema, las características de las cargas, y los tipos de conductores o blindo-barras utilizados.

- **Ejecución de Simulaciones:** Las simulaciones se ejecutarán para obtener los resultados de las variables seleccionadas, como corriente, voltaje y costos.

- **Análisis de Resultados:** Se compararán los resultados obtenidos en cada escenario para identificar cuál ofrece el mejor rendimiento en términos de las variables clave. Esto incluirá una evaluación de los compromisos entre costo, eficiencia y calidad del suministro eléctrico.

El análisis de estos 15 escenarios aprobará identificar la combinación óptima de cableado convencional y blindo-barras que maximice la eficiencia y calidad del sistema eléctrico del Proyecto “EDIFICIO AA”, a un costo considerable. Los resultados de esta evaluación proporcionan una base sólida para tomar decisiones informadas sobre el diseño final del sistema, garantizando que cumpla con los objetivos técnicos y económicos planteados en este trabajo de titulación.

4.4.1. Primer Escenario.

En el Primer Escenario, se empleó la configuración de blindo-barras en todo el sistema de distribución eléctrica del Proyecto “EDIFICIO AA”. La simulación

de este escenario se muestra en la figura 4.3, donde se presenta el diagrama unifilar detallado del sistema eléctrico bajo esta configuración. Las variables tomadas en cuenta para esta configuración son; pérdidas de potencia activa, desviación de voltaje y costo total, los valores de las variables se exhiben en la tabla 4.21.

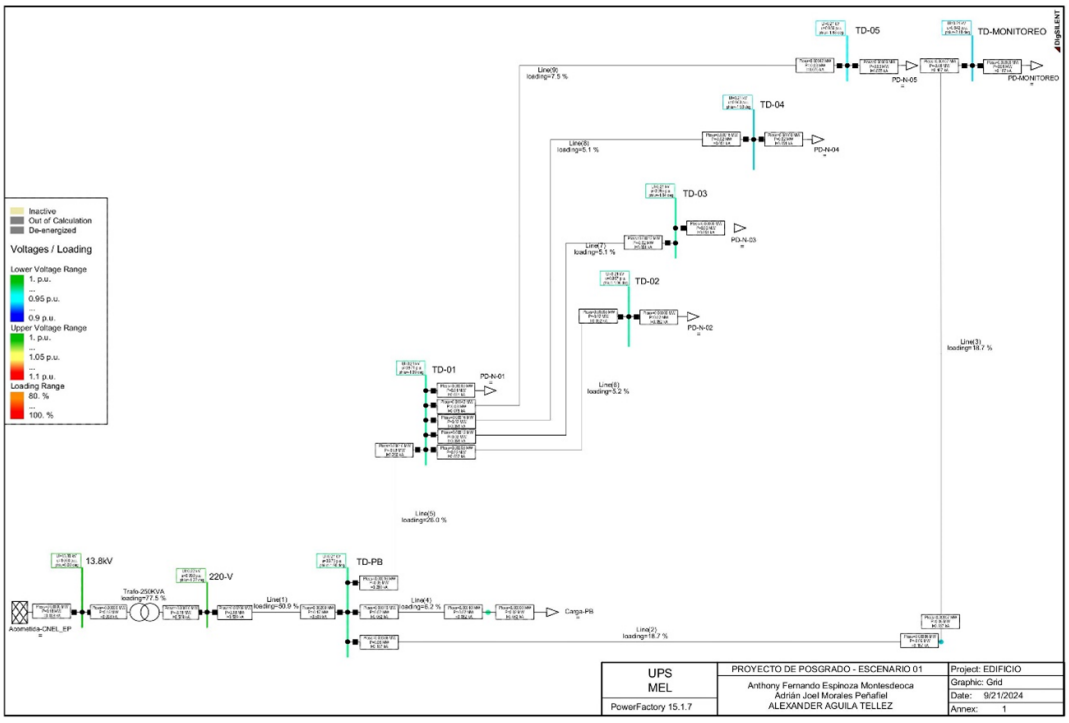


Figura 4.3: Primer Escenario evaluado en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores.

Tabla 4.21: Variables del Primer Escenario evaluado en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores.

Nombre en DigSILENT	Metraje por tramo en metro	Metraje por tramo en km	ESCENARIO N°1											
			Descripción	Referencia: Página Catálogo Ductos Barras Legrand	Resistencia de la Impedancia - Fases	Reactancia de la Impedancia - Fases	Resistencia de la Impedancia - Neutro	Reactancia de la Impedancia - Neutro	Corriente medida del tramo en DigSILENT (A)	Pérdidas en P. Activa en DigSILENT (KW)	Descripción de la Barra	Voltaje medido de la Barra en DigSILENT (pu)	Desv%	COSTO TOTAL ($)
line(1)	45	0.045	MR - AL (3P+N+PE) - 630 A	Pág. 70	0.060	0.097	0.060	0.097	509.000	2.090	13.8kV	1.000	0.00%	$ 7,635.19
line(2)	25	0.025	MR - Al (3P+N+PE) - 250 A	Pág. 70	0.328	0.202	0.328	0.202	187.000	0.860	220-V	0.990	1.00%	$ 2,120.89
line(3)	31	0.031	MR - Al (3P+N+PE) - 250 A	Pág. 70	0.328	0.202	0.328	0.202	187.000	1.070	TP-DB	0.973	2.70%	$ 2,629.90
line(4)	10	0.01	CANALIZACIÓN ELÉCTRICA PREFABRICADA MS - 100 A	Pág. 41	0.837	0.247	0.857	0.102	62.000	0.100	TD-01	0.971	2.90%	$ 448.36
line(5)	10	0.01	MR - AL (3P+N+PE) - 500 A	Pág. 70	0.077	0.110	0.077	0.110	260.000	0.160	TD-02	0.967	3.30%	$ 1,376.20
line(6)	12	0.012	CANALIZACIÓN ELÉCTRICA PREFABRICADA MS - 100 A	Pág. 41	0.837	0.247	0.857	0.102	52.000	0.080	TD-03	0.965	3.50%	$ 538.03
line(7)	18	0.018	CANALIZACIÓN ELÉCTRICA PREFABRICADA MS - 100 A	Pág. 41	0.837	0.247	0.857	0.102	51.000	0.120	TD-04	0.963	3.70%	$ 807.04
line(8)	24	0.024	CANALIZACIÓN ELÉCTRICA PREFABRICADA MS - 100 A	Pág. 41	0.837	0.247	0.857	0.102	51.000	0.160	TD-05	0.956	4.40%	$ 1,076.05
line(9)	30	0.03	CANALIZACIÓN ELÉCTRICA PREFABRICADA MS - 100 A	Pág. 41	0.837	0.247	0.857	0.102	75.000	0.420	TD-MONITOREO	0.942	5.80%	$ 1,345.07
TOTAL, DE LAS VARIABLES A USAR										5.060		0.9697	3.03%	$ 17,976.71

4.4.2. Segundo Escenario.

En el Segundo Escenario, se usó la configuración de cables convencionales en todo el sistema de distribución eléctrica del Proyecto “EDIFICIO AA”. Las variables tomadas en cuenta para esta configuración son; pérdidas de potencia activa, desviación de voltaje y costo total, los valores de las variables se exhiben en la tabla 4.22.

Tabla 4.22: Variables del Segundo Escenario evaluado en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores.

Nombre en DigSILENT	Metraje por tramo en metro	Metraje por tramo en km	ESCENARIO N°2											
			Descripción	Página de REFERENCIA	Resistencia de la Impedancia - Fases	Reactancia de la Impedancia - Fases	Resistencia de la Impedancia - Neutro	Reactancia de la Impedancia - Neutro	Corriente medida del tramo en DigSILENT (A)	Pérdidas en P. Activa en DigSILENT (KW)	Descripción de la Barra	Voltaje medido de la Barra en DigSILENT (pu)	Desv%	COSTO TOTAL ($)
line(1)	45	0.045	3 (3#350) + N#350 MCM Cu	Página 4 de 10	0.14100	0.13100	0.14100	0.13100	517.00000	5.09000	13.8kV	1.000	0.00%	$ 4,860.18
line(2)	25	0.025	3#2/0+N#1/0 AWG Cu	Página 4 de 10	0.32800	0.14100	0.42700	0.14400	190.00000	0.89000	220-V	0.990	1.00%	$ 957.82
line(3)	31	0.031	3#2/0+N#1/0 AWG Cu	Página 4 de 10	0.32800	0.14100	0.42700	0.14400	190.00000	1.11000	TP-DB	0.957	4.30%	$ 1,187.70
line(4)	10	0.01	3#4+N#6 AWG Cu	Página 4 de 10	1.02000	0.15700	1.61000	0.16700	63.00000	0.12000	TD-01	0.952	4.80%	$ 134.32
line(5)	10	0.01	3#4/0+N#4/0 AWG Cu	Página 4 de 10	0.21900	0.13500	0.21900	0.13500	264.00000	0.46000	TD-02	0.947	5.30%	$ 634.52
line(6)	12	0.012	3#4+N#6 AWG Cu	Página 4 de 10	1.02000	0.15700	1.61000	0.16700	53.00000	0.10000	TD-03	0.944	5.60%	$ 161.18
line(7)	18	0.018	3#4+N#6 AWG Cu	Página 4 de 10	1.02000	0.15700	1.61000	0.16700	52.00000	0.15000	TD-04	0.945	5.50%	$ 241.78
line(8)	24	0.024	3#2+N#4 AWG Cu	Página 4 de 10	0.65600	0.14800	1.02000	0.15700	52.00000	0.13000	TD-05	0.948	5.20%	$ 458.06
line(9)	30	0.03	3#250 MCM + N#4/0 AWG Cu	Página 4 de 10	0.18700	0.13500	0.21900	0.13500	75.00000	0.10000	TD-MONITOREO	0.927	7.30%	$ 2,480.64
TOTAL, DE LAS VARIABLES A USAR										8.15000		0.9567	4.33%	$ 11,116.21

4.4.3. Tercer Escenario.

En el Tercer Escenario, se empleó la configuración de combinación entre blindo barras y cables convencionales en todo el sistema de distribución eléctrica del Proyecto "EDIFICIO AA". Las variables tomadas en cuenta para esta configuración son; pérdidas de potencia activa, desviación de voltaje y costo total, los valores de las variables se exhiben en la tabla 4.23.

Tabla 4.23: Variables del Tercer Escenario evaluado en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores.

Nombre en DigSILENT	Metraje por tramo en metro	Metraje por tramo en km	ESCENARIO N°3											
			Descripción	Página de REFERENCIA	Resistencia de la Impedancia - Fases	Reactancia de la Impedancia - Fases	Resistencia de la Impedancia - Neutro	Reactancia de la Impedancia - Neutro	Corriente medida del tramo en DigSILENT (A)	Pérdidas en P. Activa en DigSILENT (KW)	Descripción de la Barra	Voltaje medido de la Barra en DigSILENT (pu)	Desv%	COSTO TOTAL ($)
line(1)	45	0.045	MR - AL (3P+N+PE) - 630 A	Pág. 70	0.060	0.097	0.06000	0.09700	508.00000	2.09000	13.8kV	1.000	0.00%	$ 7,635.19
line(2)	25	0.025	MR - Al (3P+N+PE) - 250 A	Pág. 70	0.328	0.202	0.32800	0.20200	187.00000	0.86000	220-V	0.990	1.00%	$ 2,120.89
line(3)	31	0.031	MR - Al (3P+N+PE) - 250 A	Pág. 70	0.328	0.202	0.32800	0.20200	187.00000	1.07000	TP-DB	0.974	2.60%	$ 2,629.90
line(4)	10	0.01	CANALIZACIÓN ELÉCTRICA PREFABRICADA MS - 100 A	Pág. 41	0.837	0.247	0.85700	0.10200	62.00000	0.10000	TD-01	0.971	2.90%	$ 448.36
line(5)	10	0.01	MR - AL (3P+N+PE) - 500 A	Pág. 70	0.077	0.110	0.07700	0.11000	259.00000	0.15000	TD-02	0.966	3.40%	$ 1,376.20
line(6)	12	0.012	3#4+N#6 AWG Cu	Página 4 de 10	0.65600	0.14800	1.02000	0.15700	52.00000	0.10000	TD-03	0.964	3.60%	$ 161.18
line(7)	18	0.018	3#4+N#6 AWG Cu	Página 4 de 10	0.65600	0.14800	1.02000	0.15700	51.00000	0.14000	TD-04	0.965	3.50%	$ 241.78
line(8)	24	0.024	3#2+N#4 AWG Cu	Página 4 de 10	0.42700	0.14400	0.65600	0.14800	51.00000	0.12000	TD-05	0.967	3.30%	$ 458.06
line(9)	30	0.03	3#250 MCM + N#4/0 AWG Cu	Página 4 de 10	0.14100	0.13100	0.18700	0.13500	74.00000	0.09000	TD-MONITOREO	0.942	5.80%	$ 2,480.64
TOTAL, DE LAS VARIABLES A USAR										4.720		0.9710	2.90%	$ 17,552.19

4.4.4. Cuarto Escenario.

En el Cuarto Escenario, se usó la configuración de combinación entre blindo barras y cables convencionales en todo el sistema de distribución eléctrica del Proyecto "EDIFICIO AA". Las variables tomadas en cuenta para esta configuración son; pérdidas de potencia activa, desviación de voltaje y costo total, los valores de las variables se exhiben en la tabla 4.24.

Tabla 4.24: Variables del Cuarto Escenario evaluado en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores.

Nombre en DigSILENT	Metraje por tramo en metro	Metraje por tramo en km	ESCENARIO Nº4											
			Descripción	Página de REFERENCIA	Resistencia de la Impedancia - Fases	Reactancia de la Impedancia - Fases	Resistencia de la Impedancia - Neutro	Reactancia de la Impedancia - Neutro	Corriente medida del tramo en DigSILENT (A)	Pérdidas en P. Activa en DigSILENT (KW)	Descripción de la Barra	Voltaje medido de la Barra en DigSILENT (pu)	Desv%	COSTO TOTAL ($)
line(1)	45	0.045	MR - AL (3P+N+PE) - 630 A	Pág. 70	0.060	0.097	0.06000	0.09700	508.00000	2.09000	13.8kV	1.000	0.00%	$ 7,635.19
line(2)	25	0.025	MR - Al (3P+N+PE) - 250 A	Pág. 70	0.328	0.202	0.32800	0.20200	187.00000	0.86000	220-V	0.990	1.00%	$ 2,120.89
line(3)	31	0.031	MR - Al (3P+N+PE) - 250 A	Pág. 70	0.328	0.202	0.32800	0.20200	187.00000	1.07000	TP-DB	0.973	2.70%	$ 2,629.90
line(4)	10	0.01	CANALIZACIÓN ELÉCTRICA PREFABRICADA MS - 100 A	Pág. 41	0.837	0.247	0.85700	0.10200	62.00000	0.10000	TD-01	0.968	3.20%	$ 448.36
line(5)	10	0.01	3#4/0+N#4/0 AWG Cu	Página 4 de 10	0.21900	0.13500	0.21900	0.13500	259.00000	0.44000	TD-02	0.963	3.70%	$ 634.52
line(6)	12	0.012	3#4+N#6 AWG Cu	Página 4 de 10	1.02000	0.15700	1.61000	0.16700	52.00000	0.10000	TD-03	0.961	3.90%	$ 161.18
line(7)	18	0.018	3#4+N#6 AWG Cu	Página 4 de 10	1.02000	0.15700	1.61000	0.16700	51.00000	0.14000	TD-04	0.962	3.80%	$ 241.78
line(8)	24	0.024	3#2+N#4 AWG Cu	Página 4 de 10	0.65600	0.14800	1.02000	0.15700	51.00000	0.12000	TD-05	0.964	3.60%	$ 458.06
line(9)	30	0.03	3#250 MCM + N#4/0 AWG Cu	Página 4 de 10	0.18700	0.13500	0.21900	0.13500	74.00000	0.09000	TD-MONITOREO	0.942	5.80%	$ 2,480.64
TOTAL, DE LAS VARIABLES A USAR										5.010		0.9692	3.08%	$ 16,810.52

4.4.5. Quinto Escenario.

En el Quinto Escenario, se empleó la configuración de combinación entre blindo barras y cables convencionales en todo el sistema de distribución eléctrica del Proyecto “EDIFICIO AA”. Las variables tomadas en cuenta para esta configuración son; pérdidas de potencia activa, desviación de voltaje y costo total, los valores de las variables se exhiben en la tabla 4.25.

Tabla 4.25: Variables del Quinto Escenario evaluado en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores.

Nombre en DigSILENT	Metraje por tramo en metro	Metraje por tramo en km	ESCENARIO Nº5											
			Descripción	Página de REFERENCIA	Resistencia de la Impedancia - Fases	Reactancia de la Impedancia - Fases	Resistencia de la Impedancia - Neutro	Reactancia de la Impedancia - Neutro	Corriente medida del tramo en DigSILENT (A)	Pérdidas en P. Activa en DigSILENT (KW)	Descripción de la Barra	Voltaje medido de la Barra en DigSILENT (pu)	Desv%	COSTO TOTAL ($)
line(1)	45	0.045	MR - AL (3P+N+PE) - 630 A	Pág. 70	0.060	0.097	0.06000	0.09700	508.00000	2.09000	13.8kV	1.000	0.00%	$ 7,635.19
line(2)	25	0.025	MR - Al (3P+N+PE) - 250 A	Pág. 70	0.328	0.202	0.32800	0.20200	187.00000	0.86000	220-V	0.990	1.00%	$ 2,120.89
line(3)	31	0.031	MR - Al (3P+N+PE) - 250 A	Pág. 70	0.328	0.202	0.32800	0.20200	187.00000	1.07000	TP-DB	0.973	2.70%	$ 2,629.90
line(4)	10	0.01	3#4+N#6 AWG Cu	Página 4 de 10	1.02000	0.15700	1.61000	0.16700	62.00000	0.12000	TD-01	0.968	3.20%	$ 134.32
line(5)	10	0.01	3#4/0+N#4/0 AWG Cu	Página 4 de 10	0.21900	0.13500	0.21900	0.13500	259.00000	0.44000	TD-02	0.963	3.70%	$ 634.52
line(6)	12	0.012	3#4+N#6 AWG Cu	Página 4 de 10	1.02000	0.15700	1.61000	0.16700	52.00000	0.10000	TD-03	0.961	3.90%	$ 161.18
line(7)	18	0.018	3#4+N#6 AWG Cu	Página 4 de 10	1.02000	0.15700	1.61000	0.16700	51.00000	0.14000	TD-04	0.962	3.80%	$ 241.78
line(8)	24	0.024	3#2+N#4 AWG Cu	Página 4 de 10	0.65600	0.14800	1.02000	0.15700	51.00000	0.12000	TD-05	0.964	3.60%	$ 458.06
line(9)	30	0.03	3#250 MCM + N#4/0 AWG Cu	Página 4 de 10	0.18700	0.13500	0.21900	0.13500	74.00000	0.09000	TD-MONITOREO	0.942	5.80%	$ 2,480.64
TOTAL, DE LAS VARIABLES A USAR										5.030		0.9692	3.08%	$ 16,496.48

4.4.6. Sexto Escenario.

En el Sexto Escenario, se usó la configuración de combinación entre blindo barras y cables convencionales en todo el sistema de distribución eléctrica del Proyecto “EDIFICIO AA”. Las variables tomadas en cuenta para esta configuración son; pérdidas de potencia activa, desviación de voltaje y costo total, los valores de las variables se exhiben en la tabla 4.26.

Tabla 4.26: Variables del Sexto Escenario evaluado en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores.

Nombre en DigSILENT	Metraje por tramo en metro	Metraje por tramo en km	ESCENARIO N°6											
			Descripción	Página de REFERENCIA	Resistencia de la Impedancia - Fases	Reactancia de la Impedancia - Fases	Resistencia de la Impedancia - Neutro	Reactancia de la Impedancia - Neutro	Corriente medida del tramo en DigSILENT (A)	Pérdidas en P. Activa en DigSILENT (KW)	Descripción de la Barra	Voltaje medido de la Barra en DigSILENT (pu)	Desv%	COSTO TOTAL ($)
line(1)	45	0.045	MR - AL (3P+N+PE) - 630 A	Pág. 70	0.060	0.097	0.06000	0.09700	508.000	2.09000	13.8kV	1.000	0.00%	$ 7,635.19
line(2)	25	0.025	MR - Al (3P+N+PE) - 250 A	Pág. 70	0.328	0.202	0.32800	0.20200	187.000	0.86000	220-V	0.990	1.00%	$ 2,120.89
line(3)	31	0.031	3#2/0+N#1/0 AWG Cu	Página 4 de 10	0.32800	0.14100	0.42700	0.14400	187.00000	1.07000	TP-DB	0.974	2.60%	$ 1,187.70
line(4)	10	0.01	3#4+N#6 AWG Cu	Página 4 de 10	1.02000	0.15700	1.61000	0.16700	62.00000	0.12000	TD-01	0.968	3.20%	$ 134.32
line(5)	10	0.01	3#4/0+N#4/0 AWG Cu	Página 4 de 10	0.21900	0.13500	0.21900	0.13500	259.00000	0.44000	TD-02	0.963	3.70%	$ 634.52
line(6)	12	0.012	3#4+N#6 AWG Cu	Página 4 de 10	1.02000	0.15700	1.61000	0.16700	52.00000	0.10000	TD-03	0.961	3.90%	$ 161.18
line(7)	18	0.018	3#4+N#6 AWG Cu	Página 4 de 10	1.02000	0.15700	1.61000	0.16700	51.00000	0.14000	TD-04	0.962	3.80%	$ 241.78
line(8)	24	0.024	3#2+N#4 AWG Cu	Página 4 de 10	0.65600	0.14800	1.02000	0.15700	51.00000	0.12000	TD-05	0.964	3.60%	$ 458.06
line(9)	30	0.03	3#250 MCM + N#4/0 AWG Cu	Página 4 de 10	0.18700	0.13500	0.21900	0.13500	74.00000	0.09000	TD-MONITOREO	0.943	5.70%	$ 2,480.64
TOTAL, DE LAS VARIABLES A USAR										5.030		0.9694	3.06%	$ 15,054.28

4.4.7. Séptimo Escenario.

En el Séptimo Escenario, se empleó la configuración de combinación entre blindo barras y cables convencionales en todo el sistema de distribución eléctrica del Proyecto “EDIFICIO AA”. Las variables tomadas en cuenta para esta configuración son; pérdidas de potencia activa, desviación de voltaje y costo total, los valores de las variables se exhiben en la tabla 4.27.

Tabla 4.27: Variables del Séptimo Escenario evaluado en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores.

