

Estudio de factibilidad, con enfoque PMI, para la implementación de una microred eléctrica en el corregimiento de El Hatico en el departamento de La Guajira en Colombia

José Luis Gutiérrez Aristizábal

Trabajo de grado para optar el título de Magíster en Dirección y Gestión de Proyectos

Director

Alexánder Anchicoque Calderón

Magíster en Dirección y Gestión de Proyectos

Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

División de Ingenierías y Arquitectura

Maestría en Dirección y Gestión de Proyectos

2025

Dedicatoria

Cuando se toma la decisión de entrar a estudios avanzados, como lo es una maestría, se debe tener en cuenta el tiempo y esfuerzos requeridos para cumplir con esta empresa. Culminar este tipo de estudios no es algo que se logre fácilmente, aunque no es imposible; pero para hacerlo hay que estar dispuestos a sacrificar, no solo tiempo, sino también, gustos, recursos y, muchas veces, paz mental.

Por ello, este trabajo debe ser dedicado a aquellos que, con amor, estuvieron a mi lado aún cuando yo no pude estar con ellos, aquellas personas que todos los días me impulsaban y sacaban de mí aquella fuerza que yo dudaba tener, son ellos los merecedores de los frutos de este esfuerzo. Les agradezco sus palabras, sus mensajes de aliento y su constante ayuda y apoyo, por ello le dedico este trabajo a mis padres quienes fueron el pilar más fuerte, soportando todos los altibajos que viví en el transcurso de mis estudios.

Gracias por motivarme a avanzar en cumplir mis sueños y metas, por estar siempre ahí dándome palabras de aliento y caminando a mi lado. Mi mayor amor a ustedes.

Agradecimientos

En la realización de este trabajo se tuvo apoyo de grandes personas que merecen ser nombradas por su paciencia, esfuerzo y consideraciones en el desarrollo de esta tesis.

Inicialmente un reconocimiento al director de grado, Ing. Alexánder, por la guía y recomendaciones mientras realizaba el trabajo, sus consejos y palabras fueron de gran ayuda para cumplir con este logro.

Agradezco a la Universidad Santo Tomás, y sus docentes, por brindarme conocimientos que podré aplicar en mi carrera profesional; ahora que pude cumplir este sueño, estará en mi mente las experiencias compartidas y las enseñanzas entregadas para ser una mejor persona y un profesional íntegro.

Y, para finalizar, al Ing. Luis Guillermo Gutiérrez, magíster en gestión de proyectos; que, no solo como padre, sino también como profesional con alta experiencia en dirección de proyectos, me apoyó y colaboró en darle el correcto enfoque a este trabajo; su invaluable experiencia aportó enormemente a la finalización de esta tesis.

A todos ustedes, muchas gracias.

Contenido

Introducción	25
1. Aspectos contextuales.....	27
1.1 Planteamiento del caso de negocio.....	27
1.2 Objetivos	29
1.2.1 Objetivo general.....	29
1.2.2 Objetivos específicos	29
2. Marco referencial.....	30
2.1 Marco conceptual	30
2.1.1 Proyecto	30
2.1.2 Dirección de proyectos	30
2.1.3 Ciclo de vida del proyecto	31
2.1.4 Viabilidad técnica	32
2.1.5 Viabilidad económica	32
2.1.6 Project Management Institute (PMI)	33
2.1.7 Project Management Body Of Knowledge (PMBOK)	33
2.1.8 Áreas de conocimiento y procesos en la dirección de proyectos.....	34
2.1.9 Microredes	36
2.1.10 Energías renovables	37
2.1.11 Front-End Loading (FEL).....	37
2.2 Estado del arte	39
2.2.1 Demanda de energía en Colombia	39
2.2.2 Generación de energía en Colombia.....	40

2.2.3	Energía renovable en La Guajira	42
2.2.4	Microredes eléctricas en Colombia.....	43
2.3	Plan Nacional de Desarrollo (PND).....	44
2.3.1	Fuentes de energía no convencional	45
2.3.2	Opciones de financiamiento del proyecto con el PND 2022-2026.....	47
2.4	Contexto legal	48
3.	Especificaciones microred.....	54
3.1	Contexto general	55
3.2	Características técnicas	58
3.2.1	Potencial energético	58
3.2.2	Demanda energética.....	64
3.3	Tecnologías de microred aplicables	66
3.3.1	Generador termo-solar de concentración	67
3.3.2	Generador solar fotovoltaico.....	69
3.3.3	Cálculo de paneles	70
3.3.4	Producción anual.....	71
3.3.5	Cálculo otros equipos.....	73
3.4	Características sociales.....	75
3.4.1	Panorama educativo	76
3.4.2	Organizaciones comunitarias	77
3.4.3	Pueblo Wayuu.....	78
3.4.4	Percepción sobre el servicio eléctrico	79
3.5	Características económicas	79

3.5.1	Costo de Capital (CAPEX)	80
3.5.2	Gastos Operativos (OPEX)	83
3.5.3	Costo de la energía.....	93
3.5.4	Flujo de caja del proyecto	96
4.	Áreas de conocimiento	102
4.1	Triple restricción en proyectos	102
4.2	Organigrama inicial del proyecto	105
4.3	Gestión de la integración del proyecto	106
4.3.1	Acta de constitución del proyecto	107
4.3.2	Plan para la dirección del proyecto	111
4.3.3	Dirigir y gestionar el trabajo del proyecto	113
4.3.4	Resultado de dirigir y gestionar el trabajo del proyecto	115
4.3.5	Gestionar el conocimiento del proyecto	116
4.3.6	Resultado de gestionar el conocimiento del proyecto.....	118
4.3.7	Monitorear y controlar el trabajo del proyecto	118
4.3.8	Resultado del monitoreo y control del trabajo del proyecto	120
4.3.9	Realizar el control integrado de cambios.....	121
4.3.10	Resultado de la realización del control integrado de cambios	123
4.3.11	Cerrar el proyecto o fase	123
4.3.12	Resultado del cierre del proyecto.....	125
4.3.13	Costos de la gestión de la integración.....	127
4.4	Gestión del alcance del proyecto.....	128
4.4.1	Planificar la gestión del alcance de proyecto	129

4.4.2	Recopilar los requisitos	132
4.4.3	Definir el alcance	135
4.4.4	Crear la EDT/WBS	138
4.4.5	Esquema de Desglose de Trabajo (EDT/WBS)	139
4.4.6	Creación del diccionario de la EDT	142
4.4.7	Validar el alcance.....	142
4.4.8	Controlar el alcance	144
4.4.9	Costos de la gestión del alcance.....	146
4.5	Gestión del cronograma del proyecto.....	146
4.5.1	Planificar la gestión del cronograma para el proyecto.....	147
4.5.2	Definir las actividades del cronograma.....	148
4.5.3	Secuenciar las actividades.....	150
4.5.4	Estimar la duración de las actividades del cronograma	152
4.5.5	Desarrollar el cronograma.....	154
4.5.6	Controlar el cronograma	162
4.5.7	Costos de la gestión del cronograma	164
4.6	Gestión de los costos del proyecto	164
4.6.1	Planificar la gestión de los costos	165
4.6.2	Estimar los costos del proyecto.....	169
4.6.3	Resultados de estimación de los costos	171
4.6.4	Determinar el presupuesto del proyecto	173
4.6.5	Resultados de estimación de los costos	175
4.6.6	Controlar los costos.....	177

4.6.7	Resultado del control de costos.....	178
4.6.8	Costos de la gestión de costos.....	179
4.7	Gestión de la calidad del proyecto	179
4.7.1	Planificación de la gestión de la calidad	180
4.7.2	Resultados de la planificación de la gestión de la calidad	182
4.7.3	Gestión de la calidad.....	184
4.7.4	Controlar la calidad.....	184
4.7.5	Costos de la gestión de la calidad	186
4.8	Gestión de los recursos del proyecto.....	186
4.8.1	Planificación de la gestión de los recursos	187
4.8.2	Estimar los recursos de las actividades	189
4.8.3	Resultado del plan de gestión de los recursos.....	191
4.8.4	Adquirir recursos	194
4.8.5	Desarrollar el equipo.....	195
4.8.6	Dirigir el equipo.....	195
4.8.7	Controlar los recursos	195
4.8.8	Costos de la gestión de recursos	198
4.9	Gestión de las comunicaciones del proyecto.....	198
4.9.1	Planificación de la gestión de las comunicaciones del proyecto	199
4.9.2	Resultado de la planificación de la gestión de las comunicaciones del proyecto .	200
4.9.3	Gestionar las comunicaciones.....	202
4.9.4	Resultado de la gestión de las comunicaciones	203
4.9.5	Monitorear las comunicaciones	204

4.9.6	Resultado de la monitorización de las comunicaciones.....	206
4.9.7	Costos de la gestión de comunicaciones	207
4.10	Gestión de los riesgos del proyecto	207
4.10.1	Planificación de la gestión de los recursos	208
4.10.2	Identificar los riesgos	211
4.10.3	Categorización de los riesgos.....	213
4.10.4	Realizar el análisis cualitativo de riesgos	216
4.10.5	Realizar el análisis cuantitativo de riesgos	218
4.10.6	Análisis de los riesgos y matrices de probabilidad e impacto	220
4.10.7	Planificar la Respuesta a los Riesgos.....	223
4.10.8	Planificación de respuesta y mitigación de riesgos.....	225
4.10.9	Costo de los riesgos	227
4.10.10	Implementar la respuesta a los riesgos.....	229
4.10.11	Resultado de la implementación de la respuesta a los riesgos.....	230
4.10.12	Monitorear los riesgos.....	230
4.10.13	Resultado de la monitorización de los riesgos	232
4.10.14	Costos de la gestión de los riesgos.....	232
4.11	Gestión de las adquisiciones del proyecto	233
4.11.1	Planificar la gestión de las adquisiciones.....	233
4.11.2	Resultados de la planificación de adquisiciones	235
4.11.3	Efectuar las adquisiciones.....	239
4.11.4	Controlar las adquisiciones	239
4.11.5	Costos de la gestión de las adquisiciones	240

4.12	Gestión de los interesados del proyecto	240
4.12.1	Identificar a los interesados	241
4.12.2	Resultado de la identificación de los Stakeholders.....	242
4.12.3	Planificar el involucramiento de los interesados	244
4.12.4	Resultado del plan de involucramiento de los interesados.	246
4.12.5	Gestionar la participación de los interesados.....	250
4.12.6	Resultado de la gestión de involucramiento de los interesados.....	252
4.12.7	Monitorear el involucramiento de los interesados	252
4.12.8	Costos de la gestión de los interesados	253
5.	Resultados.....	254
6.	Discusión	258
7.	Conclusiones.....	262
	Referencias.....	264

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Grupo de procesos y áreas de conocimiento según la Guía del PMBOK®.</i>	35
Tabla 2. <i>Tabla de crecimiento de demanda por región.</i>	39
Tabla 3. <i>Proyectos de generación de energía eólica y solar en el periodo entre 2015 y 2022. ..</i>	43
Tabla 4. <i>Consolidado de leyes relacionadas con el proyecto.</i>	49
Tabla 5. <i>Consolidado de decretos relacionadas con el proyecto.</i>	50
Tabla 6. <i>Consolidado de resoluciones MME relacionadas con el proyecto.</i>	52
Tabla 7. <i>Consolidado de resoluciones CREG relacionadas con el proyecto.</i>	53
Tabla 8. <i>Consolidado de resoluciones UPME relacionadas con el proyecto.</i>	54
Tabla 9. <i>Municipios y Distrito de La Guajira.</i>	55
Tabla 10. <i>Características corregimiento El Hatice, La Guajira.</i>	56
Tabla 11. <i>Ventajas de la energía por biomasa.</i>	63
Tabla 12. <i>Desventajas de la energía por biomasa.</i>	63
Tabla 13. <i>Valores de CB por cada fuente.</i>	65
Tabla 14. <i>Consumo básico por electrodoméstico.</i>	65
Tabla 15. <i>Estimación de producción anual por desgaste.</i>	71
Tabla 16. <i>Barreras para implementación de proyectos solares.</i>	76
Tabla 17. <i>Costo de materiales de implementación de panel solar.</i>	81
Tabla 18. <i>Desagregado del costo de materiales de implementación de panel solar.</i>	82
Tabla 19. <i>Periodos de mantenimiento de los equipos.</i>	84
Tabla 20. <i>Costo mantenimiento de los equipos.</i>	84
Tabla 21. <i>Costo mantenimiento de los equipos anualizado.</i>	85
Tabla 22. <i>Vida útil de los equipos.</i>	87

Tabla 23. <i>Costo total reemplazo de equipos por año.</i>	87
Tabla 24. <i>Desagregado de reemplazos por equipos por año.</i>	89
Tabla 25. <i>Beneficios tributarios por inversión.</i>	92
Tabla 26. <i>Estimaciones de amortización del proyecto.</i>	92
Tabla 27. <i>Estimación costos de operación y mantenimiento.</i>	93
Tabla 28. <i>Costo total kWh para el usuario final.</i>	93
Tabla 29. <i>Porcentaje de subsidios de energía.</i>	94
Tabla 30. <i>Pago por kWh anual generado por el sistema solar.</i>	95
Tabla 31. <i>Proyección de inversión, costos de reemplazo y ahorros del proyecto.</i>	97
Tabla 32. <i>Flujo de caja del proyecto.</i>	99
Tabla 33. <i>Datos del proyecto.</i>	101
Tabla 34. <i>Grupo de procesos para la gestión de la integración según la Guía del PMBOK®.</i>	106
Tabla 35. <i>Acta de constitución del proyecto.</i>	108
Tabla 36. <i>Registro de supuestos.</i>	111
Tabla 37. <i>Plan de dirección del proyecto.</i>	113
Tabla 38. <i>Control de cambios del trabajo.</i>	121
Tabla 39. <i>Análisis de valor ganado del proyecto.</i>	126
Tabla 40. <i>Costo de la gestión de la integración.</i>	127
Tabla 41. <i>Grupo de procesos para la gestión del alcance según la Guía del PMBOK®.</i>	128
Tabla 42. <i>Plan de gestión del alcance.</i>	130
Tabla 43. <i>Plan de requisitos del proyecto.</i>	133
Tabla 44. <i>Matriz de trazabilidad de requisitos.</i>	134
Tabla 45. <i>Enunciado del alcance del proyecto.</i>	137

Tabla 46. <i>Costo de la gestión del alcance.</i>	146
Tabla 47. <i>Grupo de procesos para la gestión del cronograma según la Guía del PMBOK®.</i> .	147
Tabla 48. <i>Cronograma del proyecto.</i>	157
Tabla 49. <i>Costo de la gestión del cronograma.</i>	164
Tabla 50. <i>Grupo de procesos para la gestión de los costos según la Guía del PMBOK®.</i>	165
Tabla 51. <i>Plan de gestión del costo.</i>	167
Tabla 52. <i>Gestión del valor ganado.</i>	169
Tabla 53. <i>Costo estimado de las gestiones del proyecto.</i>	171
Tabla 54. <i>Costo estimado de las viabilidades del proyecto.</i>	172
Tabla 55. <i>Costo estimado de la oficina del proyecto.</i>	173
Tabla 56. <i>Costos indirectos del proyecto.</i>	173
Tabla 57. <i>Presupuesto del proyecto.</i>	176
Tabla 58. <i>Costo de la gestión de costos.</i>	179
Tabla 59. <i>Grupo de procesos para la gestión de la calidad según la Guía del PMBOK®.</i>	180
Tabla 60. <i>Tabla de gestión de calidad.</i>	183
Tabla 61. <i>Costo de la gestión de la calidad.</i>	186
Tabla 62. <i>Grupo de procesos para la gestión de los recursos del proyecto según la Guía del PMBOK®.</i>	187
Tabla 63. <i>Matriz de recursos, roles y responsabilidades.</i>	192
Tabla 64. <i>Matriz de asignación de responsabilidades (RAM).</i>	192
Tabla 65. <i>Costo de la gestión de recursos.</i>	198
Tabla 66. <i>Grupo de procesos para la gestión de las comunicaciones según la Guía del PMBOK®.</i>	198

Tabla 67. <i>Mecanismos de comunicación interna.</i>	201
Tabla 68. <i>Mecanismos de comunicación externa.</i>	202
Tabla 69. <i>Costo de la gestión de comunicaciones.</i>	207
Tabla 70. <i>Grupo de procesos para la gestión de los riesgos del proyecto según la Guía del PMBOK®.</i>	207
Tabla 71. <i>Procesos gestión del riesgo.</i>	211
Tabla 72. <i>Categorización de los riesgos del proyecto.</i>	214
Tabla 73. <i>Riesgos identificados en el proyecto.</i>	215
Tabla 74. <i>Matriz de probabilidad.</i>	220
Tabla 75. <i>Matriz de impacto.</i>	221
Tabla 76. <i>Análisis cualitativo de los riesgos del proyecto.</i>	222
Tabla 77. <i>Categorías del plan de respuesta.</i>	225
Tabla 78. <i>Plan de respuesta para los riesgos del proyecto.</i>	226
Tabla 79. <i>Impacto en costos de los riesgos.</i>	227
Tabla 80. <i>Costo de la gestión de los riesgos.</i>	232
Tabla 81. <i>Grupo de procesos para la gestión de las adquisiciones del proyecto según la Guía del PMBOK®.</i>	233
Tabla 82. <i>Plan de gestión de adquisiciones.</i>	238
Tabla 83. <i>Costo de la gestión de las adquisiciones.</i>	240
Tabla 84. <i>Grupo de procesos para la gestión de los interesados en el proyecto según la Guía del PMBOK®.</i>	241
Tabla 85. <i>Identificación de los interesados.</i>	244
Tabla 86. <i>Plan de acción.</i>	249

Tabla 87. <i>Costo de la gestión de los interesados</i>	253
Tabla 88. <i>Presupuesto final del proyecto</i>	260

Lista de figuras

Figura 1. <i>Matriz de generación eléctrica colombiana año 2022.</i>	28
Figura 2. <i>Ciclo de vida de un proyecto.</i>	32
Figura 3. <i>Fuentes de generación instalada en Colombia.</i>	41
Figura 4. <i>Capacidad de energía renovable en Colombia.</i>	41
Figura 5. <i>Ubicación del municipio de Fonseca.</i>	56
Figura 6. <i>Estado de vivienda en el corregimiento de El Hatco.</i>	57
Figura 7. <i>Metodología para el diseño de la microred.</i>	58
Figura 8. <i>Radiación solar en La Guajira 2022.</i>	59
Figura 9. <i>Velocidad del viento en La Guajira 2022.</i>	61
Figura 10. <i>Porcentaje de participación de los equipos de uso final en vivienda.</i>	66
Figura 11. <i>Generador solar de concentración.</i>	67
Figura 12. <i>Colelector termo-solar tipo colector de plato.</i>	68
Figura 13. <i>Esquema de red fotovoltaica.</i>	69
Figura 14. <i>Gráfica proyección de inversión, costos de reemplazo y ahorros del proyecto.</i>	98
Figura 15. <i>Gráfica flujo de caja del proyecto.</i>	100
Figura 16. <i>“Triángulo de Hierro”, también llamado “La Triple Restricción”.</i>	103
Figura 17. <i>Balance del Triángulo de Hierro.</i>	105
Figura 18. <i>Organigrama sugerido.</i>	106
Figura 19. <i>Diagrama del desarrollo del acta de constitución del proyecto.</i>	107
Figura 20. <i>Diagrama del desarrollo de la dirección del proyecto.</i>	112
Figura 21. <i>Diagrama de la dirección y gestión del trabajo del proyecto.</i>	114
Figura 22. <i>Diagrama de la gestión del conocimiento del proyecto.</i>	117

Figura 23. <i>Diagrama del monitoreo y control del trabajo del proyecto.</i>	119
Figura 24. <i>Diagrama de la realización del control integrado de cambios.</i>	122
Figura 25. <i>Diagrama del cierre del proyecto o fase.</i>	124
Figura 26. <i>Diagrama de la planificación de la gestión del alcance.</i>	129
Figura 27. <i>Diagrama de la recopilación de requisitos.</i>	132
Figura 28. <i>Diagrama de la definición del alcance.</i>	136
Figura 29. <i>Diagrama de la creación de la EDT/WBS.</i>	138
Figura 30. <i>Desglose de la Estructura de Desglose Trabajo (EDT/WBS).</i>	141
Figura 31. <i>Diagrama de la validación del alcance.</i>	142
Figura 32. <i>Diagrama del control del alcance.</i>	144
Figura 33. <i>Diagrama de la planificación de la gestión del cronograma.</i>	147
Figura 34. <i>Diagrama de la definición de las actividades.</i>	149
Figura 35. <i>Diagrama de la secuenciación de las actividades.</i>	151
Figura 36. <i>Diagrama de la estimación de la duración de las actividades.</i>	153
Figura 37. <i>Diagrama del desarrollo del cronograma.</i>	155
Figura 38. <i>Diagrama de Gantt del proyecto.</i>	161
Figura 39. <i>Diagrama del control del cronograma.</i>	162
Figura 40. <i>Diagrama de la planificación de la gestión de los costos.</i>	166
Figura 41. <i>Diagrama de la estimación de los costos.</i>	170
Figura 42. <i>Diagrama de la determinación del presupuesto.</i>	174
Figura 43. <i>Reservas en el presupuesto.</i>	176
Figura 44. <i>Diagrama del control del cronograma.</i>	177
Figura 45. <i>Diagrama de la planificación de la gestión de la calidad.</i>	181

Figura 46. <i>Plan de gestión de calidad.</i>	183
Figura 47. <i>Diagrama del control de la calidad.</i>	185
Figura 48. <i>Diagrama de la planificación de la gestión de los recursos.</i>	188
Figura 49. <i>Diagrama de la estimación los recursos de las actividades.</i>	190
Figura 50. <i>Estructura de desglose de recursos.</i>	191
Figura 51. <i>Diagrama del control de los recursos.</i>	196
Figura 52. <i>Diagrama de la planificación de la gestión de las comunicaciones.</i>	199
Figura 53. <i>Diagrama de la gestión de las comunicaciones.</i>	202
Figura 54. <i>Diagrama de la monitorización de las comunicaciones.</i>	205
Figura 55. <i>Diagrama de la planificación de la gestión de los recursos.</i>	209
Figura 56. <i>Diagrama de la identificación de los riesgos.</i>	212
Figura 57. <i>Matriz DOFA del proyecto.</i>	216
Figura 58. <i>Diagrama de la realización el análisis cualitativo de los riesgos.</i>	217
Figura 59. <i>Diagrama de la realización del análisis cuantitativo de los riesgos.</i>	219
Figura 60. <i>Matriz de probabilidad e impacto.</i>	221
Figura 61. <i>Matriz de probabilidad e impacto con riesgos identificados.</i>	223
Figura 62. <i>Diagrama de la planificación de la respuesta a los riesgos.</i>	224
Figura 63. <i>Diagrama de la implementación de la respuesta a los riesgos.</i>	229
Figura 64. <i>Diagrama de la monitorización de los riesgos.</i>	231
Figura 65. <i>Diagrama de la planificación de la gestión de las adquisiciones.</i>	234
Figura 66. <i>Planificación de la gestión de adquisiciones.</i>	236
Figura 67. <i>Flujo de contratación.</i>	237
Figura 68. <i>Diagrama de la identificación de los interesados.</i>	241

Figura 69. <i>Mapa de los Stakeholders.</i>	243
Figura 70. <i>Diagrama de la planificación del involucramiento de los interesados.</i>	245
Figura 71. <i>Matriz de Interés vs Poder.</i>	247
Figura 72. <i>Matriz de Influencia vs Poder/Impacto.</i>	247
Figura 73. <i>Stakeholders vs duración del proyecto.</i>	248
Figura 74. <i>Diagrama de la gestión del involucramiento de los interesados.</i>	251

Lista de apéndices

Apéndice A. *Diccionario de la EDT* 273

Apéndice B. *Análisis de valor ganado para los FEL 1 a FEL 3* 293

Resumen

El presente estudio aborda el problema de acceso limitado a energía eléctrica en el corregimiento de El Hatico, La Guajira, Colombia, donde las barreras geográficas y económicas dificultan la conexión a la red nacional, afectando la calidad de vida de los habitantes. El objetivo es formular un estudio de factibilidad, bajo el enfoque PMI, para la implementación de una microred eléctrica en esta comunidad, evaluando su viabilidad técnica y económica. El método incluye análisis detallados de infraestructura, demanda energética, costos de operación, y el uso de tecnologías renovables. Los resultados destacan que la implementación de una microred eléctrica sería una solución viable, alineada con la legislación y las políticas energéticas colombianas, especialmente la Ley 1715 de 2014. Las discusiones concluyen que la microred no solo mejoraría el acceso a energía, sino que también contribuiría al desarrollo socioeconómico sostenible de la región.

Palabras clave: microred eléctrica, La Guajira, energías renovables, viabilidad técnica, factibilidad

Abstract

This study addresses the problem of limited access to electricity in the rural community of El Hatico, La Guajira, Colombia, where geographical and economic barriers make it difficult to connect to the national grid, significantly affecting the quality of life of the inhabitants. The objective is to formulate a feasibility study, using the PMI approach, for the implementation of an electrical microgrid in this community, assessing its technical and economic viability. The method includes detailed analyses of infrastructure, energy demand, operating costs, and the use of renewable technologies. The results indicate that the implementation of a microgrid would be a viable solution, aligned with Colombian legislation and energy policies, particularly Law 1715 of 2014. The discussion concludes that microgrids would not only improve access to energy but also contribute to the sustainable socioeconomic development of the region.

Keywords: microgrid, La Guajira, renewable energy, technical viability, feasibility

Glosario

Administración, Operación y Mantenimiento (AOM): gestión integral de los recursos técnicos y humanos para asegurar el funcionamiento continuo, eficiente y seguro de una instalación energética.

Comunidad energética: grupo organizado de usuarios que participan activamente en la generación, gestión y consumo de energía en beneficio colectivo.

Energía renovable: energía obtenida de fuentes naturales que se regeneran continuamente, como la solar, eólica, hidráulica o biomasa.

FAER (Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de Zonas Rurales Interconectadas): mecanismo del gobierno colombiano para financiar proyectos eléctricos en zonas rurales conectadas a la red.

FAZNI (Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de Zonas No Interconectadas): fondo estatal destinado a financiar infraestructura eléctrica en territorios sin conexión al Sistema Interconectado Nacional.

FENOGE (Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía): instrumento financiero para fomentar el uso de fuentes no convencionales de energía y la eficiencia energética.

FNCE (Fuentes No Convencionales de Energía): tecnologías de generación como la solar, eólica, biomasa, geotérmica o mareomotriz que no dependen de combustibles fósiles.

FNCER (Fuentes No Convencionales de Energía Renovable): subconjunto de las FNCE que incluyen energías limpias con bajo impacto ambiental, como la solar fotovoltaica.

Microred: sistema eléctrico localizado que integra generación, almacenamiento y consumo de energía, capaz de operar de manera autónoma o conectada a la red principal.

MME (Ministerio de Minas y Energía): entidad del gobierno colombiano encargada de formular y coordinar políticas públicas en los sectores minero y energético.

PMI (Project Management Institute): organización internacional dedicada a promover estándares y buenas prácticas en la gestión de proyectos.

Pobreza energética: situación en la que una comunidad o familia carece de acceso continuo, seguro y asequible a servicios energéticos esenciales.

Proyecto: esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único, con objetivos específicos y recursos limitados.

Stakeholders (Interesados): personas, comunidades, entidades o instituciones que pueden verse afectadas directa o indirectamente por el desarrollo del proyecto.

Tasa Interna de Retorno (TIR): indicador financiero que representa la rentabilidad de un proyecto. Es la tasa de descuento que iguala los ingresos futuros con la inversión inicial.

Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME): organismo técnico adscrito al MME que se encarga de planear a mediano y largo plazo el desarrollo energético del país.

Valor Presente Neto (VPN): herramienta de evaluación financiera que permite calcular la diferencia entre los flujos de ingresos futuros y la inversión inicial, expresados a valor presente.

Viabilidad: capacidad técnica, económica, social o ambiental de implementar un proyecto de forma exitosa.

WACC (Costo Promedio Ponderado de Capital): indicador financiero que refleja el costo promedio de los recursos financieros utilizados por una organización para financiar sus inversiones.

Zonas No Interconectadas (ZNI): áreas del país que no están conectadas al Sistema Interconectado Nacional, generalmente por razones geográficas o económicas.

Introducción

En la actualidad, el acceso a la energía eléctrica es algo fundamental en el propósito de lograr el óptimo desarrollo social y económico de las comunidades. Sin embargo, muchas comunidades en Colombia no cuentan con acceso a este servicio básico, lo que ha generado graves desafíos socioeconómicos, especialmente por la lejanía a las principales redes eléctricas nacionales, la falta de infraestructura adecuada y los costos de la energía en el sector. Según el Índice Multidimensional de Pobreza Energética (IMPE) (Inclusión SAS y Promigas S.A. E.S.P., 2022), cerca de 9.6 millones de personas carecen de acceso a electricidad en 2022, siendo prominente en zonas rurales y periféricas del país. En el caso específico de La Guajira, se estima que el 70,7% de la población no tiene acceso a una fuente confiable de energía, lo cual influye negativamente en la calidad de vida de los habitantes; esto se observa en las escasas oportunidades de educación, salud y desarrollo económico de la región.

En esta investigación, se realizará un estudio de factibilidad, con enfoque PMI (Project Management Institute), para la implementación de una microred eléctrica en el corregimiento de El Hatío, que se constituye en una acción sostenible al mejorar el acceso a la energía eléctrica en la zona y garantizando una solución viable tanto técnica como económica, alineada con las políticas energéticas nacionales de transición a energías renovables y sostenibles (Departamento Nacional de Planeación, 2023).

Este trabajo aporta un enfoque práctico y metodológico para la implementación de microredes en zonas rurales, de acuerdo con la Ley 1715 de 2014 y el PND 2022-2026, a la vez que pretende impactar en el campo social, tomando el caso del corregimiento de El Hatío con el propósito de mejorar su acceso a servicios básicos como educación y salud, así como fomentar

el desarrollo económico local. Además, contribuirá a la mitigación del cambio climático al reducir la dependencia de combustibles fósiles y promover el uso de fuentes de energía limpias.

1. Aspectos contextuales

Se presenta un marco introductorio al proyecto de estudio de factibilidad para la implementación de una microred eléctrica en el corregimiento de El Hatigo, en el departamento de La Guajira, Colombia. En este apartado se detallarán los elementos fundamentales que sustentan el proyecto, su justificación y la relación con el problema y la necesidad que se abordan, así como los beneficios del proyecto; también se presentarán los objetivos que guiarán el desarrollo y el contexto en que se lleva a cabo la propuesta con una visión del entorno y de los interesados.

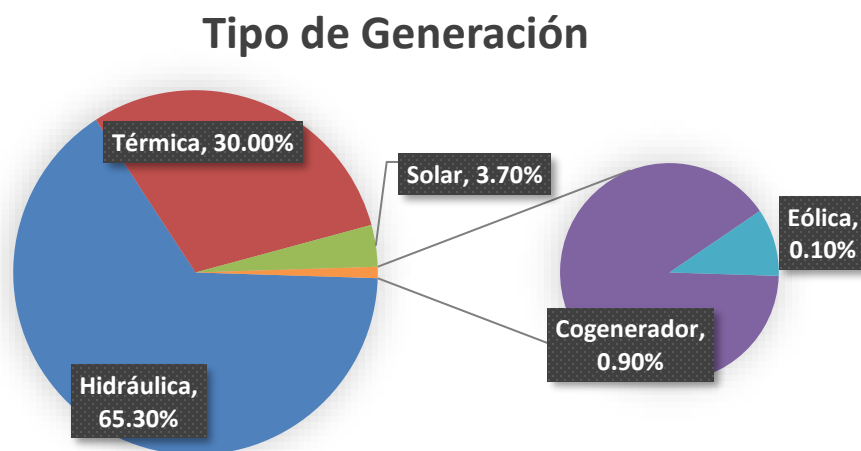
1.1 Planteamiento del caso de negocio

Para el planteamiento del caso de negocio, se identifica como *problema* a resolver, el limitado acceso a energía eléctrica en el corregimiento de El Hatigo en La Guajira, lo que conduce a la *necesidad* de implementar una solución innovadora y sostenible para la comunidad. Este trabajo de tesis se orienta a desarrollar un estudio de factibilidad para la implementación de una microred eléctrica en dicha comunidad nombrada anteriormente. Para asegurar una gestión eficiente y efectiva del proyecto, se aplicarán metodologías del PMI. Por lo tanto, esta propuesta se centra en explorar las microrredes como una solución descentralizada que puede adaptarse a las necesidades locales, con un enfoque en sostenibilidad y eficiencia. (Project Management Institute., 2017)

En Colombia, los proyectos de energías renovables no convencionales (FNCER) han ganado relevancia en los últimos años, con un fuerte enfoque en la Región Caribe. Según SER Colombia, en 2023-2024 se espera que entren en operación 80 proyectos de energías renovables, de los cuales 78 corresponden a energía solar, representando el 85% de la capacidad de generación planificada, y 2 proyectos son de energía eólica, cubriendo el 15% restante. Sin embargo, el 65% de estos proyectos enfrenta retrasos. (Asociación de Energías Renovables (SER) Colombia, 2023).

En contraste, la generación de energía a partir de fuentes convencionales sigue siendo alta en el país, con dependencia en hidroeléctricas y combustibles fósiles -especialmente gas natural y carbón-; a nivel nacional, las plantas hidroeléctricas todavía representan el 82% de la capacidad instalada, mientras que los combustibles fósiles cubren cerca del 16%. (XM, 2022).

Figura 1. *Matriz de generación eléctrica colombiana año 2022.*



La mayoría de los proyectos que se desarrollan, relacionados a electrificación de zonas apartadas del país, se enfocan en soluciones basadas en energías convencionales y con conexiones a las redes existentes, esto sin una integración adecuada con la comunidad local y sus recursos naturales (Agencia de Noticias UNAL, 2022); con este trabajo de tesis se busca hacer la diferencia al realizar un análisis detallado de las condiciones locales como: densidad de población, disponibilidad de recursos naturales y distancia a la red eléctrica nacional. Adicionalmente, se incluye una revisión técnica de las tecnologías disponibles de microrredes, proporcionando innovaciones técnicas que pueden ser incorporadas a los procesos productivos de estas comunidades, potenciando su desarrollo socioeconómico.

Así mismo, este planteamiento nace de la incertidumbre sobre la integración efectiva de microredes en comunidades alejadas representando una situación de interés nacional. En este proyecto se identifican variables como: viabilidad técnica, sostenibilidad económica, aceptación social, y eficiencia energética, las cuales guiarán el desarrollo del estudio.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Formular un estudio de factibilidad con enfoque PMI para la implementación de una microred eléctrica en el corregimiento de El Hatigo en el departamento de La Guajira, Colombia.

1.2.2 Objetivos específicos

Identificar los requerimientos técnicos y sociales para la instalación de una microred eléctrica, evaluando la densidad de población, la distancia a la red eléctrica nacional, la disponibilidad de recursos naturales y las necesidades de la comunidad.

Seleccionar las tecnologías más adecuadas mediante una comparativa de sistemas de microredes, considerando su eficiencia, sostenibilidad y aplicabilidad a las condiciones locales del municipio.

Analizar los costos de operación, mantenimiento (AOM) y los recursos disponibles como parte de la evaluación de la viabilidad técnica y económica de la microred, considerando la infraestructura existente y la demanda energética de la comunidad.

Generar un informe detallado que recoja las conclusiones y recomendaciones para determinar la factibilidad de la implementación de la microred eléctrica, facilitando la toma de decisiones de las autoridades locales y otros actores involucrados.

2. Marco referencial

En este apartado se establecerán los fundamentos teóricos, conceptuales y legales que soportan esta investigación para proporcionar un contexto claro para el proyecto. Adicionalmente, se desarrollan las principales teorías, modelos y conceptos relacionados con la implementación de microredes eléctricas, electrificación rural y energías renovables, que son esenciales para sustentar la investigación.

2.1 Marco conceptual

En esta sección se desarrollan las principales teorías, modelos y conceptos relacionados con la implementación de microredes eléctricas, electrificación rural y energías renovables, que son esenciales para sustentar la investigación.

2.1.1 Proyecto

De acuerdo con la literatura, un proyecto puede definirse como “un esfuerzo que tiene un objetivo definido consume recursos, y opera bajo plazos, costos, riesgos, calidad y factor humano” (Amendola, 2018) . Adicionalmente, el PMI también como “Un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único.” (Project Management Institute., 2017)

2.1.2 Dirección de proyectos

La *Guía del PMBOK®* establece que la dirección de proyectos incluya la gestión de diversas áreas de conocimiento como el alcance, los plazos, los costos, la calidad, los recursos, los riesgos, la comunicación y las adquisiciones, entre otras. Estas áreas son fundamentales para

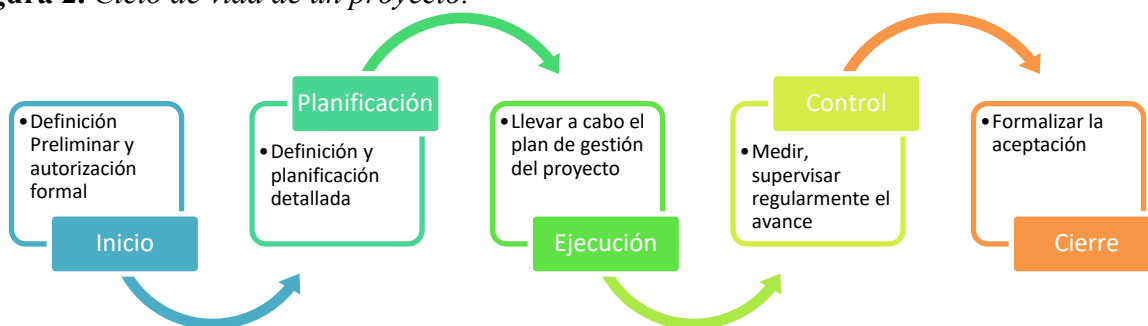
asegurar el éxito del proyecto ya que garantizan que todos los aspectos relevantes del mismo estén alineados con los objetivos estratégicos de la organización. (Project Managment Institute., 2017)

La dirección de proyectos implica gestionar tanto las restricciones como las expectativas de los interesados (Stakeholders) ya que su principal meta es lograr que los proyectos se completen de manera efectiva y eficiente, maximizando el valor entregado a la organización. (Kerzner, 2022).

2.1.3 Ciclo de vida del proyecto

El ciclo de vida de un proyecto se define como las fases por las cuales pasa un proyecto desde su inicio hasta su finalización; este ciclo está compuesto por etapas secuenciales que ayudan a gestionar, y controlar, las actividades del proyecto. Las fases están definidas como: inicio, planificación, ejecución, monitoreo y control y cierre del proyecto. Cada una de estas fases tiene sus propios objetivos, entregables y procesos que aseguran que el proyecto avance de manera estructurada y controlada. (Kerzner, 2022)

De acuerdo con La *Guía del PMBOK®* el ciclo de vida puede variar dependiendo del tipo de proyecto; pero, en general, puede seguir una estructura común para asegurar que se cubran todos los aspectos necesarios para gestionar correctamente el proyecto; esto permite establecer objetivos claros dentro de los equipos, así como la asignación de recursos y la evaluación de los resultados a lo largo del tiempo (Project Managment Institute., 2017).

Figura 2. *Ciclo de vida de un proyecto.*

Adaptado de (Project Management Institute., 2017).

2.1.4 Viabilidad técnica

La viabilidad técnica se refiere a la capacidad de un proyecto para ser implementado de manera efectiva desde un punto de vista tecnológico. Es decir, evalúa si los elementos técnicos de un proyecto pueden ser ejecutados con éxito, considerando aspectos como la complejidad del sistema, la interoperabilidad con otras tecnologías, y el tiempo necesario para desarrollar, probar e implementar la solución (Kerzner, 2022).

2.1.5 Viabilidad económica

La viabilidad económica se enfoca en revisar si un proyecto es financieramente factible y sostenible; implica determinar si los costos de inversión inicial, operación y mantenimiento serán compensados por los ingresos o beneficios esperados, dentro de un periodo de tiempo razonable. Para ello se consideran aspectos como el flujo de caja, las tasas de retorno sobre la inversión y los riesgos financieros asociados.

Se realiza una comparación entre los costos estimados del proyecto y los ingresos proyectados, para determinar si el proyecto generará ganancias suficientes para justificar su implementación, también se calcula el porcentaje de retorno financiero esperado en relación con la inversión inicial, se identifican y analizan los riesgos económicos que pueden afectar la

viabilidad del proyecto, los beneficios inmediatos y los costos de implementación, operación y mantenimiento del proyecto (Venkataraman y Pinto, 2023).

2.1.6 *Project Management Institute (PMI)*

El Instituto de Gestión de Proyectos (PMI, por sus siglas en inglés) es una organización sin fines de lucro enfocada en el desarrollo y la implementación de estándares relacionados con la gestión de proyectos. Esta organización está comprometida con la excelencia y, por lo tanto, ofrece diversas certificaciones como lo es: Project Management Professional (PMP). Un elemento clave de su aporte es la Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (PMBOK).

2.1.7 *Project Management Body Of Knowledge (PMBOK)*

De acuerdo con La *Guía del PMBOK®* como una recopilación de los principios fundamentales de la gestión de proyectos, funcionando como una guía que reúne las mejores prácticas en este ámbito. La guía ha sido construida basada en las mejores prácticas reconocidas por profesionales en el campo, creando un lenguaje común que sea entendido por todas las partes involucradas en cualquier proyecto; la adaptación y aplicación de los conocimientos permiten identificar la combinación adecuada de procesos, insumos, herramientas, técnicas, resultados y fases del ciclo de vida para gestionar un proyecto de manera efectiva.

Es importante señalar que la *Guía del PMBOK®* no constituye una metodología en sí misma, sino que sirve como base para que las organizaciones puedan desarrollar sus propias metodologías, políticas, procedimientos, reglas, herramientas, técnicas y fases del ciclo de vida, necesarias para una gestión de proyectos eficiente. Es decir, ayuda a la creación de metodologías, herramientas y técnicas que aseguren, en los proyectos, un progreso eficiente a lo largo de su implementación. Es decir, el enfoque utilizado no se limita únicamente al desarrollo individual de

cada proyecto, sino que promueve la consistencia y eficacia en la gestión de diferentes tipos de proyectos (Project Management Institute., 2017).

En esencia, esta guía actúa como un faro orientador que brinda a las organizaciones la flexibilidad para adaptar y estructurar sus prácticas de gestión de proyectos según sus necesidades y contextos específicos estableciendo directrices esenciales para un desarrollo eficaz de los proyectos proporcionando claridad sobre conceptos claves relacionados con la gestión de proyectos. De esta forma, se busca facilitar la comprensión y aplicación de los principios fundamentales de la dirección de proyectos.

2.1.8 Áreas de conocimiento y procesos en la dirección de proyectos

Un concepto fundamental de la *Guía del PMBOK®* es comprender los 49 procesos que abarca la Dirección de Proyectos: estos procesos están organizados en grupos y áreas que permiten desarrollar el proyecto mediante el relacionamiento de las actividades y acciones, brindando una correlación entre las entradas y las salidas, así como las herramientas necesarias para cumplir con cada propósito.

La *Guía del PMBOK®* nos muestra que cada Área de Conocimiento está compuesta por los requisitos de conocimientos claves y las organiza en torno a prácticas, procesos, entradas, herramientas y salidas relacionadas. Cada una de estas áreas abarcan aspectos que son fundamentales para la gestión de los proyectos y se estructuran en diez categorías, no todas necesariamente aplicables a los proyectos. Así mismo, cada una de estas áreas se integran a los cinco Grupos de Procesos indicando la secuencia de cada uno de estos y como se vincula dentro de cada proyecto.

Tabla 1. Grupo de procesos y áreas de conocimiento según la Guía del PMBOK®.

<i>Áreas de Conocimiento</i>	<i>Grupos de Procesos de la Dirección de Proyectos</i>				
	<i>Grupo de Procesos de Inicio</i>	<i>Grupo de Procesos de Planificación</i>	<i>Grupo de Procesos de Ejecución</i>	<i>Grupo de Procesos de Monitoreo y Control</i>	<i>Grupo de Procesos de Cierre</i>
4. Gestión de la Integración del Proyecto.	4.1. Desarrollar el Acta de Constitución del Proyecto	4.2. Desarrollar el Plan para la Dirección del Proyecto	4.3 Dirigir y Gestionar el Trabajo del Proyecto 4.4 Gestionar el Conocimiento del Proyecto	4.5 Monitorear y Controlar el Trabajo del Proyecto 4.6 Realizar el Control Integrado de Cambios	4.7 Cerrar el Proyecto o Fase
5. Gestión del Alcance del Proyecto.		5.1 Planificar la Gestión del Alcance 5.2 Recopilar Requisitos 5.3 Definir el Alcance 5.4 Crear la EDT/WBS		5.5 Validar el Alcance 5.6 Controlar el Alcance	
6. Gestión del Cronograma del Proyecto.		6.1 Planificar la Gestión del Cronograma 6.2 Definir las Actividades 6.3 Secuenciar las Actividades 6.4 Estimar la Duración de las Actividades 6.5 Desarrollar el Cronograma		6.6 Controlar el Cronograma	
7. Gestión de los Costos del Proyecto.		7.1 Planificar la Gestión de los Costos 7.2 Estimar los Costos 7.3 Determinar el Presupuesto		7.4 Controlar los Costos	
8. Gestión de la Calidad del Proyecto.		8.1 Planificar la Gestión de la Calidad	8.2 Gestionar la Calidad	8.3 Controlar la Calidad	
9. Gestión de los Recursos del Proyecto.		9.1 Planificar la Gestión de Recursos 9.2 Estimar los Recursos de las Actividades	9.3 Adquirir Recursos 9.4 Desarrollar el Equipo 9.5 Dirigir al Equipo	9.6 Controlar los Recursos	
10. Gestión de las Comunicaciones del Proyecto.		10.1 Planificar la Gestión de las Comunicaciones	10.2 Gestionar las Comunicaciones	10.3 Monitorear las Comunicaciones	

<i>Áreas de Conocimiento</i>	<i>Grupos de Procesos de la Dirección de Proyectos</i>				
	<i>Grupo de Procesos de Inicio</i>	<i>Grupo de Procesos de Planificación</i>	<i>Grupo de Procesos de Ejecución</i>	<i>Grupo de Procesos de Monitoreo y Control</i>	<i>Grupo de Procesos de Cierre</i>
11. Gestión de los Riesgos del Proyecto.		11.1 Planificar la Gestión de los Riesgos 11.2 Identificar los Riesgos 11.3 Realizar el Análisis Cualitativo de Riesgos 11.4 Realizar el Análisis Cuantitativo de Riesgos 11.5 Planificar la Respuesta a los Riesgos	11.6 Implementar la Respuesta a los Riesgos	11.7 Monitorear los Riesgos	
12. Gestión de las Adquisiciones del Proyecto.		12.1 Planificar la Gestión de las Adquisiciones	12.2 Efectuar las Adquisiciones	12.3 Controlar las Adquisiciones	
13. Gestión de los Interesados del Proyecto.	13.1 Identificar a los Interesados	13.2 Planificar el Involucramiento de los Interesados	13.3 Gestionar la Participación de los Interesados	13.4 Monitorear el Involucramiento de los Interesados	

Tomado de Project Management Institute (Project Management Institute., 2017).

2.1.9 Microredes

Las microrredes son islas intencionales construidas en un sistema de distribución eléctrica y que operan tanto la generación eléctrica como las cargas de manera coordinada pudiendo ofrecer beneficios al cliente y a la empresa de servicios públicos local (Kroposki, et al, 2008). En una microrred, tanto las cargas como las fuentes de energía se pueden desconectar y volver a conectar al sistema de servicio público con una interrupción mínima, mejorando así la confiabilidad del sistema eléctrico.

Además, las microrredes pueden ser integradas a otras fuentes de energía renovables como: la fotovoltaica, la eólica, la hidroeléctrica, etc. Y ofrecen la posibilidad de proveer energía de

manera independiente o en conjunto con la red principal. De ahí su utilidad para atender las necesidades de zonas rurales donde la infraestructura es limitada o inexistente.

2.1.10 Energías renovables

Fuentes de energía que se obtienen de recursos naturales que se regeneran de manera continua y virtualmente inagotable, como el sol, el viento, el agua y la biomasa (Twidell y Tony, 2021).

2.1.11 Front-End Loading (FEL)

Se conoce como Front-End Loading (FEL) a la metodología estructurada que se utiliza en la gestión de proyectos para poder garantizar que los procesos realizados en las fases iniciales de un proyecto se hayan hecho de manera meticulosa dentro de la planificación, o predefinición, del proyecto. El FEL implica dividir el proyecto en fases progresivas permitiendo identificar, y mitigar, riesgos desde las primeras etapas. Con esta metodología se busca asegurar la recopilación y análisis de la información necesaria para la toma de decisiones informadas previo a avanzar a fases de ejecución más costosas; de esta forma se busca optimizar así los recursos y, también, reducir la probabilidad de cambios significativos en etapas avanzadas (Project Management Institute., 2017).

Para desarrollar este proyecto de la manera más óptima, los FEL se han puesto en etapas claves que permiten tomar decisiones fundamentadas sobre si el proyecto puede continuar, debe ajustarse, o incluso detenerse de acuerdo con los análisis y resultados obtenidos hasta ese momento. En el estudio de factibilidad para la implementación de una microred eléctrica en El Hatico, La Guajira, los FEL se han ubicado en tres puntos claves:

FEL 1 - Primer control del proyecto: se encuentra después de la elaboración del cronograma y el presupuesto. En este punto, se ha definido los requisitos del proyecto y se ha presentado el cronograma de actividades; también se ha generado el presupuesto del proyecto. Se ha decidido realizar el control en este momento debido a que se han establecido las bases operativas y financieras del proyecto. Con el FEL 1 se puede validar que el proyecto esté alineado con los objetivos iniciales y que los recursos estimados sean adecuados; si en esta fase se identifican desviaciones importantes o inconsistencias, se pueden corregir antes de continuar con la ejecución.

FEL 2 - Segundo control del proyecto: este control va después de la entrega de planes importantes como lo son: plan de calidad, de recursos, comunicaciones, riesgos, adquisiciones e interesados dado que el enfoque pasa, de la planificación inicial a la preparación para la ejecución del proyecto. El FEL 2 garantizará que todos los planes de gestión estén bien estructurados y coordinados, que los riesgos sean manejables y que se hayan resuelto todas las posibles brechas en cuanto a recursos y comunicaciones. Al asegurar este control, se sabe que el proyecto está listo para pasar a la fase de viabilidad técnica y económica, lo que permitirá tomar decisiones sobre su implementación.

FEL 3 - Tercer control del proyecto: el FEL 3 se realiza después de haber completado los análisis de viabilidad técnica, económica y social; este último hito de control permite tomar la decisión sobre la viabilidad del proyecto en su totalidad. Por lo tanto, se revisa toda la información recopilada sobre recursos energéticos, tecnologías, equipos, personal, costos de operación y mantenimiento (AOM), y las necesidades sociales de la comunidad; y así, se busca garantizar que todas las variables críticas hayan sido evaluadas de manera rigurosa y que el proyecto tenga tanto el respaldo técnico como el económico y social para ser implementado.

2.2 Estado del arte

Actualmente, el país cuenta con una matriz energética diversa que ha permitido sostener la demanda a lo largo del tiempo; sin embargo, aún existen retos a nivel nacional para garantizar el acceso a este recurso de manera equitativa en zonas de vulnerabilidad económica social, y las llamadas “zonas deprimidas” del país.

2.2.1 Demanda de energía en Colombia

Según XM, la demanda de energía en el país fue de 6,944.32 GWh para julio del 2024 incrementando en un 1.44% respecto al año 2023 el cual fue de 6,801.31 GWh. Los departamentos con mayor crecimiento de la demanda, de acuerdo con el informe, fueron el Guaviare, Caribe y Oriente con 4.93%, 3.4% y 2.23% respectivamente. (La República, 2024).

Tabla 2. Tabla de crecimiento de demanda por región.

Región	Demanda 2023 [GWh]	Demanda 2024 [GWh]	Variación
Caribe	1930.45	2001.58	3.4%
Centro	1587.57	1600.14	-0.19%
Oriente	953.81	979.18	2.23%
Antioquia	923.69	943.84	1.14%
Valle	611.56	618	0.04%
CQR	275.88	280.41	1.65%
THC	268.54	275.22	1.95%
Sur	182.69	178.06	-2.08%
Chocó	23.61	23.53	-0.38%
Guaviare	6.46	6.83	4.93%

Nota: CQR: Caldas, Quindío, Risaralda - THC: Tolima, Huila, Caquetá.

La Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME), presenta en el Plan Energético Nacional – PEN 2022-2052 la información de la demanda estimada futura que ayuda a dimensionar los cambios en la matriz energética del país y, de esta forma, identificar oportunidades para garantizar el suministro de energía de acuerdo con los criterios que se desean para el país.

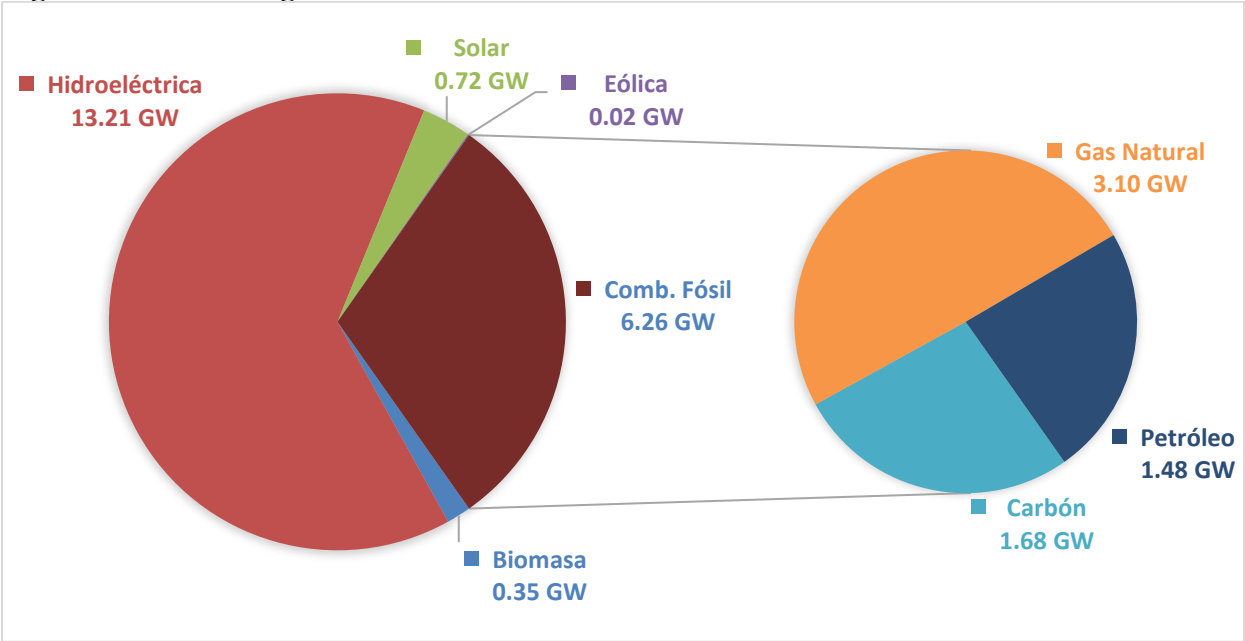
De acuerdo con el informe, se espera un crecimiento anual de 2.38% para el escenario comprendido entre el periodo 2024 a 2038 (Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), 2023). Este valor de crecimiento es determinante para garantizar una correcta selección de las fuentes de energía que pueda perdurar en el tiempo sin necesidad de realizar costosas actividades de ampliación de infraestructura; especialmente en zonas donde los ingresos son reducidos.

2.2.2 *Generación de energía en Colombia*

En cuanto a la generación de energía, Colombia tiene una gran capacidad de desarrollo en energías renovables como lo son la solar, hidráulica, eólica, geotermal y biomasa. Guiados por la transición a energías limpias, el país se ha comprometido en el COP26 para reducir la emisión de gases de efecto invernadero en un 51% para el año 2030, así como garantizar una reducción del 40% en emisiones de carbono negro entre otras medidas; para ello, se ha comenzado a realizar inversiones en infraestructura que permita llegar a este objetivo (COP26 Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021).

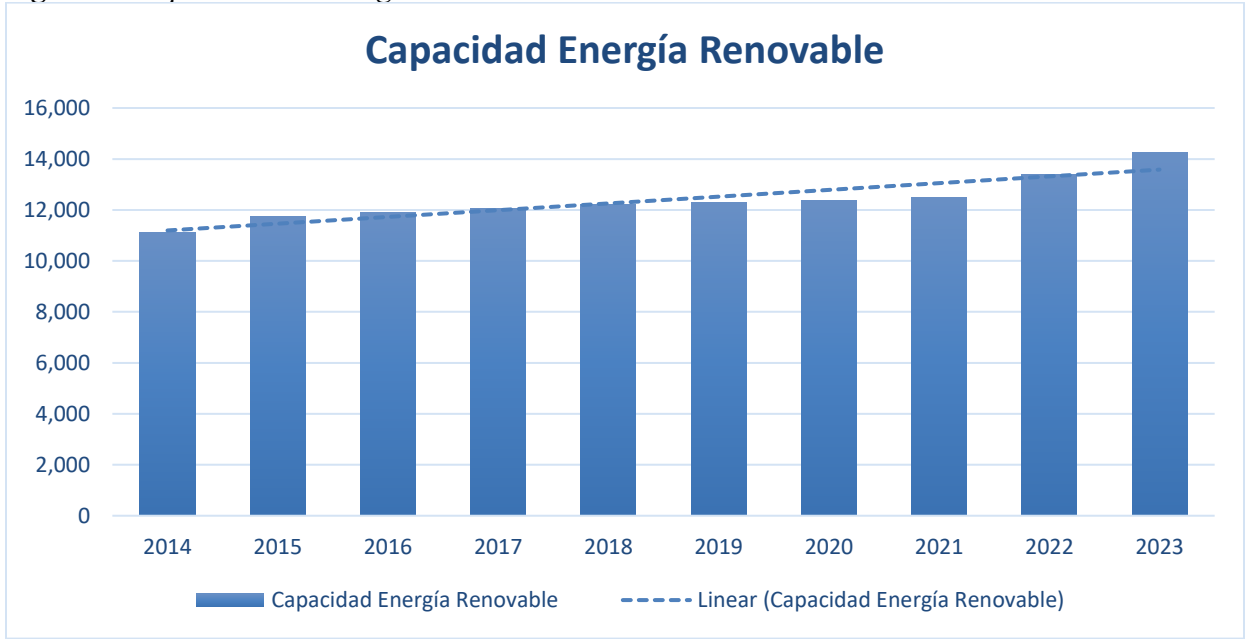
Para el año 2023, Colombia contaba con una capacidad instalada de generación de 20.5 GW proveniente de diversas fuentes de energía, tanto renovables como no renovables. De dicha capacidad, 6.26 GW (30.5%) correspondían a fuentes fósiles, mientras que las fuentes de energías renovables como la solar, eólica y biomasa, sumaban 1.08 GW (5.2%); la mayor parte de la capacidad instalada, 13.21 GW (64.3%), era atribuible a la generación hídrica, como se detalla en la Figura 3 (IRENA, International Renewable Energy Agency, 2024).

Figura 3. Fuentes de generación instalada en Colombia.



Las fuentes de energías renovables han ido creciendo en el país, llegando a generar más de 14 GW en el año 2023, como se muestra en la Figura 4

Figura 4. Capacidad de energía renovable en Colombia.



Con lo anterior, se puede apreciar un cambio en las políticas energéticas del país con tendencia al uso de fuentes renovables, alineado a los reglamentos internacionales tendientes a reducir la dependencia a fuentes contaminantes. Sin embargo, el país aún se encuentra dependiente de fuentes de energía hidráulica la cual ejerce un gran impacto a nivel social y ambiental; tanto por los desplazamientos de las personas en las inmediaciones del embalse, como por la afectación a los ciclos de vida del río intervenido (Andrade y Olaya, 2023).

Debido a esto, en los últimos años se han venido desarrollando investigaciones para fomentar el uso de fuentes de energía como la eólica y la solar, así como la implementación de nuevas políticas para garantizar una matriz más diversificada. En cuanto a los recursos naturales, Colombia posee un buen panorama para la implementación de fuentes no renovables, se estima que el potencial energético está entre 30 y 32 GW, lo que se encuentra muy por encima de la capacidad instalada actualmente (Vega y Muñoz, 2023).

Para las nuevas políticas, el país ha venido desarrollando normatividad desde hace más de 30 años para impulsar estas nuevas tecnologías. Desde la Ley 143 de 1994 (Ley de Electricidad) y la Ley 142 (Ley de Servicios Públicos). La ley 1715 del 2014 es la primera que incluyó los incentivos y regulaciones para energías renovables; adicionalmente, esta ley fue actualizada por la Ley 2099 del 2021 (Ley de Transición Energética), entre los incentivos que se contemplan están: deducciones fiscales de impuestos, exenciones de IVA, exenciones de derechos de importación de equipos entre otros (Reyes, et al., 2022).

2.2.3 Energía renovable en La Guajira

El departamento de La Guajira, ubicada en el extremo norte de Colombia, se ha destacado por su excepcional capacidad para la generación de energía por fuentes no convencionales como lo son la energía solar y la eólica. Con una capacidad estimada de más de 15 GW, el departamento

se enfrenta a retos significativos para la implementación de proyectos debido a sus condiciones limitantes de orden social, político y económico que, desde hace décadas, asolan la región.

Entre los años 2015 a 2022, y de acuerdo con las estadísticas de la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME), dentro de los proyectos de generación eólica en fase I y II, La Guajira abarcó aproximadamente el 65% de los proyectos eólicos inscritos en el país, así como el 2% de los proyectos solares. En la Tabla 3 se presenta la estadística.

Tabla 3. *Proyectos de generación de energía eólica y solar en el periodo entre 2015 y 2022.*

<i>Recurso</i>	<i>Número de proyectos registrados</i>	<i>Capacidad [MW]</i>
Viento	45	7,894.45
Solares	19	2,549.02

2.2.4 Microredes eléctricas en Colombia

En la actualidad, la implementación de microredes eléctricas se ha convertido en una importante solución para garantizar el acceso a la energía en diferentes áreas del país, reduciendo la dependencia en el consumo de combustibles fósiles, especialmente en zonas alejadas de la infraestructura nacional. Diversos estudios han demostrado que la implementación de este tipo de microredes disminuyen los costos al usuario, además de mejorar la capacidad energética en las zonas donde se ha implementado (IRENA, 2021).

Dentro de las diferentes investigaciones realizadas a nivel mundial, se resalta cómo las energías renovables están siendo adoptadas globalmente para ampliar y mejorar el acceso a electricidad en zonas donde la complejidad, y costoso, de la puesta en servicio de infraestructura convencional la convierte en un proyecto inviable.

En Colombia, a pesar del constante progreso en la implementación de energías renovables no convencionales, la electrificación en zonas rurales sigue siendo un desafío significativo en el país. Actualmente el 52% del país se encuentra dentro de la denominada Zona No Interconectada

(ZNI) correspondiente a 18 departamentos y 83 municipios (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2021), por lo que la implementación de las microredes eléctricas es una opción viable para las comunidades aisladas como solución efectiva para mejorar el suministro energético en estas regiones no interconectadas.

Varias propuestas se han desarrollado para implementar estas redes en el país; se tienen como ejemplo el desarrollo de metodologías para el diseño óptimo y costos asociados a una microred para la región de Necoclí en Antioquia (Muñoz y Ospino, 2013). También se han presentado propuestas para proyectos de electrificación en San Andrés de Tumaco usando recursos renovables (Alarcón, 2017). Otro proyecto planteado relacionado con microredes, se presenta para Victoria Dos Bocas la cual es una comunidad no interconectada ubicada en el caribe de Colombia (Cusva, 2020).

Otros proyectos de microredes eléctricas se han implementado de forma exitosa en áreas rurales y zonas no interconectadas donde la infraestructura eléctrica es limitada, como lo es la Microred Solar en la Isla Fuerte (Bolívar) en la cual se realizó la instalación de una microred solar para alimentación de la escuela, el puesto de salud, centro de acopio en el día, y alimentando la iluminación de toda la isla en la noche (Aguirre, et al., 2019).

2.3 Plan Nacional de Desarrollo (PND)

El Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2022–2026 titulado "Colombia Potencia Mundial de la Vida" fue formulado por el Gobierno Nacional como una hoja de ruta para orientar las políticas públicas del país durante el cuatrienio. Este documento, aprobado mediante la Ley 2294 de 2023, muestra las prioridades, objetivos y estrategias en distintos sectores, incluyendo el energético, ambiental, social y económico. De esta forma, se constituye el principal instrumento

de planificación estratégica del actual Gobierno de Colombia (Departamento Nacional de Planeación, 2023).

Se debe tener en cuenta que este plan busca transformar las condiciones estructurales del país con enfoque territorial, justicia social, transición energética y sostenibilidad. A continuación, se presentan las cinco transformaciones principales que se abordan en el plan, teniendo en cuenta que cada uno de estos ejes responde a problemáticas históricas y propone soluciones orientadas al bienestar social, el ordenamiento del territorio, la sostenibilidad y la eficiencia del aparato productivo. Las cinco transformaciones establecidas son:

- *Ordenamiento del territorio alrededor del agua:* busca reorganizar la ocupación y uso del suelo priorizando el recurso hídrico como eje central de la planeación territorial.
- *Seguridad humana y justicia social:* tiene como objetivo garantizar el acceso a servicios públicos, salud, educación y seguridad, con un enfoque de equidad e inclusión.
- *Derecho humano a la alimentación:* plantea una transformación del sistema agroalimentario para garantizar el acceso a alimentos saludables y sostenibles.
- *Transformación productiva, internacionalización y acción climática:* promueve el crecimiento económico con base en la sostenibilidad, la transición energética y la reindustrialización del país.
- *Convergencia regional:* propone cerrar brechas entre regiones mediante inversiones y estrategias focalizadas que permitan el desarrollo equitativo del territorio.

2.3.1 Fuentes de energía no convencional

Teniendo en cuenta las transformaciones indicadas anteriormente, el Plan Nacional de Desarrollo 2022–2026 reconoce la necesidad de ampliar la cobertura eléctrica en zonas rurales y

apartadas, especialmente enfocarse en aquellas soluciones basadas en fuentes no convencionales de energía. Dentro del contenido de este plan se encuentran algunos artículos específicos que tienen una relación directa con la transición energética, el acceso a fuentes limpias y la ampliación de la cobertura del servicio de energía eléctrica en zonas no interconectadas. Estos artículos definen las políticas, las líneas de inversión y los criterios técnicos que pueden aplicarse en el desarrollo de soluciones a los problemas de acceso a la energía encontrados en diferentes zonas del país. Entre los artículos más relevantes están los siguientes:

Artículo 235: se promueve la creación de comunidades energéticas. Dichas comunidades son grupos organizados, especialmente en territorios rurales o aislados, a quienes se les permite que generen, administren y utilicen energía de manera colectiva a partir de fuentes renovables. De esta forma se está alineando con los principios de autogestión y participación comunitaria, fundamentales en proyectos descentralizados de energía.

Artículo 237: establece la obligación de realizar auditorías energéticas en edificaciones públicas, con el fin de mejorar la eficiencia en el consumo de energía en el sector oficial. Aunque no se aplica directamente a soluciones rurales, es evidencia del enfoque del gobierno frente al uso racional de la energía.

Artículo 238: establece incentivos para promover la generación distribuida a partir de fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER); así mismo se busca facilitar la integración de estas fuentes en el sistema energético nacional, permitiendo a los usuarios generar su propia energía y aportar excedentes a la red. Estos incentivos incluyen beneficios fiscales y la simplificación de trámites para la instalación y operación de sistemas de generación distribuida.

Artículo 264: se introduce lineamientos sobre tecnologías de captura, almacenamiento y uso de carbono (CCUS), reflejando un interés en avanzar hacia la descarbonización del sistema

energético. Aunque estas tecnologías aún no son aplicables a zonas como el corregimiento de El Hatico, su inclusión evidencia el compromiso con tener una matriz energética más limpia.

Artículo 247: en este artículo se modifica el artículo 41 de la Ley 2099 de 2021, redefiniendo la estructura y funcionamiento del Fondo Único de Soluciones Energéticas (FONENERGÍA), consolidándolo como un mecanismo financiero esencial para coordinar y articular recursos destinados a financiar planes, proyectos y programas de inversión en el sector energético con especial énfasis en soluciones basadas en energías renovables en zonas no interconectadas.

De esta forma se puede considerar que el Plan Nacional de Desarrollo 2022–2026 es el marco estratégico que el estado colombiano tiene para determinar acciones con un enfoque claro hacia la equidad territorial, la sostenibilidad ambiental y el acceso universal a servicios esenciales, como la energía eléctrica. También se puede observar que, a través de transformaciones estructurales y artículos específicos, se promueven soluciones energéticas sostenibles priorizando en las Zonas No Interconectadas (ZNI), las cuales históricamente han sido excluidas del desarrollo.

2.3.2 Opciones de financiamiento del proyecto con el PND 2022-2026

El desarrollo e implementación, de soluciones energéticas requiere, no solo de una planeación técnica adecuada, sino también de un respaldo institucional y financiero que garantice su sostenibilidad. Como se vio anteriormente, el Plan Nacional de Desarrollo 2022–2026 establece un marco estratégico que favorece este tipo de iniciativas permitiendo que empresas, con proyectos como el propuesto en esta tesis, accedan a recursos disponibles por medio de programas y fondos públicos (Departamento Nacional de Planeación, 2023).

Mediante el fortalecimiento de fondos como el FAZNI, FENOGE, FAER y la creación del FONENERGÍA, se busca financiar proyectos de generación, ampliación de cobertura y

sostenibilidad en zonas rurales y no interconectadas. Aunque el Plan Plurianual de Inversiones no desglosa una cifra única para energías renovables, estos fondos pueden cubrir la compra de equipos, costos de instalación, mano de obra, estudios de factibilidad técnica, ambiental y social y programas de mantenimiento, operación y sostenibilidad a largo plazo (Unidad Nacional de Protección (UNP), 2023).

Para acceder a estos recursos, los actores interesados deben, no solo formular un proyecto técnico y financieramente viable alineado con los objetivos del PND y con énfasis en fuentes no convencionales de energía, sino también se debe registrar el proyecto ante entidades como el IPSE, UPME o el MME: según corresponda. Otro modelo que se presenta es la opción de participar en convocatorias públicas, muchas de ellas abiertas por FENOGE o el MME, en las que se priorizan las zonas rurales, comunidades vulnerables y soluciones descentralizadas, así como demostrar impacto social y territorial, ya que los proyectos con mayor cobertura o participación comunitaria suelen tener prioridad (Unidad Nacional de Protección (UNP), 2023).

El proyecto que se desarrolla en esta tesis, centrado en la implementación de un sistema fotovoltaico autónomo para el corregimiento de El Hatico, cumple con todos los criterios de elegibilidad establecidos en el PND ya que se basa en una fuente de energía solar, fuente priorizada en el contexto de transición energética justa; también busca ampliar la cobertura eléctrica en zonas rurales, lo que está alineado con la transformación “Convergencia regional” del PND. Y es puede ser presentado ante fondos como FAZNI para su ejecución. Adicionalmente, se plantea con una visión de sostenibilidad, integración comunitaria y aprovechamiento de recursos nacionales.

2.4 Contexto legal

Dentro del marco legal, se establecen aquellas leyes, decretos y reglamentos con fuerza jurídica que soporta el proceso del proyecto. Para el caso del trabajo desarrollado, hay varias

disposiciones legales que dan soporte a esta necesidad. Para desarrollar proyectos de energías renovables, se tiene en consideración la Tabla 4 donde se presenta las leyes relacionadas.

Tabla 4. Consolidado de leyes relacionadas con el proyecto.

<i>Norma/Ley</i>	<i>Descripción</i>	<i>Notas</i>
Ley 142 de 1994	Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones.	Define el régimen de los servicios públicos domiciliarios, incluyendo el servicio de energía eléctrica.
Ley 143 de 1994	Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones	Ley Eléctrica, regula la generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de electricidad en el país.
Ley 632 de 2000	Por la cual se modifican parcialmente las Leyes 142, 143 de 1994, 223 de 1995 y 286 de 1996.	Establece que la UPME, determinará qué se entiende por consumo de subsistencia, así como el período de transición en el cual este se deberá ajustar
Ley 633 de 2000	Por la cual se expiden normas en materia tributaria, se dictan disposiciones sobre el tratamiento a los fondos obligatorios para la vivienda de interés social y se introducen normas para fortalecer las finanzas de la Rama Judicial.	Presenta la naturaleza del FAZNI que se usarán para financiar planes, programas y proyectos de inversión destinados a la construcción e instalación de la infraestructura eléctrica para la ampliación de la cobertura y satisfacción de la demanda de energía en ZNI.
Ley 697 de 2001	Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones.	Promueve el uso de FNCE e insta al MME debe formular lineamientos de las políticas, estrategias e instrumentos para el fomento y la promoción de las FNCE, con prelación en las ZNI.
Ley 855 de 2003	Por la cual se definen las Zonas No Interconectadas.	Definición de las Zonas No Interconectadas
Ley 1099 de 2006	Por medio de la cual se prorroga la vigencia del artículo 81 de la Ley 633 de 2000 y se dictan otras disposiciones.	Amplia la vigencia del recaudo de recursos para alimentar el FAZNI a 31 de diciembre de 2014.
Ley 1715 de 2014	Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional.	Ley de Energías Renovables, busca promover el desarrollo y uso de las FNCE. También crea el FENOGE (Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía) y promueve beneficios tributarios para la inversión.
Ley 1753 de 2014	Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2014- 2018 “Todos por un nuevo país”.	Establece el manejo y formas de recaudo para varios Fondos Eléctricos, entre ellos el FAER, FOES, FAZNI y FENOGE.
Ley 1955 de 2019	Por el cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2018- 2022 “Pacto por Colombia, pacto por la equidad”.	Establece los lineamientos para las entidades territoriales o prestadores de servicios, en relación con la sostenibilidad (AOM) de las soluciones energéticas construidas. También indica que el FENOGE podrá financiar proyectos de gestión eficiente de la energía y sistemas individuales de autogeneración con FNCE en ZNI.

<i>Norma/Ley</i>	<i>Descripción</i>	<i>Notas</i>
Ley 2099 de 2021	Ley de transición energética.	Moderniza la legislación vigente y establece disposiciones para la transición energética y la dinamización del mercado energético en Colombia.
Ley 2294 de 2023	Por el cual se expide el Plan Nacional De Desarrollo 2022- 2026 “Colombia potencia mundial de la vida”	Promueve la creación y fortalecimiento de comunidades energéticas en el marco de una Transición Energética Justa.

Adicionalmente, se tienen varios decretos que han reglamentado los fondos que financias proyectos de energización con la FAZNI y buscan la expansión de la cobertura modificando la estructura del IPSE. Estos decretos se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Consolidado de decretos relacionadas con el proyecto.

