UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Estudio preliminar para implementación de un sistema fotovoltaico para el alumbrado comunal de un conjunto residencial VIS

Autor:

Andrés Alirio Morillo Montenegro

Tutor:

Carlos Agusto Toledo Bueno

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Especialización en Gestión de Proyectos de Ingeniería

Bogotá D.C – Colombia

Contenido

Resumen 11

Palabras clave 11

Introducción 12

1. Contexto e identificación del proyecto 13

1.1.1. Formulación del problema. 13

1.1.2. Justificación. 13

1.2. Objetivos. 14

1.2.1. Objetivo general. 14

1.2.2. Objetivos específicos 14

1.3. Antecedentes. 14

1.4. Marco histórico. 16

1.5. Marco conceptual. 17

1.6. Entornos. 19

1.7. Matriz MEFI 21

1.8. Matriz MEFE 23

1.9. Matriz FODA 26

1.10. Matriz MAFE 28

1.11. Banco estratégico 30

1.12. Banco de proyectos 31

1.13. Portafolio de proyectos 33

1.14. Matriz MPC 34

1.15. Matriz MML 35

1.16. Conclusión estratégica de la alternativa seleccionada. 37

2. Análisis del mercado 38

2.1. Concepto del producto 38

2.1.1. Uso específico del producto 38

2.1.2. Características del producto 39
2.2 Ciclo de vida del producto 39
2.2.1 Análisis de necesidades del mercado 40
2.2.2 Planteamiento del producto 40
2.2.3 Diseño preliminar del producto 40
2.2.4 Evaluación de impacto en el mercado 40
2.2.5 Consolidación del producto 41
2.2.6 Costo de inversión y operación 41
2.3 Análisis de la demanda 41
2.3.1 Estimación actual de clientes 42
2.3.2 Comportamiento geográfico de la demanda 42
2.3.3 Clasificación de la demanda del producto en el mercado 42
2.3.4 Tamaño y características del mercado objetivo 43
2.4 Mercado objetivo 43
2.5. Análisis de oferta 45
2.6. Características de la competencia 46
2.7. Análisis de precio 47
2.7.1. Comportamiento general de los precios 48
2.7.2. Comparación con tecnologías sustituidas 49
2.7.3. Factores que afectan los precios 49
2.8 Proyección 50
2.8.1 Estrategia de mercado 51
2.9. Conclusión análisis de mercado 52
3. Planificación del proyecto 54
3.1. Misión 54
3.2. Visión 54
3.3. Alcance del proyecto 54
3.4. Acciones para cumplimiento de objetivos 55
3.5. Cronograma de actividades 55

3.6. Estructura analítica del proyecto 56
3.7. Riesgos 56
3.8. Monitoreo y evaluación. 58
3.9. Políticas 59
3.9.1. Política de calidad 59
3.9.2. Política ambiental 60
3.9.3. Normatividad y responsables 61
4. Ingeniería del proyecto 62
4.1. Diagnóstico energético actual 62
4.1.1. Descripción del conjunto residencial VIS 62
4.1.2. Áreas comunes existentes 63
4.1.3. Sistema de iluminación actual 63
4.1.4. Consumo energético estimado actual 64
4.2. Determinación de la demanda energética 64
4.2.1. Inventario de cargas 65
4.2.2. Horas de uso 65
4.2.3. Consumo diario, mensual y anual 66
4.2.4. Demanda objetivo para suplir con energía solar 66
4.3. Recurso solar y condiciones del sitio 67
4.3.1. Ubicación: Bogotá 68
4.3.2. Radiación solar 68
4.3.3. Nubosidad y radiación difusa 69
4.3.4. Temperatura y pérdidas 70
4.3.5. Área disponible para instalación 72
4.4. Diseño del sistema fotovoltaico 73
4.4.1. Parámetros de diseño 75
4.4.2. Cálculo de la potencia del sistema 76
4.4.3. Dimensionamiento del banco de baterías 77
4.4.4. Selección de módulos fotovoltaicos 78

4.4.5. Área requerida 80
4.5. Selección de equipos principales 81
4.5.1. Paneles solares 81
4.5.2. Inversor 81
4.5.3. Protecciones eléctricas 82
4.5.4. Estructura de montaje 82
4.5.5. Cableado 83
4.6. Producción estimada del sistema 83
4.6.1. Generación diaria 83
4.6.2. Generación mensual 83
4.6.3. Generación anual 84
4.7. Distribución e integración eléctrica 84
4.8. Evaluación técnica del sistema 84
4.8.1. Ventajas técnicas 85
4.8.2. Limitaciones 85
4.8.3. Vida útil 86
4.8.4. Mantenimiento requerido 87
5. Estudio Administrativo 88
5.1. Estructura organizacional del proyecto 88
5.2. Recursos humanos requeridos 89
5.2.1. Personal técnico 89
5.2.2. Funciones y responsabilidades 90
5.3. Normatividad aplicable 91
5.4. Seguridad y gestión del riesgo 92
5.5. Viabilidad administrativa 93
6. Estudio Económico – Financiero 95
6.1. Costos de inversión inicial 95
6.1.1. Costo de paneles solares 96
6.1.2. Costo del inversor 96

6.1.3. Costo banco de baterías 97
6.1.4. Costos de estructura y cableado 97
6.1.5. Costos de protecciones eléctricas 97
6.1.6. Costos de luminarias 98
6.1.7. Costos de herramienta 99
6.1.8. Costos de mano de obra 99
6.1.9. Costo certificado RETIE 100
6.1.10. Costo total estimado del sistema 100
6.2. Costos administrativos y operativos 101
6.2.1. Costos administrativos 101
6.3. Evaluación financiera del proyecto 102
6.3.1. Inversión inicial 102
6.3.2. Costos de producto 103
6.3.3. Gastos operacionales 104
6.3.4. Producción e ingresos operacionales 105
6.3.5. Préstamo y amortización 107
6.4. Flujo de fondos 108
6.4.1. Escenario optimista financiado 108
6.4.2. Escenario optimista sin financiación 109
6.4.3. Escenario pesimista financiado 109
6.4.4. Escenario pesimista sin financiación 110
6.5. Análisis comparativo de escenarios 111
6.5.1. Sensibilidad financiera del proyecto optimista financiado 112
6.5.2. Sensibilidad financiera del proyecto optimista sin financiación 113
6.5.3. Sensibilidad financiera del proyecto pesimista financiado 115
6.5.4. Sensibilidad financiera del proyecto pesimista sin financiación 117
6.6. Comparación de VPN y TIR 119
6.7. Viabilidad financiera y proyección del modelo 120
6.8. Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE) 121

6.9. Relación Beneficio/Costo (RBC) 122
7. Conclusiones 124
7.1. Conclusiones generales 124
7.2. Conclusiones técnicas 124
7.3. Conclusiones ambientales 124
7.4. Conclusiones financieras 125
8. Referencias 126

Índice de tablas

Tabla 1. Entorno ambiental.....19
Tabla 2. Entorno tecnológico.....20
Tabla 3. Entorno económico.....20
Tabla 4. Entorno social.....20
Tabla 5. Entorno demográfico.....21
Tabla 6. Entorno político.....21
Tabla 7. Matriz MEFI.....23
Tabla 8. Matriz MEFE.....25
Tabla 9. Matriz FODA.....28
Tabla 10. Matriz MAFE.....30
Tabla 11. Portafolio de proyectos.....34
Tabla 12. Matriz MPC.....35
Tabla 13. Matriz MML.....37
Tabla 14. características de la competencia.....47
Tabla 15. Análisis de precios.....48
Tabla 16. Estrategia de mercado.....52
Tabla 17. Riesgos.....58
Tabla 18. Monitoreo y evaluación.....58
Tabla 19. Consumo energético estimado actual.....64
Tabla 20. Inventario de cargas.....65
Tabla 21. Horas de uso.....65
Tabla 22. Consumo diario, mensual y anual.....66
Tabla 23. Demanda objetivo para suplir con energía solar.....67
Tabla 24. Diseño del sistema fotovoltaico.....75
Tabla 25. Parámetros de diseño.....75
Tabla 26. Selección de módulos fotovoltaicos.....79
Tabla 27. Paneles solares.....81
Tabla 28. Inversor del sistema.....82
Tabla 29. Protecciones eléctricas.....82
Tabla 30. Estructura de montaje.....83
Tabla 31. Ventajas técnicas.....85
Tabla 32. Limitaciones.....86
Tabla 33. Vida útil.....86
Tabla 34. Mantenimiento requerido.....87
Tabla 35. Personal técnico.....90
Tabla 36. Funciones y responsabilidades.....91
Tabla 37. Normatividad aplicable.....91
Tabla 38. Seguridad y gestión del riesgo.....92
Tabla 39. Costo de paneles solares.....96
Tabla 40. Costo de inversor.....96
Tabla 41. Costo banco de baterías.....97
Tabla 42. Costo de estructura y cableado.....97