Nombre en DigSILENT	Metraje por tramo en metro	Metraje por tramo en km	ESCENARIO N°7											
			Descripción	Página de REFERENCIA	Resistencia de la Impedancia - Fases	Reactancia de la Impedancia - Fases	Resistencia de la Impedancia - Neutro	Reactancia de la Impedancia - Neutro	Corriente medida del tramo en DigSILENT (A)	Pérdidas en P. Activa en DigSILENT (KW)	Descripción de la Barra	Voltaje medido de la Barra en DigSILENT (pu)	Desv%	COSTO TOTAL ($)
line(1)	45	0.045	MR - AL (3P+N+PE) - 630 A	Pág. 70	0.060	0.097	0.06000	0.09700	508.00000	2.09000	13.8kV	1.000	0.00%	$ 7,635.19
line(2)	25	0.025	3#2/0+N#1/0 AWG Cu	Página 4 de 10	0.32800	0.14100	0.42700	0.14400	187.00000	0.86000	220-V	0.990	1.00%	$ 957.82
line(3)	31	0.031	3#2/0+N#1/0 AWG Cu	Página 4 de 10	0.32800	0.14100	0.42700	0.14400	187.00000	1.07000	TP-DB	0.974	2.60%	$ 1,187.70
line(4)	10	0.01	3#4+N#6 AWG Cu	Página 4 de 10	1.02000	0.15700	1.61000	0.16700	62.00000	0.12000	TD-01	0.968	3.20%	$ 134.32
line(5)	10	0.01	3#4/0+N#4/0 AWG Cu	Página 4 de 10	0.21900	0.13500	0.21900	0.13500	259.00000	0.44000	TD-02	0.963	3.70%	$ 634.52
line(6)	12	0.012	3#4+N#6 AWG Cu	Página 4 de 10	1.02000	0.15700	1.61000	0.16700	52.00000	0.10000	TD-03	0.961	3.90%	$ 161.18
line(7)	18	0.018	3#4+N#6 AWG Cu	Página 4 de 10	1.02000	0.15700	1.61000	0.16700	51.00000	0.14000	TD-04	0.962	3.80%	$ 241.78
line(8)	24	0.024	3#2+N#4 AWG Cu	Página 4 de 10	0.65600	0.14800	1.02000	0.15700	51.00000	0.12000	TD-05	0.964	3.60%	$ 458.06
line(9)	30	0.03	3#250 MCM + N#4/0 AWG Cu	Página 4 de 10	0.18700	0.13500	0.21900	0.13500	74.00000	0.09000	TD-MONITOREO	0.944	5.60%	$ 2,480.64
TOTAL, DE LAS VARIABLES A USAR										5.030		0.9696	3.04%	$ 13,891.22

4.4.8. Octavo Escenario.

En el Octavo Escenario, se usó la configuración de combinación entre blindo barras y cables convencionales en todo el sistema de distribución eléctrica del Proyecto “EDIFICIO AA”. Las variables tomadas en cuenta para esta configuración son; pérdidas de potencia activa, desviación de voltaje y costo total, los valores de las variables se exhiben en la tabla 4.28.

Tabla 4.28: Variables del Octavo Escenario evaluado en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores.

Nombre en DigSILENT	Metraje por tramo en metro	Metraje por tramo en km	ESCENARIO N°8											
			Descripción	Página de REFERENCIA	Resistencia de la Impedancia - Fases	Reactancia de la Impedancia - Fases	Resistencia de la Impedancia - Neutro	Reactancia de la Impedancia - Neutro	Corriente medida del tramo en DigSILENT (A)	Pérdidas en P. Activa en DigSILENT (KW)	Descripción de la Barra	Voltaje medido de la Barra en DigSILENT (pu)	Desv%	COSTO TOTAL ($)
line(1)	45	0.045	MR - AL (3P+N+PE) - 630 A	Pág. 70	0.060	0.097	0.06000	0.09700	508.00000	2.09000	13.8kV	1.000	0.00%	$ 7,635.19
line(2)	25	0.025	MR - Al (3P+N+PE) - 250 A	Pág. 70	0.328	0.202	0.32800	0.20200	187.00000	0.86000	220-V	0.990	1.00%	$ 2,120.89
line(3)	31	0.031	3#2/0+N#1/0 AWG Cu	Página 4 de 10	0.32800	0.14100	0.42700	0.14400	187.00000	1.07000	TP-DB	0.974	2.60%	$ 1,187.70
line(4)	10	0.01	3#4+N#6 AWG Cu	Página 4 de 10	1.02000	0.15700	1.61000	0.16700	62.00000	0.12000	TD-01	0.971	2.90%	$ 134.32
line(5)	10	0.01	MR - AL (3P+N+PE) - 500 A	Pág. 70	0.077	0.110	0.07700	0.11000	260.00000	0.16000	TD-02	0.967	3.30%	$ 1,376.20
line(6)	12	0.012	CANALIZACIÓN ELÉCTRICA PREFABRICADA MS - 100 A	Pág. 41	0.837	0.247	0.85700	0.10200	52.00000	0.08000	TD-03	0.964	3.60%	$ 538.03
line(7)	18	0.018	3#4+N#6 AWG Cu	Página 4 de 10	1.02000	0.15700	1.61000	0.16700	51.00000	0.14000	TD-04	0.963	3.70%	$ 241.78
line(8)	24	0.024	CANALIZACIÓN ELÉCTRICA PREFABRICADA MS - 100 A	Pág. 41	0.837	0.247	0.85700	0.10200	51.00000	0.16000	TD-05	0.956	4.40%	$ 1,210.56
line(9)	30	0.03	CANALIZACIÓN ELÉCTRICA PREFABRICADA MS - 100 A	Pág. 41	0.837	0.247	0.85700	0.10200	75.00000	0.42000	TD-MONITOREO	0.943	5.70%	$ 1,569.24
TOTAL, DE LAS VARIABLES A USAR										5.100		0.9698	3.02%	$ 16,013.90

4.4.9. Noveno Escenario.

En el Noveno Escenario, se empleó la configuración de combinación entre blindo barras y cables convencionales en todo el sistema de distribución eléctrica del Proyecto “EDIFICIO AA”. Las variables tomadas en cuenta para esta configuración son; pérdidas de potencia activa, desviación de voltaje y costo total, los valores de las variables se exhiben en la tabla 4.29.

Tabla 4.29: Variables del Noveno Escenario evaluado en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores.

Nombre en DigSILENT	Metraje por tramo en metro	Metraje por tramo en km	ESCENARIO N°9											
			Descripción	Página de REFERENCIA	Resistencia de la Impedancia - Fases	Reactancia de la Impedancia - Fases	Resistencia de la Impedancia - Neutro	Reactancia de la Impedancia - Neutro	Corriente medida del tramo en DigSILENT (A)	Pérdidas en P. Activa en DigSILENT (KW)	Descripción de la Barra	Voltaje medido de la Barra en DigSILENT (pu)	Desv%	COSTO TOTAL ($)
line(1)	45	0.045	MR - AL (3P+N+PE) - 630 A	Pág. 70	0.060	0.097	0.06000	0.09700	509.00000	2.10000	13.8kV	1.000	0.00%	$ 7,635.19
line(2)	25	0.025	MR - Al (3P+N+PE) - 250 A	Pág. 70	0.328	0.202	0.32800	0.20200	187.00000	0.86000	220-V	0.990	1.00%	$ 2,120.89
line(3)	31	0.031	MR - Al (3P+N+PE) - 250 A	Pág. 70	0.328	0.202	0.32800	0.20200	187.00000	1.07000	TP-DB	0.973	2.70%	$ 2,629.90
line(4)	10	0.01	3#4+N#6 AWG Cu	Página 4 de 10	1.02000	0.15700	1.61000	0.16700	62.00000	0.12000	TD-01	0.968	3.20%	$ 134.32
line(5)	10	0.01	3#4/0+N#4/0 AWG Cu	Página 4 de 10	0.21900	0.13500	0.21900	0.13500	260.00000	0.45000	TD-02	0.963	3.70%	$ 634.52
line(6)	12	0.012	3#4+N#6 AWG Cu	Página 4 de 10	1.02000	0.15700	1.61000	0.16700	52.00000	0.10000	TD-03	0.962	3.80%	$ 161.18
line(7)	18	0.018	CANALIZACIÓN ELÉCTRICA PREFABRICADA MS - 100 A	Pág. 41	0.837	0.247	0.85700	0.10200	51.00000	0.12000	TD-04	0.960	4.00%	$ 807.04
line(8)	24	0.024	CANALIZACIÓN ELÉCTRICA PREFABRICADA MS - 100 A	Pág. 41	0.837	0.247	0.85700	0.10200	51.00000	0.16000	TD-05	0.953	4.70%	$ 1,076.05
line(9)	30	0.03	CANALIZACIÓN ELÉCTRICA PREFABRICADA MS - 100 A	Pág. 41	0.837	0.247	0.85700	0.10200	75.00000	0.42000	TD-MONITOREO	0.942	5.80%	$ 1,345.07
TOTAL, DE LAS VARIABLES A USAR										5.400		0.9679	3.21%	$ 16,544.16

4.4.10. Décimo Escenario.

En el Décimo Escenario, se usó la configuración de combinación entre blindo barras y cables convencionales en todo el sistema de distribución eléctrica del Proyecto “EDIFICIO AA”. Las variables tomadas en cuenta para esta configuración son; pérdidas de potencia activa, desviación de voltaje y costo total, los valores de las variables se exhiben en la tabla 4.30.

Tabla 4.30: Variables del Décimo Escenario evaluado en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores.

Nombre en DigSILENT	Metraje por tramo en metro	Metraje por tramo en km	ESCENARIO N°10											
			Descripción	Página de REFERENCIA	Resistencia de la Impedancia - Fases	Reactancia de la Impedancia - Fases	Resistencia de la Impedancia - Neutro	Reactancia de la Impedancia - Neutro	Corriente medida del tramo en DigSILENT (A)	Pérdidas en P. Activa en DigSILENT (KW)	Descripción de la Barra	Voltaje medido de la Barra en DigSILENT (pu)	Desv%	COSTO TOTAL ($)
line(1)	45	0.045	MR - AL (3P+N+PE) - 630 A	Pág. 70	0.060	0.097	0.060	0.097	509.000	2.100	13.8kV	1.000	0.00%	$ 7,635.19
line(2)	25	0.025	MR - Al (3P+N+PE) - 250 A	Pág. 70	0.328	0.202	0.328	0.202	187.000	0.860	220-V	0.990	1.00%	$ 2,120.89
line(3)	31	0.031	MR - Al (3P+N+PE) - 250 A	Pág. 70	0.328	0.202	0.328	0.202	187.000	1.070	TP-DB	0.973	2.70%	$ 2,629.90
line(4)	10	0.01	CANALIZACIÓN ELÉCTRICA PREFABRICADA MS - 100 A	Pág. 41	0.837	0.247	0.857	0.102	62.000	0.100	TD-01	0.968	3.20%	$ 448.36
line(5)	10	0.01	3#4/0+N#4/0 AWG Cu	Página 4 de 10	0.21900	0.13500	0.21900	0.13500	260.00000	0.45000	TD-02	0.964	3.60%	$ 634.52
line(6)	12	0.012	CANALIZACIÓN ELÉCTRICA PREFABRICADA MS - 100 A	Pág. 41	0.837	0.247	0.857	0.102	52.000	0.080	TD-03	0.962	3.80%	$ 538.03
line(7)	18	0.018	CANALIZACIÓN ELÉCTRICA PREFABRICADA MS - 100 A	Pág. 41	0.837	0.247	0.857	0.102	51.000	0.120	TD-04	0.960	4.00%	$ 807.04
line(8)	24	0.024	CANALIZACIÓN ELÉCTRICA PREFABRICADA MS - 100 A	Pág. 41	0.837	0.247	0.857	0.102	51.000	0.160	TD-05	0.953	4.70%	$ 1,076.05
line(9)	30	0.03	CANALIZACIÓN ELÉCTRICA PREFABRICADA MS - 100 A	Pág. 41	0.837	0.247	0.857	0.102	75.000	0.420	TD-MONITOREO	0.942	5.80%	$ 1,345.07
TOTAL, DE LAS VARIABLES A USAR										5.360		0.9680	3.20%	$ 17,235.04

4.4.11. Décimo Primer Escenario.

En el Décimo Primer Escenario, se empleó la configuración de combinación entre blindo barras y cables convencionales en todo el sistema de distribución eléctrica del Proyecto “EDIFICIO AA”. Las variables tomadas en cuenta para esta configuración son; pérdidas de potencia activa, desviación de voltaje y costo total, los valores de las variables se exhiben en la tabla 4.31.

Tabla 4.31: Variables del Décimo Primer Escenario evaluado en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores.

Nombre en DigSILENT	Metraje por tramo en metro	Metraje por tramo en km	ESCENARIO N°11											
			Descripción	Página de REFERENCIA	Resistencia de la Impedancia - Fases	Reactancia de la Impedancia - Fases	Resistencia de la Impedancia - Neutro	Reactancia de la Impedancia - Neutro	Corriente medida del tramo en DigSILENT (A)	Pérdidas en P. Activa en DigSILENT (KW)	Descripción de la Barra	Voltaje medido de la Barra en DigSILENT (pu)	Desv%	COSTO TOTAL ($)
line(1)	45	0.045	MR - AL (3P+N+PE) - 630 A	Pág. 70	0.060	0.097	0.060	0.097	508.000	2.090	13.8kV	1.000	0.00%	$ 7,635.19
line(2)	25	0.025	3#2/0+N#1/0 AWG Cu	Página 4 de 10	0.328	0.141	0.427	0.144	187.000	0.860	220-V	0.990	1.00%	$ 957.82
line(3)	31	0.031	MR - Al (3P+N+PE) - 250 A	Pág. 70	0.328	0.202	0.328	0.202	187.000	1.070	TP-DB	0.974	2.60%	$ 2,629.90
line(4)	10	0.01	3#4+N#6 AWG Cu	Página 4 de 10	1.020	0.157	1.610	0.167	62.000	0.120	TD-01	0.971	2.90%	$ 134.32
line(5)	10	0.01	MR - AL (3P+N+PE) - 500 A	Pág. 70	0.07700	0.11000	0.07700	0.11000	260.00000	0.16000	TD-02	0.966	3.40%	$ 1,376.20
line(6)	12	0.012	3#4+N#6 AWG Cu	Página 4 de 10	1.020	0.157	1.610	0.167	52.000	0.100	TD-03	0.965	3.50%	$ 161.18
line(7)	18	0.018	CANALIZACIÓN ELÉCTRICA PREFABRICADA MS - 100 A	Pág. 41	0.837	0.247	0.857	0.102	51.000	0.120	TD-04	0.965	3.50%	$ 807.04
line(8)	24	0.024	3#2+N#4 AWG Cu	Página 4 de 10	0.656	0.148	1.020	0.157	51.000	0.120	TD-05	0.956	4.40%	$ 458.06
line(9)	30	0.03	CANALIZACIÓN ELÉCTRICA PREFABRICADA MS - 100 A	Pág. 41	0.837	0.247	0.857	0.102	75.000	0.420	TD-MONITOREO	0.943	5.70%	$ 1,345.07
TOTAL, DE LAS VARIABLES A USAR										5.060		0.9700	3.00%	$ 15,504.78

4.4.12. Décimo Segundo Escenario.

En el Décimo Segundo Escenario, se usó la configuración de combinación entre blindo barras y cables convencionales en todo el sistema de distribución eléctrica del Proyecto "EDIFICIO AA". Las variables tomadas en cuenta para esta configuración son; pérdidas de potencia activa, desviación de voltaje y costo total, los valores de las variables se exhiben en la tabla 4.32.

Tabla 4.32: Variables del Décimo Segundo Escenario evaluado en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores.

Nombre en DigSILENT	Metraje por tramo en metro	Metraje por tramo en km	ESCENARIO N°12											
			Descripción	Página de REFERENCIA	Resistencia de la Impedancia - Fases	Reactancia de la Impedancia - Fases	Resistencia de la Impedancia - Neutro	Reactancia de la Impedancia - Neutro	Corriente medida del tramo en DigSILENT (A)	Pérdidas en P. Activa en DigSILENT (KW)	Descripción de la Barra	Voltaje medido de la Barra en DigSILENT (pu)	Desv%	COSTO TOTAL ($)
line(1)	45	0.045	3 (3#350) + N#350 MCM Cu	Página 4 de 10	0.141	0.131	0.141	0.131	517.000	5.090	13.8kV	1.000	0.00%	$ 4,860.18
line(2)	25	0.025	MR - Al (3P+N+PE) - 250 A	Pág. 70	0.328	0.202	0.328	0.202	191.000	0.890	220-V	0.990	1.00%	$ 2,120.89
line(3)	31	0.031	3#2/0+N#1/0 AWG Cu	Página 4 de 10	0.328	0.141	0.427	0.144	191.000	1.110	TP-DB	0.957	4.30%	$ 1,187.70
line(4)	10	0.01	CANALIZACIÓN ELÉCTRICA PREFABRICADA MS - 100 A	Pág. 41	0.837	0.247	0.857	0.102	63.000	0.100	TD-01	0.952	4.80%	$ 448.36
line(5)	10	0.01	3#4/0+N#4/0 AWG Cu	Página 4 de 10	0.21900	0.13500	0.21900	0.13500	264.00000	0.46000	TD-02	0.947	5.30%	$ 634.52
line(6)	12	0.012	CANALIZACIÓN ELÉCTRICA PREFABRICADA MS - 100 A	Pág. 41	0.837	0.247	0.857	0.102	53.000	0.080	TD-03	0.944	5.60%	$ 538.03
line(7)	18	0.018	3#4+N#6 AWG Cu	Página 4 de 10	1.020	0.157	1.610	0.167	52.000	0.150	TD-04	0.944	5.60%	$ 241.78
line(8)	24	0.024	CANALIZACIÓN ELÉCTRICA PREFABRICADA MS - 100 A	Pág. 41	0.837	0.247	0.857	0.102	52.000	0.160	TD-05	0.948	5.20%	$ 1,076.05
line(9)	30	0.03	3#250 MCM + N#4/0 AWG Cu	Página 4 de 10	0.187	0.135	0.219	0.135	75.000	0.100	TD-MONITOREO	0.926	7.40%	$ 2,480.64
TOTAL, DE LAS VARIABLES A USAR										8.140		0.9564	4.36%	$ 13,588.14

4.4.13. Décimo Tercer Escenario.

En el Décimo Tercer Escenario, se empleó la configuración de combinación entre blindo barras y cables convencionales en todo el sistema de distribución eléctrica del Proyecto "EDIFICIO AA". Las variables tomadas en cuenta para esta configuración son; pérdidas de potencia activa, desviación de voltaje y costo total, los valores de las variables se exhiben en la tabla 4.33.

Tabla 4.33: Variables del Décimo Tercer Escenario evaluado en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores.

Nombre en DigSILENT	Metraje por tramo en metro	Metraje por tramo en km	ESCENARIO N°13											
			Descripción	Página de REFERENCIA	Resistencia de la Impedancia - Fases	Reactancia de la Impedancia - Fases	Resistencia de la Impedancia - Neutro	Reactancia de la Impedancia - Neutro	Corriente medida del tramo en DigSILENT (A)	Pérdidas en P. Activa en DigSILENT (KW)	Descripción de la Barra	Voltaje medido de la Barra en DigSILENT (pu)	Desv%	COSTO TOTAL ($)
line(1)	45	0.045	3 (3#350) + N#350 MCM Cu	Página 4 de 10	0.141	0.131	0.141	0.131	516.000	5.070	13.8kV	1.000	0.00%	$ 4,860.18
line(2)	25	0.025	3#2/0+N#1/0 AWG Cu	Página 4 de 10	0.328	0.141	0.427	0.144	190.000	0.890	220-V	0.990	1.00%	$ 957.82
line(3)	31	0.031	3#2/0+N#1/0 AWG Cu	Página 4 de 10	0.328	0.141	0.427	0.144	190.000	1.110	TP-DB	0.957	4.30%	$ 1,187.70
line(4)	10	0.01	CANALIZACIÓN ELÉCTRICA PREFABRICADA MS - 100 A	Pág. 41	0.837	0.247	0.857	0.102	63.000	0.100	TD-01	0.955	4.50%	$ 448.36
line(5)	10	0.01	MR - AL (3P+N+PE) - 500 A	Pág. 70	0.07700	0.11000	0.07700	0.11000	263.00000	0.16000	TD-02	0.950	5.00%	$ 1,376.20
line(6)	12	0.012	CANALIZACIÓN ELÉCTRICA PREFABRICADA MS - 100 A	Pág. 41	0.837	0.247	0.857	0.102	52.000	0.080	TD-03	0.947	5.30%	$ 538.03
line(7)	18	0.018	3#4+N#6 AWG Cu	Página 4 de 10	1.020	0.157	1.610	0.167	52.000	0.150	TD-04	0.948	5.20%	$ 241.78
line(8)	24	0.024	3#2+N#4 AWG Cu	Página 4 de 10	0.656	0.148	1.020	0.157	52.000	0.130	TD-05	0.951	4.90%	$ 458.06
line(9)	30	0.03	3#250 MCM + N#4/0 AWG Cu	Página 4 de 10	0.187	0.135	0.219	0.135	75.000	0.090	TD-MONITOREO	0.927	7.30%	$ 2,480.64
TOTAL, DE LAS VARIABLES A USAR										7.780		0.9583	4.17%	$ 12,548.76

4.4.14. Décimo Cuarto Escenario.

En el Décimo Cuarto Escenario, se usó la configuración de combinación entre blindo barras y cables convencionales en todo el sistema de distribución eléctrica del Proyecto "EDIFICIO AA". Las variables tomadas en cuenta para esta configuración son; pérdidas de potencia activa, desviación de voltaje y costo total, los valores de las variables se exhiben en la tabla 4.34.

Tabla 4.34: Variables del Décimo Cuarto Escenario evaluado en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores.