<i>Decreto</i>	<i>Descripción</i>	<i>Notas</i>
Decreto 2884 de 2001	Por el cual se reglamenta el Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas no Interconectadas - FAZNI.	Se definen directrices que permiten destinar recursos del FAZNI al financiamiento de iniciativas que busquen ampliar la cobertura y atender la demanda energética en las Zonas No Interconectadas (ZNI).
Decreto 3683 de 2003	Por el cual se reglamenta la Ley 697 de 2001 y se crea una Comisión Intersectorial	El Ministerio de Minas y Energía será responsable de formular las políticas públicas e implementar mecanismos para incentivar el uso de fuentes no convencionales de energía (FNCE), priorizando su aplicación en las ZNI.
Decreto 257 de 2004	Por el cual se modifica la Estructura del Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas (IPSE).	Se otorga al IPSE la responsabilidad exclusiva sobre la gestión energética en las ZNI, estableciendo sus funciones y objetivos orientados a cubrir las necesidades eléctricas de estas zonas.
Decreto 1124 de 2008	Por el cual se reglamenta el Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas No Interconectadas – FAZNI.	Se especifica la naturaleza jurídica del FAZNI, las inversiones elegibles para ser financiadas con sus recursos, y el procedimiento que deben seguir planes, programas o proyectos para ser presentados, evaluados y aprobados.
Decreto 1073 de 2015	Por la cual medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía.	La aprobación de proyectos enfocados en expandir o modernizar la cobertura eléctrica en las ZNI, financiados con recursos del FAZNI u otras fuentes, será competencia del MME, siempre que cuenten con viabilidad técnica y financiera otorgada por el IPSE. También corresponderá al MME establecer los estándares mínimos de calidad para los sistemas eléctricos individuales, los cuales deben operar con una generación igual o inferior al consumo básico de subsistencia. Adicionalmente, el Fondo de Energía Social (FOES) subsidiará hasta \$46 por kWh del valor de la energía destinada al consumo

<i>Decreto</i>	<i>Descripción</i>	<i>Notas</i>
		básico de hogares de estratos 1 y 2 ubicados en áreas rurales de difícil acceso y barrios subnormales.
Decreto 1623 de 2015	Por el cual se modifica y adiciona el Decreto 1073 de 2015, en lo que respecta al establecimiento de los lineamientos de política para la expansión de la cobertura del servicio de energía eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional y en las Zonas No Interconectadas.	Se identifican las prioridades del Plan Indicativo de Expansión de Cobertura (PIEC), el cual propone como alternativas las soluciones centralizadas o individuales y las microrredes para ampliar el servicio eléctrico en zonas aisladas.
Decreto Ley 884 de 2017	Por el cual se expiden normas tendientes a la implementación del Plan Nacional de Electrificación Rural en el marco del Acuerdo Final para la Terminación del Conflicto y la Construcción de una Paz Estable y Duradera.	En el marco de la Reforma Rural Integral, el MME, con apoyo técnico del IPSE y la UPME, elaborará y actualizará cada dos años el Plan Nacional de Electrificación Rural (PNER), tanto para las ZNI como para el Sistema Interconectado Nacional (SIN). Este plan tendrá como objetivo ampliar la cobertura y promover tecnologías de generación eléctrica adecuadas, preferiblemente con fuentes renovables. Los proyectos del PNER podrán ser financiados con recursos del FAER, FAZNI o mediante el Programa de Normalización de Redes Eléctricas (PRONE).
Decreto 574 de 2020	Por el cual se adoptan medidas en materia de minas y energía, en el marco del Estado de Emergencia Económica, Social y Ecológica.	En respuesta a la emergencia sanitaria por COVID-19, se establecieron mecanismos de apoyo financiero para proyectos eléctricos en zonas vulnerables. Esto incluyó la posibilidad de otorgar créditos y capitalización a empresas públicas de servicios domiciliarios. Además, se permitió que entidades territoriales o prestadores que ya operaban el servicio en ZNI sin formalización legal continuaran haciéndolo de forma ininterrumpida. También se prorrogó la entrega de soluciones energéticas financiadas con recursos del FAZNI hasta el 31 de diciembre de 2020.

Dado que el Ministerio de Minas y Energía es encargado de regular el tema energético en el país, puede llegar a emitir resoluciones que deben ser cumplidas en miras de indicar cuales son las políticas y lineamientos a seguir en el sector; así también es el encargado de establecer aquellos mecanismos para el otorgamiento de subsidios, así como las condiciones para ser aplicados. Las resoluciones más relevantes para el proyecto se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Consolidado de resoluciones MME relacionadas con el proyecto.

<i>Resolución</i>	<i>Descripción</i>	<i>Notas</i>
Resolución 182138 de 2007	Por la cual se expide el procedimiento para otorgar subsidios del sector eléctrico en las Zonas No Interconectadas.	Modificada por la Resolución 180660 de 2009. La UPME debe establecer los CB para los usuarios residenciales y no residenciales de las ZNI. Se definen las condiciones para el cálculo de los subsidios y el consumo subsidiable. Los subsidios otorgados no podrán exceder el valor del CB.
Resolución 180648 de 2007	Por la cual se adiciona la resolución 182138 de diciembre 26 de 2007, por la cual se expide el procedimiento para otorgar subsidios del sector eléctrico en las ZNI.	Se adopta un plan de desmonte en cuatro periodos de ajuste, para reducir gradualmente el monto de energía subsidiada a los usuarios residenciales de las ZNI, hasta alcanzar el límite vigente para el reconocimiento del subsidio.
Resolución 180660 de 2009	Por la cual se modifican las Resoluciones 182138 de diciembre 26 de 2007 y 180648 de mayo 7 de	Se especifican las fórmulas para calcular los subsidios en cada fase del proceso de reducción de los mismos para los usuarios de las ZNI. Según la fase 4 del plan de desmonte, a partir de enero de 2014, no se otorgará subsidio a ningún consumo que exceda el CB.
Resolución 180919 de 2010	Por la cual se adopta el Plan de Acción Indicativo 2010-2015 para desarrollar el Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía y demás Formas de Energía No Convencionales, PROURE, se definen sus objetivos, subprogramas y se adoptan otras disposiciones al respecto.	En el Plan se establecen metas de participación del FNCE del 30% para las ZNI y del 6,5% para el SIN.
Resolución 91874 de diciembre de 2012	Por la cual se modifica la senda de desmontes de subsidios a usuarios residenciales cuyos consumos superen el consumo de subsistencia, establecida en la Resolución 182138 de 2007.	El subsidio se calculará hasta el CB según lo señalado en el artículo 2 de la Resolución 182138 de 2007. Para los consumos que superen el CB y hasta 800 kWh/mes por usuario, el subsidio se calculará con base en las tarifas correspondientes de diciembre de 2007.
Resolución 40296 de 2020	Por la cual se reglamenta transitoriamente el otorgamiento de subsidios para el servicio público de energía eléctrica en las Zonas No Interconectadas - ZNI mediante soluciones solares fotovoltaicas individuales con potencia mayor a 0,5 kW.	Se definen mecanismos y fórmulas mediante los cuales se otorgan subsidios a los usuarios residenciales de estrato 1 para el servicio de energía eléctrica en ZNI, prestado a través de sistemas solares fotovoltaicos individuales AC con potencia superior a 0.5 kW, con almacenamiento.

La Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) es un organismo autónomo encargado de regular los servicios públicos de electricidad y gas en el país. Se debe tener en cuenta que, con las resoluciones, se busca garantizar el acceso equitativo, la calidad del servicio y la

protección de los usuarios, mientras promueven un entorno competitivo en el mercado energético.

En la Tabla 7 se presentan las resoluciones que aplican al proyecto.

Tabla 7. Consolidado de resoluciones CREG relacionadas con el proyecto.

<i>Resolución</i>	<i>Descripción</i>	<i>Notas</i>
Resolución 077 de 1999	Por la cual se aprueba la fórmula general que permite determinar el costo de prestación del servicio y la fórmula tarifaria para establecer las tarifas aplicables a los usuarios del servicio de electricidad en las Zonas No Interconectadas (ZNI) del territorio nacional.	Se establece que el CB será determinado por la Ley. El CB utilizado como base para otorgar subsidios a los usuarios de estratos 1, 2 y 3 era de 200 kWh (Ley 188 de 1995).
Resolución 091 de 2007	Por la cual se establecen las metodologías generales para remunerar las actividades de generación, distribución y comercialización de energía eléctrica, y las fórmulas tarifarias generales para establecer el costo unitario de prestación del servicio público de energía eléctrica en Zonas No Interconectadas.	Se determina el componente de remuneración para los costos de inversión y AOM en tecnologías de sistemas solares fotovoltaicos, generación diésel y pequeñas centrales hidroeléctricas. Además, se definen las fórmulas para la remuneración de actividades de generación en sistemas solares fotovoltaicos, entre otros.
Resolución 057 de 2009	Por la cual se actualizan los costos de inversión de las actividades de generación y distribución de energía eléctrica en las Zonas No Interconectadas contenidos en la Resolución CREG 091 de 2007.	Se actualizan los costos de inversión utilizados para remunerar las actividades de generación y distribución de energía eléctrica en las ZNI, establecidos en la Resolución CREG 091 de 2007.
Resolución 072 de 2013	Por la cual se complementa la Resolución 091 de 2007.	Se incluye un nuevo rango de capacidad para los sistemas solares fotovoltaicos y se actualizan los componentes de remuneración de inversiones y AOM en estos sistemas, complementando la Resolución CREG 091 de 2007.
Resolución 166 de 2020	Por la cual se define una tarifa transitoria para el servicio de energía eléctrica en las ZNI.	Se define una tarifa transitoria para el servicio de energía eléctrica a través de sistemas solares fotovoltaicos individuales AC con potencia superior a 0.5 kW.

Para el caso de la Unidad de Planeación Minero-Energética, se debe entender que es una entidad del Ministerio de Minas y Energía de Colombia la cual está encargada de la planificación y programación del sector energético. La principal misión es asegurar el desarrollo sostenible de los recursos energéticos y mineros. Las resoluciones que competen al proyecto son aquellas

relacionadas con el consumo básico de subsistencia del servicio de energía eléctrica el cual se presenta en la Tabla 8.

Tabla 8. Consolidado de resoluciones UPME relacionadas con el proyecto.

<i>Resolución</i>	<i>Descripción</i>	<i>Notas</i>
Resolución 355 de 2004	Por la cual se modifica el consumo de subsistencia del servicio de energía eléctrica.	Según un estudio de la UPME realizado en 2003, se establece el CB en función de las necesidades energéticas básicas determinadas por el clima, diferenciándose por pisos térmicos: 173 kWh/mes para altitudes menores a 1.000 m s.n.m. y 130 kWh/mes para altitudes mayores o iguales a 1.000 m s.n.m.
Resolución 0013 de 2004	Por la cual se modifica el consumo de subsistencia del servicio de energía eléctrica en barrios subnormales	Se considera un barrio subnormal como aquel asentamiento humano ubicado en las cabeceras municipales o distritos, que se encuentra conectado al SIN y cumple con las siguientes condiciones: i) carece de servicio de energía o lo recibe de derivaciones no autorizadas por el operador respectivo, y ii) no se trata de áreas donde el servicio deba ser suspendido. En estos casos, la resolución establece un CB de 184 kWh/mes para altitudes inferiores a 1.000 m s.n.m. y 138 kWh/mes para altitudes superiores o iguales a 1.000 m s.n.m.

3. Especificaciones microred

Para llevar a cabo el proyecto, es necesario realizar un correcto estudio de las necesidades energéticas de la región, así como la situación social del mismo; esto es clave para poder implementar la microred en el corregimiento de El Hatigo ya que se podrá determinar la tecnología a usar, los costos asociados y la mejor manera de atender las necesidades de la comunidad existente.

3.1 Contexto general

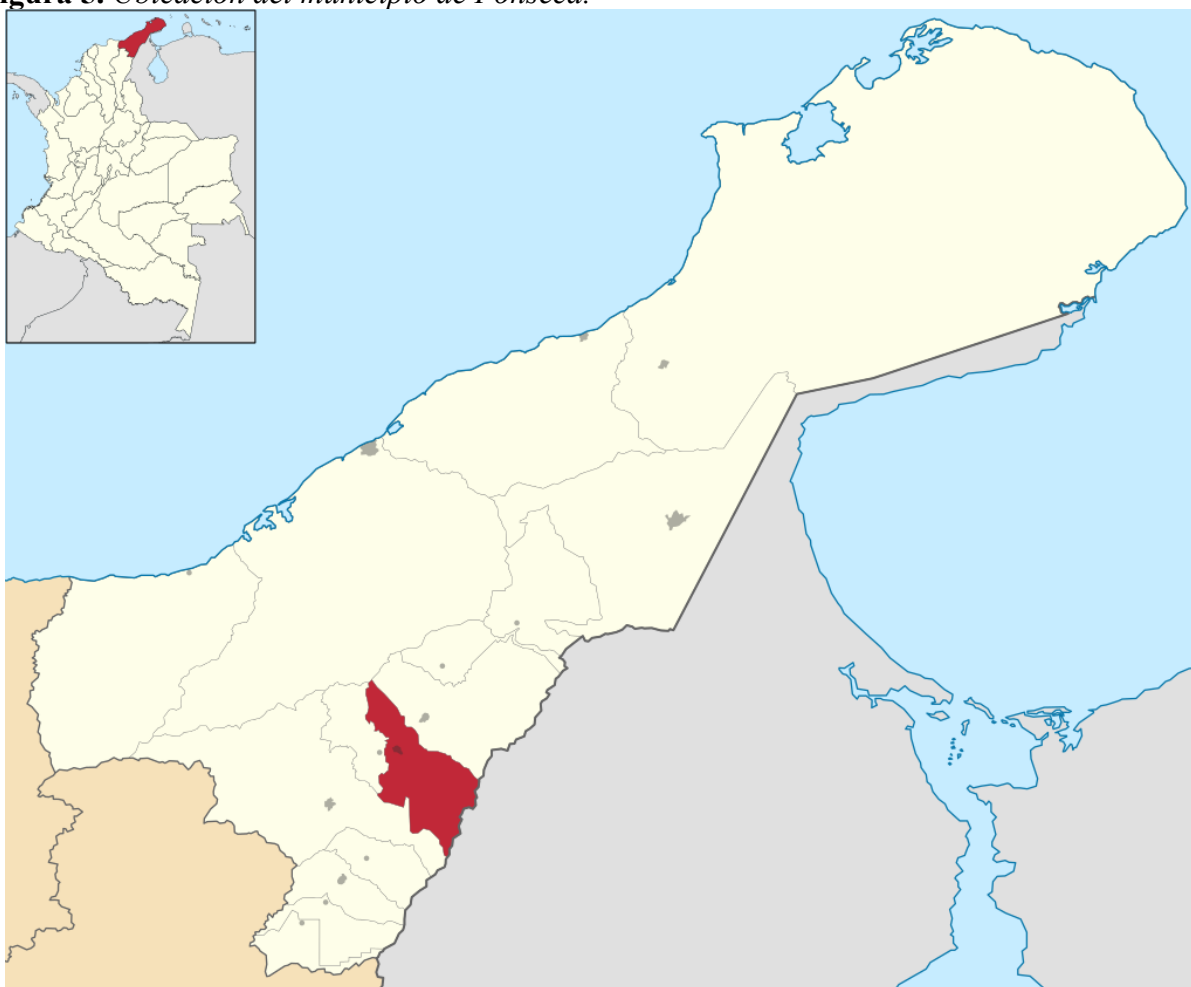
En el norte de Colombia, se encuentra ubicado el departamento de La Guajira compuesto por 4 territorios indígenas, 14 municipios y 1 distrito los cuales se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9. *Municipios y Distrito de La Guajira.*

<i>Municipio</i>	<i>Centros Poblados</i>	<i>Veredas</i>	<i>Resguardos Indígenas</i>
Albania	7	-	3
Barrancas	10	1	-
Dibulla	9	-	-
Distracción	6	-	2
El Molino	-	-	-
Fonseca	11	-	1
Hatonuevo	-	-	-
La Jagua del Pilar	-	-	-
Maicao	12	-	-
Manaure	16	-	-
Riohacha	15	-	8
San Juan del Cesar	25	-	-
Uribia	23	-	-
Urumita	-	-	-
Villanueva	-	-	-

Nota: Riohacha se considera un distrito departamental de La Guajira

El municipio de Fonseca. Con un área de 667 km², y una temperatura media de 28°C, este municipio se encuentra ubicado en la depresión del río Ranchería. Cuenta con 11 centros poblados dentro de 3 corregimientos.

Figura 5. *Ubicación del municipio de Fonseca.*

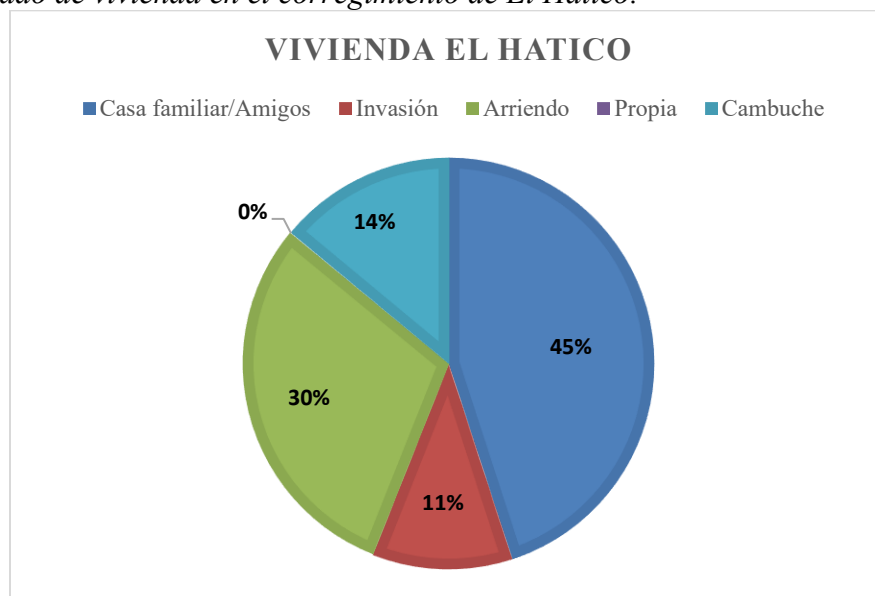
El corregimiento de El Hatiko, fundado en 1868 en La Guajira, es un corregimiento del municipio de Fonseca que es conocido, principalmente, por el cultivo de arroz y diversas festividades que se realizan alrededor del vallenato. Las características de este corregimiento se presentan en la Tabla 10.

Tabla 10. *Características corregimiento El Hatiko, La Guajira.*

<i>Característica</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
Latitud	10° 54' 27" N	-
Longitud	72° 51' 28" W	-
Altura sobre el nivel del mar	11.8	m.s.n.m.
Temperatura Media	27.7	°C
Población	933	hab

El corregimiento presenta una densidad poblacional de 3.6 personas por kilómetro cuadrado y compuesta por aproximadamente 500 familias; las condiciones de vivienda de los habitantes se componen de la siguiente manera: un 45% reside en casas de familiares o amigos, un 30% vive en casas en arriendo, mientras que un 14% habita en cambuches o enramadas, y el 11% se encuentra en asentamientos de tipo invasión (United Nations High Commissioner for Refugees, 2018).

Figura 6. Estado de vivienda en el corregimiento de El Hatío.

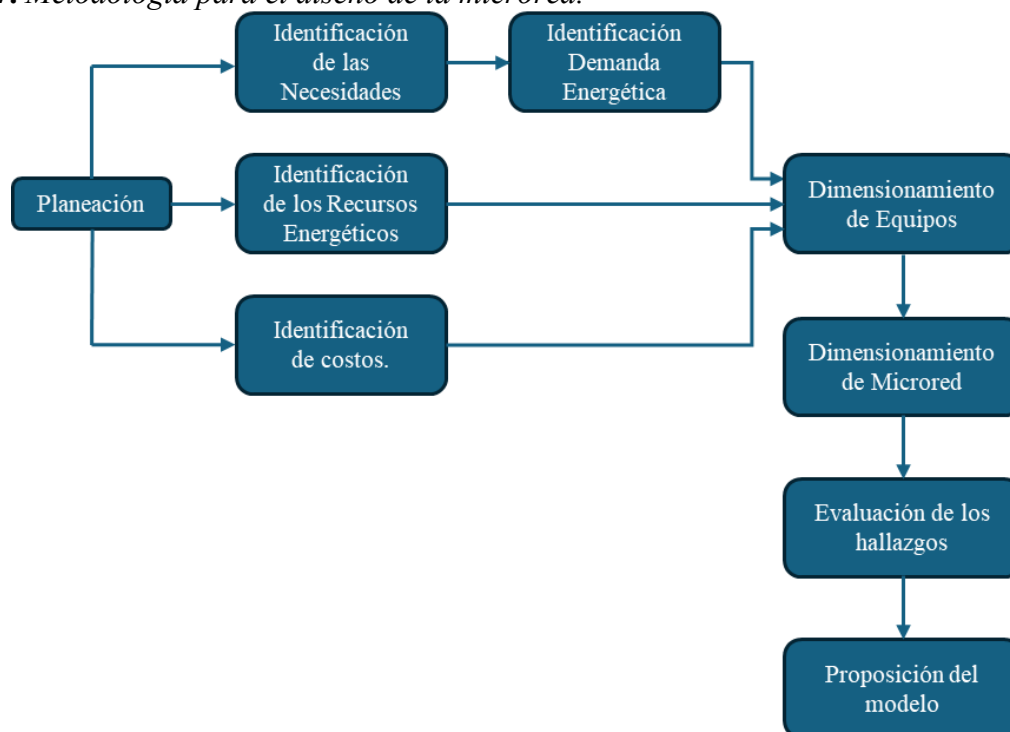


Es importante aclarar que los datos evidenciados en esta investigación deberán ser actualizados por la empresa, o entidad, que requiera realizar el proyecto con el fin de adecuar las características presentadas a la situación actual de la población; esto debido, principalmente, a la alta cantidad de migrantes que se han asentado en la localidad en los últimos años.

3.2 Características técnicas

La determinación de los requisitos técnicos asociados a la implementación de la microred eléctrica en el corregimiento de El Hatico, se lleva a cabo siguiendo la metodología mostrada en la Figura 7. Este modelo se adapta mejor a las necesidades del proyecto y permitirá tener resultados más relevantes de acuerdo con las metodologías existentes (Jiménez, et al., 2017).

Figura 7. Metodología para el diseño de la microred.

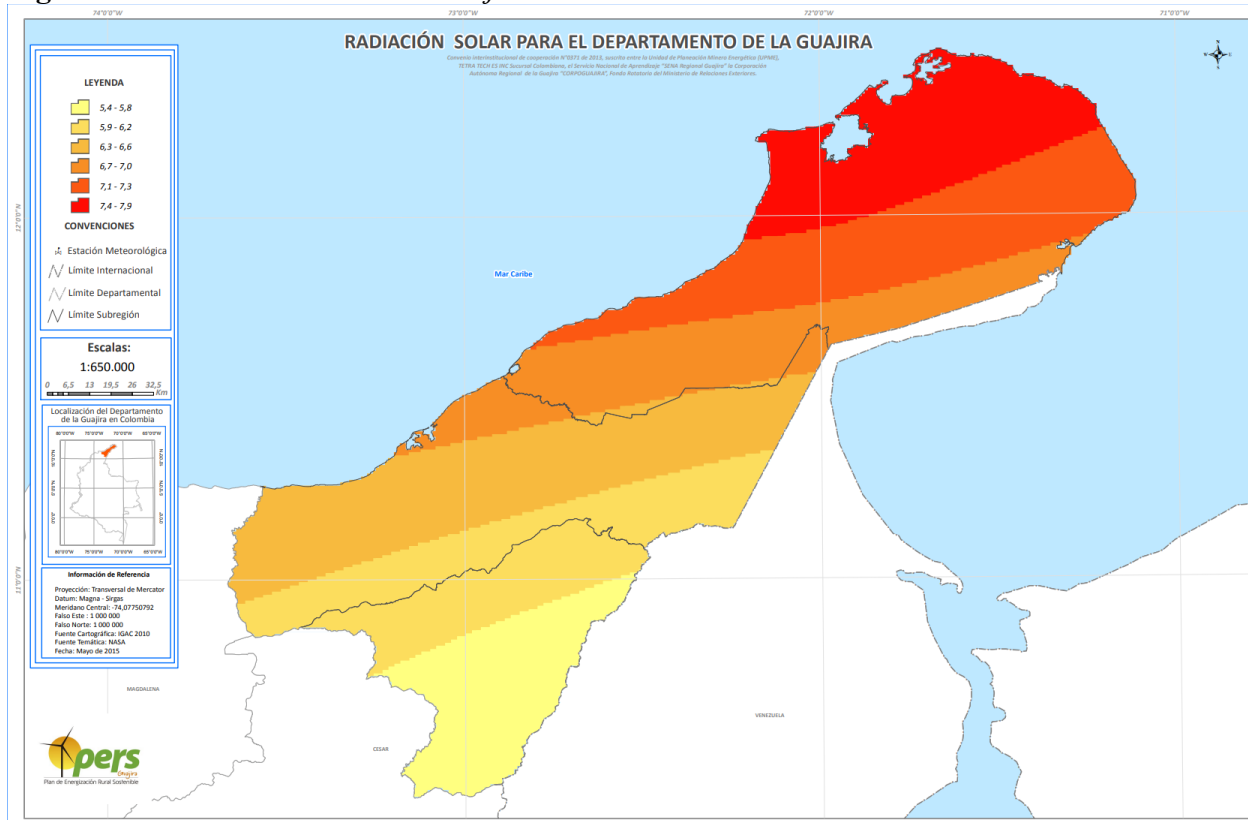


3.2.1 Potencial energético

Para determinar la capacidad de generación de energía eléctrica en el corregimiento de El Hatico, se debe considerar las fuentes de energía en la zona. Al ser tan diversa la cantidad de fuentes de energía renovable aprovechable en la zona, se delimitó el estudio a estudiar la energía solar y eólica para la implementación, ya sea de una de ellas o de un sistema híbrido de acuerdo con las condiciones del sitio.

3.2.1.1 Potencial generación solar. la región de La Guajira ha sido considerada como una importante zona para fomentar la generación de energía a partir de la radiación solar. Considerando que los valores de radiación solar se encuentran en el orden de 6.0 kWh/m²/día, superando el promedio nacional de 4.5 kWh/m²/día, convierte a La Guajira en una región ideal para implementar diferentes tipos de proyectos solares (**Cámara de Comercio de La Guajira, 2022**).

Figura 8. Radiación solar en La Guajira 2022.



Tomado de (Unidad de Planeación Mineroenergética, 2025).

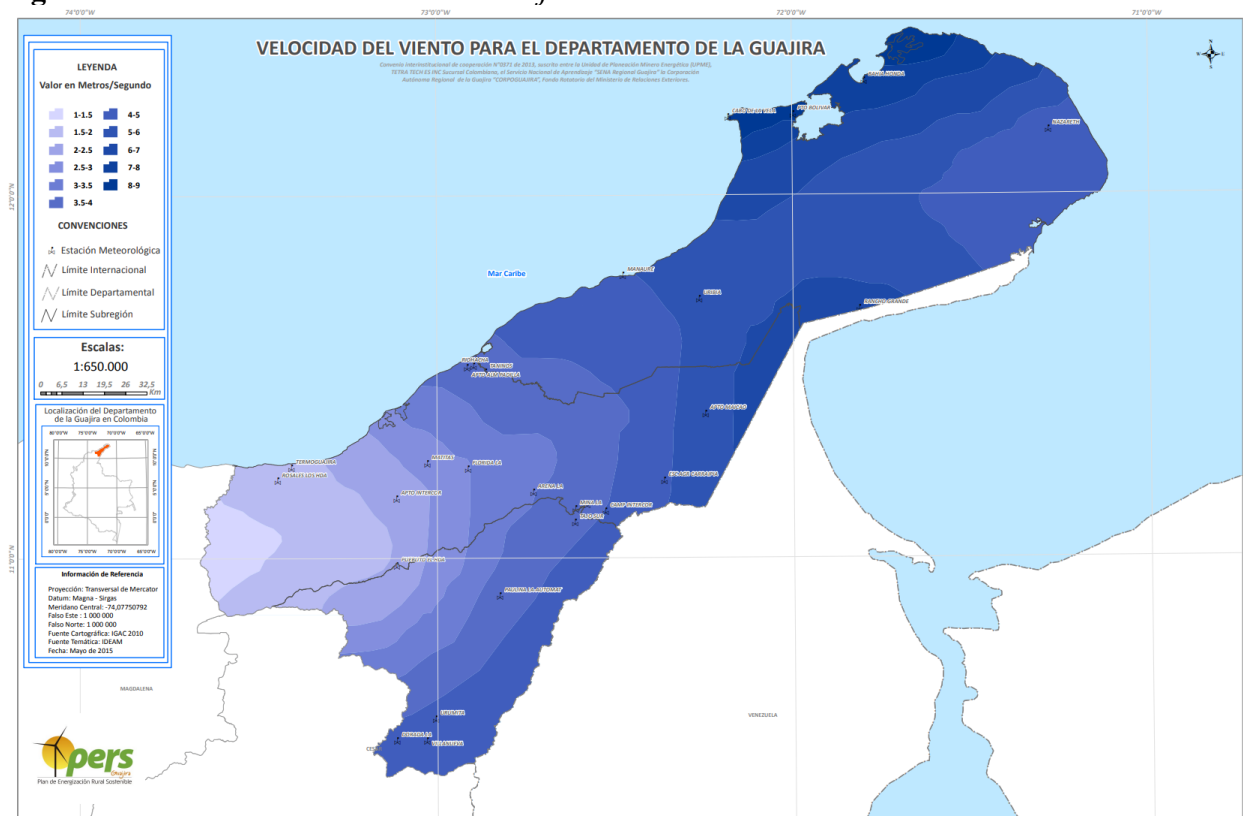
La implementación de fuentes de energía solar en la región ha ido en crecimiento en los últimos años; para resaltar esto se tienen iniciativas como el proyecto "*Comunidad Energética de Paz Sol de Perijá*" en el corregimiento de Conejo el cual se espera que beneficie a 198 familias mediante una planta solar de 1 MW con 6.2 MWh de almacenamiento (La Guajira Hoy, 2024).

Asimismo, el Centro Agroempresarial y Acuícola del SENA instaló 234 paneles solares para abastecer su infraestructura (Guajira Gráfica, 2022).

Con lo anterior, para la realización de este trabajo de investigación, se considera que la generación solar traería mejores beneficios a las comunidades dado que no requiere grandes espacios, así como poco mantenimiento; así mismo, los impactos sociales y ambientales serán reducidos en cuanto a que la comunidad tiene mejor acercamiento a este tipo de tecnología y se reduciría la construcción en zonas consideradas sagradas para las comunidades indígenas de la zona.

3.2.1.2 Potencial generación eólico. la generación de energía eléctrica a partir del viento se ha convertido en una alternativa limpia y eficiente a nivel mundial; su implementación en zonas donde hay difícil acceso a la energía ha permitido mejorar la calidad de vida de las comunidades aledañas a este tipo de proyectos. Aunque la generación eólica conlleva beneficios, la implementación de generadores eólicos trae impactos al suelo, al paisaje, a la flora y a la fauna; por este motivo, estos proyectos deben tener estudios previos suficientes para garantizar la menor alteración al medio ambiente.

La intensidad de los vientos en el departamento cumple con la velocidad mínima requerida para desarrollo de proyectos eólicos, con velocidades que oscilan entre los 5 m/s y los 11 m/s durante todo el año convierte a La Guajira en una región prometedora para este tipo de inversiones (Cámara de Comercio de La Guajira, 2022)

Figura 9. *Velocidad del viento en La Guajira 2022.*

Tomado de (Unidad de Planeación Mineroenergética, 2025).

Sin embargo, las condiciones para la construcción de proyectos eólicos se cumplen, mayoritariamente, en la zona costera del departamento debido a que es una zona con la mayor velocidad del viento, superando 9 m/s, y con ausencia de barreras físicas como lo podrían ser montañas o edificios (El Tiempo, 2017). Adicionalmente, las zonas costeras del país han estado más involucradas, y son más receptivas, a la implementación de este tipo de proyectos, así mismo, se encuentran más familiarizadas que comunidades al interior del departamento; esta consideración cultural y social es importante tenerla en cuenta puesto que la necesidad de trabajo social, así como los factores culturales, afectan la implementación de este tipo de proyectos (Vega, et al, 2023). Por este motivo, se descarta para el estudio de este proyecto, la implementación de un proyecto eólico en la zona del corregimiento de El Hatío en La Guajira.

3.2.1.3 Potencial generación hídrico. el departamento de La Guajira posee un embalse llamado El Cercado, el cual se encuentra en el río Ranchería, principal fuente fluvial del departamento. Este embalse, hasta la fecha, no posee capacidad de generación de energía debido a que fue concebido como una fuente de agua para la región. Sin embargo, hoy en día el proyecto tiene varios problemas que han causado disconformidad entre las comunidades aledañas, especialmente, las indígenas (**Periódico UNAL, 2019**).

Aún con la posibilidad de generación hídrica, el río es un afluente principal en la región que abastece de agua a varios municipios cercanos. Adicionalmente, el río desempeña un papel fundamental en la cultura y las creencias del pueblo Wayúu, ya que es un elemento central en su cosmovisión y prácticas tradicionales. Éste representa un vínculo espiritual con la naturaleza y se considera un espacio sagrado para la comunidad, lo que agrega un componente a estudiar frente a un proyecto hídrico.

Por lo anterior, dado el tiempo y la complejidad del estudio, no se considera dentro de este trabajo la vinculación de un generador hídrico. Sin embargo, no se puede descartar esta posibilidad en la región ya que podría influir positivamente, la realización de un proyecto de esta índole, en los municipios aledaños al embalse; no obstante, se debe tener un correcto análisis de los impactos, beneficios, costos, entre otros cuando se tome la decisión de implementación.

3.2.1.4 Potencial generación biomasa. la generación por biomasa es un proceso de obtención de energía eléctrica por medio de la materia orgánica, ya sea vegetal o animal, mediante la combustión de estos residuos o la quema del metano producto de la descomposición de este. Dentro de las ventajas que hay de este proceso se resaltan las mostradas en la Tabla 11:

Tabla 11. *Ventajas de la energía por biomasa.*

	<i>Ventajas</i>	<i>Referencia</i>
Económicas	Alta relación costo-beneficio debido a la materia prima	Ogner , et al. (2020) Rodríguez-Ramos , et al. (2019) Murcia , et al. (2020)
	Mejora en la matriz energética por diversificación	Rodríguez-Ramos., et al. (2019) González, et al. (2019) Da Silveira , et al. (2021) Jurgutis , et al. (2021)
	Fácil Almacenamiento	Lenis-Rodas , et al (2021)
	Alta Versatilidad	Lenis-Rodas , et al (2021)
Ambientales	Reducción de emisiones de CO2	Rodríguez-Ramos , et al. (2019) Romero , et al. (2019) Núñez-Moreno , et al. (2020) Lesme , et al. (2020) Ogner , et al. (2020) Jeswani , et al. (2020)
	Reducción de especies amenazantes de ecosistemas	Núñez-Moreno , et al. (2020)
Sociales	Aumento de calidad de vida	Rodríguez-Ramos , et al. (2019) Parra-Ortiz , et al. (2019) Nugroho , et al. (2020)
	Creación de fuentes de trabajo	Rodríguez-Ramos , et al. (2019) Hodges , et al. (2019)

Así mismo, la biomasa posee varias desventajas respecto a las demás energías renovables las cuales se indican en la Tabla 12

Tabla 12. *Desventajas de la energía por biomasa.*

	<i>Desventajas</i>	<i>Referencia</i>
Económicas	Ocupación de áreas dedicadas a la explotación agrícola y/o forestal	Rodríguez-Ramos , et al. (2019)
	Altos niveles de toxicidad de algunos compuestos que afectan el rendimiento del biogás	Romero , et al. (2019)
	Se necesita producir otros subproductos para aumentar la rentabilidad	Campos-Ramírez , et al. (2020)
	Bajo potencial energético	Núñez-Moreno , et al. (2020)
		Herrera , et al. (2020)
		TamayoPacheco , et al. (2019)
		Martillo , et al. (2019)
		Martínez-Amariz y Garrido-Silva (2019)
	El rendimiento depende de condiciones climáticas específicas y de las propias especies.	Johansson , et al. (2019)
		Niemczyk , et al. (2021)
		Slusarz , et al. (2021)
		González , et al. (2020)
		Galvis , et al. (2020)
		Espinoza-Álvarez , et al. (2019)

	<i>Desventajas</i>	<i>Referencia</i>
Ambientales	Transformación de diversas áreas en zonas rurales	Rodríguez-Ramos , et al. (2019)
	Interferencia humana en procesos naturales	Guasumba-Codena , et al. (2019) Serra , et al. (2019) Irdfan , et al. (2020) Jeswani , et al. (2020)
Sociales	Puede incidir en la seguridad alimentaria dependiendo del nivel de producción	Rodríguez-Ramos , et al. (2019) Galvis , et al. (2020)

Teniendo en cuenta que la principal actividad económica del corregimiento de El Hatigo es el cultivo de arroz, y que la generación por biomasa requiere grandes espacios, este tipo de generación no se recomienda; adicionalmente, requiere condiciones específicas para ser una fuente confiable para la comunidad, lo que reduce la posibilidad de implementación. Por lo tanto, se descarta el estudio para este tipo de fuente.

3.2.2 *Demanda energética*

Para dimensionar correctamente los equipos del proyecto, se deberá conocer la cantidad de energía que la población requiere, esto se conoce como Consumo Básico (CB), el cual se define como la cantidad mínima de energía eléctrica que requiere un usuario durante un mes para suplir sus necesidades básicas (Congreso de la República de Colombia., 1994). De acuerdo con esto, en la Ley 632 del 2000, se especificó que una de las funciones de la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) es la de establecer los valores del CB. De acuerdo con lo anterior, se dispuso un consumo base de acuerdo con la altura a la cual se encuentran las poblaciones; para aquellos que viven por debajo de los 1000 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) se consideró un consumo básico de 173 kWh al mes, y para aquellos que viven sobre los 1000 m.s.n.m. se considera 130 kWh al mes de consumo básico (Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), 2004).

Sin embargo, para las Zonas No Interconectadas (ZNI) existen variaciones en la consideración de los valores de consumo básico para cada una de las poblaciones; esto es debido, principalmente, a la falta de acceso a ciertas zonas del país, así como diferencias geográficas y sociopolíticas. Para poder garantizar una correcta selección del consumo, debemos tener en cuenta estos diferentes parámetros como lo muestra la Tabla 13:

Tabla 13. *Valores de CB por cada fuente.*

<i>Fuente</i>	<i>Parámetro de Definición</i>	<i>Consumo Básico</i>	
Resolución 355 de 2004	Por Altura	$0 \leq h < 1000$	173 kWh/mes
		$h \geq 1000$	130 kWh/mes
Resolución 0013 de 2004	Por altura	$0 \leq h < 1000$	184 kWh/mes
	Barrios subnormales	$h \geq 1000$	138 kWh/mes
Plan Indicativo de Expansión de Cobertura – PIEC 2019’2023	Por Altura	$0 \leq h < 1000$	90 kWh/mes
		$h \geq 1000$	60 kWh/mes
Programa de energía limpia para Colombia propuesta de integración PIEC – PERS – PEZNI (2016)	Por Altura	$0 \leq h < 500$	188,5 kWh/mes
		$500 \leq h < 1000$	162.0 kWh/mes
		$1000 \leq h < 2000$	126.1 kWh/mes
		$h \geq 2000$	106.8 kWh/mes

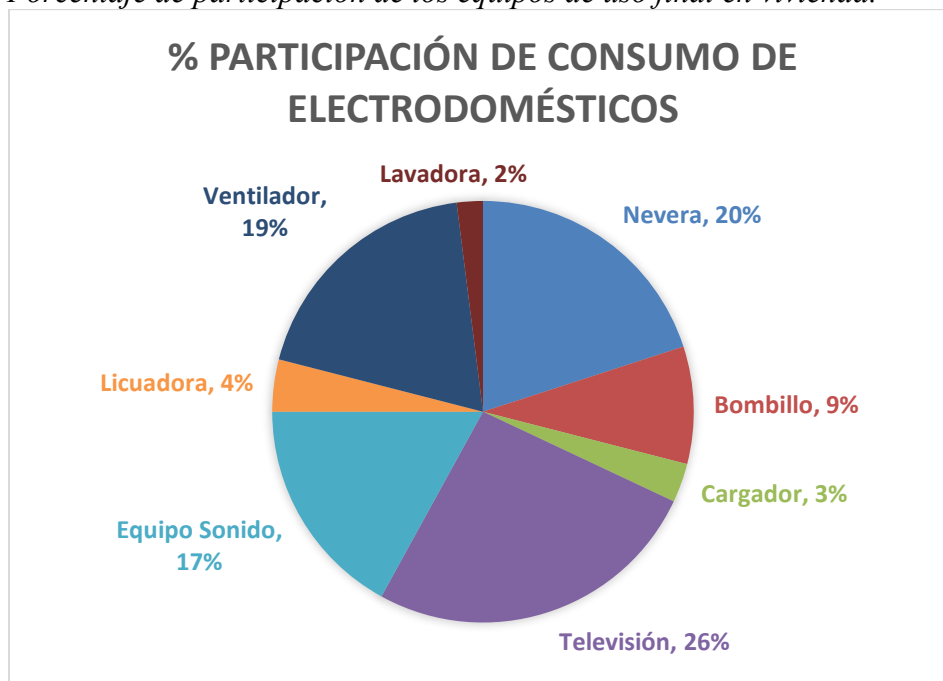
Una investigación realizada en La Guajira sobre el consumo básico de las Zonas No Interconectadas, determinó que los hogares presentan un consumo aproximado de 136.64 kWh mes (Weber, 2021), lo cual es acorde con el CB determinado en las resoluciones 355 y 0013, no siendo acorde a lo evaluado por el PIEC. Los resultados se presentan en la Tabla 14

Tabla 14. *Consumo básico por electrodoméstico.*

<i>Electrodoméstico</i>	<i>Consumo diario</i>	<i>Consumo mensual</i>
Refrigerador	1380 Wh/d	41.40 kWh/mes
Equipo de Sonido	1100 Wh/d	33.00 kWh/mes
Ventilador	840 Wh/d	25.20 kWh/mes
Televisor	576 Wh/d	17.28 kWh/mes
Lavadora	209 Wh/d	6.26 kWh/mes
Cargador	160 Wh/d	4.80 kWh/mes
Licuada	150 Wh/d	4.50 kWh/mes
Iluminación	140 Wh/d	4.20 kWh/mes
<i>Total</i>	<i>4.56 kWh/día</i>	<i>136.64 kWh/mes</i>

Este consumo viene dado, de acuerdo con la investigación, por la cantidad de electrodomésticos, así como el tiempo promedio de uso que se le da en la vivienda siendo el televisor el de mayor participación seguido por la nevera y los equipos de sonido según se muestra en la Figura 10.

Figura 10. *Porcentaje de participación de los equipos de uso final en vivienda.*



Para dimensionar los equipos se tendrá en cuenta la capacidad de 173 kWh/mes indicado en la Resolución 355 de 2004 debido a que es un valor mayor al que se determinó en la investigación y, de la misma forma, se tiene una posibilidad de ampliación de acuerdo con el crecimiento de la zona.

3.3 Tecnologías de microred aplicables

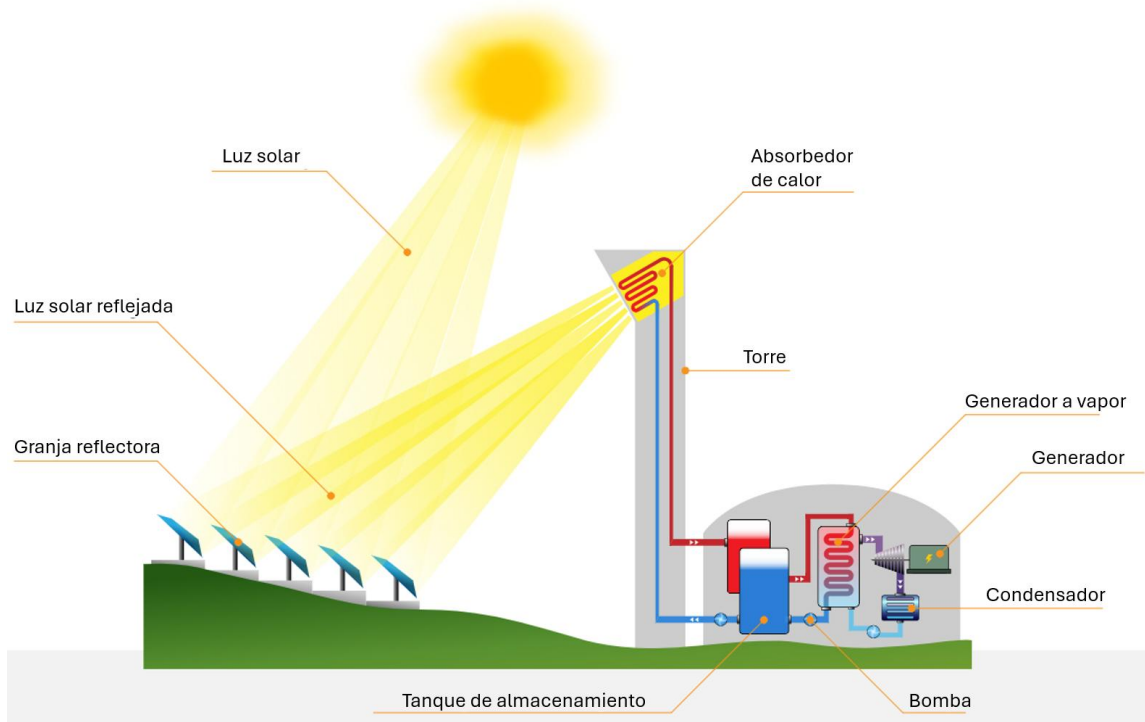
Como se indicó en el numeral 3.2.1, la generación por fuentes renovables, aparte de la generación solar, son complejas de implementar por lo que se va a explorar las tecnologías

aplicables que puedan aprovechar el potencial solar de la región. A continuación, se estudiarán estas tecnologías para garantizar que la selección cumpla con los requerimientos de la zona y garantizar la viabilidad del proyecto.

3.3.1 *Generador termo-solar de concentración*

El sistema de generación termo-solar, también llamado Sistema de Energía Solar de Concentración (CSP, por sus siglas en inglés), son aquellos sistemas en los que se aprovecha la radiación solar para generar energía por medio de la concentración de dicha radiación en un punto específico. De esta manera, se incrementa la temperatura en el receptor, o colector, calentando el agua hasta punto de vapor el cual pasará a través de una turbina generando energía como se muestra en la Figura 11 (Energy Encyclopedia, s.f.).

Figura 11. *Generador solar de concentración.*

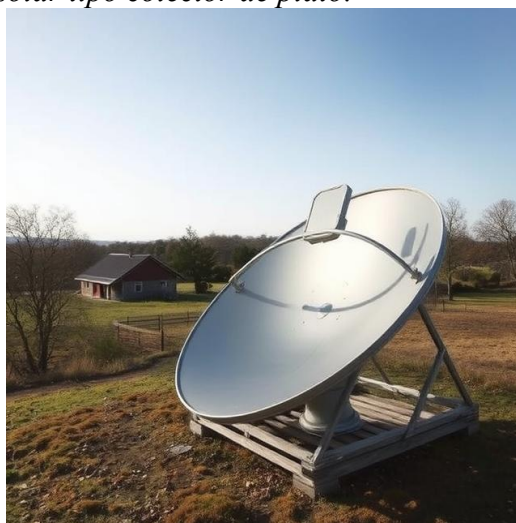


Adaptado de (Energy Encyclopedia, s.f.).

Para que este sistema funcione, es necesario contar con grandes cantidades de terreno, pues se requiere que la granja sea capaz de calentar el agua y garantizar la eficiencia del sistema. Se estima que un sistema CSP compacto puede requerir entre 25 y 30 m² de espacio, considerando un consumo anual promedio de 10,500 kWh y una eficiencia del 20%. El área de espejos necesaria se calcula en aproximadamente 21 m², pero el espacio total requerido aumenta debido a las estructuras de soporte, mecanismos de seguimiento y mantenimiento (Marzouk, 2022).

Aunque estos sistemas son más comunes en plantas a gran escala, tecnologías como los colectores de plato o los canales parabólicos pueden adaptarse a entornos residenciales con diseños compactos y optimizados.

Figura 12. *Colector termo-solar tipo colector de plato.*

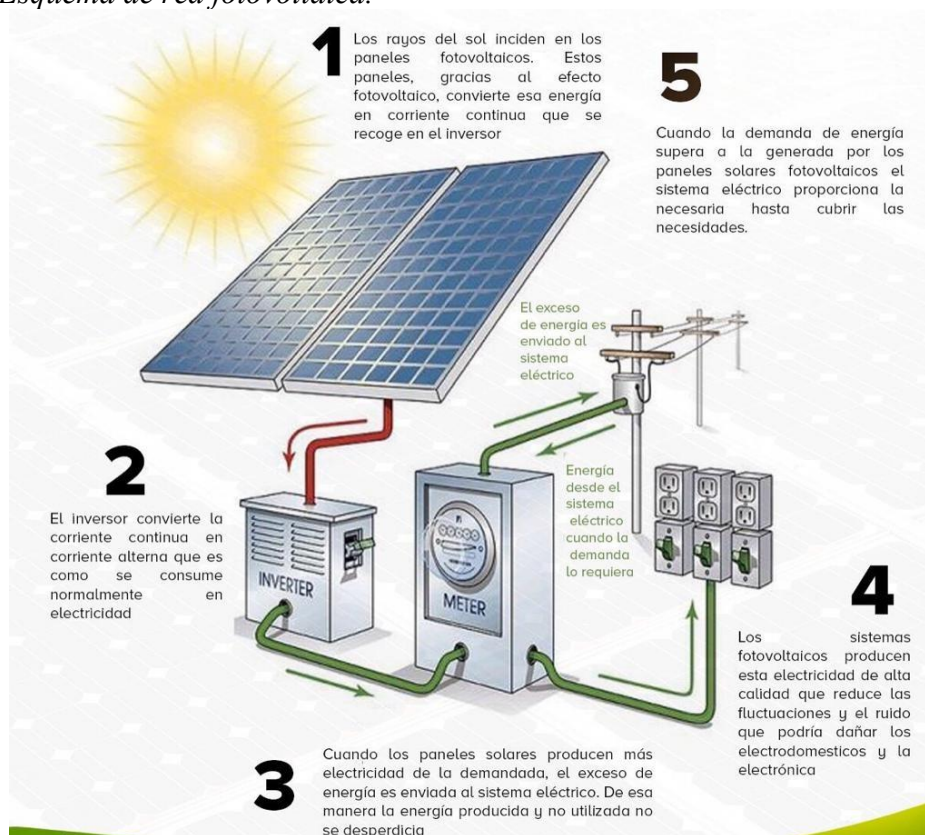


A pesar de sus beneficios, los sistemas CSP pequeños no son ampliamente utilizados en viviendas debido a sus costos y requisitos técnicos. Para la implementación de estas tecnologías se debe determinar factores como la disponibilidad de terreno, el acceso a financiamiento y las condiciones climáticas específicas, como ubicaciones con alta radiación solar directa, por lo que es recomendable realizar estudios de viabilidad detallados antes de su aplicación.

3.3.2 Generador solar fotovoltaico

Este tipo de tecnología es la más conocida, el principio de este tipo de generadores es convertir la energía solar en electricidad mediante el efecto fotoeléctrico, para realizar esto, los paneles se componen de células fabricadas en silicio que, a través de la radiación solar, genera corriente continua (EcoInventos, 2022). Para aprovechar la energía generada, las celdas fotovoltaicas deben contar con otros equipos como lo son inversores (Para transformar la corriente continua en alterna) y la cual deberá estar calculada para el uso que se le fuese a dar; baterías para almacenar la energía, especialmente si se desea usar en la noche; equipo de protecciones y conmutadores para trabajar tanto con el panel como con la red eléctrica, en caso de estar disponible como se ve en la Figura 13.

Figura 13. Esquema de red fotovoltaica.



Tomado de (Constante, et al, 2022).

Dado que esta es la selección más factible para el proyecto, tanto por su ubicación como por el tipo de tecnología, se realizará el análisis teniendo en cuenta este tipo de tecnología.

3.3.3 Cálculo de paneles

Para determinar la cantidad de paneles solares a usar, se usará el cálculo tomado en el numeral 3.2.2, el cual determina un consumo mensual de alrededor de $173 \text{ kWh}/\text{mes}$ para una vivienda estándar en el corregimiento de El Hatiko. También suponemos alrededor de 5 horas pico al día para radiación solar promedio y una eficiencia del 25% en conversión para el panel solar; el cual es un valor estándar para paneles solares (Alfonso, 2024).

Con esto, se usa la siguiente ecuación para estimar la potencia del sistema solar:

$$P_{ss} = \frac{\text{Consumo diario}}{\text{Radiación} \times \text{factor de eficiencia}}$$

$$P_{ss} = \frac{\left(173 \frac{\text{kWh}}{\text{mes}} / 30 \frac{\text{días}}{\text{mes}}\right)}{\left(5 \frac{\text{h}}{\text{día}} \times 0.75\right)}$$

$$P_{ss} = 1.54 \text{ kW}$$

El sistema debe ser de aproximadamente 1.54 kW para alimentar la casa. Con este dato se puede determinar la cantidad de paneles solares; para el caso de estudio, se selecciona un panel solar monocristalino debido a que destacan por la alta eficiencia y la durabilidad (Deltavolt, s.f.). Teniendo como referencia un panel de 450 W_p se determina la cantidad de paneles necesarios.

$$N_p = \frac{P_{ss}}{P_s} = \frac{1540 \text{ W}}{450 \text{ W}_p} = 3.42 \text{ p  neles}$$

$$N_p = 4$$

Con 4 paneles es suficiente para garantizar que la casa se encuentre energizada completamente

3.3.4 Producción anual

Para determinar la cantidad de energía anual generada por una celda solar fotovoltaica, se debe tener en cuenta las necesidades energéticas. De acuerdo con el numeral 3.2.2, se tomará como consumo máximo mensual 173 kWh/mes como referencia para el corregimiento de El Hatiko. De acuerdo con expertos, el rendimiento de los paneles solares se ven reducidos anualmente entre el 0.3% y el 0.8% siendo 0.5% un valor estándar para los cálculos (Ruiz, 2023).

Con la información anterior, podemos determinar la generación anual probable por desgaste para un panel solar típico teniendo como resultado lo presentado en la Tabla 15.

Tabla 15. *Estimación de producción anual por desgaste.*

<i>Año</i>	<i>Tiempo</i>	<i>Generación anual nominal [kWh]</i>	<i>Pérdidas por desgaste [kWh]</i>	<i>Generación Neta [kWh]</i>
2027	Año 0	2463.75	0.00	2463.75
2028	Año 1	2463.75	12.32	2451.43
2029	Año 2	2463.75	24.58	2439.17
2030	Año 3	2463.75	36.77	2426.98
2031	Año 4	2463.75	48.91	2414.84
2032	Año 5	2463.75	60.98	2402.77
2033	Año 6	2463.75	72.99	2390.76
2034	Año 7	2463.75	84.95	2378.80
2035	Año 8	2463.75	96.84	2366.91
2036	Año 9	2463.75	108.68	2355.07
2037	Año 10	2463.75	120.45	2343.30
2038	Año 11	2463.75	132.17	2331.58
2039	Año 12	2463.75	143.83	2319.92
2040	Año 13	2463.75	155.43	2308.32
2041	Año 14	2463.75	166.97	2296.78
2042	Año 15	2463.75	178.45	2285.30
2043	Año 16	2463.75	189.88	2273.87
2044	Año 17	2463.75	201.25	2262.50
2045	Año 18	2463.75	212.56	2251.19
2046	Año 19	2463.75	223.82	2239.93
2047	Año 20	2463.75	235.02	2228.73
2048	Año 21	2463.75	246.16	2217.59
2049	Año 22	2463.75	257.25	2206.50
2050	Año 23	2463.75	268.28	2195.47

<i>Año</i>	<i>Tiempo</i>	<i>Generación anual nominal</i> <i>[kWh]</i>	<i>Pérdidas por desgaste</i> <i>[kWh]</i>	<i>Generación Neta</i> <i>[kWh]</i>
2051	Año 24	2463.75	279.26	2184.49
2052	Año 25	2463.75	290.18	2173.57
2053	Año 26	2463.75	301.05	2162.70
2054	Año 27	2463.75	311.86	2151.89
2055	Año 28	2463.75	322.62	2141.13
2056	Año 29	2463.75	333.33	2130.42
2057	Año 30	2463.75	343.98	2119.77
2058	Año 31	2463.75	354.58	2109.17
2059	Año 32	2463.75	365.12	2098.63
2060	Año 33	2463.75	375.62	2088.13
2061	Año 34	2463.75	386.06	2077.69
2062	Año 35	2463.75	396.45	2067.30
2063	Año 36	2463.75	406.78	2056.97
2064	Año 37	2463.75	417.07	2046.68
2065	Año 38	2463.75	427.30	2036.45
2066	Año 39	2463.75	437.48	2026.27
2067	Año 40	2463.75	447.61	2016.14
2068	Año 41	2463.75	457.69	2006.06
2069	Año 42	2463.75	467.72	1996.03
2070	Año 43	2463.75	477.70	1986.05
2071	Año 44	2463.75	487.64	1976.11
2072	Año 45	2463.75	497.52	1966.23
2073	Año 46	2463.75	507.35	1956.40
2074	Año 47	2463.75	517.13	1946.62
2075	Año 48	2463.75	526.86	1936.89
2076	Año 49	2463.75	536.55	1927.20
2077	Año 50	2463.75	546.18	1917.57

Teniendo en cuenta que la casa tendrá un consumo anual de aproximadamente 2076 kWh/año , el reemplazo de las celdas deberá ocurrir alrededor del año 34 (2061) considerando la degradación de los paneles, lo cual es consecuente con el ciclo de vida de un panel solar normal de 30 años. Sin embargo, se presenta la tabla para 50 años como referencia

3.3.5 *Cálculo otros equipos*

Teniendo en cuenta que el sistema no se compone únicamente de los módulos solares, también se deben considerar otros elementos esenciales como lo son baterías para el almacenamiento, el inversor que convierte la corriente, el controlador de carga que regula el flujo de energía, y todo el cableado, protecciones y estructuras que permiten una instalación segura y eficiente.

Adicionalmente, también es importante tener en cuenta su correcta ubicación dentro del entorno donde será instalado como la ventilación de las baterías, la cercanía entre paneles y el controlador, así como el acceso seguro al inversor, son claves tanto para la eficiencia como para la vida útil del sistema. Por eso, la selección de los equipos no se hace únicamente por sus características técnicas, sino también por cómo se integran y distribuyen de forma práctica en el lugar de instalación.

3.3.5.1 Baterías. para el sistema de almacenamiento se selecciona dos baterías de 12V y capacidad de 150 Ah cada una. Esto se toma teniendo en cuenta el consumo diario estimado de 1540 Wh, la autonomía mínima requerida de un día sin generación solar y una profundidad máxima de descarga del 50%, propia de este tipo de baterías. Con este arreglo se obtiene un total de 300 Ah, superando la capacidad mínima necesaria de aproximadamente 257 Ah, lo que ofrece un margen de seguridad adicional ante posibles variaciones en el consumo o días nublados.

3.3.5.2 Inversor. el sistema no tiene grandes electrodomésticos de alta demanda instantánea, y se estima que la potencia máxima que podrían requerir los equipos funcionando simultáneamente ronda los 300 W. Por ello, se aplicó un margen de seguridad del 30% y se seleccionó un inversor de 400 W, el cual es suficiente para la operación eficiente y estable del

sistema sin necesidad de sobredimensionar ni afectar la autonomía de las baterías por consumo en reposo.

3.3.5.3 Controlador de carga. el controlador de carga solar debe ser capaz de manejar la corriente generada por los paneles, dado que se los paneles son de 450 W en un sistema de 12V, la corriente de entrada es cercana a los 40 A. Considerando un margen de seguridad de 20%, se seleccionó un controlador MPPT de 50 A. Este tipo de controlador es adecuado para optimizar la captación de energía, especialmente cuando las condiciones solares varían durante el día, y además permite trabajar con mayor eficiencia en comparación con los controladores PWM (POWMI, 2025).

3.3.5.4 Cableado. para el cableado en corriente continua, se tomó como base una distancia estimada de 10 metros entre los paneles y el controlador. Teniendo en cuenta que la corriente máxima esperada del sistema es de 50 A, se definió el cable calibre 8 AWG, con el fin de evitar caídas de tensión significativas. Para el tramo en corriente alterna, desde el inversor hasta los puntos de consumo, se seleccionó el mismo cable de 8 AWG ya que resulta adecuado dada la baja demanda de potencia y las cortas distancias de instalación dentro de la vivienda.

3.3.5.5 Otros elementos. el sistema incluye una estructura metálica para soporte de los paneles solares la cual está diseñada para garantizar una inclinación óptima de acuerdo con la latitud del sitio y la resistencia a las condiciones climáticas del entorno. También se contemplan canalizaciones en tubería PVC y cableado adicional para la distribución interna. En cuanto a las

protecciones eléctricas, se incluyen las protecciones tanto en corriente continua como en corriente alterna los cuales cumplen la función de proteger el sistema ante sobrecargas o fallos eléctricos.

3.4 Características sociales

Para determinar el impacto social de la implementación de estas microredes, se deben considerar las diferentes necesidades que tiene cada comunidad involucrada en el proyecto; entendiendo esto como la necesidad de satisfacer, e ir en coherencia, con las creencias de las comunidades indígenas de la zona. Varios estudios han demostrado cómo un diseño participativo de todos los actores involucrados permite una mayor aceptación de los cambios, dado que debe ir acompañado de un marco legal acordado por las comunidades mediante los respectivos estudios antropológicos y sociológicos (ASOPAGUA, 2010).

Una parte importante en la implementación de este tipo de proyectos es el buscar desarrollar la autonomía de las comunidades locales ya que debe beneficiar al mayor número de personas dentro de dicha comunidad; esto se logra mediante el mantenimiento de espacios donde se pueda desarrollar, de manera colectiva, la construcción del producto; en este caso, la microred (Quijano, et al, 2019).

En La Guajira, la implementación de proyectos eléctricos, especialmente relacionado a proyectos renovables, han tenido dificultades debido a varios factores entre los que se encuentran barreras institucionales, legislativas y políticas; principalmente relacionadas al bajo interés gubernamental en esta zona del país. Esto se presenta en la Tabla 16 en la cual se resumen los principales factores que han afectado la llegada de nuevas tecnologías a La Guajira.

Tabla 16. *Barreras para implementación de proyectos solares.*

<i>Ítem</i>	<i>Descripción</i>
Financiero	- El desconocimiento de la población local de los mecanismos de financiación que fomentan el uso de las Fuentes de No Convencionales de Energía Renovable. - La escasez de recursos aportados por el Gobierno de Colombia para innovación y desarrollo de la Energía Solar en el país. - La escasez de recursos del Gobierno de Colombia para ampliar la cobertura de energía eléctrica.
Técnico	- Ausencia de mano obra calificada para el montaje y mantenimiento de equipos de energía solar en departamento de La Guajira. - La ausencia de documentación técnica de referencia, guías y estándares de diseño para el aprovechamiento de la Energía Solar.
Institucional, legislativo y político	- La corrupción de los funcionarios públicos en el departamento de La Guajira. - La escasez de programas educativos locales que fomenten el conocimiento interés por las Fuentes de Energía Renovables. - El desconocimiento de los líderes sociales del departamento de La Guajira sobre el potencial energético de la región a partir de Fuentes No Convencionales de Energía Renovable. - La presencia de grupos armados ilegales en el departamento de La Guajira. - La ausencia de instituciones gubernamentales en el departamento de La Guajira que fomenten el interés por las Fuentes de Energía Renovables. - La poca participación de la comunidad académica con relación a las problemáticas de la población del departamento de La Guajira. - La falta de métricas e indicadores diseñados en función de las necesidades de la población del departamento de La Guajira. - Alta cantidad de actores intervienen durante la ejecución de un proyecto de Fuentes No Convencionales de Energía Renovable, dificultando la interacción con el beneficiario.
Conocimiento	- La falta de conciencia ambiental frente al fenómeno del calentamiento Global por parte de la población del departamento La Guajira. - Los escasos de conciencia ambiental de la población de La Guajira frente al agotamiento de los combustibles fósiles. - El rechazo y los preceptos culturales de la comunidad indígena local (pueblo Wayuu). - Las limitaciones de acceso a la educación superior de la comunidad indígena (pueblo Wayuu). - La centralización del conocimiento sobre Fuentes No Convencionales de Energía Renovable en empresas privadas y actores del gobierno colombiano. - El pueblo Wayuu no percibe la generación de eléctrica por fuentes no convencionales como benéfica y positiva para la comunidad. - Desconocimiento histórico y antropológico del pueblo Wayuu.
Mercado	- Los costos de implementación de las Fuentes No Convencionales de Energía Renovable comparado con los combustibles fósiles para Colombia. - Desinterés por parte de la comunidad Wayuu para recibir beneficios externos. - La dependencia económica del departamento de La Guajira de explotación de recursos fósiles para su desarrollo.

Tomado de (Piñeres, 2020)

3.4.1 Panorama educativo

Adicionalmente, el municipio enfrenta desafíos significativos en el ámbito educativo, reflejando las complejas condiciones en La Guajira ya que, según datos del Departamento

Nacional de Planeación, entre 2019 y 2022, la cobertura en primaria es de 83.7% en comparación con el 87.4% a nivel nacional. Así mismo, la cobertura en secundaria está en 55.7%, muy por debajo del 78% a nivel nacional. Así mismo, entre los datos de deserción se tienen valores de 5% en comparación con el 4.4% nacional (Fundación Empresarios por la Educación, 2023).

También se debe considerar que la brecha digital representa un obstáculo considerable debido a que la mayoría de la población carece de conectividad adecuada, lo que limita el acceso a recursos educativos digitales y afecta la calidad del aprendizaje (Robles, et al, 2019). Estos factores educativos tienen un impacto directo en la implementación y sostenibilidad de proyectos tecnológicos debido a la limitada formación técnica, así como la falta de acceso a información, y dificultan la apropiación y el mantenimiento de estos proyectos por parte de la comunidad.

3.4.2 Organizaciones comunitarias

El corregimiento de El Hatico, ubicada en el municipio de Fonseca, La Guajira, presenta organizaciones comunitarias que desempeñan un papel fundamental en la cohesión social y el desarrollo local. De las 32 diferentes tipos de asociaciones que se encuentran inscritas en departamento, el municipio cuenta con la Asociación de Desplazados Unidos por el Progreso de Fonseca, que trabaja en pro de la integración y el bienestar de las familias desplazadas en la región (Gobernación de La Guajira, s.f.).

También se cuenta con Juntas de Acción Comunal (JAC) que son actores clave en la organización social de las veredas de Fonseca. Su participación en proyectos de desarrollo es esencial para garantizar la sostenibilidad y apropiación de proyectos que trabajan en pro de la mejora de la calidad de vida de las personas en la vereda.

Realizando un adecuado acercamiento a las comunidades, y con el apoyo de las JAC, habrá seguridad de que los proyectos que se ejecuten tengan alta aceptación y sostenibilidad, así como podrá contribuir al empoderamiento de la comunidad y al fortalecimiento de su capital social.

3.4.3 *Pueblo Wayuu*

Para el pueblo Wayuu, el territorio no es simplemente un espacio físico, sino un componente esencial de su identidad cultural y espiritual. Su cosmovisión concibe el territorio como un espacio sagrado donde convergen lo terrenal y lo divino, siendo el escenario de los acontecimientos más significativos de la vida, desde el nacimiento hasta la muerte. Esta perspectiva se refleja en su organización social, basada en clanes matrilineales, cada uno con su propio territorio y animal totémico, lo que refuerza el vínculo ancestral con la tierra (Procuraduría General de la Nación, s.f.).

La espiritualidad Wayuu está profundamente entrelazada con el entorno natural. Creen que los espíritus se comunican con los vivos a través de sueños y que lugares como Jepirá, el Cabo de la Vela, son sagrados, siendo el destino final de las almas después de la muerte. Esta conexión espiritual con el territorio implica que cualquier intervención en su entorno debe ser cuidadosamente considerada y respetuosa de sus creencias y prácticas ancestrales (Procuraduría General de la Nación, s.f.).

La implementación de proyectos energéticos en La Guajira ha generado tensiones con las comunidades Wayuu. La falta de consultas previas adecuadas y la percepción de que estos proyectos amenazan su espiritualidad y tierras sagradas han llevado a resistencias y conflictos. Por lo tanto, es fundamental que cualquier iniciativa en la región se desarrolle en estrecha colaboración con las comunidades, respetando su cosmovisión y asegurando su participación en todas las etapas del proyecto (Grattan, 2025).

3.4.4 *Percepción sobre el servicio eléctrico*

La percepción de la comunidad respecto al servicio eléctrico en el municipio de Fonseca es de una gran insatisfacción debido a la baja calidad y confiabilidad del suministro. Según una encuesta realizada por la Cámara de Comercio de La Guajira, el 46% de los empresarios encuestados perciben un aumento en las interrupciones del servicio de energía, mientras que el 45% se declara insatisfecho y el 49% poco satisfecho con el servicio eléctrico (Mejía, 2024).

La cobertura eléctrica en el departamento es limitada, con un 58,81% de cobertura general donde cerca de 81.960 viviendas se encuentran sin servicio, lo que indica una significativa exclusión energética en áreas rurales y comunidades indígenas. Esta situación se ve agravada por la falta de respuesta oportuna a las quejas de los usuarios, ya que el 48% de los empresarios indicó que no reciben respuesta a sus reclamaciones, mientras que el 45,3% señaló que son muy demorados en atenderlas (Baquedano, 2022).

Además, la percepción de las comunidades indígenas, como los Wayuu, destaca preocupaciones respecto al uso de la electricidad, las medidas de ahorro y el costo del servicio, lo que refleja una desconfianza hacia el sistema actual. Estas condiciones han llevado a que la comunidad vea con escepticismo las soluciones energéticas propuestas, especialmente cuando no se consideran sus necesidades y contextos culturales específicos (Grattan, 2025).

3.5 Características económicas

Para la caracterización económica del proyecto se debe tener en cuenta no solo las condiciones de mercado de energía en bolsa para Colombia sino también la normatividad aplicable. Otro punto importante para tener en cuenta son las tasas de cambio, en caso de haber inversión en dólar puesto que éste podría favorecer, o impactar negativamente, el desarrollo del proyecto.

A continuación, se presentará el desarrollo económico del proyecto para la determinación de su viabilidad económica:

3.5.1 Costo de Capital (CAPEX)

El CAPEX, o Capital Expenditures en inglés, es la inversión que se debe hacer inicialmente en el proyecto con el fin de generar beneficios. Para el desarrollo del proyecto, la empresa debe realizar un desembolso económico para adquirir los activos necesarios, ya sea maquinaria, terrenos, equipos, etc. (Abellán, 2025).

Adicionalmente, el CAPEX incluye también los costos asociados a la instalación, puesta en marcha y adecuaciones necesarias para la operación del proyecto. Siendo así un factor clave en la planificación financiera del proyecto, ya que impacta en la rentabilidad y el tiempo de recuperación de la inversión.

3.5.1.1 Costos materiales. el costo de materiales representa el gasto asociado a la adquisición de insumos necesarios para la construcción y operación del proyecto. En este ítem se incluye los elementos como: las estructuras, conductores eléctricos, dispositivos de conversión de energía y demás componentes esenciales. Este costo varía según la calidad, disponibilidad en el mercado y la cantidad requerida, influyendo directamente en el presupuesto total y la viabilidad económica del proyecto.

Para este proyecto, se presenta en la Tabla 17 los elementos necesarios, así como su costo para la implementación de la solución. Adicionalmente, en la Tabla 18 se presenta el desagregado de cada uno de los ítems que componen realizar el montaje del sistema.

Tabla 17. *Costo de materiales de implementación de panel solar.*

<i>Material / Componente</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Costo Unitario [COP]</i>	<i>Costo Total [COP]</i>
Panel solar de 450 W	4 UND	\$ 1,200,000.00	\$ 4,800,000.00
Estructura de soporte (poste metálico de 2.5" galvanizado)	1 UND	\$ 550,000.00	\$ 550,000.00
Base de concreto (para anclar el poste)	1 UND	\$ 250,000.00	\$ 250,000.00
Controlador de carga MPPT 40A	1 UND	\$ 450,000.00	\$ 450,000.00
Batería de gel 12V 150Ah	2 UND	\$ 2,000,000.00	\$ 4,000,000.00
Inversor de 400W 12V a 120V AC	1 UND	\$ 800,000.00	\$ 800,000.00
Cable solar 8 AWG (DC, rojo y negro, 10 m)	10 m	\$ 12,000.00	\$ 120,000.00
Cableado AC 8 AWG (instalación interna, 10 m)	10 m	\$ 10,000.00	\$ 100,000.00
Breaker DC 40A	1 UND	\$ 40,000.00	\$ 40,000.00
Breaker AC 10A	1 UND	\$ 30,000.00	\$ 30,000.00
Tubería PVC para canalización (5 m)	5 m	\$ 15,000.00	\$ 75,000.00
Tornillería y fijaciones	1 glb	\$ 50,000.00	\$ 50,000.00
Mano de obra (instalación y configuración)	1 glb	\$ 800,000.00	\$ 800,000.00
<i>Total</i>			<i>\$ 12,065,000.00</i>

Tabla 18. Desagregado del costo de materiales de implementación de panel solar.

<i>Descripción</i>	<i>Valor Total Unitario</i>	<i>Materiales [Tabla 17]</i>	<i>Montaje</i>	<i>Obra civil</i>	<i>Ingeniería</i>	<i>Interventoría</i>	<i>Administración ejecución</i>	<i>Inspección</i>	<i>Costos financieros</i>	<i>IVA AI</i>
Panel solar	\$ 8,280.00	\$ 4,800.00	\$ 720.00	\$ 480.00	\$432.00	\$168.00	\$240.00	\$144.00	\$384.00	\$ 912.00
Estructura	\$ 948.75	\$ 550.00	\$ 82.50	\$ 55.00	\$ 49.50	\$ 19.25	\$ 27.50	\$ 16.50	\$ 44.00	\$ 104.50
Base de concreto	\$ 431.25	\$ 250.00	\$ 37.50	\$ 25.00	\$ 22.50	\$ 8.75	\$ 12.50	\$ 7.50	\$ 20.00	\$ 47.50
Controlador MPPT 40A	\$ 776.25	\$ 450.00	\$ 67.50	\$ 45.00	\$ 40.50	\$ 15.75	\$ 22.50	\$ 13.50	\$ 36.00	\$ 85.50
Batería	\$ 6,900.00	\$ 4,000.00	\$ 600.00	\$ 400.00	\$360.00	\$140.00	\$200.00	\$120.00	\$320.00	\$ 760.00
Inversor	\$ 1,380.00	\$ 800.00	\$ 120.00	\$ 80.00	\$ 72.00	\$ 28.00	\$ 40.00	\$ 24.00	\$ 64.00	\$ 152.00
Cable solar	\$ 207.00	\$ 120.00	\$ 18.00	\$ 12.00	\$ 10.80	\$ 4.20	\$ 6.00	\$ 3.60	\$ 9.60	\$ 22.80
Cableado AC	\$ 172.50	\$ 100.00	\$ 15.00	\$ 10.00	\$ 9.00	\$ 3.50	\$ 5.00	\$ 3.00	\$ 8.00	\$ 19.00
Breaker DC 40A	\$ 69.00	\$ 40.00	\$ 6.00	\$ 4.00	\$ 3.60	\$ 1.40	\$ 2.00	\$ 1.20	\$ 3.20	\$ 7.60
Breaker AC 10A	\$ 51.75	\$ 30.00	\$ 4.50	\$ 3.00	\$ 2.70	\$ 1.05	\$ 1.50	\$ 0.90	\$ 2.40	\$ 5.70
Tubería PVC	\$ 129.38	\$ 75.00	\$ 11.25	\$ 7.50	\$ 6.75	\$ 2.63	\$ 3.75	\$ 2.25	\$ 6.00	\$ 14.25
Tornillería y fijaciones	\$ 86.25	\$ 50.00	\$ 7.50	\$ 5.00	\$ 4.50	\$ 1.75	\$ 2.50	\$ 1.50	\$ 4.00	\$ 9.50
Mano de obra	\$ 1,380.00	\$ 800.00	\$ 120.00	\$ 80.00	\$ 72.00	\$ 28.00	\$ 40.00	\$ 24.00	\$ 64.00	\$ 152.00
<i>Total</i>	<i>\$ 20,812.13</i>	<i>\$ 12,065.00</i>	<i>\$ 1,809.75</i>	<i>\$ 1,206.50</i>	<i>\$1,085.85</i>	<i>\$ 422.28</i>	<i>\$ 603.25</i>	<i>\$ 361.95</i>	<i>\$ 965.20</i>	<i>\$ 2,292.35</i>

Los valores mostrados en esta tabla están basados en el criterio de un experto. Valores dados en Miles de Pesos

3.5.2 *Gastos Operativos (OPEX)*

Los gastos operativos, en inglés Operating Expenditure, representa los costos operativos y de mantenimiento que están asociados con el funcionamiento del proyecto. Estos gastos incluyen, generalmente; la mano de obra, el mantenimiento preventivo y correctivo, la reposición de componentes, los seguros y otros costos recurrentes necesarios para mantener la infraestructura en óptimas condiciones. Se debe tener en cuenta que el OPEX es un gasto que se distribuye a lo largo de la vida útil del proyecto y puede influir en su rentabilidad y sostenibilidad económica (DRIPC, 2022).