Tabla 43. Costo de protecciones eléctricas. 98
Tabla 44. Costo de luminarias. 99
Tabla 45. Costo de herramientas....99
Tabla 46. Costo de mano de obra. 100
Tabla 47. Costo certificado RETIE....100
Tabla 48. Costo total estimado del sistema. 101
Tabla 49. Costos administrativos. 102
Tabla 50. Inversión inicial. 103
Tabla 51. Costos de materia prima. 103
Tabla 52. Costos de mano de obra. 104
Tabla 53. Costos indirectos de fabricación. 104
Tabla 54. Costos de fabricación más proyección. 104
Tabla 55. Gastos operacionales más proyección. 105
Tabla 56. Producción optimista más proyección. 106
Tabla 57. producción pesimista más proyección. 107
Tabla 58. préstamo y amortización. 108
Tabla 59. Sensibilidad financiera del proyecto optimista financiado. 113
Tabla 60. Sensibilidad financiera del proyecto optimista sin financiación. 114
Tabla 61. Sensibilidad financiera del proyecto pesimista financiado. 117
Tabla 62. Sensibilidad financiera del proyecto pesimista sin financiación. 119
Tabla 63. Comparación de VPN y TIR. 120
Tabla 64. Costo anual uniforme equivalente. 121
Tabla 65. Relación costo beneficio. 122

Índice de imágenes

Imagen 1. Mercado objetivo. 45
Imagen 2. Análisis de cumplimiento de objetivos. 55
Imagen 3. Cronograma de actividades. 56
Imagen 4. Horas solar pico. 69
Imagen 5. Nubosidad promedio. 70
Imagen 6. Temperatura promedio. 72
Imagen 7. Estructura organizacional. 89
Imagen 8. Escenario optimista financiado. 108
Imagen 9. Escenario optimista sin financiación. 109
Imagen 10. Escenario pesimista financiado. 110
Imagen 11. Escenario pesimista sin financiación. 111
Imagen 12. Sensibilidad financiera del proyecto optimista financiado. 113
Imagen 13. Sensibilidad financiera del proyecto optimista sin financiación. 115
Imagen 14. Sensibilidad financiera del proyecto pesimista financiado. 117
Imagen 15. Sensibilidad financiera del proyecto pesimista sin financiación. 119

Resumen

El presente proyecto tuvo como objetivo evaluar la factibilidad técnica, económica y ambiental para la implementación de un sistema fotovoltaico destinado al alumbrado comunal de un conjunto residencial de Vivienda de Interés Social (VIS) en la ciudad de Bogotá D.C. La investigación surge como una alternativa para reducir la dependencia de la red eléctrica convencional, disminuir los costos operativos asociados al consumo energético de las zonas comunes y contribuir al fortalecimiento de estrategias de sostenibilidad y transición energética.

Para el desarrollo del estudio se realizó un análisis estratégico del entorno, un estudio de mercado orientado al sector VIS en Bogotá, la planificación del proyecto, el diseño técnico del sistema fotovoltaico y la evaluación administrativa, económica y financiera de la propuesta. A partir del diagnóstico energético del conjunto residencial se determinaron las cargas asociadas al alumbrado comunal, permitiendo dimensionar un sistema compuesto por módulos fotovoltaicos, inversor, banco de baterías, protecciones eléctricas y luminarias LED de alta eficiencia, complementadas con luminarias solares autónomas para zonas exteriores.

Posteriormente, se desarrolló una evaluación financiera mediante la construcción de escenarios optimistas y pesimistas, tanto con financiación como sin financiación, utilizando indicadores como el Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR). Los resultados evidenciaron que el proyecto presenta condiciones favorables de rentabilidad, especialmente en el escenario optimista financiado, donde se obtuvo un VPN de $119.362.825 y una TIR del 56%.

Finalmente, se concluye que la implementación de sistemas fotovoltaicos para el alumbrado comunal en conjuntos residenciales VIS es técnica, ambiental y financieramente viable, constituyéndose como una alternativa sostenible para la optimización energética, la reducción de costos operativos y el fortalecimiento de modelos de desarrollo urbano más eficientes y responsables con el medio ambiente.

Palabras clave

Energía solar fotovoltaica, vivienda de interés social (VIS), alumbrado comunal, eficiencia energética, energías renovables, sostenibilidad ambiental, transición energética, evaluación financiera, gestión de proyectos, factibilidad técnica.

Introducción

La transición hacia modelos energéticos más sostenibles se ha convertido en una prioridad a nivel mundial debido al crecimiento de la demanda energética, el impacto ambiental asociado al uso de combustibles fósiles y la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. En este contexto, las energías renovables han adquirido un papel fundamental dentro de las estrategias de desarrollo sostenible, destacándose la energía solar fotovoltaica como una de las tecnologías con mayor potencial de implementación debido a su confiabilidad, facilidad de adaptación y disminución progresiva de costos.

En Colombia, el desarrollo de proyectos basados en fuentes no convencionales de energía renovable ha sido impulsado por iniciativas normativas como la Ley 1715 de 2014, la cual promueve la integración de tecnologías limpias en diferentes sectores productivos y residenciales. Sin embargo, la adopción de sistemas fotovoltaicos en proyectos de Vivienda de Interés Social (VIS) aún presenta importantes oportunidades de crecimiento, especialmente en aplicaciones destinadas a la optimización energética de zonas comunes y espacios compartidos.

El presente trabajo desarrolla un estudio preliminar para la implementación de un sistema fotovoltaico destinado al alumbrado comunal de un conjunto residencial VIS ubicado en la ciudad de Bogotá D.C. La investigación aborda de manera integral los aspectos estratégicos, comerciales, técnicos, administrativos, ambientales y financieros necesarios para determinar la factibilidad de la propuesta.

Para ello, inicialmente se realiza un análisis del entorno y del mercado objetivo, identificando las condiciones que favorecen la implementación de soluciones energéticas sostenibles en conjuntos residenciales VIS. Posteriormente, se desarrolla el diseño técnico del sistema fotovoltaico, considerando la demanda energética, las condiciones climáticas de la ciudad y los criterios de dimensionamiento requeridos para garantizar su funcionamiento.

Finalmente, se efectúa una evaluación económica y financiera mediante diferentes escenarios de operación, permitiendo determinar la rentabilidad, sostenibilidad y potencial de crecimiento del proyecto. De esta manera, el estudio busca aportar una alternativa viable para la optimización energética de conjuntos residenciales, promoviendo el uso eficiente de los recursos, la reducción de costos operativos y el fortalecimiento de la transición energética en el sector residencial colombiano.

1. Contexto e identificación del proyecto

El desarrollo de proyectos de energía renovable requiere un análisis integral de los factores técnicos, económicos, ambientales y sociales que intervienen en su implementación. En el caso de los sistemas fotovoltaicos aplicados al sector residencial, resulta fundamental comprender el contexto en el cual se desarrollará la propuesta, identificando las necesidades existentes, las oportunidades del entorno y las condiciones que pueden influir en su viabilidad.

En este capítulo se presenta el contexto general del proyecto, abordando la problemática asociada al consumo energético en conjuntos residenciales de vivienda de interés social (VIS), la justificación de la propuesta, los objetivos planteados y los principales referentes conceptuales y estratégicos que sustentan el desarrollo de la investigación. Asimismo, se incluyen herramientas de análisis estratégico que permiten evaluar las condiciones internas y externas del proyecto, facilitando la identificación de oportunidades, fortalezas, riesgos y aspectos críticos para la toma de decisiones.

La información presentada constituye la base para el desarrollo de los análisis posteriores, orientados a determinar la factibilidad técnica, ambiental y financiera de la implementación de sistemas fotovoltaicos destinados al alumbrado comunal en conjuntos residenciales VIS.

1.1. Planteamiento del problema.

1.1.1. Formulación del problema.

El sector de la vivienda de interés social (VIS) en Colombia enfrenta importantes desafíos en términos de sostenibilidad, eficiencia energética y reducción de costos para las comunidades. Aunque la Ley 1715 de 2014 y otras disposiciones han promovido el uso de energías renovables, la mayoría de los conjuntos residenciales VIS continúan dependiendo de la red eléctrica convencional para suplir sus necesidades. Esta situación genera altos costos operativos, en especial en lo relacionado con el alumbrado de zonas comunes, y limita la adopción de alternativas más sostenibles.

En este escenario, los sistemas fotovoltaicos representan una alternativa viable para diversificar las fuentes de energía, reducir la dependencia de la red eléctrica, disminuir las emisiones de gases contaminantes y, al mismo tiempo, optimizar el gasto energético de las comunidades. No obstante, la integración de estas tecnologías en proyectos VIS aún es limitada, en gran medida por la falta de estudios que analicen de manera integral su factibilidad técnica, económica y ambiental.

A partir de lo anterior, surge la siguiente pregunta de investigación:

¿Es factible, desde los aspectos técnico, económico y ambiental, implementar un sistema fotovoltaico para el alumbrado comunal en un conjunto residencial de interés social en Colombia?

1.1.2. Justificación.

El uso eficiente y sostenible de la energía se ha convertido en un eje fundamental para el desarrollo urbano y la calidad de vida de las comunidades. En Colombia, el sector residencial, y particularmente la vivienda de interés social (VIS), concentra una parte significativa del consumo energético, lo que genera altos costos operativos y una marcada dependencia de la red eléctrica

convencional. Esta situación limita la sostenibilidad de los proyectos residenciales y afecta directamente a las familias de bajos ingresos, quienes destinan una parte importante de sus recursos al pago de servicios públicos.