Nombre en DigSILENT	Metraje por tramo en metro	Metraje por tramo en km	ESCENARIO N°14											
			Descripción	Página de REFERENCIA	Resistencia de la Impedancia - Fases	Reactancia de la Impedancia - Fases	Resistencia de la Impedancia - Neutro	Reactancia de la Impedancia - Neutro	Corriente medida del tramo en DigSILENT (A)	Pérdidas en P. Activa en DigSILENT (KW)	Descripción de la Barra	Voltaje medido de la Barra en DigSILENT (pu)	Desv%	COSTO TOTAL ($)
line(1)	45	0.045	3 (3#350) + N#350 MCM Cu	Página 4 de 10	0.141	0.131	0.141	0.131	516.000	5.070	13.8kV	1.000	0.00%	$ 4,860.18
line(2)	25	0.025	3#2/0+N#1/0 AWG Cu	Página 4 de 10	0.328	0.141	0.427	0.144	190.000	0.890	220-V	0.990	1.00%	$ 957.82
line(3)	31	0.031	3#2/0+N#1/0 AWG Cu	Página 4 de 10	0.328	0.141	0.427	0.144	190.000	1.110	TP-DB	0.957	4.30%	$ 1,187.70
line(4)	10	0.01	3#4+N#6 AWG Cu	Página 4 de 10	1.020	0.157	1.610	0.167	63.000	0.120	TD-01	0.955	4.50%	$ 134.32
line(5)	10	0.01	MR - AL (3P+N+PE) - 500 A	Pág. 70	0.07700	0.11000	0.07700	0.11000	263.00000	0.16000	TD-02	0.950	5.00%	$ 1,376.20
line(6)	12	0.012	3#4+N#6 AWG Cu	Página 4 de 10	1.020	0.157	1.610	0.167	52.000	0.100	TD-03	0.947	5.30%	$ 161.18
line(7)	18	0.018	3#4+N#6 AWG Cu	Página 4 de 10	1.020	0.157	1.610	0.167	52.000	0.150	TD-04	0.948	5.20%	$ 241.78
line(8)	24	0.024	3#2+N#4 AWG Cu	Página 4 de 10	0.656	0.148	1.020	0.157	52.000	0.130	TD-05	0.951	4.90%	$ 458.06
line(9)	30	0.03	3#250 MCM + N#4/0 AWG Cu	Página 4 de 10	0.187	0.135	0.219	0.135	75.000	0.090	TD-MONITOREO	0.927	7.30%	$ 2,480.64
TOTAL, DE LAS VARIABLES A USAR										7.820		0.9583	4.17%	$ 11,857.88

4.4.15. Décimo Quinto Escenario.

En el Décimo Quinto Escenario, se empleó la configuración de combinación entre blindo barras y cables convencionales en todo el sistema de distribución eléctrica del Proyecto “EDIFICIO AA”. Las variables tomadas en cuenta para esta configuración son; pérdidas de potencia activa, desviación de voltaje y costo total, los valores de las variables se exhiben en la tabla 4.35.

Tabla 4.35: Variables del Décimo Quinto Escenario evaluado en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores.

Nombre en DigSILENT	Metraje por tramo en metro	Metraje por tramo en km	ESCENARIO N°15											
			Descripción	Página de REFERENCIA	Resistencia de la Impedancia - Fases	Reactancia de la Impedancia - Fases	Resistencia de la Impedancia - Neutro	Reactancia de la Impedancia - Neutro	Corriente medida del tramo en DigSILENT (A)	Pérdidas en P. Activa en DigSILENT (KW)	Descripción de la Barra	Voltaje medido de la Barra en DigSILENT (pu)	Desv%	COSTO TOTAL ($)
line(1)	45	0.045	3 (3#350) + N#350 MCM Cu	Página 4 de 10	0.141	0.131	0.141	0.131	517.000	5.090	13.8kV	1.000	0.00%	$ 4,860.18
line(2)	25	0.025	3#2/0+N#1/0 AWG Cu	Página 4 de 10	0.328	0.141	0.427	0.144	191.000	0.890	220-V	0.990	1.00%	$ 957.82
line(3)	31	0.031	MR - Al (3P+N+PE) - 250 A	Pág. 70	0.328	0.202	0.328	0.202	191.000	1.110	TP-DB	0.957	4.30%	$ 2,629.90
line(4)	10	0.01	CANALIZACIÓN ELÉCTRICA PREFABRICADA MS - 100 A	Pág. 41	0.837	0.247	0.857	0.102	63.000	0.100	TD-01	0.952	4.80%	$ 448.36
line(5)	10	0.01	3#4/0+N#4/0 AWG Cu	Página 4 de 10	0.21900	0.13500	0.21900	0.13500	264.00000	0.46000	TD-02	0.947	5.30%	$ 634.52
line(6)	12	0.012	3#4+N#6 AWG Cu	Página 4 de 10	1.020	0.157	1.610	0.167	53.000	0.100	TD-03	0.945	5.50%	$ 161.18
line(7)	18	0.018	CANALIZACIÓN ELÉCTRICA PREFABRICADA MS - 100 A	Pág. 41	0.837	0.247	0.857	0.102	52.000	0.120	TD-04	0.943	5.70%	$ 807.04
line(8)	24	0.024	CANALIZACIÓN ELÉCTRICA PREFABRICADA MS - 100 A	Pág. 41	0.837	0.247	0.857	0.102	52.000	0.160	TD-05	0.948	5.20%	$ 1,076.05
line(9)	30	0.03	3#250 MCM + N#4/0 AWG Cu	Página 4 de 10	0.187	0.135	0.219	0.135	75.000	0.100	TD-MONITOREO	0.926	7.40%	$ 2,480.64
TOTAL, DE LAS VARIABLES A USAR										8.130		0.9564	4.36%	$ 14,055.70

Capítulo 5

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Los resultados obtenidos durante el desarrollo de este proyecto titulado "Diseño Óptimo de Instalaciones Eléctricas Considerando Cableado Convencional y Blindo-Barras Mediante Decisión Multicriterio con Objetivos de Calidad, Eficiencia y Costos"se presentan en esta sección en la cual de primera instancia se detallan las tres diferentes variables que se han determinado; pérdidas de potencia, promedio de la desviación de voltaje y costos totales de cada uno de los quince escenarios los cuales se han venido desenvolviendo en el transcurso de este proyecto de desarrollo. En las figuras 5.1, 5.2 y 5.3 se detallan los valores obtenidos de cada escenario por cada una de las variables.

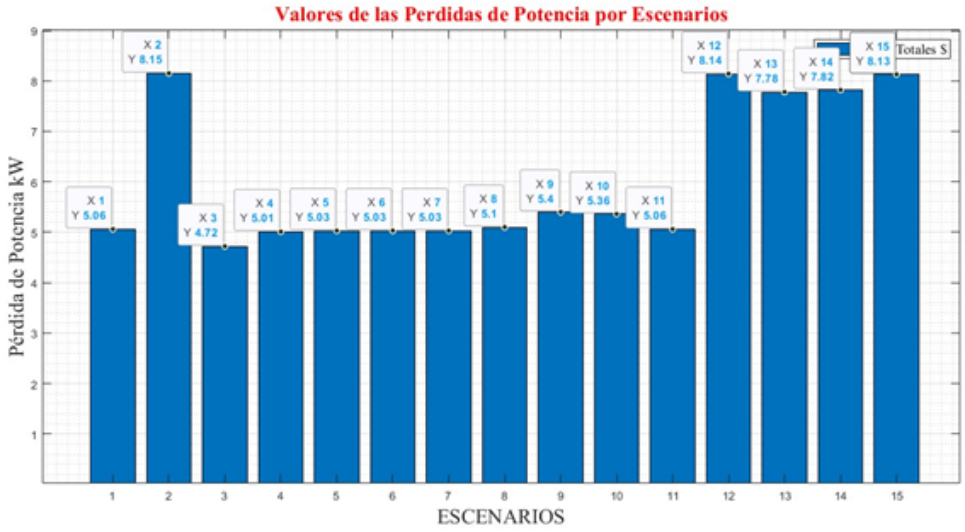


Figura 5.1: Valores de las Pérdidas de Potencia por Escenarios. Fuente: Los Autores.

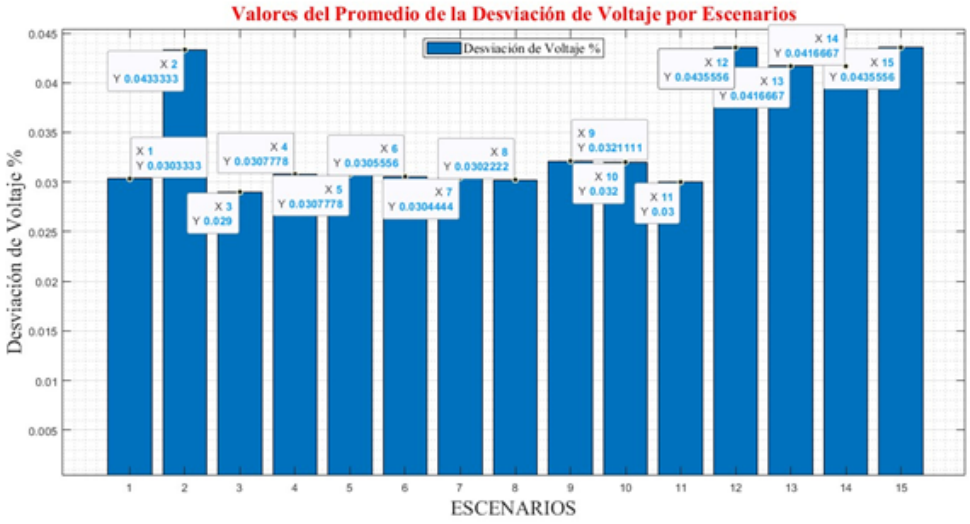


Figura 5.2: Valores del Promedio de la Desviación de Voltaje por Escenarios. Fuente: Los Autores.

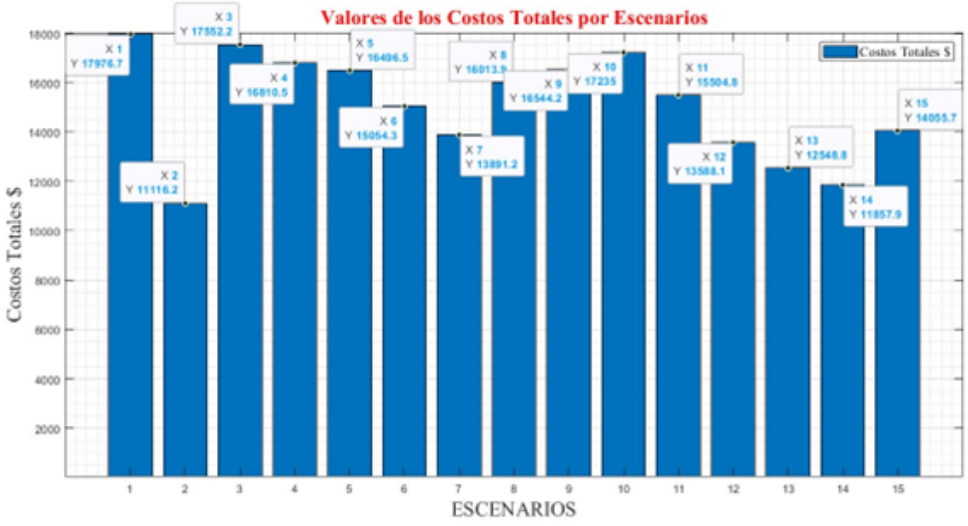


Figura 5.3: Valores de los Costos Totales por Escenarios. Fuente: Los Autores.

Se ha discutido mediante 3 diferentes criterios los resultados de los posibles escenarios óptimos que ha determinar el algoritmo del método CRITIC, a continuación, se detallan dichos resultados.

5.1. Criterio N°1.

Para el criterio N°1 se decidió darle un peso mayor a la variable de la desviación de voltaje, es decir, dándole más importancia a dicha variable, por consiguiente, se le asignó un peso importante a la variable de las pérdidas en kilovatios y por último la variable de costo por cada escenario, con esta asignación se obtuvo que el escenario N°3 es el óptimo de acuerdo con la aplicación del método CRITIC, dicho resultado se lo puedo constatar en la figura 5.4, la cual se muestra a continuación.

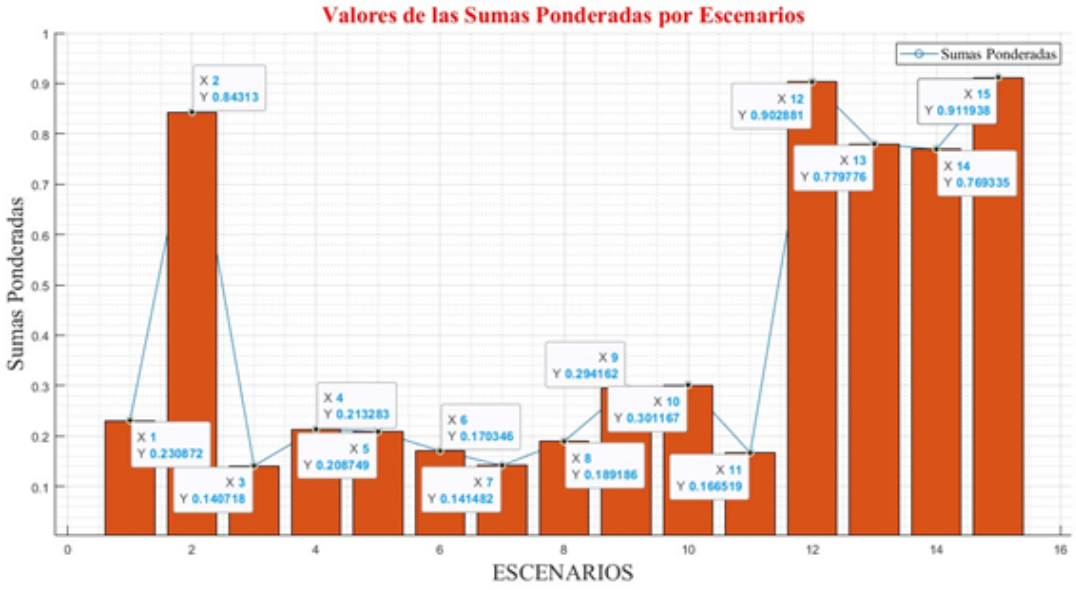


Figura 5.4: Valores de las Sumas Ponderadas por Escenarios del Criterio N°1, resultado óptimo ESCENARIO N°3. Fuente: Los Autores.

5.2. Criterio N°2.

Para el criterio N°2 se decidió darle un peso mayor a la variable de las pérdidas en kilovatios, es decir, dándole más importancia a dicha variable, por consiguiente, se le asignó un peso importante a la variable de la desviación de voltaje y por último la variable de costo por cada escenario, con esta asignación se obtuvo que el escenario N°3 es el óptimo de acuerdo con la aplicación del método CRITIC, dicho resultado se lo puedo verificar en la figura 5.5, la cual se detalla a continuación.

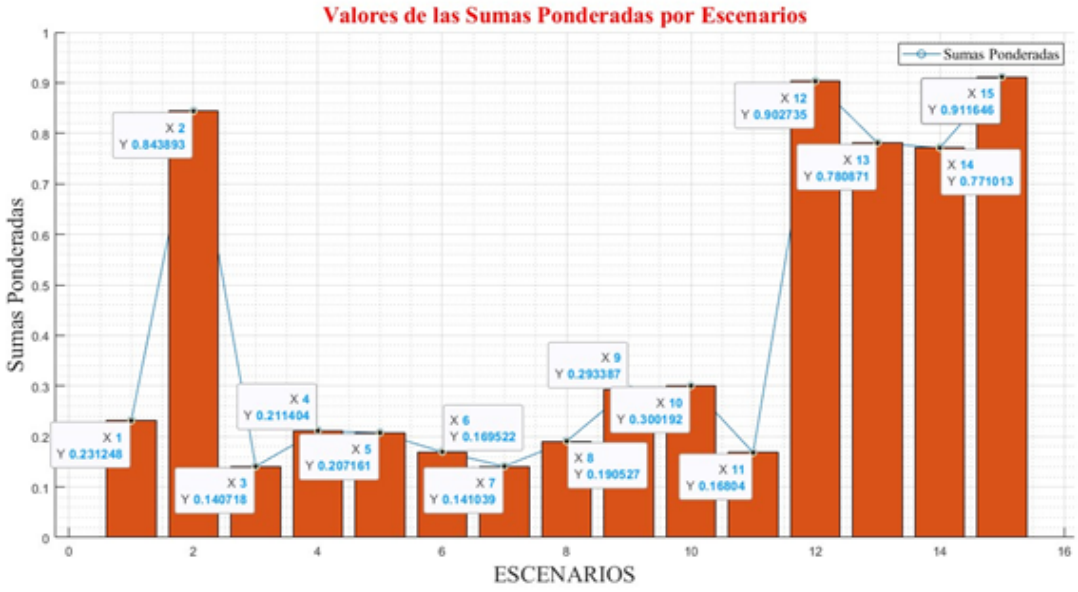


Figura 5.5: Valores de las Sumas Ponderadas por Escenarios del Criterio N°2, resultado óptimo ESCENARIO N°3. Fuente: Los Autores.

5.3. Criterio N°3.

Para el criterio N°3 se decidió darle un peso mayor a la variable de los costos totales, es decir, dándole más importancia a dicha variable, por consiguiente, se le asignó un peso importante a la variable de la desviación de voltaje y por último la variable de pérdidas de kilovatios por cada escenario, con esta asignación se obtuvo que el escenario N°7 es el óptimo de acuerdo con la aplicación del método CRITIC, dicho resultado se lo puedo comprobar en la figura 5.6, la cual se presenta a continuación.

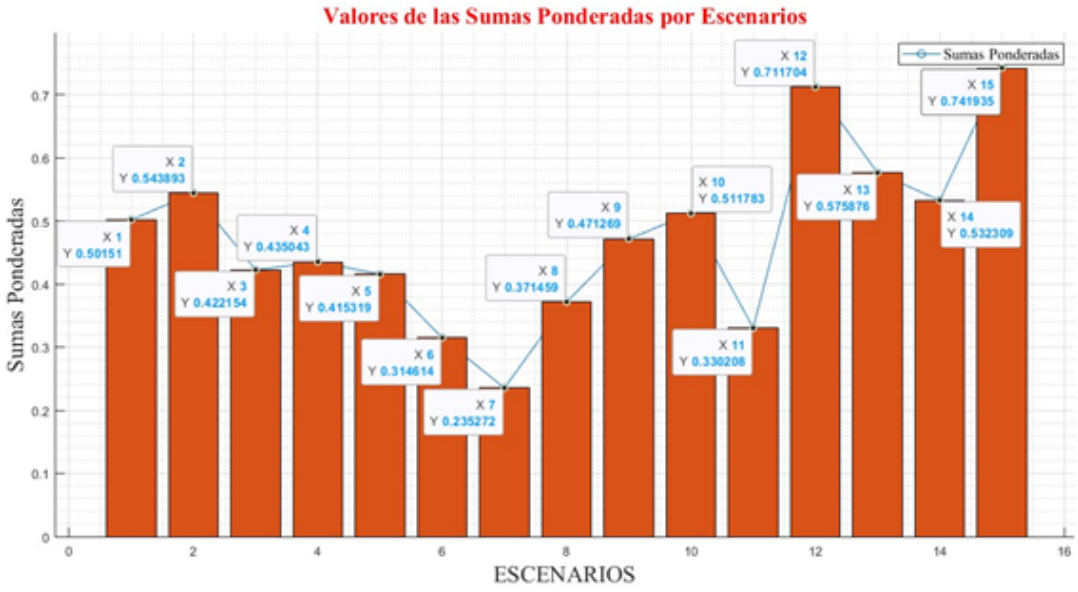


Figura 5.6: Valores de las Sumas Ponderadas por Escenarios del Criterio N°3, resultado óptimo ESCENARIO N°7. Fuente: Los Autores.

5.4. Resumen de resultados de acuerdo con los criterios.

En la tabla 5.1 se detalla el resumen de los resultados de cada criterio con el fin de realizar una comparativa de resultados y validar la toma de decisión.

Tabla 5.1: Resumen de resultados de acuerdo con los criterios. Fuente: Los Autores.

Criterio	**Mayor peso y consideración a la variable.**	**Resultados óptimos de acuerdo con el Métodos CRITIC**
N°1	Promedio de desviación de voltaje	Escenario 3
N°2	Pérdidas en kilovatios	Escenario 3
N°3	Costos totales	Escenario 7

5.4.1. Escenario Ganador N°3 con Respecto a los Criterios N°1 y N°2.

Con la aplicación del método CRITIC, se determina que el escenario ganador es el tercero. Este escenario está conformado por la instalación de blindobarras en los cinco primeros tramos de conexión, y de cable convencional en los cuatro últimos tramos del escenario ganador. Sumando a esto, en la tabla 5.2 se especifica los valores de corriente y pérdidas de potencia activa de cada tramo y a su vez la tabla 5.3 se detalla los valores en por unidad y reales del voltaje existente en cada barra, así como también el costo total del tercer escenario.

Tabla 5.2: Valores de corriente y pérdidas de potencia activa de cada tramo de conexión del escenario ganador N°3. Fuente: Los Autores.

ESCENARIO N°3 - PARTE 1			
Nombre en DigSILENT	**Descripción**	**Corriente medida del tramo en DigSILENT (A)**	**Pérdidas en P. Activa en DigSILENT (KW)**
line(1)	MR - AL (3P+N+PE) - 630 A	508.00000	2.09000
line(2)	MR - Al (3P+N+PE) - 250 A	187.00000	0.86000
line(3)	MR - Al (3P+N+PE) - 250 A	187.00000	1.07000
line(4)	CANALIZACIÓN ELÉCTRICA PREFABRICADA MS - 100 A	62.00000	0.10000
line(5)	MR - AL (3P+N+PE) - 500 A	259.00000	0.15000
line(6)	3#4+N#6 AWG Cu	52.00000	0.10000
line(7)	3#4+N#6 AWG Cu	51.00000	0.14000
line(8)	3#2+N#4 AWG Cu	51.00000	0.12000
line(9)	3#250 MCM + N#4/0 AWG Cu	74.00000	0.09000
TOTAL, DE PÉRDIDAS EN KW			4.720

Tabla 5.3: Valores en por unidad y reales del voltaje en cada barra y el costo total del escenario ganador N°3. Fuente: Los Autores.

ESCENARIO N°3 - PARTE 2				
Descripción de la Barra	**Voltaje medido de la Barra en DigSILENT (pu)**	**Voltaje medido de la Barra en DigSILENT (V)**	**Desviación de voltaje en (%)**	**COSTO TOTAL ($)**
13.8kV	1.000	13800.00	0.00%	$ 7,635.19
220-V	0.990	217.80	1.00%	$ 2,120.89
TP-DB	0.974	214.28	2.60%	$ 2,629.90
TD-01	0.971	213.62	2.90%	$ 448.36
TD-02	0.966	212.52	3.40%	$ 1,376.20
TD-03	0.964	212.08	3.60%	$ 161.18
TD-04	0.965	212.30	3.50%	$ 241.78
TD-05	0.967	212.74	3.30%	$ 458.06
TD-MONITOREO	0.942	207.24	5.80%	$ 2,480.64
PROMEDIO DE DESVIACIÓN Y COSTO TOTAL			2.90%	$ 17,552.19

5.4.2. Escenario Ganador N°7 con Respecto al Criterio N°3.

Con la aplicación del método CRITIC, se determina que el escenario ganador es el séptimo. Este escenario está conformado por la instalación de blindobarras en el primer tramo de conexión, y de cable convencional en los ocho últimos tramos del escenario ganador. Sumando a esto, en la tabla 5.4 se puntualiza los valores de corriente y pérdidas de potencia activa de cada tramo y a su vez la tabla 5.5 se especifica los valores en por unidad y reales del voltaje existente en cada barra, así como también el costo total del tercer escenario.