En el caso de proyectos renovables, los costos de OPEX oscilan entre el 1% y el 3% del CAPEX anual, lo cual suele representar un porcentaje menor en comparación con otras fuentes de energía. Sin embargo, factores como la limpieza periódica de los paneles, el monitoreo del rendimiento y la reposición de equipos pueden generar costos recurrentes (IRENA, 2024).

3.5.2.1 Mantenimiento. este punto abarca las actividades necesarias para garantizar el funcionamiento y la durabilidad del sistema a lo largo del tiempo. Este incluye inspecciones periódicas, limpieza, reemplazo de componentes desgastados y posibles reparaciones. La frecuencia y el costo del mantenimiento dependen del tipo de tecnología utilizada, las condiciones ambientales y la calidad de los materiales, influyendo en la rentabilidad y eficiencia operativa del proyecto, por lo tanto, se toman unas recomendaciones bases para ello en la Tabla 19.

Tabla 19. *Periodos de mantenimiento de los equipos.*

<i>Componente</i>	<i>Frecuencia recomendada</i>	<i>Tareas de mantenimiento</i>
Paneles solares	Cada 3 meses	- Limpieza con agua y paño suave (evitar productos químicos).
		- Revisión de posibles sombras o acumulación de polvo.
		- Inspección de daños físicos o corrosión en las conexiones.
Estructura de soporte	Cada 6 meses	- Revisión de tornillos y fijaciones.
		- Inspección de corrosión en partes metálicas.
		- Asegurar que el poste no haya cedido por efectos del suelo.
Baterías	Cada 3 meses	- Verificación del nivel de carga y descarga.
		- Inspección de terminales para evitar sulfatación.
		- Si son baterías de plomo-ácido, revisar niveles de electrolito.
Inversor	Cada 6 meses	- Limpieza de ventilaciones para evitar sobrecalentamiento.
		- Revisión de conexiones eléctricas y estado del cableado.
		- Comprobación de funcionamiento normal y alarmas.
Controlador de carga	Cada 6 meses	- Verificar estado de los cables de conexión.
		- Comprobar que la carga de las baterías se realiza correctamente.
		- Inspección de indicadores de error o fallas.
Cableado y conexiones	Cada 6 meses	- Revisión de terminales sueltas o con corrosión.
		- Asegurar que no haya daños en el aislamiento por roedores o exposición solar.
Breakers y protecciones	Cada 12 meses	- Comprobar que los breakers actúan correctamente en caso de sobrecarga.
		- Revisión del sistema de puesta a tierra.

Para los costos asociados al mantenimiento de cada uno de los componentes de la Tabla 19, se realizaron varias consultas a expertos en el tema con quienes se determinó el costo de mantenimiento de cada uno de los equipos. En la Tabla 20 se presenta el valor aproximado para el mantenimiento el equipo.

Tabla 20. *Costo mantenimiento de los equipos.*

<i>Detalle</i>	<i>Costo unitario</i>
Paneles solares	\$ 80,000.00
Estructura de soporte	\$ 50,000.00
Baterías	\$ 70,000.00
Inversor	\$ 80,000.00
Controlador de carga	\$ 50,000.00

<i>Detalle</i>	<i>Costo unitario</i>
Cableado y conexiones	\$ 60,000.00
Breakers y protecciones	\$ 50,000.00

Con lo anterior, se puede determinar el costo anual de mantenimiento por la proyección de años, este análisis se presenta en la Tabla 21.

Tabla 21. *Costo mantenimiento de los equipos anualizado.*

<i>Año</i>	<i>Tiempo</i>	<i>Panel solar</i>	<i>Estructura de soporte</i>	<i>Controlador de carga</i>	<i>Batería</i>	<i>Inversor</i>	<i>Cable y Conexiones</i>	<i>Breakers</i>	<i>TOTAL</i>
2027	Año 0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
2028	Año 1	\$ 320	\$ 100	\$ 100	\$ 280	\$ 160	\$ 120	\$ 50	\$ 1,130
2029	Año 2	\$ 320	\$ 100	\$ 100	\$ 280	\$ 160	\$ 120	\$ 50	\$ 1,130
2030	Año 3	\$ 320	\$ 100	\$ 100	\$ 280	\$ 160	\$ 120	\$ 50	\$ 1,130
2031	Año 4	\$ 320	\$ 100	\$ 100	\$ 280	\$ 160	\$ 120	\$ 50	\$ 1,130
2032	Año 5	\$ 320	\$ 100	\$ 100	\$ 280	\$ 160	\$ 120	\$ 50	\$ 1,130
2033	Año 6	\$ 320	\$ 100	\$ 100	\$ 280	\$ 160	\$ 120	\$ 50	\$ 1,130
2034	Año 7	\$ 320	\$ 100	\$ 100	\$ 280	\$ 160	\$ 120	\$ 50	\$ 1,130
2035	Año 8	\$ 320	\$ 100	\$ 100	\$ 280	\$ 160	\$ 120	\$ 50	\$ 1,130
2036	Año 9	\$ 320	\$ 100	\$ 100	\$ 280	\$ 160	\$ 120	\$ 50	\$ 1,130
2037	Año 10	\$ 320	\$ 100	\$ 100	\$ 280	\$ 160	\$ 120	\$ 50	\$ 1,130
2038	Año 11	\$ 320	\$ 100	\$ 100	\$ 280	\$ 160	\$ 120	\$ 50	\$ 1,130
2039	Año 12	\$ 320	\$ 100	\$ 100	\$ 280	\$ 160	\$ 120	\$ 50	\$ 1,130
2040	Año 13	\$ 320	\$ 100	\$ 100	\$ 280	\$ 160	\$ 120	\$ 50	\$ 1,130
2041	Año 14	\$ 320	\$ 100	\$ 100	\$ 280	\$ 160	\$ 120	\$ 50	\$ 1,130
2042	Año 15	\$ 320	\$ 100	\$ 100	\$ 280	\$ 160	\$ 120	\$ 50	\$ 1,130
2043	Año 16	\$ 320	\$ 100	\$ 100	\$ 280	\$ 160	\$ 120	\$ 50	\$ 1,130
2044	Año 17	\$ 400	\$ 150	\$ 150	\$ 350	\$ 240	\$ 180	\$ 50	\$ 1,520
2045	Año 18	\$ 320	\$ 100	\$ 100	\$ 280	\$ 160	\$ 120	\$ 50	\$ 1,130
2046	Año 19	\$ 320	\$ 100	\$ 100	\$ 280	\$ 160	\$ 120	\$ 50	\$ 1,130
2047	Año 20	\$ 320	\$ 100	\$ 100	\$ 280	\$ 160	\$ 120	\$ 50	\$ 1,130
2048	Año 21	\$ 320	\$ 100	\$ 100	\$ 280	\$ 160	\$ 120	\$ 50	\$ 1,130
2049	Año 22	\$ 320	\$ 100	\$ 100	\$ 280	\$ 160	\$ 120	\$ 50	\$ 1,130
2050	Año 23	\$ 320	\$ 100	\$ 100	\$ 280	\$ 160	\$ 120	\$ 50	\$ 1,130
2051	Año 24	\$ 320	\$ 100	\$ 100	\$ 280	\$ 160	\$ 120	\$ 50	\$ 1,130

<i>Año</i>	<i>Tiempo</i>	<i>Panel solar</i>	<i>Estructura de soporte</i>	<i>Controlador de carga</i>	<i>Batería</i>	<i>Inversor</i>	<i>Cable y Conexiones</i>	<i>Breakers</i>	<i>TOTAL</i>
2052	Año 25	\$ 320	\$ 100	\$ 100	\$ 280	\$ 160	\$ 120	\$ 50	\$ 1,130
2053	Año 26	\$ 320	\$ 100	\$ 100	\$ 280	\$ 160	\$ 120	\$ 50	\$ 1,130
2054	Año 27	\$ 320	\$ 100	\$ 100	\$ 280	\$ 160	\$ 120	\$ 50	\$ 1,130
2055	Año 28	\$ 320	\$ 100	\$ 100	\$ 280	\$ 160	\$ 120	\$ 50	\$ 1,130
2056	Año 29	\$ 320	\$ 100	\$ 100	\$ 280	\$ 160	\$ 120	\$ 50	\$ 1,130
2057	Año 30	\$ 320	\$ 100	\$ 100	\$ 280	\$ 160	\$ 120	\$ 50	\$ 1,130
2058	Año 31	\$ 320	\$ 100	\$ 100	\$ 280	\$ 160	\$ 120	\$ 50	\$ 1,130
2059	Año 32	\$ 320	\$ 100	\$ 100	\$ 280	\$ 160	\$ 120	\$ 50	\$ 1,130
2060	Año 33	\$ 320	\$ 100	\$ 100	\$ 280	\$ 160	\$ 120	\$ 50	\$ 1,130
2061	Año 34	\$ 400	\$ 100	\$ 100	\$ 350	\$ 160	\$ 120	\$ 50	\$ 1,280
2062	Año 35	\$ 320	\$ 100	\$ 100	\$ 280	\$ 160	\$ 120	\$ 50	\$ 1,130
2063	Año 36	\$ 320	\$ 100	\$ 100	\$ 280	\$ 160	\$ 120	\$ 50	\$ 1,130
2064	Año 37	\$ 320	\$ 100	\$ 100	\$ 280	\$ 160	\$ 120	\$ 50	\$ 1,130
2065	Año 38	\$ 320	\$ 100	\$ 100	\$ 280	\$ 160	\$ 120	\$ 50	\$ 1,130
2066	Año 39	\$ 320	\$ 100	\$ 100	\$ 280	\$ 160	\$ 120	\$ 50	\$ 1,130
2067	Año 40	\$ 320	\$ 100	\$ 100	\$ 280	\$ 160	\$ 120	\$ 50	\$ 1,130
2068	Año 41	\$ 320	\$ 100	\$ 100	\$ 280	\$ 160	\$ 120	\$ 50	\$ 1,130
2069	Año 42	\$ 320	\$ 100	\$ 100	\$ 280	\$ 160	\$ 120	\$ 50	\$ 1,130
2070	Año 43	\$ 320	\$ 100	\$ 100	\$ 280	\$ 160	\$ 120	\$ 50	\$ 1,130
2071	Año 44	\$ 320	\$ 100	\$ 100	\$ 280	\$ 160	\$ 120	\$ 50	\$ 1,130
2072	Año 45	\$ 320	\$ 100	\$ 100	\$ 280	\$ 160	\$ 120	\$ 50	\$ 1,130
2073	Año 46	\$ 320	\$ 100	\$ 100	\$ 280	\$ 160	\$ 120	\$ 50	\$ 1,130
2074	Año 47	\$ 320	\$ 100	\$ 100	\$ 280	\$ 160	\$ 120	\$ 50	\$ 1,130
2075	Año 48	\$ 320	\$ 100	\$ 100	\$ 280	\$ 160	\$ 120	\$ 50	\$ 1,130
2076	Año 49	\$ 320	\$ 100	\$ 100	\$ 280	\$ 160	\$ 120	\$ 50	\$ 1,130
2077	Año 50	\$ 320	\$ 100	\$ 100	\$ 280	\$ 160	\$ 120	\$ 50	\$ 1,130

Nota: Valores dados en miles de pesos. Aun cuando el análisis se realiza a 30 años, debido a que en el año 31 se hace reemplazo de las celdas fotovoltaicas. Se deja la información hasta el año 50 por referencia al lector.

3.5.2.2 Vida útil. la vida útil de los equipos varía según la tecnología, los materiales

empleados y las condiciones de operación. En general, los paneles solares fotovoltaicos pueden durar entre 25 y 30 años, mientras que los sistemas de concentración solar y baterías tienen una vida útil menor, dependiendo del mantenimiento y la calidad del almacenamiento térmico o

eléctrico. Los datos mostrados en la Tabla 22 representa una vida útil acorde con lo encontrado por expertos junto con el costo de reemplazo de cada ítem.

Tabla 22. *Vida útil de los equipos.*

<i>Descripción unidad Constructiva</i>	<i>Vida útil [años]</i>	<i>Valor Unitario [COP]</i>
Panel solar de 450 W	30	\$ 6,912,000.00
Estructura de soporte	45	\$ 792,000.00
Controlador de carga MPPT 40A	15	\$ 648,000.00
Batería de gel 12V 150Ah	10	\$ 5,760,000.00
Inversor de 400W 12V a 120V AC	15	\$ 1,152,000.00
Cable solar 8 AWG (DC, rojo y negro, 10 m)	45	\$ 172,800.00
Cableado AC 8 AWG (instalación interna, 10 m)	45	\$ 144,000.00
Breaker DC 40A	35	\$ 57,600.00
Breaker AC 10A	35	\$ 43,200.00

Considerando los tiempos anteriores, y dado el rango de 50 años de proyección, tenemos que las inversiones para cambio de equipo serán las indicadas en la Tabla 23, esto nos da un panorama claro para determinar la viabilidad del proyecto.

Tabla 23. *Costo total reemplazo de equipos por año.*

<i>Año</i>	<i>Tiempo</i>	<i>Costo Total Reemplazo</i>
2027	Año 0	\$ -
2028	Año 1	\$ -
2029	Año 2	\$ -
2030	Año 3	\$ -
2031	Año 4	\$ -
2032	Año 5	\$ -
2033	Año 6	\$ -
2034	Año 7	\$ -
2035	Año 8	\$ -
2036	Año 9	\$ -
2037	Año 10	\$ 5,760,000.00
2038	Año 11	\$ -
2039	Año 12	\$ -
2040	Año 13	\$ -
2041	Año 14	\$ -

<i>Año</i>	<i>Tiempo</i>	<i>Costo Total Reemplazo</i>
2042	Año 15	\$ 1,800,000.00
2043	Año 16	\$ -
2044	Año 17	\$ -
2045	Año 18	\$ -
2046	Año 19	\$ -
2047	Año 20	\$ 5,760,000.00
2048	Año 21	\$ -
2049	Año 22	\$ -
2050	Año 23	\$ -
2051	Año 24	\$ -
2052	Año 25	\$ -
2053	Año 26	\$ -
2054	Año 27	\$ -
2055	Año 28	\$ -
2056	Año 29	\$ -
2057	Año 30	\$ 14,472,000.00
2058	Año 31	\$ -
2059	Año 32	\$ -
2060	Año 33	\$ -
2061	Año 34	\$ -
2062	Año 35	\$ 100,800.00
2063	Año 36	\$ -
2064	Año 37	\$ -
2065	Año 38	\$ -
2066	Año 39	\$ -
2067	Año 40	\$ 5,760,000.00
2068	Año 41	\$ -
2069	Año 42	\$ -
2070	Año 43	\$ -
2071	Año 44	\$ -
2072	Año 45	\$ 2,908,800.00
2073	Año 46	\$ -
2074	Año 47	\$ -
2075	Año 48	\$ -
2076	Año 49	\$ -
2077	Año 50	\$ 5,760,000.00

Nota: aunque el horizonte de análisis sea de 30 años, se deja la información de 50 años para información.

En la Tabla 24 se presenta, de manera discriminada los valores de cada equipo a reemplazar

Tabla 24. *Desagregado de reemplazos por equipos por año.*

[illegible]

<i>Año</i>	<i>Tiempo</i>	<i>Panel solar de 450 W</i>	<i>Estructura de soporte</i>	<i>Controlador de carga</i>	<i>Batería de gel</i>	<i>Inversor</i>	<i>Cable solar</i>	<i>Cableado AC</i>	<i>Breaker DC 40A</i>	<i>Breaker AC 10A</i>
2054	Año 27									
2055	Año 28									
2056	Año 29									
2057	Año 30	\$6,912,000.00		\$648,000.00	\$5,760,000.00	\$1,152,000.00				
2058	Año 31									
2059	Año 32									
2060	Año 33									
2061	Año 34									
2062	Año 35								\$57,600.00	\$43,200.00
2063	Año 36									
2064	Año 37									
2065	Año 38									
2066	Año 39									
2067	Año 40				\$5,760,000.00					
2068	Año 41									
2069	Año 42									
2070	Año 43									
2071	Año 44									
2072	Año 45		\$792,000.00	\$648,000.00		\$1,152,000.00	\$172,800.00	\$144,000.00		
2073	Año 46									
2074	Año 47									
2075	Año 48									
2076	Año 49									
2077	Año 50				\$5,760,000.00					

Nota: aunque el horizonte de análisis sea de 30 años, se deja la información de 50 años para información.

3.5.2.3 Beneficios tributarios. actualmente el país cuenta con varios decretos que permite obtener beneficios cuando se realizan proyectos de energías renovables. Entre estos decretos se enmarcan los mostrados a continuación:

- *Ley 1715 de 2014:* regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional, estableciendo incentivos y mecanismos para su desarrollo.
- *Decreto 2143 de 2015:* adiciona al Decreto 1073 de 2015, reglamentando aspectos relacionados con las fuentes no convencionales de energía y eficiencia energética.
- *Decreto 2469 de 2014:* establece lineamientos de política energética en materia de entrega de excedentes de autogeneración, promoviendo la eficiencia y el uso de energías renovables.
- *Decreto 348 de 2017:* adiciona el Decreto 1073 de 2015, estableciendo lineamientos de política pública en materia de gestión eficiente de la energía y entrega de excedentes de autogeneración a pequeña escala.
- *Ley 2099 de 2021:* dicta disposiciones para la transición energética, dinamizando el mercado energético y promoviendo la reactivación económica del país, con énfasis en energías renovables y eficiencia energética.
- *Decreto 1403 de 2024:* modifica el Decreto 1073 de 2015, actualizando lineamientos de política energética en materia de autogeneración y producción marginal sin excedentes a la red, facilitando la implementación de proyectos de energías renovables.

Cada una de estas normas indica el beneficio que se tiene como lo es, por ejemplo, permitir realizar una depreciación fiscal acelerada hasta de 20% (Ministerio de Minas y Energía, 2015), o aquellas entidades obligadas a declarar renta, pueden reducir anualmente, por los siguientes 5 años

al año en el cual se hizo la inversión, hasta un 50% del valor total de la inversión realizada (Congreso de Colombia, 2014).

Teniendo en cuenta el Artículo 10 de la Ley 2277 del 2022, la cual modifica el artículo 240 del Estatuto Tributario, indica que la tarifa general de impuesto sobre la renta, para el año 2025, será de 35% para las personas jurídicas (Congreso de Colombia, 2022). Con este dato podemos generar los beneficios tributarios como lo indica la Tabla 25

Tabla 25. *Beneficios tributarios por inversión.*

<i>Año</i>	<i>Deducción del 50% de la inversión (COP)</i>	<i>Depreciación acelerada (COP)</i>	<i>Total ahorro por estímulo tributario (COP)</i>
1	\$ 3,642,122	\$ 1,456,849	\$ 5,098,971
2		\$ 1,456,849	\$ 1,456,849
3		\$ 1,456,849	\$ 1,456,849
4		\$ 1,456,849	\$ 1,456,849
5		\$ 1,456,849	\$ 1,456,849
		<i>Total</i>	\$ 10,926,366

3.5.2.4 Cálculo OPEX. con los datos obtenidos de los numerales anteriores, se puede obtener el OPEX por cada kWh producido por el panel solar. Se estima el valor de la inversión que se va a amortizar durante el ciclo de vida del proyecto. Para este caso, se presentan los valores en la Tabla 21.

Tabla 26. *Estimaciones de amortización del proyecto.*

<i>#</i>	<i>Variable</i>	<i>Valor</i>	<i>Fuente</i>
1	Total de la inversión del proyecto	\$20,812,125.00	Tabla 18
2	Deducciones por estímulos y beneficios tributarios.	\$10,926,365.63	Tabla 25
3	Total del valor a amortizar en el análisis a 30 años	\$ 9,885,759.38	(1) - (2)
4	Total de producción de energía para 30 años	70,915.46 kWh	Tabla 15
5	<i>Total de amortización de la inversión</i>	\$ 139.40	(3) / (4)

Teniendo en cuenta los valores anteriores, lo siguiente a realizar es la inclusión de los costos de operación y mantenimiento definidos en la Tabla 20, Tabla 21 y Tabla 23, donde se tienen los valores mensuales de mantenimiento del equipo, así como los costos de reemplazo de aquellos que finalizaron su vida útil. En la Tabla 27 se presentan estos gastos para un análisis a 30 años.

Tabla 27. *Estimación costos de operación y mantenimiento.*

#	Variable	Valor	Fuente
1	Valor de Operación y Mantenimiento.	\$42,760,000.00	Tabla 21
2	Costo de reemplazar los equipos.	\$27,792,000.00	Tabla 23
3	Total de producción de energía para 30 años	70,915.46	Tabla 15
4	Total del costo de energía por OM	\$ 994.87	[(1) + (2)]/(3)

3.5.3 Costo de la energía

Para determinar el costo de la energía entregada al usuario, se tiene en cuenta los valores finales obtenidos en la Tabla 26 y Tabla 27. A este valor se le incluirá un 20% por temas administrativos para, de esta manera, identificar el costo del kWh que debe pagar el usuario al inversionista del proyecto. Estos costos se presentan en la Tabla 28.

Tabla 28. *Costo total kWh para el usuario final.*

#	Variable	Valor	Fuente
1	Total de amortización de la inversión	\$ 139.40	Tabla 26
2	Total del costo de energía por OM	\$ 994.87	Tabla 27
3	Subtotal	\$1,134.28	(1) + (2)
4	Adicional por administración del 20%	\$ 226.86	(3) · 20%
5	Total del costo de energía por OM	\$1,361.13	(3) + (4)

Hay que tener en cuenta que en Colombia, el sistema de subsidios para el servicio de energía eléctrica está diseñado para aliviar la carga económica de los hogares de menores ingresos,

especialmente en los estratos 1, 2 y 3. Estos subsidios están establecidos en la Ley 1117 de 2006 (Congreso de Colombia, 2006) y se aplican al consumo básico o de subsistencia de 130 kWh por municipios por encima de los 1000 m.s.n.m. y 173 kWh para aquellos por debajo de los 1000 m.s.n.m. como se indica en la Tabla 13, definido como la cantidad mínima de electricidad utilizada en un mes por un usuario típico para satisfacer necesidades básicas (Ministerio de Minas y Energía, 2021).

El porcentaje de subsidio varía según el estrato socioeconómico del usuario como se muestra en la Tabla 29 (Electrificadora de Santander S.A., s.f.).

Tabla 29. *Porcentaje de subsidios de energía.*

<i>Estrato</i>	<i>Porcentaje</i>	<i>Costo kWh</i>
Estrato 1	Hasta 60%	\$544.45
Estrato 2	Hasta 50%	\$680.57
Estrato 3	Hasta 15%	\$1,156.96

Es importante destacar que el subsidio se aplica únicamente al consumo de subsistencia. Si un hogar consume más allá de este límite, el excedente se factura a la tarifa plena correspondiente a su estrato. Adicionalmente, los hogares de estratos 5 y 6, así como los usuarios comerciales e industriales, no reciben subsidios y, en algunos casos, contribuyen con un porcentaje adicional para financiar estos beneficios (Electrificadora de Santander S.A., s.f.).

Sin embargo, hay que tener en cuenta que, aún si el usuario paga la tarifa subsidiada, el proyecto deberá recibir el pago mostrado en la Tabla 28 ya sea mediante el porcentaje adicional que pagan los estratos 5 y 6 así como los clientes comerciales e industriales, o mediante pagos realizados por el gobierno a la entidad que haya realizado la construcción.

Dado lo anterior, y con este resultado de la Tabla 28, se puede calcular cuánto estaría pagando cada persona, anualmente, con lo generado por el panel solar. Teniendo en cuenta los datos de generación de la Tabla 15, se presenta la Tabla 30 con la cantidad pagada.

Tabla 30. *Pago por kWh anual generado por el sistema solar.*

<i>Año</i>	<i>Tiempo</i>	<i>Generación Neta [kWh]</i>	<i>Costo kWh</i>	<i>Pago kWh</i>
2027	Año 0	2463.75	\$1,361.13	\$3,353,489.24
2028	Año 1	2451.43	\$1,361.13	\$3,336,721.80
2029	Año 2	2439.17	\$1,361.13	\$3,320,038.19
2030	Año 3	2426.98	\$1,361.13	\$3,303,438.00
2031	Año 4	2414.84	\$1,361.13	\$3,286,920.81
2032	Año 5	2402.77	\$1,361.13	\$3,270,486.20
2033	Año 6	2390.76	\$1,361.13	\$3,254,133.77
2034	Año 7	2378.80	\$1,361.13	\$3,237,863.10
2035	Año 8	2366.91	\$1,361.13	\$3,221,673.79
2036	Año 9	2355.07	\$1,361.13	\$3,205,565.42
2037	Año 10	2343.30	\$1,361.13	\$3,189,537.59
2038	Año 11	2331.58	\$1,361.13	\$3,173,589.90
2039	Año 12	2319.92	\$1,361.13	\$3,157,721.95
2040	Año 13	2308.32	\$1,361.13	\$3,141,933.34
2041	Año 14	2296.78	\$1,361.13	\$3,126,223.68
2042	Año 15	2285.30	\$1,361.13	\$3,110,592.56
2043	Año 16	2273.87	\$1,361.13	\$3,095,039.60
2044	Año 17	2262.50	\$1,361.13	\$3,079,564.40
2045	Año 18	2251.19	\$1,361.13	\$3,064,166.58
2046	Año 19	2239.93	\$1,361.13	\$3,048,845.74
2047	Año 20	2228.73	\$1,361.13	\$3,033,601.51
2048	Año 21	2217.59	\$1,361.13	\$3,018,433.51
2049	Año 22	2206.50	\$1,361.13	\$3,003,341.34
2050	Año 23	2195.47	\$1,361.13	\$2,988,324.63
2051	Año 24	2184.49	\$1,361.13	\$2,973,383.01
2052	Año 25	2173.57	\$1,361.13	\$2,958,516.09
2053	Año 26	2162.70	\$1,361.13	\$2,943,723.51
2054	Año 27	2151.89	\$1,361.13	\$2,929,004.90
2055	Año 28	2141.13	\$1,361.13	\$2,914,359.87
2056	Año 29	2130.42	\$1,361.13	\$2,899,788.07
2057	Año 30	2119.77	\$1,361.13	\$2,885,289.13
<i>TOTAL</i>		<i>70,915.46</i>	<i>\$42,195.10</i>	<i>\$96,525,311.25</i>

3.5.4 Flujo de caja del proyecto

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es un indicador financiero que permite evaluar la rentabilidad de un proyecto de inversión. Representa la tasa de descuento que iguala el valor presente neto (VPN) de los flujos de caja esperados a cero. Es decir, es la tasa a la cual los ingresos futuros del proyecto, descontados al presente, igualan los costos de inversión. Si la TIR es mayor que el Costo Promedio Ponderado de Capital (WACC), el proyecto se considera rentable; si es menor, se concluye que el proyecto genera pérdidas desde el punto de vista financiero. La TIR satisface la siguiente ecuación (Romero, 2025):

$$\sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} = 0$$

Donde

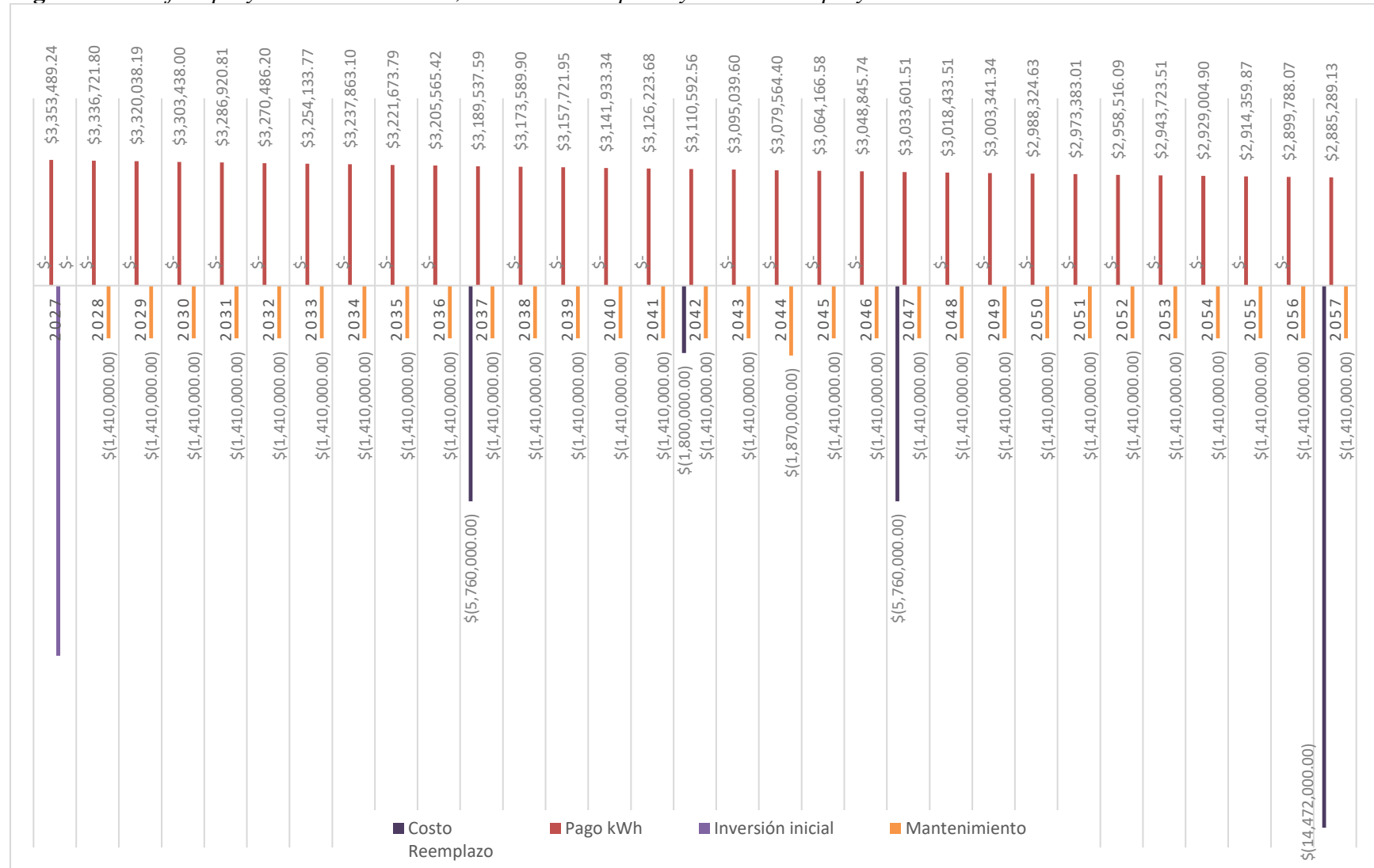
- C_t : Flujo de caja neto en el periodo t
- r : Tasa Interna de Retorno
- t : Periodo de tiempo
- n : Número total de periodos

Este método es ampliamente utilizado en la evaluación de proyectos de infraestructura, energías renovables e inversión pública y privada, debido a su capacidad para incorporar el valor del dinero en el tiempo y facilitar la comparación entre alternativas de inversión; por lo tanto, la TIR *"permite conocer el rendimiento efectivo de la inversión y es útil para tomar decisiones cuando se dispone de recursos limitados"* (Sapag, 2014).

Para determinar la TIR del proyecto, se debe tener en consideración los valores anuales dados en los numerales anteriores; como resumen se presentan los valores en la Tabla 31.

Tabla 31. *Proyección de inversión, costos de reemplazo y ahorros del proyecto.*

<i>Año</i>	<i>Tiempo</i>	<i>Pago kWh</i>	<i>Inversión inicial</i>	<i>Mantenimiento</i>	<i>Costo Reemplazo</i>
2027	Año 0	\$3,353,489.24	\$(9,885,759.38)	\$ -	\$ -
2028	Año 1	\$3,336,721.80	\$ -	\$(1,410,000.00)	\$ -
2029	Año 2	\$3,320,038.19	\$ -	\$(1,410,000.00)	\$ -
2030	Año 3	\$3,303,438.00	\$ -	\$(1,410,000.00)	\$ -
2031	Año 4	\$3,286,920.81	\$ -	\$(1,410,000.00)	\$ -
2032	Año 5	\$3,270,486.20	\$ -	\$(1,410,000.00)	\$ -
2033	Año 6	\$3,254,133.77	\$ -	\$(1,410,000.00)	\$ -
2034	Año 7	\$3,237,863.10	\$ -	\$(1,410,000.00)	\$ -
2035	Año 8	\$3,221,673.79	\$ -	\$(1,410,000.00)	\$ -
2036	Año 9	\$3,205,565.42	\$ -	\$(1,410,000.00)	\$ -
2037	Año 10	\$3,189,537.59	\$ -	\$(1,410,000.00)	\$(5,760,000.00)
2038	Año 11	\$3,173,589.90	\$ -	\$(1,410,000.00)	\$ -
2039	Año 12	\$3,157,721.95	\$ -	\$(1,410,000.00)	\$ -
2040	Año 13	\$3,141,933.34	\$ -	\$(1,410,000.00)	\$ -
2041	Año 14	\$3,126,223.68	\$ -	\$(1,410,000.00)	\$ -
2042	Año 15	\$3,110,592.56	\$ -	\$(1,410,000.00)	\$(1,800,000.00)
2043	Año 16	\$3,095,039.60	\$ -	\$(1,410,000.00)	\$ -
2044	Año 17	\$3,079,564.40	\$ -	\$(1,870,000.00)	\$ -
2045	Año 18	\$3,064,166.58	\$ -	\$(1,410,000.00)	\$ -
2046	Año 19	\$3,048,845.74	\$ -	\$(1,410,000.00)	\$ -
2047	Año 20	\$3,033,601.51	\$ -	\$(1,410,000.00)	\$(5,760,000.00)
2048	Año 21	\$3,018,433.51	\$ -	\$(1,410,000.00)	\$ -
2049	Año 22	\$3,003,341.34	\$ -	\$(1,410,000.00)	\$ -
2050	Año 23	\$2,988,324.63	\$ -	\$(1,410,000.00)	\$ -
2051	Año 24	\$2,973,383.01	\$ -	\$(1,410,000.00)	\$ -
2052	Año 25	\$2,958,516.09	\$ -	\$(1,410,000.00)	\$ -
2053	Año 26	\$2,943,723.51	\$ -	\$(1,410,000.00)	\$ -
2054	Año 27	\$2,929,004.90	\$ -	\$(1,410,000.00)	\$ -
2055	Año 28	\$2,914,359.87	\$ -	\$(1,410,000.00)	\$ -
2056	Año 29	\$2,899,788.07	\$ -	\$(1,410,000.00)	\$ -
2057	Año 30	\$2,885,289.13	\$ -	\$(1,410,000.00)	\$(14,472,000.00)
<i>TOTAL</i>		<i>\$ 96,525,311.25</i>	<i>\$ (9,885,759.38)</i>	<i>\$ (42,760,000.00)</i>	<i>\$ (27,792,000.00)</i>

Figura 14. *Gráfica proyección de inversión, costos de reemplazo y ahorros del proyecto.*

El ñ-flujo de caja analiza la entrada y salida de dinero en un proyecto a lo largo del tiempo y permite evaluar la viabilidad económica de la inversión; para esto se muestra cómo se comportan los ingresos a partir de estos flujos anuales, se calculan los indicadores clave del proyecto como lo son Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), que ayudan a determinar si el proyecto generará valor en el tiempo o no. Para este proyecto, se presenta el flujo de caja la Tabla 32 el cual considera la suma de cada elemento de la Tabla 31 para cada año.

Tabla 32. *Flujo de caja del proyecto.*

<i>Año</i>	<i>Tiempo</i>	<i>Flujo de Caja</i>
2027	Año 0	\$ 6,532,270.13
2028	Año 1	\$ 1,926,721.80
2029	Año 2	\$ 1,910,038.19
2030	Año 3	\$ 1,893,438.00
2031	Año 4	\$ 1,876,920.81
2032	Año 5	\$ 1,860,486.20
2033	Año 6	\$ 1,844,133.77
2034	Año 7	\$ 1,827,863.10
2035	Año 8	\$ 1,811,673.79
2036	Año 9	\$ 1,795,565.42
2037	Año 10	- \$ 3,980,462.41
2038	Año 11	\$ 1,763,589.90
2039	Año 12	\$ 1,747,721.95
2040	Año 13	\$ 1,731,933.34
2041	Año 14	\$ 1,716,223.68
2042	Año 15	- \$ 99,407.44
2043	Año 16	\$ 1,685,039.60
2044	Año 17	\$ 1,209,564.40
2045	Año 18	\$ 1,654,166.58
2046	Año 19	\$ 1,638,845.74
2047	Año 20	- \$ 4,136,398.49
2048	Año 21	\$ 1,608,433.51
2049	Año 22	\$ 1,593,341.34
2050	Año 23	\$ 1,578,324.63
2051	Año 24	\$ 1,563,383.01
2052	Año 25	\$ 1,548,516.09
2053	Año 26	\$ 1,533,723.51
2054	Año 27	\$ 1,519,004.90
2055	Año 28	\$ 1,504,359.87
2056	Año 29	\$ 1,489,788.07
2057	Año 30	- \$ 12,996,710.87
<i>TOTAL</i>		\$ 16,087,551.88

Figura 15. *Gráfica flujo de caja del proyecto.*

Considerando un WACC de 12.09% de acuerdo con la Resolución 215 del 2021 de la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG, 2021), se toman los valores de la Tabla 31 para realizar el cálculo de la TIR obteniendo los resultados siguientes:

Tabla 33. *Datos del proyecto.*

<i>Indicador</i>	<i>Valor</i>
WACC:	12.09%
TIR:	25.62%
VPN	\$3,066,224.70
Mantenimiento	- \$ 11,348,616.03
Reposiciones	- \$ 3,223,792.28
Pago kWh	\$ 29,113,456.38
Inversión	- \$ 9,885,759.38

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos podemos observar que el proyecto puede generar un ingreso, por concepto de pago por energía (kWh), equivalente a \$29,113,456.38; en el caso de los egresos tenemos los siguientes valores asociados al mantenimiento (- \$ 11,348,616.03), reposiciones de los equipos (- \$ 3,223,792.28) e inversión inicial (- \$ 9,885,759.38). Estos resultandos entregan un Valor Presente Neto (VPN) positivo de \$4,655,288.70. Igualmente, la Tasa Interna de Retorno (TIR) de 25.62% es considerablemente mayor al Costo Promedio Ponderado de Capital (WACC) del 12.09% lo que evidencia que el proyecto *es viable* financieramente ya que la rentabilidad esperada compensa el costo del capital invertido. Por lo que se aconseja su ejecución.

4. Áreas de conocimiento

De acuerdo con la *Guía del PMBOK*®, estas áreas de conocimiento ofrecen un marco teórico base para gestionar proyectos de forma efectiva ya que agrupan los aspectos principales en diez categorías claves; estas áreas incluyen la integración, alcance, tiempo, costo, calidad, recursos, comunicaciones, riesgos, adquisiciones e interesados, las cuales son fundamentales para asegurar el cumplimiento de los objetivos de forma organizada y coherente dentro del proyecto.

En este trabajo se detallarán los procesos de inicio y planificación, los cuales incluyen la identificación de interesados, la definición del alcance, la creación de la estructura de desglose del trabajo (EDT), la estimación de costos y tiempos, entre otros aspectos clave de la dirección de proyectos. Este alcance se limitó a los procesos mencionados anteriormente debido a que no se cuenta con tiempo y recursos para desarrollar el proyecto; así mismo, este trabajo se desarrolla como un ejercicio académico el cual no contempla la implementación completa del ciclo de vida del proyecto.

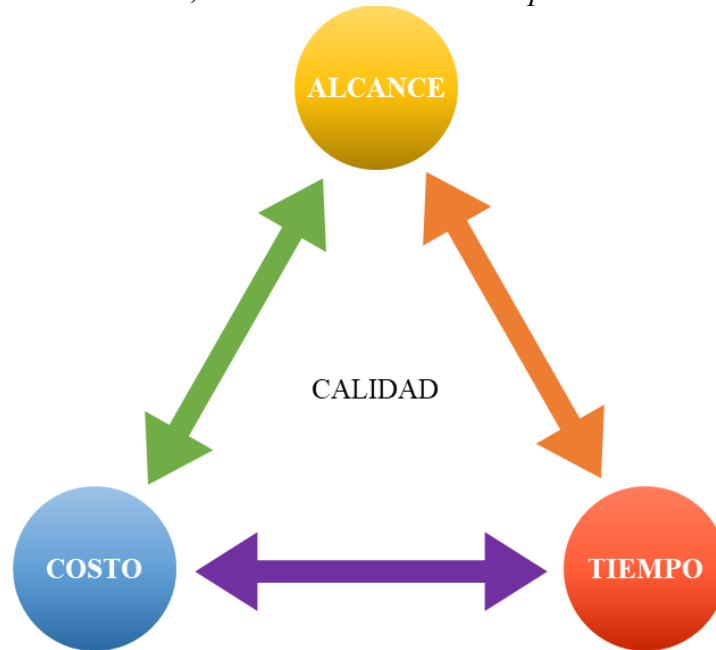
No obstante, este trabajo podría establecer las bases para que los procesos no ejecutados (ejecución, monitoreo y control, y cierre) sean evaluados y desarrollados por alguna entidad pública, empresa, o equipo competente que sea designado para una implementación final. De esta forma, se lograría continuar con el progreso del proyecto; y así, asegurar que se mantenga la coherencia con los objetivos establecidos, facilitando su eventual conclusión exitosa (Project Managment Institute., 2017).

4.1 Triple restricción en proyectos

El triángulo de tiempo, costo y alcance, también conocido como la triple restricción en la metodología PMI, es un concepto en la gestión de proyectos que representa las tres principales

restricciones interrelacionadas; los directores de proyecto deben garantizar que estos tres ítems estén equilibrados para asegurar el éxito del proyecto (Babu y Suresh, 1996).

Figura 16. “Triángulo de Hierro”, también llamado “La Triple Restricción”.



El triángulo muestra el vínculo entre las variables y como las demás son afectadas cuando se cambia una de ellas sin considerar las otras dos, de otra forma, la calidad del proyecto se verá comprometida. A continuación, se explican las variables de este triángulo:

Alcance: hace referencia a todo el trabajo necesario para entregar, ya sea un producto, un servicio o un resultado con las características y funciones específicas. Se debe definir el alcance con precisión para evitar cambios constantes e incontrolados. Esto implica tener claro las tareas que se deben realizar, los entregables que se deben producir y los criterios que deben cumplirse para considerar el proyecto completo.

Tiempo: hace referencia al cronograma del proyecto, es decir, cuánto tiempo se necesita para completar el trabajo. Es necesaria la planificación, estimación y control de todas las

actividades del proyecto para asegurar que se complete dentro del plazo acordado. Cualquier ajuste en el tiempo puede llegar a afectar el costo y/o el alcance, por lo que es vital gestionar los tiempos de forma efectiva.

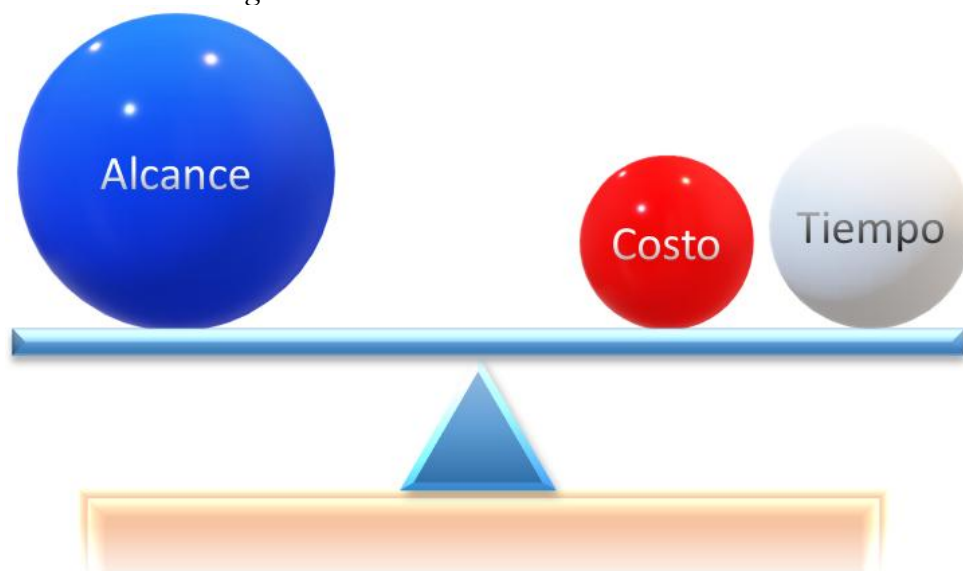
Costo: hace referencia al presupuesto requerido para ejecutar el proyecto. Incluye la estimación de los dineros e inversiones y la gestión de los costos durante todo el ciclo de vida del proyecto. Es necesario mantener este ítem controlado para asegurar que el proyecto sea rentable o se mantenga dentro de las limitaciones financieras impuestas.

Como se dijo anteriormente, es crucial mantener el equilibrio entre estos tres factores para mantener la calidad del proyecto. La relación que existe entre cada uno de ellos se explica a continuación:

El alcance es directamente proporcional al tiempo y al costo: no se puede aumentar el alcance del proyecto sin aumentar alguno, o ambos, de los otros dos ítems. Es decir, si se aumenta el tamaño del proyecto (Alcance) se requieren más recursos (Costo) y/o aumentar el cronograma (Tiempo)

El tiempo es inversamente proporcional al costo: al aumentar, o disminuir, el tiempo de ejecución del proyecto, se debe reducir o aumentar, respectivamente, el costo de este. Es decir, si se acelera la entrega del proyecto, se debe adicionar dinero a la inversión para cubrir al cronograma; igualmente, en caso de haber recortes presupuestales, la ejecución del proyecto debe extenderse.

Lo anterior se puede entender como una balanza donde, en un lado, se tiene el alcance del proyecto y del otro el costo y el tiempo. Este balance es importante mantenerlo para evitar trastornos en el proyecto. Así mismo, el director del proyecto debe tener un conocimiento profundo sobre estas variables y debe ser flexible para adaptarse a los cambios (Delgado y Vérez, 2009).

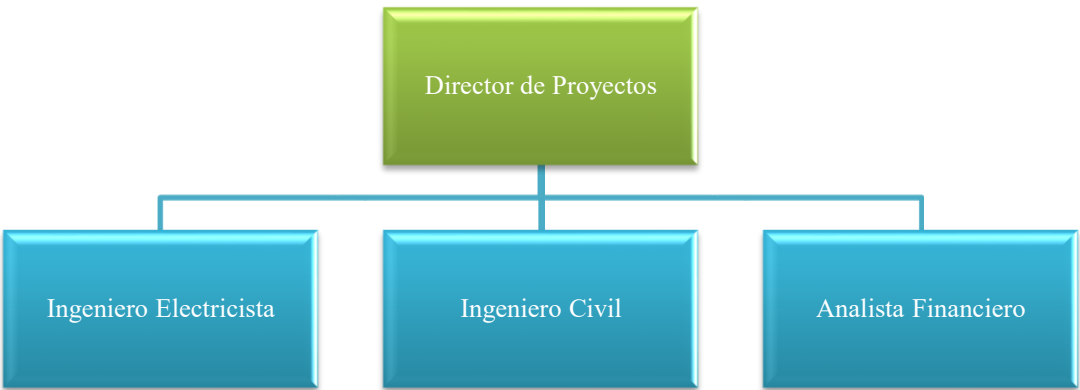
Figura 17. *Balance del Triángulo de Hierro.*

4.2 Organigrama inicial del proyecto

El organigrama propuesto para el proyecto responde a la necesidad de poseer una estructura clara, y eficiente, que permita una coordinación adecuada entre las diferentes áreas involucradas en el proyecto. Inicialmente se considera dividir el equipo en ramas técnicas y administrativas, de esta forma se asegura que cada aspecto crítico del proyecto, desde la ingeniería hasta la gestión financiera y social, cuente con un liderazgo especializado necesario. Así mismo, esta organización facilita la toma de decisiones con la mejora en la comunicación entre los diferentes actores y optimiza el uso de los recursos disponibles, asegurando que los objetivos se cumplan de manera ordenada y dentro de los plazos y presupuestos establecidos.

En la 18 se presenta un organigrama sugerido para la implementación del proyecto. Se debe tener en cuenta que este esquema es una propuesta inicial que deberá ser ajustada según los objetivos, necesidades y condiciones de la entidad que lo ejecute. Dichas modificaciones deberán alinearse con los recursos, capacidades operativas y lineamientos que dicha entidad establezca para asegurar el cumplimiento efectivo de los objetivos planteados.

Figura 18. Organigrama sugerido.



Nota:

Organigrama sujeto a ajustes de acuerdo con las necesidades del proyecto y la entidad responsable de la ejecución de este.

4.3 Gestión de la integración del proyecto

La Gestión de la Integración, de acuerdo con el PMI, es un área de conocimiento fundamental que implica la identificación, definición, combinación, unificación y coordinación de todos los elementos del proyecto; esto incluye la elaboración del acta de constitución del proyecto, el desarrollo del plan de gestión del proyecto, la dirección y gestión de la ejecución, así como el monitoreo y control del progreso. La adecuada gestión de la integración no solo facilita la alineación de los objetivos del proyecto con la estrategia organizacional, sino que también promueve la optimización de recursos y el manejo eficaz de los riesgos asociados (Project Managment Institute., 2017).

Tabla 34. Grupo de procesos para la gestión de la integración según la Guía del PMBOK®.

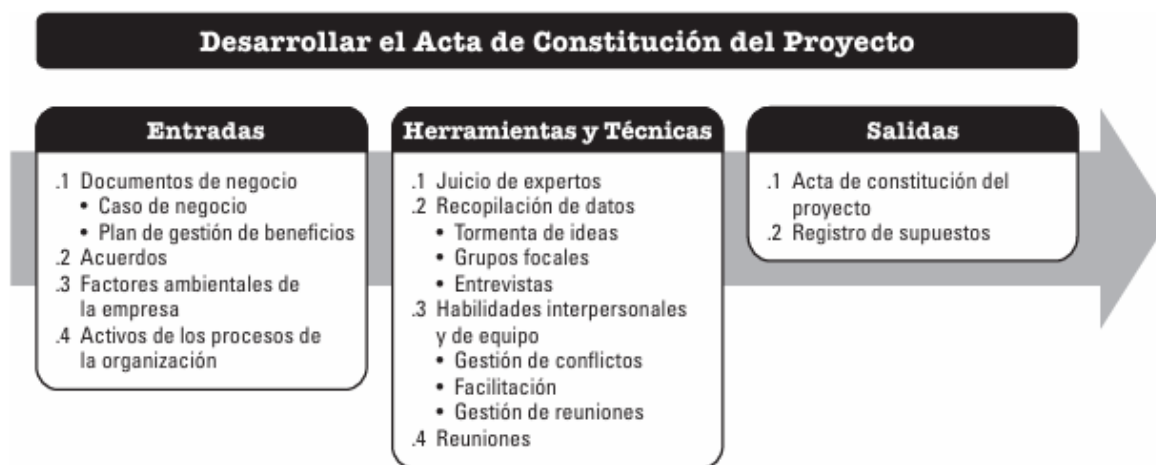
Áreas de Conocimiento	Grupos de Procesos de la Dirección de Proyectos	
	Grupo de Procesos de Inicio	Grupo de Procesos de Planificación
4. Gestión de la Integración del Proyecto.	4.1. Desarrollar el Acta de Constitución del Proyecto	4.2. Desarrollar el Plan para la Dirección del Proyecto

Tomado de Project Managment Institute (Project Managment Institute., 2017).

4.3.1 Acta de constitución del proyecto

El acta de constitución del proyecto es el principal documento que formaliza la creación del proyecto; este documento establece la visión, los objetivos, el alcance y los beneficios esperados del proyecto, sirviendo como una guía clara para todas las partes interesadas. Este documento no solo sirve como un punto de referencia para la gestión del proyecto a lo largo de su ciclo de vida, sino que también es esencial para la obtención del apoyo y la alineación de los interesados en el proceso de toma de decisiones, garantizando así el compromiso necesario para el éxito del proyecto (Project Management Institute., 2017).

Figura 19. Diagrama del desarrollo del acta de constitución del proyecto.



Tomado de Project Management Institute (Project Management Institute., 2017).

Para este caso, el documento define el propósito principal del proyecto que es proporcionar un suministro eléctrico sostenible, y accesible, a la comunidad del corregimiento de El Hatigo mediante la implementación de una microred eléctrica. También se incluye los resultados esperados como, lo es la mejora del acceso a la electricidad, la promoción de energías renovables y el desarrollo de capacidades locales para la gestión de la microred.

4.3.1.1 Entradas del acta de constitución del proyecto. para definir el acta de constitución del proyecto y el registro de supuestos, se debe considerar toda la información previa que exista con relación al proyecto. De acuerdo con el caso de negocio planteado en el numeral 1.1 y considerando también la revisión de información previa dada en el numeral 2.2, se considera que se posee toda la información previa necesaria para el proceso de inicio del proyecto.

4.3.1.2 Herramientas del acta de constitución del proyecto. para la creación del acta de constitución del proyecto, y del registro de supuestos, juega un papel de alta relevancia el juicio de expertos y las reuniones organizadas en el desarrollo de este proyecto, pues así se define el futuro de un proyecto del cual se esperan rendimientos en términos no solo económicos, sino de imagen empresarial, alineados con la organización y al escoger la dirección del proyecto, tendrá que tenerse en cuenta que esa persona escogida reúna las calidades humanas, técnicas y de liderazgo que el proyecto exija.

4.3.1.3 Salidas del acta de constitución del proyecto. la salida de este proceso es un documento denominado *Acta de Constitución del Proyecto* junto con un segundo documento denominado *Registro de Supuestos* el cual contiene las restricciones y supuestos estratégicos del proyecto. A continuación, en Tabla 35, se presenta el acta de constitución para la realización del Estudio de factibilidad para la implementación de una microred eléctrica en el corregimiento del Hatigo.

Tabla 35. *Acta de constitución del proyecto.*

<i>Acta de constitución del proyecto</i>	
<i>Título del proyecto</i>	Estudio de Factibilidad para la Implementación de una Microred Eléctrica en el corregimiento de El Hatigo, La Guajira
<i>Descripción del proyecto</i>	El presente proyecto tiene como objetivo el estudio de una factibilidad para la implementación de una microred eléctrica en el corregimiento de El Hatigo, ubicado en el

<i>Acta de constitución del proyecto</i>	
	departamento de La Guajira, Colombia. Esta iniciativa surge en respuesta a la necesidad de mejorar el acceso y la calidad del suministro de energía en una región que es caracterizada por su alta vulnerabilidad y su dependencia de fuentes no renovables. La microred eléctrica propuesta se basará en un enfoque sostenible, integrando fuentes de energía renovable con el fin de proporcionar un suministro energético confiable y continuo a las comunidades locales. El proyecto contempla la evaluación técnica, social y económica de la microred, así como la identificación de los actores clave. Además, se busca fomentar la participación de la comunidad en la implementación y operación de la microred, promoviendo así un desarrollo local inclusivo. La realización de este estudio de factibilidad permitirá determinar la viabilidad del proyecto y establecer un marco de referencia para su ejecución, alineando los objetivos de este con las políticas de desarrollo sostenible del país y contribuyendo a la mitigación de la crisis energética en la región.
<i>Planteamiento del problema</i>	El corregimiento del corregimiento de El Hatigo, en La Guajira, Colombia, es una comunidad que enfrenta serios desafíos en cuanto al acceso a energía eléctrica confiable y asequible. Como muchas otras zonas periféricas del país; esta región no está conectada apropiadamente a la red eléctrica nacional, lo que limita severamente las oportunidades de desarrollo económico, educativo y social de sus habitantes. Esta falta en la calidad de la energía afecta las actividades básicas del hogar, la agricultura, el comercio local, y la posibilidad de acceso a servicios esenciales como la educación y la atención médica. La dependencia a soluciones costosas, y poco fiables, ha afectado el correcto desarrollo socioeconómico de la comunidad. Así mismo, la comunidad se enfrenta a un alto costo en las facturas de energía. Adicionalmente, las alternativas energéticas disponibles en la actualidad son caras y poco eficientes. Los habitantes dependen principalmente de generadores diésel, que son costosos tanto en términos de combustible como de mantenimiento, y generan altos niveles de contaminación. Así mismo, la inestabilidad en el suministro eléctrico también significa que la comunidad enfrenta interrupciones frecuentes, afectando la productividad y calidad de vida de los habitantes. Este proyecto surge por la necesidad de encontrar una solución sostenible, y que responda a las condiciones específicas del área y las necesidades de la comunidad. Si bien el gobierno colombiano, y algunas organizaciones, han avanzado en el desarrollo de proyectos energéticos en la zona, muchas de estas iniciativas han carecido de un enfoque integral que considere los recursos naturales locales y la participación de la comunidad en su implementación y mantenimiento. En consecuencia, los proyectos anteriores no han logrado ofrecer soluciones a largo plazo. Por lo tanto, el problema que se busca resolver es cómo implementar una microred eléctrica sostenible que no solo reduzca la dependencia de combustibles fósiles, sino que también esté alineada con las necesidades y capacidades del corregimiento de El Hatigo. Se requiere una solución técnica viable que pueda ser operada y mantenida a nivel local, garantizando así su sostenibilidad a largo plazo y un impacto positivo en la calidad de vida y el desarrollo económico de la región.
<i>Director de Proyecto</i>	A la fecha, no se cuenta con una persona designada para ocupar el cargo de Director de Proyecto, dado que la presente tesis es de carácter investigativo y no se dispone de información sobre empresas o entidades interesadas en ejecutar el proyecto. En este sentido, el Director de Proyecto será seleccionado en función del perfil indicado en el ítem Recursos Pre Asignados, las cuales son requeridas por la naturaleza del proyecto. No obstante, dicho perfil podrá ser modificado conforme a las necesidades del proyecto y deberá estar alineado tanto con los objetivos propuestos como con los lineamientos de la entidad que se encargue de su desarrollo.

<i>Acta de constitución del proyecto</i>	
<i>Recursos pre Asignados</i>	Dado que aún no se ha definido qué entidad llevará a cabo el proyecto, no se cuenta con un presupuesto asignado ni con información sobre el personal disponible. Sin embargo, debido a la naturaleza del proyecto, se propone contar con el siguiente personal necesario para su desarrollo: 1. director de Proyecto Perfil: Profesional en ingeniería, preferiblemente eléctrica o afin, con formación en gestión de proyectos (certificación PMP deseable). Experiencia mínima de 5 años en la gestión de proyectos de infraestructura eléctrica, preferentemente en zonas rurales. Conocimiento en metodologías PMI y experiencia en la planificación, ejecución, monitoreo y control de proyectos eléctricos. 2. Ingeniero Electricista Especialista en Microredes Perfil: Ingeniero electricista con experiencia en diseño e implementación de sistemas de microredes. Conocimiento en energías renovables, almacenamiento de energía y tecnologías de gestión de la red. 3. Ingeniero Civil Perfil: Ingeniero civil con experiencia en proyectos de infraestructura eléctrica. Conocimiento en la construcción de estructuras para la instalación de equipos eléctricos y de generación. 4. Analista Financiero Perfil: Profesional en economía, finanzas o ingeniería industrial, con experiencia en análisis de costos y evaluación de viabilidad económica de proyectos. Conocimiento en modelos de financiamiento de proyectos de infraestructura y energías renovables. Experiencia en la evaluación de costos de operación, mantenimiento y retorno de inversión.
<i>Interesados</i>	• Comunidad del corregimiento de El Hatío. • Universidades. • Entidades gubernamentales locales. • Proveedores de tecnologías renovables. • ONG dedicadas al desarrollo rural sostenible.
<i>Entregables</i>	• Informe de viabilidad técnica y económica. • Recomendaciones para la implementación del sistema. • Evaluación de costos de operación y mantenimiento (AOM).
<i>Objetivo medible del proyecto</i>	Desarrollar el documento de estudio de factibilidad que permita diseñar e implementar una microred eléctrica sostenible en el corregimiento de El Hatío. El documento cuenta con recomendaciones técnicas, económicas y sociales que facilitan la implementación de una solución energética viable para la comunidad.
<i>Patrocinadores</i>	• Universidad Santo Tomás Bucaramanga.

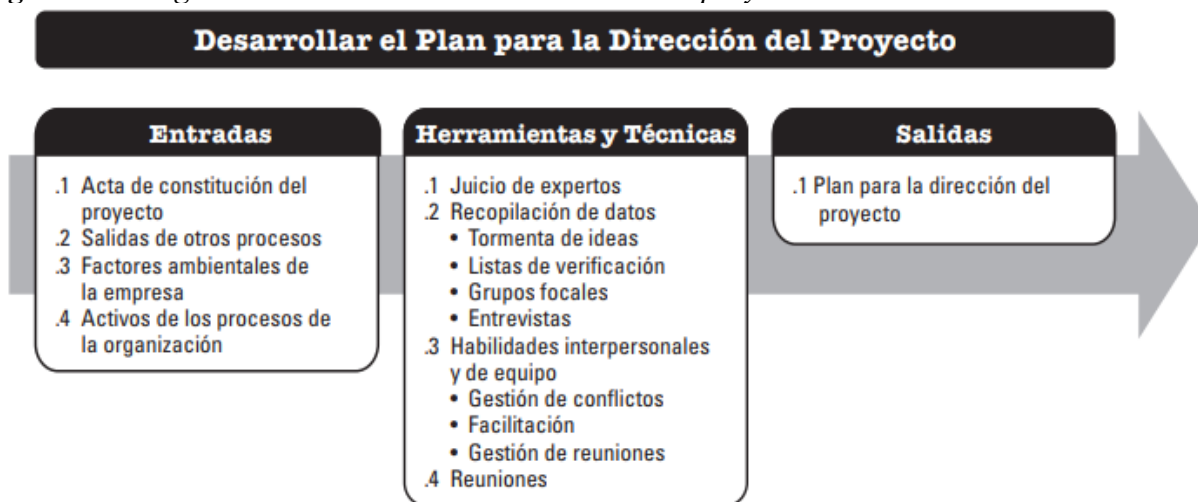
Para el caso del registro de supuestos, este se presenta en la Tabla 36 Cabe recordar que este registro es dinámico y se actualiza a lo largo del ciclo de vida del proyecto, especialmente en las etapas de planificación.

Tabla 36. *Registro de supuestos.*

<i>ID</i>	<i>Supuesto o Restricción</i>	<i>Tipo</i>	<i>Impacto</i>
A-01	Se cuenta con acceso suficiente a fuentes bibliográficas confiables para sustentar el marco teórico y legal.	Supuesto	La justificación, marco normativo o análisis técnico quedarían débiles.
A-02	La información sobre la comunidad de el corregimiento de El Hatío es representativa y suficiente para la caracterización social.	Supuesto	Podría limitar la profundidad del análisis social y generar vacíos en la propuesta.
A-03	Las políticas y normativas citadas (Ley 1715, PND 2022-2026, etc.) siguen vigentes al momento de presentar el trabajo.	Supuesto	Podría requerir una actualización de conclusiones o reformulación de estrategias.
R-01	La tesis debe entregarse en el periodo académico 2025-1.	Restricción	Afecta el alcance del contenido, el tiempo de revisión y validación por parte del tutor.
A-04	El software utilizado (Excel, simuladores, Word, etc.) es suficiente para el análisis técnico-económico.	Supuesto	Sería necesario cambiar herramientas y repetir cálculos o gráficas.
R-02	No se cuenta con presupuesto para trabajo de campo o encuestas directas.	Restricción	Limita la recolección de datos primarios, lo que obliga al uso de fuentes secundarias.
R-03	El presupuesto estimado no puede superar los \$21 millones.	Restricción	Podría limitar la selección de equipos de mayor eficiencia.
A-05	El marco normativo (Ley 1715 y Ley 2099) seguirá vigente durante la implementación.	Supuesto	Podría afectar beneficios tributarios y viabilidad del proyecto.

4.3.2 Plan para la dirección del proyecto

El plan para la dirección del proyecto es un documento que integra todas las áreas de gestión involucradas en proyecto y establece el alcance del trabajo, el cronograma, los costos, la calidad, los recursos, la comunicación, los riesgos, las adquisiciones y la participación de los interesados de manera estructurada. Su propósito es proporcionar una hoja de ruta clara para la ejecución ordenada del proyecto que facilite la toma de decisiones informadas, el seguimiento del avance y el aseguramiento de los resultados esperados. En este contexto, el plan fue diseñado no solo como una herramienta de planificación, sino también como una guía para garantizar que el estudio se desarrollara de forma eficiente, con coherencia técnica, financiera y social (Project Managment Institute., 2017).

Figura 20. Diagrama del desarrollo de la dirección del proyecto.

Tomado de Project Managment Institute (Project Managment Institute., 2017).

4.3.2.1 Entradas del plan para la dirección del proyecto. para definir el plan, se debe tener en cuenta el acta de constitución del proyecto mostrado en el numeral 4.3.1 de este documento y las salidas de los procesos contemplados en los numerales 0 a 4.12.

4.3.2.2 Herramientas del plan para la dirección del proyecto. durante la elaboración del plan, se emplearon las herramientas recomendadas por la *Guía del PMBOK*® (Project Managment Institute., 2017), como lo es el juicio de expertos y el análisis de datos conseguidos en cada etapa del desarrollo del proyecto, dado que es un plan que evoluciona de acuerdo con los avances del proyecto.

4.3.2.3 Salidas del plan para la dirección del proyecto. la salida es un documento denominado *plan para la dirección del proyecto* el cual está adaptado al desarrollo de esta tesis. Este plan incluye componentes clave que son dados por cada uno de los procesos. Enfocado en el contexto académico desarrollado en esta tesis, esta salida sirvió como hoja de ruta para asegurar

la coherencia y calidad del estudio de factibilidad propuesto. En la Tabla 37 se presenta el plan de dirección del proyecto.

Tabla 37. *Plan de dirección del proyecto.*

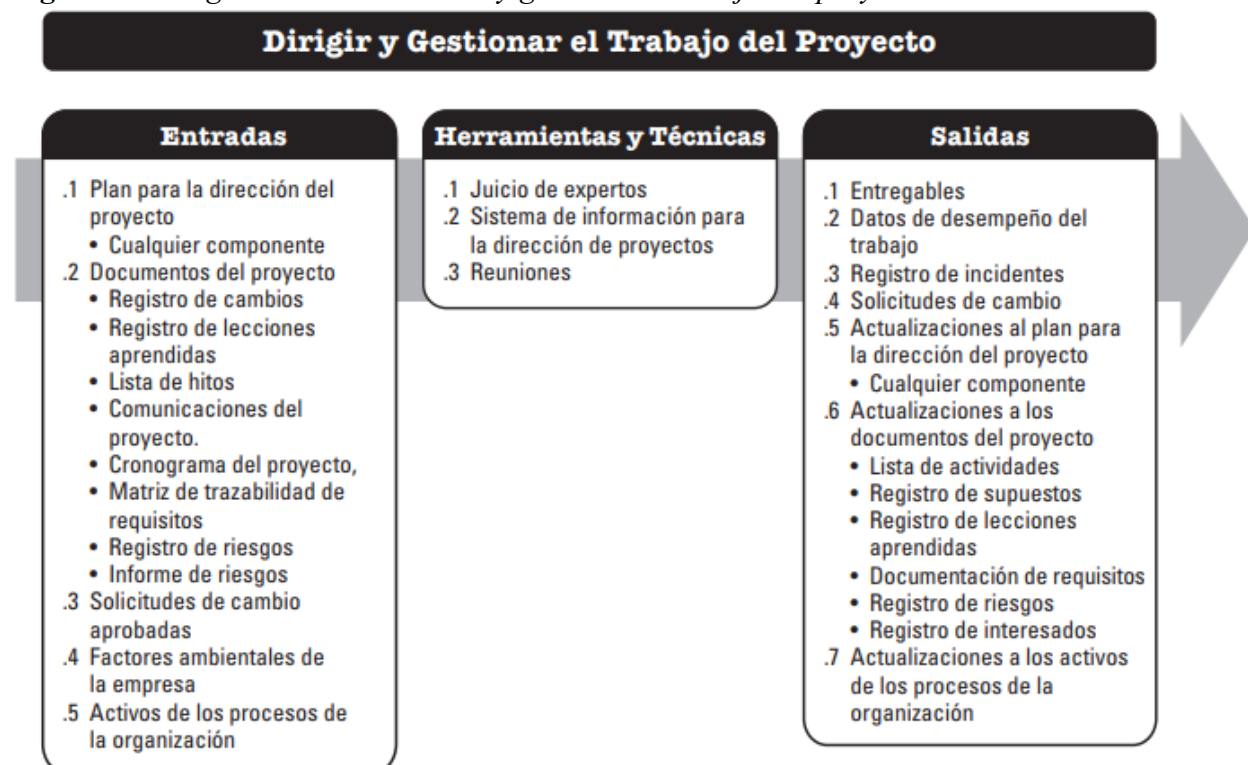
<i>ID</i>	<i>Supuesto o Restricción</i>
Gestión del alcance	Se definió el alcance del estudio como la formulación de un proyecto de factibilidad para una microred eléctrica en el corregimiento de El Hatico. Se excluyó la ejecución física del sistema.
Gestión del cronograma	Se organizó el trabajo por fases: revisión bibliográfica, caracterización, análisis técnico, modelado financiero y redacción final. Se empleó un cronograma en Project como herramienta de planificación.
Gestión de los costos	Se estimó el presupuesto total del sistema propuesto, incluyendo materiales, instalación, operación y mantenimiento. No se estimaron costos de ejecución de la tesis, por tratarse de un trabajo académico.
Gestión de la calidad	Se garantizó la calidad mediante la revisión constante del tutor y de un asesor externo experto en PMI, validación cruzada de fuentes, y aplicación de normas técnicas y metodológicas reconocidas.
Gestión de los recursos	Se contemplaron los recursos necesarios para el desarrollo del estudio: bibliografía, herramientas de software (Excel, Word), acceso a fuentes secundarias y asesoría académica.
Gestión de las comunicaciones	Se mantuvo comunicación periódica con el tutor de tesis para revisión de avances. No se involucró una estructura formal de comunicación externa.
Gestión de los riesgos	Se identificaron riesgos académicos y metodológicos, como falta de acceso a datos primarios, cambios normativos y demoras en la revisión. Se documentaron en el registro de supuestos.
Gestión de las adquisiciones	Parcialmente aplica la adquisición de bienes o servicios, se consideró esta parte en el diseño del proyecto técnico para la microred como parte del estudio.
Gestión de los interesados	Los principales interesados fueron el autor, el tutor académico y, en el plano proyectado, la comunidad del corregimiento de El Hatico y posibles entidades financiadoras o implementadoras.

4.3.3 Dirigir y gestionar el trabajo del proyecto

La ejecución de un proyecto requiere transformar la planificación teórica en actividades reales que permitan alcanzar los objetivos planteados. El proceso de dirigir y gestionar el trabajo del proyecto consiste en liderar la implementación de las actividades definidas en el plan para la dirección del proyecto, con el fin de lograr la entrega de los productos, servicios o resultados esperados. Este proceso implica coordinar recursos, asegurar el cumplimiento de los lineamientos

técnicos y monitorear que los entregables parciales se alineen con los criterios de aceptación previamente establecidos (Project Management Institute., 2017).

Figura 21. Diagrama de la dirección y gestión del trabajo del proyecto.



Tomado de Project Management Institute (Project Management Institute., 2017).

4.3.3.1 Entradas de la dirección y gestión del trabajo del proyecto. para estructurar adecuadamente la dirección y gestión del trabajo del proyecto, se requiere el plan para la dirección del proyecto dado en 4.3.2, que define cómo se ejecutarán y controlarán las actividades. También se consideran las solicitudes de cambio aprobadas, los factores ambientales (como lineamientos académicos y normativos).

4.3.3.2 Herramientas de la dirección y gestión del trabajo del proyecto. para el desarrollo de este numeral, se aplicó el juicio de expertos mediante reuniones con el asesor

académico y el asesor externo. Además, se utilizaron herramientas tecnológicas como hojas de cálculo y software como MS Project. La comunicación constante permitió asegurar que el desarrollo se mantuviera alineado con los objetivos establecidos.

4.3.3.3 Salidas de la dirección y gestión del trabajo del proyecto. como resultado tenemos los entregables definidos en la planificación, incluyendo informes técnicos y análisis de viabilidad. También se generan actualizaciones de documentos del proyecto, reportes de desempeño y solicitudes de cambio si se requieren ajustes metodológicos o técnicos.

4.3.4 Resultado de dirigir y gestionar el trabajo del proyecto

Como resultado de este proceso, se ejecutaron las actividades técnicas y administrativas establecidas en el plan para la dirección del proyecto, lo que permitió generar los entregables definidos en la planificación, los que se encuentran: el documento de viabilidad técnica con la identificación de fuentes energéticas renovables presentes en el corregimiento de El Hatico; el análisis económico con estimaciones de ingresos, egresos y costos de operación, administración y mantenimiento (AOM) en el numeral 3.5; y el componente social, con la caracterización de la comunidad y sus requerimientos energéticos en el numeral 3.4.

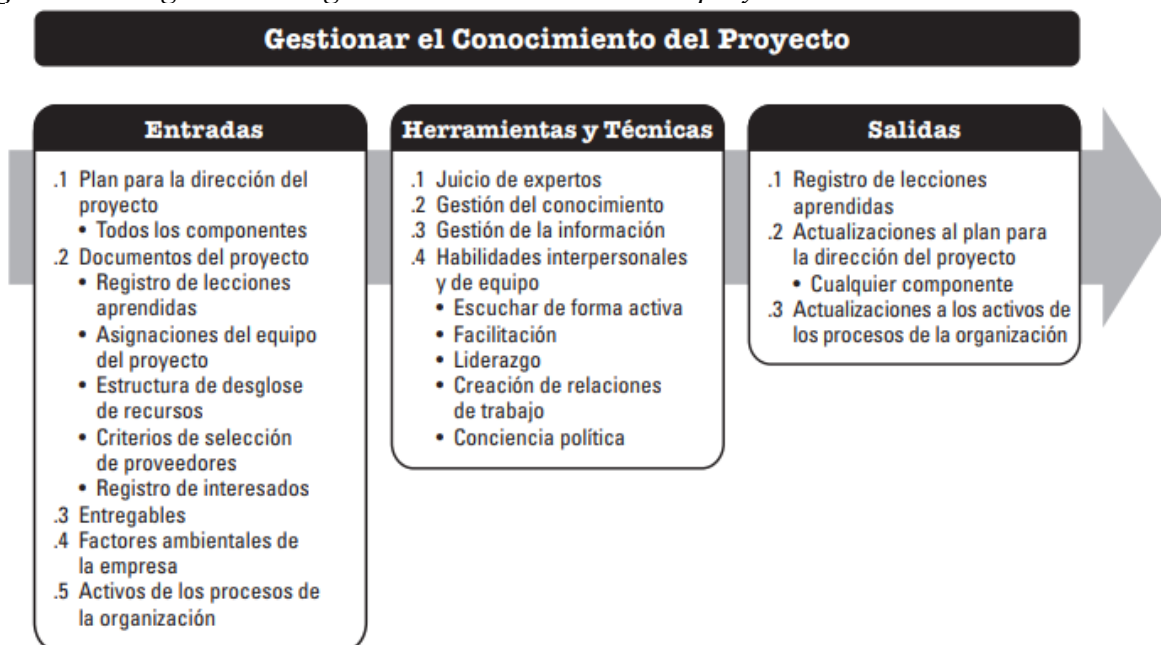
Adicionalmente, se mantuvo un control continuo sobre el cumplimiento de los plazos y la calidad del trabajo mediante revisiones periódicas del cronograma y validaciones técnicas tanto por el asesor externo como por el director del trabajo de grado. La elaboración de los documentos se realizó siguiendo los estándares académicos dados por la universidad y la norma de documentación de ésta, lo cual garantizó la trazabilidad del trabajo y su alineación con los objetivos planteados. También se documentaron las actualizaciones necesarias al plan,

principalmente en el cronograma y en el alcance, derivadas de ajustes técnicos o disponibilidad de información secundaria.

Este proceso permitió mantener la coherencia entre la planificación y la ejecución, asegurando que las decisiones técnicas respondieran a los criterios de viabilidad definidos desde el inicio del proyecto. En consecuencia, se generó un informe consolidado de factibilidad que sustenta la implementación de una microrred como solución sostenible para el acceso a energía en esta zona.