En este contexto, la implementación de sistemas solares fotovoltaicos representa una alternativa estratégica que permite diversificar las fuentes de energía, reducir los gastos asociados al consumo eléctrico y aportar a la sostenibilidad ambiental. Al integrar estas tecnologías en proyectos VIS, no solo se generan ahorros económicos a largo plazo, sino que también se promueve la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, en coherencia con las metas nacionales de transición energética y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

El presente estudio resulta pertinente porque analiza la factibilidad de implementar un sistema fotovoltaico específicamente orientado al alumbrado comunal, un servicio indispensable en los conjuntos residenciales que representa un gasto constante para las comunidades. La propuesta busca demostrar que es posible aplicar soluciones técnicas y económicamente viables que, además de optimizar el uso de recursos, fortalezcan la gestión comunitaria y mejoren la calidad de vida de los residentes.

De esta manera, la investigación aporta un referente práctico y académico que puede servir de base para futuras iniciativas en el sector de la vivienda de interés social, contribuyendo a la innovación en los modelos de urbanismo sostenible y a la consolidación de proyectos habitacionales más eficientes, inclusivos y respetuosos con el medio ambiente.

1.2. Objetivos.

1.2.1. Objetivo general.

Evaluar la factibilidad técnica, económica y ambiental para la implementación de un sistema fotovoltaico en una obra residencial.

1.2.2. Objetivos específicos.

Diseñar una propuesta técnica para la instalación de un sistema solar fotovoltaico adaptado a una obra residencial, considerando factores y requerimientos del sistema.

Evaluar la viabilidad económica del proyecto, mediante el análisis de costos de inversión, operación y mantenimiento, así como el cálculo del retorno de inversión y el ahorro estimado en la factura energía eléctrica.

Analizar el impacto ambiental de la implementación de sistemas fotovoltaicos en obra residencial, mediante la estimación de la reducción de emisiones de CO_2 y otros contaminantes asociados al consumo de energía eléctrica de la red.

1.3. Antecedentes.

A nivel internacional, la implementación de sistemas fotovoltaicos en entornos residenciales ha demostrado ser una solución efectiva para reducir el consumo energético de la red convencional y promover el uso de energías limpias. En países como Alemania, España y Estados Unidos, desde principios del siglo XXI se han desarrollado políticas públicas, marcos regulatorios y estímulos económicos que han impulsado la adopción masiva de tecnologías solares, tanto en

viviendas unifamiliares como en conjuntos residenciales. Estos avances han estado acompañados de programas de investigación y desarrollo, así como de la generación de una industria sólida en torno a la fabricación, instalación y mantenimiento de sistemas solares, lo que ha permitido consolidar a estos países como referentes mundiales en transición energética.

En América Latina, países como México, Brasil y Chile han liderado proyectos de energía solar en zonas urbanas y rurales, destacando su uso para iluminación pública, bombeo de agua y electrificación de comunidades aisladas. En particular, Chile ha logrado avances significativos en integrar la energía solar en desarrollos habitacionales de interés social, gracias a su política energética que fomenta la diversificación de la matriz eléctrica y a la abundancia de radiación solar en su territorio. Estos logros no solo han demostrado la viabilidad técnica y económica de tales soluciones, sino que también han servido de modelo para otros países de la región que buscan reducir brechas energéticas y garantizar el acceso a electricidad en condiciones de equidad y sostenibilidad.

En Colombia, la Ley 1715 de 2014 y su reglamentación han permitido el desarrollo de proyectos con fuentes no convencionales de energía renovable, especialmente en regiones con alta radiación solar como La Guajira, Cesar, Meta y los Llanos Orientales. Gracias a este marco normativo, se han incentivado las inversiones privadas y públicas en energías renovables, generando un ecosistema favorable para la diversificación energética del país. Además, esta legislación ha abierto la puerta para que instituciones educativas, edificios públicos y proyectos residenciales comiencen a incorporar sistemas fotovoltaicos, contribuyendo al cumplimiento de los compromisos ambientales internacionales adquiridos por Colombia en materia de mitigación del cambio climático.

En cuanto a vivienda de interés social (VIS), aún son limitados los casos documentados en los que se haya integrado de manera sistemática la energía solar como fuente de abastecimiento energético para zonas comunes. Sin embargo, experiencias piloto en ciudades como Medellín y Bogotá muestran que algunas constructoras han apostado por la instalación de sistemas de iluminación solar en espacios compartidos como pasillos, parques y áreas recreativas. Estos ensayos han arrojado resultados positivos no solo en la reducción de los costos operativos de los conjuntos, sino también en la generación de conciencia ambiental entre los residentes, quienes perciben una mejora en la calidad de vida y en la sostenibilidad de sus entornos habitacionales.

Estos antecedentes evidencian una tendencia creciente hacia el uso de energías renovables en entornos residenciales y resaltan la necesidad de continuar explorando su aplicación en conjuntos VIS. La pertinencia de este tipo de estudios radica en su capacidad de ofrecer soluciones prácticas a problemas cotidianos como los altos costos de mantenimiento de las zonas comunes y el impacto ambiental derivado del uso de energías no renovables. En este sentido, el presente proyecto busca aportar a dicha línea, evaluando la factibilidad de implementar un sistema fotovoltaico para el alumbrado comunal como una estrategia que no solo optimiza el uso de recursos y reduce gastos, sino que también fomenta la sostenibilidad ambiental, la inclusión social y la innovación en proyectos de vivienda social en Colombia.

1.4. Marco histórico.

La energía solar fotovoltaica tiene sus orígenes en el siglo XIX, cuando el físico francés Alexandre Edmond Becquerel descubrió el efecto fotovoltaico en 1839, fenómeno que consiste en la generación de corriente eléctrica a partir de la radiación solar. Sin embargo, durante muchos años este descubrimiento fue considerado únicamente como una curiosidad científica, debido a la baja eficiencia de los materiales disponibles en esa época. No fue sino hasta mediados del siglo XX que se desarrollaron las primeras celdas solares de silicio con un rendimiento suficiente para aplicaciones prácticas, encontrando un campo inicial de uso en la industria aeroespacial durante la década de 1950. Allí, los sistemas fotovoltaicos resultaron esenciales para suministrar energía a satélites y sondas espaciales, demostrando que era posible contar con una fuente energética confiable, silenciosa y libre de combustibles fósiles en condiciones extremas.

A partir de los años setenta, con la crisis del petróleo y la volatilidad en los precios de la energía, surgió un interés global por diversificar las fuentes energéticas y disminuir la dependencia de los hidrocarburos. Esto impulsó la investigación y el desarrollo de tecnologías solares en países industrializados, donde universidades, gobiernos y empresas privadas comenzaron a invertir en innovación. Desde entonces, la energía solar ha experimentado un crecimiento exponencial, especialmente en las últimas dos décadas, gracias a los avances tecnológicos que han permitido aumentar la eficiencia de los paneles, reducir los costos de producción y ampliar las aplicaciones comerciales y residenciales. Este crecimiento también responde a una preocupación creciente por el cambio climático, que ha llevado a gobiernos y organismos internacionales a promover la transición energética como una estrategia para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero.

En Colombia, el desarrollo de la energía solar comenzó a tomar fuerza a inicios de los años 2000, principalmente con proyectos piloto en zonas no interconectadas (ZNI), donde comunidades rurales dependían de costosos y contaminantes generadores diésel. Estas iniciativas demostraron que la energía solar podía ser una alternativa viable para reducir la pobreza energética y mejorar la calidad de vida en territorios apartados. Posteriormente, la Ley 1715 de 2014 marcó un hito al establecer el marco legal para el fomento de las energías renovables en el país, otorgando incentivos tributarios, beneficios en depreciación de activos y facilidades de conexión a la red. Desde entonces, se han implementado múltiples proyectos solares en diferentes sectores, incluyendo instituciones educativas, hospitales, edificaciones públicas y, de manera incipiente, en desarrollos residenciales. Este proceso ha sido clave para posicionar la energía solar como parte de la transición energética colombiana.

Por otro lado, la política de Vivienda de Interés Social (VIS) ha evolucionado desde los años noventa como una estrategia del Estado colombiano para garantizar el acceso a vivienda digna para familias de bajos ingresos. En sus primeras etapas, el énfasis estuvo en facilitar el acceso a la propiedad mediante subsidios, créditos y proyectos masivos de construcción. Sin embargo, con el paso del tiempo y los cambios en la agenda global, la VIS comenzó a integrar criterios relacionados con la sostenibilidad ambiental, la eficiencia energética y la calidad de vida de los residentes. En la última década, los programas han buscado no solo entregar viviendas, sino también promover entornos urbanos más resilientes, seguros y responsables con el medio ambiente, en línea con las políticas de desarrollo sostenible adoptadas por Colombia.

La incorporación de sistemas fotovoltaicos en conjuntos residenciales VIS representa, por lo tanto, una convergencia entre la política energética y la política de vivienda. Esta integración no solo fortalece el cumplimiento de los compromisos de Colombia frente a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en especial el ODS 7 (Energía asequible y no contaminante) y el ODS 11 (Ciudades y comunidades sostenibles), sino que también responde a las metas de transición energética y reducción de emisiones trazadas en los planes nacionales. Al mismo tiempo, ofrece soluciones prácticas a las comunidades, como la reducción de costos en el consumo eléctrico de zonas comunes, el fortalecimiento de la conciencia ambiental de los residentes y la modernización de la infraestructura urbana. De esta manera, se avanza hacia modelos de desarrollo habitacional más sostenibles, equitativos e inclusivos, donde la tecnología se convierte en una aliada para mejorar la calidad de vida y la competitividad social y económica de las comunidades.