Tabla 5.4: Valores de corriente y pérdidas de potencia activa de cada tramo de conexión del escenario ganador N°7. Fuente: Los Autores.

ESCENARIO N°7 - PARTE 1			
Nombre en DigSILENT	**Descripción**	**Corriente medida del tramo en DigSILENT (A)**	**Pérdidas en P. Activa en DigSILENT (KW)**
line(1)	MR - AL (3P+N+PE) - 630 A	508.00000	2.09000
line(2)	3#2/0+N#1/0 AWG Cu	187.00000	0.86000
line(3)	3#2/0+N#1/0 AWG Cu	187.00000	1.07000
line(4)	3#4+N#6 AWG Cu	62.00000	0.12000
line(5)	3#4/0+N#4/0 AWG Cu	259.00000	0.44000
line(6)	3#4+N#6 AWG Cu	52.00000	0.10000
line(7)	3#4+N#6 AWG Cu	51.00000	0.14000
line(8)	3#2+N#4 AWG Cu	51.00000	0.12000
line(9)	3#250 MCM + N#4/0 AWG Cu	74.00000	0.09000
TOTAL, DE PÉRDIDAS EN KW			5.030

Tabla 5.5: Valores en por unidad y reales del voltaje en cada barra y el costo total del escenario ganador N°7. Fuente: Los Autores.

ESCENARIO N°7 - PARTE 2				
Descripción de la Barra	**Voltaje medido de la Barra en DigSILENT (pu)**	**Voltaje medido de la Barra en DigSILENT (V)**	**Desviación de voltaje en (%)**	**COSTO TOTAL ($)**
13.8kV	1.000	13800.00	0.00%	$7,635.19
220-V	0.990	217.80	1.00%	$957.82
TP-DB	0.974	214.28	2.60%	$1,187.70
TD-01	0.968	212.96	3.20%	$134.32
TD-02	0.963	211.86	3.70%	$634.52
TD-03	0.961	211.42	3.90%	$161.18
TD-04	0.962	211.64	3.80%	$241.78
TD-05	0.964	212.08	3.60%	$458.06
TD-MONITOREO	0.944	207.68	5.60%	$2,480.64
PROMEDIO DE DESVIACIÓN Y COSTO TOTAL			3.04%	$ 13,891.22

5.4.3. Comparación de resultados de las variables de los Escenarios Ganadores N°3 y N°7.

5.4.3.1. Valores Reales de los Voltajes.

En la figura 5.7 se muestra los valores medidos en DigSILENT de los voltajes reales de cada barra de los Escenarios N°3 y N°7, y se puede identificar que en el Escenario N°3 solo se tiene una barra con un valor menor a 212 voltios, la cual es la barra de TD-MONITOREO, en cambio para el Escenario N°7 se tiene cuatro barras con valores menores a 212 voltios, entre ellas se encuentran; TD-02, TD-03, TD-04 y TD-MONITOREO. Esto indica que por cuestiones de voltaje el escenario óptimo para esta variable sería el N°3.

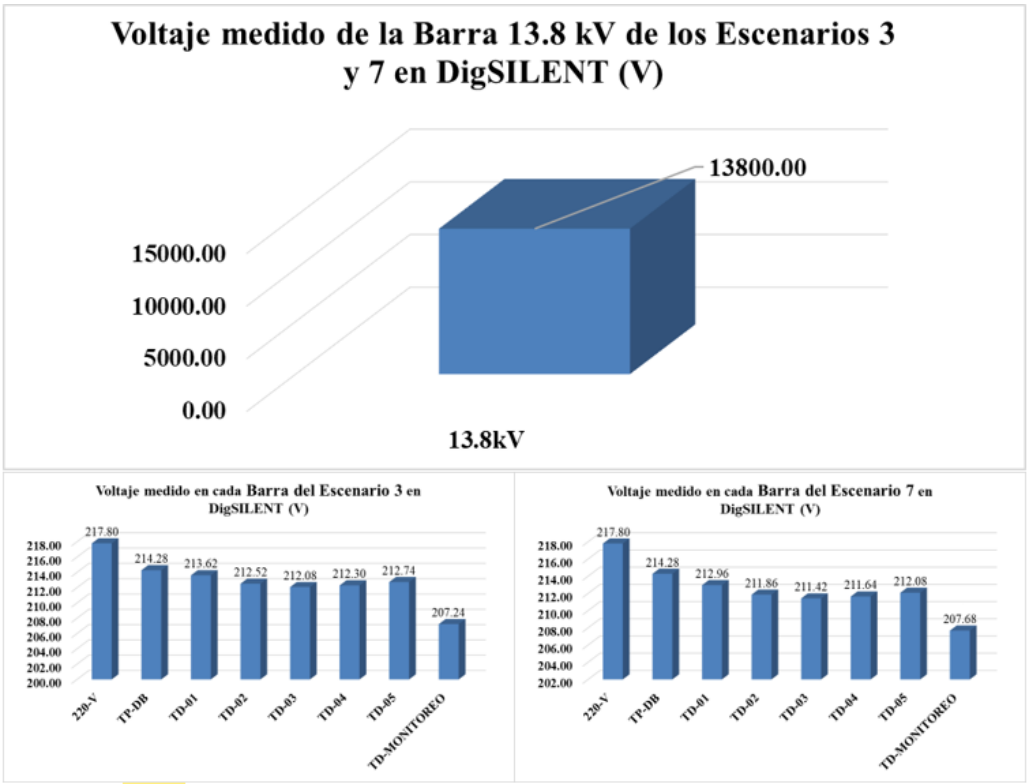


Figura 5.7: Valores medidos en DigSILENT de los voltajes reales de cada barra de los Escenarios N°3 y N°7. Fuente: Los Autores.

5.4.3.2. Pérdidas en Potencia Activa.

En la figura 5.8 se detalla los valores medidos en DigSILENT de las pérdidas en potencia activa en kW de cada tramo de conexión de los Escenarios N°3 y N°7, y se puede constatar que en el Escenario N°7 hay más perdidas en kW en los tramos de conexión; line(4) y line(5) . Esto indica que por cuestiones de pérdidas en potencia activa el escenario óptimo para esta variable sería el N°3.

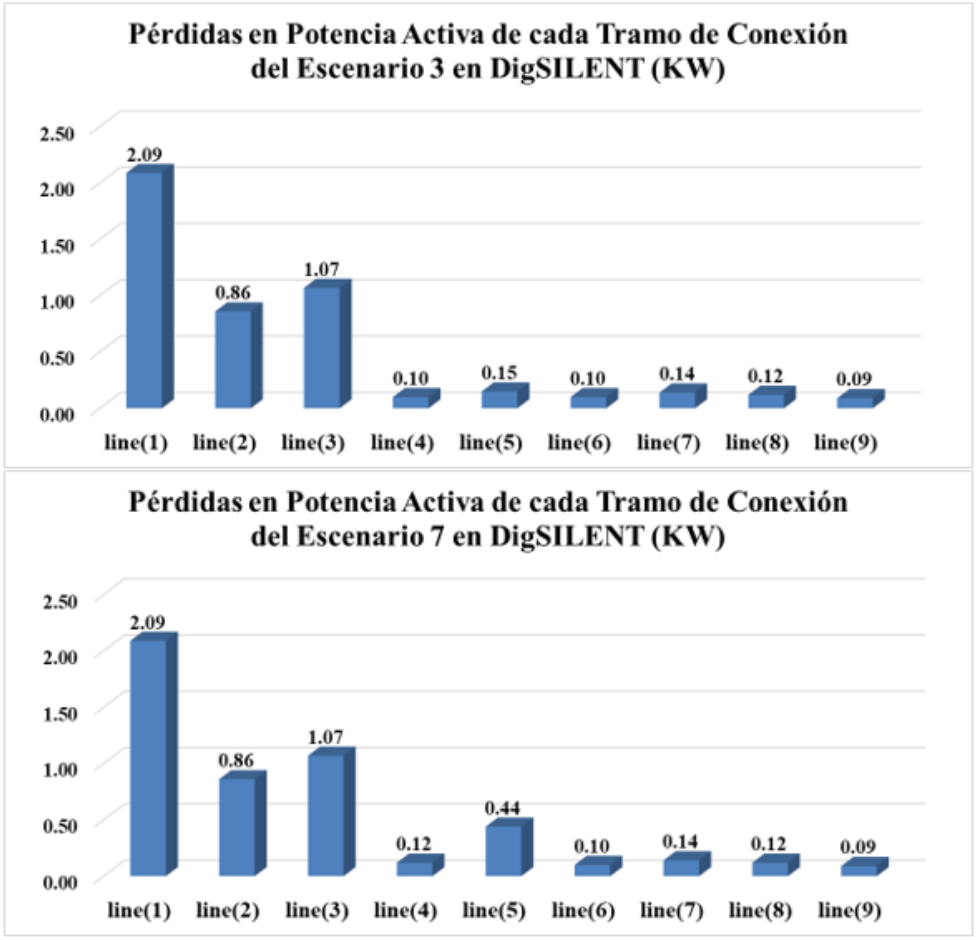


Figura 5.8: Valores medidos en DigSILENT de las pérdidas en potencia activa en kW de cada tramo de conexión de los Escenarios N°3 y N°7. Fuente: Los Autores.

5.4.3.3. Costos Individuales y Totales de los Tramos de Conexión.

En la figura 5.9 se muestra los valores de los Costos Individuales y Totales de los Tramos de Conexión de los Escenarios N°3 y N°7, y se puede identificar que el Escenario N°3 presenta un mayor costo que el Escenario N°7. Y de acuerdo con el cliente, éste valorará económicamente que le es más viable, en el caso que prefiera un escenario más económico, éste sería el Escenario N°7.

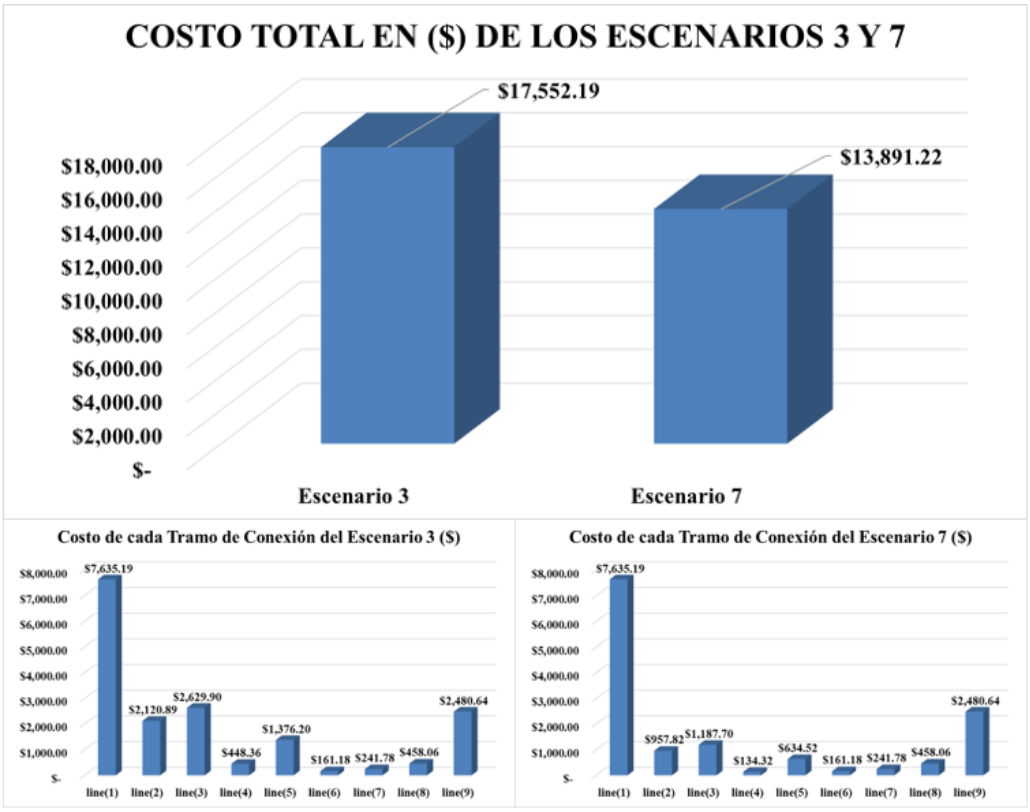


Figura 5.9: Valores de los costos individuales y totales de los tramos de conexión de los Escenarios N°3 y N°7. Fuente: Los Autores.

Capítulo 6

CONCLUSIONES.

La ejecución del proyecto de desarrollo tuvo diferentes diseños de instalaciones eléctricas considerando el cableado convencional y blindo-barras, esto se ve reflejado en los apartados; Diseño del Diagrama Unifilar en Power Factory DigSILENT, Tramos de conexión y Escenarios Propuestos que están descritos en el Capítulo Caso de Estudio en DigSILENT, en el cual se elaboró 15 escenarios con el fin de comprobar y verificar el comportamiento de las tres variables analizadas en este proyecto, las cuales fueron; pérdidas en kilovatios, desviación de voltaje y costos por cada uno de los escenarios. Con los resultados de las tres variables de los 15 escenarios se implementó el análisis multicriterio dando tres criterios para el análisis, el primero se basó en dar más peso a la variable de la desviación de voltaje, el segundo criterio se consideró en dar más peso a la variable de pérdidas en kilovatios y, por último, en el tercer criterio se consideró dar más peso a la variable de costo, con estos tres criterios se obtuvo los siguientes resultados:

- **Criterio número 1:** Escenario 3 óptimo.
- **Criterio número 2:** Escenario 3 óptimo.
- **Criterio número 3:** Escenario 7 óptimo

Con los resultados obtenidos por cada criterio, se logra concluir que, para dos de las tres variables a considerar con más peso, el escenario óptimo sería el Escenario N°3, es decir, que para los cinco primeros tramos es necesario instalar blindo-barras y para los últimos cuatro tramos es indispensable instalar cable convencional.

Capítulo 7

Glosario

CRITIC Se clasifica como un método comparativo, ya que permite obtener pesos para todos los criterios o variables sin tener la influencia por las preferencias de los tomadores de decisiones..

DIgSILENT® GridCode es un programa informático específicamente diseñado para saber si cumplimos o no cumplimos los requisitos de un CÓDIGO de RED en cualquier parte del mundo..

MATLAB® Lenguaje de programación de alto nivel diseñado para profesionales de ingeniería y ciencias que expresa las matemáticas de matrices y arrays directamente..

Bibliografía

[1] S. Ávila Ramírez, "Montaje y mantenimiento de instalaciones eléctricas de baja tensión." 2 2019. [Online]. Available: https://www.euroinnova.ec/16-2-19/montaje-y-mantenimiento-de-instalaciones-electricas-de-baja-tension

[2] T. Cable, "Tipos de cables eléctricos y sus características," 3 2020. [Online]. Available: https://www.topcable.com/blog-electric-cable/tipos-de-cables-electricos/

[3] G. CERTICALIA, "Instalación eléctrica doméstica, ¿cómo se hace?" 7 2022. [Online]. Available: https://www.certicalia.com/blog/instalacion-electrica-domestica-como-se-hace

[4] J. A. L. Mesones, "Dimensionamiento de los alimentadores principales de la red de distribución en baja tensión para el edificio cavenecia – lima, mediante el uso de ductobarras," 8 2018. [Online]. Available: https://hdl.handle.net/20.500.12893/2573

[5] J. K. C. Quispe, "Mejoramiento del sistema de distribución de energía eléctrica implementando ducto de barra en edificio torre forum en san isidro- lima 2016," 2017. [Online]. Available: https://repositorio.untels.edu.pe/jspui/handle/123456789/461

[6] J. C. P. Batzibal, "Diseño y análisis comparativo técnico y económico en la distribución de energía eléctrica de baja tensión, con el sistema ducto barra versus el sistema convencional en el proyecto avia," 5 2020. [Online]. Available: http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/15301

[7] H. J. R. Gómez, "Mejoramiento del sistema de distribución de energía utilizando ducto de barras en las instalaciones eléctricas del museo

nacional de arqueología del perú en el distrito de lurín, lima," 2020. [Online]. Available: http://hdl.handle.net/20.500.12894/6459

[8] C. A. R. Rincón, "Modelo para la caracterizaciÓn del comportamiento de paquetes de barras embebidas en ductos inyectados con grouting," 2015. [Online]. Available: https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/e281dd55-63fa-4c23-b590-1582515be565/content

[9] J. D. T. Reymundez, "Cálculo y diseño del sistema eléctrico en baja tensión para el edificio comercial y oficinas pardo y aliaga, mediante el uso de ducto barra," 2019. [Online]. Available: http://repositorio.untels.edu.pe/jspui/handle/123456789/380

[10] J. R. R. Pérez, "Calibración de modelo numérico para paquetes de barras embebidas en ductos inyectados con grouting," 2017. [Online]. Available: http://hdl.handle.net/1992/61907

[11] R. A. S. Vacas, "Modelo de una normativa para el uso de electrobarras como sistema de distribución de energía eléctrica en edificios corporativos y de vivienda," 2 2015. [Online]. Available: http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/8053

[12] O. S. M. Vargas, "Acondicionamiento de la subestación eléctrica del hospital universitario san jorge de pereira enmarcado en el reglamento técnico de instalaciones eléctricas retie," 2015. [Online]. Available: https://hdl.handle.net/11059/5467

[13] O. M. S. Sigüencia, L. M. P. Neves, and R. E. S. Álvarez, "Metodologías de decisión multicriterio para planeación energética en zonas rurales del ecuador," *Congreso I+D+ingeniería*, pp. 289–298, 2017. [Online]. Available: https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/maskana/article/view/1988/1417

[14] M. B. Marabotto, "Estudio de la aplicación de blindobarras en edificios no industriales," 3 2019. [Online]. Available: https://hdl.handle.net/11441/83980

[15] M. M. García, "Generación automática de diagramas unifilares de baja tensión a partir de una hoja de cálculo," 12 2019. [Online]. Available: https://hdl.handle.net/11441/90917

[16] J. C. P. Rodríguez and M. R. Gonzalez, "Desarrollo de un sistema de gestión para la presentación de proyectos de sistemas de media tensión aplicado a la empresa pyh instalaciones eléctricas," 2020. [Online]. Available: https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/28172

[17] V. E. M. Carrillo, "Estudio de sistemas de electrobarras para distribución energética fotovoltaica en proyecto de restauración del club cartagena y el claustro san francisco," 9 2021. [Online]. Available: http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/handle/20.500.12744/5145

[18] A. A. P. León, "Análisis multicriterio para la selección óptima de conductores en instalaciones eléctricas en medio y bajo voltaje considerando criterios económicos, de calidad y eficiencia de la potencia eléctrica," *Repositorio Institucional de la Universidad*, pp. 1–37, 3 2022. [Online]. Available: http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22280

[19] A. V. Poveda, "Diseño y ejecución del sistema de infraestructura de cableado estructurado para centurylink," 4 2023. [Online]. Available: https://hdl.handle.net/20.500.12558/4858

[20] J. T. Torres, "Proyecto de alimentadores eléctricos mediante ducto de barras para edificio-torre de panamá," 11 2023. [Online]. Available: https://hdl.handle.net/20.500.12672/21129

[21] P. W. F. Guaña, "Diseño eléctrico en bajo voltaje para una edificación considerando análisis de distintos escenarios constructivos," 3 2023. [Online]. Available: http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/24633

[22] M. D. V. Carrillo, "Análisis multicriterial para la óptima ubicación de switch en redes eléctricas de distribución radial." *Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana*, pp. 1–28, 7 2017. [Online]. Available: http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/14347

[23] J. B. C. Piarpuezán, "Selección y dimensionamiento óptimo de los sistemas de alumbrado público basado en múltiples criterios." *Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana*, pp. 1–33, 9 2018. [Online]. Available: http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16079

[24] K. G. V. Guillen, "Análisis multicriterio para el cambio de combustibles fosiles a energías renovables de la empresa reybanpac." *Repositorio*

Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana, pp. 1–49, 9 2021. [Online]. Available: http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20881

[25] A. F. J. Cóndor, "Análisis multicriterio para el diseño óptimo de alumbrado público con restricciones de eficiencia, costos y calidad de la iluminación." *Repositorio Institucional de la Universidad PolitÃ©cnica Salesiana*, pp. 1–39, 2 2022. [Online]. Available: http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21880

[26] W. Energía, "Qué es y cómo funciona la red eléctrica," 3 2023. [Online]. Available: https://warisenergia.com/blog/que-es-como-funciona-la-red-electrica/

[27] Structuralia, "Elementos fundamentales para el diseño eléctrico en ingeniería," 8 2022. [Online]. Available: https://blog.structuralia.com/como-realizar-diseno-electrico

[28] T. Cable, "Componentes de un cable eléctrico," 9 2020. [Online]. Available: https://www.topcable.com/blog-electric-cable/componentes-de-un-cable-electrico/

[29] UNITEL, "Normas sobre cableado estructurado," 2024. [Online]. Available: https://unitel-tc.com/normas-sobre-cableado-estructurado/

[30] DIELTEC, "Electrobarras y/o blindobarras," 2024. [Online]. Available: https://www.dieltec.com.co/elementor-1718/

[31] I. MathWorks©, "Matlab introducción," 12 2023. [Online]. Available: https://la.mathworks.com/products/matlab.html

[32] F. P. MathWorks©, "Matlab fundamentos," 2024. [Online]. Available: https://la.mathworks.com/learn/training/matlab-fundamentals.html

[33] C. A. MathWorks©, "Aplicaciones en matlab," 2024. [Online]. Available: https://la.mathworks.com/help/matlab/gui-development.html

[34] P. A. MathWorks©, "Desarrollo avanzado de aplicaciones de matlab detalles del curso," 2024. [Online]. Available: https://la.mathworks.com/learn/training/advanced-matlab-application-development.html

[35] BBVA, "¿qué es la eficiencia energética y cómo se calcula?" 3 2024. [Online]. Available: https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-la-eficiencia-energetica-y-como-se-calcula/

[36] O. Zhovkva, "Los principios de eficiencia energética y respeto al medio ambiente para complejos multifuncionales," *Revista ingeniería de construcción*, pp. 308–321, 10 2020. [Online]. Available: http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732020000300308

[37] J. L. Otero, "Qué es la eficiencia energética en la industria: ejemplos y medidas para mejorarla," 1 2024. [Online]. Available: https://cuervaenergia.com/es/comunidad/sostenibilidad/que-es-eficiencia-energetica-industria/

[38] I. 50001, "Conoce más sobre la certificación que garantiza el cuidado de energía," 6 2023. [Online]. Available: https://lsqa.ec/iso-50001/

[39] F. Capital, "¿qué es el análisis de costos?" 3 2024. [Online]. Available: https://fastercapital.com/es/contenido/Que-es-el-analisis-de-costes.html

[40] K. Reyes, "Estructura de costos: qué es, cómo hacer una + ejemplos," 2024. [Online]. Available: https://www.tiendanube.com/mx/blog/estructura-de-costos/

[41] F. Capital, "Herramienta de estimación de costos de electricidad como estimar y reducir su factura de electricidad," 3 2024. [Online]. Available: https://fastercapital.com

[42] F. C., "La importancia de los costos incrementales en el análisis de costos relevante," 3 2024. [Online]. Available: https://fastercapital.com

[43] J. Mayor, S. Botero, and J. D. G. Ruiz, "Modelo de decisión multicriterio difuso para la selección de contratistas en proyectos de infraestructura: Caso colombia," *Scielo*, 9 2016. [Online]. Available: http://dx.doi.org/10.4067/S0718-28132016000200005

[44] A. A. Téllez, *Multicriteria Analysis for Quality and Reliability in Electrical Systems*. Editorial Abya-Yala, 2 2024. [Online]. Available: http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/26750

[45] A. A. T., "OptimizaciÓn multicriterio de flujos de potencia reactiva en sistemas elÉctricos de distribuciÓn," 4 2021. [Online]. Available: http://hdl.handle.net/20.500.11912/8699

[46] E. Guanochanga, A. A. Téllez, and L. Ortiz, "Multicriteria analysis for optimal reconfiguration of a distribution network in case of failures," *Heliyon*, vol. 9, 3 2023. [Online]. Available: https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(23)00930-1

[47] B. Muñoz and M. G. Romana, "Application of multicriteria decision methods in evaluating alternative solutions for transportation facilities," 2016. [Online]. Available: https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5998856.pdf

[48] A. A. Téllez, L. Ortiz, R. Orizondo, and G. López, "Optimal location and dimensioning of capacitors in microgrids using a multicriteria decision algorithm," *Heliyon*, vol. 7, 9 2021.