4.3.5 Gestionar el conocimiento del proyecto

Este proceso se centra en la recopilación, creación, distribución, almacenamiento y utilización del conocimiento relevante dentro de un proyecto. Su objetivo principal es facilitar el acceso a la información crítica y aprovechar el conocimiento tanto adquirido para mejorar el rendimiento del proyecto, de esta forma se garantiza que la experiencia y el aprendizaje del proyecto sean preservados y puedan ser usados en fases posteriores así como tenerlos disponibles para otros proyectos futuros (Project Managment Institute., 2017).

Figura 22. *Diagrama de la gestión del conocimiento del proyecto.*

Tomado de Project Management Institute (Project Management Institute., 2017).

4.3.5.1 Entradas de la gestión del conocimiento del proyecto. para estructurar adecuadamente este ítem, se requiere el plan para la dirección del proyecto dado en 4.3.2, que proporciona la estructura y visión del proyecto para gestionar el conocimiento. También se consideran las lecciones aprendidas tomando los registros generados durante el desarrollo del proyecto así como aquellos conocimientos que puedan ser aplicados al futuro.

4.3.5.2 Herramientas de la gestión del conocimiento del proyecto. para el desarrollo de este numeral, se aplicó el juicio de expertos donde se identifica las mejores prácticas para gestionar los aprendizajes. También se usan herramientas de gestión documental y de conocimiento.

4.3.5.3 Salidas de la gestión del conocimiento del proyecto. como salidas se tienen documentos de bases de datos donde se registran, y almacenan, las lecciones aprendidas

para ser usadas a futuro. Adicionalmente se mejoran los procesos mediante la incorporación de estas lecciones comentando la mejora continua. De esta manera se maximiza el valor del conocimiento dentro del proyecto.

4.3.6 Resultado de gestionar el conocimiento del proyecto

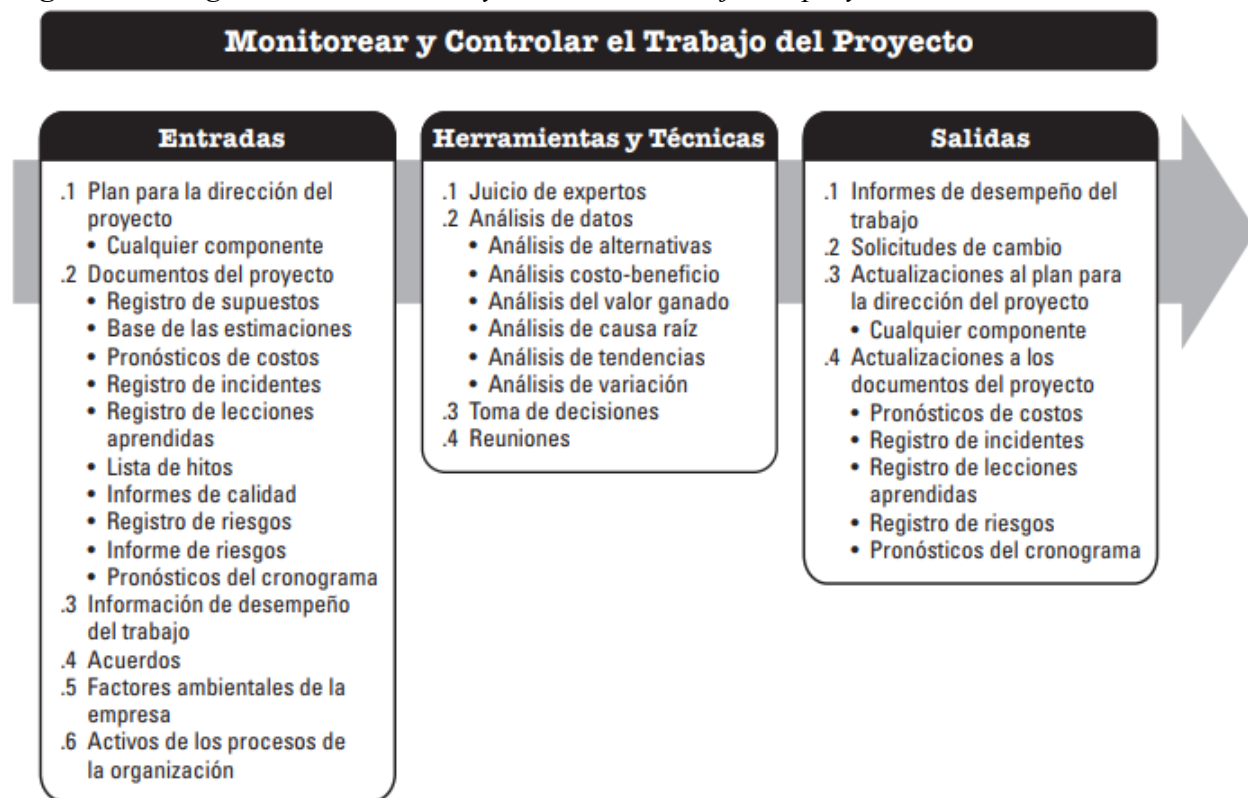
Dado que el proyecto es de baja complejidad, la aplicación del proceso de Gestión del Conocimiento del Proyecto puede no ser necesaria de forma formal. Debido a que este trabajo ha sido ejecutado de manera individual, con el apoyo de un director y un asesor externo. La cantidad de conocimiento generado y compartido dentro del equipo es limitada, por lo que los aprendizajes derivados del proceso de investigación y desarrollo de la tesis se reflejan directamente en el documento final, lo que implica que la formalización de un proceso estructurado para la gestión del conocimiento, como la recopilación de lecciones aprendidas o la creación de bases de datos de conocimiento, no aportaría un valor significativo. Adicionalmente, al ser un trabajo académico centrado en un único autor, la creación de plataformas o mecanismos de almacenamiento y distribución de conocimiento resulta innecesaria, dado que el conocimiento generado ya está implícito y será transferido a través de la presentación y defensa de este trabajo final.

4.3.7 Monitorear y controlar el trabajo del proyecto

Este proceso se consiste en la realización del seguimiento, la revisión y la regulación del avance del proyecto con el fin de cumplir con los objetivos definidos en el plan para la dirección del proyecto. Este proceso permite identificar desviaciones respecto a la planificación, evaluar el desempeño real frente al planificado, y proponer acciones correctivas o preventivas que aseguren el cumplimiento de los entregables y metas del proyecto. Se trata de un proceso continuo que se

lleva a cabo durante todo el ciclo de vida del proyecto y que permite mantener una visión integral del progreso de este (Project Management Institute., 2017).

Figura 23. Diagrama del monitoreo y control del trabajo del proyecto.



Tomado de Project Management Institute (Project Management Institute., 2017).

4.3.7.1 Entradas del monitoreo y control del trabajo del proyecto. para estructurar adecuadamente este ítem, se requiere el plan para la dirección del proyecto dado en 4.3.2, la información del cronograma encontrado en 4.5.5 así como los costos encontrados en 4.6.2.

4.3.7.2 Herramientas del monitoreo y control del trabajo del proyecto. para el desarrollo de este numeral, se aplicó el juicio de expertos y el análisis de los datos como lo es el valor ganado. También se realiza constantes reuniones con el asesor externo y el director de tesis.

4.3.7.3 Salidas del monitoreo y control del trabajo del proyecto. como salidas se presentan solicitudes de cambio así como actualizaciones al plan de proyecto y a los documentos internos como son costos, riesgos, entre otros.

4.3.8 Resultado del monitoreo y control del trabajo del proyecto

Como resultado de este proceso, se aplicó el proceso de monitoreo y control integrado para garantizar que cualquier modificación al alcance, cronograma o entregables fuese debidamente evaluada, documentada y aprobada. Este control fue necesario para mantener la coherencia entre los objetivos planteados y los productos generados durante la fase de desarrollo.

Se realizó un seguimiento continuo a las actividades programadas, y se documentaron todas las solicitudes de cambio recibidas. En total, se presentaron seis (6) solicitudes de cambio, de las cuales cinco fueron de tipo menor y no afectaron el cronograma del proyecto. La única modificación significativa correspondió al cambio N° 6, relacionado con el ajuste metodológico para tener coherencia entre los capítulos y los resultados obtenidos. Esta solicitud fue evaluada por el autor y el asesor de tesis, y se concluyó que su implementación mejoraría la calidad técnica del trabajo sin generar retrasos, por lo cual fue aprobada e implementada en tiempo.

En cuanto al control de cambios, mostrado en la Tabla 38, se documentaron los ajustes realizados a lo largo del desarrollo del estudio que incluía un análisis más detallado sobre el CAPEX y el OPEX del proyecto así como mejoras en los análisis financieros, también se consideró el análisis de otras fuentes como la hidráulica y la biomasa. Estos cambios fueron evaluados en términos de impacto técnico y justificados adecuadamente en los capítulos correspondientes.

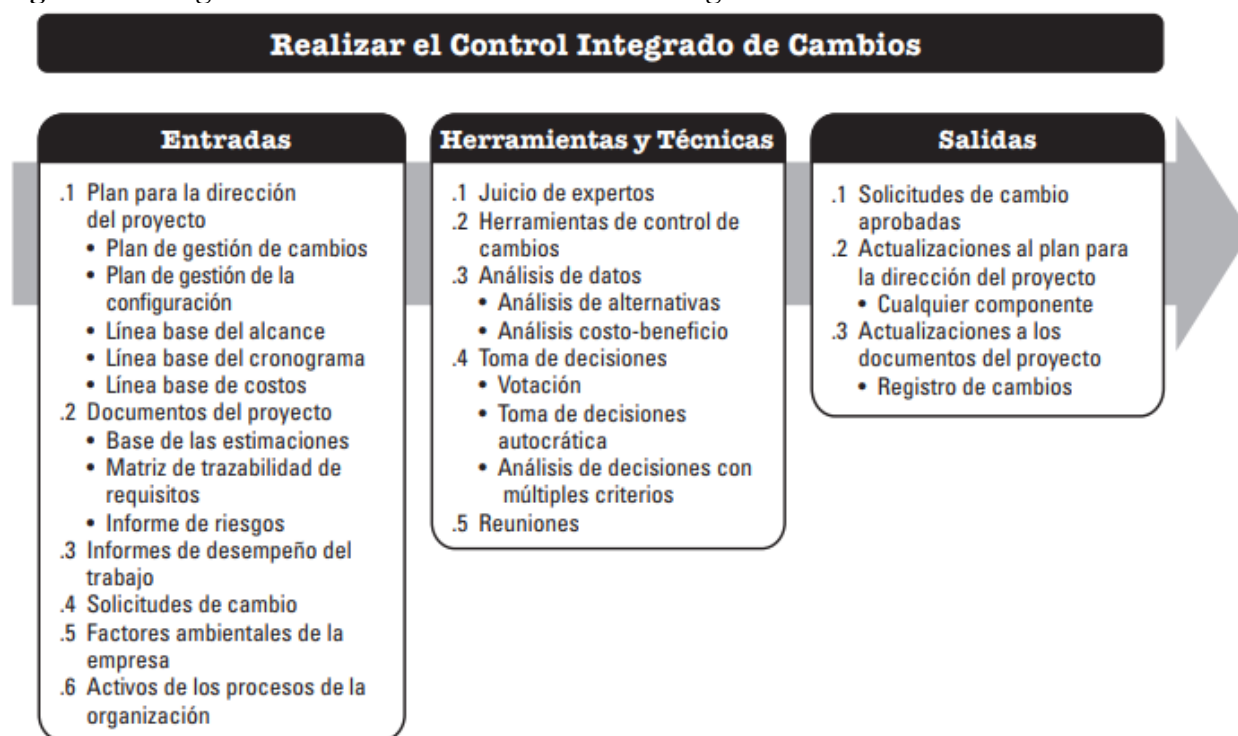
Tabla 38. *Control de cambios del trabajo.*

<i>Nº</i>	<i>Fecha</i>	<i>Solicitud por</i>	<i>Descripción del Cambio</i>	<i>Justificación</i>	<i>Responsable</i>
1	25/03/2025	Asesor externo	Ampliación del análisis técnico con estudios hidráulicos y de biomasa	Complementa la información de los generadores renovables	Autor del proyecto
2	10/03/2025	Director de tesis	análisis de los costos asociados a cada proceso	Se amplía el análisis de costos del proyecto	Autor del proyecto
3	8/04/2025	Director de tesis	Ampliación del análisis de CAPEX y OPEX para complementar el análisis financiero	Se mejora el análisis financiero complementando información relevante	Autor del proyecto
4	10/04/2025	Asesor interno	Usar la metodología económica a análisis de VPN y TIR	Se considera mejor indicador para presentar el proyecto	Autor del proyecto

Adicionalmente, en la Tabla 39 se presenta el análisis de valor ganado del proyecto, el cual permite evaluar el desempeño en costo y cronograma. Dado que todas las actividades han alcanzado un 100% de ejecución, se observa que el Índice de Desempeño del Cronograma (SPI) es igual a 1.00 en todos los casos. Sin embargo, las variaciones en el Índice de Desempeño de Costo (CPI) reflejan diferencias en la eficiencia del uso de recursos por actividad, destacándose las actividades de gestión de alcance, gestión de integración y viabilidad social como las más eficientes en términos de costos.

4.3.9 Realizar el control integrado de cambios

El proceso de realizar el control integrado de cambios consiste en revisar todas las solicitudes de modificación al proyecto, aprobarlas o rechazarlas, y asegurarse de que los cambios aprobados se implementen adecuadamente. Este proceso permite mantener la coherencia del plan para la dirección del proyecto y sus componentes, garantizando que las alteraciones no afecten negativamente el desempeño global del mismo. En el contexto de esta tesis, este proceso fue clave para conservar la alineación entre los objetivos técnicos, económicos y sociales establecidos para la implementación de la microrred (Project Managment Institute., 2017).

Figura 24. Diagrama de la realización del control integrado de cambios.

Tomado de Project Management Institute (Project Management Institute., 2017).

4.3.9.1 Entradas de la realización del control integrado de cambios. para estructurar adecuadamente este ítem, se requiere el plan para la dirección del proyecto dado en 4.3.2, la información del cronograma encontrado en 4.5.5 así como los costos encontrados en 4.6.2. también se requiere la línea base del alcance dado en 4.4 y el de costos dado en 4.5.6. También se relaciona las solicitudes de cambio solicitadas en la realización del trabajo.

4.3.9.2 Herramientas de la realización del control integrado de cambios. para el desarrollo de este numeral, se aplicó el juicio de experto con el asesor externo, así como información de proyectos similares. Adicionalmente se realizaron reuniones periódicas para determinar los ajustes necesarios.

4.3.9.3 Salidas de la realización del control integrado de cambios. como salidas se genera el registro de cambios, que documenta todas las modificaciones solicitadas, sus justificaciones y su estado de aprobación. También se actualizaron las líneas base del proyecto únicamente en los casos donde fue necesario, manteniendo la trazabilidad de las decisiones.

4.3.10 Resultado de la realización del control integrado de cambios

Durante el desarrollo de este proyecto de tesis, el proceso de control integrado de cambios se ejecutó de manera sencilla y efectiva, dado que la naturaleza del trabajo no presentó una alta complejidad ni una gran cantidad de modificaciones. Las pocas solicitudes de cambio que surgieron estuvieron relacionadas principalmente con ajustes menores y en la redacción de algunos entregables.

Estos cambios fueron evaluados y aprobados en reuniones periódicas con los asesores del trabajo, lo cual permitió mantener la coherencia y trazabilidad de las decisiones sin afectar significativamente el desarrollo del proyecto. En todos los casos, se documentaron las modificaciones en un registro de cambios que incluye la descripción del cambio, su justificación indicada en la Tabla 38

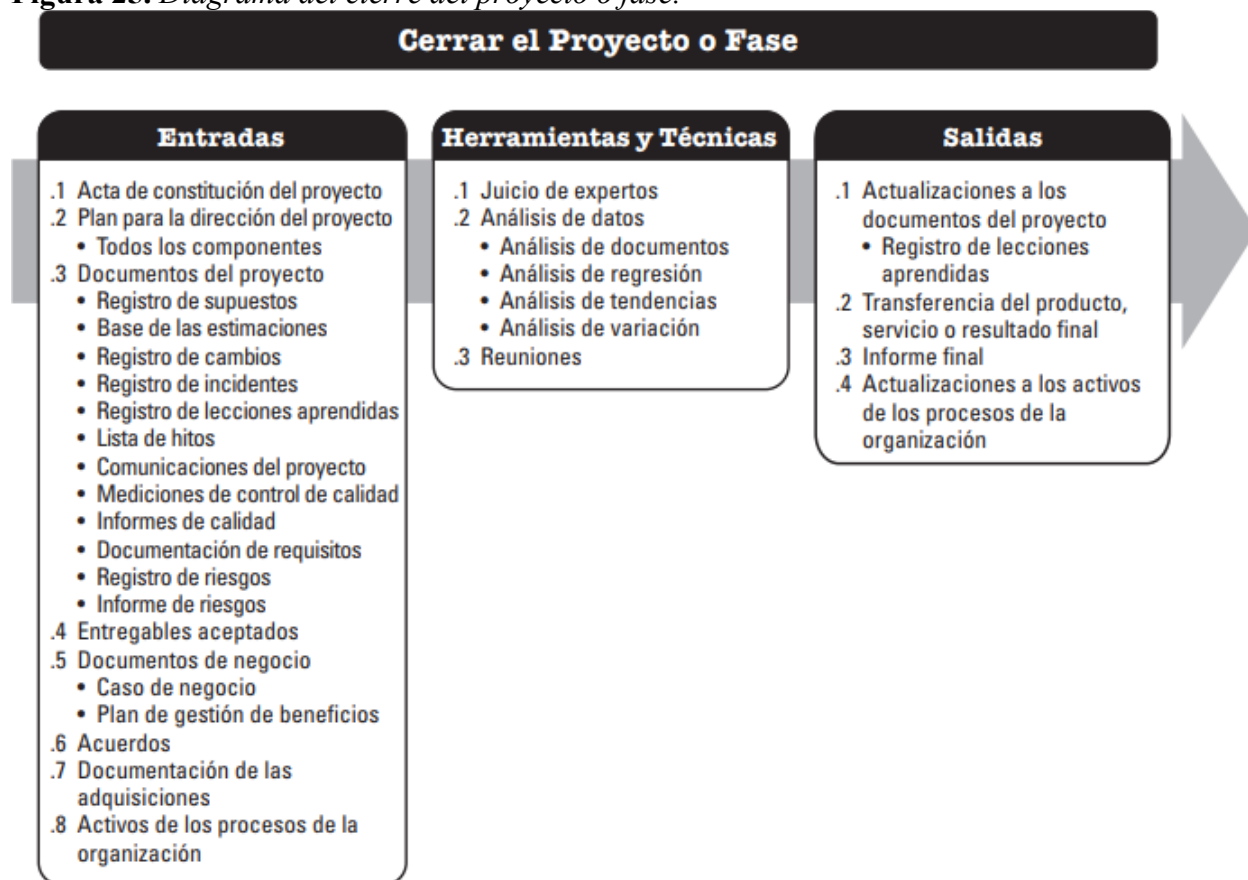
Se concluye, entonces, que el proceso de control de cambios fue gestionado adecuadamente y no representó un riesgo para el cumplimiento de los objetivos del proyecto.

4.3.11 Cerrar el proyecto o fase

Este proceso tiene como objetivo formalizar la aceptación de los entregables y cerrar todos los contratos, archivos y componentes administrativos relacionados al proyecto. Se aplica una vez se ha confirmado que todos los objetivos definidos fueron cumplidos y que no quedan entregables pendientes. En el caso de este proyecto de tesis, este proceso se enfoca en la consolidación de

resultados, validación académica, y cierre técnico de las actividades de factibilidad (Project Managment Institute., 2017).

Figura 25. Diagrama del cierre del proyecto o fase.



Tomado de Project Management Institute (Project Managment Institute., 2017).

4.3.11.1 Entradas del cierre del proyecto o fase. para ejecutar este ítem, se requiere el acta de constitución del proyecto en el ítem 4.3.1, el plan para la dirección del proyecto dado en 4.3.2, los entregables de cada proceso dado desde 4.4 hasta 4.12. También se relaciona la aceptación por parte del director de tesis y de la universidad.

4.3.11.2 Herramientas del cierre del proyecto o fase. para el desarrollo de este numeral, se aplicó el juicio de experto con el asesor externo, así como las recomendaciones del

director de tesis para complementar correctamente el documento. También se realizó análisis de documentos para garantizar que se cumplieron los objetivos.

4.3.11.3 Salidas del cierre del proyecto o fase. como salidas se tienen la actualización del documento del proyecto, así como el informe final del mismo donde se garantiza el cumplimiento de los objetivos y que la tesis se encuentra alineada a las recomendaciones del PMI.

4.3.12 Resultado del cierre del proyecto

Para el cierre formal del proyecto de tesis titulado “Estudio de factibilidad para la implementación de una microrred en el corregimiento de El Hatico, La Guajira”, se consolidaron los entregables definidos desde la planificación. Dentro de la tesis se incluye, no solo el análisis de cada uno de los entregables sino también los resultados del análisis de factibilidad con sus componentes técnicos, económicos y sociales, así como los planes de gestión elaborados según la *Guía del PMBOK* ®.

Garantizando que los entregables se encuentran dentro de los lineamientos de alcance, costo y tiempo, de acuerdo con lo definido en la triple restricción en el numeral 4.1; se hace uso de la herramienta de valor ganado indicada en la Tabla 52. Dado que el proyecto es de baja complejidad, se presenta un resumen en la Tabla 39.

Tabla 39. *Análisis de valor ganado del proyecto.*

Ítem	Porcentaje Ejecutado (%E)	Medidas de desempeño			Medidas de variación		Medidas de desempeño		Valor Relativo
		Valor Planificado (PV)	Costo Real (AC)	Valor Ganado (EV)	Variación del costo (CV)	Variación del Cronograma (SV)	Índice de desempeño del Presupuesto (CPI)	Índice de desempeño del Cronograma (SPI)	
							EV=%E × PV	CV=EV - AC	
1.1. Plan de gestión de la integración	100%	\$ 82,800	\$ 62,400	\$ 82,800	\$20,400	\$ -	1.33	1.00	25%
1.2. Plan de gestión del alcance	100%	\$ 72,600	\$ 52,200	\$ 72,600	\$20,400	\$ -	1.39	1.00	28%
1.3. Plan de gestión del cronograma	100%	\$ 72,600	\$ 62,400	\$ 72,600	\$10,200	\$ -	1.16	1.00	14%
1.4. Plan de gestión de los costos	100%	\$ 93,000	\$ 72,600	\$ 93,000	\$20,400	\$ -	1.28	1.00	22%
1.5. Plan de gestión de la calidad	100%	\$ 144,000	\$ 113,400	\$ 144,000	\$30,600	\$ -	1.27	1.00	21%
1.6. Plan de gestión de los recursos	100%	\$ 123,600	\$ 113,400	\$ 123,600	\$10,200	\$ -	1.09	1.00	8%
1.7. Plan de gestión de comunicaciones	100%	\$ 82,800	\$ 72,600	\$ 82,800	\$10,200	\$ -	1.14	1.00	12%
1.8. Plan de gestión del riesgo	100%	\$ 195,000	\$ 184,800	\$ 195,000	\$10,200	\$ -	1.06	1.00	5%
1.9. Plan de gestión de adquisiciones	100%	\$ 82,800	\$ 72,600	\$ 82,800	\$10,200	\$ -	1.14	1.00	12%
1.10. Plan de gestión de los interesados	100%	\$ 103,200	\$ 93,000	\$ 103,200	\$10,200	\$ -	1.11	1.00	10%
2.1. Conclusiones de viabilidad técnica	100%	\$ 276,600	\$ 276,600	\$ 276,600	\$ -	\$ -	1.00	1.00	0%
2.2. Conclusiones viabilidad económica	100%	\$ 492,000	\$ 400,200	\$ 492,000	\$91,800	\$ -	1.23	1.00	19%
2.3. Conclusiones viabilidad social	100%	\$ 205,200	\$ 144,000	\$ 205,200	\$61,200	\$ -	1.43	1.00	30%

Los entregables fueron validados mediante revisiones periódicas con el director de tesis y el informe final fue evaluado por los jurados calificadores, quienes autorizaron el cierre del proyecto tras constatar el cumplimiento de los objetivos definidos. No se identificaron entregables pendientes ni desviaciones mayores en los tiempos de ejecución ni en el alcance del proyecto. El ahorro presentado en los entregables, de acuerdo con el CPI, se da debido a que inicialmente se había planificado el apoyo de un analista financiero, sin embargo, su participación no fue necesaria. Además, las horas contempladas para el asesor externo fueron menores a las previstas, ya que la información técnica estaba completa y clara, lo que permitió avanzar con mayor eficiencia en el desarrollo del trabajo.

El cierre es formalizado mediante acta interna de la institución dando aval al trabajo de grado y el visto bueno de los calificadores.

4.3.13 Costos de la gestión de la integración

Para garantizar el correcto desarrollo de la gestión, se consideran los costos asociados de acuerdo con el tiempo dedicado por cada persona a éste y los recursos físicos necesarios para cumplir con lo indicado en la gestión. Se presenta la Tabla 40 con la información de costos

Tabla 40. *Costo de la gestión de la integración.*

<i>Estimación presupuestal personal proyecto (Gestión Integración)</i>			
<i>Responsable</i>	<i>Total Horas de Trabajo</i>	<i>Costo por Hora de Trabajo</i>	<i>Costo Total</i>
Director de Proyectos	1	\$ 21,600	\$ 21,600
Ingeniero Electricista	5	\$ 10,200	\$ 51,000
Ingeniero Civil	1	\$ 10,200	\$ 10,200
<i>Subtotal Personal Gestión Integración</i>			<i>\$ 82,800</i>

4.4 Gestión del alcance del proyecto

En este ítem se relacionan todos con aquellos elementos que aseguran que el proyecto incluya, únicamente, el trabajo necesario para cumplir con los objetivos propuestos. Este proceso se desarrolla con la recopilación de requisitos, en la cual se identifican las necesidades de las partes interesadas y, a partir de estos requisitos, definir y documenta el alcance del proyecto. El principal objetivo de esta fase es evitar desviaciones en los entregables y asegurar que el trabajo esté alineado con los objetivos estratégicos del proyecto (Project Managment Institute., 2017).

Tabla 41. Grupo de procesos para la gestión del alcance según la Guía del PMBOK®.

Áreas de Conocimiento	Grupos de Procesos de la Dirección de Proyectos	
	Grupo de Procesos de Inicio	Grupo de Procesos de Planificación
5. Gestión del Alcance del Proyecto.		5.1 Planificar la Gestión del Alcance
		5.2 Recopilar Requisitos
		5.3 Definir el Alcance
		5.4 Crear la EDT/WBS

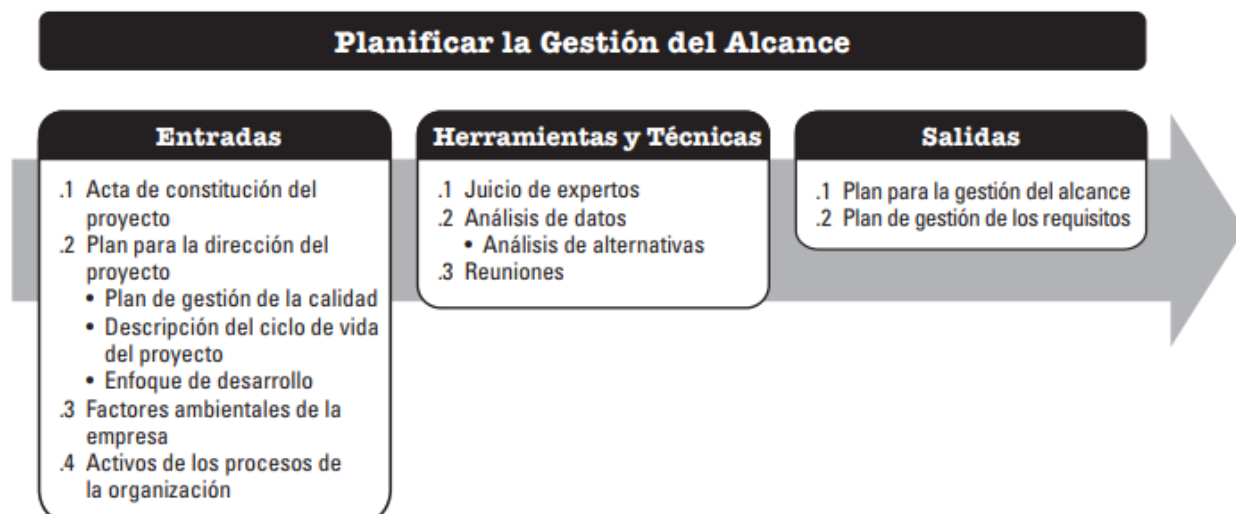
Tomado de Project Managment Institute (Project Managment Institute., 2017).

Aquí se incluye la creación de una estructura de desglose del trabajo (WBS, por sus siglas en inglés) que subdivide el proyecto en tareas más manejables y facilitando la planificación y control del progreso. Adicionalmente, a través del control de cambios del alcance, se garantiza que cualquier modificación sea evaluada y aprobada adecuadamente; evitando sobrecargas de trabajo que puedan afectar el cronograma y los costos del proyecto. De esta manera, se asegura que el proyecto se mantenga dentro de los límites establecidos, maximizando el uso de recursos y reduciendo riesgos, garantizando que los resultados finales satisfagan las expectativas de los interesados y cumplan con los objetivos (Project Managment Institute., 2017).

4.4.1 Planificar la gestión del alcance de proyecto

Este apartado relaciona un proceso en la gestión de proyectos que establece cómo se definirá, validará y controlará el alcance del proyecto a lo largo de su ciclo de vida. También busca garantizar que el proyecto incluya todo el trabajo necesario para completarlo exitosamente, sin incorporar actividades innecesarias, así como la creación de una estructura detallada que describa los entregables, los requisitos del proyecto, y los criterios de aceptación permitiendo establecer, de forma clara, las expectativas y los límites del proyecto. Un alcance bien definido, y gestionado, ayuda a evitar desviaciones y reduce el riesgo de cambios no controlados facilitando el control de los costos y los plazos (Project Management Institute., 2017).

Figura 26. Diagrama de la planificación de la gestión del alcance.



Tomado de Project Management Institute (Project Management Institute., 2017).

4.4.1.1 Entradas planificación de la gestión del alcance del proyecto. para estructurar adecuadamente el plan de gestión del alcance, se requiere el acta de constitución del proyecto indicado en el numeral 4.3.1 de este documento, así como el plan para la dirección del

proyecto dado en 4.3.2. Estos componentes proporcionan lineamientos esenciales para la planificación del alcance.

4.4.1.2 Herramientas planificación de la gestión del alcance del proyecto. para el desarrollo de este ítem, se consideró principalmente el juicio de expertos, como lo fue el asesor de tesis y el asesor externo mediante reuniones periódicas. De esta forma se pudo definir el alcance del este trabajo considerando los diferentes objetivos, las limitaciones con las que se cuenta y los entregables definidos en los procesos iniciales de desarrollo del trabajo.

4.4.1.3 Salidas planificación de la gestión del alcance del proyecto. como resultado de este proceso se obtiene el plan de gestión del alcance, este documento detalla cómo se definirá, verificará y controlará el alcance del proyecto incluyendo cómo se gestionarán los cambios de este. También se genera el plan de gestión de los requisitos, el cual describe cómo se recopilarán, analizarán, documentarán y gestionarán los requisitos del proyecto. Con estas salidas se tienen los insumos esenciales para procesos posteriores como lo es la creación de la EDT y el control del alcance. En la Tabla 42 se presenta el plan de gestión del alcance para este proyecto.

Tabla 42. *Plan de gestión del alcance.*

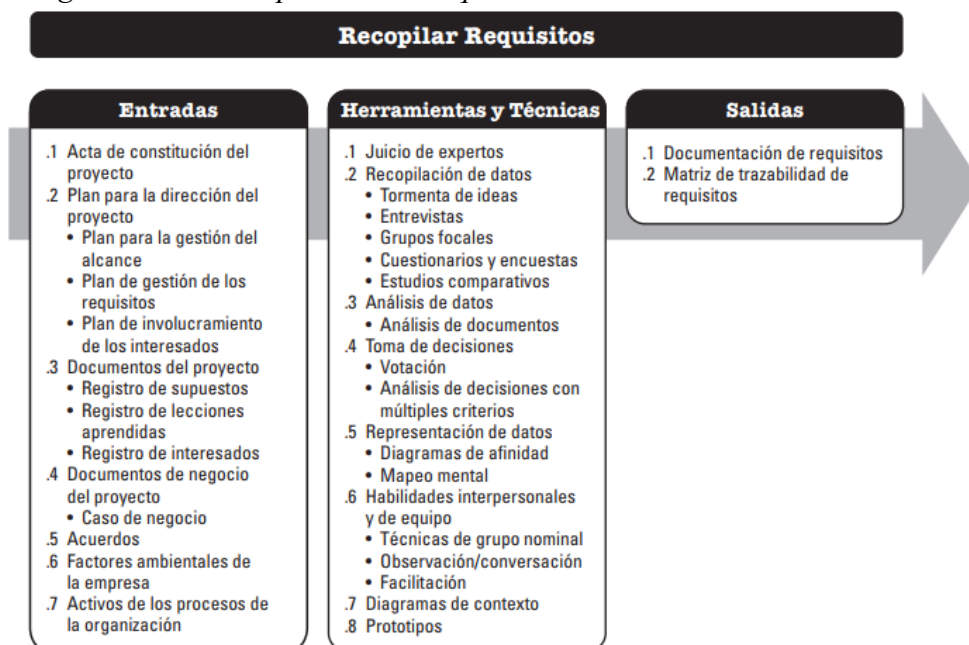
<i>Plan de gestión del alcance</i>	
<i>Propósito</i>	Establecer cómo se definirá, validará y controlará el alcance del proyecto, garantizando que el trabajo a realizar esté alineado con los objetivos del estudio de factibilidad y las expectativas de las partes interesadas, evitando desviaciones o incrementos no autorizados.
<i>Metodología</i>	La definición y control del alcance del proyecto se ejecutará mediante los siguientes procesos: • Revisión del acta de constitución y recopilación de requisitos. • Elaboración del enunciado del alcance. • Desarrollo de la Estructura de Desglose del Trabajo (EDT). • Validación de entregables con los interesados. • Control del alcance a través de procedimientos formales de cambio.
<i>Enunciado</i>	Para definir el alcance se debe considerar el objetivo de este proyecto, el cual consiste en la formulación de un estudio de factibilidad con enfoque PMI para la implementación de una

<i>Plan de gestión del alcance</i>	
	microrred eléctrica en el corregimiento de El Hatío, ubicado en el departamento de La Guajira, Colombia. El estudio se desarrollará alrededor de la identificación de los requerimientos técnicos, económicos y sociales necesarios para la instalación de la microrred. Para lograrlo, se evaluarán factores clave como la densidad de población, la disponibilidad de recursos naturales y las necesidades energéticas de la comunidad. Asimismo, se incluirá un análisis comparativo de las diferentes tecnologías disponibles para seleccionar aquellas que ofrezcan la mejor relación entre eficiencia, sostenibilidad y aplicabilidad a las condiciones locales. También se evaluarán los costos administrativos, operativos y de mantenimiento (AOM) con el fin de determinar la viabilidad económica del sistema, considerando la infraestructura actual y la demanda energética proyectada. Finalmente, se elaborará un informe técnico con conclusiones y recomendaciones que facilite la toma de decisiones por parte de las autoridades y actores clave. Nota: En caso de modificarse el alcance, se deberá replantear el proyecto desde su fase inicial, dado que el análisis realizado está vinculado con condiciones técnicas, sociales y económicas específicas. Todo cambio deberá documentarse en los formatos de control y ser aprobado por los interesados formales del proyecto.
<i>Roles y responsabilidades</i>	• Director del proyecto: Responsable de validar, comunicar y controlar el alcance. • Equipo técnico: Responsable de identificar entregables y requisitos técnicos. • Consultores expertos: Apoyo en la elaboración del documento y análisis económico. • Partes interesadas: Revisión, validación y aprobación de entregables.
<i>Criterios de aceptación.</i>	Los entregables se considerarán aceptados si: • Están completos y alineados con los objetivos. • El estudio cumple con la metodología PMI. • Cumplen los requisitos técnicos, sociales y legales definidos. • Están documentados en el informe final del estudio. • Hay viabilidad del proyecto mediante indicadores financieros positivos ($TIR > 0$ y $VPN > 0$) • Han sido validados por los interesados clave mediante actas de aceptación.
<i>Estructura de Desglose del Trabajo (EDT)</i>	La EDT se estructurará de forma jerárquica, descomponiendo el proyecto en entregables y paquetes de trabajo. Se elaborará en conjunto con el equipo técnico y se validará con los interesados. Cualquier modificación a la EDT requerirá aprobación formal.
<i>Procedimientos para el control de cambios</i>	• Toda solicitud de cambio será registrada como nueva versión del documento. • El director del proyecto evaluará impacto técnico, económico y de cronograma. • Los cambios serán aprobados por el comité del proyecto y actualizados en los documentos correspondientes.
<i>Herramientas y documentos de soporte</i>	• Plantillas para la documentación. • Software de gestión de proyectos como MS Project y Excel.
<i>Indicadores de desempeño del alcance</i>	• Número de entregables completados y aprobados. • Número de observaciones cumplidas y aprobadas. • Grado de alineación entre los entregables y los requisitos identificados.

4.4.2 Recopilar los requisitos

El proceso de recopilación de requisitos consiste en identificar, documentar y gestionar las necesidades y expectativas de los interesados respecto al proyecto, sirviendo como base para la definición del alcance (Project Managment Institute., 2017). En el caso del estudio de factibilidad para la implementación de una microred eléctrica en el corregimiento de El Hatico, este proceso es esencial para garantizar que la solución propuesta responda a las condiciones reales de la comunidad, considerando aspectos técnicos, sociales y económicos. La información recopilada permitirá estructurar de manera coherente los entregables del proyecto y facilitará su validación por parte de los actores clave.

Figura 27. Diagrama de la recopilación de requisitos.



Tomado de Project Managment Institute (Project Managment Institute., 2017).

4.4.2.1 Entradas recopilar requisitos. las principales entradas para este proceso

incluyen el acta de constitución del proyecto en el numeral 4.3.1 y el plan para la dirección del

proyecto en 4.3.2, adicionalmente se usan los registros de supuestos que se encuentran en la Tabla 36, se considera también el caso de negocio dado en 1.1. Con esta información se puede determinar los requisitos del proyecto.

4.4.2.2 Herramientas recopilar requisitos. para el desarrollo de este ítem, se consideró principalmente el juicio de expertos, como lo fue el asesor de tesis y el asesor externo mediante reuniones periódicas. Adicionalmente se consideró el análisis de documentos normativos y técnicos, los cuales permitirían identificar de forma integral los requisitos funcionales y no funcionales del proyecto teniendo en consideración las condiciones locales, los criterios regulatorios y de sostenibilidad requeridos para la implementación de la microred eléctrica.

4.4.2.3 Salidas recopilar requisitos. como resultado se obtiene la documentación de requisitos la cual detalla las necesidades técnicas, sociales, económicas y normativas asociadas al proyecto. Adicionalmente, se genera la matriz de trazabilidad de requisitos, la cual establece una relación estructurada entre cada requisito identificado y los entregables del proyecto para asegurar su seguimiento, validación y control a lo largo del ciclo de vida del estudio. En la Tabla 43 se presenta el plan de requisitos como entregable de este ítem.

Tabla 43. *Plan de requisitos del proyecto.*

<i>Referencia</i>	<i>ID</i>	<i>Requisito</i>
1. Requisitos del negocio	RQ-B01	Evaluar la viabilidad de mejorar el acceso a energía eléctrica confiable en la comunidad rural del corregimiento de El Hatiko mediante una microred.
	RQ-B02	Analizar cómo una solución energética sostenible podría contribuir al desarrollo social, económico y ambiental de la región.
	RQ-B03	Verificar que el estudio esté alineado con los lineamientos del PND 2022–2026 sobre cobertura energética en zonas no interconectadas.
2. Requisitos de los interesados	RQ-I01	Considerar en el análisis de factibilidad las percepciones sociales y culturales del pueblo Wayuu como parte de la aceptación de proyectos energéticos.
	RQ-I02	Justificar técnicamente el uso de recursos energéticos disponibles.

<i>Referencia</i>	<i>ID</i>	<i>Requisito</i>
3. Requisitos funcionales	RQ-F01	La solución propuesta debe estar dimensionada para suministrar energía al menos 5 horas al día, de acuerdo con los datos de consumo y eficiencia del sistema.
	RQ-F02	El sistema debe cubrir una demanda estimada de 1.54 kWh/día por hogar, según los datos obtenidos de la caracterización.
	RQ-F03	Se debe incluir en el diseño capacidad de almacenamiento que garantice autonomía energética mínima para el consumo diario.
4. Requisitos no funcionales	RQ-NF01	Los componentes seleccionados deben tener una vida útil mínima de 10 a 30 años, según especificaciones del fabricante y condiciones de uso.
	RQ-NF02	El sistema debe estar diseñado como autónomo, sin necesidad de conexión al Sistema Interconectado Nacional.
5. Requisitos técnicos	RQ-T01	Seleccionar paneles solares con eficiencia mayor al 18%, de acuerdo con estándares del mercado y justificación técnica.
	RQ-T02	Asegurar que el cableado y la distribución estén especificados conforme al Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE).
6. Requisitos normativos y legales	RQ-L01	Confirmar que la propuesta se ajusta a lo dispuesto en la Ley 1715 de 2014 y sus decretos reglamentarios.
	RQ-L02	Incorporar los lineamientos normativos relevantes como el Decreto 1073 de 2015 y las Resoluciones CREG vigentes aplicables a ZNI.
7. Requisitos de calidad	RQ-Q01	El sistema debe mantener una variación de voltaje inferior a $\pm 10\%$ respecto a su nivel nominal, según simulaciones técnicas realizadas.
	RQ-Q02	En el análisis se debe demostrar una disponibilidad teórica del 95% o más, con base en la confiabilidad de los componentes.
8. Criterios de aceptación	CA01	El informe final de factibilidad debe integrar los análisis técnico, económico, normativo y social.
	CA02	El diseño propuesto debe considerar aspectos sociales y culturales relevantes de la comunidad Wayuu, aunque sin consulta directa.
	CA03	El análisis financiero debe demostrar viabilidad, reflejada en una TIR positiva y un VPN mayor a cero.

Para el contexto del estudio de factibilidad para la implementación de una microred eléctrica en el corregimiento de El Hatío, se presenta la matriz de trazabilidad donde se alinean los requisitos técnicos, sociales y normativos con los productos del proyecto.

Tabla 44. *Matriz de trazabilidad de requisitos.*

<i>ID Requisito</i>	<i>Descripción del Requisito</i>	<i>Entregable Asociado</i>	<i>Fase del Proyecto</i>	<i>Criterio de Aceptación</i>	<i>Responsable</i>
RQ-B01	Evaluar la viabilidad de mejorar el acceso a energía eléctrica en el corregimiento de El Hatío	Informe de factibilidad	Desarrollo del estudio	CA01, CA03	Director del proyecto

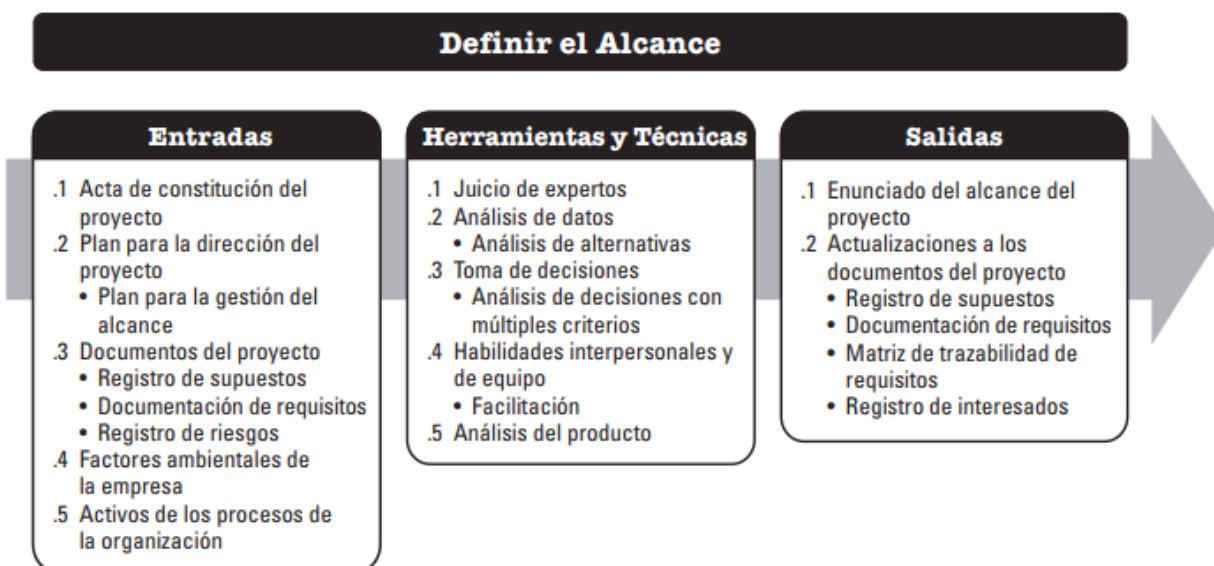
<i>ID Requisito</i>	<i>Descripción del Requisito</i>	<i>Entregable Asociado</i>	<i>Fase del Proyecto</i>	<i>Criterio de Aceptación</i>	<i>Responsable</i>
RQ-B02	Analizar el aporte al desarrollo social, económico y ambiental	Análisis de impacto social	Caracterización social	CA01	Director del proyecto
RQ-B03	Verificar alineación con el PND 2022–2026	Informe normativo y estratégico	Marco normativo	CA01	Director del proyecto
RQ-I01	Considerar la percepción cultural del pueblo Wayuu	Diagnóstico social	Caracterización social	CA02	Director del proyecto
RQ-I02	Justificar el uso de recursos locales (energía solar)	Justificación tecnológica	Diseño técnico	CA01	Ingeniero electricista
RQ-F01	Suministro energético mínimo de 5 h/día	Diseño técnico	Análisis técnico	CA03	Ingeniero electricista
RQ-F02	Cobertura mínima de 1.54 kWh/día por hogar	Cálculo de demanda energética	Análisis técnico	CA03	Ingeniero electricista
RQ-F03	Almacenamiento que garantice autonomía diaria	Selección de baterías	Diseño técnico	CA03	Ingeniero electricista
RQ-NF01	Vida útil mínima estimada entre 10 y 30 años según componente	Tabla de ciclos de vida	Estudio de viabilidad	CA01	Ingeniero civil
RQ-NF02	Sistema autónomo sin conexión al SIN	Diseño conceptual	Análisis técnico	CA03	Ingeniero electricista
RQ-T01	Uso de paneles con eficiencia $\geq 18\%$	Selección de equipos solares	Diseño técnico	CA03	Ingeniero electricista
RQ-T02	Cumplimiento del RETIE en diseño eléctrico	Especificaciones técnicas	Diseño técnico	CA03	Ingeniero electricista
RQ-L01	Cumplimiento de Ley 1715 de 2014 y Ley 2294 de 2023	Informe normativo	Revisión normativa	CA01	Director del proyecto
RQ-L02	Aplicación del Decreto 1073 de 2015 y resoluciones CREG para ZNI	Informe legal y regulatorio	Marco normativo	CA01	Director del proyecto
RQ-Q01	Variación de voltaje inferior a $\pm 10\%$	Simulación del sistema eléctrico	Diseño técnico	CA03	Ingeniero electricista
RQ-Q02	Disponibilidad teórica mínima del 95%	Estimación de confiabilidad del sistema	Estudio de viabilidad	CA03	Ingeniero electricista
CA01	Informe de factibilidad completo, técnico, legal, económico y social	Documento final	Redacción y cierre	Validación académica	Director del proyecto
CA02	Consideración de aspectos culturales y sociales relevantes de la comunidad Wayuu	Diagnóstico sociocultural	Caracterización social	Validación contextual	Director del proyecto
CA03	Viabilidad técnica y financiera (TIR positiva y VPN > 0)	Análisis financiero	Evaluación económica	Revisión financiera	Analista financiero

4.4.3 Definir el alcance

La definición del alcance permite establecer de forma clara los límites, entregables y objetivos de los proyectos. Para este caso, el alcance corresponde al desarrollo de una factibilidad

orientada a evaluar técnica, económica, social y normativamente la implementación de una microred eléctrica solar en el corregimiento de El Hatco, municipio de Fonseca, La Guajira. Es importante considerar esta delimitación ya que es un medio para garantizar que todas las actividades incluidas en el proyecto se mantengan alineadas con sus objetivos, reduciendo (o evitando) posibles desviaciones, omisiones o inclusión de tareas que no corresponden a su naturaleza (Project Management Institute., 2017).

Figura 28. *Diagrama de la definición del alcance.*



Tomado de Project Management Institute (Project Management Institute., 2017).

4.4.3.1 Entradas en la definición del alcance. para definir el alcance del proyecto se requiere información del acta de constitución en el numeral 4.3.1, el plan para la dirección del proyecto en 4.3.2 y la documentación de requisitos dada en 0. Con estas entradas podemos establecer los límites del proyecto así como identificar los entregables principales y asegurar que el trabajo a realizar esté alineado con los objetivos y necesidades previamente identificadas.

4.4.3.2 Herramientas en la definición del alcance. las herramientas utilizadas en este proceso incluyen el juicio de expertos y el análisis de los datos obtenidos previamente junto con reuniones periódicas con los interesados. De esta manera se examinaron los requisitos recopilados y traducirlos en entregables concretos para definir con claridad los límites del proyecto.

4.4.3.3 Salidas en la definición del alcance. las principales salidas de este proceso son el enunciado del alcance del proyecto, que documenta los objetivos, entregables, exclusiones y criterios de aceptación, y las actualizaciones a los documentos del proyecto como son: la documentación de requisitos y la matriz de trazabilidad. Como salida se tiene, en la Tabla 45 el enunciado del alcance del proyecto.

Tabla 45. Enunciado del alcance del proyecto.

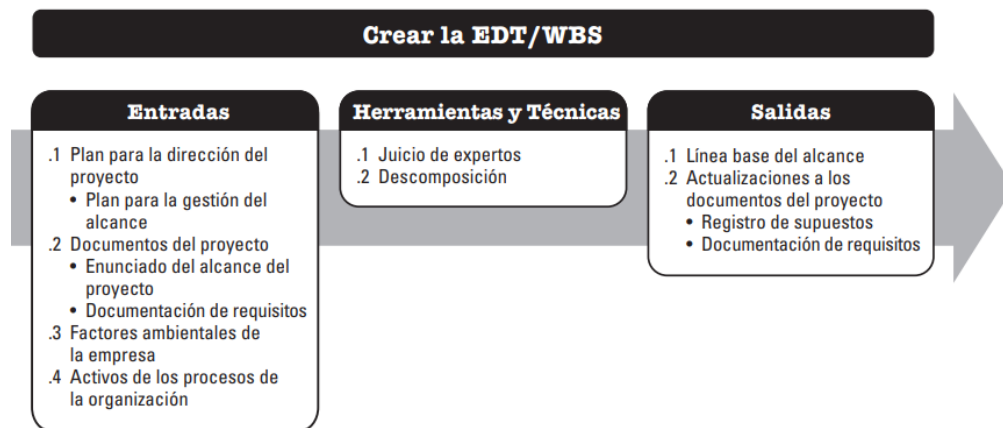
<i>Alcance del proyecto</i>	
<i>Enunciado</i>	El proyecto consiste en la formulación de un estudio de factibilidad, bajo el enfoque del Project Management Institute (PMI), para la implementación de una microred eléctrica basada en fuentes de energía renovable en la comunidad rural del corregimiento de El Hatico, ubicada en el departamento de La Guajira, Colombia. El estudio busca evaluar la viabilidad técnica, económica, legal y social de una solución energética sostenible que permita mejorar el acceso al servicio eléctrico en zonas no interconectadas.
<i>Entregables del proyecto</i>	• Diagnóstico energético y socioeconómico de la comunidad del corregimiento de El Hatico. • Análisis de demanda eléctrica. • Estudio de alternativas tecnológicas para microredes basadas en energías renovables. • Análisis económico-financiero (CAPEX, OPEX, TIR, VPN). • Evaluación de viabilidad legal y normativa (Ley 1715 de 2014 y otras regulaciones aplicables). • Recomendaciones técnicas y estratégicas para la implementación. • Informe final de factibilidad con enfoque PMI.
<i>Criterios de aceptación.</i>	Los entregables se considerarán aceptados si: • Están completos y alineados con los objetivos. • El estudio cumple con la metodología PMI. • Cumplen los requisitos técnicos, sociales y legales definidos. • Están documentados en el informe final del estudio. • Hay viabilidad del proyecto mediante indicadores financieros positivos ($TIR > 0$ y $VPN > 0$) • Han sido validados por los interesados clave mediante actas de aceptación.

<i>Alcance del proyecto</i>	
<i>Exclusiones del alcance</i>	• La ejecución física, instalación o implementación de la microred no está incluida. • No se realizará adquisición de equipos ni construcción de infraestructura. • No se incluyen estudios ambientales detallados.
<i>Restricciones</i>	• El análisis se basa en datos disponibles al momento de elaboración (2024–2025). • El estudio se limita al área geográfica del corregimiento de El Hatiko y sus condiciones demográficas y energéticas actuales. • La formulación del proyecto debe completarse dentro del período establecido por el cronograma académico.
<i>Supuestos</i>	• Se asume que la comunidad ha mantenido su estructura demográfica durante los próximos cinco años. • Se presume que la radiación solar en la región es suficiente y estable para el uso de tecnología fotovoltaica. • Se considera que existen fuentes de financiación pública o mixta para implementar el proyecto en una fase posterior.

4.4.4 Crear la EDT/WBS

La Estructura de Desglose del Trabajo (EDT o WBS de sus siglas en inglés) es una herramienta que ayuda a gestionar el proyecto ya que descompone el trabajo total, en componentes más pequeños y manejables, los cuales están organizados jerárquicamente. El objetivo de esto es definir, y organizar, el alcance del proyecto de manera clara y estructurada; de esta manera se facilita la asignación de responsabilidades, la estimación de costos y tiempos, y el control del avance (Project Managment Institute., 2017).

Figura 29. Diagrama de la creación de la EDT/WBS.



Tomado de Project Managment Institute (Project Managment Institute., 2017).

Cada nivel de la EDT detalla los entregables específicos, lo que permite una mejor planificación y seguimiento de las actividades para garantizar que todos los elementos necesarios para el éxito del proyecto estén contemplados y gestionados de forma eficaz.

4.4.4.1 Entradas en la creación del EDT. para definir la EDT del proyecto se requiere información del plan para la dirección del proyecto en 4.3.2 y la documentación de alcance dada en 0. Con estas entradas se tiene una base importante para desarrollar la Estructura de Desglose de Trabajo (EDT) considerando los entregables y como estos se descomponen en ítems de menor nivel.

4.4.4.2 Herramientas en la creación del EDT. la EDT se realizó mediante descomposición la cual permite dividir los entregables y el trabajo del proyecto en componentes más pequeños y manejables. Adicionalmente se realizó la consideración por expertos para permitir un mejor desarrollo de la EDT y, de esta manera, cumplir con los objetivos.

4.4.4.3 Salidas en la creación del EDT. las principales salidas de este proceso incluyen la Estructura de Desglose del Trabajo (EDT) y el diccionario de la EDT. En la EDT se representa gráficamente la descomposición jerárquica del trabajo del proyecto en entregables y paquetes de trabajo, mientras que el diccionario de la EDT proporciona una descripción detallada de cada componente, incluyendo su alcance, responsable, duración estimada y criterios de aceptación. Para dar entrega de este ítem, se presenta la EDT, con su respectivo diccionario, en los numerales 4.4.5 y 4.4.6 respectivamente.

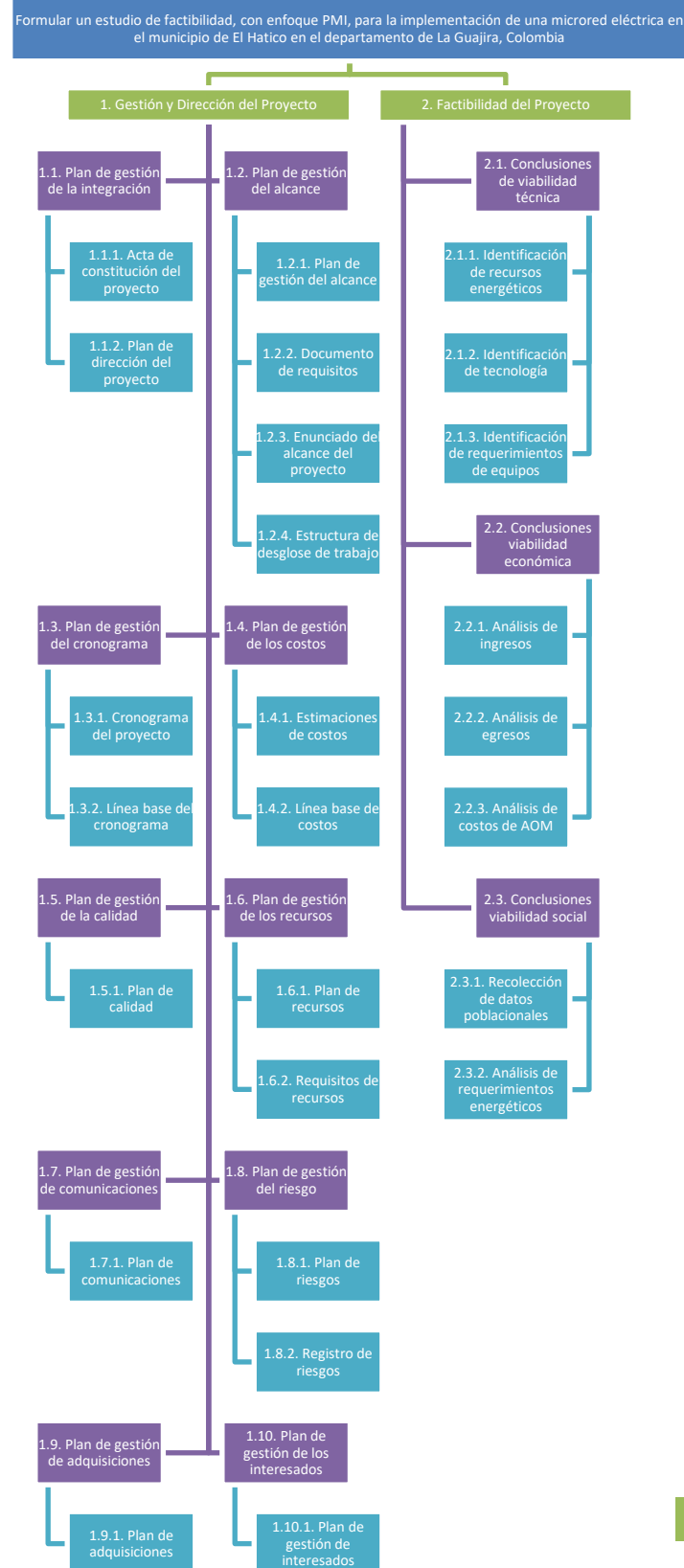
4.4.5 Esquema de Desglose de Trabajo (EDT/WBS)

La creación de la EDT se desarrolla de acuerdo con lo mostrado en la Figura 29; cada uno de los procesos abordados debe incluir la recolección de información, ya que es un recurso importante además de que, dependiendo del área de conocimiento que se aplique, esta información se utiliza para alcanzar los objetivos.

Mediante el análisis de los datos, la recopilación de información, y el desarrollo de diagramas se pueden identificar acciones específicas para la toma de decisiones; de esta forma, se consolida como la principal herramienta para formalizar la creación de la EDT.

Para el proyecto, la EDT descompondrá todas las actividades necesarias para la implementación de la microred eléctrica en el corregimiento de El Hatico, también incluirá los principales entregables, subdivididos en tareas específicas que permitirán una gestión eficaz del alcance, y facilitando, tanto la asignación de recursos, como el monitoreo y control del progreso del proyecto.

De acuerdo con lo anterior, se presenta la Estructura de Desglose de Trabajo para el proyecto en la Figura 30

Figura 30. *Desglose de la Estructura de Desglose Trabajo (EDT/WBS).*

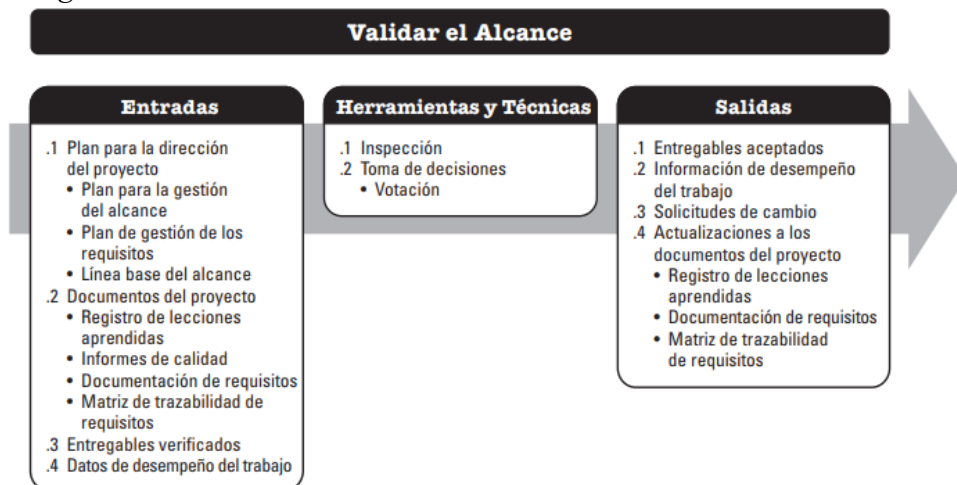
4.4.6 Creación del diccionario de la EDT

Este diccionario de la Estructura de Desglose del Trabajo (EDT) permite complementar la representación gráfica de la EDT ya que proporciona una descripción detallada de cada uno de sus componentes especificando el contenido, los entregables, los criterios de aceptación y los responsables asociados a cada paquete de trabajo para asegurar una comprensión clara y uniforme entre todos los involucrados en el desarrollo del proyecto (Project Managment Institute., 2017). En esta tesis, el diccionario de la EDT se presenta en el Apéndice A.

4.4.7 Validar el alcance

El proceso de validación del alcance consiste en la revisión formal y aceptación de los entregables del proyecto por parte del cliente o patrocinador. Esto permite asegurar que el trabajo completado cumple con los criterios establecidos en los documentos de requisitos y el enunciado del alcance del proyecto. En el contexto de esta tesis, este proceso se aplica a la validación del documento de factibilidad, y sus componentes por parte de la universidad (Project Managment Institute., 2017).

Figura 31. Diagrama de la validación del alcance.



Tomado de Project Managment Institute (Project Managment Institute., 2017).

4.4.7.1 Entradas de la validación del alcance. para la validación del alcance del proyecto se usa el plan para la dirección del proyecto del numeral 4.3.2, también se tiene el enunciado del alcance desarrollado en el numeral 4.4.3, así como los entregables completos del documento de factibilidad. Estos elementos permiten contrastar los productos del proyecto con los requisitos aprobados por los interesados principales, en este caso, el jurado evaluador de la universidad.

4.4.7.2 Herramientas de la validación del alcance. como herramienta principal se aplicó la inspección, entendiéndolo como el análisis detallado y revisión del contenido final del documento por parte del director de tesis, el asesor externo y los revisores designados. Este proceso incluye reuniones de retroalimentación y la aprobación del trabajo de grado para, de esta manera, dar por cumplidos los objetivos del proyecto.

4.4.7.3 Salidas de la validación del alcance. como resultado, este proceso genera el documento final de factibilidad técnica, económica y social, junto con los planes de gestión. También se identifican solicitudes de cambio menores, que fueron documentadas como se indicó en el numeral 4.3.7 y 4.3.9.

De esta forma, para el proyecto de tesis, la validación del alcance se realizó mediante la revisión formal del documento por parte del tutor académico, el asesor externo y el jurado asignado por la universidad, como se indicó anteriormente.

Los entregables definidos fueron evaluados en su totalidad, destacándose que todos los componentes fueron entregados según el alcance establecido, incluyendo el análisis de viabilidad técnica, económica y social, así como los planes de gestión de las diez áreas de conocimiento definidas en la *Guía del PMBOK®*. Las observaciones realizadas durante el proceso de

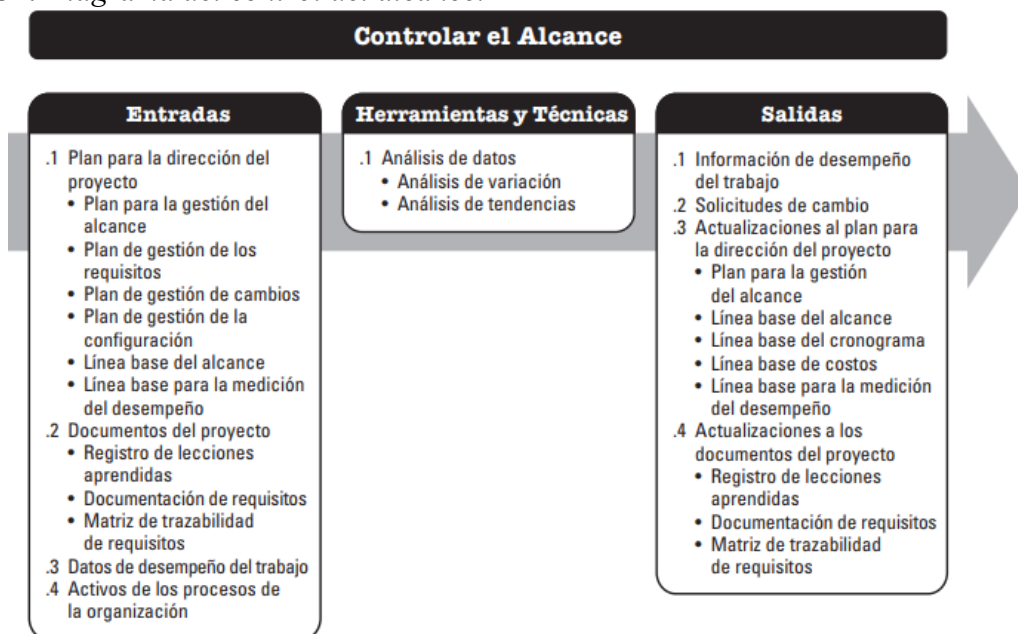
retroalimentación fueron de tipo editorial o de forma, y no implicaron cambios sustanciales en los entregables.

Como evidencia de la aceptación formal, se tiene la aceptación por parte del director de tesis, lo que permite pasar el documento a aprobación final por parte de los jurados calificadores. De esta forma se certifica que el producto entregado cumple con los criterios establecidos por la universidad, y con los objetivos planteados inicialmente.

4.4.8 Controlar el alcance

El proceso de controlar el alcance permite supervisar el estado del alcance del proyecto y del producto, y gestionar los cambios a la línea base del alcance. En el contexto de este estudio de factibilidad, este proceso es importante para asegurar que únicamente las actividades aprobadas forman parte del trabajo evitando, de esta manera, posibles desviaciones o entregables no autorizados. (Project Management Institute., 2017).

Figura 32. Diagrama del control del alcance.



Tomado de Project Management Institute (Project Management Institute., 2017).

4.4.8.1 Entradas del control del alcance. para la ejecución de este proceso se requiere el plan de dirección del proyecto en 4.3.2 y el plan de gestión del alcance en el numeral 4.4.3 los cuales proporcionan los criterios de aceptación y las limitaciones del proyecto. Adicionalmente, se utilizó la línea base del alcance como referencia de control y los informes de desempeño de trabajo generados durante la ejecución.

4.4.8.2 Herramientas del control del alcance. como herramienta se usó, principalmente, el análisis de variación, el cual permitió comparar el alcance planificado con el trabajo realmente ejecutado.

4.4.8.3 Salidas del control del alcance. como resultado de este proceso se generan los informes de control del alcance, los cuales incluyen los registros de desempeño, el estado de los entregables frente a la línea base y las recomendaciones asociadas a cambios, si aplica. Los detalles de estos resultados se desarrollan en el numeral correspondiente al cierre del control del alcance.

Durante la ejecución del proyecto, no se presentaron desviaciones significativas respecto al alcance definido inicialmente en el enunciado del alcance ni en la EDT. Todas las actividades contempladas fueron completadas según lo planificado y no se identificaron solicitudes formales de ampliación o reducción del alcance por parte de los interesados.

Dado que el trabajo fue ejecutado en su totalidad conforme a los entregables aprobados, no fue necesario realizar un control exhaustivo de cambios relacionados con el alcance. Las mínimas observaciones surgidas durante el desarrollo fueron tratadas de manera inmediata en reuniones de seguimiento, sin que implicaran impactos al alcance o requerimientos formales de ajuste.

Por tanto, no se genera una tabla de control del alcance, ya que no se registraron desviaciones ni ajustes a la línea base de alcance, evidenciando un adecuado proceso de planificación y validación previa, alineado con los objetivos del estudio de factibilidad.

4.4.9 Costos de la gestión del alcance

Para garantizar el correcto desarrollo de la gestión, se consideran los costos asociados de acuerdo con el tiempo dedicado por cada persona a éste y los recursos físicos necesarios para cumplir con lo indicado en la gestión. Se presenta la Tabla 46 con la información de costos

Tabla 46. Costo de la gestión del alcance.

<i>Estimación presupuestal personal proyecto (Gestión Alcance)</i>			
<i>Responsable</i>	<i>Total Horas de Trabajo</i>	<i>Costo por Hora de Trabajo</i>	<i>Costo Total</i>
Director de Proyectos	1	\$ 21,600	\$ 21,600
Ingeniero Electricista	4	\$ 10,200	\$ 40,800
Ingeniero Civil	1	\$ 10,200	\$ 10,200
<i>Subtotal Personal Gestión Alcance</i>			<i>\$ 72,600</i>

4.5 Gestión del cronograma del proyecto

La gestión del cronograma está relacionada con la planificación, definición y control de actividades que son necesarias para desarrollar el proyecto dentro del tiempo previsto. Se identifican las tareas principales, se estiman sus duraciones y se establecieron relaciones de dependencia entre ellas, permitiendo construir una secuencia lógica que facilite su seguimiento. En el contexto de esta tesis, la gestión del cronograma tiene un alcance limitado, ya que responde a una estructura académica con fechas definidas por la institución, pero igualmente permite organizar eficientemente el trabajo, cumplir con los entregables establecidos y garantizar la coherencia del avance frente a los objetivos planteados (Project Management Institute., 2017).

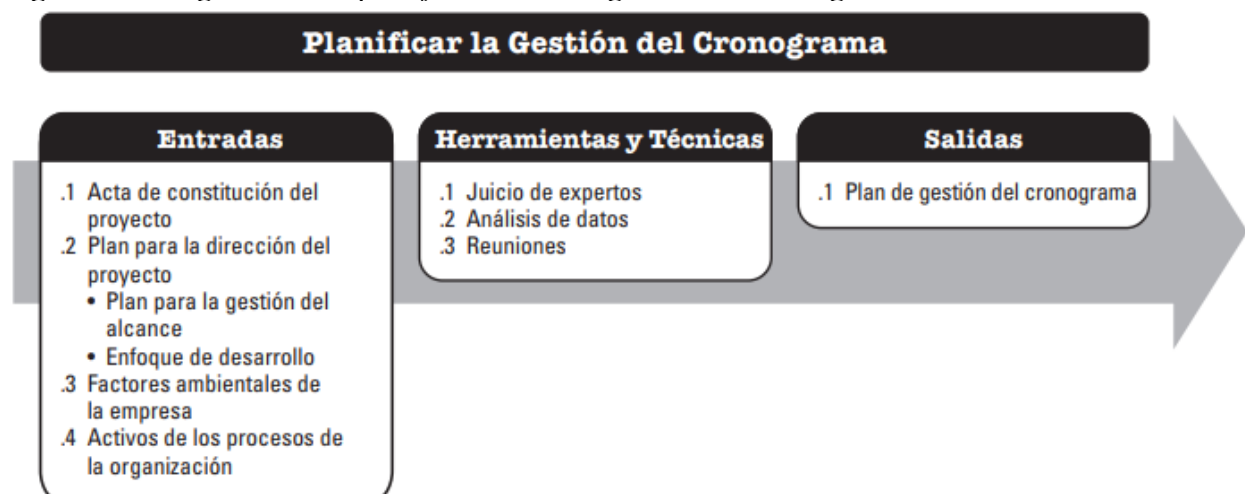
Tabla 47. Grupo de procesos para la gestión del cronograma según la Guía del PMBOK®.

Áreas de Conocimiento	Grupos de Procesos de la Dirección de Proyectos	
	Grupo de Procesos de Inicio	Grupo de Procesos de Planificación
5. Gestión del Cronograma del Proyecto.		6.1 Planificar la Gestión del Cronograma
		6.2 Definir las Actividades
		6.3 Secuenciar las Actividades
		6.4 Estimar la Duración de las Actividades
		6.5 Desarrollar el Cronograma

Tomado de Project Management Institute (Project Management Institute., 2017).

4.5.1 Planificar la gestión del cronograma para el proyecto

En la planificación del cronograma se definen los procesos, herramientas y criterios que se utilizarán para planificar, desarrollar, monitorear y controlar el cronograma del proyecto. En este trabajo de tesis esta planificación se adapta a las necesidades de un estudio académico, lo que implica identificar claramente las actividades a desarrollar, estimar su duración, establecer las dependencias lógicas y asignar los recursos de manera realista. La idea principal es asegurar que el desarrollo del estudio se mantenga dentro de los plazos establecidos por la universidad, facilitando el cumplimiento de cada uno de los entregables.

Figura 33. Diagrama de la planificación de la gestión del cronograma.

Tomado de Project Management Institute (Project Management Institute., 2017).

4.5.1.1 Entradas en la gestión del cronograma. las entradas que se requieren para planificar la gestión del cronograma son el acta de constitución del proyecto en el numeral 4.3.1 y el plan para la dirección del proyecto en 4.3.2. Con estos documentos se identifican las actividades necesarias para cumplir con los objetivos propuestos. También se consideraron las fechas límite establecidas y la disponibilidad de recursos.

4.5.1.2 Herramientas en la gestión del cronograma. las herramientas utilizadas en este proceso incluyen el juicio de expertos y el análisis de los datos obtenidos previamente junto con reuniones periódicas con los interesados. De esta manera se examinaron los requisitos recopilados y traducirlos en entregables concretos para definir con claridad los límites del proyecto.

4.5.1.3 Salidas en la gestión del cronograma. la principal salida es el plan para la gestión del cronograma, en este plan se incluye la definición de actividades, así como su secuencia, duración y responsables. Con esto se tiene una guía efectiva para organizar las tareas, así como para monitorear el avance del trabajo para asegurar una entrega oportuna del documento final.

4.5.2 Definir las actividades del cronograma

En este apartado se establecen y documentan las relaciones lógicas entre las actividades previamente definidas, con el fin de determinar el orden secuencial en que deben ejecutarse a lo largo del desarrollo del proyecto. Este proceso se basa en la dependencia natural entre tareas, especialmente aquellas que requieren la finalización de un entregable previo para dar inicio al siguiente. La secuencia propuesta toma en cuenta el flujo de trabajo académico, iniciando con la caracterización técnica y social, seguida por el análisis normativo y financiero, y concluyendo con

la redacción, revisión y entrega del documento final. Esta estructuración permite una planificación ordenada y coherente con los objetivos del estudio, facilitando la construcción de un cronograma lógico y viable.

Figura 34. *Diagrama de la definición de las actividades.*



Tomado de Project Managment Institute (Project Managment Institute., 2017).

4.5.2.1 Entradas en la definición de actividades. la entrada que se requiere para definir las actividades es el plan para la dirección del proyecto en 4.3.2. Con este documento se puede identificar las actividades, así como su descripción, enfoque y demás elementos necesarios que permitan construir el cronograma del proyecto.