1.5. Marco conceptual.

El presente estudio se fundamenta en una serie de conceptos técnicos, sociales y normativos que permiten contextualizar adecuadamente la propuesta de implementación de un sistema fotovoltaico para el alumbrado comunal en un conjunto residencial de Vivienda de Interés Social (VIS). A continuación, se desarrollan los conceptos más relevantes:

Energía Solar Fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es aquella que se obtiene mediante la conversión directa de la radiación solar en energía eléctrica, a través de dispositivos denominados celdas o módulos fotovoltaicos. Este proceso se basa en el efecto fotovoltaico, descubierto por Alexandre Edmond Becquerel en 1839, el cual permite que ciertos materiales semiconductores generen una corriente eléctrica al ser expuestos a la luz solar.

La energía solar fotovoltaica se considera una fuente renovable, limpia y sostenible, ya que no genera emisiones contaminantes durante su operación y aprovecha un recurso abundante y gratuito como lo es el sol. Su aplicación se ha expandido ampliamente en entornos urbanos, rurales, industriales y residenciales, permitiendo desde sistemas autónomos hasta conexiones a redes eléctricas convencionales. En el caso del alumbrado comunal, su uso representa una solución eficiente y de bajo impacto ambiental.

Sistema Fotovoltaico

Un sistema fotovoltaico es un conjunto de componentes interconectados que permiten capturar la radiación solar, convertirla en electricidad y suministrarla para su uso en diferentes aplicaciones. Los sistemas fotovoltaicos pueden clasificarse en sistemas conectados a red (on-grid) y sistemas autónomos (off-grid), dependiendo de si están o no conectados a la red eléctrica convencional.

Los componentes principales de un sistema fotovoltaico son:

Módulos solares (paneles fotovoltaicos): Son los encargados de captar la radiación solar y convertirla en electricidad en corriente continua.

Inversores: Transforman la corriente continua en corriente alterna, adecuada para su uso en la mayoría de los equipos eléctricos.

Controladores de carga: Regulan la energía que entra a las baterías (en sistemas autónomos), evitando sobrecargas o descargas profundas.

Baterías: Almacenan la energía para su uso en momentos en que no hay irradiación solar (por ejemplo, en la noche).

Estructura de soporte: Permite la instalación de los paneles en orientación e inclinación óptimas para maximizar la captación solar.

Alumbrado Comunal

El alumbrado comunal comprende el conjunto de instalaciones y luminarias destinadas a iluminar los espacios compartidos dentro de un conjunto residencial, como pasillos, zonas verdes, parques infantiles, parqueaderos, senderos peatonales y áreas de recreación. Su finalidad es garantizar la seguridad, accesibilidad y confort visual durante las horas de oscuridad.

Este sistema de iluminación representa un consumo energético constante y, por lo tanto, una parte significativa de los costos operativos del conjunto. La implementación de tecnologías sostenibles como los sistemas fotovoltaicos puede contribuir a reducir dichos costos, aumentar la autonomía energética del conjunto y disminuir su huella ambiental.

Vivienda de Interés Social (VIS)

La Vivienda de Interés Social (VIS) es una categoría definida en Colombia como aquella solución de vivienda dirigida a hogares con ingresos bajos, cuyo valor máximo es determinado por el Gobierno Nacional y que cumple con criterios específicos de diseño, calidad y acceso a servicios públicos básicos. Estas viviendas son subsidiadas parcial o totalmente por el Estado, y su objetivo principal es garantizar el derecho a una vivienda digna y adecuada.

En el contexto urbano, las VIS suelen desarrollarse en conjuntos residenciales, donde la eficiencia en los costos operativos, la sostenibilidad y el acceso equitativo a servicios como la energía eléctrica son aspectos clave para garantizar la viabilidad social y económica del proyecto.

Sostenibilidad Energética

La sostenibilidad energética se refiere a la capacidad de una sociedad para producir, distribuir y consumir energía de forma que se garantice la satisfacción de las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones de satisfacer las suyas. Esto implica un equilibrio entre tres pilares fundamentales: económico, ambiental y social.

Los sistemas fotovoltaicos contribuyen directamente a la sostenibilidad energética al aprovechar una fuente renovable, reducir la dependencia de combustibles fósiles, disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero y empoderar a las comunidades a través del acceso a tecnologías limpias.

Energía Renovable

Las energías renovables son aquellas que provienen de fuentes naturales capaces de regenerarse en un corto período de tiempo, como el sol, el viento, el agua y la biomasa. A diferencia de los recursos no renovables, las energías renovables son prácticamente inagotables y tienen un menor impacto ambiental.

La energía solar, en particular, es una de las más accesibles y versátiles, ya que puede aprovecharse en casi cualquier lugar del planeta. En contextos residenciales y urbanos, su implementación representa una estrategia clave para la transición hacia modelos energéticos más sostenibles y resilientes.

1.6. Entornos.

Las tablas presentadas en este apartado permiten analizar de manera estructurada el entorno en el cual se desarrollaría la solución energética propuesta, no solo desde una perspectiva técnica, sino también desde el enfoque propio de la gestión de proyectos de ingeniería. A través de herramientas de planificación, organización y estructuración, se identifican los actores involucrados, los procesos necesarios, la distribución de responsabilidades y las condiciones operativas que incidirían en una eventual implementación. Este análisis facilita la comprensión del contexto de ejecución, permitiendo visualizar cómo interactúan los distintos elementos organizacionales, técnicos y de gestión que podrían influir en la viabilidad de la iniciativa. De esta manera, el conjunto de tablas no se limita a describir componentes aislados, sino que configura una visión integral del entorno del proyecto, aportando insumos relevantes para la toma de decisiones y fortaleciendo el enfoque estratégico del estudio de factibilidad.

ENTORNO	AMBIENTAL	CRITERIO	% DE INCIDENCIA
1	Reducciones de emisiones de CO2	ALTO	25%
2	Uso de suelos	MEDIO	25%
3	Impacto visual	MEDIO	25%
4	Consumo de recursos naturales indirectos	MEDIO	25%
	TOTAL		100%

Tabla 1. Entorno ambiental.

ENTORNO	TECNOLOGICO	CRITERIO	% DE INCIDENCIA
1	Eficiencia energética	MEDIA	25%
2	Durabilidad y vida útil de los equipos	MEDIA	25%
3	Capacitación técnica	MEDIA	25%

4	Importación de equipos	MEDIA	25%
	TOTAL		100%

Tabla 2. Entorno tecnológico.

ENTORNO	ECONOMICO	CRITERIO	% DE INCIDENCIA
1	Costo de operación y mantenimiento	ALTA	25%
2	Fluctuación del dólar	ALTA	25%
3	Mano de obra calificada	MEDIO	25%
4	Altos directivos	MEDIO	25%
	TOTAL		100%

Tabla 3. Entorno económico.

ENTORNO	SOCIAL	CRITERIO	% DE INCIDENCIA
1	Aceptación comunitaria	MEDIO	25%
2	Generación de conciencia ambiental	MEDIO	25%
3	Creación de empleo local	MEDIO	25%
4	Equidad de servicios energéticos	MEDIO	25%
	TOTAL		100%

Tabla 4. Entorno social.

ENTORNO	DEMOGRAFICO	CRITERIO	% DE INCIDENCIA
1	Disponibilidad de mano de obra calificada	ALTO	40%
2	Crecimiento poblacional	MEDIO	20%
3	Dinamismo de las viviendas VIS	ALTO	40%
4			
	TOTAL		100%

Tabla 5. Entorno demográfico.

ENTORNO	POLITICO	CRITERIO	% DE INCIDENCIA
1	Marco legal y normativo	ALTO	40%
2	Políticas de transición energética	MEDIO	20%
3	Cambios en la estabilidad política y regulatoria	ALTO	40%
4			
	TOTAL		100%

Tabla 6. Entorno político

1.7. Matriz MEFI

El análisis de la Matriz de Evaluación de Factores Internos (MEFI) determina el nivel de fortaleza interna del proyecto frente a sus capacidades técnicas, organizativas y financieras.

El resultado obtenido evidencia que el proyecto presenta una posición interna sólida, con un puntaje promedio de 2.8, lo que indica que las fortalezas predominan sobre las debilidades y permiten un desempeño favorable en el desarrollo del estudio.

Entre las principales fortalezas se destacan la disponibilidad de conocimiento técnico especializado en energía solar fotovoltaica, el compromiso institucional y comunitario con la sostenibilidad, y la alineación del proyecto con las políticas nacionales de transición energética.

En contraste, las debilidades identificadas como la limitación de recursos financieros y logísticos se consideran manejables mediante una adecuada gestión de riesgos y optimización de los recursos disponibles.

En conclusión, el proyecto cuenta con una estructura interna adecuada para cumplir sus objetivos estratégicos, respaldada por un equipo competente y una planificación técnica clara.

El resultado de la matriz MEFI confirma que el proyecto posee un nivel de fortaleza interna alto, lo que favorece la viabilidad del estudio y su correcta ejecución dentro de los parámetros establecidos.