[49] A. A. Téllez, L. Ortiz, M. Ruiz, K. Narayanan, and S. Varela, "Optimal location of reclosers in electrical distribution systems considering multi-criteria decision through the generation of scenarios using the montecarlo method," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 68 853–68 871, 2023. [Online]. Available: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10058515

Capítulo 8

ANEXOS.

8.1. ANEXO A – Cálculo de Carga.

8.1.1. Cálculos en El Piso 1.

Para determinar el valor de la carga total que se tiene en el Piso 1 se realizó su respectivo estudio de carga en el cuál consta de un tablero, el cual se detalla a continuación. En la figura 8.1 se detalla el cálculo del tablero denominado PD-N-01 y en la tabla 8.1 el resumen de los resultados del tablero.

Planilla de circuitos

PROYECTO EDIFICIO AA

Tablero: PD-N-01 — Ubicación: PISO 1 — Voltaje nominal: 220V — Voltaje de trabajo: 220V — Fases: 3 — Tablero desde donde se alimenta: PANEL TRIFASICO DE 30ESP — TDP

Circuito	Fase	Voltaje	# puntos	W puesto	Kva/cto	FD	WT	FP	KC	Amps	Conductor	Breaquetor	Servicio
PD-N-01-01	A	12F	7	250	1.75	0.8	1.400	0.95	0.75	11.23	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Tomacorrientes. Recepcion y Subgar cumplimiento
PD-N-01-02	B	12F	8	250	2	0.8	1.600	0.95	0.75	12.84	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Tomacorrientes. Sistemas.
PD-N-01-03	C	12F	7	250	1.75	0.8	1.400	0.95	0.75	11.23	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Tomacorrientes. Cumplimiento y Subgar Sistemas.
PD-N-01-04	A	12F	6	250	1.5	0.8	1.200	0.95	0.75	9.63	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Tomacorrientes. Cafeteria Sala VIP y comercial
PD-N-01-05	B	12F	2	600	1.2	0.8	0.960	0.95	0.7	7.19	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Tomacorrientes. Estacion de cafe (equipos)
PD-N-01-06	C	12F	2	600	1.2	0.8	0.960	0.95	0.7	7.19	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Tomacorrientes. Estacion de cafe (equipos)
PD-N-01-07	A	12F	7	250	1.75	0.8	1.400	0.95	0.7	10.48	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Tomacorrientes. Surger Comercial y Diseradores.
PD-N-01-08	B	12F	1	1200	1.2	0.8	0.960	0.95	0.8	8.22	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Tomacorrientes. Secadora de manos. B. Hombres.
PD-N-01-09	C	12F	1	1200	1.2	0.8	0.960	0.95	0.8	8.22	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Tomacorrientes. Secadora de manos. B. Mujeres.
PD-N-01-10	A	12F	8	100	0.8	0.7	0.560	0.95	1	5.99	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Lucas de emergencia y Letreo de Salida P1
PD-N-01-11	B	12F	5	100	0.5	0.7	0.350	0.95	1	3.74	1#12+N#12+T#14	1 polo - 15 amp.	Lucas de emergencia y Letreo de Salida PB
PD-N-01-12	C	12F	9	100	0.9	0.7	0.630	0.95	0.9	6.07	1#12+N#12+T#14	1 polo - 15 amp.	Alumbrado PB, Mezzanine, cuarto de bomba
PD-N-01-13	A	12F	9	100	0.9	0.7	0.630	0.95	0.9	6.07	1#12+N#12+T#14	1 polo - 15 amp.	Alumbrado P1
PD-N-01-14	B	12F	9	100	0.9	0.7	0.630	0.95	0.9	6.07	1#12+N#12+T#14	1 polo - 15 amp.	Alumbrado P1
PD-N-01-15	C	12F	9	100	0.9	0.7	0.630	0.95	0.9	6.07	1#12+N#12+T#14	1 polo - 15 amp.	Alumbrado P1
PD-N-01-16	A	12F	9	100	0.9	0.7	0.630	0.95	0.9	6.07	1#12+N#12+T#14	1 polo - 15 amp.	Alumbrado P1
PD-N-01-17	B	12F	9	100	0.9	0.7	0.630	0.95	0.9	6.07	1#12+N#12+T#14	1 polo - 15 amp.	Alumbrado P1
PD-N-01-18	C	12F	8	200	1.6	0.7	1.120	0.95	0.6	7.19	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Tomacorrientes. Fotografia
PD-N-01-19	A	12F	1	250	0.25	0.7	0.175	0.95	0.8	1.50	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Tomacorriente. Cuarto de tableros Electricos P1
PD-N-01-20	BC	220	1	300	0.3	0.7	0.210	0.95	0.8	1.04	2#12+T#14	2 polo - 20 amp.	Tomacorrientes. Fotografia
PD-N-01-05-01	AB	220	3	300	0.9	0.8	0.720	0.95	0.7	3.11	2#12+T#14	2 polo - 20 amp.	Tomacorrientes. pasa cortinas. motorizadas.
PD-N-01-01-01	C	12F	2	250	0.5	0.8	0.400	0.95	0.75	3.21	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Tomacorrientes. PB. y cuarto de bombas.

Figura 8.1: Valores de los circuitos del tablero PD-N-01 del Piso 1. Fuente: Los Autores.

Tabla 8.1: Resumen del estudio de carga del tablero PD-N-01 del Piso 1. Fuente: Los Autores.

Demanda (Kw):	18.16	
Factor de coincidencia:	0.7	
Porcentaje de reserva:	20%	
Carga efectiva (Kw)	**15.25**	
Voltaje	220.00	
Amperaje	43.55	
Breaker	54.44	**3P-80A**
Conductor	3#2+N#4+T#6 AWG Cu THHN.	

8.1.2. Cálculos en El Piso 2.

Para determinar el valor de la carga total que se tiene en el Piso 2 se realizó su respectivo estudio de carga en el cuál consta de dos tableros, los cuales se detallan a continuación. En la figura 8.2 se detalla el cálculo del tablero denominado PD-N-02 y en la tabla 8.2 el resumen de los resultados del tablero.

Planilla de circuitos

PROYECTO EDIFICIO AA

Tablero: PD-N-02 Ubicación: PISO 2 Voltaje nominal: 220V Voltaje de trabajo: 220V Fases: 3 Tablero desde donde se alimenta: TD-02 PANEL TRIFASICO DE 24ESP

Circuito	Fase	Voltaje	Puntos	Vatiaje	Kva/cu	Fd	VT	FP	F.C.	Amps	Conductor	Disyuntor	Servicio
PD-N-02-01	A	12T	7	250	1.75	0.8	1.400	0.92	0.75	11.23	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	TC. Sugar Gestion Humana
PD-N-02-02	B	12T	9	250	2.25	0.8	1.800	0.92	0.75	14.44	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	TC. Sala de reuniones, Surger de operaciones, etc
PD-N-02-03	C	12T	9	250	2.25	0.8	1.800	0.92	0.8	15.41	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	TC. Manejo de nomina
PD-N-02-04	A	12T	8	250	2	0.8	1.600	0.92	0.8	13.69	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	TC. Sugar Innovacion
PD-N-02-05	B	12T	6	250	1.5	0.8	1.200	0.92	0.7	8.99	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	TC. Gerencia
PD-N-02-06	C	12T	2	600	1.2	0.8	0.960	0.92	0.7	7.19	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Tomacorrientes. Estacion de cafe (equipos)
PD-N-02-07	A	12T	1	1200	1.2	0.8	0.960	0.92	1	10.27	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Tomacorriente Secadora de manos. B. Hombres
PD-N-02-08	B	12T	1	1200	1.2	0.8	0.960	0.92	1	10.27	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Tomacorriente Secadora de manos. B. Mujeres
PD-N-02-09	C	12T	12	60	0.72	0.7	0.504	0.92	1	5.39	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Lucas de emergencia y Letrero de Salida P2
PD-N-02-10	A	12T	12	60	0.72	0.7	0.504	0.92	0.9	4.85	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Alumbrado P2
PD-N-02-11	B	12T	10	60	0.6	0.7	0.420	0.92	0.9	4.04	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Alumbrado P2
PD-N-02-12	C	12T	10	60	0.6	0.7	0.420	0.92	0.9	4.04	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Alumbrado P2
PD-N-02-13	A	12T	9	60	0.54	0.7	0.378	0.92	0.9	3.64	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Alumbrado P2
PD-N-02-05-01	BC	220	2	300	0.6	0.8	0.480	0.92	0.7	2.08	2#12+T#14	2 polo - 20 amp.	TC. de motor de cortina
PD-N-02-02-01	A	12T	2	250	0.5	0.8	0.400	0.92	0.75	3.21	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	TC. IMPRESORAS

Figura 8.2: Valores de los circuitos del tablero PD-N-02 del Piso 2. Fuente: Los Autores.

8.1. ANEXO A – CÁLCULO DE CARGA.

Tabla 8.2: Resumen del estudio de carga del tablero PD-N-02 del Piso 2. Fuente: Los Autores.

Demanda (Kw):	13.79	
Factor de coincidencia:	0.7	
Porcentaje de reserva:	20%	
Carga efectiva (Kw)	**11.58**	
Voltaje	220.00	
Amperaje	33.07	
Breaker	41.34	**3P-50A**
Conductor	3#6+N#8+T#10 AWG Cu THHN.	

En la figura 8.3 se detalla el cálculo del tablero denominado TD-02 y en la tabla 8.3 el resumen de los resultados del tablero.

Planilla de circuitos

PROYECTO EDIFICIO AA

TABLERO: TD-02 Ubicación: PISO 2 Tablero desde donde se alimenta: TDP

Voltaje nominal: 220V Voltaje de trabajo: 220V Fases: 3 TABLERO 3F

Circuito	Fase	Voltaje	Puntos	Wpunto	Kwtos	FD	WT	FP	F.C.	Amps	Conductor	Disyuntor	Servicio
PD-N-02	ABC	220	1	13786	13.786	0.85	11.718	0.92	1	41.83	3#6+N#8+T#10	3P-50A	PD-N-02
TD-02-AC-01	AB	220	1	200	0.2	0.85	0.170	0.92	1	1.05	2#14+T#16	2 polo - 15 amp.	A/C UNIDAD EVAPORADORA 9000BTU PISO 2
TD-02-AC-02	BC	220	1	200	0.2	0.85	0.170	0.92	1	1.05	2#14+T#16	2 polo - 15 amp.	A/C UNIDAD EVAPORADORA 9000BTU PISO 2
TD-02-AC-03	CA	220	1	200	0.2	0.85	0.170	0.92	1	1.05	2#14+T#16	2 polo - 15 amp.	A/C UNIDAD EVAPORADORA 9000BTU PISO 2
TD-02-AC-04	AB	220	1	200	0.2	0.85	0.170	0.92	1	1.05	2#14+T#16	2 polo - 15 amp.	A/C UNIDAD EVAPORADORA 9000BTU PISO 2
TD-02-AC-05	BC	220	1	200	0.2	0.85	0.170	0.92	1	1.05	2#14+T#16	2 polo - 15 amp.	A/C UNIDAD EVAPORADORA 9000BTU PISO 2
TD-02-AC-06	CA	220	1	200	0.2	0.85	0.170	0.92	1	1.05	2#14+T#16	2 polo - 15 amp.	A/C UNIDAD EVAPORADORA 9000BTU PISO 2
TD-02-AC-07	AB	220	1	200	0.2	0.85	0.170	0.92	1	1.05	2#14+T#16	2 polo - 15 amp.	A/C UNIDAD EVAPORADORA 24000BTU PISO 2
TD-02-AC-08	BC	220	1	200	0.2	0.85	0.170	0.92	1	1.05	2#14+T#16	2 polo - 15 amp.	A/C UNIDAD EVAPORADORA 24000BTU PISO 2
TD-02-AC-09	CA	220	1	200	0.2	0.85	0.170	0.92	1	1.05	2#14+T#16	2 polo - 15 amp.	A/C UNIDAD EVAPORADORA 24000BTU PISO 2
TD-02-AC-10	AB	220	1	200	0.2	0.85	0.170	0.92	1	1.05	2#14+T#16	2 polo - 15 amp.	A/C UNIDAD EVAPORADORA 15000BTU PISO 2
TD-02-AC-11	BC	220	1	200	0.2	0.85	0.170	0.92	1	1.05	2#14+T#16	2 polo - 15 amp.	A/C UNIDAD EVAPORADORA 18000BTU PISO 2
TD-02-AC-12	CA	220	1	200	0.2	0.85	0.170	0.92	1	1.05	2#14+T#16	2 polo - 15 amp.	A/C UNIDAD EVAPORADORA 18000BTU PISO 2
TD-02-AC-13	B	120	1	300	0.3	0.85	0.255	0.92	1	2.89	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	EXTRACTOR PISO 2
TD-02-AC-14	C	120	1	100	0.1	0.85	0.085	0.92	1	0.96	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	EXTRACTORES DE BAÑOS PISO 2
TD-01-AC-10	AB	220	1	200	0.2	0.85	0.170	0.92	1	1.05	2#14+T#16	2 polo - 15 amp.	A/C UNIDAD EVAPORADORA 12000BTU PISO 2

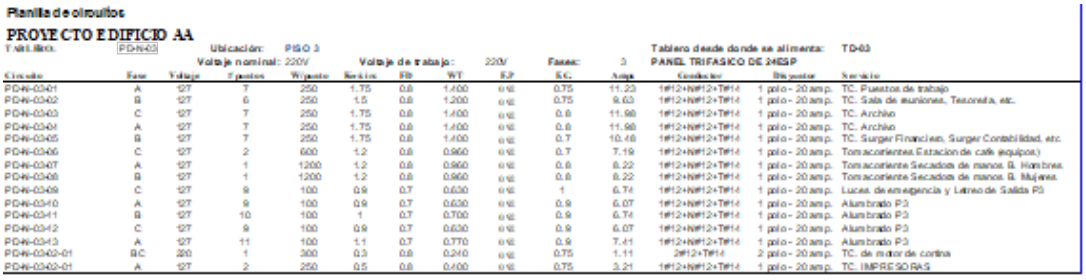
Figura 8.3: Valores de los circuitos del tablero TD-02 del Piso 2. Fuente: Los Autores.

Tabla 8.3: Resumen del estudio de carga del tablero TD-02 del Piso 2. Fuente: Los Autores.

Demanda (Kw):	14.27	
Factor de coincidencia:	0.75	
Porcentaje de reserva:	25%	
Carga efectiva (Kw)	**13.38**	
Voltaje	220.00	
Amperaje	38.20	
Breaker	47.75	**3P-60A**
Conductor	3#4+N#6+T#8 AWG Cu THHN.	

8.1.3. Cálculos en El Piso 3.

Para determinar el valor de la carga total que se tiene en el Piso 3 se realizó su respectivo estudio de carga en el cuál consta de dos tableros, los cuales se detallan a continuación. En la figura 8.4 se detalla el cálculo del tablero denominado PD-N-03 y en la tabla 8.4 el resumen de los resultados del tablero.



Planilla de circuitos

PROYECTO EDIFICIO AA

Tablero: PD-N-03 — Ubicación: PISO 3 — Voltaje nominal: 220V — Voltaje de trabajo: 220V — Fases: 3 — Tablero desde donde se alimenta: TD-03 — PANEL TRIFASICO DE 24ESP

Circuito	Fase	Voltaje	# puntos	W puesto	Sección	Fb	WT	FP	S.C.	Amps	Conductor	Disyuntor	Servicio
PD-N-03-01	A	127	7	250	1.75	0.8	1.400	0.75	0.75	11.23	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	TC. Puestos de trabajo
PD-N-03-02	B	127	6	250	1.5	0.8	1.200	0.75	0.75	9.63	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	TC. Sala de reuniones, Tesoreria, etc.
PD-N-03-03	C	127	7	250	1.75	0.8	1.400	0.75	0.8	11.98	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	TC. Archivo
PD-N-03-04	A	127	7	250	1.75	0.8	1.400	0.75	0.8	11.98	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	TC. Archivo
PD-N-03-05	B	127	7	250	1.75	0.8	1.400	0.75	0.7	10.48	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	TC. Surger Financiera, Surger Contabilidad, etc.
PD-N-03-06	C	127	2	600	1.2	0.8	0.960	0.75	0.7	7.19	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Tomacorientes Estacion de cafe (equipos)
PD-N-03-07	A	127	1	1200	1.2	0.8	0.960	0.75	0.8	8.22	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Tomacorientes Secadoras de manos B. Hombres
PD-N-03-08	B	127	1	1200	1.2	0.8	0.960	0.75	0.8	8.22	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Tomacorientes Secadoras de manos B. Mujeres
PD-N-03-09	C	127	9	100	0.9	0.7	0.630	0.75	1	6.74	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Luces de emergencia y Letrero de Salida P3
PD-N-03-10	A	127	9	100	0.9	0.7	0.630	0.75	0.9	6.07	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Alumbrado P3
PD-N-03-11	B	127	10	100	1	0.7	0.700	0.75	0.9	6.74	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Alumbrado P3
PD-N-03-12	C	127	9	100	0.9	0.7	0.630	0.75	0.9	6.07	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Alumbrado P3
PD-N-03-13	A	127	11	100	1.1	0.7	0.770	0.75	0.9	7.41	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Alumbrado P3
PD-N-03-02-01	BC	220	1	300	0.3	0.8	0.240	0.75	0.75	1.11	2#12+T#14	2 polo - 20 amp.	TC. de motor de cortina
PD-N-03-02-01	A	127	2	250	0.5	0.8	0.400	0.75	0.75	3.21	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	TC. IMPRESORAS

Figura 8.4: Valores de los circuitos del tablero PD-N-03 del Piso 3. Fuente: Los Autores.

8.1. ANEXO A – CÁLCULO DE CARGA.

Tabla 8.4: Resumen del estudio de carga del tablero PD-N-03 del Piso 3. Fuente: Los Autores.

Demanda (Kw):	13.68	
Factor de coincidencia:	0.7	
Porcentaje de reserva:	20%	
Carga efectiva (Kw)	**11.49**	
Voltaje	220.00	
Amperaje	32.82	
Breaker	41.02	**3P-60A**
Conductor	3#4+N#6+T#8 AWG Cu THHN.	

En la figura 8.5 se detalla el cálculo del tablero denominado TD-03 y en la tabla 8.5 el resumen de los resultados del tablero.

Planilla de circuitos

PROYECTO EDIFICIO AA

TABLERO: TD-03 Ubicación: PISO 3 Tablero desde donde se alimenta: TDP

Voltaje nominal: 220V Voltaje de trabajo: 220V Fases: 3 TABLERO 3F

Circuito	Fase	Voltaje	Puntos	Wipuesto	Reactivo	Fdt	WT	F.P	K.C.	Amps	Conductor	Disyuntor	Servicio
PD-N-03	ABC	220	1	13680	13.68	0.85	11.628	0.92	1	41.51	3#4+N#6+T#8	3P-60A	PD-N-03
TD-03-AC-01	AB	220	1	200	0.2	0.85	0.170	0.92	1	1.05	2#14+T#16	2 polo - 15 amp.	A/C UNIDAD EVAPORADORA 9000BTU PISO 3
TD-03-AC-02	BC	220	1	200	0.2	0.85	0.170	0.92	1	1.05	2#14+T#16	2 polo - 15 amp.	A/C UNIDAD EVAPORADORA 9000BTU PISO 3
TD-03-AC-03	CA	220	1	200	0.2	0.85	0.170	0.92	1	1.05	2#14+T#16	2 polo - 15 amp.	A/C UNIDAD EVAPORADORA 9000BTU PISO 3
TD-03-AC-04	AB	220	1	200	0.2	0.85	0.170	0.92	1	1.05	2#14+T#16	2 polo - 15 amp.	A/C UNIDAD EVAPORADORA 9000BTU PISO 3
TD-03-AC-05	BC	220	1	200	0.2	0.85	0.170	0.92	1	1.05	2#14+T#16	2 polo - 15 amp.	A/C UNIDAD EVAPORADORA 9000BTU PISO 3
TD-03-AC-06	CA	220	1	200	0.2	0.85	0.170	0.92	1	1.05	2#14+T#16	2 polo - 15 amp.	A/C UNIDAD EVAPORADORA 24000BTU PISO 3
TD-03-AC-07	AB	220	1	200	0.2	0.85	0.170	0.92	1	1.05	2#14+T#16	2 polo - 15 amp.	A/C UNIDAD EVAPORADORA 24000BTU PISO 3
TD-03-AC-08	BC	220	1	200	0.2	0.85	0.170	0.92	1	1.05	2#14+T#16	2 polo - 15 amp.	A/C UNIDAD EVAPORADORA 24000BTU PISO 3
TD-03-AC-09	CA	220	1	200	0.2	0.85	0.170	0.92	1	1.05	2#14+T#16	2 polo - 15 amp.	A/C UNIDAD EVAPORADORA 15000BTU PISO 3
TD-03-AC-10	AB	220	1	200	0.2	0.85	0.170	0.92	1	1.05	2#14+T#16	2 polo - 15 amp.	A/C UNIDAD EVAPORADORA 24000BTU PISO 3
TD-03-AC-11	BC	220	1	200	0.2	0.85	0.170	0.92	1	1.05	2#14+T#16	2 polo - 15 amp.	A/C UNIDAD EVAPORADORA 24000BTU PISO 3
TD-03-AC-12	C	120	1	350	0.35	0.85	0.298	0.92	1	3.37	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Extractor
TD-03-AC-13	A	120	3	100	0.3	0.85	0.255	0.92	1	2.89	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Extractor

Figura 8.5: Valores de los circuitos del tablero TD-03 del Piso 3. Fuente: Los Autores.