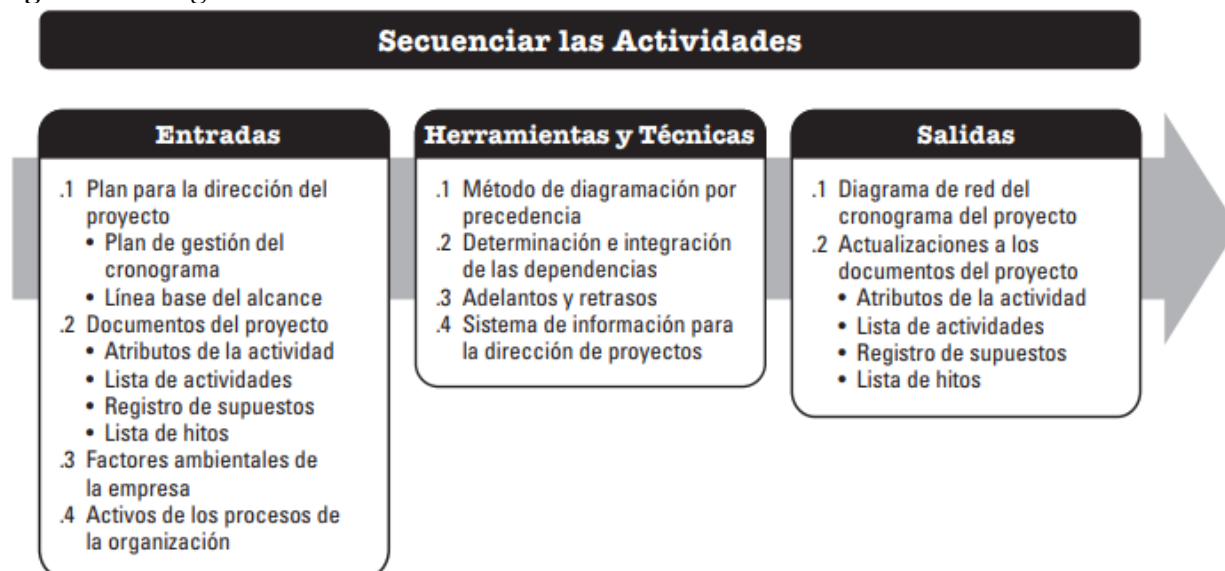
4.5.2.2 Herramientas en la definición de actividades. las herramientas utilizadas en este proceso incluyen el juicio de expertos y la descomposición de las actividades en paquetes de trabajo, permitiendo así un mejor manejo en cuanto a los resultados esperados para cada actividad. En el caso del juicio de expertos, se tomó como base la experiencia adquirida en

proyectos anteriores por parte del asesor externo y del estudiante, determinando, de manera más precisa, cada una de las actividades del cronograma.

4.5.2.3 Salidas en la definición de actividades. la salida de este proceso es la lista de actividades del proyecto en donde se detalla cada una de las tareas necesarias para completar los entregables definidos. Esta lista sirve como base para los siguientes procesos de gestión para la secuenciación, estimación de duración y desarrollo del cronograma. Adicionalmente, se elaboran los atributos de las actividades, incluyendo su identificación, responsables y condiciones de ejecución, facilitando así su seguimiento dentro del ciclo de vida del proyecto.

4.5.3 *Secuenciar las actividades*

En este apartado se establecen las relaciones lógicas entre las actividades previamente definidas, con el fin de determinar el orden en que deben ejecutarse a lo largo del desarrollo del proyecto. Este proceso se basa en la dependencia natural entre tareas, especialmente aquellas que requieren la finalización de un entregable previo para dar inicio al siguiente. Esta secuencia responde a una planificación ordenada y coherente con los objetivos del estudio para facilitar la construcción de un cronograma que sea lógico y viable, y que tome en cuenta el flujo de trabajo planeado en los objetivos, iniciando con la caracterización técnica y social, seguida por el análisis normativo y financiero, y concluyendo con la redacción, revisión y entrega del documento final.

Figura 35. *Diagrama de la secuenciación de las actividades.*

Tomado de Project Managment Institute (Project Managment Institute., 2017).

4.5.3.1 Entradas en la secuencia de las actividades. las entradas para este proceso provienen de la lista de actividades generada en el numeral 4.5.2, así como de los atributos de dichas actividades, lo que permite identificar las características, y restricciones de cada una. También se considera el enunciado del alcance en 0 y el cronograma académico, de esta manera se puede determinar las relaciones de dependencia entre tareas y organizar el trabajo de manera ordenada, y que responda a los tiempos establecidos por la institución.

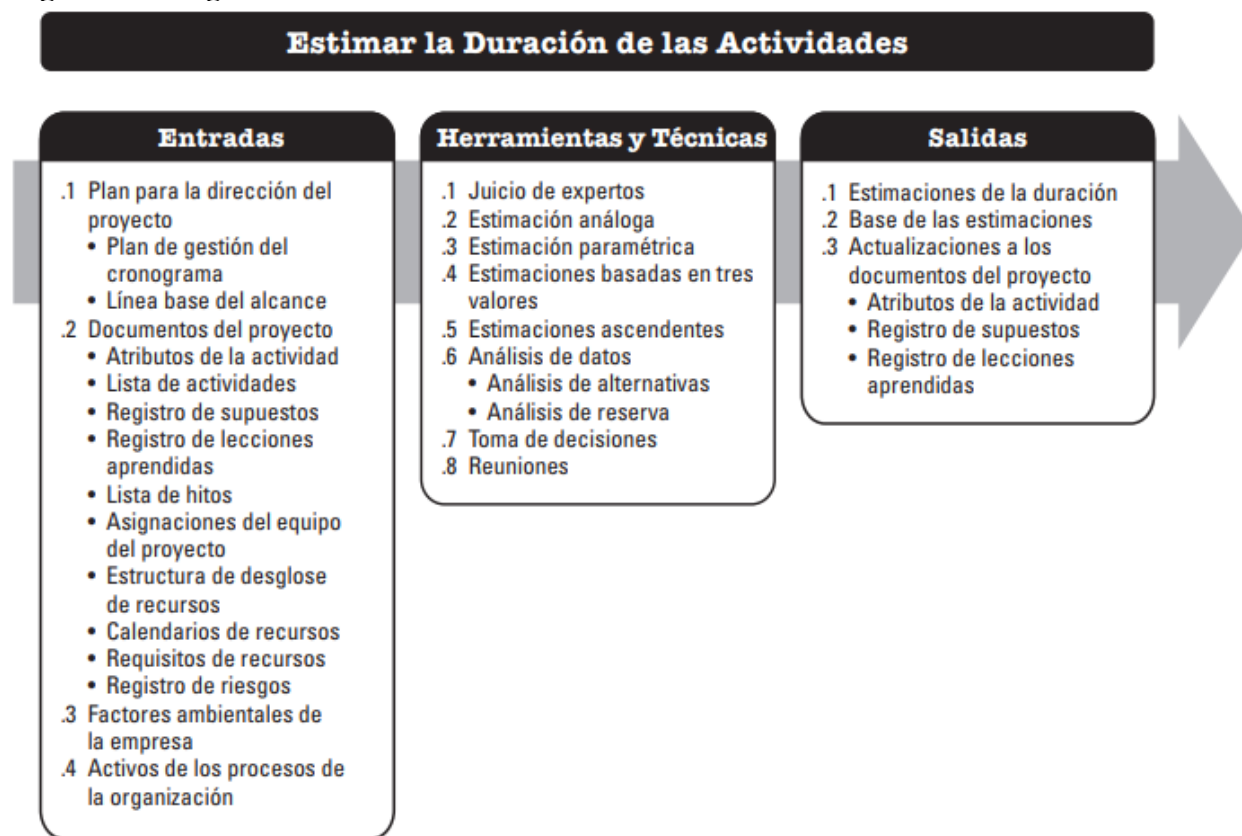
4.5.3.2 Herramientas en la secuencia de las actividades. para establecer el orden de las actividades, se empleó el método de diagramación por precedencia (PDM), esta técnica permite representar gráficamente la relación entre tareas mediante vínculos del tipo fin-inicio, inicio-inicio u otros, también facilita la construcción de un cronograma ordenado, visualizando la secuencia óptima para cumplir los entregables definidos. Además, se aplicó el juicio de expertos para validar las dependencias entre actividades, con base en la experiencia previa y siguiendo las

recomendaciones del asesor externo. También se tuvo en cuenta el cronograma académico institucional como apoyo adicional para identificar restricciones y fechas clave.

4.5.3.3 Salidas en la secuencia de las actividades. la salida principal de este proceso es el diagrama de red del cronograma que muestra gráficamente la secuencia lógica entre las actividades y sus interdependencias. Este diagrama es importante para identificar los caminos críticos y prever cuellos de botella. También se generan actualizaciones en la lista de actividades, los atributos de las actividades y la lista de hitos, si es necesario, para reflejar cambios derivados del ordenamiento.

4.5.4 Estimar la duración de las actividades del cronograma

En este ítem se determina la cantidad de tiempo requerido para completar cada una de las actividades del proyecto considerando tanto los recursos disponibles como las restricciones de cada tarea. La estimación de duración se basa en el análisis de las tareas definidas en la lista de actividades y en el conocimiento previo, especialmente en la experiencia del asesor externo. Para la tesis, estas estimaciones no buscan un control estricto de recursos humanos, sino garantizar una planificación razonable que permita cumplir con los plazos establecidos por la institución y facilitar el desarrollo ordenado de los entregables, desde la caracterización inicial hasta la redacción final del documento.

Figura 36. Diagrama de la estimación de la duración de las actividades.

Tomado de Project Managment Institute (Project Managment Institute., 2017).

4.5.4.1 Entradas en la estimación de actividades. la entrada que se requiere para definir las actividades es el plan para la dirección del proyecto en 4.3.2, la lista de actividades dada en el numeral 4.5.2. De esta manera se identifican los tiempos de cada una de las actividades y la relación entre ellas.

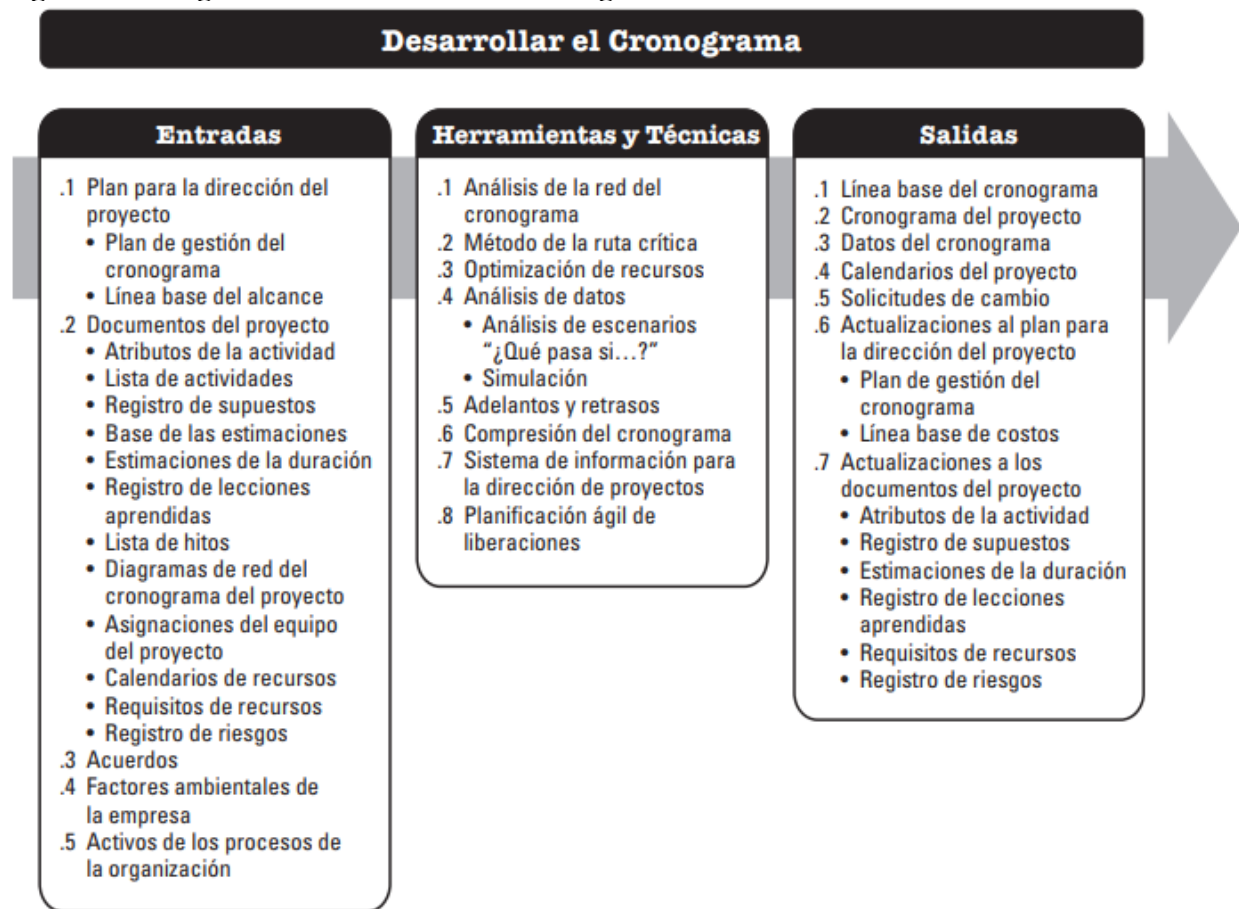
4.5.4.2 Herramientas en la estimación de actividades. para la estimación de duraciones, se aplicó el juicio de expertos, considerando experiencias previas. También se utilizó la estimación análoga, comparando la duración de tareas similares en estudios anteriores. Se debe considerar que, dado el carácter académico del proyecto, no se requirió aplicar métodos

cuantitativos avanzados, pero sí se aseguraron estimaciones realistas que permitieran cumplir con los hitos definidos.

4.5.4.3 Salidas en la estimación de actividades. la salida principal es la estimación de la duración de cada actividad, expresada en días, la cual sirve como insumo para el desarrollo del cronograma general del proyecto. Estas duraciones estimadas permiten establecer fechas probables de inicio y finalización para cada fase del estudio. Adicionalmente, se generan posibles actualizaciones a los documentos de planificación, como la lista de actividades, los calendarios o el registro de riesgos, en caso de identificarse tareas con alta incertidumbre.

4.5.5 Desarrollar el cronograma

En este ítem se consolida toda la información generada en los numerales 4.5.1 a 4.5.4, esto con el fin de construir un cronograma estructurado que guíe la ejecución del proyecto. Este cronograma permite visualizar el flujo de trabajo, identificar actividades críticas, anticipar posibles retrasos y facilitar el seguimiento del avance. En el contexto de esta tesis, el cronograma no solo cumple una función técnica, sino también académica, al adaptarse a los tiempos establecidos por la universidad para la entrega del trabajo final.

Figura 37. Diagrama del desarrollo del cronograma.

Tomado de Project Managment Institute (Project Managment Institute., 2017).

4.5.5.1 Entradas en el desarrollo del cronograma. las entradas para este proceso provienen de la lista de actividades generada en el numeral 4.5.2 así como las secuencias de estas indicadas en el numeral 4.5.3, también se usa la estimación de la duración de cada actividad dada en el numeral 4.5.4. También se considera el plan de dirección de proyectos encontrado en el numeral 4.3.2; adicionalmente se considera el cronograma académico, de esta manera se puede

determinar las relaciones de dependencia entre tareas y organizar el trabajo de manera ordenada, y que responda a los tiempos establecidos por la institución.

4.5.5.2 Herramientas en el desarrollo del cronograma. para el desarrollo del cronograma se aplicaron herramientas como el análisis de la ruta crítica, con el fin de identificar las actividades que no admiten retrasos sin afectar la entrega total del proyecto. También se utilizó el análisis de reservas, añadiendo márgenes de tiempo en tareas críticas para cubrir posibles contingencias. La herramienta de diagramación fue MS Project, en la que se organizó el cronograma en función de días y se aplicó la técnica de nivelación de recursos, considerando que todas las tareas son ejecutadas por una sola persona.

4.5.5.3 Salidas en el desarrollo del cronograma. el producto principal de este proceso es el cronograma del proyecto mostrado en la Tabla 48, representado mediante una tabla donde se encuentra cada una de las actividades así como su secuencia, duración y fechas de inicio y fin así como la relación frente a las otras actividades indicando si es Comienzo-Comienzo (CC), Fin-Comienzo (FC), Fin-Fin (FF) o Comienzo-Fin (CF). También se presenta un cronograma de barras o diagrama de Gantt en la Figura 38 elaborado en función del cronograma indicado en la Tabla 48. Este cronograma detalla la secuencia de actividades, su duración, fechas de inicio y finalización, e hitos importantes, como la entrega del anteproyecto, revisiones parciales y la entrega final. También se generan líneas base del cronograma, que sirven como referencia para el seguimiento del avance, y posibles actualizaciones a los documentos del proyecto, en caso de ajustes en las duraciones o prioridades.

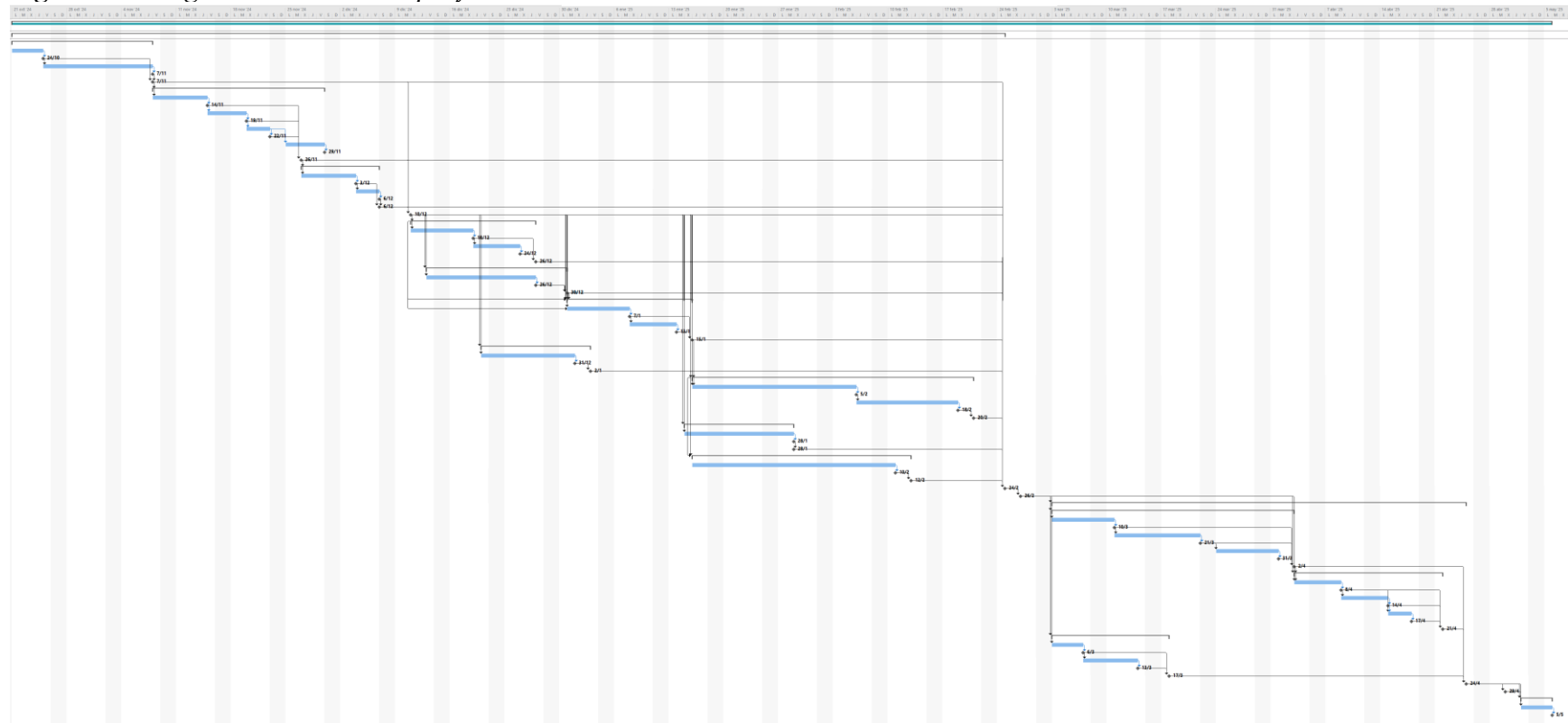
Tabla 48. *Cronograma del proyecto.*

Id	EDT	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras
1	1	Formular un estudio de factibilidad con enfoque PMI para la implementación de una microred eléctrica en el corregimiento de El Hatico en el departamento de La Guajira, Colombia.	141 días	lun 21/10/24	lun 5/5/25	
2	1.1	Gestión y Dirección del Proyecto	91 días	lun 21/10/24	lun 24/2/25	
3	1.1.1	Plan de gestión de la integración	14 días	lun 21/10/24	jue 7/11/24	
4	1.1.1.1	Acta de constitución del proyecto	4 días	lun 21/10/24	jue 24/10/24	
5	1.1.1.2	Entrega - Acta de constitución del proyecto	0 días	jue 24/10/24	jue 24/10/24	4
6	1.1.1.3	Plan de dirección del proyecto	10 días	vie 25/10/24	jue 7/11/24	5
7	1.1.1.4	Entrega - Plan de dirección del proyecto	0 días	jue 7/11/24	jue 7/11/24	6
8	1.1.1.5	Entrega - Documento Plan de gestión de la integración	0 días	jue 7/11/24	jue 7/11/24	5;7
9	1.1.2	Plan de gestión del alcance	16 días	vie 8/11/24	vie 29/11/24	8
10	1.1.2.1	Plan de gestión del alcance	5 días	vie 8/11/24	jue 14/11/24	8
11	1.1.2.2	Entrega - Plan de gestión del alcance	0 días	jue 14/11/24	jue 14/11/24	10
12	1.1.2.3	Documento de requisitos	3 días	vie 15/11/24	mar 19/11/24	10
13	1.1.2.4	Entrega - Documento de requisitos	0 días	mar 19/11/24	mar 19/11/24	12
14	1.1.2.5	Enunciado del alcance del proyecto	3 días	mié 20/11/24	vie 22/11/24	12
15	1.1.2.6	Entrega - Enunciado del alcance del proyecto	0 días	vie 22/11/24	vie 22/11/24	14
16	1.1.2.7	Estructura de desglose de trabajo	5 días	lun 25/11/24	vie 29/11/24	14
17	1.1.2.8	Entrega - Estructura de desglose de trabajo	0 días	vie 29/11/24	vie 29/11/24	16
18	1.1.2.9	Entrega - Documento Plan de gestión del alcance	0 días	mar 26/11/24	mar 26/11/24	11FC+2 días;13FC+2 días;15FC+2 días
19	1.1.3	Plan de gestión del cronograma	8 días	mié 27/11/24	vie 6/12/24	18
20	1.1.3.1	Cronograma del proyecto	5 días	mié 27/11/24	mar 3/12/24	18
21	1.1.3.2	Entrega - Cronograma del proyecto	0 días	mar 3/12/24	mar 3/12/24	20
22	1.1.3.3	Línea base del cronograma	3 días	mié 4/12/24	vie 6/12/24	21
23	1.1.3.4	Entrega - Línea base del cronograma	0 días	vie 6/12/24	vie 6/12/24	22
24	1.1.3.5	Entrega - Documento Plan de gestión del cronograma	0 días	vie 6/12/24	vie 6/12/24	21;23
25	1.1.4	FEL 1 - Primer control del proyecto	0 días	mar 10/12/24	mar 10/12/24	8FC+2 días;18FC+2 días;24FC+2 días
26	1.1.5	Plan de gestión de los costos	12 días	mié 11/12/24	jue 26/12/24	25
27	1.1.5.1	Estimaciones de costos	6 días	mié 11/12/24	mié 18/12/24	25
28	1.1.5.2	Entrega - Estimaciones de costos	0 días	mié 18/12/24	mié 18/12/24	27
29	1.1.5.3	Línea base de costos	4 días	jue 19/12/24	mar 24/12/24	28
30	1.1.5.4	Entrega - Línea base de costos	0 días	mar 24/12/24	mar 24/12/24	29

Id	EDT	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras
31	1.1.5.5	Entrega - Documento Plan de gestión de los costos	0 días	jue 26/12/24	jue 26/12/24	28FC+2 días;30FC+2 días
32	1.1.6	Plan de gestión de la calidad	12 días	vie 13/12/24	lun 30/12/24	25FC+2 días
33	1.1.6.1	Plan de calidad	10 días	vie 13/12/24	jue 26/12/24	25FC+2 días
34	1.1.6.2	Entrega - Plan de calidad	0 días	jue 26/12/24	jue 26/12/24	33
35	1.1.6.3	Entrega - Documento Plan de gestión de la calidad	0 días	lun 30/12/24	lun 30/12/24	34FC+2 días
36	1.1.7	Plan de gestión de los recursos	12 días	mar 31/12/24	mié 15/1/25	26CC;25FC+1 día;35
37	1.1.7.1	Plan de recursos	6 días	mar 31/12/24	mar 7/1/25	26CC;25FC+1 día
38	1.1.7.2	Entrega - Plan de recursos	0 días	mar 7/1/25	mar 7/1/25	37
39	1.1.7.3	Requisitos de recursos	4 días	mié 8/1/25	lun 13/1/25	38
40	1.1.7.4	Entrega - Requisitos de recursos	0 días	lun 13/1/25	lun 13/1/25	39
41	1.1.7.5	Entrega - Documento Plan de gestión de los recursos	0 días	mié 15/1/25	mié 15/1/25	38FC+2 días;40FC+2 días
42	1.1.8	Plan de gestión de comunicaciones	10 días	vie 20/12/24	jue 2/1/25	25FC+7 días
43	1.1.8.1	Plan de comunicaciones	8 días	vie 20/12/24	mar 31/12/24	25FC+7 días
44	1.1.8.2	Entrega - Plan de comunicaciones	0 días	mar 31/12/24	mar 31/12/24	43
45	1.1.8.3	Entrega - Documento Plan de gestión de comunicaciones	0 días	jue 2/1/25	jue 2/1/25	44FC+2 días
46	1.1.9	Plan de gestión del riesgo	26 días	jue 16/1/25	jue 20/2/25	25FC+2 días;31;35;41;45
47	1.1.9.1	Plan de riesgos	15 días	jue 16/1/25	mié 5/2/25	25FC+2 días;31;35;41;45
48	1.1.9.2	Entrega - Plan de riesgos	0 días	mié 5/2/25	mié 5/2/25	47
49	1.1.9.3	Registro de riesgos	9 días	jue 6/2/25	mar 18/2/25	48
50	1.1.9.4	Entrega - Registro de riesgos	0 días	mar 18/2/25	mar 18/2/25	49
51	1.1.9.5	Entrega - Documento Plan de gestión del riesgo	0 días	jue 20/2/25	jue 20/2/25	50FC+2 días
52	1.1.10	Plan de gestión de adquisiciones	10 días	mié 15/1/25	mar 28/1/25	25FC+7 días;40FC+1 día
53	1.1.10.1	Plan de adquisiciones	10 días	mié 15/1/25	mar 28/1/25	25FC+7 días;40FC+1 día
54	1.1.10.2	Entrega - Plan de adquisiciones	0 días	mar 28/1/25	mar 28/1/25	53
55	1.1.10.3	Entrega - Documento Plan de gestión de adquisiciones	0 días	mar 28/1/25	mar 28/1/25	54
56	1.1.11	Plan de gestión de los interesados	20 días	jue 16/1/25	mié 12/2/25	25FC+2 días;46CC
57	1.1.11.1	Plan de gestión de interesados	18 días	jue 16/1/25	lun 10/2/25	
58	1.1.11.2	Entrega - Plan de gestión de interesados	0 días	lun 10/2/25	lun 10/2/25	57
59	1.1.11.3	Entrega - Documento Plan de gestión de los interesados	0 días	mié 12/2/25	mié 12/2/25	58FC+2 días

Id	EDT	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras
60	1.1.12	Entrega - Documento Gestión y Dirección de Proyectos	0 días	lun 24/2/25	lun 24/2/25	8FC+2 días;18FC+2 días;24FC+2 días;25FC+2 días;31FC+2 días;35FC+2 días;41FC+2 días;45FC+2 días;51FC+2 días;55FC+2 días;59FC+2 días
61	1.2	FEL 2 - Segundo control del proyecto	0 días	mié 26/2/25	mié 26/2/25	60FC+2 días
62	1.3	Factibilidad del Proyecto	39 días	lun 3/3/25	jue 24/4/25	61FC+2 días
63	1.3.1	Conclusiones de viabilidad técnica	23 días	lun 3/3/25	mié 2/4/25	61FC+2 días
64	1.3.1.1	Identificación de recursos energéticos	6 días	lun 3/3/25	lun 10/3/25	61FC+2 días
65	1.3.1.2	Entrega - Identificación de recursos energéticos	0 días	lun 10/3/25	lun 10/3/25	64
66	1.3.1.3	Identificación de tecnología	9 días	mar 11/3/25	vie 21/3/25	65
67	1.3.1.4	Entrega - Identificación de tecnología	0 días	vie 21/3/25	vie 21/3/25	66
68	1.3.1.5	Identificación de requerimiento de equipos	6 días	lun 24/3/25	lun 31/3/25	67
69	1.3.1.6	Entrega - Identificación de requerimiento de equipos	0 días	lun 31/3/25	lun 31/3/25	68
70	1.3.1.7	Entrega - Documento Conclusiones de viabilidad técnica	0 días	mié 2/4/25	mié 2/4/25	65FC+2 días;67FC+2 días;69FC+2 días
71	1.3.2	Conclusiones viabilidad económica	13 días	jue 3/4/25	lun 21/4/25	61FC+2 días;70
72	1.3.2.1	Análisis de ingresos	4 días	jue 3/4/25	mar 8/4/25	61FC+2 días;70
73	1.3.2.2	Entrega - Análisis de ingresos	0 días	mar 8/4/25	mar 8/4/25	72
74	1.3.2.3	Análisis de egresos	4 días	mié 9/4/25	lun 14/4/25	73
75	1.3.2.4	Entrega - Análisis de egresos	0 días	lun 14/4/25	lun 14/4/25	74
76	1.3.2.5	Análisis de costos de AOM	3 días	mar 15/4/25	jue 17/4/25	73;74
77	1.3.2.6	Entrega - Análisis de costos de AOM	0 días	jue 17/4/25	jue 17/4/25	76
78	1.3.2.7	Entrega - Documento Conclusiones viabilidad económica	0 días	lun 21/4/25	lun 21/4/25	73FC+2 días;75FC+2 días;77FC+2 días
79	1.3.3	Conclusiones viabilidad social	11 días	lun 3/3/25	lun 17/3/25	61FC+2 días
80	1.3.3.1	Recolección de datos poblacionales	4 días	lun 3/3/25	jue 6/3/25	61FC+2 días
81	1.3.3.2	Entrega - Recolección de datos poblacionales	0 días	jue 6/3/25	jue 6/3/25	80
82	1.3.3.3	Análisis de requerimientos energéticos	5 días	vie 7/3/25	jue 13/3/25	81
83	1.3.3.4	Entrega - Análisis de requerimientos energéticos	0 días	jue 13/3/25	jue 13/3/25	82

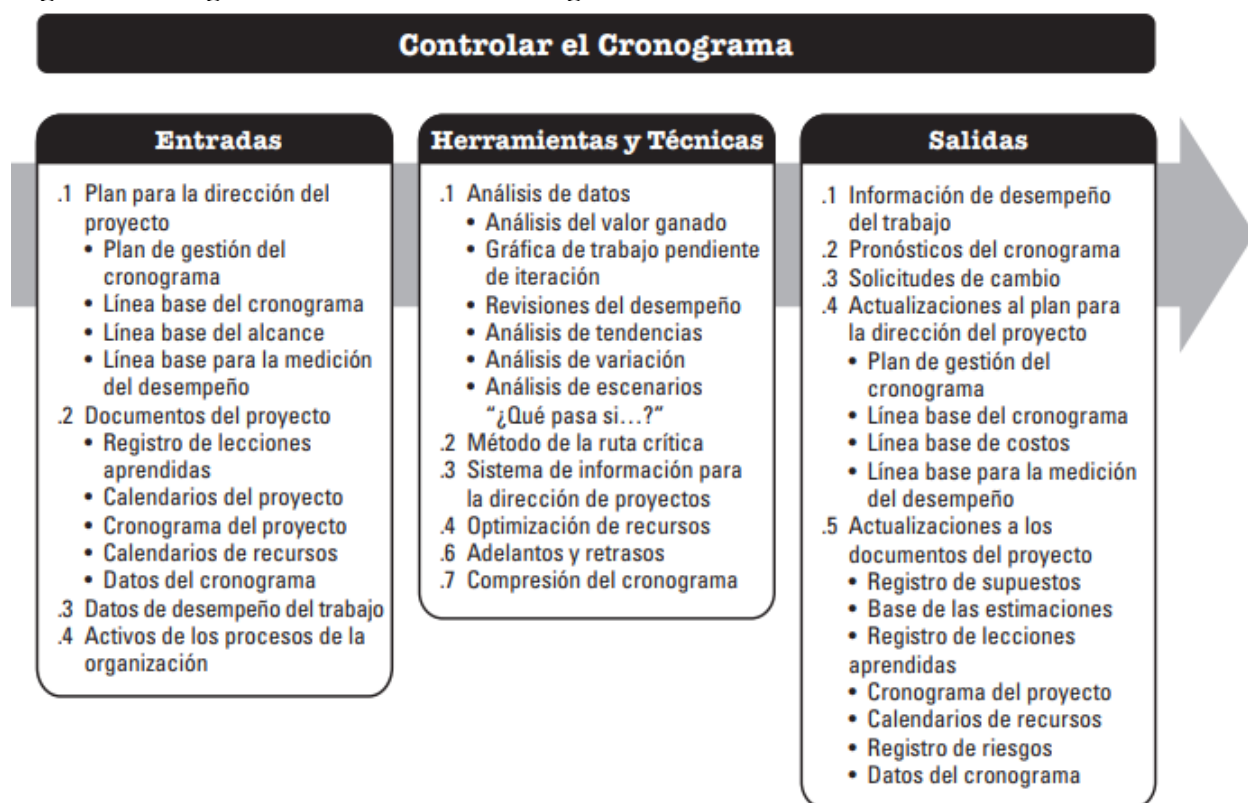
Id	EDT	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras
84	1.3.3.5	Entrega - Documento Conclusiones viabilidad social	0 días	lun 17/3/25	lun 17/3/25	81FC+2 días;83FC+2 días
85	1.3.4	Entrega - Documento Factibilidad del Proyecto	0 días	jue 24/4/25	jue 24/4/25	70FC+3 días;78FC+3 días;84FC+3 días
86	1.4	FEL 3 - Tercer control del proyecto	0 días	mar 29/4/25	mar 29/4/25	85FC+3 días
87	1.5	Documento final	2 días	vie 2/5/25	lun 5/5/25	85FC+3 días;86FC+2 días
88	1.5.1	Redacción documento final	2 días	vie 2/5/25	lun 5/5/25	85FC+3 días;86FC+2 días
89	1.5.2	Entrega - Documento final	0 días	lun 5/5/25	lun 5/5/25	88

Figura 38. *Diagrama de Gantt del proyecto.*

4.5.6 Controlar el cronograma

Controlar el cronograma es el proceso mediante el cual se supervisa el estado de las actividades del proyecto para actualizar su avance y gestionar cambios en la línea base del cronograma. Este control permite garantizar que el proyecto se ejecute dentro del tiempo planificado, y, aplicando medidas correctivas en caso de desviaciones. Esto es importante para asegurar que los objetivos temporales del proyecto sean alcanzados, especialmente en iniciativas donde el tiempo de entrega condiciona la viabilidad técnica y económica, como ocurre en este estudio de factibilidad (Project Managment Institute., 2017).

Figura 39. Diagrama del control del cronograma.



Tomado de Project Managment Institute (Project Managment Institute., 2017).

4.5.6.1 Entradas del control del cronograma. la entrada que se requiere para este proceso es el plan para la dirección del proyecto en 4.3.2 así como el cronograma dado en 4.5.5 y

la definición del alcance dado en el numeral 4.4.3. Con estos documentos se puede identificar las actividades, así como su descripción, enfoque y demás elementos necesarios que permitan controlar el avance del cronograma del proyecto.

4.5.6.2 Herramientas del control del cronograma. la principal herramienta de este control es la técnica de análisis de valor ganado, junto con la comparación de fechas reales frente a planificadas y análisis de variación. También se utilizaron hojas de cálculo y herramientas de gráficos de Gantt, que facilitaron el seguimiento visual y numérico del cronograma.

4.5.6.3 Salidas del control del cronograma. la salida de este proceso se garantiza con unos informes de desempeño del cronograma y actualizaciones a los documentos del proyecto. También se tiene documentos de solicitud de cambios y pronósticos del cronograma si éste ha sido modificado.

Durante la ejecución del proyecto, se llevó a cabo un seguimiento continuo al cronograma establecido, tomando como referencia la línea base determinada en 4.5.5. Dado que no se presentaron retrasos significativos en las actividades programadas, no hubo impacto sobre el plazo total del proyecto por lo que las actividades se mantuvieron con un desempeño alineado a la planificación original, tal como se evidenció en los índices $SPI=1.00$ obtenidos en el análisis de valor ganado en la Tabla 39. La correcta planificación, junto con un monitoreo oportuno, permitió mantener el cumplimiento del cronograma como uno de los principales indicadores de desempeño del proyecto. No fue necesario aplicar acciones correctivas significativas ni modificar la línea base del cronograma.

4.5.7 Costos de la gestión del cronograma

Para garantizar el correcto desarrollo de la gestión, se consideran los costos asociados de acuerdo con el tiempo dedicado por cada persona a éste y los recursos físicos necesarios para cumplir con lo indicado en la gestión. Se presenta la Tabla 49 con la información de costos

Tabla 49. Costo de la gestión del cronograma.

<i>Estimación presupuestal personal proyecto (Gestión Cronograma)</i>			
<i>Responsable</i>	<i>Total Horas de Trabajo</i>	<i>Costo por Hora de Trabajo</i>	<i>Costo Total</i>
Director de Proyectos	1	\$ 21,600	\$ 21,600
Ingeniero Electricista	4	\$ 10,200	\$ 40,800
Ingeniero Civil	1	\$ 10,200	\$ 10,200
<i>Subtotal Personal Gestión Cronograma</i>			<i>\$ 72,600</i>

4.6 Gestión de los costos del proyecto

La gestión de los costos está relacionada con la planificación, estimación y control de los recursos financieros necesarios para desarrollar el proyecto dentro de los límites presupuestales establecidos. Se identifican los componentes del sistema, se calculan sus costos directos e indirectos y se proyectan los egresos asociados a operación, mantenimiento y reemplazos. En el contexto de esta tesis, la gestión de costos permite evaluar la viabilidad económica del sistema propuesto, garantizando que su implementación sea sostenible y financieramente justificable a largo plazo (Project Managment Institute., 2017).

Para el proyecto en estudio se debe garantizar que la ejecución se haga dentro del presupuesto asignado; por lo tanto, se presentará un plan de costos que incluirá la estimación de los recursos necesarios, como materiales, mano de obra y equipos. Dado que, al momento de realizar este trabajo, no se cuenta con una entidad interesada; los valores entregados deben ser tomados en cuenta como un valor tentativo el cual debe ser actualizado en el momento de realizar

el proyecto. La precisión en estas estimaciones es crucial, ya que cualquier error puede llevar a sobre costos significativos que comprometan la viabilidad del proyecto.

Tabla 50. Grupo de procesos para la gestión de los costos según la Guía del PMBOK®.

Áreas de Conocimiento	Grupos de Procesos de la Dirección de Proyectos	
	Grupo de Procesos de Inicio	Grupo de Procesos de Planificación
7. Gestión de los Costos del Proyecto.		7.1 Planificar la Gestión de los Costos
		7.2 Estimar los Costos
		7.3 Determinar el Presupuesto

Tomado de Project Management Institute (Project Management Institute., 2017).

4.6.1 Planificar la gestión de los costos

En la planificación de la gestión de los costos se estiman, presupuestan, gestionan y controlan los costos del proyecto. Este proceso se enfoca en establecer los lineamientos para identificar y organizar los costos relacionados con la adquisición e instalación de equipos, operación, mantenimiento y reemplazos a lo largo del ciclo de vida del sistema. La planificación de la gestión de costos proporciona una base clara y estructurada para realizar las estimaciones y comparar la inversión con los beneficios esperados, como parte esencial del análisis de viabilidad económica.

La gestión efectiva de los costos es crucial para el éxito del proyecto, ya que un manejo inadecuado puede llevar a sobre costos, comprometiendo la viabilidad del proyecto y su alineación con los objetivos organizacionales (Verzuh, 2015).

Figura 40. Diagrama de la planificación de la gestión de los costos.

Tomado de Project Managment Institute (Project Managment Institute., 2017).

4.6.1.1 Entradas de la planificación de la gestión del proyecto. como entradas se tiene el acta de constitución de proyecto definidas en el numeral 4.3.1 y el plan para la dirección del proyecto dada en 4.3.2. Con esta información se realiza el análisis de costos para garantizar que los recursos preaprobados estén alienados con las actividades y objetivos del proyecto.

4.6.1.2 Herramientas de la planificación de la gestión del proyecto. las principales herramientas aplicadas son el juicio de expertos que es utilizado para definir un enfoque coherente de estimación adaptado al contexto académico, y la revisión de datos históricos de proyectos similares para orientar la estructura de costos comenzando con la identificación de los componentes principales del sistema y luego desglosando sus costos asociados.

4.6.1.3 Salidas de la planificación de la gestión del proyecto. la salida principal es el plan de gestión de los costos, que describe cómo se abordará la estimación, seguimiento y control de los costos del proyecto. Este plan sirve de guía para los procesos siguientes e incluye

los criterios de evaluación de rentabilidad, tales como TIR y VPN, necesarios para validar la viabilidad económica del sistema. En el contexto de esta tesis, el plan también define la manera en que se incorporan los beneficios fiscales y las proyecciones de ahorro energético a largo plazo y se presenta en la Tabla 51.

Tabla 51. *Plan de gestión del costo.*

<i>Plan de Gestión del Costo</i>
<i>Planificación de los costos</i>
<i>Estimación de costos</i>
• Como punto de partida, se realizará una estimación de acuerdo con el mercado actual para definir el presupuesto del proyecto. • Todos los costos se expresarán en moneda colombiana (COP). • Para la creación del presupuesto se tomará como referencia las horas de trabajo de las personas en el proyecto. • La estimación de costos se llevará a cabo mediante un análisis del mercado y consideración de expertos. • Se usará la herramienta Microsoft Excel. •
<i>Conformación del presupuesto</i>
Para definir el presupuesto del proyecto se trabajará basado en dos elementos importantes: el costo directo y el indirecto. Para la elaboración se tendrá en cuenta el alcance del proyecto, la Estructura de Desglose de Trabajo (EDT) y las actividades definidas en el cronograma del proyecto. De esta manera se conformarán los costos directos del proyecto: • Se estima los costos asociados en relación con el tiempo dedicado por cada profesional a las actividades descritas en el cronograma. • Se incluirá un componente indirecto representado en un 25% del costo directo del proyecto teniendo en cuenta elementos como Administración (18%) e imprevistos (7%) • La financiación, e ingresos, del proyecto dependerá de la entidad encargada de desarrollarlo. Por lo que se deberá actualizar los valores presentados en este trabajo al momento de implementar lo propuesto.
<i>Variaciones, desempeño y control del presupuesto</i>
• Se deberá gestionar informes de seguimiento y control del proyecto de manera periódica, se aconseja realizarlo mensual para realizar correcciones. • La evaluación del desempeño financiero se realizará mediante la técnica de Gestión de Valor Ganado (EVM). • Variación de costo (CV) que identifica si el proyecto se encuentra por encima, o por debajo, del presupuesto planificado hasta la fecha. • Índice de desempeño (CPI) que mide la eficacia de la gestión de los costos para el trabajo realizado.

<i>Plan de Gestión del Costo</i>
Las actualizaciones, o modificaciones al plan de gestión de costo, se realizará mediante las correspondientes solicitudes de cambio aprobadas previamente y se modificará el plan de acuerdo con dichas solicitudes.
<i>Motivos aceptables para cambios en el costo del proyecto</i>
- Modificación en el alcance del proyecto que tenga relación con inclusión de elementos no considerados inicialmente y/o exclusión de elementos no necesarios dentro del proyecto. - Costos adicionales debido a nuevos requisitos de entidades gubernamentales (locales y/o nacionales) que tengan impacto en el alcance y/o desarrollo del proyecto. - Gastos generados por demoras en procesos de gobiernos locales, departamentales y/o nacionales que generen costos extras en el desarrollo del proyecto. - Incumplimiento, por parte de proveedores, en la entrega de los insumos necesarios para las actividades del proyecto y puedan generar impacto en el cronograma. - Modificaciones en el cronograma debido a imprevistos no identificados previamente. - Retrasos en la ejecución que superen el tiempo planificado. - Cambios en los valores de los materiales antes o durante la ejecución del proyecto.
<i>Cálculo e informe del impacto en el proyecto debido a cambios en el costo.</i>
Para evaluar el rendimiento se emplearán los siguientes indicadores - Valor Planificado (PV) que representa el presupuesto autorizado para el proyecto. - Costo real (AC) que corresponde a los costos totales de los trabajos realizados hasta la fecha. - Valor ganado (EV) que estima el valor del trabajo realizado y será convertido a porcentaje de avance o a un valor monetario de acuerdo con la necesidad del proyecto.
<i>Gestión de cambios en el presupuesto</i>
- Las solicitudes para cambios en el presupuesto serán autorizadas por el Director de Proyecto asignado en la entidad ejecutora del proyecto, o del patrocinador principal. - Los cambios que no afecten el costo, tiempo o calidad del proyecto no requerirán de aprobación previa por parte del Director del Proyecto o persona encargada

Este plan sirve como herramienta importante en la dirección de proyectos ya que establece el enfoque, y las directrices, que se seguirán para la planificación, estimación, financiación, gestión y control de los costos a lo largo del ciclo de vida del proyecto. Para el proyecto desarrollado en este trabajo, se usa este plan para asegurar los recursos económicos necesarios para llevar a cabo todas las actividades dentro de los límites presupuestarios establecidos; dado que una adecuada gestión de los costos permitirá maximizar el retorno de la inversión, minimizando al mismo tiempo el riesgo de sobrecostos y garantizando que los recursos se utilicen de manera efectiva.

4.6.1.4 Gestión del valor ganado. este modelo permite medir el desarrollo de un proyecto mediante el control de las tres entidades principales: alcance, tiempo y costo. Con esta estrategia se facilita la comparación entre las metas definidas al inicio del proyecto y los avances reales realizados. Con esta evaluación, se pueden realizar acciones correctivas necesarias al proyecto, así como comprender el estado en el que se encuentra. (Ambriz, 2008)

Tabla 52. *Gestión del valor ganado.*

<i>Indicador</i>	<i>Ecuación</i>	<i>Descripción</i>	
Variación del costo (CV)	$CV = EV - AC$	CV<0	Está por encima del presupuesto
		CV=0	Se ejecuta el presupuesto de acuerdo con lo planeado
		CV>0	Está por debajo del presupuesto
Índice de desempeño del Presupuesto (CPI)	$CPI = EV/AC$	CPI<1	Ineficiencia en el uso de recursos
		CPI=1	Se usa los recursos de acuerdo con lo planeado
		CPI>1	Eficiencia en el uso de recursos
Valor Relativo	$CV\% = CV/EV$	Porcentaje en el cual se sobre ejecuta o se subejecuta el proyecto respecto al presupuesto.	
Variación del cronograma (SV)	$SV = EV - PV$	SV<0	Está retrasado respecto al cronograma
		SV=0	Se ejecuta de acuerdo con el cronograma planeado
		SV>0	Está adelantado respecto al cronograma
Índice de desempeño del Cronograma (SPI)	$SPI = EV/PV$	SPI<1	El proyecto presenta retraso
		SPI=1	El proyecto está acorde al cronograma
		SPI>1	El proyecto presenta adelanto

4.6.2 Estimar los costos del proyecto

En este apartado se determina el valor aproximado de los recursos económicos necesarios para realizar cada actividad del proyecto, lo que incluye la adquisición de materiales, equipos, servicios y costos asociados al ciclo de vida del sistema. Aunque este estudio no contempla una

fase de ejecución real, la estimación de costos es fundamental para analizar la viabilidad económica de la propuesta y proyectar su posible implementación en el futuro. Se calcularon los costos iniciales, los de operación y mantenimiento, así como los de reposición de componentes clave. La estimación se basó en precios del mercado colombiano, con especial referencia a proveedores del sector energético y fuentes oficiales.

Figura 41. *Diagrama de la estimación de los costos.*



Tomado de Project Management Institute (Project Management Institute., 2017).

4.6.2.1 Entradas para estimar los costos del proyecto. entre las entradas se encuentran plan para la dirección del proyecto encontrado en 4.3.2 así como el registro de riesgos en el numeral 4.10.2, así como el plan de gestión de costos en el numeral 4.6.1 y el plan de gestión de la calidad en el numeral 4.7.2. Otros documentos importantes de la línea base son el enunciado del alcance encontrado en 00 así como la EDT y el diccionario de la EDT encontrados en 0 y en 4.4.6.

4.6.2.2 Herramientas para estimar los costos del proyecto. se aplicaron dos enfoques principales: la estimación análoga donde se basa en datos de estudios similares y

referencias de mercado, y la estimación paramétrica que es especialmente útil para componentes repetitivos como paneles, cableado y baterías, cuyos precios pueden estimarse por unidad. También se empleó el juicio de expertos, contrastando precios de proveedores confiables y consultando bases de datos públicas.

4.6.2.3 Salidas para estimar los costos del proyecto. la salida principal de este proceso es la estimación detallada de costos por componente del sistema, desglosada en inversión inicial, costos de operación y mantenimiento, y reposiciones por vida útil. Esta información se estructuró en una tabla de presupuesto que sirvió de base para el análisis financiero del proyecto, incluyendo el cálculo de indicadores como el Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR). También se generaron posibles actualizaciones al registro de riesgos y a la documentación del proyecto, en función de los costos identificados.

4.6.3 Resultados de estimación de los costos

El costo total estimado para el desarrollo de este proyecto se determinará teniendo en cuenta las horas de trabajo de cada profesional responsable de cada uno de los elementos del proyecto. Inicialmente se puede obtener los costos relacionados a la primera cuenta control de acuerdo con el EDT de la Figura 30, estos costos están relacionados con las horas dedicadas por cada profesional a desarrollar cada actividad, el resumen se encuentra en la Tabla 53.

Tabla 53. Costo estimado de las gestiones del proyecto.

<i>1. Estimación presupuestal gestiones del proyecto</i>			
<i>Actividad</i>	<i>Costo Total</i>	<i>Numeral de Referencia</i>	<i>Tabla de Referencia</i>
Gestión de la integración	\$ 82,800	Numeral 4.8.8	Tabla 65
Gestión del alcance	\$ 72,600	Numeral 4.8.8	Tabla 65
Gestión del cronograma	\$ 72,600	Numeral 4.8.8	Tabla 65

<i>1. Estimación presupuestal gestiones del proyecto</i>			
<i>Actividad</i>	<i>Costo Total</i>	<i>Numeral de Referencia</i>	<i>Tabla de Referencia</i>
Gestión de los costos	\$ 93,000	Numeral 4.8.8	Tabla 65
Gestión de la calidad	\$ 144,000	Numeral 0	Tabla 61
Gestión de los recursos	\$ 123,600	Numeral 4.8.8	Tabla 65
Gestión de las comunicaciones	\$ 82,800	Numeral 0	Tabla 69
Gestión de los riesgos	\$ 195,000	Numeral 0	Tabla 80
Gestión de las adquisiciones	\$ 82,800	Numeral 4.11.3	Tabla 83
Gestión de los interesados	\$ 103,200	Numeral 4.12.8	Tabla 87
<i>Subtotal Gestiones</i>	<i>\$ 1,052,400</i>		

Considerando la Tabla 48, podemos determinar los días de trabajo para cada actividad, considerando un tiempo promedio de 8 horas de labor diaria podemos determinar la cantidad de horas trabajadas por cada profesional. En la Tabla 54 se presenta los costos totales que se relacionan con la cuenta control de factibilidad de acuerdo con el EDT de la Figura 30.

Tabla 54. *Costo estimado de las viabilidades del proyecto.*

<i>2. Estimación presupuestal viabilidades del proyecto</i>					
<i>Responsable</i>	<i>Total Horas de Trabajo</i>			<i>Costo por Hora de Trabajo</i>	<i>Costo Total</i>
	<i>Viabilidad Técnica</i>	<i>Viabilidad Económica</i>	<i>Viabilidad Social</i>		
Director de Proyectos	1	2	1	\$ 21,600	\$ 86,400
Ingeniero Electricista	22	28	16	\$ 10,200	\$ 673,200
Ingeniero Civil	3	4	2	\$ 10,200	\$ 91,800
Analista Financiero		12		\$ 10,200	\$ 122,400
<i>Subtotal Personal Proyecto</i>					<i>\$ 973,800</i>

Adicionalmente se debe tener en cuenta los costos asociados los equipos y elementos físicos, y de software, que requiere la realización del proyecto. Estos ítems se condensan en la Tabla 55 como costos asociados a una oficina.

Tabla 55. *Costo estimado de la oficina del proyecto.*

<i>3. Estimación presupuestal oficina</i>			
<i>Recurso</i>	<i>Unidad</i>	<i>Valor Unitario</i>	<i>Costo Total</i>
Papelería general	1 glb	\$ 25,000	\$ 25,000
Licencias de software	1 licencias	\$ 370,000	\$ 370,000
<i>Subtotal Oficina</i>			<i>\$ 395,000</i>

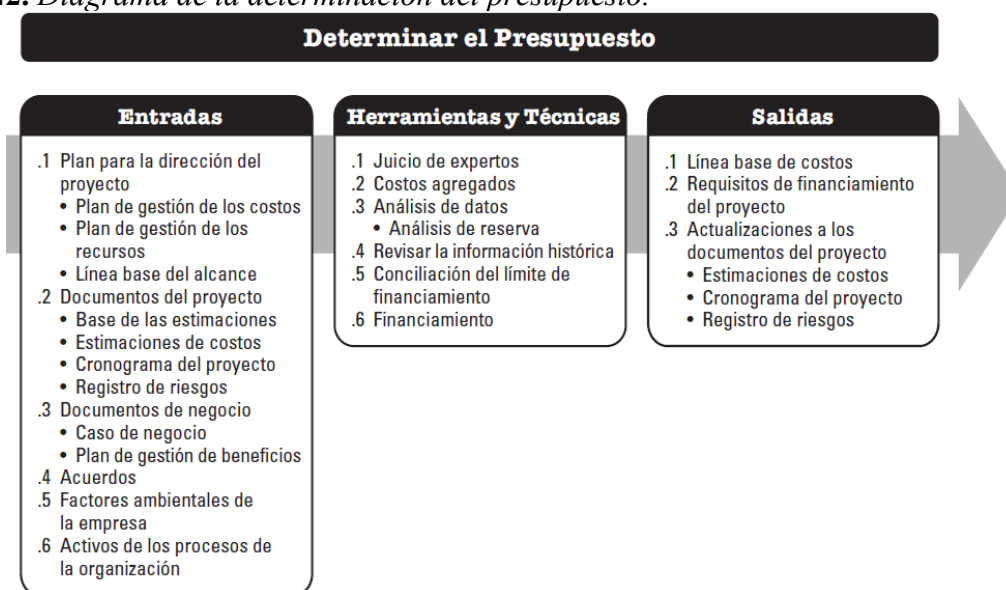
Adicionalmente, se considerarán costos indirectos determinados como un porcentaje sobre el costo directo del proyecto; de acuerdo con expertos, y por estimación análoga, se establece los porcentajes como se indica en Tabla 56.

Tabla 56. *Costos indirectos del proyecto.*

<i>Costo</i>	<i>Porcentaje</i>
Administración	18%
Imprevistos	7%
<i>Total AI</i>	<i>25%</i>

4.6.4 Determinar el presupuesto del proyecto

En este numeral se consolidan los costos estimados de todas las actividades y componentes del proyecto para establecer el presupuesto total. Esta etapa permite integrar los distintos elementos de costo (materiales, instalación, mantenimiento, reposiciones y costos indirectos), generando así una línea base de referencia para la evaluación de la viabilidad financiera.

Figura 42. *Diagrama de la determinación del presupuesto.*

Tomado de Project Managment Institute (Project Managment Institute., 2017).

4.6.4.1 Entradas para determinar el presupuesto del proyecto. para determinar el presupuesto se requiere, además de la información de los costos dada en el numeral 4.6.3, el plan de dirección de proyectos encontrado en el numeral 4.3.2 y el cronograma encontrado en el numeral 4.5.5 así como los riesgos en el numeral 4.10.2.

4.6.4.2 Herramientas para estimar los costos del proyecto. para determinar el presupuesto, se hizo uso de una sumatoria de costos por componente, agrupando los costos por categorías (equipos, instalación, mantenimiento, etc.). También se aplicó la técnica de análisis de reservas, incorporando un margen prudente para cubrir imprevistos, especialmente en las partidas de mantenimiento y reposición. Adicionalmente, se consideraron incentivos tributarios derivados

de la Ley 1715 de 2014 y el Decreto 2143 de 2015, que reducen el impacto económico neto del proyecto.

4.6.4.3 Salidas para estimar los costos del proyecto. la principal salida es la línea base del presupuesto del proyecto, que detalla la inversión inicial estimada, los costos proyectados por operación y mantenimiento y los costos por reposición de equipos, también se incluyó el efecto de los beneficios fiscales, que reducen la inversión efectiva. Esta línea base sirvió de referencia para el análisis financiero final, donde se calcular los indicadores como la TIR y el VPN para confirmar la viabilidad del proyecto. Se generan también posibles actualizaciones al registro de riesgos y a la documentación financiera del estudio.

4.6.5 Resultados de estimación de los costos

La información final de la estimación de costos se presenta en la Figura 43 donde se explica como es el desarrollo del presupuesto del proyecto considerando cada uno de los elementos necesarios para garantizar el monto final del proyecto en todos los niveles. De esta manera se garantiza que las actividades, imprevistos (conocidos y desconocidos) así como los costes administrativos estén inmersos en el presupuesto, garantizando continuidad y evitando desvíos presupuestales que afecten alcanzar los objetivos planteados (Lopez, 2021).

Figura 43. *Reservas en el presupuesto.*

Tomado de YouTube, video Las Reservas en los Proyectos PMI (Profesor Dondi, 2020).

Con los datos de las Tabla 53 a Tabla 55 se estima entonces el costo del proyecto, para determinar la reserva de contingencias se toma los valores calculados en la Tabla 79, sumado al total anterior donde se obtiene una línea base para el proyecto; al valor anterior se le considera los porcentajes de AI determinados en la Tabla 56 para garantizar un presupuesto total del proyecto. Esto se muestra en la Tabla 57.

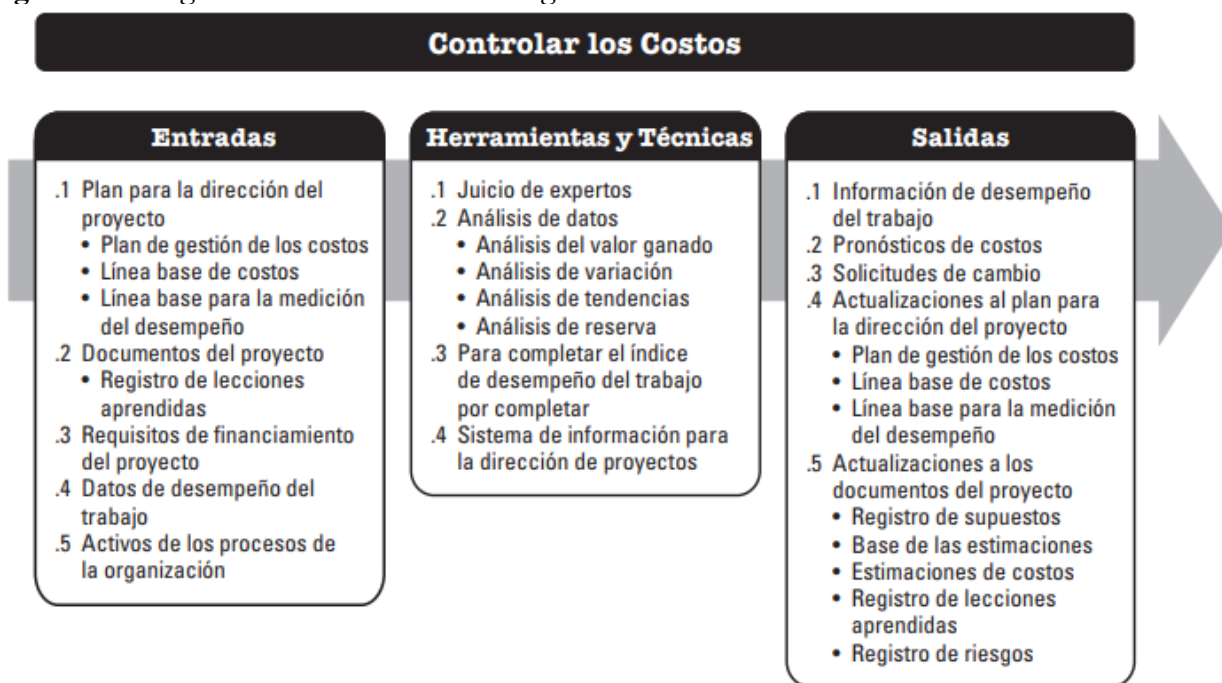
Tabla 57. *Presupuesto del proyecto.*

Ref.	Referencia	Ítem	Subtotales
1	Tabla 53	Estimación presupuestal gestiones del proyecto	\$ 1,052,400
2	Tabla 54	Estimación presupuestal viabilidades del proyecto	\$ 973,800
3	Tabla 55	Estimación presupuestal oficina	\$ 395,000
4		(1+2+3) Sub Total del Proyecto	\$ 2,421,200
5	Tabla 79	Reserva para contingencias	\$ 19,510,000.00
6		(4+5) Línea Base del Proyecto	\$ 21,931,200
7		Costos de Administración e Imprevistos	
8	Tabla 56	• Administración (18%)	\$ 3,947,616
9		• Imprevistos (7%)	\$ 1,535,184
10		Reserva de Gestión (8+9)	\$ 5,482,800

4.6.6 Controlar los costos

En este ítem se monitorea el costo del proyecto para detectar desviaciones del presupuesto aprobado y, de ser necesario, implementar acciones correctivas. Con esto se asegura que los recursos financieros sean utilizados conforme al plan, que los gastos estén controlados y que se mantenga la viabilidad financiera del proyecto (Project Managment Institute., 2017).

Figura 44. Diagrama del control del cronograma.



Tomado de Project Managment Institute (Project Managment Institute., 2017).

4.6.6.1 Entradas del control del cronograma. la entrada que se requiere para este proceso es el plan para la dirección del proyecto en 4.3.2 así como la línea base de costos dada en el numeral y la definición del alcance dado en el numeral 4.4.3. Con estos documentos se puede

identificar las actividades, así como su descripción, enfoque y demás elementos necesarios que permitan controlar el avance del cronograma del proyecto.

4.6.6.2 Herramientas del control del cronograma. la técnica principal fue el análisis de valor ganado mediante el cual se evaluó el rendimiento del proyecto con base en el valor planificado (PV), el valor ganado (EV) y el costo real (AC). También se utilizaron indicadores como el CPI y el CV.

4.6.6.3 Salidas del control del cronograma. para la salida de este proceso se obtuvieron las métricas de desempeño económico del proyecto que permiten evaluar su eficiencia financiera. Esta información se presenta detalladamente en el numeral siguiente indicando el resultado del proceso.

4.6.7 Resultado del control de costos

Con base en la metodología de Valor Ganado presentada en 4.3.12, se realiza el análisis financiero del proyecto. La información consolidada evidencia que no se presentaron sobre costos en ninguna de las actividades desarrolladas; por el contrario, se observó un ahorro en la mayoría de los ítems dado que no se realizó trabajos con el analista financiero.

El análisis de los indicadores clave muestra que el Índice de Desempeño del Costo (CPI) fue superior a 1 en todos los componentes excepto en uno que fue 1 exactamente, indicando que el proyecto gastó menos de lo planificado para alcanzar el valor entregado. Asimismo, la Variación del Costo (CV) fue positiva en todos los casos, reforzando la eficiencia del control presupuestal.

La variación porcentual del costo (CV%) mostró que los mayores ahorros se lograron en la planificación de la viabilidad social (30%) y en el plan de gestión del alcance (28%).

Este resultado permite concluir que la gestión de costos fue efectiva y que el proyecto logró cumplir con sus objetivos financieros sin comprometer la calidad ni el alcance del trabajo entregado. Adicionalmente, no fue necesario utilizar la reserva de contingencia.

4.6.8 Costos de la gestión de costos

Para garantizar el correcto desarrollo de la gestión, se consideran los costos asociados de acuerdo con el tiempo dedicado por cada persona a éste y los recursos físicos necesarios para cumplir con lo indicado en la gestión. Se presenta la Tabla 49 con la información de costos

Tabla 58. *Costo de la gestión de costos.*

<i>Estimación presupuestal personal proyecto (Gestión Costos)</i>			
<i>Responsable</i>	<i>Total Horas de Trabajo</i>	<i>Costo por Hora de Trabajo</i>	<i>Costo Total</i>
Director de Proyectos	1	\$ 21,600	\$ 21,600
Ingeniero Electricista	4	\$ 10,200	\$ 40,800
Ingeniero Civil	1	\$ 10,200	\$ 10,200
<i>Subtotal Personal Gestión Costos</i>			<i>\$ 72,600</i>

4.7 Gestión de la calidad del proyecto

En los proyectos, la calidad se puede definir como el grado de conformidad que tienen los entregables con los lineamientos y requisitos que se definieron previamente por las partes interesadas. Para garantizar que los entregables están acorde con los requerimientos del cliente, debe haber una continua comunicación entre cada una de las partes vinculadas en el proyecto lo que permite realizar ajustes de acuerdo con las necesidades y, de esta forma, entregar un producto que cumpla las expectativas definidas.

Tabla 59. *Grupo de procesos para la gestión de la calidad según la Guía del PMBOK®.*

<i>Áreas de Conocimiento</i>	<i>Grupos de Procesos de la Dirección de Proyectos</i>	
	<i>Grupo de Procesos de Inicio</i>	<i>Grupo de Procesos de Planificación</i>
8. Gestión de la Calidad del Proyecto.		8.1 Planificar la Gestión de la Calidad

Tomado de Project Managment Institute (Project Managment Institute., 2017).

De acuerdo con el PMI, la gestión de la calidad tiene relación con determinar, y aplicar, las políticas; procedimientos y responsabilidades necesarias para cumplir con los requisitos de calidad del proyecto, así como sus entregables (Project Managment Institute., 2017). En esta etapa se planifica, controla y asegura que el proyecto esté ajustado a los estándares establecidos; para ello, implica definir claramente los criterios con los que se evaluarán cada uno de los procesos, así como la implementación para su cumplimiento y la verificación constante de los resultados para asegurar que los entregables satisfagan las partes interesadas.

4.7.1 Planificación de la gestión de la calidad

En este numeral se establece cómo se definirá y garantizará la calidad del trabajo, considerando tanto los procesos como los entregables del proyecto. La planificación de la calidad se centra en asegurar que las tareas asignadas cumplan con el rigor metodológico establecido y que los entregables estén ajustados a los criterios establecidos inicialmente (Project Managment Institute., 2017).

Figura 45. *Diagrama de la planificación de la gestión de la calidad.*

Tomado de Project Managment Institute (Project Managment Institute., 2017).

4.7.1.1 Entradas de la planificación de la gestión de la calidad. las entradas para este proceso provienen acta de constitución del proyecto indicado en el numeral 4.3.1 así como el plan para la dirección del proyecto dado en 4.3.2., donde se encuentra el registro de interesados y demás información que permita un control como lo es normativas, guías e instructivos.

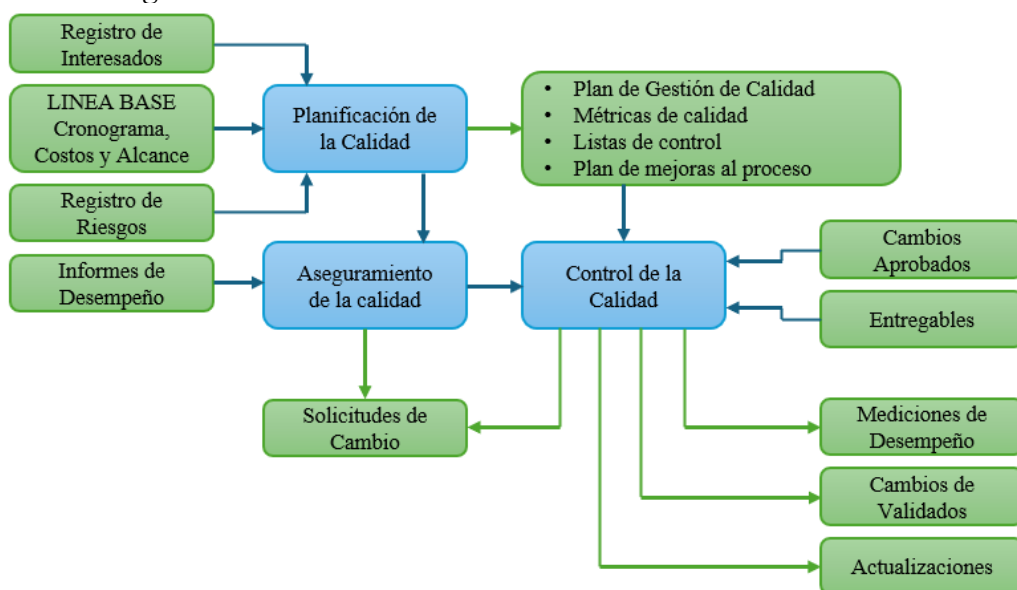
4.7.1.2 Herramientas de la planificación de la gestión de la calidad. las herramientas utilizadas fueron el juicio de expertos, para definir estándares de calidad aplicables al estudio, y la evaluación comparativa teniendo en cuenta proyectos similares realizados previamente y estudios técnicos publicados. También se aplicaron listas de verificación

(checklists) para validar la inclusión de cada componente exigido: análisis técnico, normativo, financiero y social.

4.7.1.3 Salidas de la planificación de la gestión de la calidad. La principal salida es el plan de gestión de la calidad, que define los criterios con los que se evaluarán los entregables del estudio. Este plan contempla: cumplimiento normativo (RETIE, Ley 1715, etc.), coherencia metodológica, validez de fuentes de información, calidad de los análisis financieros (TIR, VPN), y claridad en la propuesta técnica. También se incluyen procedimientos para revisión documental, validación cruzada de cálculos y corrección iterativa de redacción y estilo, con el acompañamiento del director de tesis.

4.7.2 Resultados de la planificación de la gestión de la calidad

En la planificación de la calidad se deben identificar los requisitos mínimos con los que se dará seguimiento y control a los entregables del proyecto, siendo esta la base para asegurar que las entregas estén alineadas a los criterios dados por las partes interesadas. Entender esta parte inicial permitirá a la empresa, o entidad, que tome el proyecto poder validar la gestión en todo el ciclo de vida del proyecto para la toma de decisiones informadas por parte de los responsables y así garantizar el éxito del proyecto. En la Figura 46 se muestra el Plan de Gestión de Calidad para el proyecto.

Figura 46. *Plan de gestión de calidad.*

Tomado de Plan de gestión de calidad (Hurtado y Morales, 2016).

En la Tabla 60 se presenta el plan de calidad del proyecto donde se ha definido los objetivos, indicadores y el responsable de cada indicador; de esta manera se puede garantizar el seguimiento constante y dar las alertas tempranas para entregar al cliente un producto de calidad. Dado que este proyecto no cuenta con un patrocinador, se deberá ajustar el plan de acuerdo con los procesos de la empresa que tome el proyecto.

Tabla 60. *Tabla de gestión de calidad.*

Objetivo	Indicador	Ecuación	Responsable	Frecuencia Evaluación	Meta
Cumplimiento del cronograma y sus entregables propuestos	% entregables cumplidos	$\frac{\text{entregas realizadas}}{\text{total de entregas}} \times 100$	Ingeniero Electricista	Mensual	100%
	% objetivos alcanzados	$\frac{\text{objet alcanzados}}{\text{total de objetivos}} \times 100$	Ingeniero Electricista	Mensual	100%
Cumplir con las correcciones y observaciones dadas por el director del proyecto	% observaciones cumplidas	$\frac{\text{Observ Cumplidas}}{\text{Total Observaciones}} \times 100$	Ingeniero Electricista	A solicitud	$\geq 90\%$

<i>Objetivo</i>	<i>Indicador</i>	<i>Ecuación</i>	<i>Responsable</i>	<i>Frecuencia Evaluación</i>	<i>Meta</i>
Aprobación de los entregables por parte del director del proyecto	% entregables aprobados	$\frac{\text{Entreg aprobados}}{\text{Total Entregables}} \times 100$	Ingeniero Electricista	A solicitud	100%
Conformidad de la documentación	% documentos conformes	$\frac{\text{docum sin errores}}{\text{total de documentos}} \times 100$	Ingeniero Electricista	Por entrega de documentación	$\geq 95\%$

4.7.3 Gestión de la calidad

El proceso de gestionar la calidad, según la *Guía del PMBOK*®, busca garantizar que los productos y procesos del proyecto cumplan con los estándares y requisitos definidos en el plan de gestión de la calidad, a través de actividades como auditorías, inspecciones y validaciones técnicas (Project Managment Institute., 2017).

Sin embargo, en el contexto de este proyecto de tesis, centrado en un estudio de factibilidad para la implementación de microredes en el corregimiento de El Hatico, no se contempla la entrega de productos tangibles ni la ejecución directa de obras o instalaciones.

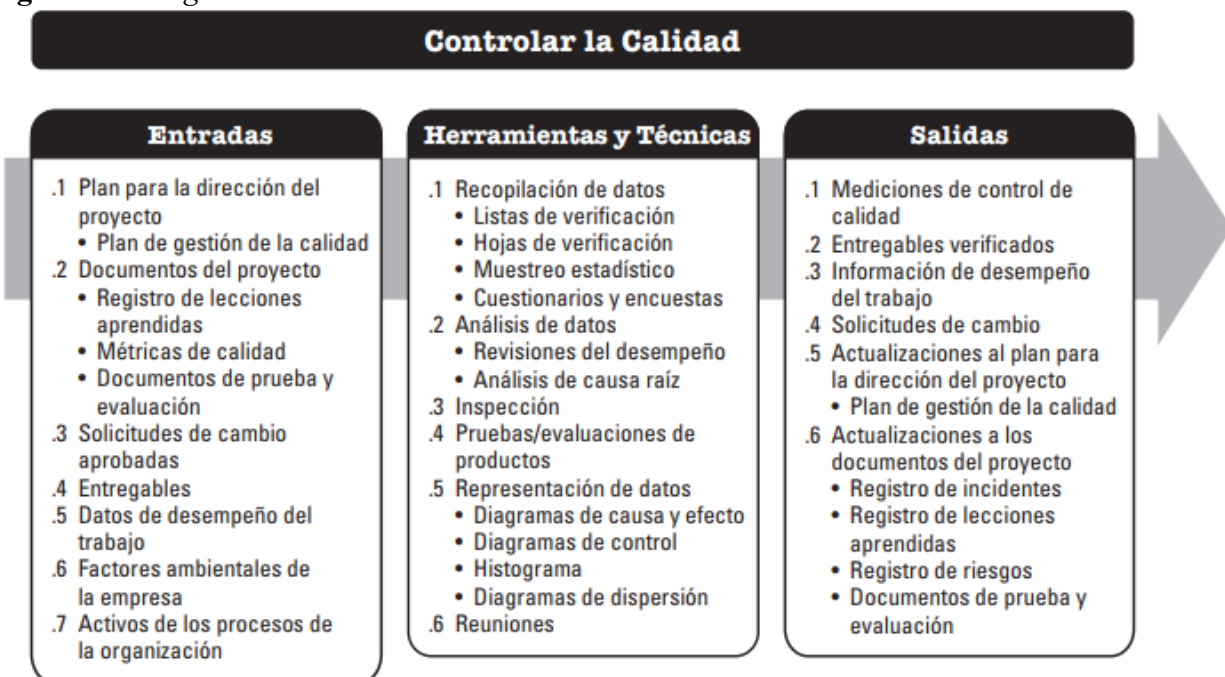
Por tanto, no se requiere aplicar herramientas como diagramas de control, muestreo de calidad o ensayos técnicos. La calidad del proyecto se asegura mediante la supervisión académica, el cumplimiento metodológico, la incorporación de normas técnicas vigentes y la validación de resultados a través de fuentes bibliográficas y normativas especializadas. En consecuencia, este proceso no aplica al proyecto debido a su naturaleza documental y analítica.