No	**Entorno**	**Código**	**Factor analizar**	**Peso**	**Calificación**	**Peso ponderado**
	Fortalezas					
1	Ambiental	FA01	Contribución a la reducción de CO_2, alineado con metas de sostenibilidad.	0,05	4	0,2

2		FA02	Aprovechamiento eficiente del uso de suelos en zonas comunes.	0,08	3	0,24
3	Tecnológica	FT03	Alta eficiencia energética de los sistemas solares.	0,06	3	0,18
4		FT04	Durabilidad de los equipos, vida útil prolongada de paneles e inversores.	0,06	4	0,24
5	Económica	FE05	Beneficios tributarios e incentivos gracias a la Ley 1715.	0,07	2	0,14
6		FE06	Disminución de costos de operación y mantenimiento en el largo plazo.	0,05	2	0,1
7	Social	FS07	Generación de conciencia ambiental en la comunidad.	0,04	4	0,16
8		FS08	Creación de empleo local en instalación y mantenimiento.	0,05	2	0,1
9	Demográfica	FD09	Disponibilidad de mano de obra calificada en la zona.	0,06	2	0,12
10		FD10	Dinamismo de la vivienda VIS, demanda estable para este tipo de proyectos.	0,04	2	0,08
11	Política	FP11	Existencia de un marco legal y normativo favorable.	0,03	3	0,09
12		FP12	Políticas de transición energética que respaldan la sostenibilidad.	0,03	3	0,09
Debilidades						
13	Ambiental	DA01	Impacto visual de los paneles en fachadas o cubiertas.	0,03	2	0,06
14		DA02	Consumo de recursos indirectos en fabricación de equipos con huella ambiental.	0,02	3	0,06
15	Tecnológica	DT03	Dependencia de la importación de equipos.	0,04	4	0,16
16		DT04	Necesidad de capacitación técnica constante.	0,02	1	0,02

17	Económica	DE05	Alta sensibilidad a la fluctuación del dólar en equipos importados.	0,05	2	0,1
18		DE06	Inversión inicial elevada que puede ser una barrera para la comunidad.	0,02	2	0,04
19	Social	DS07	Posibles resistencias comunitarias por desconocimiento o impacto estético.	0,04	4	0,16
20		DS08	Riesgo de inequidad si no todos los residentes perciben los beneficios de igual manera.	0,04	3	0,12
21	Demográfica	DD09	Crecimiento poblacional rápido puede generar sobredemanda futura.	0,03	1	0,03
22		DD10	Migración y cambios en la composición de residentes, dificultad en continuidad de pagos	0,02	2	0,04
23	Política	DP11	Riesgo de cambios en la estabilidad política que afecten incentivos.	0,04	2	0,08
24		DP12	Dependencia de políticas energéticas estatales, vulnerabilidad a cambios de gobierno.	0,03	1	0,03
TOTAL				1	61	1,03

Tabla 7. Matriz MEFI.

1.8. Matriz MEFE

La Matriz de Evaluación de Factores Externos (MEFE) analiza cómo el entorno influye en el desempeño y las oportunidades del proyecto, considerando tanto los factores favorables (oportunidades) como los amenazantes (riesgos externos).

El resultado obtenido refleja un puntaje promedio de 2.9, lo que indica que el proyecto responde de manera eficaz al entorno y tiene la capacidad de aprovechar las oportunidades del contexto nacional y local en materia de sostenibilidad energética.

Entre las principales oportunidades se destacan los incentivos estatales para proyectos de energía renovable (Ley 1715 de 2014), la disponibilidad de radiación solar en la región y la creciente aceptación social hacia las tecnologías limpias.

En cuanto a las amenazas externas, se identifican factores como las variaciones en los costos de equipos importados, los requisitos técnicos y normativos y la posible resistencia institucional o administrativa en la implementación futura.

El análisis MEFE demuestra que el proyecto se encuentra en una posición externa favorable, con una sólida capacidad para adaptarse al entorno y aprovechar las condiciones actuales del mercado energético y las políticas públicas.

El contexto regulatorio, ambiental y social contribuye positivamente a la viabilidad del estudio de factibilidad, fortaleciendo la justificación técnica y estratégica de su desarrollo.

No	Entorno	Código	Factor analizar	Peso	Calificación	Peso ponderado
	Oportunidades					
1	Ambiental	OA01	Alta radiación solar disponible en Colombia.	0,06	4	0,24
2		OA02	Aporte directo a la reducción de emisiones de CO_2 y cumplimiento de ODS.	0,03	3	0,09
3	Tecnológica	OT03	Avances en eficiencia de paneles y luminarias LED.	0,04	3	0,12
4		OT04	Posibilidad de integrar sistemas inteligentes de monitoreo y control.	0,02	4	0,08
5	Económica	OE05	Acceso a créditos verdes y fondos internacionales.	0,03	5	0,15
6		OE06	Beneficios tributarios por la Ley 1715.	0,05	4	0,2
7	Social	OS07	Mayor conciencia ambiental en las comunidades.	0,05	5	0,25
8		OS08	Iluminación eficiente mejora la seguridad en espacios comunes.	0,03	3	0,09
9	Demográfica	OD09	Crecimiento de conjuntos VIS, mercado para replicar proyectos.	0,04	3	0,12
10		OD10	Generación de empleo local en instalación y mantenimiento.	0,04	4	0,16
11	Política	OP11	Existencia de un marco legal que fomenta energías renovables (Ley 1715).	0,05	4	0,2

12		OP12	Planes nacionales de transición energética alineados con sostenibilidad.	0,03	2	0,06
Amenazas						
13	Ambiental	AA01	Variabilidad climática (nubosidad, lluvias) que disminuye la generación.	0,05	2	0,1
14		AA02	Exigencias en gestión de residuos eléctricos (paneles y baterías al final de su vida útil).	0,04	2	0,08
15	Tecnológica	AT03	Dependencia de equipos importados.	0,03	4	0,12
16		AT04	Obsolescencia tecnológica acelerada.	0,05	2	0,1
17	Económica	AE05	Fluctuación del dólar que encarece equipos.	0,06	2	0,12
18		AE06	Riesgo de sobrecostos por inflación o retrasos en ejecución.	0,03	3	0,09
19	Social	AS07	Posible rechazo comunitario por impacto visual.	0,06	3	0,18
20		AS08	Conflictos internos por distribución de costos y beneficios.	0,04	2	0,08
21	Demográfica	AD09	Migración que modifique la composición social del conjunto.	0,04	2	0,08
22		AD10	Crecimiento poblacional rápido, mayor demanda energética futura.	0,05	4	0,2
23	Política	AP11	Cambios en políticas públicas que eliminen incentivos.	0,03	2	0,06
24		AP12	Trámites burocráticos lentos que retrasen la implementación.	0,05	3	0,15
TOTAL				1	75	1,19

Tabla 8. Matriz MEFE

1.9. Matriz FODA

La Matriz FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas) identifica los factores internos y externos que inciden en el desarrollo del proyecto, y definir estrategias que potencien sus ventajas competitivas mientras se minimizan los riesgos.

El análisis evidencia que el proyecto posee una posición estratégica sólida, sustentada en fortalezas técnicas y sociales que se alinean con un entorno favorable para las energías renovables.

Entre las fortalezas más relevantes destacan el conocimiento técnico especializado en energía solar, la disponibilidad del recurso solar, y la coherencia con las políticas públicas de transición energética. Estas condiciones permiten una ventaja competitiva frente a proyectos similares, reforzando la viabilidad del estudio.

Por su parte, las debilidades se relacionan con limitaciones financieras y de recursos logísticos, así como la dependencia de datos externos para la simulación y el análisis técnico; sin embargo, pueden mitigarse mediante una adecuada gestión de planificación y control.

El entorno ofrece oportunidades significativas, como los incentivos estatales, la conciencia ambiental creciente y la tendencia hacia la eficiencia energética, factores que respaldan la pertinencia del proyecto. Las amenazas más notorias provienen de variaciones en los costos de importación de equipos, posibles cambios en políticas energéticas y trámites regulatorios complejos que podrían retrasar su ejecución futura.

En síntesis, la matriz FODA confirma que el proyecto presenta una alta factibilidad estratégica, dado que las fortalezas y oportunidades superan ampliamente las debilidades y amenazas. La combinación de un entorno político favorable, capacidad técnica interna y compromiso comunitario posiciona al proyecto como una iniciativa viable, sostenible y alineada con los objetivos de desarrollo energético y ambiental.

FODA	**FORTALEZAS**		**OPORTUNIDADES**	
Ambiental	FA01	Contribución a la reducción de CO_2, alineado con metas de sostenibilidad.	OA01	Alta radiación solar disponible en Colombia.
	FA02	Aprovechamiento eficiente del uso de suelos en zonas comunes.	OA02	Aporte directo a la reducción de emisiones de CO_2 y cumplimiento de ODS.
Tecnológica	FT03	Alta eficiencia energética de los sistemas solares.	OT03	Avances en eficiencia de paneles y luminarias LED.
	FT04	Durabilidad de los equipos, vida útil prolongada de paneles e inversores.	OT04	Posibilidad de integrar sistemas inteligentes de monitoreo y control.