Tabla 8.5: Resumen del estudio de carga del tablero TD-03 del Piso 3. Fuente: Los Autores.

Demanda (Kw):	14.05	
Factor de coincidencia:	0.75	
Porcentaje de reserva:	25%	
Carga efectiva (Kw)	**13.17**	
Voltaje	220.00	
Amperaje	37.62	
Breaker	47.02	**3P-70A**
Conductor	3#4+N#8+T#8 AWG Cu THHN.	

8.1.4. Cálculos en El Piso 4.

Para determinar el valor de la carga total que se tiene en el Piso 4 se realizó su respectivo estudio de carga en el cuál consta de dos tableros, los cuales se detallan a continuación. En la figura 8.6 se detalla el cálculo del tablero denominado PD-N-04 y en la tabla 8.6 el resumen de los resultados del tablero.

Planilla de circuitos

PROYECTO EDIFICIO AA

Tablero: PD-N-04 — Ubicación: PISO 4 — Voltaje nominal: 220V — Voltaje de trabajo: 220V — Fases: 3 — Tablero desde donde se alimenta: TD-04 — PANEL TRIFASICO DE 24ESP

Circuito	Fase	Voltaje	# puntos	W puesto	Kva/cto	FD	WT	FP	F.C.	Amps	Conductor	Disyuntor	Servicio
PD-N-04-01	A	12T	7	250	1.75	0.8	1.400	0.90	0.75	11.23	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	TC. Sala de uso multiple
PD-N-04-02	B	12T	1	600	0.6	0.65	0.390	0.90	1	4.17	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Tomacorrientes. Cafetería (equipos)
PD-N-04-03	C	12T	2	600	1.2	0.65	0.780	0.90	1	8.34	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Tomacorrientes. Cafetería (equipos)
PD-N-04-04	A	12T	2	600	1.2	0.65	0.780	0.90	1	8.34	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Tomacorrientes. Cafetería (equipos)
PD-N-04-05	B	12T	1	600	0.6	0.65	0.390	0.90	0.8	3.34	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Tomacorrientes. Cafetería (equipos)
PD-N-04-06	C	12T	2	600	1.2	0.65	0.780	0.90	0.8	6.68	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Tomacorrientes. Cafetería (equipos)
PD-N-04-07	A	12T	1	600	0.6	0.8	0.480	0.90	0.7	3.59	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Tomacorrientes. Cafetería (equipos)
PD-N-04-08	B	12T	2	600	1.2	0.65	0.780	0.90	1	8.34	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Tomacorrientes. Cafetería (equipos)
PD-N-04-09	C	12T	1	600	0.6	0.65	0.390	0.90	1	4.17	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Tomacorrientes. Cafetería (equipos)
PD-N-04-10	A	12T	1	1200	1.2	0.65	0.780	0.90	1	8.34	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	TC. Secador de manos B. Mujeres
PD-N-04-11	B	12T	1	1200	1.2	0.65	0.780	0.90	1	8.34	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	TC. Secador de manos B. Hombres
PD-N-04-12	C	12T	12	100	1.2	0.7	0.840	0.90	1	8.99	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Luces de emergencia y Letrero de Salida Pt
PD-N-04-13	A	12T	11	100	1.1	0.7	0.770	0.90	0.9	7.41	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Alumbrado Pt
PD-N-04-14	B	12T	12	100	1.2	0.7	0.840	0.90	0.9	8.09	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Alumbrado Pt
PD-N-04-15	C	12T	10	100	1	0.7	0.700	0.90	0.9	6.74	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Alumbrado Pt
PD-N-04-11-01	AB	220	2	300	0.6	0.65	0.390	0.90	1	2.41	2#12+T#14	2 polo - 20 amp.	TC. de motor de cortina
PD-N-04-02-01	C	12T	1	600	0.6	0.65	0.390	0.90	1	4.17	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Tomacorrientes. Cafetería (equipos)
PD-N-04-05-03	A	12T	1	600	0.6	1.65	0.990	0.90	1	10.59	1#12+N#12+T#15	1 polo - 20 amp.	Tomacorrientes. Cafetería (campana)
PD-N-04-05-01	B	12T	1	600	0.6	0.65	0.390	0.90	0.8	3.34	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Tomacorrientes. Cafetería (equipos)
PD-N-04-06-01	C	12T	1	600	0.6	0.65	0.390	0.90	0.8	3.34	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Tomacorrientes. Cafetería (equipos)
PD-N-04-06-02	A	12T	1	600	0.6	0.65	0.390	0.90	0.8	3.34	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	DISPENSADORA / REFRI/COMEDOR

Figura 8.6: Valores de los circuitos del tablero PD-N-04 del Piso 4. Fuente: Los Autores.

8.1. ANEXO A – CÁLCULO DE CARGA.

Tabla 8.6: Resumen del estudio de carga del tablero PD-N-04 del Piso 4. Fuente: Los Autores.

Demanda (Kw):	13.82	
Factor de coincidencia:	0.7	
Porcentaje de reserva:	20%	
Carga efectiva (Kw)	**11.61**	
Voltaje	220.00	
Amperaje	33.15	
Breaker	41.44	**3P-60A**
Conductor	3#4+N#6+T#8 AWG Cu THHN.	

En la figura 8.7 se detalla el cálculo del tablero denominado TD-04 y en la tabla 8.7 el resumen de los resultados del tablero.

Planilla de circuitos

PROYECTO EDIFICIO AA

TABLERO: TD-04 Ubicación: PISO 4 Tablero desde donde se alimenta: TDP

Voltaje nominal: 220V Voltaje de trabajo: 220V Fases: 3 TABLERO 3F

Circuito	Fase	Voltaje	# puntos	W/punto	Kw/circ	FD	WT	FP	KC	Amps	Conductor	Dispositivo	Servicio
PD-N-04	ABC	220	1	13820	13.82	0.85	11.747	0 V/c	1	41.94	3#4+N#6+T#8	3P-60A	PD-N-04
TD-04-AC-01	AB	220	1	200	0.2	0.85	0.170	0 V/c	1	1.05	2#4+T#16	2 polo - 15 amp.	A/C UNIDAD EVAPORADORA 9000BTU PISO 4
TD-04-AC-02	BC	220	1	350	0.35	0.85	0.298	0 V/c	1	1.84	2#4+T#16	2 polo - 15 amp.	A/C UNIDAD EVAPORADORA 36000BTU PISO 4
TD-04-AC-03	CA	220	1	350	0.35	0.85	0.298	0 V/c	1	1.84	2#4+T#16	2 polo - 15 amp.	A/C UNIDAD EVAPORADORA 36000BTU PISO 4
TD-04-AC-04	AB	220	1	350	0.35	0.85	0.298	0 V/c	1	1.84	2#4+T#16	2 polo - 15 amp.	A/C UNIDAD EVAPORADORA 36000BTU PISO 4
TD-04-AC-05	BC	220	1	200	0.2	0.85	0.170	0 V/c	1	1.05	2#4+T#16	2 polo - 15 amp.	A/C UNIDAD EVAPORADORA 12000BTU PISO 4
TD-04-AC-06	CA	220	1	200	0.2	0.85	0.170	0 V/c	1	1.05	2#4+T#16	2 polo - 15 amp.	A/C UNIDAD EVAPORADORA 21000BTU PISO 4
TD-04-AC-07	A	120	1	300	0.3	0.85	0.255	0 V/c	1	2.89	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Extractor
TD-04-AC-08	B	120	1	100	0.1	0.85	0.085	0 V/c	1	0.96	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Extractor
PD-N-04-05-02	CA	220	1	600	0.6	0.65	0.390	0 V/c	0.8	1.93	2#8+T#10	2 polo - 20 amp.	Tomacorrientes. Cafetería (Cocina 220v)

Figura 8.7: Valores de los circuitos del tablero TD-04 del Piso 4. Fuente: Los Autores.

Tabla 8.7: Resumen del estudio de carga del tablero TD-04 del Piso 4. Fuente: Los Autores.

Demanda (Kw):	13.88	
Factor de coincidencia:	0.75	
Porcentaje de reserva:	25%	
Carga efectiva (Kw)	**13.01**	
Voltaje	220.00	
Amperaje	37.16	
Breaker	46.45	**3P-60A**
Conductor	3#2+N#6+T#6 AWG Cu THHN.	

8.1.5. Cálculos en El Piso 5.

Para determinar el valor de la carga total que se tiene en el Piso 5 se realizó su respectivo estudio de carga en el cuál consta de tres tableros, los cuales se detallan a continuación. En la figura 8.8 se detalla el cálculo del tablero denominado PD-N-05 y en la tabla 8.8 el resumen de los resultados del tablero.

Planilla de circuitos

PROYECTO EDIFICIO AA

TABLERO: PD-N-05 Ubicación: PISO 5 Tablero desde donde se alimenta: TD-TERRAZA

Voltaje nominal: 220V Voltaje de trabajo: 220V Fases: 3 PANEL MONOFASICO DE 12ESP

Circuito	Fase	Voltaje	# puntos	W/punto	K=Vcirc.	FD	WT	F.P	F.C.	Amps	Conductor	Disyuntor	Servicio
PD-N-05-01	A	127	7	250	1.75	0.8	1.400	0.92	0.75	11.23	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Tomacorrientes. Sala de capacitacion P5
PD-N-05-02	B	127	8	250	2	0.8	1.000	0.92	0.75	12.84	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Tomacorrientes. Area de Rosett PISO 5
PD-N-05-03	C	127	5	250	1.25	0.8	1.000	0.92	0.75	8.02	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Tomacorrientes. Area de CAPACITACIONES LOSA
PD-N-05-04	AB	220	2	250	0.5	0.8	0.400	0.92	0.75	1.85	2#12+T#14	2 polo - 20 amp.	TC. CORTINAS MOTORIZADAS
PD-N-05-05	C	127	24	100	2.4	0.7	1.080	0.92	0.7	12.58	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Alumbrado sala de capacitacion y Rosett PISO 5
PD-N-05-06	A	127	8	100	0.8	0.7	0.560	0.92	0.7	4.19	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Alumbrado ingreso Rosett PISO 5
PD-N-05-07	B	127	10	100	1	0.8	0.800	0.92	0.7	5.99	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	TC Luces de emergencia capacitacion y Rosett PISO

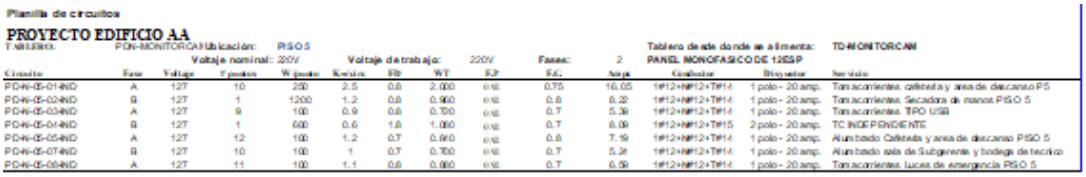
Figura 8.8: Valores de los circuitos del tablero PD-N-05 del Piso 5. Fuente: Los Autores.

8.1. ANEXO A – CÁLCULO DE CARGA.

Tabla 8.8: Resumen del estudio de carga del tablero PD-N-05 del Piso 5. Fuente: Los Autores.

Demanda (Kw):	7.44	
Factor de coincidencia:	0.7	
Porcentaje de reserva:	20%	
Carga efectiva (Kw)	**6.25**	
Voltaje	220.00	
Amperaje	30.88	
Breaker	38.60	**2P-40A**
Conductor	2#8+N#10+T#12 AWG Cu THHN.	

En la figura 8.9 se detalla el cálculo del tablero denominado PDN-MONITORCAM y en la tabla 8.9 el resumen de los resultados del tablero.



Planilla de circuitos

PROYECTO EDIFICIO AA

Tablero: PDN-MONITORCAM Ubicación: PISO 5 Tablero desde donde se alimenta: TD-MONITORCAM

Voltaje nominal: 220V Voltaje de trabajo: 220V Fases: 2 PANEL MONOFASICO DE 12ESP

Circuito	Fase	Voltaje	# puntos	W puntos	Kw/circ	FD	WT	F.P	F.C.	Amps	Conductor	Disyuntor	Servicio
PD-N-05-01-IND	A	127	10	250	2.5	0.8	2.000	0.92	0.75	16.05	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Tomacorrientes, cafetería y area de descanso P5
PD-N-05-02-IND	B	127	1	1200	1.2	0.8	0.960	0.92	0.8	8.32	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Tomacorrientes, Secadora de manos PISO 5
PD-N-05-03-IND	A	127	9	100	0.9	0.8	0.720	0.92	0.7	5.39	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Tomacorrientes, TIPO USB
PD-N-05-04-IND	B	127	1	600	0.6	1.8	1.080	0.92	0.7	8.09	1#12+N#12+T#15	2 polo - 20 amp.	TC INDEPENDIENTE
PD-N-05-05-IND	A	127	12	100	1.2	0.7	0.840	0.92	0.8	7.19	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Alumbrado Cafeteria y area de descanso PISO 5
PD-N-05-07-IND	B	127	10	100	1	0.7	0.700	0.92	0.7	5.24	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Alumbrado sala de Subgerente y bodega de tecnico
PD-N-05-08-IND	A	127	11	100	1.1	0.8	0.880	0.92	0.7	6.59	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Tomacorrientes, Luces de emergencia PISO 5

Figura 8.9: Valores de los circuitos del tablero PDN-MONITORCAM del Piso 5. Fuente: Los Autores.

8.1. ANEXO A – CÁLCULO DE CARGA.

Tabla 8.9: Resumen del estudio de carga del tablero PDN-MONITORCAM del Piso 5. Fuente: Los Autores.

Demanda (Kw):	7.18	
Factor de coincidencia:	0.7	
Porcentaje de reserva:	20%	
Carga efectiva (Kw)	**6.03**	
Voltaje	220.00	
Amperaje	17.22	
Breaker	21.53	**2P-30A**
Conductor	2#10+N#12+T#14 AWG Cu THHN.	

En la figura 8.10 se detalla el cálculo del tablero denominado TD- MONITORCAM y en la tabla 8.10 el resumen de los resultados del tablero.

Planilla de circuitos

PROYECTO EDIFICIO AA

Tablero: TD-MONITORCAM Ubicación: PISO 5 Tablero desde donde se alimenta: TM

Voltaje nominal: 220V Voltaje de trabajo: 220V Fases: 3 TABLERO 3F

Circuito	Fase	Voltaje	# puntos	W puntos	Kw/circ	FD	WT	F.P	F.C.	Amps	Conductor	Disyuntor	Servicio
PDN-MONITORCAM	ABC	220	1	7100.00	7.18	0.8	5.744	0.92	1	20.51	1#12+T#14 AWG Cu	2P-30A	PDN-MONITORCAM
TD-05-AC-05	ABC	220	1	20400	20.4	0.8	16.320	0.92	1	58.26	3#4+T#6 AWG	3 polo - 60 amp.	A/C UNIDAD CONDENSADORA#5
TD-05-AC-06	BC	220	1	200	0.2	0.8	0.160	0.92	1	1.24	2#12+T#14	2 polo - 15 amp.	A/C UNIDAD EVAPORADORA 9000BTU PISO 5
TD-05-AC-07	CA	220	1	200	0.2	0.8	0.160	0.92	1	1.24	2#12+T#14	2 polo - 15 amp.	A/C UNIDAD EVAPORADORA 9000BTU PISO 5
TD-05-AC-08	AB	220	1	200	0.2	0.8	0.160	0.92	1	1.24	2#12+T#14	2 polo - 15 amp.	A/C UNIDAD EVAPORADORA 9000BTU PISO 5
TD-05-AC-09	BC	220	1	200	0.2	0.8	0.160	0.92	1	1.24	2#12+T#14	2 polo - 15 amp.	A/C UNIDAD EVAPORADORA 9000BTU PISO 5
TD-05-AC-10	CA	220	1	350	0.35	0.8	0.280	0.92	1	2.16	2#12+T#14	2 polo - 15 amp.	A/C UNIDAD EVAPORADORA 36000BTU PISO 5
TD-05-AC-11	AB	220	1	200	0.2	0.8	0.160	0.92	1	1.24	2#12+T#14	2 polo - 15 amp.	A/C UNIDAD EVAPORADORA 12000BTU PISO 5
TD-05-AC-12	BC	220	1	200	0.2	0.8	0.160	0.92	1	1.24	2#12+T#14	2 polo - 15 amp.	A/C UNIDAD EVAPORADORA 15000BTU PISO 5
TD-05-AC-13	CA	220	1	200	0.2	0.8	0.160	0.92	1	1.24	2#12+T#14	2 polo - 15 amp.	A/C UNIDAD EVAPORADORA 15000BTU PISO 5
TD-05-AC-12	AB	220	1	350	0.35	0.8	0.280	0.92	1	2.16	2#12+T#14	2 polo - 15 amp.	A/C UNIDAD EVAPORADORA 54000BTU PISO 5
TD-05-AC-13	AB	220	1	350	0.35	0.8	0.280	0.92	1	2.16	2#12+T#14	2 polo - 15 amp.	A/C UNIDAD EVAPORADORA 54000BTU PISO 5
TD-05-AC-14	A	127	5	100	0.5	0.8	0.400	0.92	1	5.35	1#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Extractores piso 5

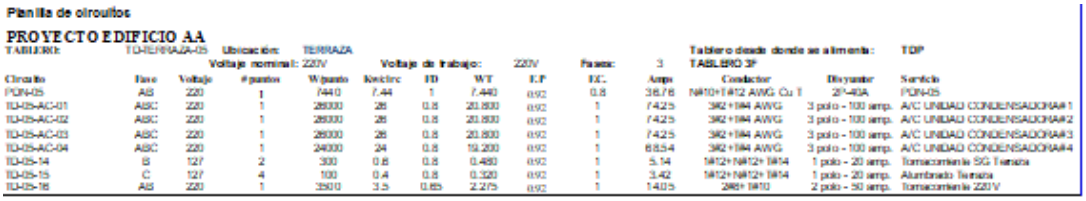
Figura 8.10: Valores de los circuitos del tablero TD-MONITORCAM del Piso 5. Fuente: Los Autores.

Tabla 8.10: Resumen del estudio de carga del tablero TD-MONITORCAM del Piso 5. Fuente: Los Autores.

Demanda (Kw):	24.42	
Factor de coincidencia:	0.8	
Porcentaje de reserva:	20%	
Carga efectiva (Kw)	**23.45**	
Voltaje	220.00	
Amperaje	66.96	
Breaker	83.70	**3P-100A**
Conductor	3#2/0+N#1/0+T#2 AWG Cu THHN.	

8.1.6. Cálculos en La Terraza

Para determinar el valor de la carga total que se tiene en La Terraza se realizó su respectivo estudio de carga en el cuál consta de un tablero, el cual se detalla a continuación. En la figura 8.11 se detalla el cálculo del tablero denominado TD-TERRAZA-05 y en la tabla 8.11 el resumen de los resultados del tablero.



Planilla de circuitos

PROYECTO EDIFICIO AA

TABLERO: TD-TERRAZA-05 Ubicación: TERRAZA Tablero desde donde se alimenta: TDP

Voltaje nominal: 220V Voltaje de trabajo: 220V Fases: 3 TABLERO 3F

Circuito	Fase	Voltaje	# puntos	W/punto	Kva/circ	FD	WT	F.P	F.C.	Amp	Conductor	Disyuntor	Servicio
PDN-05	ABC	220	1	7440	7.44	1	7.440	0.92	0.8	36.76	N#10+T#12 AWG Cu T	3P-40A	PDN-05
TD-05-AC-01	ABC	220	1	28000	28	0.8	20.800	0.92	1	74.25	3#2+1#4 AWG	3 polo - 100 amp.	A/C UNIDAD CONDENSADORA#1
TD-05-AC-02	ABC	220	1	28000	28	0.8	20.800	0.92	1	74.25	3#2+1#4 AWG	3 polo - 100 amp.	A/C UNIDAD CONDENSADORA#2
TD-05-AC-03	ABC	220	1	28000	28	0.8	20.800	0.92	1	74.25	3#2+1#4 AWG	3 polo - 100 amp.	A/C UNIDAD CONDENSADORA#3
TD-05-AC-04	ABC	220	1	24000	24	0.8	19.200	0.92	1	68.54	3#2+1#4 AWG	3 polo - 100 amp.	A/C UNIDAD CONDENSADORA#4
TD-05-14	B	127	2	300	0.6	0.8	0.480	0.92	1	5.14	N#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Tomacorriente SG Terraza
TD-05-15	C	127	4	100	0.4	0.8	0.320	0.92	1	3.42	N#12+N#12+T#14	1 polo - 20 amp.	Alumbrado Terraza
TD-05-16	AB	220	1	3500	3.5	0.85	2.275	0.92	1	14.05	2#8+1#10	2 polo - 50 amp.	Tomacorriente 220V

Figura 8.11: Valores de los circuitos del tablero TD-TERRAZA-05 de la Terraza. Fuente: Los Autores.

Tabla 8.11: Resumen del estudio de carga del tablero TD-TERRAZA-05 de la Terraza. Fuente: Los Autores.

Demanda (Kw):	92.12	
Factor de coincidencia:	0.8	
Porcentaje de reserva:	20%	
Carga efectiva (Kw)	**88.43**	
Voltaje	220.00	
Amperaje	252.55	
Breaker	315.69	**3P- 400A**
Conductor	2(3#4/0)+N#4/0+T#4/0 MCM Cu THHN.	

8.2. ANEXO B – Código Principal.

El Código Principal del proyecto de desarrollo fue realizado en el software de MATLAB®.