4.7.4 Controlar la calidad

El proceso 8.3 Controlar la calidad pertenece al grupo de procesos de Monitoreo y Control y se enfoca en supervisar y registrar los resultados de la ejecución de las actividades de calidad para evaluar el desempeño y asegurar que los entregables cumplen con los estándares de calidad

establecidos. Este proceso permite identificar causas de resultados insatisfactorios y plantear acciones correctivas o preventivas (Project Managment Institute., 2017).

Figura 47. *Diagrama del control de la calidad.*



Tomado de Project Management Institute (Project Managment Institute., 2017).

4.7.4.1 Entradas del control de la calidad. para ejecutar este ítem se utiliza como insumo el plan de gestión de la calidad dado en 4.7.2 así como el plan de dirección del proyecto en 4.3.2. Además, se consideraron los documentos de soporte técnico y las normas nacionales que rigen los estudios de factibilidad energética en Colombia. Estos elementos permiten verificar si el trabajo se realizó conforme a lo planificado y si cumple los criterios técnicos y académicos.

4.7.4.2 Herramientas del control de la calidad. para el control de calidad, se realiza apoyo en las inspecciones documentales las cuales son revisiones por parte del director de tesis y el uso de criterios de verificación. No se emplearon técnicas estadísticas ni herramientas complejas de muestreo, ya que los entregables fueron documentos evaluables directamente dado

que el proyecto es de baja complejidad. También se usó el juicio de expertos como herramienta clave para validar la calidad de los resultados.

4.7.4.3 Salidas del control de la calidad. como resultado, se obtienen registros de calidad que validan que los entregables cumplen con los requisitos definidos, también se identificaron observaciones menores que fueron corregidas oportunamente antes de la entrega final. Estos registros se documentan como parte del informe final del proyecto y respaldan la aceptación de los entregables. La validación de estos elementos se detalla en el numeral 4.3.11 donde se indica cómo se hace validación de los entregables.

4.7.5 Costos de la gestión de la calidad

Para garantizar el correcto desarrollo de la gestión, se consideran los costos asociados de acuerdo con el tiempo dedicado por cada persona a éste y los recursos físicos necesarios para cumplir con lo indicado en la gestión. Se presenta la Tabla 61 con la información de costos

Tabla 61. Costo de la gestión de la calidad.

<i>Estimación presupuestal personal proyecto (Gestión Calidad)</i>			
<i>Responsable</i>	<i>Total Horas de Trabajo</i>	<i>Costo por Hora de Trabajo</i>	<i>Costo Total</i>
Director de Proyectos	1	\$ 21,600	\$ 21,600
Ingeniero Electricista	8	\$ 10,200	\$ 81,600
Ingeniero Civil	2	\$ 10,200	\$ 20,400
Analista Financiero	2	\$ 10,200	\$ 20,400
<i>Subtotal Personal Gestión Calidad</i>			<i>\$ 144,000</i>

4.8 Gestión de los recursos del proyecto

En este apartado se realiza la identificación, adquisición, asignación, monitoreo y control de todos los recursos necesarios para llevar a cabo las actividades del proyecto de forma eficiente;

dentro de estos recursos se consideran los equipos, materiales e infraestructura requeridas para garantizar el proyecto, así como los elementos humanos necesarios para garantizar la entrega y cumplimiento de los objetivos definidos (Project Managment Institute., 2017).

Tabla 62. *Grupo de procesos para la gestión de los recursos del proyecto según la Guía del PMBOK®.*

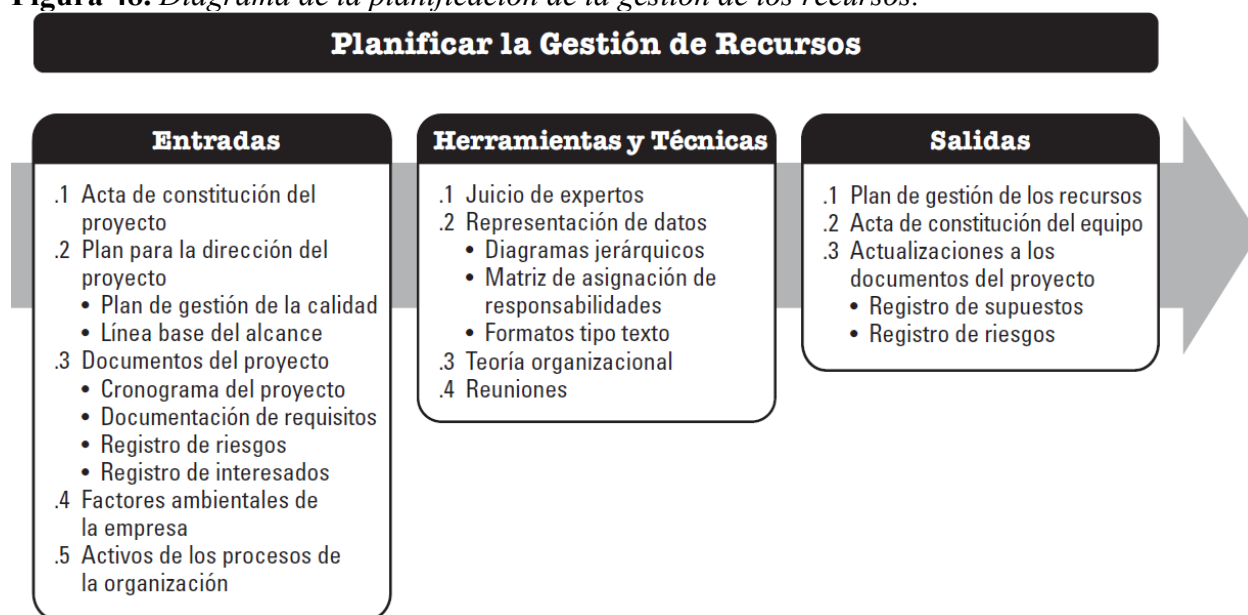
<i>Áreas de Conocimiento</i>	<i>Grupos de Procesos de la Dirección de Proyectos</i>	
	<i>Grupo de Procesos de Inicio</i>	<i>Grupo de Procesos de Planificación</i>
9. Gestión de los Recursos del Proyecto.		9.1 Planificar la Gestión de Recursos
		9.2 Estimar los Recursos de las Actividades

Tomado de Project Managment Institute (Project Managment Institute., 2017).

El primer paso a desarrollar dentro de esta gestión es la identificar que recursos son esenciales para el avance del proyecto como lo son: Equipos tecnológicos, personal calificado, materiales específicos. Después de esto, se deberán asignar los recursos identificados a las diferentes actividades definidas para el proyecto de forma que se utilice eficientemente de acuerdo con las prioridades y las necesidades de cada fase, esto incluye tener en cuenta las habilidades del personal, la eficacia de los equipos y la disponibilidad de los materiales.

4.8.1 Planificación de la gestión de los recursos

Este proceso tiene como objetivo identificar y documentar los recursos humanos, físicos y materiales necesarios para la realización del proyecto, así como definir las estrategias para su adquisición, gestión y control. En el contexto de esta tesis, los recursos están orientados a la elaboración del estudio de factibilidad, por lo que se consideran principalmente recursos humanos (equipo académico y técnico de apoyo), herramientas informáticas, materiales bibliográficos y acceso a fuentes oficiales de información.

Figura 48. Diagrama de la planificación de la gestión de los recursos.

Tomado de Project Managment Institute (Project Managment Institute., 2017).

4.8.1.1 Entradas para planificar la gestión de los recursos. para identificar qué recursos físicos y humanos se necesitarán, en qué cantidad, y durante cuánto tiempo, se requiere el acta de constitución del proyecto indicado en el numeral 4.3.1 de este documento, así como el plan para la dirección del proyecto dado en 4.3.2. donde se tomará en cuenta los registros de riesgos y de interesados, así como las diferentes necesidades que atender el proyecto.

4.8.1.2 Herramientas para planificar la gestión de los recursos. se aplicaron, principalmente, el juicio de expertos para definir los roles necesarios y los perfiles profesionales adecuados, y el uso de sistemas de información para la dirección de proyectos, como hojas de cálculo y software de gestión. También se hizo uso de reuniones con el director del trabajo y el experto externo para validar requerimientos los y enfoques.

4.8.1.3 Salidas para planificar la gestión de los recursos. la salida de este ítem es el plan de gestión de recursos, el cual indica cómo está conformado el equipo responsable: un

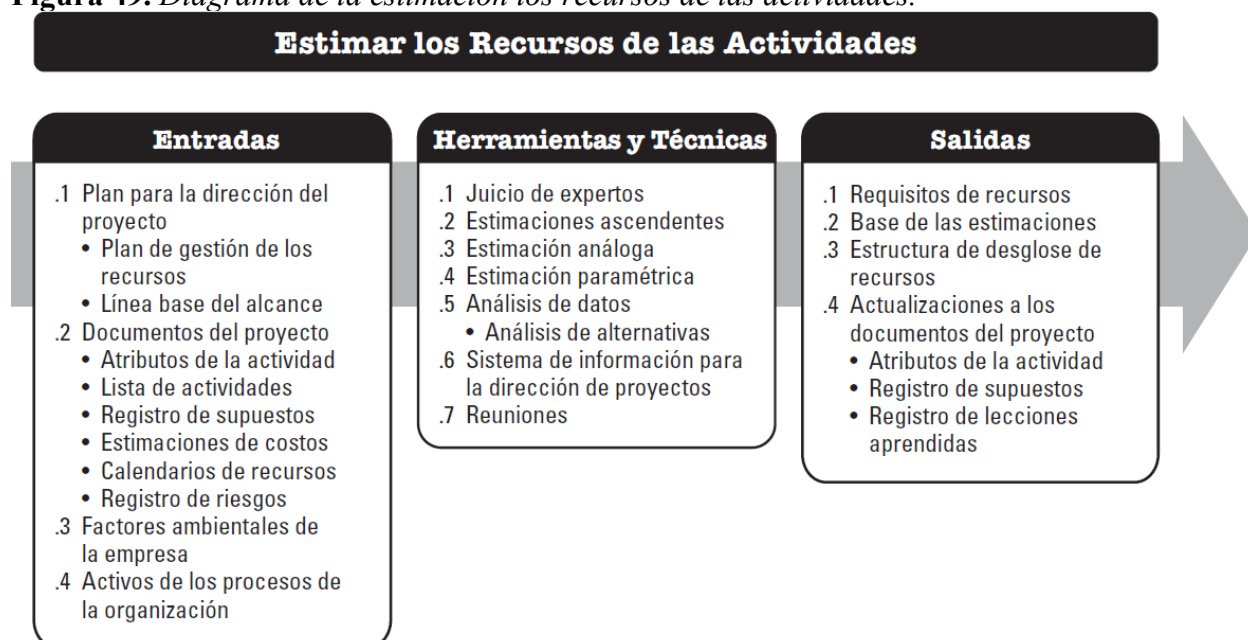
director de proyecto, un ingeniero electricista, un ingeniero civil y un analista financiero. También se identifica la necesidad de herramientas informáticas como Excel y MS Project, así como acceso a bibliografía y normativa técnica, y recursos básicos de oficina.

Además, se generaron entradas para la matriz de asignación de responsabilidades y el organigrama del proyecto, que ayudan a visualizar de manera clara los roles y funciones asignadas, facilitando así la coordinación y planificación del proyecto

4.8.2 Estimar los recursos de las actividades

En la estimación de los recursos de las actividades, se identifican los recursos físicos y humanos necesarios para completar cada actividad del proyecto. Aunque el proyecto se limita a una planificación académica y no a la ejecución de una obra, es importante estimar con claridad qué personas, conocimientos, materiales o herramientas se requieren para elaborar el estudio de factibilidad. Esto permite una asignación realista del esfuerzo y facilita la elaboración del cronograma y del presupuesto.

En el caso particular de esta tesis, se estimaron los recursos necesarios para las actividades relacionadas con la caracterización técnica y social, el análisis normativo, la evaluación económica, y la redacción del documento final.

Figura 49. Diagrama de la estimación los recursos de las actividades.

Tomado de Project Managment Institute (Project Managment Institute., 2017).

4.8.2.1 Entradas para planificar la gestión de los recursos. para identificar los recursos se requiere la información de la lista de actividades tomada en el numeral 4.5.2 así como el registro de riesgos dado en 4.10.2, también se requiere el acta de constitución del proyecto indicado en el numeral 4.3.1 de este documento, así como el plan para la dirección del proyecto dado en 4.3.2.

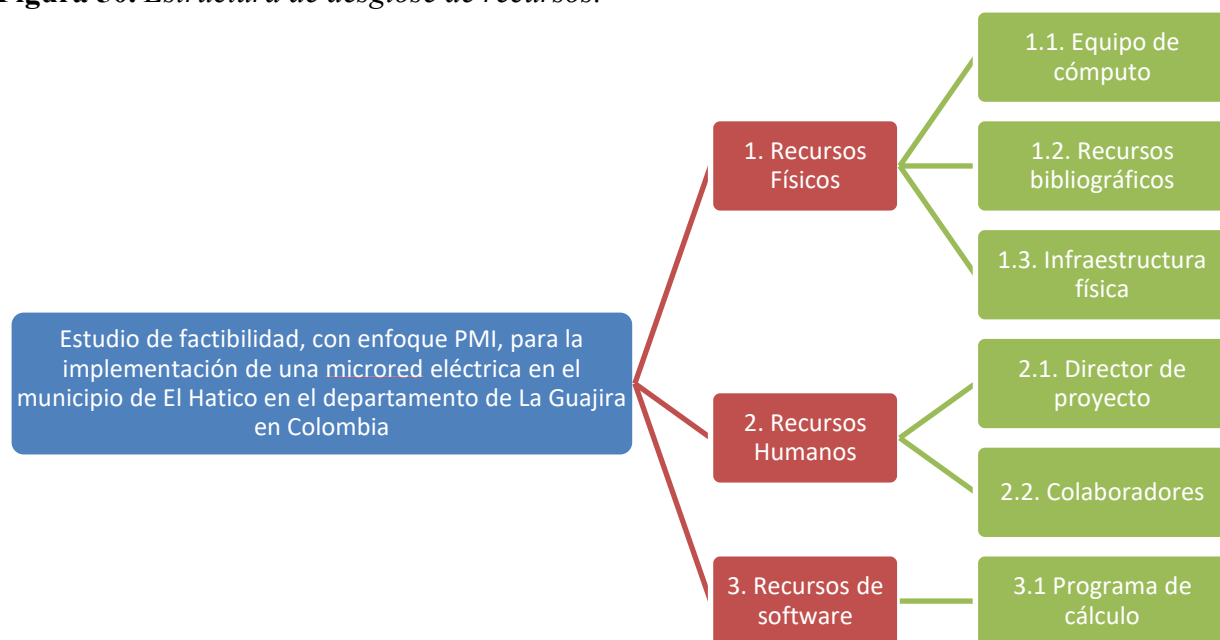
4.8.2.2 Herramientas para planificar la gestión de los recursos. se aplica tanto el juicio de expertos, para definir los recursos requeridos para cada tarea teniendo en cuenta su complejidad, como un análisis comparativo de acuerdo con diferentes proyectos similares. Toda esta información fue gestionada mediante hojas de cálculo en Excel y en MS Project para organizarlos correctamente respecto a cada actividad.

4.8.2.3 Salidas para planificar la gestión de los recursos. la salida de este ítem se da con la estimación de recursos para cada actividad, lo que permitió construir la matriz de asignación de responsabilidades y, de esta forma, asignar correctamente los recursos y los responsables a cada actividad definida previamente.

4.8.3 Resultado del plan de gestión de los recursos

En este plan se presentan las estrategias, acciones y procedimientos usados para identificar, asignar, gestionar y controlar los recursos requeridos para garantizar la entrega del proyecto; con esto se busca garantizar que cada uno de los recursos, indicados en la Figura 50 sean usados de manera óptima.

Figura 50. Estructura de desglose de recursos.



4.8.3.1 Identificación de los recursos del proyecto. en este punto se identifican los recursos humanos esenciales donde se incluye las habilidades y conocimientos, así como los roles y las responsabilidades que cada participante adquiere. También se contempla los recursos materiales requeridos para cumplir con el proyecto y herramientas necesarias para cumplir con el objetivo. La Tabla 63 presenta cada uno de los recursos descritos; sin embargo, se presenta un esquema inicial que deberá ser ajustado, y actualizado, de acuerdo con las políticas de la empresa que tome el proyecto.

Tabla 63. *Matriz de recursos, roles y responsabilidades.*

<i>Equipo</i>	<i>Responsable</i>	<i>Rol</i>
Gestión de Proyectos	Director de proyecto	Proporcionar una guía estructurada que permita gestionar eficientemente los diferentes recursos del proyecto.
		Responsable de asesorar a los colaboradores para garantizar el cumplimiento de los objetivos
Equipo Profesional	Ingeniero Electricista	Desarrollar el proyecto para determinar la factibilidad de la implementación de microredes
	Ingeniero Civil	Apoyo y asesoría en la construcción de la factibilidad.
Equipo Administrativo	Analista Financiero	Desarrollar los análisis económicos que permita tomar decisiones informadas respecto a los costos del proyecto.

4.8.3.2 Asignación de los recursos del proyecto. Para la asignación del recurso humano, se consideraron las competencias de cada uno de los profesionales, así como la función de cada actividad descrita en el Desglose de la Estructura de Trabajo (EDT/WBS). De acuerdo con ello, se presenta la Matriz de asignación de responsabilidades (Matriz RAM) en la Tabla 64

Tabla 64. *Matriz de asignación de responsabilidades (RAM).*

<i>Ítem</i>	<i>Gestión de Proyectos</i>	<i>Equipo Profesional</i>	<i>Equipo Administrativo</i>
<i>1. Gestión y Dirección del Proyecto</i>			
1.1. Plan de gestión de la integración	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	
1.1.1. Acta de constitución del proyecto	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	
1.1.2. Plan de dirección del proyecto	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	

<i>Ítem</i>	<i>Gestión de Proyectos</i>	<i>Equipo Profesional</i>	<i>Equipo Administrativo</i>
1.2. Plan de gestión del alcance	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	
1.2.1. Plan de gestión del alcance	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	
1.2.2. Documento de requisitos	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	
1.2.3. Enunciado del alcance del proyecto	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	
1.2.4. Estructura de desglose de trabajo	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	
1.3. Plan de gestión del cronograma	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	
1.3.1. Cronograma del proyecto	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	
1.3.2. Línea base del cronograma	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	
1.4. Plan de gestión de los costos	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	Analista Financiero
1.4.1. Estimaciones de costos	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	Analista Financiero
1.4.2. Línea base de costos	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	Analista Financiero
1.5. Plan de gestión de la calidad	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	
1.5.1. Plan de calidad	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	
1.6. Plan de gestión de los recursos	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	
1.6.1. Plan de recursos	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	
1.6.2. Requisitos de recursos	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	
1.7. Plan de gestión de comunicaciones	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	
1.7.1. Plan de comunicaciones	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	
1.8. Plan de gestión del riesgo	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	Analista Financiero
1.8.1. Plan de riesgos	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	Analista Financiero
1.8.2. Registro de riesgos	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	Analista Financiero
1.9. Plan de gestión de adquisiciones	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	
1.9.1. Plan de adquisiciones	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	

<i>Ítem</i>	<i>Gestión de Proyectos</i>	<i>Equipo Profesional</i>	<i>Equipo Administrativo</i>
1.10. Plan de gestión de los interesados	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	
1.10.1. Plan de gestión de interesados	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	
<i>2. Factibilidad del Proyecto</i>			
2.1. Conclusiones de viabilidad técnica	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	
2.1.1. Identificación de recursos energéticos	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista	
2.1.2. Identificación de tecnología	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista	
2.1.3. Identificación de requerimiento de equipos	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista	
2.2. Conclusiones viabilidad económica	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	Analista Financiero
2.2.1. Análisis de ingresos	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista	Analista Financiero
2.2.2. Análisis de egresos	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista	Analista Financiero
2.2.3. Análisis de costos de AOM	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista	Analista Financiero
2.3. Conclusiones viabilidad social	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	
2.3.1. Recolección de datos poblacionales	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista	
2.3.2. Análisis de requerimientos energéticos	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista	

4.8.4 Adquirir recursos

Este proceso tiene como propósito obtener los recursos físicos, tecnológicos y humanos necesarios para la ejecución del proyecto. En el caso de la presente tesis, este proceso se aplicó de forma limitada, ya que no se gestionaron adquisiciones complejas ni contratación de personal. No se requirió de procesos de negociación, compras o asignación formal de recursos físicos a través de un área de adquisiciones. Por tanto, aunque se reconocen elementos relacionados con este proceso, su aplicación fue mínima

4.8.5 Desarrollar el equipo

El desarrollo del equipo busca mejorar las competencias, el ambiente de trabajo y el desempeño del grupo asignado al proyecto. En esta tesis no se constituyó un equipo formal de trabajo, dado que la elaboración del documento fue responsabilidad propia. La participación de los asesores se limitó a retroalimentaciones puntuales sin establecer dinámicas de equipo. En este contexto, no se implementaron estrategias como talleres de integración, actividades de motivación o capacitaciones, propias de este proceso en proyectos colaborativos. Aunque el autor fortaleció sus habilidades técnicas y de gestión durante la ejecución, ello se enmarca en el desarrollo personal académico y no bajo un enfoque de dirección de equipos.

4.8.6 Dirigir el equipo

Este proceso se centra en supervisar, evaluar y orientar al equipo de trabajo para alcanzar el desempeño esperado. En el desarrollo de esta tesis, no fue necesario aplicar este proceso, ya que no existió una estructura organizativa con roles definidos, subordinación ni toma de decisiones compartida. La gestión del trabajo se realizó de manera autónoma por el tesista, sin necesidad de resolver conflictos internos, establecer normas de conducta o aplicar herramientas de monitoreo del rendimiento humano. La interacción con los asesores académicos no implicó supervisión directa, sino una relación de orientación académica. Por lo tanto, no se gestionaron actividades inherentes a este proceso tal como lo plantea la *Guía del PMBOK*®.

4.8.7 Controlar los recursos

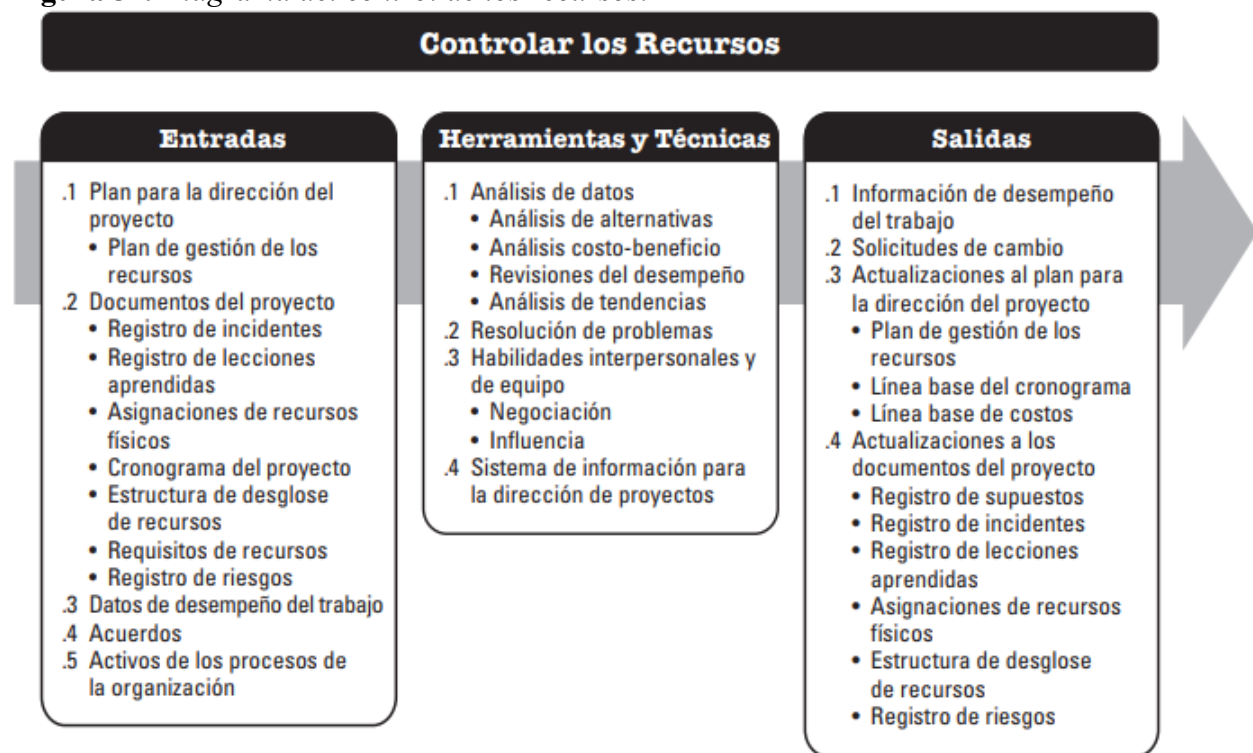
Este proceso tiene como objetivo asegurar que los recursos físicos asignados y adquiridos se utilicen según lo planificado, así como monitorear su disponibilidad y desempeño a lo largo del

proyecto. Involucra la supervisión del uso real de los recursos frente al plan, así como la resolución de problemas relacionados con su uso (Project Managment Institute., 2017)..

Aunque en el desarrollo de esta tesis no se utilizaron recursos físicos en gran escala como maquinaria o materiales de construcción, sí se hizo uso de recursos tecnológicos como software (Excel, MS Project), documentación técnica y fuentes bibliográficas. Además, hubo una planificación en el uso del tiempo como recurso individual, ajustándose a un cronograma y objetivos específicos.

Así mismo, aunque no se controló un inventario físico, ni se gestionaron proveedores, sí fue necesario verificar que los recursos estuvieran disponibles durante el desarrollo de las distintas fases del proyecto. En ese sentido, se realizó un control informal del uso y disponibilidad de dichos recursos, lo cual justifica la aplicación adaptada del proceso.

Figura 51. Diagrama del control de los recursos.



Tomado de Project Managment Institute (Project Managment Institute., 2017).

4.8.7.1 Entradas del control de los recursos. para aplicar este proceso en el marco de este proyecto de tesis, se empleó como entrada el plan para la dirección del proyecto dado en 4.3.2, especialmente los componentes de cronograma 4.5.5 y recursos mostrados en 4.8.3.

4.8.7.2 Herramientas del control de los recursos. las herramientas utilizadas fueron las reuniones periódicas con el director de tesis para validar la ejecución de actividades que dependían de recursos definidos. Asimismo, se emplearon sistemas de gestión como hojas de cálculo para hacer seguimiento al uso temporal y disponibilidad de recursos críticos, como licencias de software y tiempos asignados para actividades clave.

4.8.7.3 Salidas del control de los recursos. aun cuando no se gestionaron recursos físicos ni proveedores, se identificaron aquellos que eran necesarios para el desarrollo del proyecto. Estas salidas permitieron mantener la trazabilidad y contribuyeron a la integración efectiva con los procesos de control del cronograma y control de los costos.

No se identificaron desviaciones significativas entre los recursos planificados y los realmente utilizados. La asignación de tiempos fue respetada de acuerdo con el cronograma, y el acceso a software y bibliografía fue constante. Las reuniones de seguimiento con el asesor de tesis permitieron validar el uso adecuado de estos recursos y resolver oportunamente cualquier limitación operativa menor.

En conclusión, el control de los recursos fue eficaz, y no fue necesario implementar acciones correctivas. Este resultado contribuyó positivamente al cumplimiento del cronograma y al mantenimiento de los costos dentro de los límites definidos.

4.8.8 Costos de la gestión de recursos

Para garantizar el correcto desarrollo de la gestión, se consideran los costos asociados de acuerdo con el tiempo dedicado por cada persona a éste y los recursos físicos necesarios para cumplir con lo indicado en la gestión. Se presenta la Tabla 65 con la información de costos

Tabla 65. *Costo de la gestión de recursos.*

<i>Estimación presupuestal personal proyecto (Gestión Recursos)</i>			
<i>Responsable</i>	<i>Total Horas de Trabajo</i>	<i>Costo por Hora de Trabajo</i>	<i>Costo Total</i>
Director de Proyectos	1	\$ 21,600	\$ 21,600
Ingeniero Electricista	8	\$ 10,200	\$ 81,600
Ingeniero Civil	1	\$ 10,200	\$ 10,200
Analista Financiero	1	\$ 10,200	\$ 10,200
<i>Subtotal Personal Gestión Recursos</i>			<i>\$ 123,600</i>

4.9 Gestión de las comunicaciones del proyecto

Esta gestión abarca todos los procesos necesarios para garantizar una correcta dirección de la información del proyecto, esto incluye establecer las directrices y estrategias para garantizar la recopilación, distribución, almacenamiento, recuperación y disposición de ésta. Con lo anterior, se puede establecer un adecuado manejo en el flujo de la información para que ésta sea oportuna y precisa; así mismo, esta eficiencia se traslada a un mejor vínculo entre los colaboradores de la entidad encargada de desarrollar el proyecto, así como con los interesados externos como las comunidades afectadas por este desarrollo (Project Management Institute., 2017).

Tabla 66. *Grupo de procesos para la gestión de las comunicaciones según la Guía del PMBOK®.*

<i>Áreas de Conocimiento</i>	<i>Grupos de Procesos de la Dirección de Proyectos</i>	
	<i>Grupo de Procesos de Inicio</i>	<i>Grupo de Procesos de Planificación</i>
10. Gestión de las comunicaciones del Proyecto.		10.1 Planificar la gestión de las comunicaciones

Tomado de Project Management Institute (Project Management Institute., 2017).

Dado que este proyecto tiene incidencia en una zona con comunidades diversas, especialmente zonas indígenas, la comunicación entre las partes debe desarrollarse correctamente para mantener un alto nivel de transparencia ante los interesados externos, así como un correcto manejo interno que garantice una entrega final dentro de los estándares de calidad definidos y que esté alineado con los objetivos propuestos inicialmente.

4.9.1 Planificación de la gestión de las comunicaciones del proyecto

En esta etapa se define cómo se gestionará la comunicación durante el desarrollo del trabajo, qué tipo de información se necesita, con qué frecuencia, y a través de qué medios será compartida. Dado que el alcance del proyecto es limitado, la comunicación se mantiene principalmente entre el estudiante y su director, así como con el asesor externo, utilizando medios como correo electrónico, sesiones de revisión, y comentarios sobre el documento.

Figura 52. Diagrama de la planificación de la gestión de las comunicaciones.



Tomado de Project Management Institute (Project Management Institute., 2017).

4.9.1.1 Entradas para planificar la gestión de las comunicaciones. para identificar los involucrados y, de esta manera, determinar los mejores medios por los que se puede realizar la comunicación entre ellos, se requiere el acta de constitución del proyecto indicado en el numeral 4.3.1, el plan para la dirección del proyecto dado en 4.3.2. y el registro de interesados en el numeral 4.12.2. De esta manera se coordina, de mejor manera, los medios de comunicación.

4.9.1.2 Herramientas para planificar la gestión de las comunicaciones. se aplicaron, principalmente, el juicio de expertos para definir la mejor forma de gestionar la comunicación entre los involucrados. Adicionalmente se tuvo en cuenta los requisitos de cada uno y las tecnologías aplicables. De esta manera se construye un plan que garantiza un involucramiento activo de las partes interesadas.

4.9.1.3 Salidas para planificar la gestión de las comunicaciones. la salida de este ítem es el plan de gestión de comunicación donde se establecen los lineamientos básicos como son frecuencia de comunicación, los medios a usar y los formatos de los entregables; de esta forma se puede hacer un seguimiento al proyecto y se mantiene, a los interesados, en constante conocimiento de la situación de este.

4.9.2 Resultado de la planificación de la gestión de las comunicaciones del proyecto

A continuación, se presenta el plan de la gestión de las comunicaciones en el cual se definen los tipos y mecanismos de comunicación requeridos para el desarrollo del proyecto, así como el detalle de los canales internos de comunicación y los posibles mecanismos de comunicación externa para la interacción con expertos o actores institucionales consultados. De esta manera, se

realiza un flujo adecuado de información, trazabilidad documental y el cumplimiento de los tiempos establecidos para la retroalimentación y validación de entregables.

4.9.2.1 Tipos y mecanismos de comunicación. Para el correcto desarrollo del proyecto, se debe garantizar que la información fluya, de manera clara, concisa y oportuna, para todas las partes vinculadas al proyecto, tanto internas como externas. La transmisión adecuada de la información es de especial importancia ya que permite comunicar los resultados y avances a las comunidades en el área de intervención; esto debe considerar a aquellos quienes no están familiarizados con conceptos técnicos y pueden ser susceptibles a interpretaciones erróneas, para ello se deberá usar lenguaje accesible y simplificación de conceptos complejos para asegurar la comprensión y confianza en el proceso.

En la Tabla 67 se presenta los mecanismos de comunicación interna a usar por parte del proyecto para garantizar la claridad en la información y el desarrollo de los objetivos de acuerdo con el cronograma. De igual manera, en la

Tabla 68 se presenta los mecanismos de comunicación externa que se deberán aplicar para garantizar que los interesados tengan un medio por el cual puedan intercambiar información, necesidades y propuestas, de forma ágil y transparente, con el proyecto.

Tabla 67. *Mecanismos de comunicación interna.*

<i>Receptor</i>	<i>Responsable</i>	<i>Objetivo de Comunicación</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Mecanismo</i>
Ingeniero Electricista	Director de proyectos	Revisión de cumplimiento de actividades	A necesidad	• Reuniones virtuales
		Resolución de dudas respecto al proyecto	A necesidad	• Reuniones virtuales • Correos electrónicos
Director de proyectos	Ingeniero Electricista	Presentación de avances.	A necesidad	• Reuniones virtuales

Tabla 68. *Mecanismos de comunicación externa.*

<i>Receptor</i>	<i>Responsable</i>	<i>Objetivo de Comunicación</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Mecanismo</i>
Ingeniero Civil	Ingeniero Electricista	Resolución de dudas respecto al proyecto	A necesidad	• Llamadas telefónicas • Reuniones virtuales s
		Asesoría al proyecto.	A necesidad	• Reuniones virtuales
Analista Financiero	Ingeniero Electricista	Asesoría financiera al proyecto.	A necesidad	• Llamadas telefónicas • Reuniones virtuales s

4.9.3 Gestionar las comunicaciones

Este proceso consiste en garantizar que la información necesaria del proyecto fluya de manera eficiente entre todos los interesados, de acuerdo con los requerimientos definidos en el plan de gestión de las comunicaciones. Su objetivo principal es facilitar el intercambio adecuado y oportuno de datos relevantes, empleando los canales, formatos y frecuencias previamente establecidos, lo cual permite mantener informados a todos los actores claves durante la ejecución del proyecto (Project Managment Institute., 2017).

Figura 53. *Diagrama de la gestión de las comunicaciones.*

Tomado de Project Managment Institute (Project Managment Institute., 2017).

4.9.3.1 Entradas de la gestión de las comunicaciones. para llevar a cabo este proceso se utiliza el plan para la dirección del proyecto dado en 4.3.2, el plan de gestión de las comunicaciones elaborado en la fase de planificación numeral 4.9.2, el registro de interesados en 4.12.2 y el cronograma del proyecto del numeral 4.5.5. Estos elementos permiten identificar qué información debía comunicarse, a quién, con qué frecuencia y por medio de qué canales. Además, se consideraron los informes de desempeño generados en los procesos de seguimiento y control

4.9.3.2 Herramientas de la gestión de las comunicaciones. se aplicaron, principalmente, el juicio de expertos para definir los recursos de acuerdo con la experiencia, tecnologías de la información como el correo electrónico y plataformas de almacenamiento en la nube para el envío de avances y documentos clave. También se hizo uso de reuniones periódicas para validar la comprensión de los entregables y resolver dudas. Estas herramientas aseguraron que las comunicaciones se adaptaran al entorno académico del proyecto y fueran accesibles para todos los involucrados.

4.9.3.3 Salidas de la gestión de las comunicaciones. en la salida de este proceso se generan los entregables de comunicación esperados, entre ellos se encuentran informes de avance, actas de reuniones y/o resúmenes ejecutivos de cada fase del proyecto. Estos documentos garantizan la trazabilidad de la información, la alineación de expectativas y la resolución oportuna de dudas.

4.9.4 Resultado de la gestión de las comunicaciones

Durante la ejecución del proyecto de tesis, las comunicaciones fueron gestionadas de manera efectiva conforme a lo establecido en el plan de gestión de las comunicaciones. Se

identificaron correctamente los grupos de interés relevantes: principalmente el director de tesis y el asesor externo. A todos ellos se les proporcionó la información pertinente de manera clara, oportuna y en el formato acordado.

Se implementaron canales definidos como el correo electrónico institucional para la entrega formal de documentos, y las reuniones virtuales para aclaraciones y retroalimentación. La frecuencia de las comunicaciones se mantuvo conforme al cronograma establecido, así como a necesidad, lo cual permitió validar la información, ajustar las actividades menores y asegurar la alineación con los objetivos planteados.

Asimismo, se generaron documentos que facilitaron el seguimiento del progreso del trabajo y respaldaron las decisiones tomadas a lo largo del desarrollo del proyecto como son informes parciales, versiones iterativas del documento final, actas de reunión con observaciones del asesor.

4.9.5 Monitorear las comunicaciones

Este proceso se asegura que las necesidades de información de los interesados se estén satisfaciendo eficazmente durante el desarrollo del proyecto. Incluye recopilar y evaluar datos sobre el desempeño de la comunicación, asegurar que los mensajes lleguen a su destino, que se comprendan adecuadamente y que se tomen las acciones necesarias. El monitoreo permite ajustar estrategias de comunicación en función del comportamiento de los interesados o los cambios en el entorno del proyecto. (Project Management Institute., 2017).

Figura 54. Diagrama de la monitorización de las comunicaciones.

Tomado de Project Managment Institute (Project Managment Institute., 2017).

4.9.5.1 Entradas de la monitorización de las comunicaciones. para realizar este proceso es necesario contar con el plan para la dirección del proyecto dado en 4.3.2, el plan de gestión de las comunicaciones del numeral 4.9.2, el registro de interesados en 4.12.4 y los informes de desempeño generados durante la ejecución. Estos documentos sirven como base para evaluar la eficacia de los canales utilizados y el cumplimiento de los tiempos y formatos definidos en la planificación.

4.9.5.2 Herramientas de la monitorización de las comunicaciones. se aplica, principalmente, el juicio de expertos para conocer los mejores medios para garantizar la satisfacción en las comunicaciones, también se realiza retroalimentación directa del director de

tesis y el asesor externo. También, mediante las reuniones, se garantiza que se está realizando la recepción de la información de manera oportuna y con los índices de calidad esperados.

4.9.5.3 Salidas de la monitorización de las comunicaciones. en la salida de este proceso se identifican la frecuencia de las comunicaciones y se registran los acuerdos. También se generaron recomendaciones para proyectos futuros similares, las cuales fueron incluidas en el documento final de la tesis.

4.9.6 Resultado de la monitorización de las comunicaciones

Durante el desarrollo del proyecto, el monitoreo de las comunicaciones se realizó de manera continua para asegurar que la información relevante se distribuyera adecuadamente entre los interesados. Las reuniones periódicas con el director de tesis y el asesor externo permitieron verificar que los entregables fueran comprendidos correctamente y que los comentarios recibidos se incorporaran oportunamente. No se identificaron barreras significativas en la comunicación, lo que permitió mantener alineadas las expectativas y cumplir con los plazos establecidos.

Además, el uso de herramientas como correo electrónico institucional, plataformas de videoconferencia y mensajería instantánea aseguró la trazabilidad de la información y facilitó el seguimiento de acuerdos. El monitoreo también permitió validar la eficacia de los canales seleccionados, comprobando que fueron adecuados para el tipo y frecuencia de información requerida.

4.9.7 Costos de la gestión de comunicaciones

Para garantizar el correcto desarrollo de la gestión, se consideran los costos asociados de acuerdo con el tiempo dedicado por cada persona a éste y los recursos físicos necesarios para cumplir con lo indicado en la gestión. Se presenta la Tabla 69 con la información de costos

Tabla 69. Costo de la gestión de comunicaciones.

<i>Estimación presupuestal personal proyecto (Gestión Comunicaciones)</i>			
<i>Responsable</i>	<i>Total Horas de Trabajo</i>	<i>Costo por Hora de Trabajo</i>	<i>Costo Total</i>
Director de Proyectos	1	\$ 21,600	\$ 21,600
Ingeniero Electricista	4	\$ 10,200	\$ 40,800
Ingeniero Civil	1	\$ 10,200	\$ 10,200
Analista Financiero	1	\$ 10,200	\$ 10,200
<i>Subtotal Personal Gestión Comunicaciones</i>			<i>\$ 82,800</i>

4.10 Gestión de los riesgos del proyecto

Los riesgos son aquellos eventos inciertos que pueden alterar el resultado de un proyecto y repercutir en el cumplimiento de los objetivos. Estos pueden ser de cualquier índole, desde pequeñas tareas que se realizan al comienzo del proyecto, hasta sucesos que comprometen alguno, o varios, elementos del “Triangulo de Hierro” mostrado en la Figura 16

Tabla 70. Grupo de procesos para la gestión de los riesgos del proyecto según la Guía del PMBOK®.

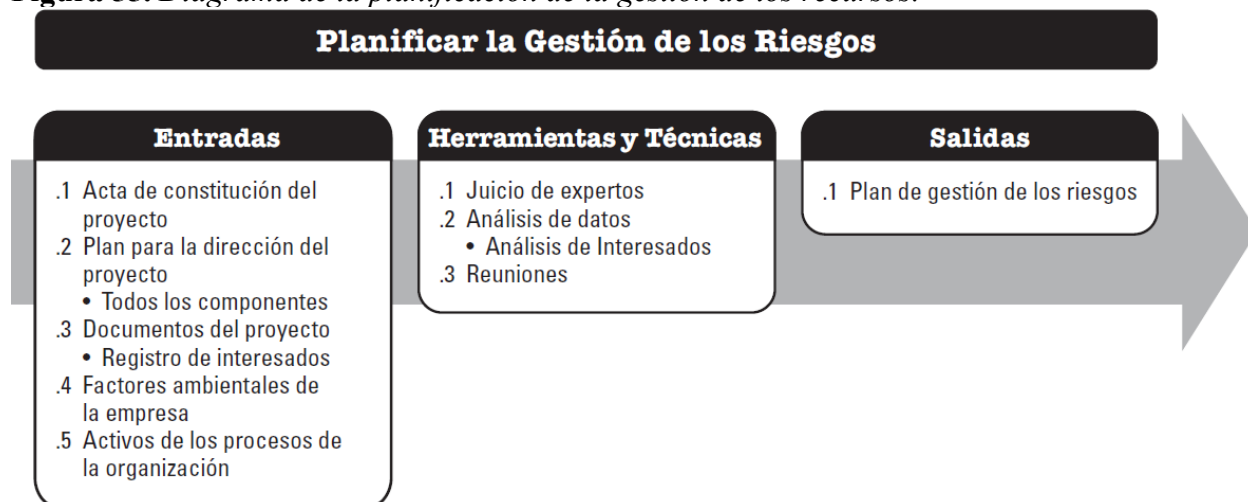
<i>Áreas de Conocimiento</i>	<i>Grupos de Procesos de la Dirección de Proyectos</i>	
	<i>Grupo de Procesos de Inicio</i>	<i>Grupo de Procesos de Planificación</i>
11. Gestión de los riesgos del proyecto		11.1 Planificar la Gestión de los Riesgos 11.2 Identificar los Riesgos 11.3 Realizar el Análisis Cualitativo de Riesgos 11.4 Realizar el Análisis Cuantitativo de Riesgos 11.5 Planificar la Respuesta a los Riesgos

Tomado de Project Management Institute (Project Management Institute., 2017).

Según la *Guía del PMBOK* ® (Project Managment Institute., 2017), esta gestión es la encargada de identificar, así como resolver, los potenciales riesgos que pueden surgir en el desarrollo del proyecto y, de esta forma, presentar propuestas de mitigación para evitar los impactos que puedan generar a los objetivos. Estos riesgos, si no son controlados, pueden generar desviaciones en el proyecto; para ello, se debe realizar una identificación, análisis y planificación de respuesta ante ellos, realizando un monitoreo y control constante.

4.10.1 Planificación de la gestión de los recursos

Este proceso establece cómo se abordarán los riesgos durante el desarrollo del proyecto, definiendo una estrategia para identificarlos, analizarlos, y darles seguimiento. En el contexto de esta tesis, la gestión de riesgos se enfoca en prever y mitigar factores que puedan afectar el desarrollo del estudio de factibilidad para una microred solar en el corregimiento de El Hatiko, incluyendo riesgos técnicos, normativos, financieros y sociales asociados a la propuesta. A pesar de que no se realiza la implementación física, se consideran también riesgos hipotéticos que afectarían el proyecto si llegara a ejecutarse, lo cual refuerza la solidez de la propuesta técnica y económica.

Figura 55. Diagrama de la planificación de la gestión de los recursos.

Tomado de Project Managment Institute (Project Managment Institute., 2017).

Para lograr controlar dichos riesgos y reducir las consecuencias en el proyecto, se debe identificar, caracterizar y responder a los riesgos mediante:

- Análisis iterativo, es decir, que sea repetitivo y progresivo en ciclos sucesivos para mejorar los resultados a lo largo del tiempo. Esto se realiza con el fin de refinar y mejorar los resultados a lo largo del tiempo mediante la realización de estos ciclos repetitivos, ajustando los datos de acuerdo con los nuevos datos o hallazgos.
- Adaptativo, es decir, los análisis se realizan con un enfoque flexible y dinámico ajustando las estrategias de acuerdo con las condiciones cambiantes, nueva información o las circunstancias imprevistas que se encuentren en el desarrollo del proceso.

4.10.1.1 Entradas para planificar la gestión de los riesgos. para definir cómo se gestionarán los riesgos del proyecto, se requiere el acta de constitución 4.3.1, el plan para la

dirección del proyecto 4.3.2 y el registro de interesados 4.12.2, que permiten comprender el contexto, las limitaciones y las expectativas del estudio.

4.10.1.2 Herramientas para planificar la gestión de los riesgos. se usa el juicio de expertos para identificar las prácticas aplicables a la evaluación de riesgos en estudios de factibilidad. También se empleó el análisis de datos de proyectos similares, lo que permitió establecer una estructura inicial de categorías de riesgo. Se adaptó un enfoque cualitativo basado en matrices de probabilidad e impacto, complementado por una categorización por áreas (técnicos, financieros, ambientales, sociales, legales, de gestión y de seguridad), facilitando una gestión ordenada y sistemática de los riesgos.

4.10.1.3 Salidas para planificar la gestión de los riesgos. la salida de este proceso es el plan de gestión de riesgos, donde se define cómo se identifican, analizan, evalúan, y responden los riesgos del proyecto. Se estableció la utilización de una escala de probabilidad e impacto del 0 al 5, una matriz de severidad, y una categorización por áreas. Además, se definieron las estrategias de respuesta (evitar, mitigar, transferir o aceptar) y se vinculó cada riesgo con un responsable dentro del equipo académico.

4.10.1.4 Procesos, rol y responsabilidades de la Gestión de Riesgos. Para una correcta gestión de los riesgos, de acuerdo con la *Guía del PMBOK®*, se deben cumplir las etapas mostradas en Tabla 71 las cuales tendrán un responsable asignado el cual será seleccionado de acuerdo con el rol respectivo y la experticia que pueda tener de acuerdo con su rol; de esta forma

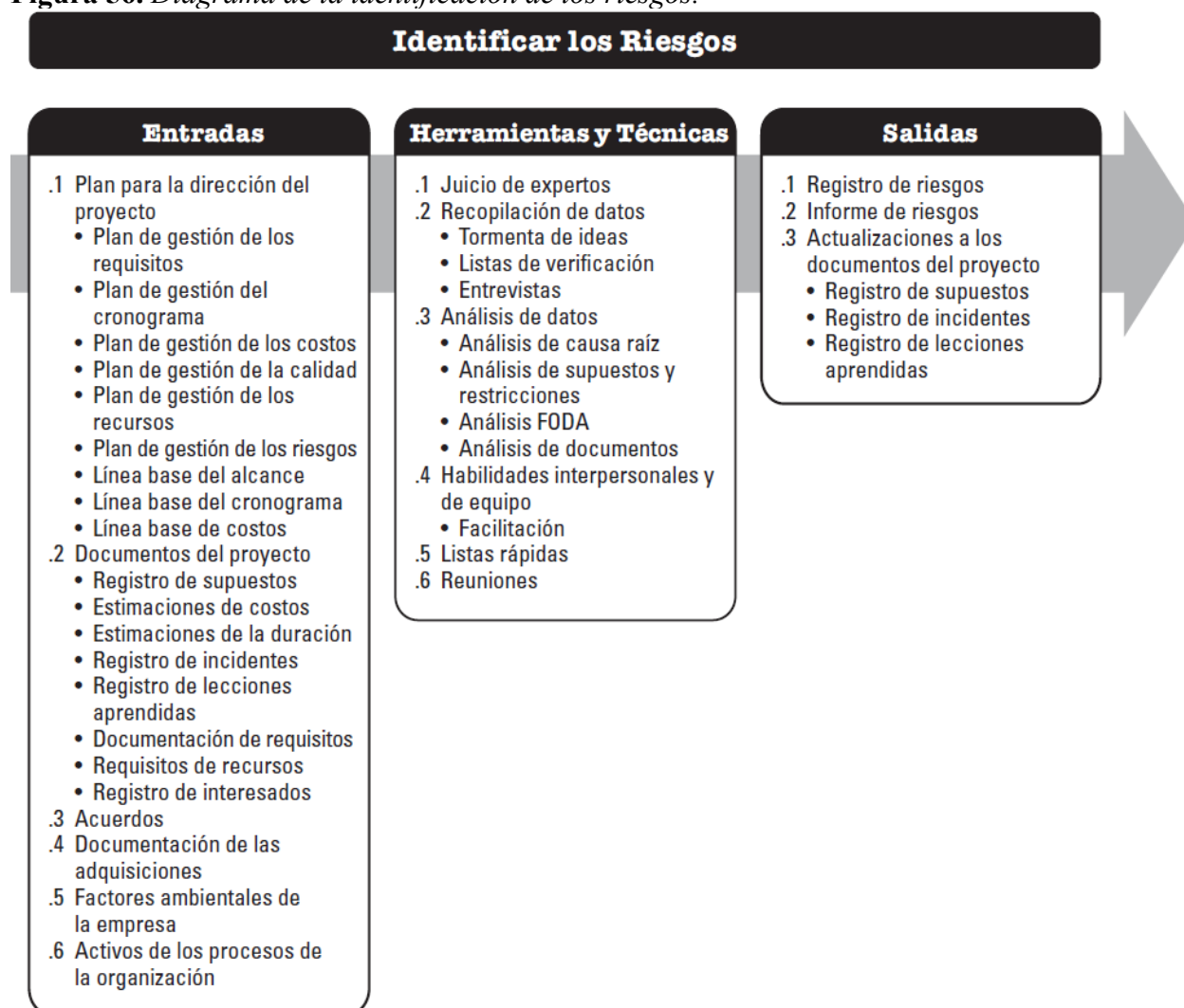
se puede garantizar una identificación, análisis, planeación y monitorización efectiva, así como las respuestas adecuadas para la implementación de las correcciones.

Tabla 71. *Procesos gestión del riesgo.*

<i>Proceso</i>	<i>Descripción</i>	<i>Rol Encargado</i>	<i>Responsabilidades</i>
Planificar la Gestión de Riesgos	Definir cómo se abordará la gestión de riesgos durante el proyecto.	Ingeniero Electricista	Desarrollar el plan de gestión de riesgos y asegurar su alineación con los objetivos del proyecto.
Identificar los Riesgos	Determinar los riesgos que pueden afectar el proyecto, documentando sus características.	Ingeniero Electricista	Identificar posibles amenazas u oportunidades y registrar información detallada en el registro de riesgos.
Realizar el Análisis Cualitativo de Riesgos	Evaluar la probabilidad e impacto de los riesgos identificados para priorizarlos.	Ingeniero Electricista	Clasificar riesgos según probabilidad, impacto y urgencia para definir la atención prioritaria.
Realizar el Análisis Cuantitativo de Riesgos	Analizar numéricamente el efecto de los riesgos en los objetivos del proyecto.	Analista Financiero	Evaluar cuantitativamente riesgos críticos para estimar sus posibles costos y retrasos.
Planificar la Respuesta a los Riesgos	Definir estrategias para minimizar amenazas y maximizar oportunidades del proyecto.	Ingeniero Electricista	Asignar recursos y responsables para ejecutar las respuestas a riesgos específicos.
Implementar la Respuesta a los Riesgos	Ejecutar las acciones planificadas para abordar los riesgos según lo definido en el plan.	Ingeniero Electricista	Ejecutar las respuestas asignadas y monitorear su efectividad.
Monitorear los Riesgos	Hacer seguimiento continuo a los riesgos y evaluar la efectividad de las respuestas.	Ingeniero Electricista	Revisar y actualizar el registro de riesgos, comunicando cambios relevantes a las partes interesadas.

4.10.2 Identificar los riesgos

En este ítem se determina los riesgos que podrían afectar el proyecto y se documentan sus características. Para esta tesis, se realiza la identificación de riesgos centrada tanto en el desarrollo del estudio académico como en los factores críticos que podrían comprometer la viabilidad técnica, económica, normativa o social del proyecto en caso de una futura ejecución. Con esto se puede anticipar posibles problemas, proponer respuestas preventivas y aportar una visión más realista de los desafíos asociados a implementar microredes en zonas no interconectadas.

Figura 56. Diagrama de la identificación de los riesgos.

Tomado de Project Management Institute (Project Management Institute., 2017).

4.10.2.1 Entradas para planificar la gestión de los riesgos. para desarrollar este proceso se usa el plan para la dirección del proyecto 4.3.2, el plan de gestión de riesgos elaborado en el punto 4.10.1, el acta de constitución del proyecto 4.3.1, y los documentos de referencia técnica y normativa. También se consideró el registro de interesados dado en el ítem 4.12.2 para

considerar las expectativas que se tiene al proyecto, así como documentos de políticas públicas, leyes del sector energético, y estudios previos sobre proyectos similares.

4.10.2.2 Herramientas para planificar la gestión de los riesgos. se usa el juicio de expertos, así como lectura de documentación académica y técnica para identificar los riesgos relevantes. También se realiza verificación de proyectos similares para garantizar la identificación correcta de riesgos. Finalmente, se empleó una agrupación por categoría para facilitar la clasificación de los riesgos en siete áreas: técnicos, financieros, ambientales, legales y normativos, sociales, de gestión organizacional, y de seguridad y salud, para estructurar de forma ordenada el proceso de análisis.

4.10.2.3 Salidas para planificar la gestión de los riesgos. la salida de este ítem es el registro de riesgos con la codificación, descripción, categoría, responsables y fase del proyecto asociada a cada riesgo. La construcción de esta base de datos permite realizar un análisis cualitativo, y cuantitativo, de los riesgos permitiendo un tratamiento estructurado en las siguientes etapas de análisis.

4.10.3 Categorización de los riesgos

Categorizar los riesgos es parte fundamental para la gestión de este proyecto ya que permite la correcta identificación, organización y evaluación de las principales amenazas que podrían afectar el cumplimiento de los objetivos del proyecto. Al clasificarlos se facilita la consecución de estrategias para mitigar cada riesgo, así como la asignación de recursos, acelerando la toma de decisiones informadas por parte de los encargados. Para este proyecto, se identificaron los riesgos como se muestra en la Tabla 72.

Tabla 72. *Categorización de los riesgos del proyecto.*

<i>Proceso</i>	<i>Descripción</i>
Riesgos Técnicos	Riesgos asociados con aspectos tecnológicos y operacionales, como fallos en el diseño, selección inadecuada de tecnología o problemas de compatibilidad de equipos.
Riesgos Financieros	Riesgos vinculados con la viabilidad económica, incluyendo incrementos inesperados en costos, retrasos en la financiación y fluctuaciones monetarias.
Riesgos Ambientales	Riesgos derivados de factores climáticos o condiciones ambientales adversas, así como restricciones por licencias ambientales o impactos imprevistos.
Riesgos Legales y Normativos	Riesgos relacionados con cambios regulatorios, retrasos en la obtención de permisos y el incumplimiento de normativas energéticas o ambientales.
Riesgos Sociales	Riesgos asociados con la relación con las comunidades, tales como conflictos sociales, resistencia al proyecto o expectativas mal gestionadas.
Riesgos de Gestión y Organización	Riesgos derivados de una planificación deficiente, asignación inadecuada de recursos, falta de coordinación o rotación de personal clave.
Riesgos de Seguridad y Salud	Riesgos relacionados con la integridad física de los trabajadores, como accidentes laborales, exposición a riesgos eléctricos o químicos.

4.10.3.1 Identificación de los riesgos. Dentro de los proyectos, la identificación de los riesgos es un proceso fundamental para conocer y documentar los posibles eventos que puedan afectar, de forma positiva o negativa, el alcanzar los objetivos del proyecto. Para lograr identificar estos riesgos se puede hacer uso de diferentes herramientas como lo son: Análisis de información previa o proyectos similares, opiniones de expertos y especialistas, análisis de matriz DOFA, diagramas de causa-efecto, mapas de riesgo, entre otros.

Para el caso de estudio de este trabajo, se identifica los riesgos asociados a cada proceso del proyecto para, de esta manera, analizar cómo pueden afectar los objetivos. En la Tabla 73 se presenta el desglose de los riesgos identificados en la Tabla 72; de esta forma se puede hacer un análisis más adecuado en una matriz de riesgos e impacto.

Tabla 73. *Riesgos identificados en el proyecto.*

<i>Proceso</i>	<i>ID</i>	<i>Descripción del riesgo</i>
Riesgos Técnicos	TE-1	Datos insuficientes o incorrectos en la evaluación de la demanda energética.
	TE-2	Limitada disponibilidad de información sobre recursos energéticos en la zona.
	TE-3	Falta de referencias sobre tecnologías adecuadas para el contexto específico del corregimiento de El Hatico.
Riesgos Financieros	FI-1	Subestimación de costos en el estudio de factibilidad.
	FI-2	Falta de financiamiento para completar la evaluación del proyecto.
Riesgos Ambientales	AM-1	Evaluación incompleta de los impactos ambientales de la microred.
	AM-2	Desconocimiento de restricciones ambientales en la zona.
Riesgos Legales y Normativos	LE-1	Falta de claridad en la regulación aplicable a microredes en zonas no interconectadas.
	LE-2	Cambios en la legislación energética que puedan afectar la viabilidad del proyecto.
Riesgos Sociales	SO-1	Falta de información suficiente sobre la percepción de la comunidad respecto al proyecto.
Riesgos de Gestión y Organización	GO-1	Limitada disponibilidad de expertos para la evaluación del proyecto.
	GO-2	Falta de coordinación entre las partes interesadas.
	GO-3	Deficiencias en la planificación del estudio que puedan afectar su alcance y conclusiones.

4.10.3.2 Matriz DOFA. Con los datos anteriores, se determina la matriz de Debilidades, Oportunidades, Fortalezas y Amenazas (DOFA), la cual es ampliamente usada como una herramienta de análisis y gestión de riesgos en proyectos; de esta forma se clasifican los factores internos y externos que pueden influir en el proyecto. El análisis DOFA proporciona una visión de los aspectos que deben gestionarse para maximizar las oportunidades y minimizar las amenazas, así como gestionar las debilidades e impulsar las fortalezas; de esta forma se busca contribuir a la toma de decisiones informadas en la fase de factibilidad del proyecto.

En la Figura 57 se presenta la matriz DOFA del proyecto para poder analizar de una manera estructurada todos los factores internos y externos que puedan influir en el cumplimiento de los objetivos. En este análisis se identifica las debilidades y fortalezas tanto dentro del equipo como con los recursos disponibles; también se identifican las oportunidades y amenazas en el entorno del proyecto.

Figura 57. *Matriz DOFA del proyecto.*

Debilidades	Oportunidades
- Aplicación de la metodología PMI para la gestión de riesgos y planificación del proyecto.	- Crecimiento del sector de energías renovables en Colombia, promovido por políticas gubernamentales.
- Equipo técnico interdisciplinario con experiencia en estudios de factibilidad.	- Interés de organismos internacionales en financiar proyectos de electrificación rural.
- Uso de herramientas de simulación energética y análisis financiero para optimizar la toma de decisiones.	- Innovación en tecnologías de microredes que podrían reducir costos y mejorar eficiencia.
Fortalezas	Amenazas
- Falta de referencias previas sobre microredes en la región, lo que dificulta la evaluación de alternativas tecnológicas (TE-3).	- Regulaciones energéticas inciertas o sujetas a cambios, lo que puede afectar la viabilidad del proyecto (LE-1, LE-2).
- Dependencia de información externa que puede ser insuficiente o desactualizada para el análisis energético y ambiental (TE-1, TE-2, AM-2).	- Falta de financiamiento asegurado para la fase de factibilidad, lo que puede retrasar o limitar el estudio (FI-2).
- Posible dificultad en la coordinación entre los diferentes actores involucrados en la ejecución del estudio (GO-2, GO-3).	- Resistencia de la comunidad local debido a desinformación o desconocimiento sobre el proyecto (SO-1).
- Falta de referencias previas sobre microredes en la región, lo que dificulta la evaluación de alternativas tecnológicas (TE-3).	- Regulaciones energéticas inciertas o sujetas a cambios, lo que puede afectar la viabilidad del proyecto (LE-1, LE-2).

4.10.4 Realizar el análisis cualitativo de riesgos

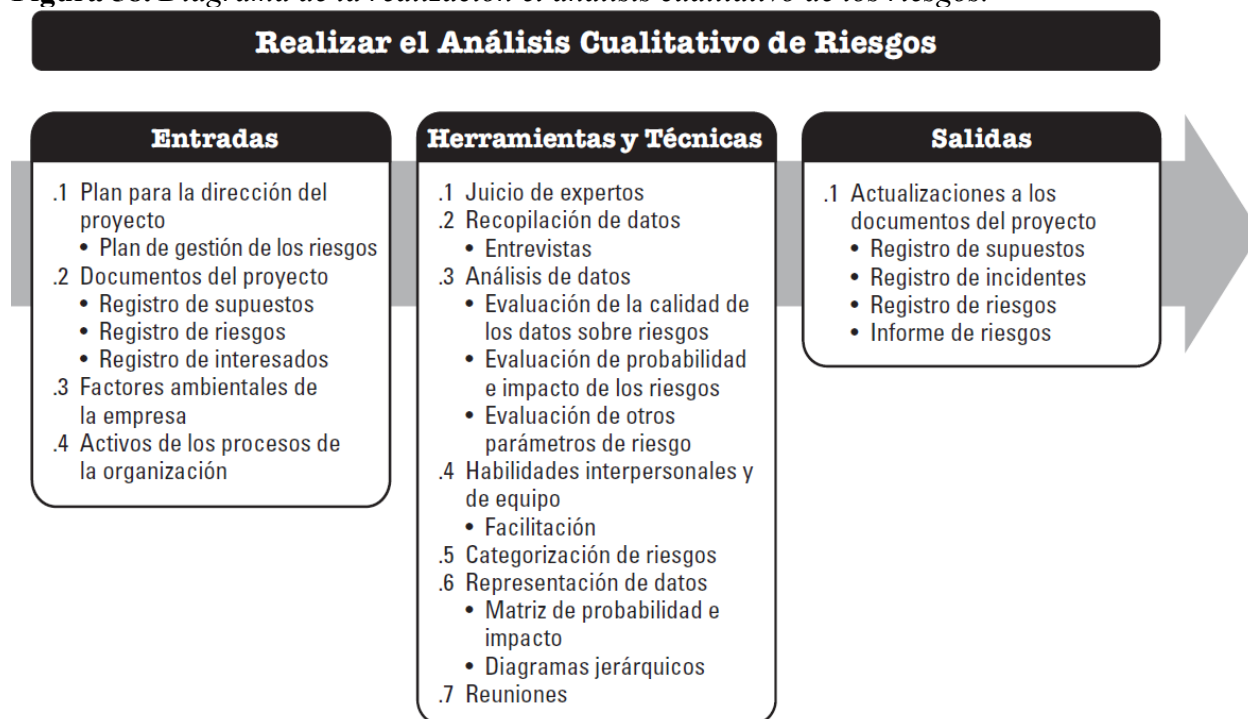
La realización de un análisis cualitativo tiene como propósito el evaluar los riesgos identificados y determinar su prioridad en función de su probabilidad de ocurrencia y el impacto que podrían tener sobre el proyecto. El análisis cualitativo se realiza con base en una escala ordinal del 0 al 5 tanto para la probabilidad como para el impacto, siendo 0 equivalente a nulo y 5 a muy alto o catastrófico, la combinación de ambas dimensiones permite calcular un valor de severidad y asignar un nivel de riesgo que orienta la toma de decisiones y el diseño de respuestas adecuadas.

Para lograr controlar dichos riesgos y reducir las consecuencias en el proyecto, se debe identificar, caracterizar y responder a los riesgos mediante:

- Análisis iterativo, es decir, que sea repetitivo y progresivo en ciclos sucesivos para mejorar los resultados a lo largo del tiempo. Esto se realiza con el fin de refinar y mejorar los resultados a lo largo del tiempo mediante la realización de estos ciclos repetitivos, ajustando los datos de acuerdo con los nuevos datos o hallazgos.

- Adaptativo, es decir, los análisis se realizan con un enfoque flexible y dinámico ajustando las estrategias de acuerdo con las condiciones cambiantes, nueva información o las circunstancias imprevistas que se encuentren en el desarrollo del proceso.

Figura 58. Diagrama de la realización el análisis cualitativo de los riesgos.



Tomado de Project Management Institute (Project Management Institute., 2017).

4.10.4.1 Entradas del análisis cualitativo de los riesgos. para desarrollar este proceso se usa el registro de riesgos generado en el proceso 4.10.2, complementado con el plan para la dirección del proyecto en 4.3.2 y el registro de interesados 4.12.2. Adicionalmente, se considera los objetivos del proyecto y el alcance definido en 0. Esta información contextual permite ponderar de forma más precisa los posibles efectos de cada riesgo sobre los entregables del estudio.

4.10.4.2 Herramientas del análisis cualitativo de los riesgos. se usa el juicio de expertos, el uso de escalas predefinidas para calificar la probabilidad y el impacto de cada riesgo. También se aplica una matriz de evaluación de riesgos, donde cada riesgo es ubicado en un cuadrante de prioridad (alto, medio, bajo o crítico). Con este enfoque se permite organizar y priorizar los riesgos sin necesidad de datos cuantitativos, que no siempre están disponibles en estudios académicos. Además, se incluyó una categorización por tipo de riesgo, lo que facilita la posterior planificación de estrategias de respuesta por área.

4.10.4.3 Salidas del análisis cualitativo de los riesgos. la salida principal es la actualización del registro de riesgos que contiene la valoración de probabilidad (0–5), impacto (0–5), el valor de severidad y el nivel de riesgo asociado para cada riesgo. La información se sintetiza en una matriz de riesgos que se usa para asignar estrategias de respuesta específicas en numerales posteriores. Con este análisis, se identifican los riesgos críticos asociados a cada actividad.

4.10.5 Realizar el análisis cuantitativo de riesgos

En este caso, se evalúa numéricamente el efecto de los riesgos identificados sobre los objetivos del proyecto. Si es posible, se aplica una valoración cuantitativa usando escalas de probabilidad, impacto y severidad. Este análisis permite estimar la magnitud de los riesgos y su posible afectación sobre el proyecto, complementando así el análisis cualitativo y respaldando las decisiones de priorización.

Figura 59. Diagrama de la realización del análisis cuantitativo de los riesgos.

Tomado de Project Management Institute (Project Management Institute., 2017).

4.10.5.1 Entradas del análisis cuantitativo de los riesgos. para desarrollar este proceso se usa el registro de riesgos generado en el proceso 4.10.2, complementado con el plan para la dirección del proyecto en 4.3.2 y el registro de interesados 4.12.2. Adicionalmente, se considera los objetivos del proyecto y el alcance definido en 0. Esta información contextual permite ponderar de forma más precisa los posibles efectos de cada riesgo sobre los entregables del estudio.

4.10.5.2 Herramientas del análisis cuantitativo de los riesgos. se usa el juicio de expertos y el uso de escalas predefinidas con estimación numérica de probabilidad e impacto (escala de 0 a 5) y el cálculo de severidad.

4.10.5.3 Salidas del análisis cuantitativo de los riesgos. la salida principal es el registro de riesgos actualizado con los valores de severidad y con una aproximación del impacto financiero esperado de ciertos riesgos. Con esto se identifican los riesgos que requieren mayor atención debido a su impacto potencial sobre los objetivos del proyecto.

4.10.6 Análisis de los riesgos y matrices de probabilidad e impacto

Una vez clasificados los riesgos, mediante la matriz de probabilidad e impacto, se obtiene una jerarquización que facilita la toma de decisiones sobre cuáles riesgos requieren acciones inmediatas, cuáles deben monitorearse constantemente y cuáles presentan un bajo nivel de amenaza. Este análisis permite evaluar la importancia relativa de los riesgos, considerando su probabilidad de ocurrencia y el impacto sobre el proyecto, y lograr así una priorización de los riesgos, permitiendo establecer estrategias de mitigación adecuadas y evitando afectaciones significativas a la viabilidad del proyecto.

Para lograr esto, se asignan valores de probabilidad y de impacto para cada riesgo usando un modelo de escala; con esto se logra clasificar en niveles de criticidad y así evaluar de manera efectiva los riesgos que pueden comprometer la calidad de la información, la validez de los análisis económicos y técnicos y la aceptación social del proyecto como se muestra en la Tabla 74.

Para la matriz de probabilidad se define una escala desde cero hasta cinco para determinar la ocurrencia garantizando desde nulo hasta muy alta respectivamente.

Tabla 74. Matriz de probabilidad.

<i>Probabilidad</i>	<i>Rango</i>	<i>Descripción</i>
Muy Alta	5	Ocurrirá con total seguridad.
Alta	4	Alta posibilidad de ocurrencia. Pero puede ser manejado correctamente
Moderada	3	Moderada posibilidad de ocurrencia. Dependerá de varios factores y condiciones
Baja	2	Poca frecuencia de ocurrencia. No es descartable completamente
Muy Baja	1	Mínima posibilidad de ocurrencia. Puede llegar a ser descartable.
Nula	0	Nula ocurrencia. Es prácticamente imposible que suceda.

Con la matriz de impacto se determina el grado de afectación que dicho riesgo puede generar en caso de materializarse, para ello se da un valor de escala entre cero y cinco donde se representa desde un impacto nulo hasta un impacto crítico al proyecto. Esta matriz se presenta en la Tabla 75

Tabla 75. Matriz de impacto.

<i>Impacto</i>	<i>Rango</i>	<i>Descripción</i>
Catastrófico	5	Conlleva a detener completamente el proyecto.
Mayor	4	Puede comprometer la continuidad del proyecto si no se controla.
Importante	3	Afecta el costo, tiempo y/o calidad del proyecto requiriendo ajustes significativos.
Menor	2	Impacto corregible con modificaciones en el plan de trabajo.
Inferior	1	No impacta el proyecto, pero se requiere monitoreo para evitar escalamiento.
Insignificante	0	No hay impacto significativo en el proyecto

Una vez se haya establecido los rangos en los que serán evaluados los impactos y las probabilidades, se debe obtener un cruce de ambos valores en la matriz de impacto y probabilidad. Esta matriz es usada, principalmente, para priorizar y evaluar los eventos que puedan afectar al proyecto para la toma de decisiones informadas en relación con las estrategias para afrontar los riesgos. En la Figura 60 se presenta la matriz para el estudio de factibilidad.

Figura 60. Matriz de probabilidad e impacto.

PROBABILIDAD		SEVERIDAD					
Muy Alta	5	0	5	10	15	20	25
Alta	4	0	4	8	12	16	20
Moderada	3	0	3	6	9	12	15
Baja	2	0	2	4	6	8	10
Muy Baja	1	0	1	2	3	4	5
Nula	0	0	0	0	0	0	0
IMPACTO		0	1	2	3	4	5
		Insigni.	Inferior	Menor	Importante	Mayor	Catastróf.

4.10.6.1 Escala de impacto de riesgos. Con la información expuesta anteriormente, se puede determinar la matriz de evaluación de riesgos. Esta presenta la clasificación de los riesgos identificados, considerando dos variables clave: la probabilidad de que ocurra cada riesgo y su impacto potencial sobre los tiempos, costos y calidad del proyecto, la combinación de ambos valores permite determinar la severidad de cada riesgo, proporcionando una herramienta útil para priorizar las acciones de mitigación y control.

Tabla 76. *Análisis cualitativo de los riesgos del proyecto.*

Proceso	ID	Descripción del riesgo	Probabilidad	Impacto	Severidad	
					Valor	Nivel
Riesgos Técnicos	TE-1	Datos insuficientes o incorrectos en la evaluación de la demanda energética.	4	4	16	Alto
Riesgos Técnicos	TE-2	Limitada disponibilidad de información sobre recursos energéticos en la zona.	3	4	12	Alto
Riesgos Técnicos	TE-3	Falta de referencias sobre tecnologías adecuadas para el contexto específico del corregimiento de El Hatico.	3	3	9	Moderado
Riesgos Financieros	FI-1	Subestimación de costos en el estudio de factibilidad.	4	3	12	Alto
Riesgos Financieros	FI-2	Falta de financiamiento para completar la evaluación del proyecto.	5	5	25	Crítico
Riesgos Ambientales	AM-1	Evaluación incompleta de los impactos ambientales de la microred.	3	4	12	Alto
Riesgos Ambientales	AM-2	Desconocimiento de restricciones ambientales en la zona.	4	4	16	Alto
Riesgos Legales y Normativos	LE-1	Falta de claridad en la regulación aplicable a microredes en zonas no interconectadas.	3	3	9	Moderado
Riesgos Legales y Normativos	LE-2	Cambios en la legislación energética que puedan afectar la viabilidad del proyecto.	3	4	12	Alto
Riesgos Sociales	SO-1	Falta de información suficiente sobre la percepción de la comunidad respecto al proyecto.	4	3	12	Alto
Riesgos de Gestión y Organización	GO-1	Limitada disponibilidad de expertos para la evaluación del proyecto.	3	3	9	Moderado
Riesgos de Gestión y Organización	GO-2	Falta de coordinación entre las partes interesadas en la fase de factibilidad.	4	4	16	Alto
Riesgos de Gestión y Organización	GO-3	Deficiencias en la planificación del estudio que puedan afectar su alcance y conclusiones.	3	4	12	Alto

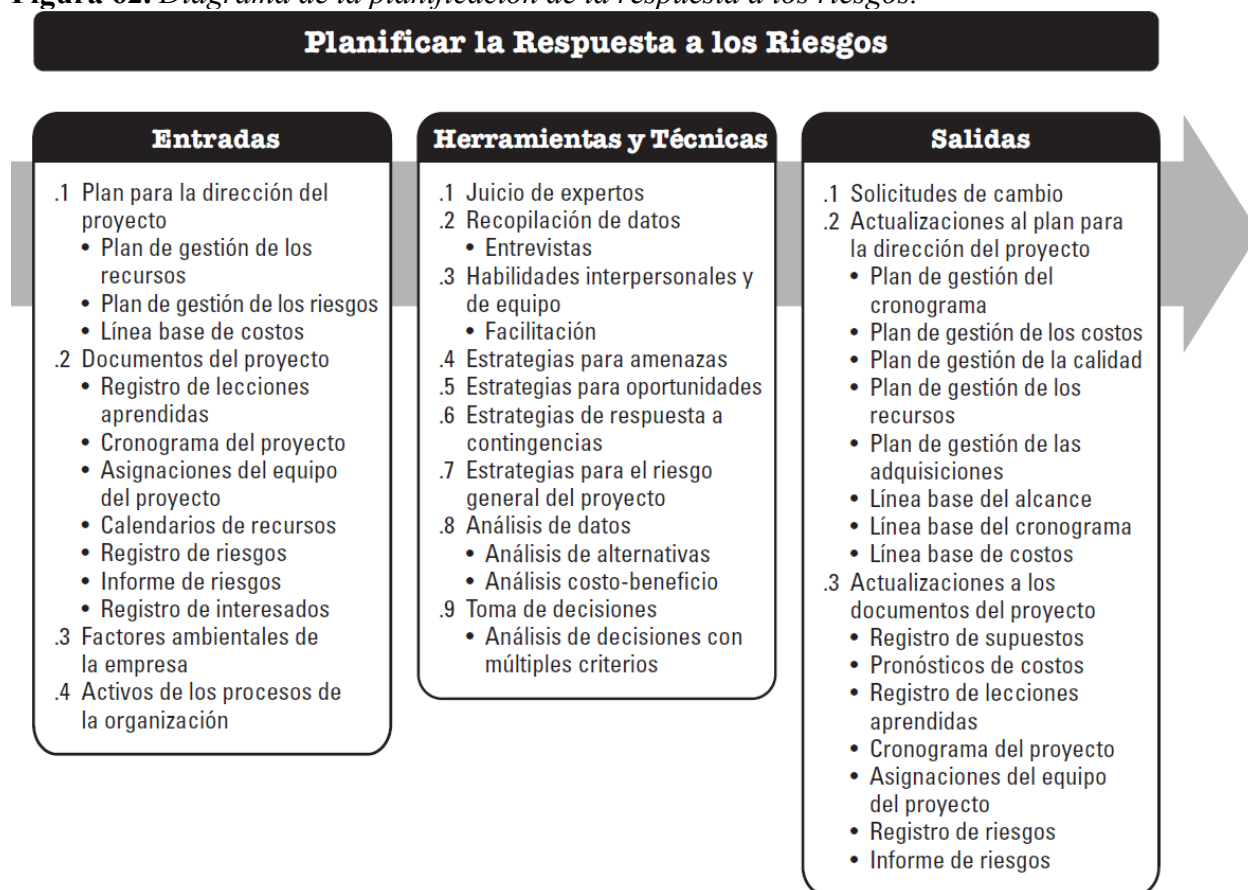
Teniendo en cuenta lo anterior se puede determinar la matriz de impacto identificando la ubicación de los riesgos, facilitando el análisis y las prioridades de cada uno de los riesgos asociados; se presenta entonces en la Figura 61

Figura 61. *Matriz de probabilidad e impacto con riesgos identificados.*

PROBABILIDAD		SEVERIDAD					
Muy Alta	5						FI-2
Alta	4				FI-1 AM-1	TE-1 AM-2 GO-2	
Moderada	3				TE-3 LE-1 GO-1	TE-2 AM-1 LE-2 GO-3	
Baja	2						
Muy Baja	1						
Nula	0						
IMPACTO		0	1	2	3	4	5
		Insigni.	Inferior	Menor	Importante	Mayor	Catastróf.