Económica	FE05	Beneficios tributarios e incentivos gracias a la Ley 1715.	OE05	Acceso a créditos verdes y fondos internacionales.
	FE06	Disminución de costos de operación y mantenimiento en el largo plazo.	OE06	Beneficios tributarios por la Ley 1715.
Social	FS07	Generación de conciencia ambiental en la comunidad.	OS07	Mayor conciencia ambiental en las comunidades.
	FS08	Creación de empleo local en instalación y mantenimiento.	OS08	Iluminación eficiente mejora la seguridad en espacios comunes.
Demográfica	FD09	Disponibilidad de mano de obra calificada en la zona.	OD09	Crecimiento de conjuntos VIS, mercado para replicar proyectos.
	FD10	Dinamismo de la vivienda VIS, demanda estable para este tipo de proyectos.	OD10	Generación de empleo local en instalación y mantenimiento.
Política	FP11	Existencia de un marco legal y normativo favorable.	OP11	Existencia de un marco legal que fomenta energías renovables (Ley 1715).
	FP12	Políticas de transición energética que respaldan la sostenibilidad.	OP12	Planes nacionales de transición energética alineados con sostenibilidad.
	DEBILIDADES		**AMENAZAS**	
Ambiental	DA01	Impacto visual de los paneles en fachadas o cubiertas.	AA01	Variabilidad climática (nubosidad, lluvias) que disminuye la generación.
	DA02	Consumo de recursos indirectos en fabricación de equipos con huella ambiental.	AA02	Exigencias en gestión de residuos eléctricos (paneles y baterías al final de su vida útil).
Tecnológica	DT03	Dependencia de la importación de equipos.	AT03	Dependencia de equipos importados.
	DT04	Necesidad de capacitación técnica constante.	AT04	Obsolescencia tecnológica acelerada.
Económica	DE05	Alta sensibilidad a la fluctuación del dólar en equipos importados.	AE05	Fluctuación del dólar que encarece equipos.
	DE06	Inversión inicial elevada que puede ser una barrera para la comunidad.	AE06	Riesgo de sobrecostos por inflación o retrasos en ejecución.

Social	DS07	Posibles resistencias comunitarias por desconocimiento o impacto estético.	AS07	Posible rechazo comunitario por impacto visual.
	DS08	Riesgo de inequidad si no todos los residentes perciben los beneficios de igual manera.	AS08	Conflictos internos por distribución de costos y beneficios.
Demográfica	DD09	Crecimiento poblacional rápido puede generar sobredemanda futura.	AD09	Migración que modifique la composición social del conjunto.
	DD10	Migración y cambios en la composición de residentes, dificultad en continuidad de pagos	AD10	Crecimiento poblacional rápido, mayor demanda energética futura.
Política	DP11	Riesgo de cambios en la estabilidad política que afecten incentivos.	AP11	Cambios en políticas públicas que eliminen incentivos.
	DP12	Dependencia de políticas energéticas estatales, vulnerabilidad a cambios de gobierno.	AP12	Trámites burocráticos lentos que retrasen la implementación.

Tabla 9. Matriz FODA

1.10. Matriz MAFE

La Matriz de Análisis de Factores Estratégicos (MAFE) integra los resultados del análisis interno (MEFI) y externo (MEFE), combinando las Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas para formular estrategias que orienten la toma de decisiones del proyecto.

Su objetivo es definir líneas de acción que fortalezcan las capacidades internas y aprovechen el entorno favorable en el que se desarrolla el estudio de factibilidad del sistema fotovoltaico.

El análisis evidencia que el proyecto se encuentra en una posición estratégica estable, con predominio de fortalezas y oportunidades sobre debilidades y amenazas.

A partir de esta relación, se definieron las siguientes orientaciones estratégicas principales:

- Estrategias FO (Fortalezas–Oportunidades):

Aprovechar el conocimiento técnico y la experiencia del equipo para consolidar propuestas sostenibles alineadas con los programas gubernamentales de energías renovables.

Promover el uso de incentivos estatales y alianzas interinstitucionales que respalden la futura implementación del sistema fotovoltaico.

- Estrategias DO (Debilidades–Oportunidades):

Superar limitaciones financieras mediante la gestión de apoyos técnicos y económicos externos.

Fortalecer las competencias administrativas del proyecto aprovechando la capacitación y acompañamiento de entidades públicas o académicas.

- Estrategias FA (Fortalezas–Amenazas):

Mitigar los riesgos regulatorios y económicos utilizando la capacidad técnica del equipo para garantizar el cumplimiento normativo y la adaptación a posibles cambios del mercado energético.

- Estrategias DA (Debilidades–Amenazas):

Minimizar los efectos de los factores externos adversos (como la variación de costos o demoras institucionales) mediante una planificación flexible y la optimización de recursos disponibles.

La matriz MAFE demuestra que el proyecto cuenta con una posición estratégica favorable y adaptable, con alto potencial para transformarse en una propuesta de ejecución real.

La integración de factores internos y externos permite establecer una estrategia orientada a la sostenibilidad, eficiencia y consolidación técnica, garantizando que el estudio de factibilidad se convierta en una base sólida para futuras fases de implementación del sistema fotovoltaico.

MAFE		**Fortalezas (F)**		**Debilidades (D)**
Oportunidades (O)	COD	**FO**	COD	**DO**
	ESFO01	Usar la eficiencia de los equipos (FT03, FT04) y la alta radiación solar (OA01) para garantizar máxima generación lo que contribuye al impacto (económico y ambiental) por kw/h generado.	ESDO01	Mitigar la inversión inicial elevada (DE06) con beneficios tributarios y fondos verdes (OE05, OE06).
	ESFO02	Combinar beneficios tributarios (FE05) con el acceso a créditos verdes (OE05) para viabilizar la inversión inicial.	ESDO02	Disminuir la dependencia de importaciones (DT03) aprovechando los avances tecnológicos (OT03) que promueven equipos más económicos.
	ESFO03	Aprovechar la conciencia ambiental comunitaria (FS07) con el aumento de conciencia social (OS07) para fortalecer la aceptación del proyecto.	ESDO03	Reducir la necesidad de capacitación técnica (DT04) accediendo a programas de formación financiados (OE05, OE06).

UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

	ESFO04	Apoyarse en el marco normativo (FP11, FP12) y los planes nacionales de transición energética (OP12) para escalar el proyecto a otros conjuntos VIS.	ESDO04	Enfrentar las posibles resistencias comunitarias (DS07) fortaleciendo la conciencia ambiental creciente (OS07) y mostrando beneficios sociales (OS08).
Amenazas (A)	COD	**FA**	COD	**DA**
	ESFA01	Usar el marco legal favorable (FP11) como respaldo frente a cambios políticos o burocracia (AP11, AP12).	ESDA01	Mitigar la inversión inicial elevada (DE06) y la sensibilidad al dólar (DE05) con financiamiento escalonado para reducir impacto de la fluctuación cambiaria (AE05).
	ESFA02	Demostrar los ahorros económicos a largo plazo (FE06) para compensar la fluctuación del dólar (AE05).	ESDA02	Minimizar la dependencia tecnológica (DT03) con acuerdos de mantenimiento y actualización frente a la obsolescencia rápida (AT04).
	ESFA03	Apoyarse en la conciencia ambiental (FS07) y la reducción de CO_2 (FA01) para disminuir el rechazo comunitario (AS07).	ESDA03	Atender las resistencias comunitarias (DS07) mediante socialización y educación ambiental, reduciendo riesgos de rechazo social y conflictos internos (AS07, AS08).
	ESFA04	Utilizar la durabilidad de los equipos (FT04) para enfrentar la obsolescencia tecnológica (AT04) y la variabilidad climática (AA01).	ESDA04	Gestionar el crecimiento poblacional (DD09) y la migración (DD10) con un diseño escalable que responda a la sobredemanda futura (AD09, AD10).

Tabla 10. Matriz MAFE

1.11. Banco estratégico

El banco estratégico reúne las posibles líneas de acción identificadas a partir del análisis previo del entorno interno y externo, así como de la priorización estratégica realizada. Este conjunto de alternativas permite visualizar diferentes enfoques que podrían orientar el desarrollo de la solución energética propuesta, facilitando la estructuración de opciones que respondan a las condiciones técnicas, económicas y contextuales identificadas durante el estudio.

- Usar la eficiencia de los equipos (FT03, FT04) y la alta radiación solar (OA01) para garantizar máxima generación.

- Combinar beneficios tributarios (FE05) con el acceso a créditos verdes (OE05) para viabilizar la inversión inicial.

- Aprovechar la conciencia ambiental comunitaria (FS07) con el aumento de conciencia social (OS07) para fortalecer la aceptación del proyecto.

- Apoyarse en el marco normativo (FP11, FP12) y los planes nacionales de transición energética (OP12) para escalar el proyecto a otros conjuntos VIS.

- Mitigar la inversión inicial elevada (DE06) con beneficios tributarios y fondos verdes (OE05, OE06).

- Disminuir la dependencia de importaciones (DT03) aprovechando los avances tecnológicos (OT03) que promueven equipos más económicos.

- Reducir la necesidad de capacitación técnica (DT04) accediendo a programas de formación financiados (OE05, OE06).

- Enfrentar las posibles resistencias comunitarias (DS07) fortaleciendo la conciencia ambiental creciente (OS07) y mostrando beneficios sociales (OS08).

- Usar el marco legal favorable (FP11) como respaldo frente a cambios políticos o burocracia (AP11, AP12).

- Demostrar los ahorros económicos a largo plazo (FE06) para compensar la fluctuación del dólar (AE05).

- Apoyarse en la conciencia ambiental (FS07) y la reducción de CO_2 (FA01) para disminuir el rechazo comunitario (AS07).

- Utilizar la durabilidad de los equipos (FT04) para enfrentar la obsolescencia tecnológica (AT04) y la variabilidad climática (AA01).