8.2.1. Código: Criterio N°1.

```
%% COMANDOS INICIALES:
clearvars;  % Borra las variables del Workspace.
clc;        % Limpia la pantalla del Command Windows.
close all   % Cierra pestanas, figuras o espacios de
   trabajo.

%% PASO NO1: LECTURA DE VARIABLES:
VARIABLES_table = readtable("
   RESUMEN_VARIABLES_ESCENARIOS.xlsx");
VARIABLES_double = table2array(VARIABLES_table);

%% PASO NO2: ASIGNACION DE VARIABLES:
Perdidas_Potencia = VARIABLES_double(1,:);
Desviacion_Voltaje = VARIABLES_double(2,:);
Costo_Total = VARIABLES_double(3,:);

%% PASO NO3: DEFINICION DE LA MATRIZ DE DECISION:
Matriz_Decision = [Perdidas_Potencia; ...
```

```
                    Desviacion_Voltaje; ...
                    Costo_Total];
[num_criterios, num_escenarios] = size(Matriz_Decision);

%% PASO N04: Normalizacion de la matriz de decision:
Matriz_Normalizada = zeros(size(Matriz_Decision));
for i = 1:num_criterios
    Matriz_Normalizada(i,:) = (Matriz_Decision(i,:) -
       min(Matriz_Decision(i,:))) / ...
                              (max(Matriz_Decision(i,:))
                                  - min(Matriz_Decision(
                                 i,:)));
end

%% PASO N05: Calculo de la desviacion estandar:
Desviacion_estandar = std(Matriz_Normalizada, 0, 2);
% NOTA: 0 para la desviacion estandar muestral, 2 para
   operar por filas.

%% PASO N06: Calculo de la matriz de correlacion:
R = corrcoef(Matriz_Normalizada');
% NOTA: Transponemos para calcular la correlacion entre
   filas.

%% PASO N07: Calculo de las ponderaciones usando CRITIC:
Ponderacion = zeros(num_criterios,1);
for i = 1:num_criterios
    Ponderacion(i) = Desviacion_estandar(i) * sum(1 - R(
       i,:)); % Peso para cada criterio.
end

%% PASO N08: Normalizacion de las ponderaciones:
Ponderacion_Normalizada = Ponderacion / sum(Ponderacion)
   ;

%% PASO N09: Ajustar ponderaciones segun preferencias:
% NOTA: Se asigna mas peso a la fila 2, luego 1 y 3.
% CRITERIO N1.
Ponderacion_Ajustada = Ponderacion_Normalizada;
```

```
Ponderacion_Ajustada(1) = 0.80; % Peso para la fila 1 (perdidas en kilovatios).
Ponderacion_Ajustada(2) = 0.90; % Peso para la fila 2 (desviacion de voltaje).
Ponderacion_Ajustada(3) = 0.30; % Peso para la fila 3 (costos).

%% PASO N10: Normalizar nuevamente posterior al ajuste:
Ponderacion_Ajustada = Ponderacion_Ajustada / sum(Ponderacion_Ajustada);

%% PASO N11: Calcular las sumas ponderadas:
Sumas_Ponderadas = zeros(1, num_escenarios);
for i = 1:num_escenarios
    Sumas_Ponderadas(i) = sum(Matriz_Normalizada(:,i) .* Ponderacion_Ajustada);
end

%% PASO N12: Determinar el escenario ganador (minimo valor):
[win_case, Escenario_Ganador] = min(Sumas_Ponderadas);

%% PASO N13: Determinar el escenario ganador (minimo valor):
disp("Las ponderaciones ajustadas son:");
disp(Ponderacion_Ajustada);
disp("Las sumas ponderadas para cada escenario son:");
disp(Sumas_Ponderadas);
disp(["El escenario ganador es: Escenario ", num2str(Escenario_Ganador)]);
```

8.2.2. Código: Criterio N°2.

```
%% COMANDOS INCIALES:
clearvars;  % Borra las variables del Workspace.
clc;        % Limpia la pantalla del Command Windows.
close all   % Cierra pestanas, figuras o espacios de trabajo.
%% PASO N01: LECTURA DE VARIABLES:
```

```
VARIABLES_table=readtable("RESUMEN_VARIABLES_ESCENARIOS.xlsx");
VARIABLES_double=table2array(VARIABLES_table);
%% PASO N02: ASIGNACION DE VARIABLES:
Perdidas_Potencia=VARIABLES_double(1,:);
Desviacion_Voltaje=VARIABLES_double(2,:);
Costo_Total=VARIABLES_double(3,:);
%% PASO N03: DEFINICION DE LA MATRIZ DE DECISION {Filas y columnas}:
Matriz_Decision=[Perdidas_Potencia;...
                 Desviacion_Voltaje;...
                 Costo_Total];
[num_criterios, num_escenarios] = size(Matriz_Decision);
%% PASO N04: Normalizacion de la matriz de decision usando normalizacion por rango:
Matriz_Normalizada = zeros(size(Matriz_Decision));
for i = 1:num_criterios
    Matriz_Normalizada(i,:) = (Matriz_Decision(i,:) - min(Matriz_Decision(i,:))) / (max(Matriz_Decision(i,:)) - min(Matriz_Decision(i,:)));
end
%% PASO N05: Calculo de la desviacion estandar de cada criterio
Desviacion_estandar = std(Matriz_Normalizada, 0, 2);
% NOTA: 0 para la desviacion estandar muestral, 2 para operar por filas.

%% PASO N06: Calculo de la matriz de correlacion entre criterios
R = corrcoef(Matriz_Normalizada');
% NOTA: Transponemos para calcular la correlacion entre filas.

%% PASO N07: Calculo de las ponderaciones usando CRITIC:
Ponderacion = zeros(num_criterios,1);
for i = 1:num_criterios
    Ponderacion(i) = Desviacion_estandar(i) * sum(1 - R(i,:)); % Peso para cada criterio.
end

```

```
%% PASO N08: Normalizacion de las ponderaciones:
Ponderacion_Normalizada = Ponderacion / sum(Ponderacion);

%% PASO N09: Ajustar ponderaciones segun sea la preferencia:
% NOTA: Se asigna mas peso a la fila 1, luego 2 y 3.
% CRITERIO N2.
Ponderacion_Ajustada = Ponderacion_Normalizada;
Ponderacion_Ajustada(1) = 0.90;  % Peso para la fila 1 (perdidas en kilovatios).
Ponderacion_Ajustada(2) = 0.80;  % Peso para la fila 2 (desviacion de voltaje).
Ponderacion_Ajustada(3) = 0.30;  % Peso para la fila 3 (costos).

%% PASO N10: Normalizar nuevamente posterior al ajuste:
Ponderacion_Ajustada = Ponderacion_Ajustada / sum(Ponderacion_Ajustada);

%% PASO N11: Calcular las sumas ponderadas de los escenarios:
Sumas_Ponderadas = zeros(1, num_escenarios);
for i = 1:num_escenarios
    Sumas_Ponderadas(i) = sum(Matriz_Normalizada(:,i) .* Ponderacion_Ajustada);
end

%% PASO N12: Determinar el escenario ganador (minimo valor):
[win_case, Escenario_Ganador] = min(Sumas_Ponderadas);

%% PASO N13: Determinar el escenario ganador (minimo valor):
disp("Las ponderaciones ajustadas son:");
disp(Ponderacion_Ajustada);
disp("Las sumas ponderadas para cada escenario son:");
disp(Sumas_Ponderadas);
disp(["El escenario ganador es: Escenario ", num2str(Escenario_Ganador)]);
```

8.2.3. Código: Criterio N°3.

```
%% COMANDOS INCIALES:
clearvars;  % Borra las variables del Workspace.
clc;        % Limpia la pantalla del Command Windows.
close all   % Cierra pestanas, figuras o espacios de
   trabajo.
%% PASO N01: LECTURA DE VARIABLES:
VARIABLES_table=readtable("RESUMEN_VARIABLES_ESCENARIOS.
   xlsx");
VARIABLES_double=table2array(VARIABLES_table);
%% PASO N02: ASIGNACION DE VARIABLES:
Perdidas_Potencia=VARIABLES_double(1,:);
Desviacion_Voltaje=VARIABLES_double(2,:);
Costo_Total=VARIABLES_double(3,:);
%% PASO N03: DEFINICION DE LA MATRIZ DE DECISION {Filas
   y columnas}:
Matriz_Decision=[Perdidas_Potencia;...
                 Desviacion_Voltaje;...
                 Costo_Total];
[num_criterios, num_escenarios] = size(Matriz_Decision);
%% PASO N04: Normalizacion de la matriz de decision
   usando normalizacion por rango:
Matriz_Normalizada = zeros(size(Matriz_Decision));
for i = 1:num_criterios
    Matriz_Normalizada(i,:) = (Matriz_Decision(i,:) -
       min(Matriz_Decision(i,:))) / (max(Matriz_Decision
       (i,:)) - min(Matriz_Decision(i,:)));
end
%% PASO N05: Calculo de la desviacion estandar de cada
   criterio
Desviacion_estandar = std(Matriz_Normalizada, 0, 2);
% NOTA: 0 para la desviacion estandar muestral, 2 para
   operar por filas.

%% PASO N06: Calculo de la matriz de correlacion entre
   criterios:
R = corrcoef(Matriz_Normalizada');
% NOTA: Transponemos para calcular la correlacion entre
   filas.
```

```
29
30 %% PASO N07: Calculo de las ponderaciones usando CRITIC:
31 Ponderacion = zeros(num_criterios,1);
32 for i = 1:num_criterios
33     Ponderacion(i) = Desviacion_estandar(i) * sum(1 - R(
       i,:)); % Peso para cada criterio.
34 end
35
36 %% PASO N08: Normalizacion de las ponderaciones:
37 Ponderacion_Normalizada = Ponderacion / sum(Ponderacion)
   ;
38
39 %% PASO N09: Ajustar ponderaciones segun sea la
   preferencia:
40 % NOTA: Se asigna mas peso a la fila 3, luego 2 y 1.
41 % CRITERIO N3.
42 Ponderacion_Ajustada = Ponderacion_Normalizada;
43 Ponderacion_Ajustada(1) = 0.30;  % Peso para la fila 1 (
   perdidas en kilovatios).
44 Ponderacion_Ajustada(2) = 0.80;  % Peso para la fila 2 (
   desviacion de voltaje).
45 Ponderacion_Ajustada(3) = 0.90;  % Peso para la fila 3 (
   costos).
46
47 %% PASO N10: Normalizar nuevamente posterior al ajuste:
48 Ponderacion_Ajustada = Ponderacion_Ajustada / sum(
   Ponderacion_Ajustada);
49
50 %% PASO N11: Calcular las sumas ponderadas de los
   escenarios:
51 Sumas_Ponderadas = zeros(1, num_escenarios);
52 for i = 1:num_escenarios
53     Sumas_Ponderadas(i) = sum(Matriz_Normalizada(:,i) .*
         Ponderacion_Ajustada);
54 end
55
56 %% PASO N12: Determinar el escenario ganador (minimo
   valor):
57 [win_case, Escenario_Ganador] = min(Sumas_Ponderadas);
58
```

```
%% PASO N13: Determinar el escenario ganador (minimo
   valor):
disp("Las ponderaciones ajustadas son:");
disp(Ponderacion_Ajustada);
disp("Las sumas ponderadas para cada escenario son:");
disp(Sumas_Ponderadas);
disp(["El escenario ganador es: Escenario ", num2str(
   Escenario_Ganador)]);
```

8.3. ANEXO C – Código Gráficas.

El Código Gráficas del proyecto de desarrollo fue realizado en el software de MATLAB®.

```
%% COMANDOS INCIALES:
clearvars;  % Borra las variables del Workspace.
clc;        % Limpia la pantalla del Command Windows.
close all   % Cierra pestanas, figuras o espacios de
   trabajo.
%% PASO N01: LECTURA DE VARIABLES:
VARIABLES_table=readtable("RESUMEN_VARIABLES_ESCENARIOS.
   xlsx");
VARIABLES_double=table2array(VARIABLES_table);
%% PASO N02: ASIGNACION DE VARIABLES:
Perdidas_Potencia=VARIABLES_double(1,:);
Desviacion_Voltaje=VARIABLES_double(2,:);
Costo_Total=VARIABLES_double(3,:);
%% PASO N03: GRAFICAS:
load Sumas_Ponderadas.mat
%
figure(1);
bar(Perdidas_Potencia);
title("Valores de las Perdidas de Potencia por
   Escenarios","FontName","Times","Color","r","FontSize
   ",18)
legend("Perdidas de Potencia {kW}","FontName","Times","
   FontSize",12,"Location","northeast")
xlabel("ESCENARIOS","FontName","Times","FontSize",18)
```

```
ylabel("Perdida de Potencia {kW}","FontName","Times","
    FontSize",18)
grid on; grid minor;
%
figure(2);
bar(Desviacion_Voltaje);
title("Valores del Promedio de la Desviacion de Voltaje
    por Escenarios","FontName","Times","Color","r","
    FontSize",18)
legend("Desviacion de Voltaje {%}","FontName","Times","
    FontSize",12,"Location","north")
xlabel("ESCENARIOS","FontName","Times","FontSize",18)
ylabel("Desviacion de Voltaje {%}","FontName","Times","
    FontSize",18)
grid on; grid minor;
%
figure(3);
bar(Costo_Total);
title("Valores de los Costos Totales por Escenarios","
    FontName","Times","Color","r","FontSize",18)
legend("Costos Totales {$}","FontName","Times","FontSize
    ",12,"Location","northeast")
xlabel("ESCENARIOS","FontName","Times","FontSize",18)
ylabel("Costos Totales {$}","FontName","Times","FontSize
    ",18)
grid on; grid minor;
%
figure(4);
hold on
escenarios=1:15;
plot(escenarios,Sumas_Ponderadas, "-o")
bar(Sumas_Ponderadas);
title("Valores de las Sumas Ponderadas por Escenarios","
    FontName","Times","Color","r","FontSize",18)
legend("Sumas Ponderadas","FontName","Times","FontSize
    ",12,"Location","northeast")
xlabel("ESCENARIOS","FontName","Times","FontSize",18)
ylabel("Sumas Ponderadas","FontName","Times","FontSize
    ",18)
grid on; grid minor;
```

```
49 hold off
```

8.4. ANEXO D – Cargas.

8.4.1. PD-N-01.

Toda la carga total que se encuentra ubicada en el piso 1 se la modelo mediante una “General Load” con los parámetros y datos ilustrados en la figura 8.12.

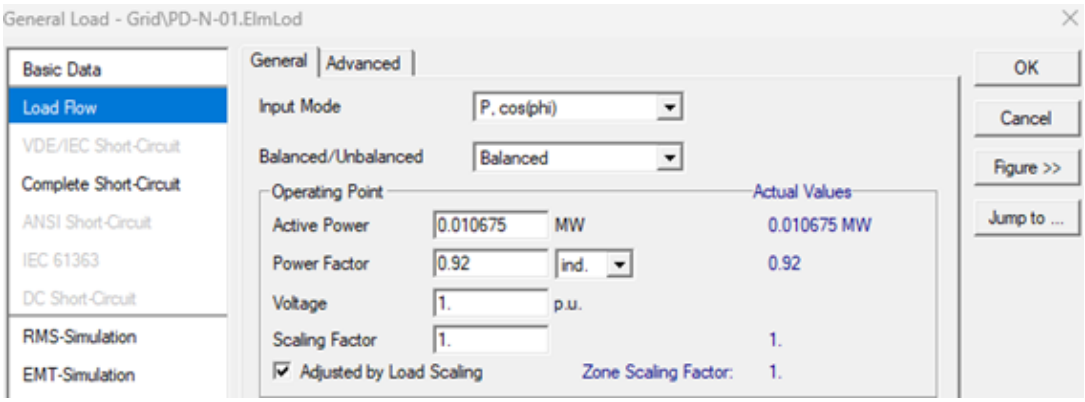


Figura 8.12: Datos de la carga PD-N-01 en el Diagrama Unifilar Base en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores.

8.4.2. PD-N-02.

Toda la carga total que se encuentra ubicada en el piso 2 se la modelo mediante una “General Load” con los parámetros y datos detallados en la figura 8.13.

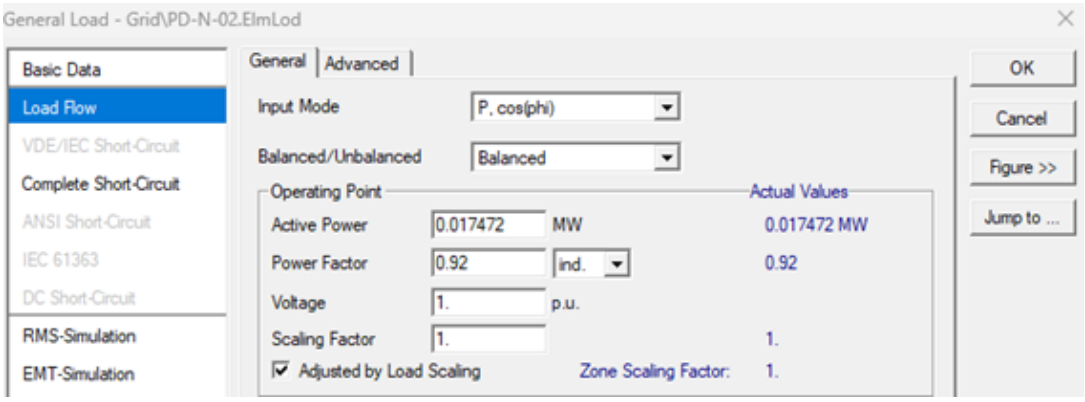


Figura 8.13: Datos de la carga PD-N-02 en el Diagrama Unifilar Base en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores.

8.4.3. PD-N-03.

Toda la carga total que se encuentra ubicada en el piso 3 se la modelo mediante una “General Load” con los parámetros y datos expuestos en la figura 8.14.

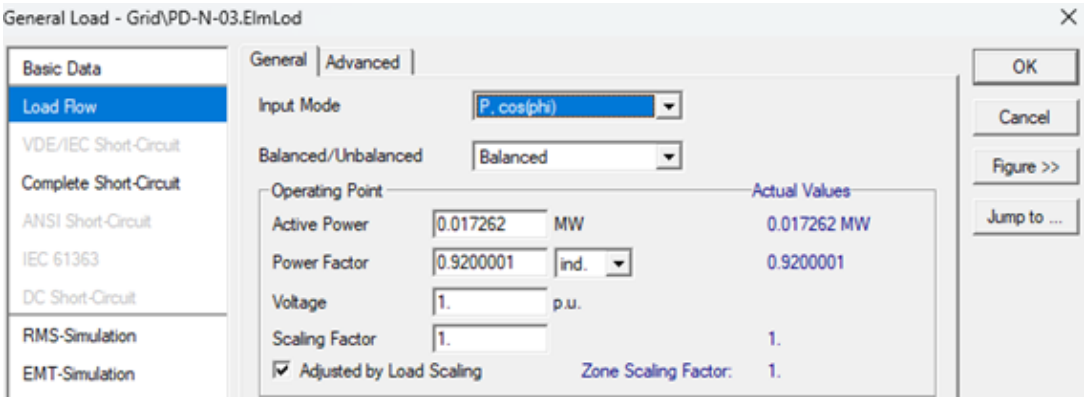


Figura 8.14: Datos de la carga PD-N-03 en el Diagrama Unifilar Base en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores.

8.4.4. PD-N-04.

Toda la carga total que se encuentra ubicada en el piso 4 se la modelo mediante una “General Load” con los parámetros y datos expuestos en la figura 8.15.

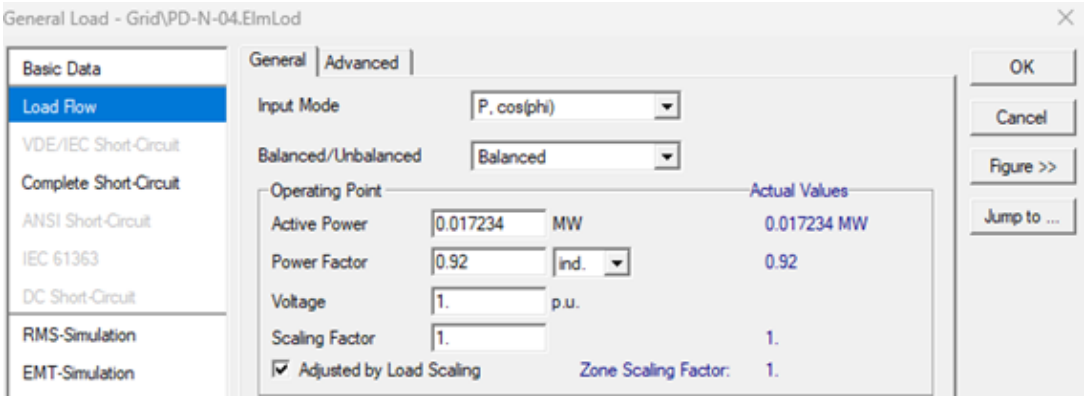


Figura 8.15: Datos de la carga PD-N-04 en el Diagrama Unifilar Base en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores.

8.4.5. PD-N-05.

Toda la carga total que se encuentra ubicada en el piso 5 se la modelo mediante una “General Load” con los parámetros y datos mostrados en la figura 8.16.

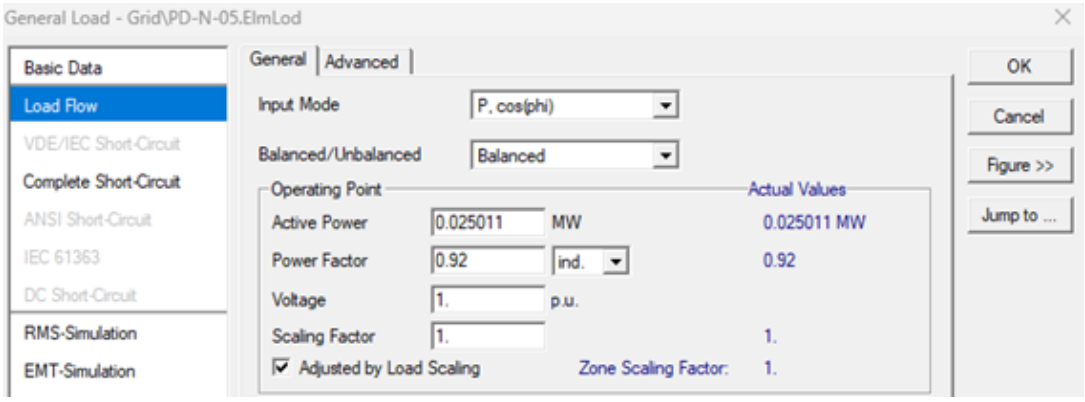


Figura 8.16: Datos de la carga PD-N-05 en el Diagrama Unifilar Base en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores.

8.4.6. PD-MONITOREO.

Toda la carga total que se encuentra ubicada en el piso 5 de Monitoreo, se la modelo mediante una “General Load” con los parámetros y datos ilustrados en la figura 8.17.