4.10.7 Planificar la Respuesta a los Riesgos

En este numeral se definen las acciones que se deben tomar para abordar cada uno de los riesgos identificados y analizados con el fin de reducir la probabilidad de ocurrencia, o el impacto negativo, de dichos riesgos. Esta planificación permite fortalecer el enfoque del proyecto y ayuda a mejorar la preparación frente a posibles incertidumbres.

Figura 62. Diagrama de la planificación de la respuesta a los riesgos.

Tomado de Project Managment Institute (Project Managment Institute., 2017).

4.10.7.1 Entradas para planificar la respuesta a los riesgos. las entradas de este proceso son el registro de riesgos actualizado con sus valores de severidad y los niveles de prioridad asignados a cada uno dado en 4.10.6. Así mismo se usa el plan para la dirección del proyecto del numeral 4.3.2. También se tuvieron en cuenta las capacidades y limitaciones del equipo académico y el enfoque metodológico de la tesis.

4.10.7.2 Herramientas para planificar la respuesta a los riesgos. se usa el juicio de expertos, así como lectura de documentación académica y técnica para determinar la estrategia

de los riesgos como evitar, mitigar, transferir o aceptar, asignada de acuerdo al tipo y nivel de riesgo buscando una respuesta razonable y realista en el marco de la tesis.

4.10.7.3 Salidas para planificar la respuesta a los riesgos. la salida es matriz de estrategias de respuesta, donde se define la acción específica a tomar, el responsable, el momento de aplicación y el efecto esperado para cada riesgo. Este registro permite identificar necesidades futuras de ajuste o seguimiento y permiten generar recomendaciones prácticas fortaleciendo la planeación del proyecto

4.10.8 Planificación de respuesta y mitigación de riesgos

El desarrollo de estrategias y planes de acción para mitigar los riesgos identificados en el numeral anterior es esencial para reducir las afectaciones que estas puedan causar en el desarrollo del proyecto. Para ello se recomienda categorizar los planes de respuesta para cada uno de los riesgos; de esta manera se garantiza un correcto seguimiento y control, así como la formalización del plan de contención para el proyecto. De acuerdo con la *Guía del PMBOK®*, las estrategias recomendadas se presentan en la Tabla 77 y serán aplicadas en la Tabla 78 para los riesgos identificados en el proyecto.

Tabla 77. Categorías del plan de respuesta.

<i>Plan de respuesta</i>	<i>Descripción</i>
Evitar	Consiste en modificar el plan del proyecto para eliminar completamente la causa del riesgo. Se aplica cuando el impacto es inaceptable y es posible ajustar el alcance, los recursos o el enfoque del proyecto para que el riesgo no ocurra.
Mitigar	Busca reducir la probabilidad de ocurrencia o el impacto del riesgo mediante acciones preventivas. Esto puede incluir mejores controles, planificación detallada, implementación de medidas de seguridad o desarrollo de estrategias alternativas para minimizar efectos negativos.
Transferir	Se basa en trasladar la responsabilidad del riesgo a un tercero, como aseguradoras, contratistas o proveedores. Aunque el riesgo sigue existiendo, su impacto ya no afecta directamente al proyecto, ya que otra entidad asume las consecuencias en caso de materialización.

<i>Plan de respuesta</i>	<i>Descripción</i>
Aceptar	Implica reconocer que el riesgo existe y no tomar medidas específicas para evitarlo o reducirlo. Puede ser una aceptación pasiva (sin acciones) o activa (con planes de contingencia preparados para reaccionar si el riesgo ocurre).

Tabla 78. *Plan de respuesta para los riesgos del proyecto.*

<i>Proceso</i>	<i>ID</i>	<i>Descripción del riesgo</i>	<i>Nivel de Severidad</i>	<i>Estrategia</i>	<i>Plan de respuesta</i>
<i>Riesgos Técnicos</i>	TE-1	Datos insuficientes o incorrectos en la evaluación de la demanda energética.	Alto	Mitigar	Realizar estudios preliminares con expertos y recopilar datos históricos confiables.
<i>Riesgos Técnicos</i>	TE-2	Limitada disponibilidad de información sobre recursos energéticos en la zona.	Alto	Mitigar	Usar modelos de estimación y tecnologías de medición para complementar la información.
<i>Riesgos Técnicos</i>	TE-3	Falta de referencias sobre tecnologías adecuadas para el contexto específico del corregimiento de El Hatico.	Moderado	Mitigar	Realizar análisis de casos similares y consultar a expertos en microredes.
<i>Riesgos Financieros</i>	FI-1	Subestimación de costos en el estudio de factibilidad.	Alto	Mitigar	Incluir márgenes de contingencia en el presupuesto y realizar análisis de sensibilidad.
<i>Riesgos Financieros</i>	FI-2	Falta de financiamiento para completar la evaluación del proyecto.	Crítico	Transferir Mitigar	Buscar alianzas con instituciones, ONG o entidades gubernamentales para obtener financiamiento.
<i>Riesgos Ambientales</i>	AM-1	Evaluación incompleta de los impactos ambientales de la microred.	Alto	Mitigar	Implementar metodologías de evaluación de impacto ambiental con participación de expertos.
<i>Riesgos Ambientales</i>	AM-2	Desconocimiento de restricciones ambientales en la zona.	Alto	Mitigar	Realizar consultas con entidades ambientales y aplicar regulaciones vigentes.
<i>Riesgos Legales y Normativos</i>	LE-1	Falta de claridad en la regulación aplicable a microredes en zonas no interconectadas.	Moderado	Mitigar	Consultar normativas vigentes y gestionar asesoría legal especializada.
<i>Riesgos Legales y Normativos</i>	LE-2	Cambios en la legislación energética que puedan afectar la viabilidad del proyecto.	Alto	Aceptar Mitigar	Mantenerse actualizado en regulaciones y evaluar impactos en la planificación.
<i>Riesgos Sociales</i>	SO-1	Falta de información suficiente sobre la percepción de la comunidad respecto al proyecto.	Alto	Mitigar	Realizar estudios de percepción y establecer canales de comunicación con la comunidad.

<i>Proceso</i>	<i>ID</i>	<i>Descripción del riesgo</i>	<i>Nivel de Severidad</i>	<i>Estrategia</i>	<i>Plan de respuesta</i>
<i>Riesgos de Gestión y Organización</i>	GO-1	Limitada disponibilidad de expertos para la evaluación del proyecto.	Moderado	Mitigar	Buscar consultores especializados o apoyo de universidades y centros de investigación.
<i>Riesgos de Gestión y Organización</i>	GO-2	Falta de coordinación entre las partes interesadas en la fase de factibilidad.	Alto	Mitigar	Establecer comités de trabajo y reuniones periódicas de seguimiento.
<i>Riesgos de Gestión y Organización</i>	GO-3	Deficiencias en la planificación del estudio que puedan afectar su alcance y conclusiones.	Alto	Mitigar	Aplicar metodologías de gestión de proyectos y monitoreo constante del cronograma.

4.10.9 Costo de los riesgos

Para determinar el impacto económico que puede tener los riesgos analizados en la Tabla 78 se hará uso del Método de Valor Esperado Monetario (EMV – Expected Monetary Value). Esta técnica permite estimar el impacto financiero de los riesgos en un proyecto, usando la probabilidad de ocurrencia de este y el impacto económico que generaría si se materializa (Gump, 2001).

Con este modelo, se determina la reserva de contingencia debido a que proporciona una visión más estructurada de los posibles costos adicionales por eventos imprevistos conocidos y así poder mitigar los efectos adversos de estos, así como la mejora en la toma de decisiones (Harahap, et al, 2023).

En la Tabla 79 se presenta el impacto de los costos para determinar las reservas de contingencias:

Tabla 79. *Impacto en costos de los riesgos.*

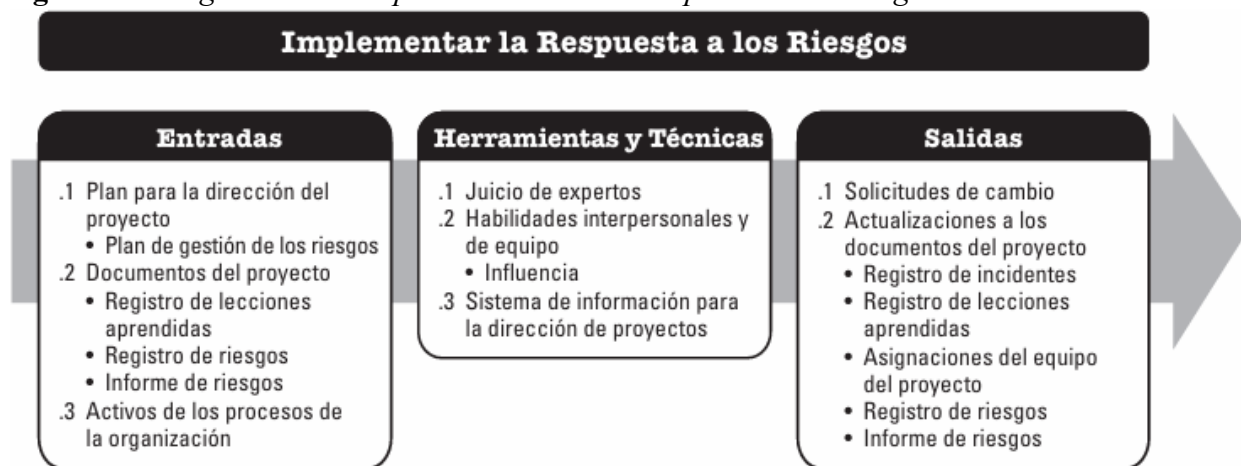
<i>Proceso</i>	<i>ID</i>	<i>Descripción del riesgo</i>	<i>Probabilidad Ocurrencia</i>	<i>Impacto Financiero</i>	<i>Valor Esperado Monetario</i>
Riesgos Técnicos	TE-1	Datos insuficientes o incorrectos en la evaluación de la demanda energética.	15	\$ 8,000,000.00	\$ 1,200,000.00

<i>Proceso</i>	<i>ID</i>	<i>Descripción del riesgo</i>	<i>Probabilidad Ocurrencia</i>	<i>Impacto Financiero</i>	<i>Valor Esperado Monetario</i>
	TE-2	Limitada disponibilidad de información sobre recursos energéticos en la zona.	35	\$ 8,000,000.00	\$ 2,800,000.00
	TE-3	Falta de referencias sobre tecnologías adecuadas para el contexto específico del corregimiento de El Hatco.	15	\$ 5,000,000.00	\$ 750,000.00
Riesgos Financieros	FI-1	Subestimación de costos en el estudio de factibilidad.	40	\$ 5,500,000.00	\$ 2,200,000.00
	FI-2	Falta de financiamiento para completar la evaluación del proyecto.	25	\$ 22,000,000.00	\$ 5,500,000.00
Riesgos Ambientales	AM-1	Evaluación incompleta de los impactos ambientales de la microred.	30	\$ 2,800,000.00	\$ 840,000.00
	AM-2	Desconocimiento de restricciones ambientales en la zona.	25	\$ 2,500,000.00	\$ 625,000.00
Riesgos Legales y Normativos	LE-1	Falta de claridad en la regulación aplicable a microrredes en zonas no interconectadas.	35	\$ 2,400,000.00	\$ 840,000.00
	LE-2	Cambios en la legislación energética que puedan afectar la viabilidad del proyecto.	30	\$ 5,500,000.00	\$ 1,650,000.00
Riesgos Sociales	SO-1	Falta de información suficiente sobre la percepción de la comunidad respecto al proyecto.	35	\$ 2,800,000.00	\$ 980,000.00
Riesgos de Gestión y Organización	GO-1	Limitada disponibilidad de expertos para la evaluación del proyecto.	25	\$ 2,800,000.00	\$ 700,000.00
	GO-2	Falta de coordinación entre las partes interesadas.	20	\$ 3,000,000.00	\$ 600,000.00
	GO-3	Deficiencias en la planificación del estudio que puedan afectar su alcance y conclusiones.	15	\$ 5,500,000.00	\$ 825,000.00
<i>Total de Riesgos</i>					<i>\$ 19,510,000.00</i>

4.10.10 Implementar la respuesta a los riesgos

Este proceso se encarga de ejecutar los planes previamente definidos para mitigar, evitar, transferir o aceptar los riesgos identificados. En el contexto del proyecto de tesis, la implementación de las respuestas fue fundamental para garantizar la continuidad del cronograma, reducir la incertidumbre académica y mantener la calidad de los entregables. La ejecución oportuna de estas acciones contribuye a minimizar los impactos negativos de los riesgos y a aprovechar oportunidades que pudieran surgir. (Project Managment Institute., 2017).

Figura 63. Diagrama de la implementación de la respuesta a los riesgos.



Tomado de Project Managment Institute (Project Managment Institute., 2017).

4.10.10.1 Entradas de la implementación de la respuesta a los riesgos. para llevar a cabo este proceso es necesario contar con plan para la dirección del proyecto dado en 4.3.2, así como los registros de riesgos encontrado en 4.10.2 y 4.10.3. Estos documentos permiten establecer con claridad las acciones que deben ejecutarse en respuesta a cada riesgo identificado y sus responsables.

4.10.10.2 Herramientas de la implementación de la respuesta a los riesgos. se aplica el juicio de expertos, particularmente del director de tesis y del asesor técnico externo,

quienes brindaron orientación sobre la prioridad de ejecución de las respuestas. También se aplicaron reuniones de control y análisis de desempeño para verificar cuándo era necesario activar una respuesta y asegurar su implementación.

4.10.10.3 Salidas de la implementación de la respuesta a los riesgos. en la salida de este proceso, se obtienen los registros de riesgos actualizados que evidencian cuáles respuestas fueron implementadas y su grado de efectividad. También se actualizan los documentos del proyecto, como el cronograma y los cambios realizados. Estas salidas permiten mantener el control del proyecto y garantizar la trazabilidad de las decisiones relacionadas con la gestión de riesgos.

4.10.11 Resultado de la implementación de la respuesta a los riesgos

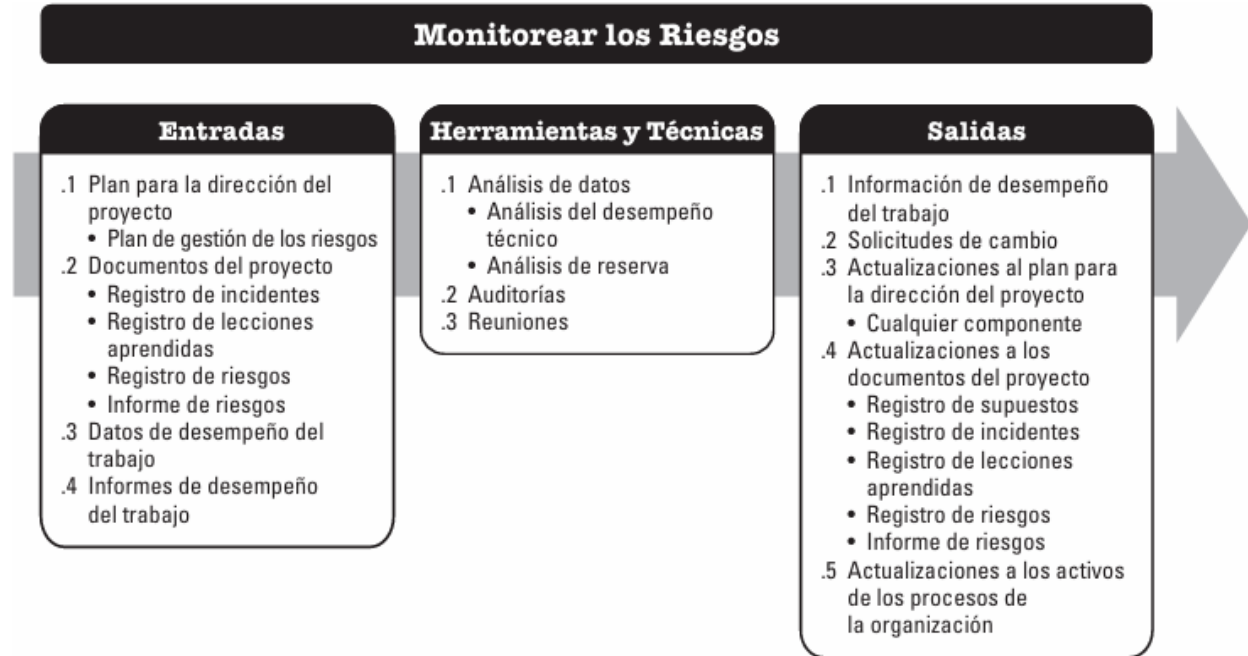
Durante la ejecución del proyecto no se presentó la necesidad de activar ninguna de las respuestas a los riesgos previamente planificadas. Aunque se identificaron eventos potenciales que podrían haber afectado el desarrollo del trabajo, ninguno de estos se materializó, lo cual permitió que el cronograma y los costos previstos se mantuvieran sin alteraciones significativas. Esta condición fue resultado de un entorno de trabajo controlado y del compromiso del equipo involucrado. No obstante, se documentó el seguimiento continuo de los riesgos como parte de la bitácora del proyecto, lo cual permitirá mejorar la gestión de riesgos en futuros desarrollos similares.

4.10.12 Monitorear los riesgos

Este proceso consiste en dar seguimiento continuo a los riesgos identificados, supervisar los riesgos residuales, identificar nuevos riesgos, y evaluar la efectividad de las respuestas a los riesgos a lo largo del ciclo de vida del proyecto. Su propósito es garantizar que el plan de respuesta

se mantenga actualizado y que los riesgos no gestionados sean detectados oportunamente. (Project Managment Institute., 2017).

Figura 64. Diagrama de la monitorización de los riesgos.



Tomado de Project Managment Institute (Project Managment Institute., 2017).

4.10.12.1 Entradas de la monitorización de los riesgos. para llevar a cabo este proceso es necesario contar con plan para la dirección del proyecto dado en 4.3.2, así como los registros de riesgos encontrado en 4.10.2 y 4.10.3. También se consideran los informes de desempeño y los datos de trabajo recopilados durante la ejecución.

4.10.12.2 Herramientas de la monitorización de los riesgos. se aplica el análisis de desempeño, basado en reuniones periódicas con el equipo de trabajo y el seguimiento al cronograma.

4.10.12.3 Salidas de la monitorización de los riesgos. en la salida de este proceso se actualizan los documentos del proyecto, especialmente el registro de riesgos y el registro de lecciones aprendidas, sin que se registraran eventos que implicaran una desviación importante en el desarrollo del proyecto. Estos registros se referencian en el numeral correspondiente a los entregables de control. También se generaron recomendaciones para la mejora continua en futuros proyectos similares.

4.10.13 Resultado de la monitorización de los riesgos

Durante la ejecución del proyecto no se presentó la necesidad de activar ninguna de las respuestas a los riesgos previamente planificadas. Aunque se identificaron eventos potenciales que podrían haber afectado el desarrollo del trabajo, ninguno de estos se materializó, lo cual permitió que el cronograma y los costos previstos se mantuvieran sin alteraciones significativas. Esta condición fue resultado de un entorno de trabajo controlado.

4.10.14 Costos de la gestión de los riesgos

Para garantizar el correcto desarrollo de la gestión, se consideran los costos asociados de acuerdo con el tiempo dedicado por cada persona a éste y los recursos físicos necesarios para cumplir con lo indicado en la gestión. Se presenta la Tabla 80 con la información de costos

Tabla 80. Costo de la gestión de los riesgos.

<i>Estimación presupuestal personal proyecto (Gestión Riesgos)</i>			
<i>Responsable</i>	<i>Total Horas de Trabajo</i>	<i>Costo por Hora de Trabajo</i>	<i>Costo Total</i>
Director de Proyectos	1	\$ 21,600	\$ 21,600
Ingeniero Electricista	14	\$ 10,200	\$ 142,800
Ingeniero Civil	2	\$ 10,200	\$ 20,400
Analista Financiero	1	\$ 10,200	\$ 10,200
<i>Subtotal Personal Gestión Riesgos</i>			<i>\$ 195,000</i>

4.11Gestión de las adquisiciones del proyecto

Dentro de un proyecto, esta gestión es la que se encarga de obtener los bienes, servicios o resultados necesarios, especialmente de proveedores externos, para cumplir con los requisitos del proyecto. Este proceso puede abarcar la planificación de los elementos a adquirir, identificación de proveedores adecuados, la negociación y formalización de contratos con proveedores. Adicionalmente, en esta gestión también está implícita la gestión de las relaciones con los proveedores, asegurando que las entregas se realicen a tiempo, dentro del presupuesto y con la calidad acordada.

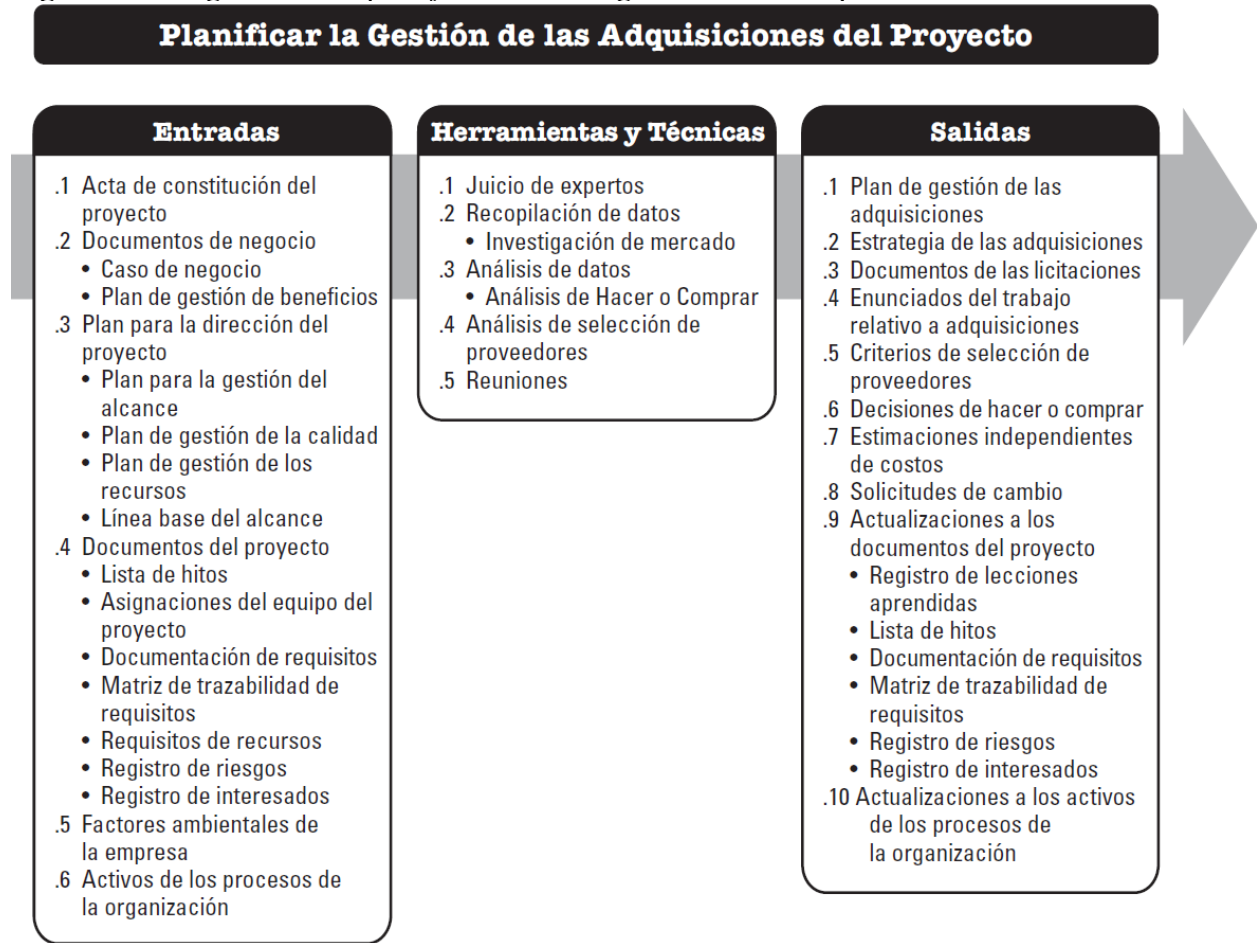
Tabla 81. *Grupo de procesos para la gestión de las adquisiciones del proyecto según la Guía del PMBOK®.*

<i>Áreas de Conocimiento</i>	<i>Grupos de Procesos de la Dirección de Proyectos</i>	
	<i>Grupo de Procesos de Inicio</i>	<i>Grupo de Procesos de Planificación</i>
12. Gestión de las adquisiciones del proyecto		12.1 Planificar la Gestión de las Adquisiciones

Tomado de Project Managment Institute (Project Managment Institute., 2017).

4.11.1 *Planificar la gestión de las adquisiciones*

En este ítem se documentan todas las decisiones relacionadas a la compra dentro del proyecto, también se define el enfoque para adquirir productos, servicios o resultados fuera del equipo del proyecto, y se determina qué se comprará, cómo y cuándo. En este proceso se establece las estrategias para gestionar las compras, considerando los requisitos técnicos, presupuesto, disponibilidad en el mercado y los riesgos asociados. Con esto, se puede asegurar que se contemple el presupuesto para dichas adquisiciones y se garantice la entrega a tiempo de los insumos requeridos en el proyecto para evitar afectar el costo, tiempo y/o alcance del proyecto.

Figura 65. Diagrama de la planificación de la gestión de las adquisiciones.

Tomado de Project Managment Institute (Project Managment Institute., 2017).

4.11.1.1 Entradas para la planificación de la gestión de las adquisiciones. para desarrollar este proceso se usa el plan para la dirección del proyecto 4.3.2, el caso de negocio documentado en 1.1, el acta de constitución del proyecto 4.3.1, y los documentos relacionados a los recursos en el ítem 4.8.3 así como los posibles riesgos asociados a la adquisición de los componentes 4.10.6.

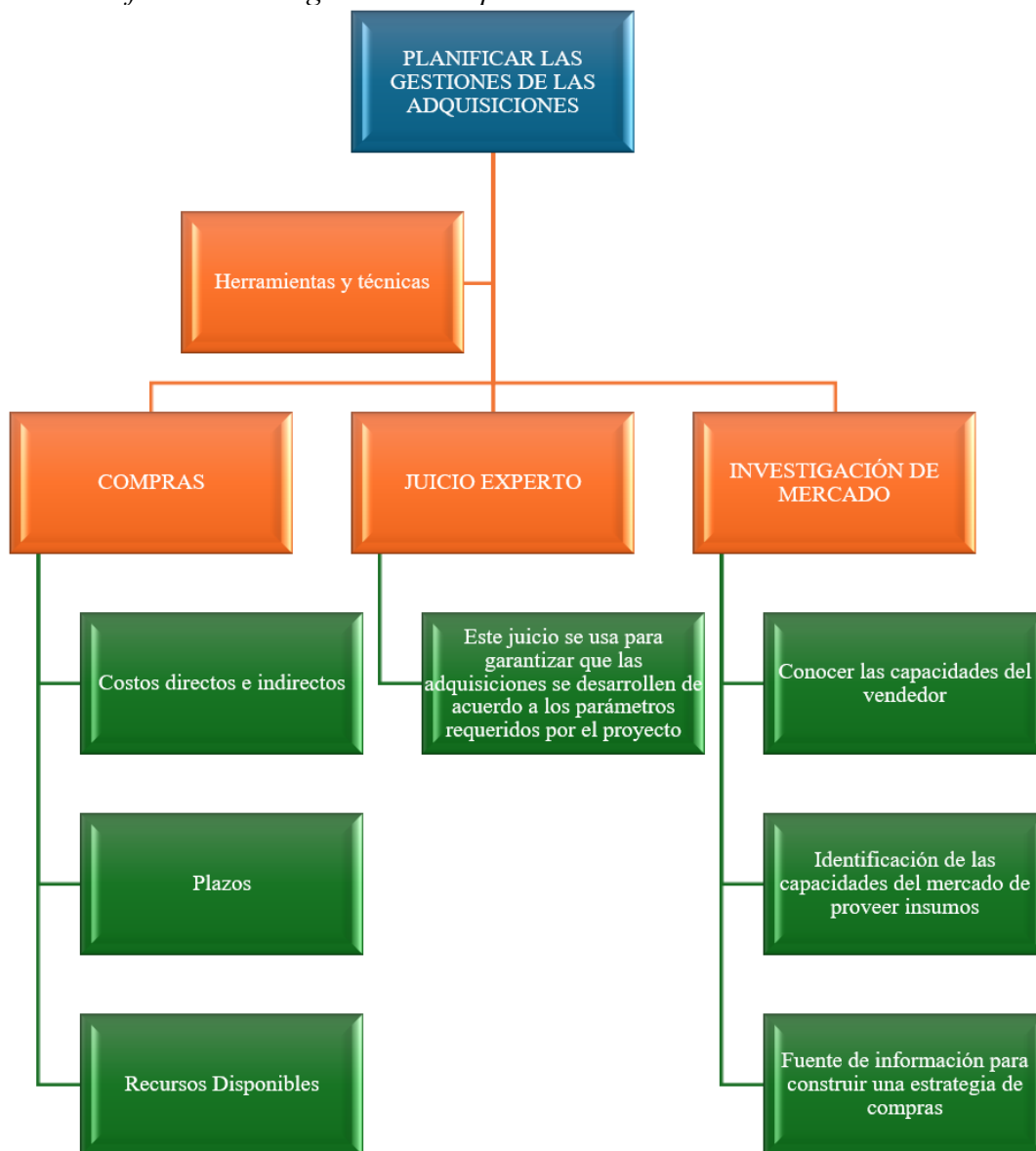
4.11.1.2 Herramientas para la planificación de la gestión de las adquisiciones. se usa el juicio de expertos, así como lectura de documentación académica y técnica para identificar

las adquisiciones del proyecto. También se realiza verificación en el mercado de los elementos identificados.

4.11.1.3 Salidas para la planificación de la gestión de las adquisiciones. la salida de este ítem la salida principal es el plan de gestión de adquisiciones, donde se identifican los bienes y servicios requeridos, las especificaciones técnicas mínimas, los posibles mecanismos de contratación (compra directa, licitación, contratación local), los riesgos de mercado y las condiciones para evaluar proveedores.

4.11.2 Resultados de la planificación de adquisiciones

Para el proyecto desarrollado en este trabajo, dado que solamente se contempla las etapas de inicio y planeación, se realizará esta gestión en miras de cumplir con los requisitos preliminares; para el desarrollo a futuro del proyecto, la entidad encargada deberá realizar los ajustes necesarios para una adecuada implementación de esta gestión de acuerdo con las políticas internas de la entidad.

Figura 66. Planificación de la gestión de adquisiciones.

Para lograr un adecuado proceso en la adquisición de los elementos, es necesario contar con el análisis y aprobación de los encargados del proyecto. Para este caso, se puede realizar un diagrama de flujo que represente el flujo de información, reduciendo los riesgos de seleccionar proveedores que no posean los criterios de calidad seleccionados para el proyecto.

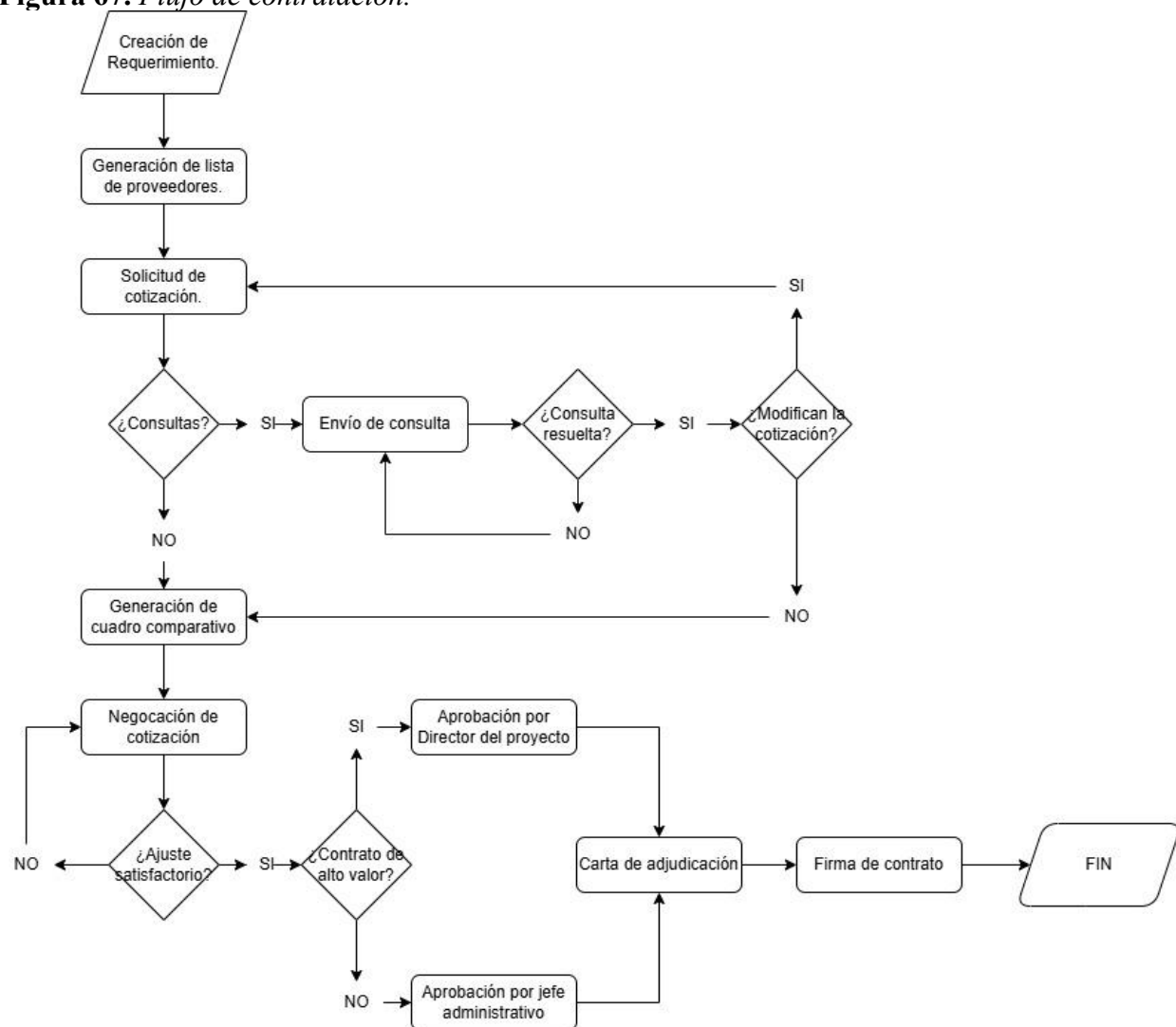
Figura 67. *Flujo de contratación.*

Tabla 82. *Plan de gestión de adquisiciones.*

#	Bien/Servicio a Adquirir	Descripción Del Trabajo.	Proveedor Potencial	Criterio de Selección	Entregables	Plazo de Entrega	Costo	Responsable
1	Estudio de Viabilidad Financiera	Evaluación de costos, análisis de inversión y rentabilidad del proyecto	- Firmas de consultoría financiera - Economistas	- Metodología del análisis - Costo	Análisis de costos y beneficios, evaluación de retorno de inversión y análisis de sensibilidad financiera.	2 semanas	\$2,200,000	Ingeniero Electricista
2	Asesoría en el desarrollo del proyecto c	Revisión del desarrollo del trabajo y recomendaciones para mejora	Profesional con conocimiento en PMI	- Experiencia - Costo	Recomendaciones para el correcto desarrollo del proyecto.	Según necesidad	\$2,000,000	Ingeniero Electricista

4.11.3 Efectuar las adquisiciones

Este proceso, según la *Guía del PMBOK®*, se centra en obtener las respuestas de los proveedores, evaluar sus propuestas, seleccionar contratistas y adjudicar contratos para la ejecución de productos, servicios o resultados requeridos por el proyecto. Involucra actividades críticas como la preparación de documentos de licitación, la publicación de solicitudes de propuestas, la negociación de condiciones y la formalización de acuerdos contractuales (Project Managment Institute., 2017).

En el caso de esta tesis, el proyecto se centró en la elaboración de un estudio de factibilidad técnica, económica y social para la implementación de una microrred en el corregimiento de El Hatico, por lo que no se ejecutaron actividades que requirieran contratación de bienes, servicios o proveedores externos. Por tanto, no fue necesario aplicar este proceso, dado que el alcance del trabajo no incluyó la fase de ejecución ni la adquisición real de recursos, lo que hace que las actividades propias de este proceso no fueran pertinentes dentro del marco académico y de planeación del estudio.

4.11.4 Controlar las adquisiciones

Este proceso tiene como propósito garantizar que los productos y servicios adquiridos se entreguen conforme a los términos contractuales, realizando actividades de seguimiento del desempeño del proveedor, gestión de cambios en los contratos, solución de controversias y cierre formal de las adquisiciones. También implica el aseguramiento de calidad en los entregables y el cumplimiento de los plazos establecidos (Project Managment Institute., 2017).

En el contexto de la presente tesis, no se llevaron a cabo adquisiciones formales ni se celebraron contratos con terceros, ya que el estudio se limitó a la fase de planificación. El proyecto

no contempló implementación ni ejecución física de la microrred, por lo que no se generó ningún tipo de relación contractual que requiriera ser monitoreada o controlada. Por ello, este proceso no fue aplicable al trabajo, al no existir entregables provenientes de proveedores externos ni requerimientos de fiscalización contractual.

4.11.5 Costos de la gestión de las adquisiciones

Para garantizar el correcto desarrollo de la gestión, se consideran los costos asociados de acuerdo con el tiempo dedicado por cada persona a éste y los recursos físicos necesarios para cumplir con lo indicado en la gestión. Se presenta la Tabla 83 con la información de costos

Tabla 83. Costo de la gestión de las adquisiciones.

<i>Estimación presupuestal personal proyecto (Gestión Adquisiciones)</i>			
<i>Responsable</i>	<i>Total Horas de Trabajo</i>	<i>Costo por Hora de Trabajo</i>	<i>Costo Total</i>
Director de Proyectos	1	\$ 21,600	\$ 21,600
Ingeniero Electricista	4	\$ 10,200	\$ 40,800
Ingeniero Civil	1	\$ 10,200	\$ 10,200
Analista Financiero	1	\$ 10,200	\$ 10,200
Subtotal Personal Gestión Adquisiciones			\$ 82,800

4.12 Gestión de los interesados del proyecto

En la gestión de interesados se realiza el proceso de identificación, análisis y gestión de las expectativas, necesidades e influencias de todas aquellas partes interesadas en el proyecto (Stakeholders), ya sea porque son afectadas por el desarrollo o tienen un impacto en el mismo. De acuerdo con la *Guía del PMBOK®*, en esta gestión debe, adicionalmente, realizar la planificación de estrategias de comunicación, así como el compromiso y monitoreo continuo del nivel de participación de los interesados; esto con el fin de controlar los efectos, positivos o negativos, que puedan tener sobre el proyecto teniendo en cuenta las necesidades y expectativas de cada uno.

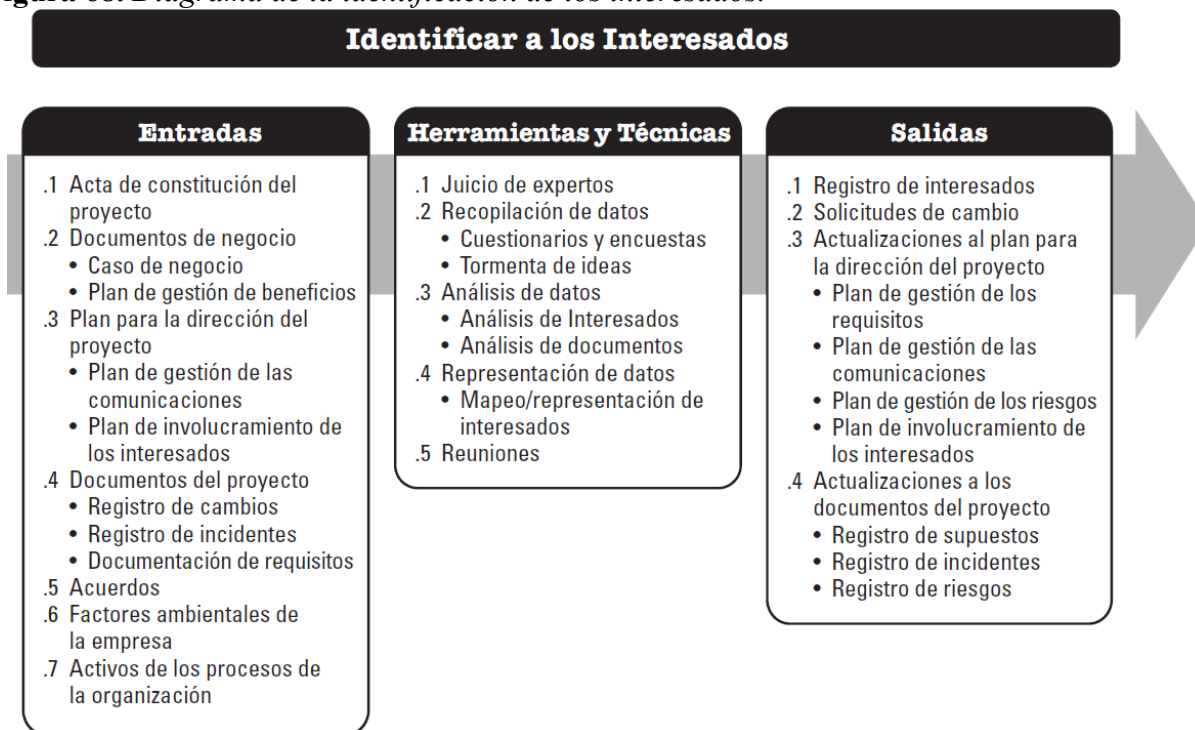
Tabla 84. Grupo de procesos para la gestión de los interesados en el proyecto según la Guía del PMBOK®.

Áreas de Conocimiento	Grupos de Procesos de la Dirección de Proyectos	
	Grupo de Procesos de Inicio	Grupo de Procesos de Planificación
13. Gestión de los Interesados del Proyecto.	13.1 Identificar a los Interesados	13.2 Planificar el Involucramiento de los Interesados

Tomado de Project Managment Institute (Project Managment Institute., 2017).

4.12.1 Identificar a los interesados

En este ítem se identifican todas las personas, grupos u organizaciones que pueden afectar, verse afectados y/o percibirse como afectados por el proyecto. El objetivo de este proceso es documentar información relevante sobre sus intereses, niveles de influencia, expectativas y posibles impactos, cuando se hace una identificación temprana, se puede diseñar estrategias de involucramiento efectivas para asegurar que los interesados estén alineados con los objetivos del proyecto y se minimicen conflictos que puedan surgir durante la ejecución.

Figura 68. Diagrama de la identificación de los interesados.

Tomado de Project Managment Institute (Project Managment Institute., 2017).

4.12.1.1 Entradas para la identificación de los interesados. para desarrollar este proceso se usa el plan para la dirección del proyecto 4.3.2, el caso de negocio documentado en 1.1, el acta de constitución del proyecto 4.3.1, y los documentos relacionados a los recursos en el ítem 4.8.3 así como los posibles riesgos asociados a la adquisición de los componentes 4.10.6.

4.12.1.2 Herramientas para la identificación de los interesados. se usa el juicio de expertos, así como lectura de documentación académica y técnica para identificar métodos que permitan garantizar una identificación precisa de los involucrados. También se realizó una clasificación de los interesados en función de su poder, interés, legitimidad y urgencia mediante el mapeo de influencia.

4.12.1.3 Salidas para la planificación de la identificación de los interesados. la salida de este ítem es el registro de interesados, en el cual se documenta la información importante como lo es el nombre, rol, nivel de influencia, necesidades y expectativas de cada interesado. Este documento es dinámico y puede actualizarse a lo largo del proyecto, facilitando el diseño posterior de estrategias de participación y comunicación personalizadas.

4.12.2 Resultado de la identificación de los Stakeholders

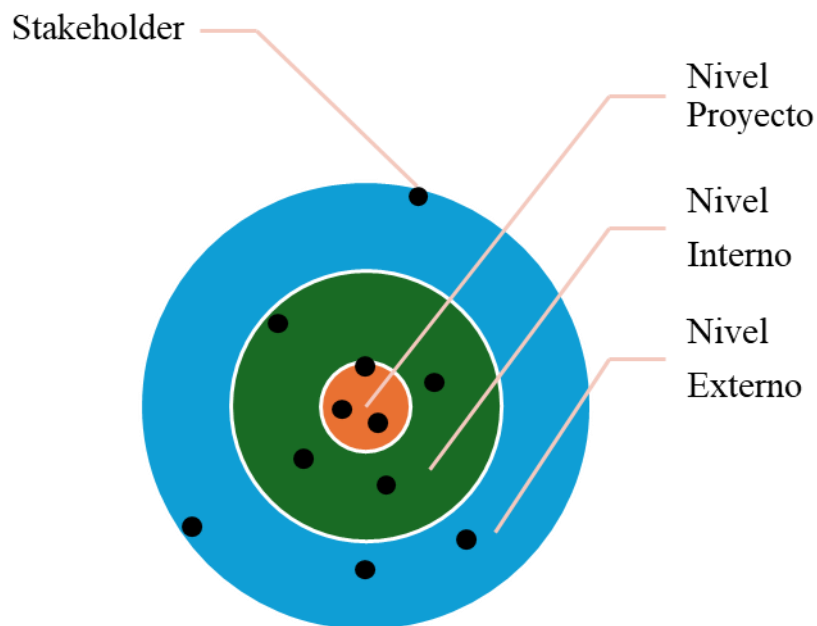
En esta etapa se identifican aquellas partes interesadas en el proyecto, ya sea internos o externos, que puedan tener incidencia en las decisiones y afectar, positiva o negativamente, el avance y el logro de los objetivos.

Para el proyecto en estudio, esta gestión es fundamental para garantizar el éxito del proyecto ya que depende del compromiso y aceptación de diversos actores como son: comunidades locales, entidades gubernamentales, organismos de financiamiento, así como las entidades

reguladoras del sector eléctrico. Por lo tanto, identificar a cada grupo de interesados es crucial para el avance efectivo del proyecto; después de identificarlos, se debe evaluar el nivel de influencia en la toma de decisiones y, de esta forma, diseñar estrategias de comunicación que faciliten la recopilación de información, así como la validación de los hallazgos.

Una gestión efectiva de los interesados permitirá minimizar posibles conflictos que puedan generarse debido a las comunidades que se encuentran en el área a intervenir, esto se da por los requerimientos culturales de los grupos indígenas. En la Figura 69 se presenta el mapeo de los Stakeholders.

Figura 69. *Mapa de los Stakeholders.*



Este mapeo es una herramienta que permite identificar, clasificar y analizar a las partes interesadas según su nivel de influencia, interés y poder en el desarrollo del proyecto. Con esto se puede comprender qué actores pueden facilitar o dificultar la ejecución y, de esta forma, asegurar

la implementación de estrategias adecuadas de comunicación y gestión. Con una correcta priorización de los Stakeholders según su relevancia se puede identificar aquellos con alta influencia e interés y que requieren una gestión activa, mientras que los de menor impacto pueden ser monitoreados con menor frecuencia. Un mapeo adecuado permite anticipar riesgos, gestionar expectativas y mejorar la toma de decisiones, garantizando un mayor alineamiento entre los objetivos del proyecto y las necesidades de los interesados.

Luego de esto, se realiza un análisis para determinar los interesados la cual se presenta en la Tabla 85 junto con la categoría y descripción. De esta forma se puede determinar la relevancia dentro del proyecto y realizar un manejo y gestión para evitar retrasos, o impactos, en el entregable.:

Tabla 85. *Identificación de los interesados.*

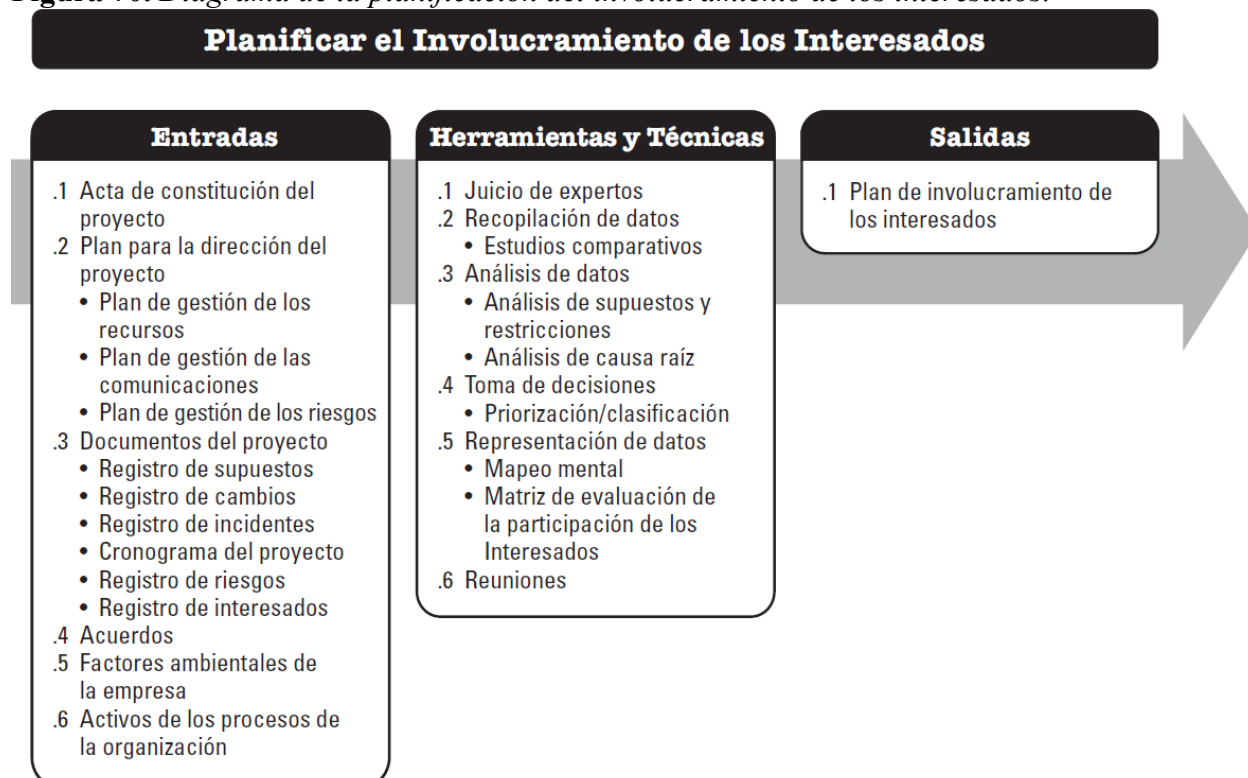
<i>Categoría</i>	<i>Tipo de Interesado</i>	<i>Descripción</i>
Interno	Director del Proyecto	Responsable de la gestión y coordinación del estudio, asegurando el cumplimiento de los objetivos y la metodología PMI.
	Equipo Técnico	Ingeniero electricista, encargados de evaluar la viabilidad técnica, social y económica del proyecto
Externo	Academia e Instituciones de Investigación	Universidades y centros de investigación que pueden aportar estudios previos, metodologías de evaluación y validación de resultados.

4.12.3 Planificar el involucramiento de los interesados

En este proceso se desarrolla las estrategias de gestión apropiadas para involucrar eficazmente a los interesados a lo largo del ciclo de vida del proyecto. Para ello se identifican los niveles actuales y deseados de compromiso de cada parte interesada, con el fin de diseñar mecanismos de comunicación y participación que faciliten su involucramiento oportuno y constructivo. De esta manera, se gestionan adecuadamente las expectativas de cada uno de ellos,

así como se promueve la cooperación y reducción de desacuerdos que puedan afectar el logro de los objetivos.

Figura 70. Diagrama de la planificación del involucramiento de los interesados.



Tomado de Project Managment Institute (Project Managment Institute., 2017).

4.12.3.1 Entradas para el plan de involucramiento de los interesados. para desarrollar este proceso se usa el plan para la dirección del proyecto 4.3.2, el registro de interesados en el ítem 4.12.2 y el acta de constitución del proyecto 4.3.1.

4.12.3.2 Herramientas para el plan de involucramiento de los interesados. se usa el juicio de expertos y el análisis de interesados mediante la matriz de evaluación de compromiso.

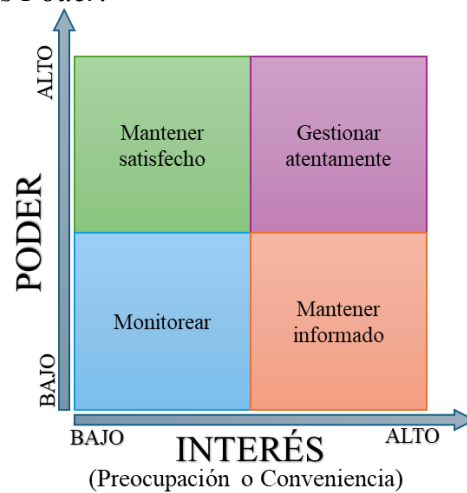
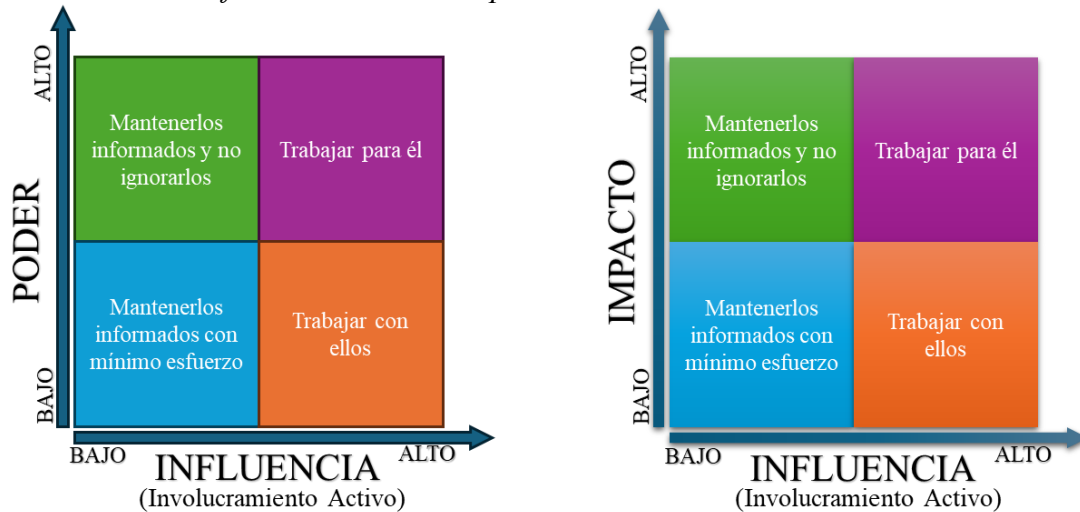
Con estas herramientas se puede identificar las brechas de participación, así como definir estrategias específicas para motivar y gestionar el involucramiento.

4.12.3.3 Salidas el plan de involucramiento de los interesados. la salida de este ítem la salida principal es el plan de participación de los interesados en el que se detallan las estrategias, métodos y acciones para involucrar activamente a cada parte interesada según su influencia y nivel de interés. Este plan también define los responsables, frecuencia y medios de comunicación para asegurar un seguimiento continuo y una gestión proactiva de las relaciones.

4.12.4 Resultado del plan de involucramiento de los interesados.

A continuación, se presentan los resultados del plan de gestión de los interesados, donde se describen los mecanismos propuestos para garantizar su involucramiento efectivo durante el desarrollo del proyecto. Se definen los niveles de influencia e interés de cada parte interesada, así como las estrategias de comunicación y participación adecuadas para mantenerlos informados, comprometidos y alineados con los objetivos del proyecto, promoviendo así la cooperación y reduciendo posibles resistencias.

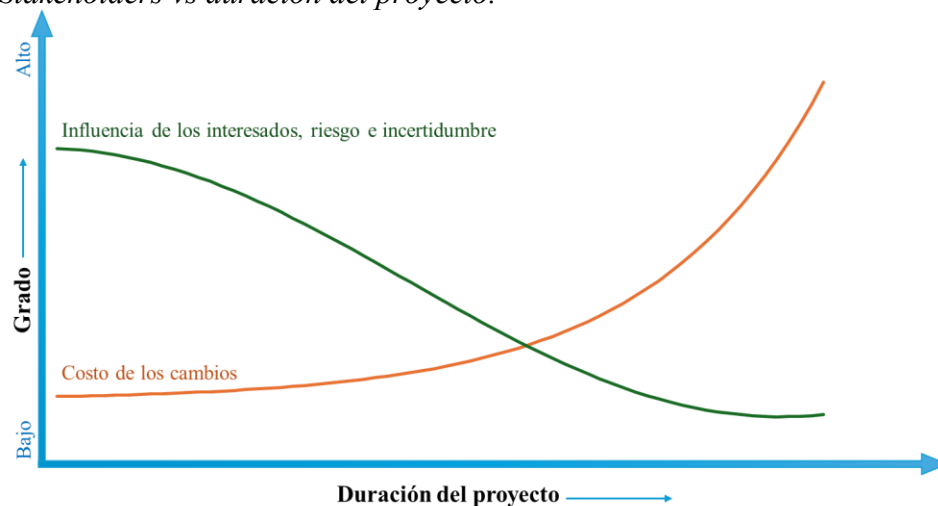
4.12.4.1 Manejo de los Stakeholders. para el manejo de los interesados identificados en el numeral anterior, se debe identificar el tipo de impacto y nivel de influencia que tendría en los objetivos del proyecto, para lograr esto se hace uso de la matriz de “Interés vs Poder” la cual se representa en la Figura 71, así como también la matriz de “Influencia vs Poder” e “Influencia vs Impacto” para gestionar los interesados de manera correcta.

Figura 71. *Matriz de Interés vs Poder.***Figura 72.** *Matriz de Influencia vs Poder/Impacto.*

Teniendo claro este concepto, también se debe considerar la relación entre los Stakeholders y la duración del proyecto ya que el nivel de involucramiento y gestión de las partes interesadas puede influir directamente en los plazos de ejecución del proyecto. Si se gestiona un correcto análisis y compromiso de los interesados desde las primeras etapas se logra agilizar la recopilación de información clave. Sin embargo, una gestión deficiente de los Stakeholders puede generar retrasos significativos en el cronograma.

En este sentido, establecer una estrategia de comunicación efectiva con cada grupo de interesados, alineada con la planificación del proyecto, es clave para garantizar que los plazos estimados se cumplan y que el estudio de factibilidad avance sin contratiempos, esto se representa en la Figura 73 donde se representa los cambios en la influencia de los interesados vs el costo de implementar cualquier cambio en el proyecto.

Figura 73. *Stakeholders vs duración del proyecto.*



4.12.4.2 Gestión de los Stakeholders. de la información analizada anteriormente se realiza el plan de acción el cual tiene en cuenta las estrategias de comunicación y participación a implementar para, de esta forma, asegurar una comunicación clara, efectiva y oportuna entre las partes. De esta forma, se garantiza la colaboración entre los involucrados y se hace una entrega satisfactoria del proyecto. En la Tabla 86 se presenta el plan de acción.

Tabla 86. *Plan de acción.*

#	Stakeholders	Clasificación		Escala		Tipo de Gestión	Estrategia de Gestión	
		Categoría	Postura	Nivel de Poder	Nivel de Interés		Motivo	Medio
1	Director del Proyecto	Interno	Apoyo	Alto	Alto	GA	Líder del proyecto	- Reuniones a necesidad - Comunicaciones
2	Academia e Instituciones de Investigación	Externo	Apoyo Neutral	Alto	Medio	MS	Interés en la implementación del proyecto	Comunicaciones oficiales

4.12.4.3 Monitoreo de los Stakeholders. el monitoreo de los interesados es fundamental, y esencial, para asegurar que las comunicaciones son efectivas y, de esa forma, poder gestionar los requisitos que van surgiendo a medida que se desarrolla el proyecto. Esta comunicación bidireccional permite entregar información adecuada, y relevante, a los interesados mientras que también permite recibir retroalimentación de estos para realizar ajustes, en caso de que se requiera.

Para garantizar la recolección de la información de los interesados, se puede realizar encuestas de percepción tanto a nivel de progreso del proyecto como de resultados entregados; adicionalmente, se pueden realizar reuniones periódicas con los interesados para recaudar información, debatir sobre las necesidades, así como resolver problemas e inquietudes que tengan los afectados.

4.12.5 Gestionar la participación de los interesados

Este proceso consiste en establecer estrategias efectivas para interactuar con los interesados, asegurando su involucramiento activo y alineando sus expectativas con los objetivos del proyecto, de esta manera se busca influir positivamente en su comportamiento, así como resolver conflictos y promover su compromiso con el éxito del proyecto. Este proceso es necesario para mantener una comunicación fluida y asegurar la coherencia metodológica y técnica considerando las necesidades de cada uno de los involucrados. (Project Managment Institute., 2017).

Figura 74. Diagrama de la gestión del involucramiento de los interesados.

Tomado de Project Management Institute (Project Management Institute., 2017).

4.12.5.1 Entradas de la gestión de involucramiento de los interesados. para llevar a cabo este proceso es necesario contar con plan para la dirección del proyecto dado en 4.3.2, así como los registros de riesgos encontrado en 4.10.2 y 4.10.3. También se consideran los informes de desempeño y los datos de trabajo recopilados durante la ejecución.

4.12.5.2 Herramientas de la gestión de involucramiento de los interesados. se aplica las estrategias de comunicación reuniones periódicas con el director de tesis y correos electrónicos para retroalimentación. También se usa juicio de expertos para validar decisiones técnicas y para la organización de la información dentro del marco del PMI.

4.12.5.3 Salidas de la gestión de involucramiento de los interesados. en la salida de este proceso se obtienen las solicitudes de ajustes metodológicos y técnicos, que permiten mejorar la alineación del proyecto con los objetivos académicos y sociales establecidos.

4.12.6 Resultado de la gestión de involucramiento de los interesados

Durante el desarrollo del proyecto, la participación activa del director de tesis fue fundamental para garantizar la calidad técnica y académica del trabajo. Se realizaron reuniones periódicas en las que se discutieron avances, se revisaron entregables y se recibieron recomendaciones clave para el ajuste de la metodología y el contenido del estudio. Esta interacción permitió incorporar sugerencias sobre varios aspectos dentro del documento.

Aunque la comunidad beneficiaria no participó directamente en el proceso, sus necesidades fueron consideradas a partir del diagnóstico social descrito en la caracterización inicial del proyecto. Esto permitió alinear el diseño técnico con las condiciones reales del entorno, respetando las limitaciones metodológicas del trabajo académico.

Por lo tanto, la gestión de los interesados se centró en el diálogo con los asesores y en la consideración indirecta de los beneficiarios, lo que contribuyó significativamente a la pertinencia y solidez de la propuesta final.

4.12.7 Monitorear el involucramiento de los interesados

Este proceso tiene como finalidad asegurar que las estrategias de participación definidas en los planes de gestión se mantengan efectivas durante toda la ejecución del proyecto, permitiendo ajustes cuando los niveles de compromiso cambian o cuando surgen nuevos interesados (Project Managment Institute., 2017).. Sin embargo, en el contexto de esta tesis, el proyecto se desarrolló en un entorno académico, sin ejecución directa en campo ni interacción continua con partes

interesadas externas como comunidades beneficiarias, entidades gubernamentales o empresas contratistas.

Los interesados clave fueron principalmente el director de tesis y, en menor medida, actores institucionales que no requirieron una gestión activa ni un monitoreo sistemático. Las actividades fueron planificadas y ejecutadas de manera controlada dentro del entorno académico, sin mayores riesgos de cambio en los niveles de involucramiento. Por tanto, no fue necesario aplicar técnicas específicas de monitoreo del involucramiento, como análisis de participación, ajustes de estrategias comunicacionales o implementación de planes de respuesta frente a resistencia o desinterés.

4.12.8 Costos de la gestión de los interesados

Para garantizar el correcto desarrollo de la gestión, se consideran los costos asociados de acuerdo con el tiempo dedicado por cada persona a éste y los recursos físicos necesarios para cumplir con lo indicado en la gestión. Se presenta la Tabla 87 con la información de costos

Tabla 87. Costo de la gestión de los interesados

<i>Estimación presupuestal personal proyecto (Gestión Interesados)</i>			
<i>Responsable</i>	<i>Total Horas de Trabajo</i>	<i>Costo por Hora de Trabajo</i>	<i>Costo Total</i>
Director de Proyectos	1	\$ 21,600	\$ 21,600
Ingeniero Electricista	5	\$ 10,200	\$ 51,000
Ingeniero Civil	2	\$ 10,200	\$ 20,400
Analista Financiero	1	\$ 10,200	\$ 10,200
<i>Subtotal Personal Gestión Interesados</i>			<i>\$ 103,200</i>

5. Resultados

En este capítulo se presenta los resultados obtenidos a partir del desarrollo del estudio para determinar la factibilidad en la implementación de una microred eléctrica en el corregimiento de El Hatigo, municipio de Fonseca, La Guajira. La estructura del capítulo se realiza mostrando el cumplimiento de los objetivos planteados en el proyecto, esto con el fin de evidenciar cómo se abordaron los distintos aspectos técnicos, sociales, económicos y normativos a lo largo del estudio.

La caracterización del corregimiento de El Hatigo permitió establecer aquellos criterios técnicos y sociales que son fundamentales para diseñar una solución de electrificación mediante una microred. Con esta información se pudo realizar la toma de decisiones sobre la tecnología adecuada, así como el dimensionamiento del sistema para garantizar el servicio a la comunidad.

Desde el punto de vista general, el corregimiento de El Hatigo se encuentra a una altitud de 11.8 m s. n. m. lo que le permite tener una temperatura media de 27.7 °C: Teniendo una latitud de 10° 54' 27" N, se presentan condiciones ideales para la captación de energía solar. La vereda tiene una densidad poblacional baja de 3.6 personas/km², lo que refuerza la necesidad de una solución autónoma y descentralizada como una microred. La demanda eléctrica se calculó en función de un consumo mensual promedio de 173 kWh por hogar, con disponibilidad de energía limitada a 5 horas diarias, lo que permitió definir un requerimiento diario de aproximadamente 1.54 kWh netos considerando una eficiencia del sistema del 75%.

En cuanto a los requerimientos sociales, se identificó que la comunidad está compuesta por unas 500 familias con un perfil socioeconómico vulnerable. La actividad principal es el cultivo de arroz y se evidencian condiciones precarias de vivienda: el 45% habita en casas de familiares, el 30% en arriendo, el 14% en cambuches y el 11% en asentamientos informales.

Además, se destaca la importancia de considerar la cosmovisión del pueblo Wayuu, cuyo vínculo espiritual con el territorio exige que cualquier intervención energética sea culturalmente respetuosa y participativa. La comunidad percibe las intervenciones externas con desconfianza cuando no son consultadas o comprendidas desde su perspectiva, lo que resalta la necesidad de realizar procesos adecuados de concertación y consulta previa.

En términos organizativos, el corregimiento de El Hatiko cuenta con Juntas de Acción Comunal activas y asociaciones como la de Desplazados Unidos por el Progreso, lo cual representa una fortaleza para el desarrollo e implementación del proyecto, siempre que se garantice su participación directa.

Con base en la información anterior, la caracterización técnica y social del corregimiento de El Hatiko permitió identificar los requerimientos necesarios para el diseño de la microred de manera integral. El análisis de las condiciones ambientales, el consumo energético, la situación socioeconómica y organizativa de la población permitió establecer los criterios fundamentales para determinar una solución energética viable, que sea culturalmente aceptable y que estuviera adaptada a las necesidades reales de la comunidad, cumpliendo así con el objetivo planteado.

Como parte del proceso de selección tecnológica, se analizó el contexto técnico, climático y geográfico del corregimiento de El Hatiko para determinar qué tipo de sistema energético respondía mejor a sus condiciones. Se evaluaron distintas configuraciones de microredes, priorizando aquellas que fueran sostenibles, confiables y de bajo impacto ambiental.

Se concluyó que un sistema fotovoltaico autónomo era la opción más adecuada, no solo porque la implementación de otro tipo de fuentes de energía sería compleja, y costosa, sino también por los requerimientos de espacio y/o afectaciones a su población indígena, la cual tiene alto interés

en su tierra debido a sus creencias. Adicionalmente, la zona cuenta con las siguientes ventajas para la implementación del sistema fotovoltaico:

- Alta irradiación solar en La Guajira con valores promedio superiores a 5,5 kWh/m²/día, lo que garantiza un buen rendimiento de sistemas solares durante todo el año.
- Debido a la baja densidad de población, una solución autónoma evita los altos costos de expansión de red.
- Adaptabilidad del sistema al tratarse de un diseño modular, es escalable y se ajusta a las necesidades específicas de cada usuario.

Para realizar la selección de equipos, se utilizaron criterios como eficiencia, durabilidad, facilidad de mantenimiento y compatibilidad con el entorno. La solución definida incluyó que se requeriría paneles solares monocristalinos de 450 W dada su alta eficiencia de conversión energética; el controlador de carga tipo MPPT ya que permite una mayor captación de energía en condiciones variables de irradiancia comparado con los controladores PWM; baterías de gel de 150 Ah a 12V, por su mayor vida útil y baja necesidad de mantenimiento; y el inversor de onda pura de 600W, compatible con electrodomésticos sensibles y más eficiente para el consumo residencial básico.

La selección de los anteriores equipos se dio como resultado de una comparación entre distintas opciones de equipos, teniendo en cuenta criterios como eficiencia, sostenibilidad y adaptabilidad al entorno del corregimiento de El Hatío, cumpliendo el segundo objetivo por la identificación de la solución tecnológica más adecuada para garantizar un suministro eléctrico estable y sostenible.

Para establecer la viabilidad técnica y económica del proyecto, se realizó un análisis detallado de la inversión inicial, los costos de operación y mantenimiento (AOM), las reposiciones

por ciclos de vida útil, y el ahorro que representa el no pago de energía eléctrica en un escenario proyectado a 30 años. Este análisis permitió establecer los indicadores clave del proyecto.

La inversión inicial del sistema, sin considerar los beneficios tributarios, es de \$20.812.125. Aplicando los beneficios de la Ley 1715 de 2014 (deducción del 50%) y la depreciación acelerada del Decreto 2143 de 2015, se obtuvo un valor neto de inversión a amortizar de \$9.885.759.

Se proyectaron los costos de mantenimiento con base en la vida útil de los componentes y tareas recomendadas por expertos. Durante los 30 años del proyecto, se estima un valor total en AOM de \$42,760,000, y un costo en reemplazos de equipos de \$27,792,000. Estos valores fueron desglosados en un flujo de caja completo con todos los egresos e ingresos.

En cuanto a la energía generada, se estimó una producción total de 70.915,46 kWh en 30 años, lo que corresponde a un consumo diario ajustado de 1,54 kWh netos, previamente establecido con base en la disponibilidad de 5 horas de energía al día y una eficiencia del 75%.

Los indicadores financieros del proyecto fueron:

- *TIR (Tasa Interna de Retorno)*: 25,62%
- *WACC (Costo Promedio Ponderado de Capital)*: 12,09%
- *VPN (Valor Presente Neto)*: \$16,087,551.88

Esto confirma la viabilidad económica del proyecto, considerando que la TIR (25,62%) es significativamente superior al WACC (12,09%), lo cual indica que la inversión genera un retorno atractivo frente al costo promedio del capital utilizado. Esta diferencia positiva entre ambos indicadores respalda la rentabilidad del proyecto a largo plazo, demostrando que la implementación de la microred es financieramente sostenible bajo las condiciones actuales de inversión y operación.

Como resultado del desarrollo de este proyecto, se elabora un estudio de factibilidad, de forma integral, que consolida todos los aspectos técnicos, económicos, normativos y sociales necesarios para una correcta evaluación de la implementación de una microred solar en el corregimiento de El Hatico. Este documento incluye el análisis de ciclo de vida de los equipos, el presupuesto completo, la evaluación de riesgos y un flujo de caja a 30 años. También incorpora los marcos normativos relevantes, como la Ley 1715 de 2014 y el PND 2022–2026, y sintetiza la caracterización social de la comunidad con base en indicadores de vulnerabilidad, percepción del servicio eléctrico y organización comunitaria. Este informe constituye en documento facilitador de toma de decisiones parte de las autoridades, e interesados clave, en el desarrollo de estos proyectos.

6. Discusión

La formulación del estudio de factibilidad para la implementación de una microred eléctrica en el corregimiento de El Hatico permitió no solo obtener resultados técnicos y económicos positivos, sino también evidenciar una serie de implicaciones sociales, regulatorias y metodológicas relevantes para proyectos similares en zonas apartadas del país.

Desde el punto de vista técnico, la elección de un sistema fotovoltaico autónomo se sustenta en el aprovechamiento eficiente del recurso solar disponible en la región, con altos niveles de irradiación y condiciones climáticas estables. Esto demuestra que, en contextos rurales aislados con baja densidad poblacional, este tipo de soluciones son técnicamente viables y replicables, siempre que se realice un dimensionamiento adecuado a la demanda real de las viviendas. Además, la selección de equipos con tecnología MPPT, baterías de gel y un inversor de onda pura garantiza confiabilidad y durabilidad, lo cual es crucial para reducir los costos de mantenimiento a largo plazo.

En términos económicos, los indicadores financieros obtenidos (TIR de 25,62% y VPN positivo) superan con amplitud el costo de capital (WACC de 12,09%), confirmando que el proyecto no solo es sostenible, sino también rentable bajo las condiciones actuales. No obstante, se debe tener en cuenta que esta viabilidad está influenciada por los incentivos tributarios vigentes, como la deducción del 50% de la inversión y la depreciación acelerada, los cuales deben mantenerse o incluso fortalecerse para garantizar la escalabilidad de estas soluciones.

Desde el enfoque social, la participación de la comunidad, el respeto por la cosmovisión indígena y el reconocimiento de las estructuras organizativas locales son condiciones esenciales para lograr aceptación del proyecto y evitar conflictos. En este caso, si bien no se realizaron consultas directas, se consideraron fuentes secundarias que permiten anticipar posibles resistencias si el proceso de implementación no es culturalmente respetuoso. El análisis reveló la importancia de incorporar estudios antropológicos y estrategias de diálogo comunitario como parte del proceso de desarrollo del proyecto.