- Mitigar la inversión inicial elevada (DE06) y la sensibilidad al dólar (DE05) con financiamiento escalonado para reducir impacto de la fluctuación cambiaria (AE05).

- Minimizar la dependencia tecnológica (DT03) con acuerdos de mantenimiento y actualización frente a la obsolescencia rápida (AT04).

- Atender las resistencias comunitarias (DS07) mediante socialización y educación ambiental, reduciendo riesgos de rechazo social y conflictos internos (AS07, AS08).

- Gestionar el crecimiento poblacional (DD09) y la migración (DD10) con un diseño escalable que responda a la sobredemanda futura (AD09, AD10).

1.12. Banco de proyectos

El banco de proyectos reúne las posibles iniciativas que podrían derivarse del direccionamiento estratégico identificado previamente. Estas propuestas representan alternativas de acción que permitirían materializar las líneas estratégicas planteadas, facilitando la transición desde el análisis hacia posibles escenarios de implementación futura.

Este conjunto de proyectos no implica su ejecución inmediata, sino que constituye un portafolio de opciones que podrían ser consideradas por la comunidad en función de sus capacidades técnicas, organizacionales y financieras.

- Proyecto 1: Maximización de generación solar en zonas VIS".

Objetivo: Aumentar la generación aprovechando equipos de alta eficiencia y radiación solar.

- Proyecto 2: Financiamiento sostenible para sistemas solares comunitarios.

Objetivo: Disminuir la barrera de inversión inicial con incentivos y créditos blandos.

- Proyecto 3: Programa de participación comunitaria en energías renovables.

Objetivo: Fortalecer la aceptación del proyecto mediante educación ambiental.

- Proyecto 4: Escalamiento de proyectos fotovoltaicos a otros conjuntos VIS.

Objetivo: Replicar el modelo de energía limpia en diferentes comunidades.

- Proyecto 5: Acceso a financiamiento verde y alivios tributarios.

Objetivo: Reducir el impacto económico de la inversión inicial.

- Proyecto 6: Fomento al uso de paneles solares nacionales y equipos alternativos.

Objetivo: Sustituir importaciones por equipos locales más económicos.

- Proyecto 7: Plan de formación técnica comunitaria en energía solar.

Objetivo: Garantizar operación y mantenimiento local del sistema fotovoltaico.

- Proyecto 8: Estrategia de socialización y comunicación comunitaria.

Objetivo: Reducir conflictos sociales y asegurar aceptación del proyecto.

- Proyecto 9: Blindaje normativo para proyectos solares comunitarios.

Objetivo: Garantizar continuidad del proyecto ante cambios políticos.

- Proyecto 10: Modelo de ahorro económico y estabilidad financiera solar.

Objetivo: Mostrar viabilidad a largo plazo reduciendo dependencia del tipo de cambio.

- Proyecto 11: Campaña de sensibilización y reducción de huella de carbono.

Objetivo: Incrementar apoyo comunitario mostrando impacto ambiental positivo.

- Proyecto 12: Gestión de resiliencia tecnológica y climática.

Objetivo: Asegurar la vida útil de los equipos pese a cambios tecnológicos o climáticos.

- Proyecto 13: Plan financiero escalonado para comunidades VIS.

Objetivo: Distribuir el costo de inversión y reducir riesgo de devaluación.

- Proyecto 14: Programa de mantenimiento y actualización tecnológica.

Objetivo: Prevenir obsolescencia y dependencia de importaciones.

- Proyecto 15: Escuela comunitaria de energía limpia y equidad energética.

Objetivo: Promover inclusión.

- Proyecto 16: Plan de expansión modular de sistemas solares.

Objetivo: Ajustar capacidad energética ante futuros aumentos poblacionales.

1.13. Portafolio de proyectos

Proyecto	Objetivo	Resultado esperado
Maximización de generación solar en zonas de residenciales VIS	Aprovechar equipos de alta eficiencia y radiación solar para aumentar la generación eléctrica.	Reducción de costos energéticos y mayor autosuficiencia.
Financiamiento sostenible para sistemas solares comunitarios	Superar la barrera de inversión inicial mediante créditos verdes e incentivos tributarios.	Inversión inicial cubierta y acceso a financiamiento comunitario.
Programa de participación comunitaria en energías renovables	Fortalecer la aceptación social del proyecto con educación ambiental.	Comunidad comprometida y con conciencia ambiental.
Escalamiento de proyectos fotovoltaicos a otros conjuntos VIS	Replicar el modelo solar en nuevas comunidades apoyado en normativa vigente.	Nuevos conjuntos VIS implementando sistemas solares.
Acceso a financiamiento verde y alivios tributarios	Reducir impacto económico de la inversión inicial.	Financiamiento asegurado para instalación de sistemas.
Fomento al uso de paneles solares nacionales y equipos alternativos	Disminuir dependencia de importaciones y promover tecnología local.	Reducción de costos y uso de equipos nacionales.
Plan de formación técnica comunitaria en energía solar	Garantizar operación y mantenimiento mediante capacitación.	Comunidad capacitada y autónoma en gestión de equipos.
Estrategia de socialización y comunicación comunitaria	Enfrentar resistencias sociales mediante educación y participación.	Mayor aceptación y reducción de conflictos internos.

UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Blindaje normativo para proyectos solares comunitarios	Proteger continuidad de proyectos ante cambios políticos.	Proyecto respaldado legalmente y sin riesgo de suspensión.
Modelo de ahorro económico y estabilidad financiera solar	Mostrar viabilidad financiera a largo plazo frente a fluctuación del dólar.	Comunidad confiada en ahorros sostenidos.
Campaña de sensibilización y reducción de huella de carbono	Usar conciencia ambiental y reducción de CO_2 para evitar rechazo.	Apoyo comunitario reforzado por beneficios ambientales.
Gestión de resiliencia tecnológica y climática	Asegurar durabilidad de equipos frente a obsolescencia y clima.	Equipos con mayor vida útil y confiabilidad.
Plan financiero escalonado para comunidades VIS	Mitigar riesgo cambiario y altos costos con financiamiento progresivo.	Pago distribuido y menor riesgo por devaluación.
Programa de mantenimiento y actualización tecnológica	Evitar obsolescencia con acuerdos de mantenimiento y actualización.	Equipos actualizados y operativos en el tiempo.
Escuela comunitaria de energía limpia y equidad energética	Reducir resistencias sociales con formación en energías limpias.	Mayor cohesión social y acceso equitativo a beneficios.
Plan de expansión modular de sistemas solares	Ajustar capacidad energética a futuro crecimiento poblacional.	Sistema escalable que cubra nuevas demandas.

Tabla 11. Portafolio de proyectos.

1.14. Matriz MPC

La Matriz de Perfil Competitivo (MPC) tiene como objetivo evaluar y comparar las alternativas energéticas disponibles en este caso, el sistema solar fotovoltaico, la energía convencional y una alternativa de competencia considerando los principales factores que inciden en su implementación y sostenibilidad dentro del contexto del proyecto.

Los factores seleccionados son: costo de operación, innovación tecnológica, impacto ambiental, aceptación social, respaldo legal/normativo y viabilidad financiera, cada uno ponderado según su importancia en la decisión final.

El Sistema Solar Fotovoltaico obtiene un puntaje total ponderado de 3,40, superior al de la energía convencional (1,95) y ligeramente superior al de la alternativa de competencia (3,15), lo que demuestra su ventaja competitiva global frente a las demás opciones analizadas.

UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Desde el punto de vista del costo de operación (0,20), el sistema solar alcanza la máxima calificación (4), ya que reduce significativamente el gasto mensual por consumo eléctrico, mientras que la energía convencional obtiene una baja valoración (2) debido a su dependencia de tarifas variables y costos crecientes.

En cuanto a la innovación tecnológica (0,15), el sistema fotovoltaico también destaca con una calificación de 4, al incorporar tecnologías modernas y sostenibles, como paneles solares, luminarias LED y sistemas de monitoreo inteligente.

El impacto ambiental (0,20) constituye otro de los factores decisivos, en el cual la energía solar obtiene el valor más alto (4) por su contribución a la reducción de emisiones de CO_2 y su alineación con la transición energética y los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Respecto a la aceptación social (0,15), aunque la calificación del sistema fotovoltaico (3) es ligeramente inferior a su promedio general, se considera favorable debido al interés creciente de las comunidades por soluciones sostenibles, siempre que se realice una adecuada socialización y capacitación.

El respaldo legal y normativo (0,15) también favorece al sistema solar (3), ya que su implementación cuenta con el apoyo de la Ley 1715 de 2014 y las políticas de transición energética del país.

Finalmente, la viabilidad financiera (0,15) presenta una calificación moderada (2), ya que, si bien el proyecto es rentable a largo plazo, requiere una inversión inicial considerable y depende de estrategias de financiación adecuadas para su implementación.

Factores	**Peso**	**Sistema Solar Fotovoltaico**	**Energía Convencional**	**Competencia**
Costo de operación	0,20	4	2	3
Innovación tecnológica	0,15	4	2	4
Impacto ambiental	0,20	4	3	3
Aceptación social	0,15	3	2	3
Respaldo legal / Normativo	0,15	3	2	3
Viabilidad financiera	0,15	2	1	3
Total	1	3,40	1,95	3,15

Tabla 12. Matriz MPC.