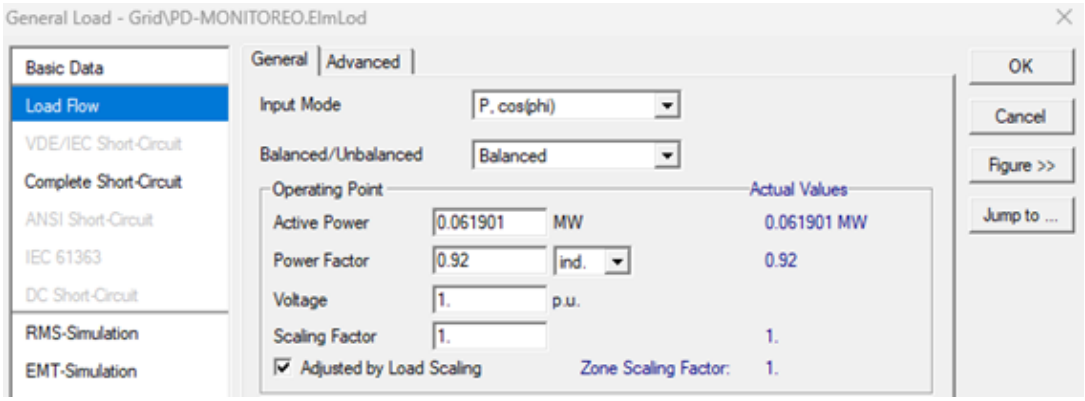


Figura 8.17: Datos de la carga PD-MONITOREO en el Diagrama Unifilar Base en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores.

8.5. ANEXO E – Tramos de conexión.

8.5.1. Segundo Tramo.

El segundo tramo del Diseño del Diagrama Unifilar en Power Factory DigSILENT conecta la Barra del TD-PB con el Nodo 1, y consta con una longitud de 25 metros tal como se detalla en la figura 8.18.

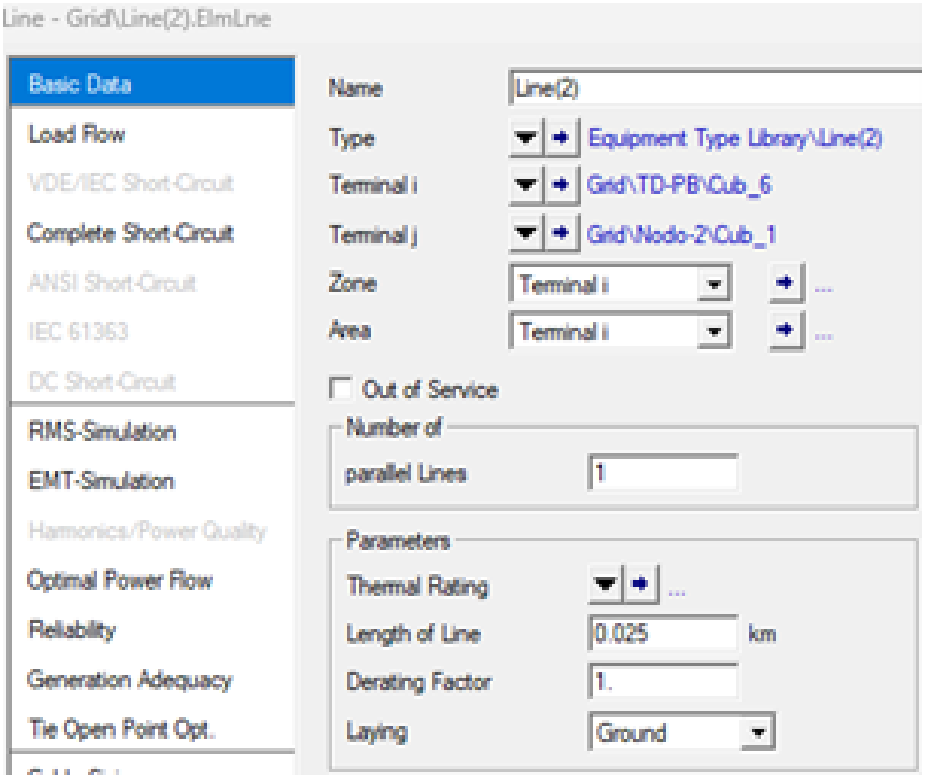


Figura 8.18: Longitud del segundo tramo en el Diagrama Unifilar Base en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores.

8.5.2. Tercer Tramo.

El tercer tramo del Diseño del Diagrama Unifilar en Power Factory DigSILENT conecta el Nodo 1 con la Barra TD-MONITOREO, y consta con una longitud de 31 metros tal como se da a conocer en la figura 8.19.

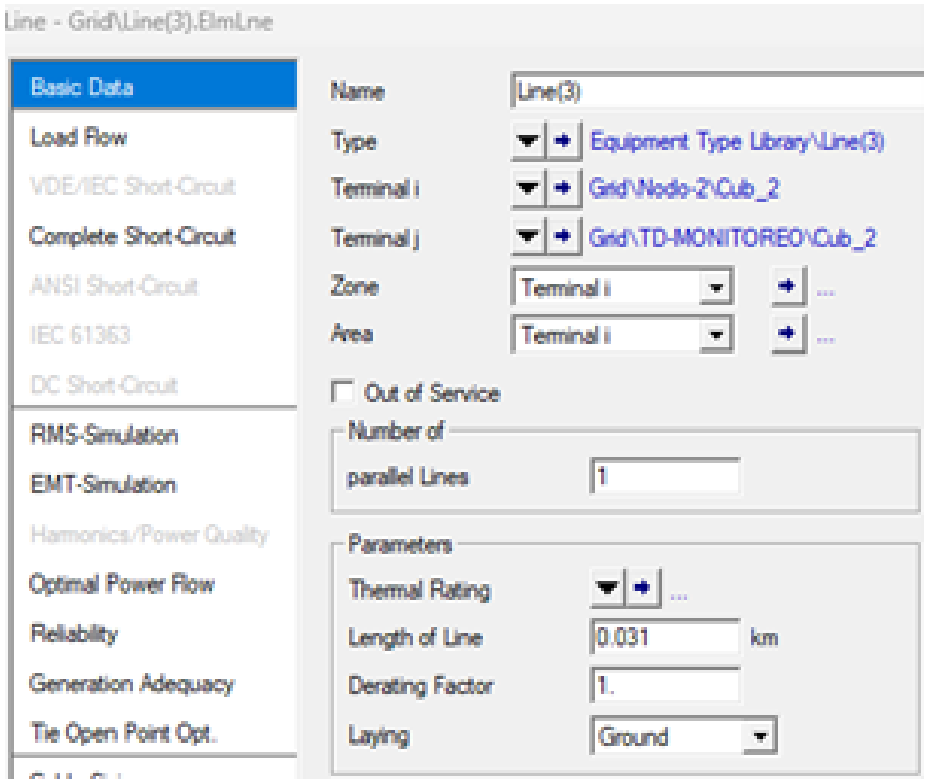


Figura 8.19: Longitud del tercer tramo en el Diagrama Unifilar Base en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores.

8.5.3. Cuarto Tramo.

El cuarto tramo del Diseño del Diagrama Unifilar en Power Factory DigSILENT conecta la Barra TD-PB con el Nodo 2, y consta con una longitud de 10 metros tal como se visualiza en la figura 8.20.

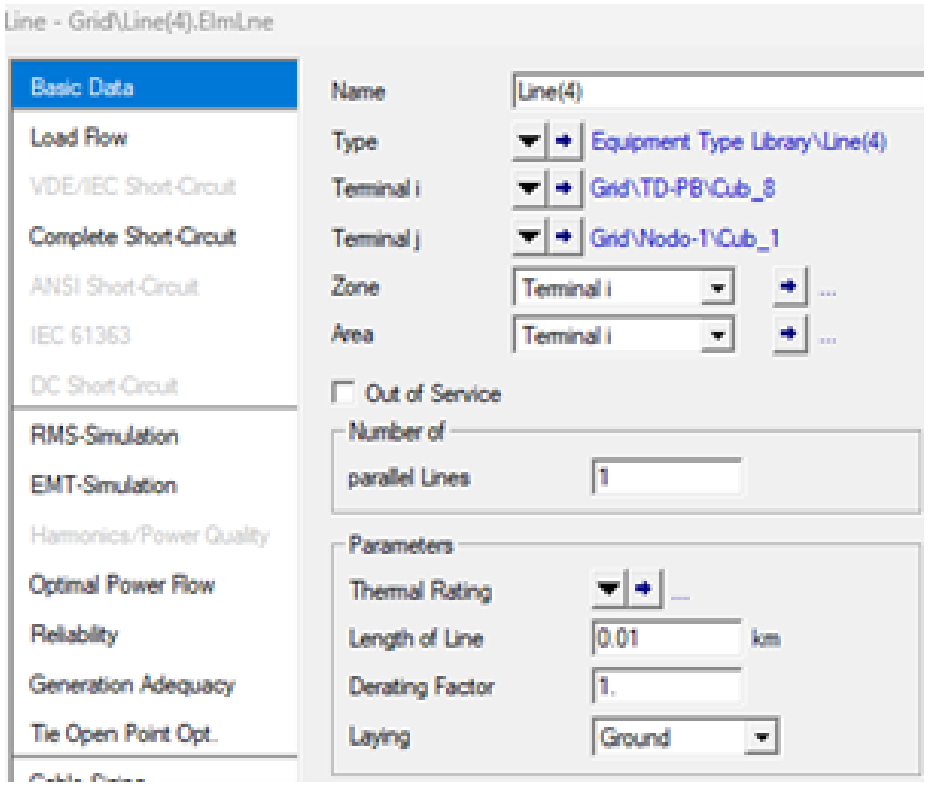


Figura 8.20: Longitud del cuarto tramo en el Diagrama Unifilar Base en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores.

8.5.4. Quinto Tramo.

El quinto tramo del Diseño del Diagrama Unifilar en Power Factory DigSILENT conecta la Barra TD-PB con la Barra TD-01, y consta con una longitud de 10 metros tal como se muestra en la figura 8.21.

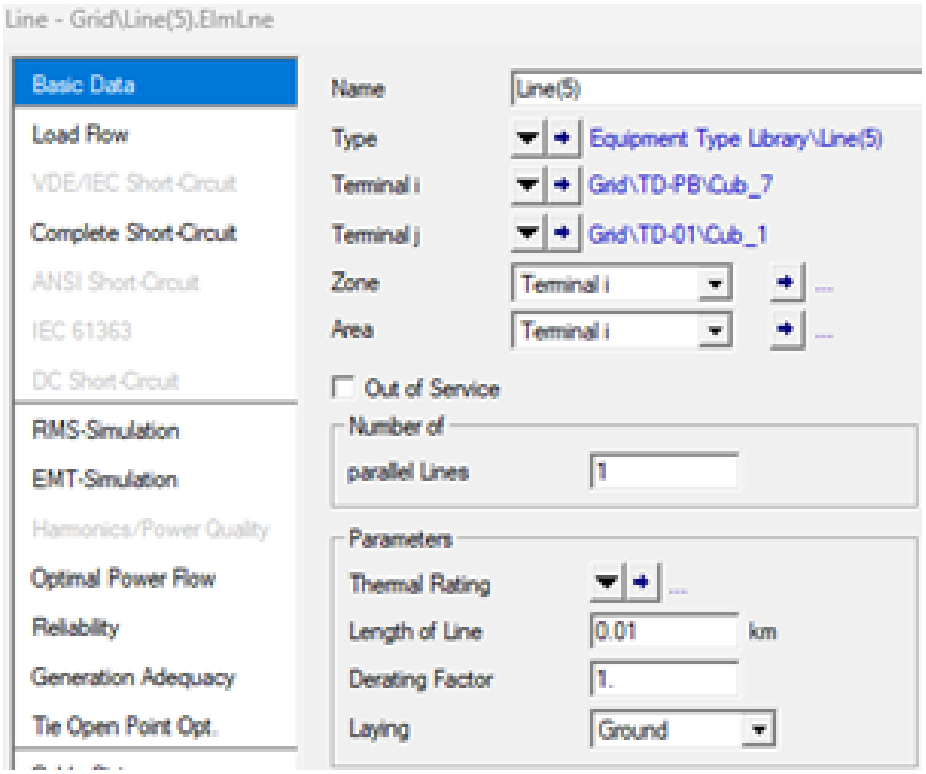


Figura 8.21: Longitud del quinto tramo en el Diagrama Unifilar Base en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores.

8.5.5. Sexto Tramo.

El sexto tramo del Diseño del Diagrama Unifilar en Power Factory DigSILENT conecta la Barra TD-01 con la Barra TD-02, y consta con una longitud de 12 metros tal como se detalla en la figura 8.22.

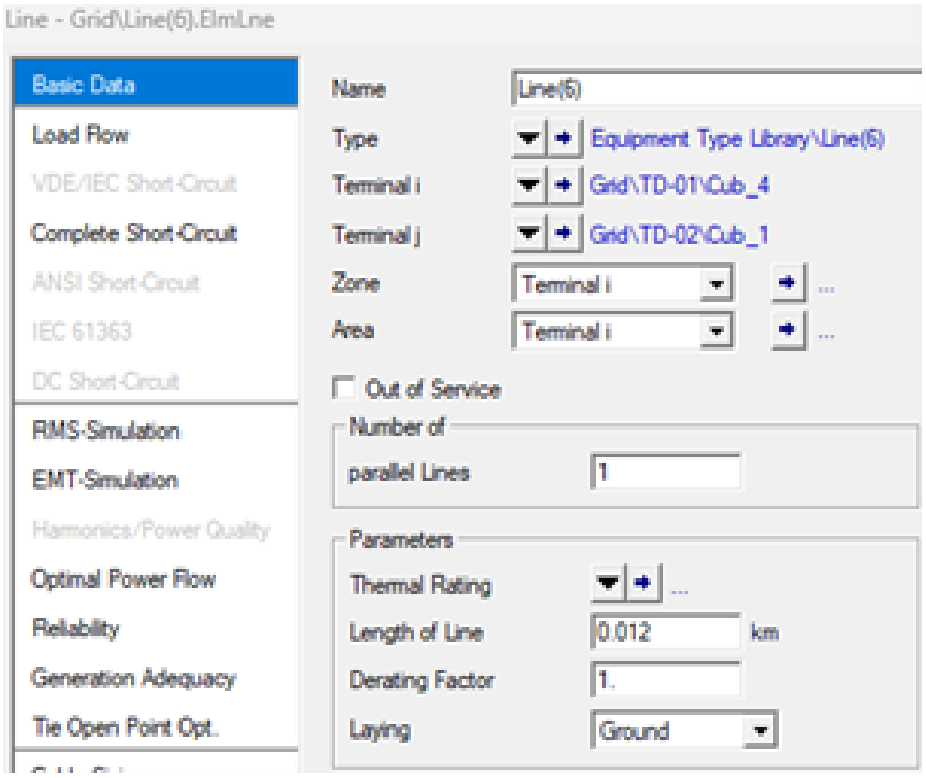


Figura 8.22: Longitud del sexto tramo en el Diagrama Unifilar Base en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores.

8.5.6. Séptimo Tramo.

El séptimo tramo del Diseño del Diagrama Unifilar en Power Factory DigSILENT conecta la Barra TD-01 con la Barra TD-03, y consta con una longitud de 18 metros tal como se da a conocer en la figura 8.23.

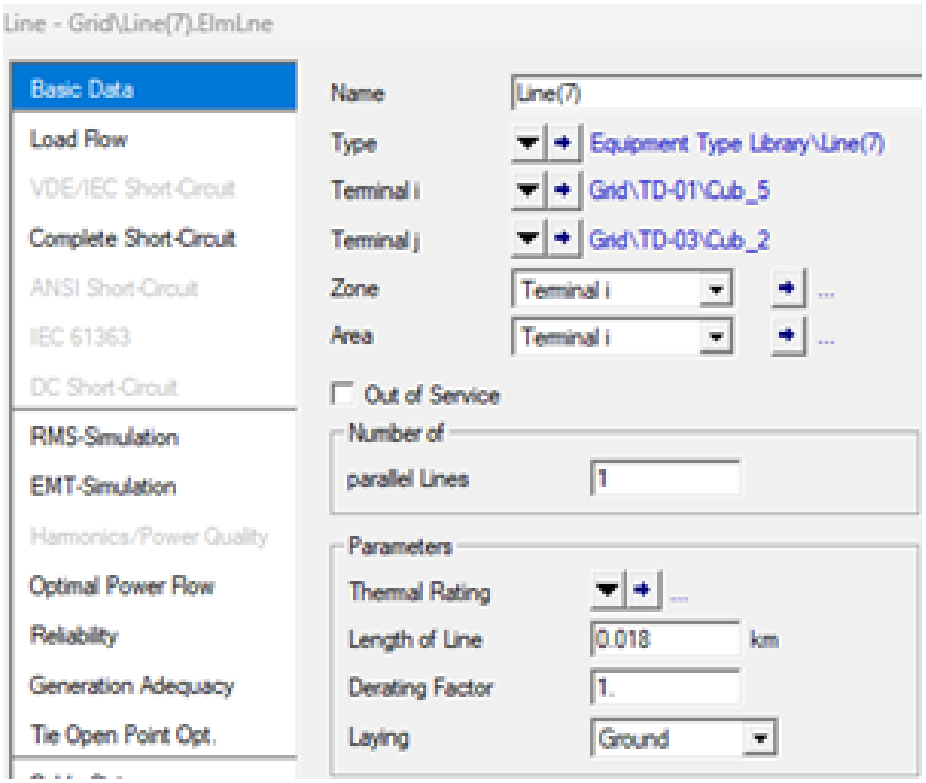


Figura 8.23: Longitud del séptimo tramo en el Diagrama Unifilar Base en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores.

8.5.7. Octavo Tramo.

El octavo tramo del Diseño del Diagrama Unifilar en Power Factory DigSILENT conecta la Barra TD-01 con la Barra TD-04, y consta con una longitud de 24 metros tal como se visualiza en la figura 8.24.

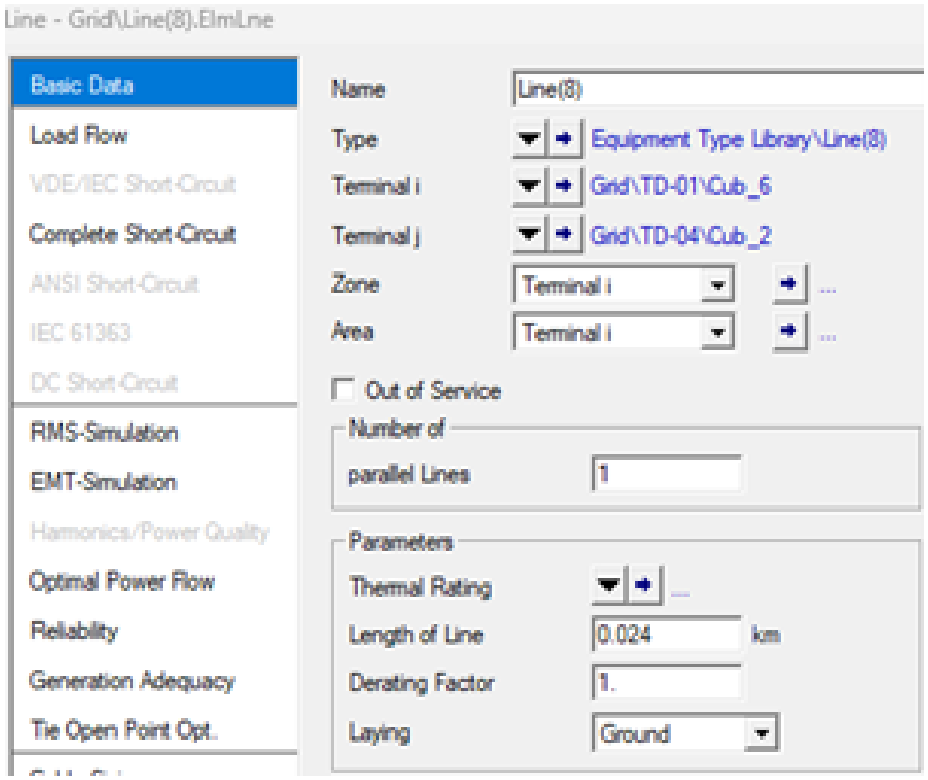


Figura 8.24: Longitud del octavo tramo en el Diagrama Unifilar Base en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores.

8.5.8. Noveno Tramo.

El noveno tramo del Diseño del Diagrama Unifilar en Power Factory DigSILENT conecta la Barra TD-01 con la Barra TD-05, y consta con una longitud de 30 metros tal como se detalla en la figura 8.25.

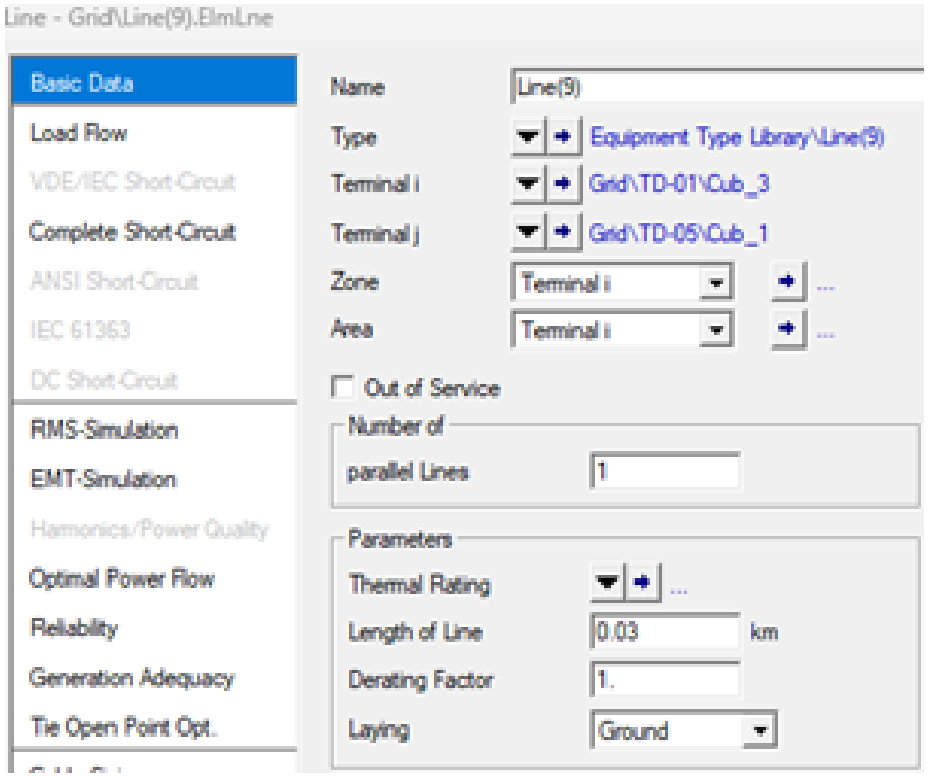


Figura 8.25: Longitud del noveno tramo en el Diagrama Unifilar Base en el software Power Factory DigSILENT. Fuente: Los Autores.