Durante la realización del proyecto, las constantes reuniones entre el director de tesis y el asesor externo permitieron garantizar un flujo de trabajo constante facilitando el cumplimiento de las actividades en los tiempos establecidos en el cronograma. Esta dinámica de comunicación efectiva permitió identificar de manera oportuna los aspectos que requerían ajustes, resolver dudas técnicas de forma inmediata y tomar decisiones informadas sin demoras. Gracias a esta coordinación permanente, cualquier adecuación o ajuste realizado al documento, ya fuera de forma o de contenido, fue implementado con eficiencia y sin afectar el cronograma general del proyecto, asegurando así el avance progresivo y ordenado de todas las etapas previstas.

Uno de los aspectos destacados durante la ejecución del proyecto fue el ahorro generado al no requerirse finalmente la contratación del analista financiero inicialmente previsto en la

planificación. Esto se debió a que los análisis económicos fueron abordados con suficiencia, sin comprometer la calidad del estudio. Adicionalmente, la colaboración con el asesor externo resultó más eficiente de lo esperado, ya que la información recopilada estaba bien estructurada y permitió avanzar con mayor agilidad en las actividades. Estos factores no solo redujeron los costos estimados, sino que también contribuyeron a un desarrollo más fluido del proyecto, permitiendo enfocar los recursos disponibles en otras áreas críticas sin necesidad de afectar el costo, el alcance o los tiempos del proyecto.

Durante la ejecución del proyecto, los riesgos identificados en la etapa de planificación no llegaron a materializarse, lo que evidenció la efectividad del control de riesgos implementado. Esta adecuada gestión permitió que no fuera necesario utilizar las reservas de contingencia previstas por un valor de \$19.510.000, ni las reservas destinadas a imprevistos de gestión por un valor de \$1.535.184.

Así mismo, la reducción en los costos asociados a las actividades permitió que el proyecto tuviera un costo significativamente menor al estimado inicialmente, lo que evidencia una gestión eficiente y optimizada de los recursos disponibles.

Como resultado, el costo total del proyecto ascendió únicamente a \$3.947.616, tal como se muestra en la Tabla 88. Este resultado refleja una ejecución eficiente así como un aprovechamiento responsable de los recursos disponibles.

Tabla 88. *Presupuesto final del proyecto.*

<i>Ref.</i>	<i>Referencia</i>	<i>Ítem</i>	<i>Subtotales</i>
1	Tabla 53	Estimación presupuestal gestiones del proyecto	\$ 899,400
2	Tabla 54	Estimación presupuestal viabilidades del proyecto	\$ 820,800
3	Tabla 55	Estimación presupuestal oficina	\$ 395,000
4		<i>(1+2+3) Sub Total del Proyecto</i>	<i>\$ 2,115,200</i>
5	Tabla 79	Reserva para contingencias	\$ 0.00

6		<i>(4+5) Línea Base del Proyecto</i>	\$ 2,115,200
7		Costos de Administración e Imprevistos	
8	Tabla 56	• Administración (18%)	\$ 3,947,616
9		• Imprevistos (7%)	\$ 0.00
10		<i>Reserva de Gestión (8+9)</i>	\$ 3,947,616
11		<i>Presupuesto Total del Proyecto (6+10)</i>	\$ 3,947,616

Adicionalmente a las reuniones que se tuvieron, tanto con el asesor externo como con el director de tesis, se realizaron 3 reuniones importantes para realizar un control sobre el trabajo realizado y así tomar acciones en caso de encontrar desviaciones. Para determinar la situación del trabajo de grado se usó la herramienta de análisis de Valor Ganado aplicado a las etapas FEL 1, FEL 2 y FEL 3 del proyecto, esto permitió evaluar de manera objetiva el desempeño en términos de cronograma y costos. A través de este enfoque se pudo identificar la eficiencia con la que se utilizaron los recursos asignados y el grado de cumplimiento de los objetivos planificados en cada fase, proporcionando una visión integral del estado del proyecto, evidenciando fortalezas en la ejecución y aportando datos clave para la toma de decisiones durante su desarrollo. Estos análisis se pueden evidenciar en el

Finalmente, desde la perspectiva de gestión de proyectos, el uso del enfoque PMI facilitó una estructuración clara del estudio, permitiendo integrar de forma ordenada aspectos técnicos, financieros, sociales y regulatorios, demostrando que el uso de herramientas profesionales de gestión no solo es aplicable a este tipo de proyectos, sino que potencia su solidez y capacidad de ser financiados y ejecutados.

7. Conclusiones

Para concluir, este trabajo de grado aporta una propuesta concreta y fundamentada para atender la problemática de acceso a energía eléctrica en el corregimiento de El Hatigo del municipio de Fonseca, La Guajira. Siendo acorde la justificación del proyecto, se diseñó una solución integral basada en el uso de fuentes no convencionales de energía renovable, que responde a las condiciones climáticas, técnicas, sociales y económicas del territorio.

Pudimos observar, desde una perspectiva técnica, la identificación de las necesidades energéticas de la comunidad que permitió diseñar un sistema solar ajustado a las condiciones ambientales de la región y a las limitaciones de acceso a la red nacional.

También, dentro de un ámbito económico, se realizó el análisis financiero arrojando indicadores positivos con una TIR de 25,62% y un VPN superior a \$16 millones de pesos, considerando un WACC del 12,09%, confirmando la viabilidad de implementación del proyecto.

Adicionalmente, en la parte social, se evidenció las características de alta vulnerabilidad de la comunidad, así como el factor cultural lo que hace necesario que cualquier intervención tenga un enfoque participativo, respetuoso de la cosmovisión indígena y de las estructuras organizativas locales.

Desde el componente normativo se ratifica que existen herramientas jurídicas favorables para el impulso de soluciones energéticas renovables, especialmente las dadas por los Planes Nacionales de Desarrollo. Sin embargo, aún existen desafíos institucionales y de articulación que deberán ser considerados por aquellos que deseen implementar este tipo de proyectos.

A nivel metodológico, el enfoque del Project Management Institute (PMI) permitió estructurar adecuadamente todas las fases del estudio, desde la identificación de interesados hasta la gestión de riesgos y la planeación de adquisiciones. Esta metodología, aplicada a un contexto

rural, demostró ser efectiva para alinear los distintos componentes del proyecto y ofrecer una hoja de ruta clara para su ejecución.

Por lo tanto, y dando cumplimiento a los objetivos planteados inicialmente, este documento constituye un estudio de factibilidad completo que integra los aspectos técnicos, económicos, sociales y normativos requeridos para la implementación de una microred solar en el corregimiento de El Hatico, municipio de Fonseca, La Guajira, y puede ser usado como herramienta de decisión para que las autoridades locales, entidades públicas y/o posibles financiadores, comprendan los beneficios y retos del proyecto, facilitando su evaluación, priorización e implementación dentro de los planes de desarrollo rural con enfoque territorial.

Sin embargo, se deja también como aprendizajes la evidencia de que una solución técnica por sí sola no garantiza el éxito del proyecto si no se acompaña de procesos sociales participativos y culturalmente pertinentes. La inclusión de la cosmovisión indígena, la identificación de actores clave y la concertación previa se convierten en elementos esenciales para lograr una implementación efectiva y sostenible. Adicionalmente, se destaca la importancia de contar con marcos institucionales claros y mecanismos de financiamiento accesibles.

Referencias

- Agencia de Noticias UNAL. (30 de Marzo de 2022). *Proyectos eléctricos en zonas no interconectadas sucumben por falta de administración*. Obtenido de <https://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/proyectos-electricos-en-zonas-no-interconectadas-sucumben-por-falta-de-administracion>
- Aguirre Mendoza, A. M., Díaz Mendoza, C., & Pasqualino, J. (Mayo de 2019). Renewable energy potential analysis in non-interconnected islands. Case study: Isla Grande, Corales del Rosario Archipelago, Colombia. *Ecological Engineering Volume 130*, págs. 252-262.
- Alarcón, Á. M. (2017). *Plan de suministro energético en San Andrés de Tumaco*. Bogotá: Universidad de los Andes.
- Alfonso, J. A. (2024). *Eficiencia y Rendimiento de placas solares*. Obtenido de Sunfields Solar: <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/paneles-solares-rendimiento/>
- Ambriz, A. R. (2008). La gestión del valor ganado y su aplicación. *Ponencia presentada en* . São Paulo, Brasil: Newtown Square.
- Amendola, L. (2018). Dirección y Gestión de Proyectos. Desarrolla tus competencias en Project Management.
- Andrade, J., & Olaya, A. (2023). Impactos ambientales asociados a las hidroeléctricas en Colombia. *Revista De Investigación Agraria Y Ambiental*, 14(2), 217-250.
- Asociación de Energías Renovables (SER) Colombia. (2023). *Proyectos de Energías Renovables 2023-2024*. SER Colombia.
- ASOPAGUA. (2010). *Estudio de caracterización social de las zonas de interés G (Maicao) e I (Manaure) para el desarrollo de proyectos de generación eólica por parte de ISAGEN en el departamento de La Guajira*.

- Babu, A., & Suresh, N. (1996). Project management with time, cost, and quality considerations. *European Journal of Operational Research*, Volume 88, Issue 2, 20 January 1996, Pages 320-327.
- Baquedano, S. (2022). *LA GENERACION DE ENERGIAS LIMPIAS Y LA COBERTURA DE ENERGIA ELECTRICA EN LA GUAJIRA*. Obtenido de Cámara de Comercio de La Guajira: https://camaraguajira.org/la-generacion-de-energias-limpias-y-la-cobertura-de-energia-electrica-en-la-guajira/?utm_source=chatgpt.com
- Cámara de Comercio de La Guajira. (14 de Junio de 2022). *La Generacion De Energias Limpas Y La Cobertura De Energia Electrica En La Guajira*. Obtenido de <https://camaraguajira.org/la-generacion-de-energias-limpias-y-la-cobertura-de-energia-electrica-en-la-guajira>
- Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). (2004). Resolución 355 de 2004: Por la cual se establecen disposiciones sobre la planeación, generación y suministro de energía eléctrica en Zonas No Interconectadas (ZNI). *Diario Oficial No. 45.774*. Bogotá, Colombia.
- Congreso de Colombia. (2006). *Ley 1117 de 2006: Por la cual se expiden normas sobre normalización de redes eléctricas y de subsidios para estratos 1 y 2*. Bogotá.
- Congreso de Colombia. (2014). *Ley 1715 de 2014: Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional*. Bogotá.
- Congreso de Colombia. (2022). *Ley 2277 del 2022: “Por medio de la cual se adopta una reforma tributaria para la igualdad y la justicia social y se dictan otras disposiciones”*. Bogotá.
- Congreso de la República de Colombia. (1994). Ley 143 de 1994: Por la cual se establece el régimen para la generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de

energía eléctrica en el territorio nacional y se dictan otras disposiciones. *Diario Oficial No. 41.434*. Bogotá, Colombia.

Constante, H., Carreño, L., Carreño, R., Cedeño, L., & Cely, R. (2022). *Sistema de aparatos autónomos*. Ecuador: Universidad técnica de Manabí.

COP26 Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021). <https://cop26.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/retos-climaticos-a-be-ce-proyecto-de-ley-accion-Climatica.pdf>. Bogotá: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

ÇREG. (2021). *Resolución 215 de 2021: Por la cual se modifica la tasa de retorno para la actividad de distribución de energía eléctrica*. Bogotá.

Cusva, A. C. (2020). *Propuesta de una solución energética para una comunidad aislada en el caribe colombiano*. Bogotá: Universidad de los Andes.

Delgado Victore, R., & Vérez, M. A. (2009). *La dirección integrada de proyectos haciendo uso de las bases de datos en el marco del perfeccionamiento empresarial*. [Santa Fe, Argentina.

Deltavolt. (s.f.). *Panel Solar Monocristalino: Eficiencia y Beneficios para la Energía Renovable*.

Obtenido de Deltavolt: [https://deltavolt.pe/general/panel-solar-monocristalino-eficiencia-y-beneficios-para-la-energia-](https://deltavolt.pe/general/panel-solar-monocristalino-eficiencia-y-beneficios-para-la-energia-renovable/#:~:text=Dentro%20de%20las%20diversas%20tecnolog%C3%ADas%20disponibles,%20los%20paneles,para%20quienes%20buscan%20aprovechar%20la%20energ%C3%ADa%20de)

[renovable/#:~:text=Dentro%20de%20las%20diversas%20tecnolog%C3%ADas%20disponibles,%20los%20paneles,para%20quienes%20buscan%20aprovechar%20la%20energ%C3%ADa%20de](https://deltavolt.pe/general/panel-solar-monocristalino-eficiencia-y-beneficios-para-la-energia-renovable/#:~:text=Dentro%20de%20las%20diversas%20tecnolog%C3%ADas%20disponibles,%20los%20paneles,para%20quienes%20buscan%20aprovechar%20la%20energ%C3%ADa%20de)

Departamento Nacional de Planeación. (2023). *Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026: Colombia potencia mundial de la vida*. Obtenido de <https://www.dnp.gov.co/plan-nacional-desarrollo>

- DRIPC. (2022). *¿Qué es Opex? | Definición, Importancia y Cómo se Calcula*. Obtenido de DRIPC: <https://www.dripcapital.com/es-mx/recursos/finanzas-guias/que-es-opex>
- EcoInventos. (2022). *Paneles fotovoltaicos: qué son, cómo funcionan, para qué sirven*. Obtenido de EcoInventos: <https://ecoinventos.com/paneles-fotovoltaicos/>
- El Tiempo. (25 de Agosto de 2017). *La Guajira, todo un potencial energético*. Obtenido de <https://www.eltiempo.com/economia/sectores/la-guajira-todo-un-potencial-energetico-123500>
- Electrificadora de Santander S.A. (s.f.). *ESSA. Siempre adelante*. Obtenido de Conoce los costos del servicio de energía eléctrica: <https://www.essa.com.co/site/blog/detalle-articulo/conoce-los-costos-del-servicio-de-energ237a-el233ctrica>
- Energy Encyclopedia. (s.f.). *Central Tower Solar Power Plants*. Obtenido de Renewable Energy Sources: <https://www.energyencyclopedia.com/en/renewable-energy/solar-energy/central-tower-solar-power-plants>
- Fundación Empresarios por la Educación. (2023). *¿Cómo está La Guajira en educación*. Bogotá.
- Gobernación de La Guajira. (s.f.). *Listado de asociaciones inscritas*. Riohacha.
- Grattan, S. (2025). *Renewable energy ambitions in northern Colombia collide with Indigenous worries*. Obtenido de AP News: <https://apnews.com/article/wind-energy-colombia-wayuu-indigenous-resistance-clash-cemetery-renewable-e55077418352f19349dc27b09f1eee18>
- Guajira Gráfica. (02 de Junio de 2022). *Con la puesta en marcha de 234 paneles solares, el SENA en La Guajira le apuesta a la modernización institucional*. Obtenido de <https://www.sena.edu.co/es-co/Noticias/Paginas/noticia.aspx?IdNoticia=5806>
- Gump, A. (2001). Using decision models in the real world. *PM Network*, 15(1), 43–45. Obtenido de Project Management Institute.

- Harahap, L. M., Sinaga, C. L., Lubis, D. A., Sampurno, M. A., & Nelfita, N. (2023). Using the Expected Monetary Value (EMV) Method to Minimize Risk in Project Decision Making. *Economic: Journal Economic and Business*, 2(4),.
- Hurtado, O. E., & Morales, L. (2016). *Plan para la dirección de un proyecto de construcción de vivienda siguiendo las buenas prácticas de la guía del PMBOK®*. (Trabajo de grado), Universidad Industrial de Santander: Bucaramanga.
- Inclusión SAS & Promigas S.A. E.S.P. (2022). *Energía que impulsa el desarrollo: Índice Multidimensional de pobreza energética en Colombia*. Obtenido de <https://fundacionpromigas.org.co/impe/>
- IRENA. (2021). *Off-grid Renewable Energy Statistics 2021*. International Renewable Energy Agency. Obtenido de https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Dec/Off-grid_Renewable_Energy_Statistics_2021.pdf
- IRENA. (2024). *Renewable power generation costs in 2023*. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency.
- IRENA, International Renewable Energy Agency. (2024). *RENEWABLE CAPACITY STATISTICS 2024*. www.irena.org.
- Jiménez, D., Vives, M., Jiménez, G., & Mendoza, P. (2017). Development of a methodology for planning and design of microgrids for rural electrification. (págs. 1-6). Chile: 2017 CHILEAN Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies (CHILECON).
- Joaquín López Abellán. (2025). *CAPEX: Qué es, tipos y ejemplos*. Obtenido de Economipedia: <https://economipedia.com/definiciones/capex.html>

- Kerzner, H. (2022). *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling*. Wiley.
- Kroposki, B., Basso, T., & DeBlasio, R. (2008). Microgrid standards and technologies. *IEEE Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century*, (págs. 1-4). Pittsburgh, PA, USA.
- La Guajira Hoy. (09 de Agosto de 2024). *Lanzan proyecto comunidad energética de Paz Sol de Perijá, en Fonseca*. Obtenido de <https://laguajirahoy.com/fonseca/lanzan-proyecto-comunidad-energetica-de-paz-sol-de-perija-en-fonseca.html>
- La República. (21 de Agosto de 2024). *Demanda de energía aumentó 1,44% en julio, el Caribe es la región de mayor consumo*. Obtenido de <https://www.larepublica.co/economia/demanda-de-energia-aumento-1-44-en-julio-el-caribe-es-la-region-de-mayor-consumo-3934200>
- Lopez, J. T. (10 de Agosto de 2021). *OPM Integral*. Obtenido de Cómo determinar el presupuesto del proyecto: <https://opmintegral.com/gestion-de-proyectos/como-determinar-el-presupuesto-del-proyecto/>
- Marzouk, O. A. (2022). Land-Use competitiveness of photovoltaic and concentrated solar power technologies near the Tropic of Cancer. *Solar Energy*, 103-119.
- Mejía, E. (2024). *Cámara de Comercio de La Guajira revela impacto económico por interrupciones eléctricas*. Obtenido de El Tiempo: <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/camara-de-comercio-de-la-guajira-revela-impacto-economico-por-interrupciones-electricas-857751>
- Ministerio de Minas y Energía. (2015). *Decreto 2143 de 2015*. Bogotá.

- Ministerio de Minas y Energía. (2021). *Resolución 01374 de 2021: Por la cual se ordena el giro destinado a efectuar un pago parcial de subsidios a la tarifa otorgados a los usuarios de energía eléctrica del SIN*. Bogotá.
- Mitchell, R., Agle, B., & Wood, D. J. (1997). Toward a Theory of Stakeholder Identification and Salience: Defining the Principle of Who and What Really Counts. *Academy of Management Review*.
- Muñoz, Y., & Ospino, A. (2013). *Selecting the optimal energy mix and sizing of a isolated microgrid*. Bogotá: Universidad Antonio Nariño.
- Periódico UNAL. (22 de Agosto de 2019). *El Cercado, ¿nuevo elefante blanco en La Guajira?* Obtenido de <https://periodico.unal.edu.co/articulos/el-cercado-nuevo-elefante-blanco-en-la-guajira/>
- Piñeres, S. (2020). *Propuesta de un modelo de generación de valor para la evaluación de proyectos de generación de energía eléctrica solar a pequeña escala en el departamento de La Guajira*. Bogotá: Universidad de La Sabana.
- POWMI. (2025). *Controlador de Carga Solar MPPT vs PWM - ¿Cuál es Mejor?* Obtenido de POWMI: <https://powmr.com/es/blogs/news/mppt-vs-pwm>
- Procuraduría General de la Nación. (s.f.). *Pueblo Indígena Wayuú - Caracterización*. Bogotá. Obtenido de <https://www.onic.org.co/pueblos/1156-wayuu>
- Profesor Dondi. (12 de Abril de 2020). *Las Reservas en los Proyectos PMI [Video]*. Obtenido de Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=3ZdVi7zDP0c>
- Project Managment Institute. (2017). *Guía de los Fundamentos Para la Dirección de Proyectos (Guía del Pmbok) (6th ed.)*. Project Management Institute.

- Quijano, N., Pedraza, A., Velásques, ..., Jiménez, G., Cadena, A., Becerra, J. M., & Ramírez, A. (2019). Microrredes Aisladas en La Guajira: Diseño e Implementación. *Revista de Ingeniería*.
- Reyes, R. A., Turriago, A., Cárdenas, M., & Danna, J. P. (2022). *Análisis de Políticas Públicas para la adopción de Energías Renovables No Convencionales en Colombia*. Cuadernos Latinoamericanos de Administración. 19(36).
- Robles, N., Magdaniel, Y. D., & Ucrós, M. (2019). *Brecha Digital y Gobierno Electrónico*. Riohacha: Universidad de La Guajira.
- Romero, V. M. (2025). *Tasa interna de retorno (TIR): ¿Qué es y cómo se calcula?* Obtenido de Factorial Finanzas: <https://factorial.es/blog/tasa-interna-de-retorno-tir-que-es-y-como-se-calcula/>
- Ruiz, E. (2023). *¿Cuántos años seguirán funcionando mis paneles solares y el inversor?* Obtenido de SolarPlus: <https://solarplus.es/vida-util-de-paneles-solares>
- Sapag, C. N. (2014). *Preparación y evaluación de proyectos*. McGraw-Hill.
- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. (2021). *Zonas No Interconectadas - ZNI. Informe Sectorial De La Prestación Del Servicio De Energía Eléctrica 2021*. Bogotá.
- Twidell, J., & Tony, W. (2021). *Renewable Energy Resources*. Oxford, UK: Routledge.
- Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (2023). *Plan Energético Nacional (PEN) 2022-2025*. Bogotá.
- Unidad de Planeación Mineroenergética. (30 de Enero de 2025). *PERS - Sistema de Información Geográfica*. Obtenido de <https://sig.upme.gov.co/SIGPERS/Home/pagina?visor=RADIACION%20SOLAR.pdf&pagina=gua-oe>

Unidad Nacional de Protección (UNP). (2023). *Plan Plurianual de Inversiones*. Bogotá.

United Nations High Commissioner for Refugees. (2018). *Informe final - Evaluación Seguridad Alimentaria y Medios de Vida. La Guajira, Colombia*. Riohacha.

Vega Araújo, J., & Muñoz Cabré, M. (2023). *Energía solar y eólica en Colombia: panorama y resumen de políticas 2022*. Stockholm : SEI Brief. Stockholm Environment Institute.

Vega-Araújo, J., Muñoz Cabré, M., Ramirez, Y., & Lerma, R. (2023). *Factores habilitantes de la aceptación social de los proyectos eólicos en La Guajira*. SEI Report. Stockholm Environment Institute.

Venkataraman, R. R., & Pinto, J. K. (2023). *Cost and Value Management in Projects*. Chennai, India: Wiley.

Verzuh, E. (2015). *The Fast Forward MBA in Project Management*. Wiley.

Weber, O. (2021). *Propuesta del valor del consumo básico de energía en 22 veredas de la Zona No Interconectada (ZNI) del municipio de Fonseca, La Guajira*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.

XM. (01 de Abril de 2022). “*Generación Del SIN.*” *XM Sumando Energías*. Obtenido de <https://informeannual.xm.com.co/informe/pages/xm/21-generacion-del-sin.html>

Apéndices

Apéndice A. Diccionario de la EDT

En este apéndice se presenta el diccionario de la EDT, el cual es un documento que complementa la Estructura de Desglose del Trabajo ya que proporciona una descripción detallada de cada uno de los paquetes de trabajo que la componen. Este documento especifica los entregables, criterios de aceptación, actividades asociadas, responsables y recursos asignados a cada elemento de la EDT para facilitar la comprensión clara del alcance del proyecto, y de cada uno de sus entregables, sirviendo como referencia fundamental para la planificación, ejecución y control de las actividades (Project Managment Institute., 2017).

DICCIONARIO DE LA EDT			
NOMBRE DEL PROYECTO		CUENTA DE CONTROL	
Estudio de factibilidad, con enfoque PMI, para la implementación de una microred eléctrica en el corregimiento de El Hatío en el departamento de La Guajira en Colombia		1. Gestión y dirección del proyecto	
Código del paquete de trabajo	Nombre del paquete de trabajo		
1.1.	Plan de gestión de la integración		
Objetivo del paquete de trabajo:	Asegurar que los distintos elementos del estudio de viabilidad estén adecuadamente coordinados y alineados con los objetivos académicos del proyecto.		
Descripción del paquete de trabajo:	Documento que describe cómo se integrarán las actividades del estudio de tesis para lograr una ejecución coherente y eficiente.		
Asignación de responsabilidades:	Gestión de Proyectos	Equipo Profesional	Equipo Administrativo
	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	N/A
Duración:	14 días		
Criterios de aceptación:	Aprobado por el director de tesis y coherente con el enfoque metodológico y objetivos del estudio.		
Supuestos:	Se asume que todos los elementos del proyecto pueden integrarse desde una perspectiva metodológica basada en el PMBOK.		
Riesgos:	Falta de coherencia entre los planes individuales puede afectar la visión integral del proyecto.		

DICCIONARIO DE LA EDT

NOMBRE DEL PROYECTO		CUENTA DE CONTROL	
Estudio de factibilidad, con enfoque PMI, para la implementación de una microred eléctrica en el corregimiento de El Hatico en el departamento de La Guajira en Colombia		1.1. Plan de gestión de la integración	
Código del paquete de trabajo	Nombre del paquete de trabajo		
1.1.1.	Acta de constitución del proyecto		
Objetivo del paquete de trabajo:	Formalizar el inicio del trabajo de grado, definiendo los objetivos generales, alcance preliminar y responsables del estudio.		
Descripción del paquete de trabajo:	Documento académico que sintetiza el propósito, justificación, objetivos y recursos del estudio de viabilidad en zonas no interconectadas.		
Asignación de responsabilidades:	Gestión de Proyectos	Equipo Profesional	Equipo Administrativo
	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	N/A
Duración:	4 días		
Criterios de aceptación:	Contiene la definición clara del objetivo, alcance y delimitación del estudio.		
Supuestos:	Se supone que los objetivos, justificación y alcance del proyecto pueden definirse con base en el contexto del estudio de tesis.		
Riesgos:	Definiciones ambiguas pueden dificultar la delimitación del proyecto y su aceptación como solución viable.		

DICCIONARIO DE LA EDT			
NOMBRE DEL PROYECTO		CUENTA DE CONTROL	
Estudio de factibilidad, con enfoque PMI, para la implementación de una microred eléctrica en el corregimiento de El Hatico en el departamento de La Guajira en Colombia		1.1. Plan de gestión de la integración	
Código del paquete de trabajo	Nombre del paquete de trabajo		
1.1.2.	Plan de dirección del proyecto		
Objetivo del paquete de trabajo:	Definir cómo se gestionará integralmente la ejecución del estudio de tesis, incluyendo todas sus áreas de conocimiento.		
Descripción del paquete de trabajo:	Documento guía que describe el enfoque metodológico y los planes de gestión (alcance, cronograma, riesgos, etc.) que rigen el desarrollo del estudio.		
Asignación de responsabilidades:	Gestión de Proyectos	Equipo Profesional	Equipo Administrativo
	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	N/A
Duración:	10 días		
Criterios de aceptación:	Contiene secciones completas y coherentes con los lineamientos institucionales.		
Supuestos:	Se asume que es posible consolidar un plan director que articule adecuadamente todos los planes subsidiarios.		
Riesgos:	Falta de articulación puede generar inconsistencias en ejecución simulada y análisis.		

DICCIONARIO DE LA EDT			
NOMBRE DEL PROYECTO		CUENTA DE CONTROL	
Estudio de factibilidad, con enfoque PMI, para la implementación de una microred eléctrica en el corregimiento de El Hatico en el departamento de La Guajira en Colombia		1. Gestión y dirección del proyecto	
Código del paquete de trabajo	Nombre del paquete de trabajo		
1.2.	Plan de gestión del alcance		
Objetivo del paquete de trabajo:	Definir y controlar qué está incluido y qué no está incluido en el estudio de viabilidad para asegurar una cobertura adecuada del problema investigado.		
Descripción del paquete de trabajo:	Documento que especifica los objetivos del estudio, sus límites, entregables académicos y criterios de validación.		
Asignación de responsabilidades:	Gestión de Proyectos	Equipo Profesional	Equipo Administrativo
	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	N/A
Duración:	16 días		
Criterios de aceptación:	Alcance alineado con el marco teórico y la justificación del problema; validado por el tutor académico.		
Supuestos:	Se asume que el alcance del proyecto puede delimitarse claramente a partir del análisis técnico y social realizado.		
Riesgos:	Cambios en requerimientos durante el desarrollo de la tesis pueden alterar el alcance planteado inicialmente.		

DICCIONARIO DE LA EDT			
NOMBRE DEL PROYECTO		CUENTA DE CONTROL	
Estudio de factibilidad, con enfoque PMI, para la implementación de una microred eléctrica en el corregimiento de El Hatico en el departamento de La Guajira en Colombia		1.2. Plan de gestión del alcance	
Código del paquete de trabajo	Nombre del paquete de trabajo		
1.2.1.	Plan de gestión del alcance		
Objetivo del paquete de trabajo:	Establecer cómo se definirá, validará y controlará el alcance del estudio de viabilidad de microredes.		
Descripción del paquete de trabajo:	Documento que detalla el proceso de elaboración, revisión y control del alcance durante el desarrollo del trabajo de grado.		
Asignación de responsabilidades:	Gestión de Proyectos	Equipo Profesional	Equipo Administrativo
	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	N/A
Duración:	16 días		
Criterios de aceptación:	Coherencia con los objetivos específicos y el problema de investigación.		
Supuestos:	Se supone que es posible controlar los límites del proyecto para evitar desviaciones conceptuales.		
Riesgos:	Ambigüedad en los límites del estudio podría afectar su validación como propuesta de solución.		

DICCIONARIO DE LA EDT			
NOMBRE DEL PROYECTO		CUENTA DE CONTROL	
Estudio de factibilidad, con enfoque PMI, para la implementación de una microred eléctrica en el corregimiento de El Hatico en el departamento de La Guajira en Colombia		1.2. Plan de gestión del alcance	
Código del paquete de trabajo	Nombre del paquete de trabajo		
1.2.2.	Documento de requisitos		
Objetivo del paquete de trabajo:	Identificar y documentar las necesidades energéticas y sociales de la comunidad objeto de estudio.		
Descripción del paquete de trabajo:	Compilación de requerimientos técnicos, sociales y energéticos basados en fuentes secundarias confiables y normativa vigente.		
Asignación de responsabilidades:	Gestión de Proyectos	Equipo Profesional	Equipo Administrativo
	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	N/A
Duración:	3 días		
Criterios de aceptación:	Requisitos claros, trazables y alineados con la solución propuesta.		
Supuestos:	Se asume que los requerimientos energéticos y sociales pueden identificarse con base en fuentes secundarias y diagnósticos previos.		
Riesgos:	Datos incompletos o no actualizados podrían afectar la definición precisa de los requerimientos.		

DICCIONARIO DE LA EDT			
NOMBRE DEL PROYECTO		CUENTA DE CONTROL	
Estudio de factibilidad, con enfoque PMI, para la implementación de una microred eléctrica en el corregimiento de El Hatico en el departamento de La Guajira en Colombia		1.2. Plan de gestión del alcance	
Código del paquete de trabajo	Nombre del paquete de trabajo		
1.2.3.	Enunciado del alcance del proyecto		
Objetivo del paquete de trabajo:	Describir de forma detallada los límites y entregables del estudio, así como los criterios de aceptación.		
Descripción del paquete de trabajo:	Documento que especifica el qué y el cómo del estudio, incluyendo exclusiones, supuestos y restricciones.		
Asignación de responsabilidades:	Gestión de Proyectos	Equipo Profesional	Equipo Administrativo
	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	N/A
Duración:	3 días		
Criterios de aceptación:	Alineado con los objetivos del estudio; validado por el director de tesis.		
Supuestos:	Se supone que es posible definir lo que incluye y excluye el proyecto con claridad desde el inicio.		
Riesgos:	Cambios en el enfoque del estudio podrían requerir reformulación del alcance, afectando la planificación posterior.		

DICCIONARIO DE LA EDT			
NOMBRE DEL PROYECTO		CUENTA DE CONTROL	
Estudio de factibilidad, con enfoque PMI, para la implementación de una microred eléctrica en el corregimiento de El Hatico en el departamento de La Guajira en Colombia		1.2. Plan de gestión del alcance	
Código del paquete de trabajo	Nombre del paquete de trabajo		
1.2.4.	Estructura de desglose de trabajo		
Objetivo del paquete de trabajo:	Dividir el estudio en componentes manejables que faciliten su planificación, ejecución y control.		
Descripción del paquete de trabajo:	Árbol jerárquico de entregables académicos del estudio de viabilidad, organizado por fases, capítulos o componentes.		
Asignación de responsabilidades:	Gestión de Proyectos	Equipo Profesional	Equipo Administrativo
	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	N/A
Duración:	5 días		
Criterios de aceptación:	Refleja correctamente la estructura del documento de tesis; trazabilidad de los entregables.		
Supuestos:	Se asume que se puede descomponer el trabajo en paquetes detallados que representen fielmente las actividades necesarias.		
Riesgos:	Omisión de paquetes clave puede llevar a un análisis incompleto de la viabilidad.		

DICCIONARIO DE LA EDT			
NOMBRE DEL PROYECTO		CUENTA DE CONTROL	
Estudio de factibilidad, con enfoque PMI, para la implementación de una microred eléctrica en el corregimiento de El Hatico en el departamento de La Guajira en Colombia		1. Gestión y dirección del proyecto	
Código del paquete de trabajo	Nombre del paquete de trabajo		
1.3.	Plan de gestión del cronograma		
Objetivo del paquete de trabajo:	Establecer cómo se definirá, desarrollará y controlará el cronograma del estudio de tesis.		
Descripción del paquete de trabajo:	Documento que describe los procesos y herramientas a utilizar para la planificación y control del tiempo en el desarrollo del estudio.		
Asignación de responsabilidades:	Gestión de Proyectos	Equipo Profesional	Equipo Administrativo
	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	N/A
Duración:	8 días		
Criterios de aceptación:	Plan detallado con hitos y fechas límite realistas; validado por el tutor.		
Supuestos:	Se supone que es posible establecer una planificación temporal realista y aplicable a un entorno simulado.		
Riesgos:	Subestimación de tiempos puede generar solapamientos o actividades mal secuenciadas, incluso en simulación.		

DICCIONARIO DE LA EDT			
NOMBRE DEL PROYECTO		CUENTA DE CONTROL	
Estudio de factibilidad, con enfoque PMI, para la implementación de una microred eléctrica en el corregimiento de El Hatico en el departamento de La Guajira en Colombia		1.3. Plan de gestión del cronograma	
Código del paquete de trabajo	Nombre del paquete de trabajo		
1.3.1.	Cronograma del proyecto		
Objetivo del paquete de trabajo:	Definir las fechas previstas para cada actividad del estudio, asegurando una gestión adecuada del tiempo disponible.		
Descripción del paquete de trabajo:	Diagrama de Gantt u otra herramienta que refleje las actividades, duración, dependencias y responsables dentro del estudio.		
Asignación de responsabilidades:	Gestión de Proyectos	Equipo Profesional	Equipo Administrativo
	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	N/A
Duración:	5 días		
Criterios de aceptación:	Fechas coherentes con el calendario académico; aprobado por el director de tesis.		
Supuestos:	Se asume que las actividades del proyecto pueden calendarizarse con base en su secuencia lógica y dependencias.		
Riesgos:	Incertidumbre en duración de actividades puede afectar la validez del cronograma como herramienta de planificación.		

DICCIONARIO DE LA EDT			
NOMBRE DEL PROYECTO		CUENTA DE CONTROL	
Estudio de factibilidad, con enfoque PMI, para la implementación de una microred eléctrica en el corregimiento de El Hatico en el departamento de La Guajira en Colombia		1.3. Plan de gestión del cronograma	
Código del paquete de trabajo	Nombre del paquete de trabajo		
1.3.2.	Línea base del cronograma		
Objetivo del paquete de trabajo:	Establecer una referencia oficial del cronograma contra la cual se evaluará el avance del estudio.		
Descripción del paquete de trabajo:	Versión congelada del cronograma que sirve como base para la medición del progreso durante la ejecución de la tesis.		
Asignación de responsabilidades:	Gestión de Proyectos	Equipo Profesional	Equipo Administrativo
	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	N/A
Duración:	3 días		
Criterios de aceptación:	Documentada y archivada al inicio de la ejecución; usada como referencia en informes de avance.		
Supuestos:	Se supone que el cronograma establecido servirá como referencia válida para comparar el avance simulado del proyecto.		
Riesgos:	Si el cronograma no considera todos los factores contextuales, puede resultar poco representativo o inadecuado.		

DICCIONARIO DE LA EDT			
NOMBRE DEL PROYECTO		CUENTA DE CONTROL	
Estudio de factibilidad, con enfoque PMI, para la implementación de una microred eléctrica en el corregimiento de El Hatico en el departamento de La Guajira en Colombia		1. Gestión y dirección del proyecto	
Código del paquete de trabajo	Nombre del paquete de trabajo		
1.4.	Plan de gestión de los costos		
Objetivo del paquete de trabajo:	Definir cómo se estimarán, presupuestarán y controlarán los costos asociados a la implementación hipotética de una microred en la comunidad seleccionada.		
Descripción del paquete de trabajo:	Documento que describe el enfoque metodológico para estimar y monitorear los costos del sistema propuesto, incluyendo inversión inicial y costos operativos.		
Asignación de responsabilidades:	Gestión de Proyectos	Equipo Profesional	Equipo Administrativo
	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	Analista Financiero
Duración:	12 días		
Criterios de aceptación:	Coherencia con la metodología del estudio; alineado con fuentes confiables y normativas nacionales.		
Supuestos:	Se asume que los costos de referencia de equipos y materiales son representativos del mercado nacional.		
Riesgos:	Fluctuaciones de precios o costos ocultos pueden alterar significativamente las estimaciones.		

DICCIONARIO DE LA EDT			
NOMBRE DEL PROYECTO		CUENTA DE CONTROL	
Estudio de factibilidad, con enfoque PMI, para la implementación de una microred eléctrica en el corregimiento de El Hatico en el departamento de La Guajira en Colombia		1.4. Plan de gestión de los costos	
Código del paquete de trabajo	Nombre del paquete de trabajo		
1.4.1.	Estimaciones de costos		
Objetivo del paquete de trabajo:	Calcular los costos aproximados de los equipos, instalación, operación y mantenimiento del sistema de microred propuesto.		
Descripción del paquete de trabajo:	Cálculos detallados basados en precios actuales de mercado, referencias bibliográficas y estudios técnicos previos.		
Asignación de responsabilidades:	Gestión de Proyectos	Equipo Profesional	Equipo Administrativo
	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	Analista Financiero
Duración:	6 días		
Criterios de aceptación:	Fundamentados en fuentes actualizadas y ajustados al contexto rural colombiano.		
Supuestos:	Se supone que las cotizaciones simuladas o precios históricos son suficientes para establecer referencias realistas.		
Riesgos:	Estimaciones inexactas pueden afectar la percepción de viabilidad del proyecto.		

DICCIONARIO DE LA EDT			
NOMBRE DEL PROYECTO		CUENTA DE CONTROL	
Estudio de factibilidad, con enfoque PMI, para la implementación de una microred eléctrica en el corregimiento de El Hatico en el departamento de La Guajira en Colombia		1.4. Plan de gestión de los costos	
Código del paquete de trabajo	Nombre del paquete de trabajo		
1.4.2.	Línea base de costos		
Objetivo del paquete de trabajo:	Establecer el presupuesto de referencia para evaluar desviaciones en los análisis económicos del estudio.		
Descripción del paquete de trabajo:	Documento que consolida los costos estimados como base para análisis de sensibilidad o escenarios.		
Asignación de responsabilidades:	Gestión de Proyectos	Equipo Profesional	Equipo Administrativo
	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	Analista Financiero
Duración:	4 días		
Criterios de aceptación:	Validado internamente por el equipo académico; coherente con las estimaciones previas.		
Supuestos:	Se asume que los costos proyectados no sufrirán cambios sustanciales durante el análisis.		
Riesgos:	Cambios en condiciones económicas pueden invalidar la línea base.		

DICCIONARIO DE LA EDT			
NOMBRE DEL PROYECTO		CUENTA DE CONTROL	
Estudio de factibilidad, con enfoque PMI, para la implementación de una microred eléctrica en el corregimiento de El Hatico en el departamento de La Guajira en Colombia		1. Gestión y dirección del proyecto	
Código del paquete de trabajo	Nombre del paquete de trabajo		
1.5.	Plan de gestión de la calidad		
Objetivo del paquete de trabajo:	Determinar los estándares de calidad aplicables al estudio y definir los procedimientos para asegurar su cumplimiento.		
Descripción del paquete de trabajo:	Documento que especifica cómo se garantizará la calidad del estudio en términos metodológicos, normativos y de presentación académica.		
Asignación de responsabilidades:	Gestión de Proyectos	Equipo Profesional	Equipo Administrativo
	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	N/A
Duración:	12 días		
Criterios de aceptación:	Revisión por pares académicos; cumplimiento de normas técnicas y de presentación institucional.		
Supuestos:	Se supone que pueden definirse criterios de calidad aplicables al contexto rural a partir de normas nacionales e internacionales.		
Riesgos:	Inadecuación de estándares a las condiciones reales de la comunidad puede llevar a sobrecostos o incumplimientos.		

DICCIONARIO DE LA EDT			
NOMBRE DEL PROYECTO		CUENTA DE CONTROL	
Estudio de factibilidad, con enfoque PMI, para la implementación de una microred eléctrica en el corregimiento de El Hatico en el departamento de La Guajira en Colombia		1.5. Plan de gestión de la calidad	
Código del paquete de trabajo	Nombre del paquete de trabajo		
1.5.1.	Plan de calidad		
Objetivo del paquete de trabajo:	Establecer los procedimientos de revisión, validación y aseguramiento de la calidad del contenido del estudio.		
Descripción del paquete de trabajo:	Define criterios, herramientas y responsables de asegurar que el contenido cumpla con estándares de calidad investigativa.		
Asignación de responsabilidades:	Gestión de Proyectos	Equipo Profesional	Equipo Administrativo
	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	N/A
Duración:	10 días		
Criterios de aceptación:	Coherencia metodológica, validez de los datos y rigor técnico en el desarrollo del estudio.		
Supuestos:	Se asume que los controles y requisitos definidos son aplicables a la simulación del proyecto.		
Riesgos:	Dificultad para verificar el cumplimiento de estándares sin validación en campo.		

DICCIONARIO DE LA EDT			
NOMBRE DEL PROYECTO		CUENTA DE CONTROL	
Estudio de factibilidad, con enfoque PMI, para la implementación de una microred eléctrica en el corregimiento de El Hatico en el departamento de La Guajira en Colombia		1. Gestión y dirección del proyecto	
Código del paquete de trabajo	Nombre del paquete de trabajo		
1.6.	Plan de gestión de los recursos		
Objetivo del paquete de trabajo:	Identificar y planificar el uso de recursos humanos, técnicos y bibliográficos necesarios para desarrollar el estudio.		
Descripción del paquete de trabajo:	Documento que describe los recursos disponibles y necesarios, así como los responsables de cada actividad en el contexto del estudio de tesis.		
Asignación de responsabilidades:	Gestión de Proyectos	Equipo Profesional	Equipo Administrativo
	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	N/A
Duración:	12 días		
Criterios de aceptación:	Recursos definidos adecuadamente para cubrir los objetivos del estudio; roles y responsabilidades claros.		
Supuestos:	Se supone que los recursos humanos y materiales pueden planificarse teóricamente para un escenario representativo.		
Riesgos:	Subestimación de la logística o disponibilidad de mano de obra capacitada en la zona.		

DICCIONARIO DE LA EDT			
NOMBRE DEL PROYECTO		CUENTA DE CONTROL	
Estudio de factibilidad, con enfoque PMI, para la implementación de una microred eléctrica en el corregimiento de El Hatico en el departamento de La Guajira en Colombia		1.6. Plan de gestión de los recursos	
Código del paquete de trabajo	Nombre del paquete de trabajo		
1.6.1.	Plan de recursos		
Objetivo del paquete de trabajo:	Definir cómo se gestionarán los recursos académicos y logísticos para cumplir con los objetivos del trabajo.		
Descripción del paquete de trabajo:	Planificación de tiempo, equipo investigador, bibliografía, software y herramientas tecnológicas requeridas.		
Asignación de responsabilidades:	Gestión de Proyectos	Equipo Profesional	Equipo Administrativo
	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	N/A
Duración:	6 días		
Criterios de aceptación:	Plan realista, viable y completo en función del cronograma y alcance del estudio.		
Supuestos:	Se asume que se pueden identificar adecuadamente los roles y recursos necesarios para ejecutar el proyecto.		
Riesgos:	Los requerimientos pueden cambiar si se identifican nuevas condiciones o limitaciones técnicas en etapas posteriores.		

DICCIONARIO DE LA EDT			
NOMBRE DEL PROYECTO		CUENTA DE CONTROL	
Estudio de factibilidad, con enfoque PMI, para la implementación de una microred eléctrica en el corregimiento de El Hatico en el departamento de La Guajira en Colombia		1.6. Plan de gestión de los recursos	
Código del paquete de trabajo	Nombre del paquete de trabajo		
1.6.2.	Requisitos de recursos		
Objetivo del paquete de trabajo:	Identificar de manera específica los recursos necesarios para el desarrollo eficiente del estudio.		
Descripción del paquete de trabajo:	Lista detallada de recursos técnicos, humanos y materiales requeridos para realizar los análisis y simulaciones.		
Asignación de responsabilidades:	Gestión de Proyectos	Equipo Profesional	Equipo Administrativo
	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	N/A
Duración:	4 días		
Criterios de aceptación:	Lista validada por el equipo de tesis; consistente con el plan de trabajo.		
Supuestos:	Se supone que la estimación de recursos se puede hacer con base en diseños preliminares.		
Riesgos:	Los recursos reales pueden diferir de los estimados, especialmente en cuanto a capacidades o disponibilidad.		

DICCIONARIO DE LA EDT			
NOMBRE DEL PROYECTO		CUENTA DE CONTROL	
Estudio de factibilidad, con enfoque PMI, para la implementación de una microred eléctrica en el corregimiento de El Hatico en el departamento de La Guajira en Colombia		1. Gestión y dirección del proyecto	
Código del paquete de trabajo	Nombre del paquete de trabajo		
1.7.	Plan de gestión de comunicaciones		
Objetivo del paquete de trabajo:	Establecer cómo se manejará la comunicación entre los miembros del equipo de tesis y con la comunidad de referencia si aplica.		
Descripción del paquete de trabajo:	Documento que define los canales, formatos, frecuencia y responsables de la comunicación interna y externa del estudio.		
Asignación de responsabilidades:	Gestión de Proyectos	Equipo Profesional	Equipo Administrativo
	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	N/A
Duración:	10 días		
Criterios de aceptación:	Mecanismos de comunicación claros y adaptados al entorno académico y comunitario.		
Supuestos:	Se asume que las comunicaciones del proyecto pueden definirse sin interacción directa con los actores comunitarios.		
Riesgos:	Estrategias de comunicación podrían ser ineficaces si no se adaptan a las costumbres y canales preferidos por la comunidad.		

DICCIONARIO DE LA EDT			
NOMBRE DEL PROYECTO		CUENTA DE CONTROL	
Estudio de factibilidad, con enfoque PMI, para la implementación de una microred eléctrica en el corregimiento de El Hatico en el departamento de La Guajira en Colombia		1.7. Plan de gestión de comunicaciones	
Código del paquete de trabajo	Nombre del paquete de trabajo		
1.7.1.	Plan de comunicaciones		
Objetivo del paquete de trabajo:	Describir cómo se compartirán los avances, resultados y observaciones del estudio durante su desarrollo.		
Descripción del paquete de trabajo:	Incluye bitácoras, informes parciales, comunicaciones con asesores o entidades interesadas.		
Asignación de responsabilidades:	Gestión de Proyectos	Equipo Profesional	Equipo Administrativo
	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	N/A
Duración:	8 días		
Criterios de aceptación:	Estructura clara, cronograma de informes definido, uso de medios adecuados.		
Supuestos:	Se supone que se puede establecer un flujo de información simulado para todas las fases del proyecto.		
Riesgos:	La falta de validación con actores reales puede limitar la utilidad práctica del plan.		

DICCIONARIO DE LA EDT			
NOMBRE DEL PROYECTO		CUENTA DE CONTROL	
Estudio de factibilidad, con enfoque PMI, para la implementación de una microred eléctrica en el corregimiento de El Hatico en el departamento de La Guajira en Colombia		1. Gestión y dirección del proyecto	
Código del paquete de trabajo	Nombre del paquete de trabajo		
1.8.	Plan de gestión del riesgo		
Objetivo del paquete de trabajo:	Identificar, analizar y proponer respuestas ante posibles eventos que puedan afectar el desarrollo del estudio.		
Descripción del paquete de trabajo:	Documento que describe riesgos técnicos, metodológicos o logísticos que podrían impactar negativamente los resultados o el proceso de desarrollo.		
Asignación de responsabilidades:	Gestión de Proyectos	Equipo Profesional	Equipo Administrativo
	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	Analista Financiero
Duración:	26 días		
Criterios de aceptación:	Identificación completa, evaluación cualitativa y estrategias de mitigación documentadas.		
Supuestos:	Se asume que es posible identificar riesgos relevantes a partir de experiencias previas y literatura.		
Riesgos:	Riesgos críticos podrían pasar desapercibidos si no se considera el contexto local de manera suficiente.		

DICCIONARIO DE LA EDT			
NOMBRE DEL PROYECTO		CUENTA DE CONTROL	
Estudio de factibilidad, con enfoque PMI, para la implementación de una microred eléctrica en el corregimiento de El Hatico en el departamento de La Guajira en Colombia		1.8. Plan de gestión del riesgo	
Código del paquete de trabajo	Nombre del paquete de trabajo		
1.8.1.	Plan de riesgos		
Objetivo del paquete de trabajo:	Establecer el proceso que se usará para gestionar los riesgos durante el desarrollo de la tesis.		
Descripción del paquete de trabajo:	Documento metodológico que explica cómo se identificarán, analizarán y controlarán los riesgos asociados al estudio.		
Asignación de responsabilidades:	Gestión de Proyectos	Equipo Profesional	Equipo Administrativo
	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	Analista Financiero
Duración:	15 días		
Criterios de aceptación:	Cumple con los estándares de análisis de riesgo en proyectos técnicos.		
Supuestos:	Se supone que los riesgos se pueden clasificar adecuadamente en función de impacto y probabilidad en un entorno simulado.		
Riesgos:	Subestimación de riesgos sociales o ambientales particulares de la comunidad objetivo.		

DICCIONARIO DE LA EDT			
NOMBRE DEL PROYECTO		CUENTA DE CONTROL	
Estudio de factibilidad, con enfoque PMI, para la implementación de una microred eléctrica en el corregimiento de El Hatico en el departamento de La Guajira en Colombia		1.8. Plan de gestión del riesgo	
Código del paquete de trabajo	Nombre del paquete de trabajo		
1.8.2.	Registro de riesgos		
Objetivo del paquete de trabajo:	Documentar los riesgos identificados, su evaluación y sus respuestas propuestas.		
Descripción del paquete de trabajo:	Lista estructurada de riesgos con su descripción, probabilidad, impacto y respuesta planificada.		
Asignación de responsabilidades:	Gestión de Proyectos	Equipo Profesional	Equipo Administrativo
	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	Analista Financiero
Duración:	9 días		
Criterios de aceptación:	Actualizado y utilizado como herramienta de seguimiento durante la ejecución de la tesis.		
Supuestos:	Se asume que el registro de riesgos será lo suficientemente completo para evaluar la factibilidad del proyecto.		
Riesgos:	Omisión de riesgos críticos que puedan afectar la sostenibilidad del sistema de microred.		

DICCIONARIO DE LA EDT			
NOMBRE DEL PROYECTO		CUENTA DE CONTROL	
Estudio de factibilidad, con enfoque PMI, para la implementación de una microred eléctrica en el corregimiento de El Hatico en el departamento de La Guajira en Colombia		1. Gestión y dirección del proyecto	
Código del paquete de trabajo	Nombre del paquete de trabajo		
1.9.	Plan de gestión de adquisiciones		
Objetivo del paquete de trabajo:	Definir cómo se adquirirán bienes y servicios requeridos para el desarrollo del modelo teórico de microred.		
Descripción del paquete de trabajo:	Describe el proceso de identificación, evaluación y selección de proveedores hipotéticos, así como los criterios de compra técnica.		
Asignación de responsabilidades:	Gestión de Proyectos	Equipo Profesional	Equipo Administrativo
	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	N/A
Duración:	10 días		
Criterios de aceptación:	Alineado con la normativa nacional y coherente con las necesidades técnicas del sistema propuesto.		
Supuestos:	Se asume que existe información técnica y comercial suficiente para simular adquisiciones.		
Riesgos:	La simulación podría no reflejar con precisión los precios reales del mercado.		

DICCIONARIO DE LA EDT			
NOMBRE DEL PROYECTO		CUENTA DE CONTROL	
Estudio de factibilidad, con enfoque PMI, para la implementación de una microred eléctrica en el corregimiento de El Hatico en el departamento de La Guajira en Colombia		1.9. Plan de gestión da las adquisiciones	
Código del paquete de trabajo	Nombre del paquete de trabajo		
1.9.1.	Plan de adquisiciones		
Objetivo del paquete de trabajo:	Establecer los criterios y procedimientos para la simulación de compras de equipos y servicios en el estudio.		
Descripción del paquete de trabajo:	Incluye selección de proveedores referenciales, análisis de costos y cronogramas de entrega simulados.		
Asignación de responsabilidades:	Gestión de Proyectos	Equipo Profesional	Equipo Administrativo
	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	N/A
Duración:	10 días		
Criterios de aceptación:	Debe incluir referencias reales, cotizaciones actualizadas y criterios técnicos justificados.		
Supuestos:	Se supone que hay disponibilidad en el mercado nacional para los equipos requeridos.		
Riesgos:	Cambios en la oferta tecnológica o comercial pueden invalidar las opciones seleccionadas.		

DICCIONARIO DE LA EDT				
NOMBRE DEL PROYECTO		CUENTA DE CONTROL		
Estudio de factibilidad, con enfoque PMI, para la implementación de una microred eléctrica en el corregimiento de El Hatico en el departamento de La Guajira en Colombia		1. Gestión y dirección del proyecto		
Código del paquete de trabajo	Nombre del paquete de trabajo			
1.10.	Plan de gestión de los interesados			
Objetivo del paquete de trabajo:	Identificar y analizar a las partes interesadas relevantes para el desarrollo del estudio de tesis.			
Descripción del paquete de trabajo:	Describe actores clave (instituciones, comunidad, entes reguladores) y cómo se gestionará su influencia, intereses y expectativas en el contexto académico.			
Asignación de responsabilidades:	Gestión de Proyectos	Equipo Profesional	Equipo Administrativo	
	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	N/A	
Duración:	20 días			
Criterios de aceptación:	Actores correctamente identificados y clasificados; estrategias claras para su gestión en el estudio.			
Supuestos:	Se asume que los actores clave pueden ser identificados mediante fuentes secundarias.			
Riesgos:	Omisión de actores relevantes o subestimación de su influencia.			

DICCIONARIO DE LA EDT			
NOMBRE DEL PROYECTO		CUENTA DE CONTROL	
Estudio de factibilidad, con enfoque PMI, para la implementación de una microred eléctrica en el corregimiento de El Hatico en el departamento de La Guajira en Colombia		1.10. Plan de gestión de los interesados	
Código del paquete de trabajo	Nombre del paquete de trabajo		
1.10.1.	Plan de gestión de interesados		
Objetivo del paquete de trabajo:	Establecer estrategias para involucrar a las partes interesadas en la elaboración del estudio y en el análisis de impacto social.		
Descripción del paquete de trabajo:	Documento con acciones para integrar la visión de los interesados y facilitar la apropiación del proyecto dentro del estudio.		
Asignación de responsabilidades:	Gestión de Proyectos	Equipo Profesional	Equipo Administrativo
	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	N/A
Duración:	18 días		
Criterios de aceptación:	Participación de actores clave documentada o simulada; enfoque sensible al contexto local.		
Supuestos:	Se supone que las estrategias de gestión pueden planearse sin interacción directa con los interesados.		
Riesgos:	Estrategias de gestión poco efectivas por falta de validación directa.		

DICCIONARIO DE LA EDT			
NOMBRE DEL PROYECTO		CUENTA DE CONTROL	
Estudio de factibilidad, con enfoque PMI, para la implementación de una microred eléctrica en el corregimiento de El Hatico en el departamento de La Guajira en Colombia		2. Factibilidad del proyecto	
Código del paquete de trabajo	Nombre del paquete de trabajo		
2.1.	Conclusiones de viabilidad técnica		
Objetivo del paquete de trabajo:	Evaluar la factibilidad técnica de implementar una microred en la comunidad seleccionada.		
Descripción del paquete de trabajo:	Análisis del potencial energético, compatibilidad tecnológica y disponibilidad de equipos.		
Asignación de responsabilidades:	Gestión de Proyectos	Equipo Profesional	Equipo Administrativo
	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	N/A
Duración:	23 días		
Criterios de aceptación:	Informe técnico detallado, con datos locales y referencias normativas o tecnológicas confiables.		
Supuestos:	Se asume disponibilidad de información técnica y climática suficiente para evaluar recursos y tecnologías.		
Riesgos:	La falta de datos locales precisos puede afectar la exactitud del análisis.		

DICCIONARIO DE LA EDT			
NOMBRE DEL PROYECTO		CUENTA DE CONTROL	
Estudio de factibilidad, con enfoque PMI, para la implementación de una microred eléctrica en el corregimiento de El Hatico en el departamento de La Guajira en Colombia		2.1. Conclusiones de viabilidad técnica	
Código del paquete de trabajo	Nombre del paquete de trabajo		
2.1.1.	Identificación de recursos energéticos		
Objetivo del paquete de trabajo:	Identificar los recursos renovables disponibles localmente (solar, eólico, etc.) para alimentar la microred.		
Descripción del paquete de trabajo:	Análisis de potencial energético de la zona con base en fuentes climáticas, satelitales o mediciones previas.		
Asignación de responsabilidades:	Gestión de Proyectos	Equipo Profesional	Equipo Administrativo
	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista	N/A
Duración:	6 días		
Criterios de aceptación:	Datos verificados y pertinentes; métodos adecuados de estimación.		
Supuestos:	Se supone que los datos satelitales o históricos representan adecuadamente las condiciones locales.		
Riesgos:	Posibles variaciones climáticas que afecten el recurso disponible.		

DICCIONARIO DE LA EDT			
NOMBRE DEL PROYECTO		CUENTA DE CONTROL	
Estudio de factibilidad, con enfoque PMI, para la implementación de una microred eléctrica en el corregimiento de El Hatico en el departamento de La Guajira en Colombia		2.1. Conclusiones de viabilidad técnica	
Código del paquete de trabajo	Nombre del paquete de trabajo		
2.1.2.	Identificación de tecnología		
Objetivo del paquete de trabajo:	Seleccionar tecnologías apropiadas para la generación, almacenamiento y distribución en la microred propuesta.		
Descripción del paquete de trabajo:	Evaluación comparativa de tecnologías disponibles y su adecuación al entorno rural analizado.		
Asignación de responsabilidades:	Gestión de Proyectos	Equipo Profesional	Equipo Administrativo
	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista	N/A
Duración:	9 días		
Criterios de aceptación:	Justificación técnica sólida y factibilidad de implementación teórica.		
Supuestos:	Se asume que las tecnologías seleccionadas tienen aplicación demostrada en contextos similares.		
Riesgos:	Las tecnologías pueden requerir condiciones logísticas o técnicas que no están disponibles en la comunidad objetivo.		

DICCIONARIO DE LA EDT			
NOMBRE DEL PROYECTO		CUENTA DE CONTROL	
Estudio de factibilidad, con enfoque PMI, para la implementación de una microred eléctrica en el corregimiento de El Hatico en el departamento de La Guajira en Colombia		2.1. Conclusiones de viabilidad técnica	
Código del paquete de trabajo	Nombre del paquete de trabajo		
2.1.3.	Identificación de requerimiento de equipos		
Objetivo del paquete de trabajo:	Determinar los equipos necesarios para poner en marcha el sistema propuesto.		
Descripción del paquete de trabajo:	Estimación de capacidad, características técnicas y cantidad de equipos (paneles, baterías, inversores, etc.).		
Asignación de responsabilidades:	Gestión de Proyectos	Equipo Profesional	Equipo Administrativo
	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista	N/A
Duración:	6 días		
Criterios de aceptación:	Lista técnica completa, ajustada al perfil de demanda y al recurso disponible.		
Supuestos:	Se supone que los perfiles de demanda estimados son representativos y que los equipos son dimensionados correctamente.		
Riesgos:	Sobreestimación o subestimación de los equipos, lo que afecta la viabilidad del diseño.		

DICCIONARIO DE LA EDT			
NOMBRE DEL PROYECTO		CUENTA DE CONTROL	
Estudio de factibilidad, con enfoque PMI, para la implementación de una microred eléctrica en el corregimiento de El Hatico en el departamento de La Guajira en Colombia		2. Factibilidad del proyecto	
Código del paquete de trabajo	Nombre del paquete de trabajo		
2.2.	Conclusiones viabilidad económica		
Objetivo del paquete de trabajo:	Evaluar si la propuesta es económicamente viable a mediano y largo plazo para la comunidad.		
Descripción del paquete de trabajo:	Análisis de ingresos potenciales, egresos y costos de operación y mantenimiento.		
Asignación de responsabilidades:	Gestión de Proyectos	Equipo Profesional	Equipo Administrativo
	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	Analista Financiero
Duración:	13 días		
Criterios de aceptación:	Proyecciones fundamentadas en supuestos realistas y sostenibilidad económica estimada.		
Supuestos:	Se asume estabilidad relativa en los costos de energía y equipos durante el periodo de análisis.		
Riesgos:	Cambios bruscos en precios o inflación pueden alterar los resultados económicos.		

DICCIONARIO DE LA EDT			
NOMBRE DEL PROYECTO		CUENTA DE CONTROL	
Estudio de factibilidad, con enfoque PMI, para la implementación de una microred eléctrica en el corregimiento de El Hatico en el departamento de La Guajira en Colombia		2.2. Conclusiones viabilidad económica	
Código del paquete de trabajo	Nombre del paquete de trabajo		
2.2.1.	Análisis de ingresos		
Objetivo del paquete de trabajo:	Estimar posibles fuentes de ingresos o beneficios económicos derivados de la microred.		
Descripción del paquete de trabajo:	Incluye reducción de gasto en combustibles, posibilidad de uso productivo de la energía, entre otros.		
Asignación de responsabilidades:	Gestión de Proyectos	Equipo Profesional	Equipo Administrativo
	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista	Analista Financiero
Duración:	4 días		
Criterios de aceptación:	Cálculos claros, alineados al perfil socioeconómico de la comunidad.		
Supuestos:	Se supone que habrá usos productivos o reducción de gastos que justifiquen el ingreso económico simulado.		
Riesgos:	Los ingresos pueden no materializarse si no se implementan adecuadamente los usos productivos o si no se adopta la solución.		

DICCIONARIO DE LA EDT			
NOMBRE DEL PROYECTO		CUENTA DE CONTROL	
Estudio de factibilidad, con enfoque PMI, para la implementación de una microred eléctrica en el corregimiento de El Hatico en el departamento de La Guajira en Colombia		2.2. Conclusiones viabilidad económica	
Código del paquete de trabajo	Nombre del paquete de trabajo		
2.2.2.	Análisis de egresos		
Objetivo del paquete de trabajo:	Determinar los costos asociados a la implementación, operación y mantenimiento del sistema propuesto.		
Descripción del paquete de trabajo:	Incluye inversión inicial, reemplazo de componentes y costos administrativos.		
Asignación de responsabilidades:	Gestión de Proyectos	Equipo Profesional	Equipo Administrativo
	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista	Analista Financiero
Duración:	4 días		
Criterios de aceptación:	Documentación completa, con proyecciones fundamentadas.		
Supuestos:	Se asume que los costos estimados reflejan adecuadamente las condiciones locales.		
Riesgos:	Subestimación de costos de instalación o mantenimiento por condiciones de difícil acceso.		

DICCIONARIO DE LA EDT			
NOMBRE DEL PROYECTO		CUENTA DE CONTROL	
Estudio de factibilidad, con enfoque PMI, para la implementación de una microred eléctrica en el corregimiento de El Hatico en el departamento de La Guajira en Colombia		2.2. Conclusiones viabilidad económica	
Código del paquete de trabajo	Nombre del paquete de trabajo		
2.2.3.	Análisis de costos de AOM		
Objetivo del paquete de trabajo:	Evaluar los costos a largo plazo relacionados con administración, operación y mantenimiento de la microred.		
Descripción del paquete de trabajo:	Desglose detallado por componente y periodo de tiempo de los costos recurrentes.		
Asignación de responsabilidades:	Gestión de Proyectos	Equipo Profesional	Equipo Administrativo
	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista	Analista Financiero
Duración:	3 días		
Criterios de aceptación:	Coherente con el diseño técnico y referencias válidas en contexto colombiano.		
Supuestos:	Se supone que los requerimientos de mantenimiento se mantienen constantes a lo largo del tiempo.		
Riesgos:	Deterioro prematuro o falta de disponibilidad de repuestos que aumenten los costos de AOM.		

DICCIONARIO DE LA EDT			
NOMBRE DEL PROYECTO		CUENTA DE CONTROL	
Estudio de factibilidad, con enfoque PMI, para la implementación de una microred eléctrica en el corregimiento de El Hatico en el departamento de La Guajira en Colombia		2. Factibilidad del proyecto	
Código del paquete de trabajo	Nombre del paquete de trabajo		
2.3.	Conclusiones viabilidad social		
Objetivo del paquete de trabajo:	Evaluar el impacto social y aceptación comunitaria de la microred propuesta.		
Descripción del paquete de trabajo:	Análisis de población beneficiada, necesidades energéticas, percepción del proyecto y posibles beneficios sociales.		
Asignación de responsabilidades:	Gestión de Proyectos	Equipo Profesional	Equipo Administrativo
	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista Ingeniero Civil	N/A
Duración:	11 días		
Criterios de aceptación:	Diagnóstico social sólido y basado en datos confiables; enfoque ético y participativo.		
Supuestos:	Se asume que la información social secundaria es suficiente para caracterizar a la población.		
Riesgos:	Falta de datos actualizados o específicos de la comunidad puede limitar el análisis.		

DICCIONARIO DE LA EDT			
NOMBRE DEL PROYECTO		CUENTA DE CONTROL	
Estudio de factibilidad, con enfoque PMI, para la implementación de una microred eléctrica en el corregimiento de El Hatico en el departamento de La Guajira en Colombia		2.3. Conclusiones viabilidad social	
Código del paquete de trabajo	Nombre del paquete de trabajo		
2.3.1.	Recolección de datos poblacionales		
Objetivo del paquete de trabajo:	Obtener información demográfica, socioeconómica y cultural relevante de la comunidad objetivo.		
Descripción del paquete de trabajo:	Uso de fuentes secundarias (censos, informes municipales) para caracterizar a la población beneficiaria.		
Asignación de responsabilidades:	Gestión de Proyectos	Equipo Profesional	Equipo Administrativo
	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista	N/A
Duración:	4 días		
Criterios de aceptación:	Datos consistentes y pertinentes para el análisis; fuentes verificables.		
Supuestos:	Se supone que las fuentes oficiales reflejan con precisión la situación actual.		
Riesgos:	Desactualización de los datos o diferencias significativas entre la información secundaria y la realidad.		

DICCIONARIO DE LA EDT			
NOMBRE DEL PROYECTO		CUENTA DE CONTROL	
Estudio de factibilidad, con enfoque PMI, para la implementación de una microred eléctrica en el corregimiento de El Hatico en el departamento de La Guajira en Colombia		2.3. Conclusiones viabilidad social	
Código del paquete de trabajo	Nombre del paquete de trabajo		
2.3.2.	Análisis de requerimientos energéticos		
Objetivo del paquete de trabajo:	Estimar la demanda energética actual y futura de la comunidad.		
Descripción del paquete de trabajo:	Identificación de usos actuales, necesidades insatisfechas y potenciales usos productivos de la energía.		
Asignación de responsabilidades:	Gestión de Proyectos	Equipo Profesional	Equipo Administrativo
	Director de Proyecto	Ingeniero Electricista	N/A
Duración:	5 días		
Criterios de aceptación:	Perfil de carga bien definido y contextualizado; fundamentado en datos reales o representativos.		
Supuestos:	Se asume que la estimación de la demanda se puede realizar con base en patrones de consumo estándar o aproximaciones.		
Riesgos:	Los hábitos de consumo reales pueden diferir significativamente, afectando el diseño del sistema.		

Apéndice B. *Análisis de valor ganado para los FEL 1 a FEL 3***Tabla B1.** *Análisis de valor ganado del proyecto en el FEL 1*

Ítem	Porcentaje Ejecutado (%E)	Medidas de desempeño		Medidas de variación			Medidas de desempeño		Valor Relativo
		Valor Planificado (PV)	Costo Real (AC)	Valor Ganado (EV)	Variación del costo (CV)	Variación del Cronograma (SV)	Índice de desempeño del Presupuesto (CPI)	Índice de desempeño del Cronograma (SPI)	
				$EV = \%E \times PV$	$CV = EV - AC$	$SV = EV - PV$	$CPI = EV / AC$	$SPI = EV / PV$	
1.1. Plan de gestión de la integración	60%	\$49,680	\$48,400	\$49,680	\$1,280	\$-	1.03	1.00	3%
1.2. Plan de gestión del alcance	100%	\$72,600	\$52,200	\$72,600	\$20,400	\$-	1.39	1.00	28%
1.3. Plan de gestión del cronograma	100%	\$72,600	\$62,400	\$72,600	\$10,200	\$-	1.16	1.00	14%
1.4. Plan de gestión de los costos	0%	\$-	\$-	\$-	\$-	\$-	0.00	0.00	0%
1.5. Plan de gestión de la calidad	0%	\$-	\$-	\$-	\$-	\$-	0.00	0.00	0%
1.6. Plan de gestión de los recursos	0%	\$-	\$-	\$-	\$-	\$-	0.00	0.00	0%
1.7. Plan de gestión de comunicaciones	0%	\$-	\$-	\$-	\$-	\$-	0.00	0.00	0%
1.8. Plan de gestión del riesgo	0%	\$-	\$-	\$-	\$-	\$-	0.00	0.00	0%
1.9. Plan de gestión de adquisiciones	0%	\$-	\$-	\$-	\$-	\$-	0.00	0.00	0%
1.10. Plan de gestión de los interesados	0%	\$-	\$-	\$-	\$-	\$-	0.00	0.00	0%
2.1. Conclusiones de viabilidad técnica	0%	\$-	\$-	\$-	\$-	\$-	0.00	0.00	0%
2.2. Conclusiones viabilidad económica	0%	\$-	\$-	\$-	\$-	\$-	0.00	0.00	0%
2.3. Conclusiones viabilidad social	0%	\$-	\$-	\$-	\$-	\$-	0.00	0.00	0%

Tabla B2. *Análisis de valor ganado del proyecto en el FEL 2*

Ítem	Porcentaje Ejecutado (%E)	Medidas de desempeño			Medidas de variación		Medidas de desempeño		Valor Relativo
		Valor Planificado (PV)	Costo Real (AC)	Valor Ganado (EV)	Variación del costo (CV)	Variación del Cronograma (SV)	Índice de desempeño del Presupuesto (CPI)	Índice de desempeño del Cronograma (SPI)	
							$EV = \%E \times PV$	$CV = EV - AC$	
1.1. Plan de gestión de la integración	70%	\$57,960	\$59,400	\$57,960	-\$1,440	\$-	0.98	1.00	-2%
1.2. Plan de gestión del alcance	100%	\$72,600	\$52,200	\$72,600	\$20,400	\$-	1.39	1.00	28%
1.3. Plan de gestión del cronograma	100%	\$72,600	\$62,400	\$72,600	\$10,200	\$-	1.16	1.00	14%
1.4. Plan de gestión de los costos	75%	\$69,750	\$70,100	\$69,750	-\$350	\$-	1.00	1.00	-1%
1.5. Plan de gestión de la calidad	68%	\$97,920	\$96,850	\$97,920	\$1,070	\$-	1.01	1.00	1%
1.6. Plan de gestión de los recursos	64%	\$79,104	\$78,750	\$79,104	\$354	\$-	1.00	1.00	0%
1.7. Plan de gestión de comunicaciones	72%	\$59,616	\$60,100	\$59,616	-\$484	\$-	0.99	1.00	-1%
1.8. Plan de gestión del riesgo	82%	\$159,900	\$160,800	\$159,900	-\$900	\$-	0.99	1.00	-1%
1.9. Plan de gestión de adquisiciones	45%	\$37,260	\$40,200	\$37,260	-\$2,940	\$-	0.93	1.00	-8%
1.10. Plan de gestión de los interesados	85%	\$87,720	\$85,450	\$87,720	\$2,270	\$-	1.03	1.00	3%
2.1. Conclusiones de viabilidad técnica	0%	\$-	\$-	\$-	\$-	\$-	0.00	0.00	0%
2.2. Conclusiones viabilidad económica	0%	\$-	\$-	\$-	\$-	\$-	0.00	0.00	0%
2.3. Conclusiones viabilidad social	0%	\$-	\$-	\$-	\$-	\$-	0.00	0.00	0%

Tabla B3. *Análisis de valor ganado del proyecto en el FEL 3*

Ítem	Porcentaje Ejecutado (%E)	Medidas de desempeño			Medidas de variación		Medidas de desempeño		Valor Relativo
		Valor Planificado (PV)	Costo Real (AC)	Valor Ganado (EV)	Variación del costo (CV)	Variación del Cronograma (SV)	Índice de desempeño del Presupuesto (CPI)	Índice de desempeño del Cronograma (SPI)	
							$CPI=EV/AC$	$SPI=EV/PV$	
1.1. Plan de gestión de la integración	96%	\$79,488	\$60,350	\$79,488	\$19,138	\$-	1.32	1.00	24%
1.2. Plan de gestión del alcance	100%	\$72,600	\$52,200	\$72,600	\$20,400	\$-	1.39	1.00	28%
1.3. Plan de gestión del cronograma	100%	\$72,600	\$62,400	\$72,600	\$10,200	\$-	1.16	1.00	14%
1.4. Plan de gestión de los costos	94%	\$87,420	\$71,600	\$87,420	\$15,820	\$-	1.22	1.00	18%
1.5. Plan de gestión de la calidad	95%	\$136,800	\$108,200	\$136,800	\$28,600	\$-	1.26	1.00	21%
1.6. Plan de gestión de los recursos	97%	\$119,892	\$110,850	\$119,892	\$9,042	\$-	1.08	1.00	8%
1.7. Plan de gestión de comunicaciones	92%	\$76,176	\$69,850	\$76,176	\$6,326	\$-	1.09	1.00	8%
1.8. Plan de gestión del riesgo	100%	\$195,000	\$184,800	\$195,000	\$10,200	\$-	1.06	1.00	5%
1.9. Plan de gestión de adquisiciones	92%	\$76,176	\$74,850	\$76,176	\$1,326	\$-	1.02	1.00	2%
1.10. Plan de gestión de los interesados	100%	\$103,200	\$93,000	\$103,200	\$10,200	\$-	1.11	1.00	10%
2.1. Conclusiones de viabilidad técnica	100%	\$276,600	\$276,600	\$276,600	\$-	\$-	1.00	1.00	0%
2.2. Conclusiones viabilidad económica	100%	\$492,000	\$400,200	\$492,000	\$91,800	\$-	1.23	1.00	19%
2.3. Conclusiones viabilidad social	100%	\$205,200	\$144,000	\$205,200	\$61,200	\$-	1.43	1.00	30%

Aunque en las tablas de análisis de valor ganado el Índice de Desempeño del Cronograma (SPI) se mantiene constante en 1.00, lo que indica un avance conforme al plan, es importante aclarar que durante el desarrollo del proyecto sí se presentaron pequeños retrasos y adelantamientos en ciertas actividades. Sin embargo, estas desviaciones fueron mínimas y se gestionaron de forma oportuna, lo que permitió corregirlas sin generar impactos significativos sobre el cronograma general ni comprometer los entregables establecidos.