1.15. Matriz MML

La Matriz de Marco Lógico permite estructurar de manera coherente los elementos fundamentales del estudio, estableciendo una relación lógica entre el impacto esperado, el

resultado directo que se busca alcanzar, los componentes necesarios para lograrlo y las actividades que permiten su desarrollo.

En este caso, el nivel de fin se orienta al fortalecimiento de la sostenibilidad económica y ambiental del conjunto residencial, a partir de la optimización del consumo energético en las zonas comunes. Este impacto se proyecta como un beneficio de largo plazo que podría derivarse de la adopción de soluciones energéticas más eficientes.

El propósito se centra en determinar la viabilidad técnica y económica de implementar un sistema fotovoltaico, constituyéndose como el resultado principal del análisis desarrollado. A partir de este nivel, se articulan los componentes que permiten sustentar dicha evaluación, incluyendo el diagnóstico del consumo energético actual, la valoración del recurso solar disponible, el análisis técnico del sistema propuesto y la evaluación económica correspondiente.

Finalmente, las actividades identificadas representan las acciones necesarias para la obtención de la información y el desarrollo de los análisis que sustentan el estudio. La relación entre estos niveles refleja una lógica de intervención que facilita la comprensión del proceso mediante el cual el análisis de factibilidad contribuye al logro del impacto esperado.

JERARQUIA	DESCRIPCION	INDICADORES	MEDIO DE VERIFICACION
FIN	Fortalecer la sostenibilidad económica y ambiental del conjunto residencial mediante la optimización del consumo energético en zonas comunes.	Reducción proyectada del gasto energético comunal.	Análisis financiero del estudio.
Propósito	Determinar la viabilidad técnica y económica de implementar un sistema fotovoltaico para el alumbrado comunal.	Estudio de factibilidad desarrollado.	Documento técnico del proyecto.
Componente 1	Diagnóstico del consumo energético actual.	Caracterización del consumo.	Registros energéticos.
Componente 2	Evaluación del recurso solar disponible.	Estimación del potencial energético.	Datos técnicos.
Componente 3	Análisis técnico del sistema fotovoltaico.	Dimensionamiento preliminar.	Modelo técnico.

Componente 4	Análisis económico.	Evaluación costo-beneficio.	Modelo financiero.
Actividades	• Recolección de datos de consumo • Evaluación del recurso solar • Dimensionamiento del sistema • Análisis financiero • Integración del estudio	Actividades desarrolladas.	Informe final.

Tabla 13. Matriz MML.

1.16. Conclusión estratégica de la alternativa seleccionada.

El análisis desarrollado a lo largo del estudio permitió evaluar las condiciones internas y externas que influyen en la viabilidad de una solución energética orientada a optimizar el consumo eléctrico en las zonas comunes del conjunto residencial.

A partir de la revisión del entorno, la identificación de fortalezas y debilidades, el análisis de oportunidades y amenazas, y la priorización estratégica realizada, se evidenció que la incorporación de un sistema de generación solar fotovoltaica representa la alternativa que mejor responde a las necesidades identificadas en términos de eficiencia energética, sostenibilidad y optimización de costos.

La comparación de alternativas mediante la matriz MPC permitió establecer que el aprovechamiento de energía solar ofrece ventajas significativas frente al modelo tradicional de abastecimiento basado exclusivamente en la red convencional, especialmente en lo relacionado con la reducción de costos operativos a mediano y largo plazo, así como con la disminución del impacto ambiental asociado al consumo energético.

De igual manera, el análisis estructurado de posibles estrategias y proyectos evidenció que la implementación de soluciones basadas en energías renovables puede desarrollarse de manera gradual, permitiendo su adaptación a las capacidades económicas y organizacionales de la comunidad.

En este sentido, la alternativa basada en la generación fotovoltaica no solo se presenta como técnicamente viable, sino también como estratégicamente pertinente dentro del contexto analizado, constituyéndose en una opción que podría contribuir al fortalecimiento de la sostenibilidad financiera y ambiental del conjunto residencial.

2. Análisis del mercado

El análisis de mercado permite identificar las condiciones bajo las cuales se desarrollará la solución propuesta, así como las necesidades existentes en el entorno que justifican su implementación. Este análisis contempla aspectos relacionados con la oferta tecnológica disponible, la demanda potencial y las características del contexto en el que se enmarca el proyecto.

En el presente estudio, el análisis se orienta a la evaluación de soluciones basadas en sistemas de generación de energía solar fotovoltaica aplicadas a zonas comunes de conjuntos residenciales. Este tipo de tecnología se ha consolidado como una alternativa eficiente para optimizar el consumo energético, reducir los costos asociados al suministro de electricidad y fomentar el uso de fuentes de energía renovable.

En el contexto urbano de Bogotá, el incremento progresivo en las tarifas de energía eléctrica, junto con la necesidad de implementar estrategias de eficiencia energética, ha impulsado el interés por soluciones que permitan mejorar la gestión del consumo en edificaciones residenciales. En este sentido, los sistemas fotovoltaicos representan una alternativa viable para el aprovechamiento de recursos energéticos renovables disponibles, contribuyendo tanto a la sostenibilidad como a la reducción de costos operativos.

2.1. Concepto del producto

El producto analizado en el presente proyecto corresponde a un sistema de generación de energía solar fotovoltaica destinado al suministro de energía eléctrica para los sistemas de iluminación de las zonas comunes de un conjunto residencial.

Este sistema está conformado por un conjunto de componentes tecnológicos, tales como módulos fotovoltaicos, inversores y elementos de conexión, que permiten transformar la radiación solar en energía eléctrica utilizable. La energía generada es empleada para alimentar directamente los circuitos de iluminación de las áreas comunes del conjunto.

La implementación de esta tecnología busca sustituir totalmente el consumo de energía proveniente de la red eléctrica convencional en los sistemas de iluminación compartidos, mediante el aprovechamiento de una fuente de energía renovable disponible en el entorno. De esta manera, se plantea una alternativa orientada a mejorar la eficiencia energética del conjunto residencial y a reducir los costos asociados al consumo eléctrico.

Desde la perspectiva de la gestión energética, el sistema fotovoltaico se configura como una solución tecnológica que optimiza el uso de los recursos disponibles, al tiempo que promueve prácticas sostenibles en el sector residencial.

2.1.1. Uso específico del producto

El sistema de generación de energía solar fotovoltaica tiene como uso específico el suministro de energía eléctrica para los sistemas de iluminación ubicados en las zonas comunes del conjunto residencial objeto de estudio.

En particular, la energía generada se destina al funcionamiento de los circuitos de iluminación que garantizan la adecuada operación de espacios compartidos, tales como pasillos, zonas de circulación, accesos y demás áreas comunes que requieren iluminación continua o programada.

El uso de energía solar para este propósito permite reducir la dependencia de la red eléctrica convencional, contribuyendo a la optimización del consumo energético y a una gestión más eficiente de los recursos eléctricos del conjunto residencial.

2.1.2. Características del producto

El sistema fotovoltaico propuesto presenta características técnicas que lo convierten en una alternativa viable para su implementación en conjuntos residenciales.

Entre las principales se destacan:

- Generación de energía a partir de una fuente renovable, mediante la conversión de radiación solar en energía eléctrica a través de módulos fotovoltaicos.
- Suministro de energía para los sistemas de iluminación de zonas comunes, cubriendo los requerimientos energéticos asociados a estos circuitos.
- Reducción del consumo de energía proveniente de la red eléctrica convencional, mediante la sustitución parcial del suministro eléctrico.
- Bajo impacto ambiental, debido a la ausencia de emisiones contaminantes durante la operación del sistema.
- Adaptabilidad a infraestructuras existentes, permitiendo la instalación en cubiertas u otros espacios disponibles dentro del conjunto residencial.

Estas características permiten considerar el sistema fotovoltaico como una solución tecnológica orientada a mejorar la eficiencia energética y promover el uso de fuentes de energía renovable en el sector residencial.

2.2 Ciclo de vida del producto

El ciclo de vida del producto hace referencia a las etapas por las cuales atraviesa una tecnología dentro del mercado, desde su introducción hasta su consolidación. En el caso de los sistemas fotovoltaicos aplicados al sector residencial, especialmente en vivienda de interés social (VIS), se evidencia que esta tecnología se encuentra en una etapa de crecimiento, caracterizada por un aumento progresivo en su adopción, impulsado por la reducción de costos y el fortalecimiento de políticas orientadas al uso de energías renovables.

En Colombia, aunque la implementación de sistemas fotovoltaicos ha presentado un crecimiento significativo en los últimos años, su aplicación en conjuntos residenciales VIS aún es limitada, lo que evidencia un alto potencial de expansión en este segmento del mercado. Esta situación permite identificar una oportunidad para el desarrollo e implementación de soluciones energéticas sostenibles adaptadas a este tipo de vivienda.

2.2.1 Análisis de necesidades del mercado

La primera etapa del ciclo de vida del producto corresponde a la identificación de las necesidades del mercado que justifican su desarrollo e implementación. En este contexto, se analiza el consumo energético asociado a los sistemas de iluminación de las zonas comunes en conjuntos residenciales, así como los costos derivados del uso de energía proveniente de la red eléctrica convencional.

A partir de este análisis, se identifican oportunidades para optimizar el consumo energético mediante la incorporación de soluciones basadas en fuentes de energía renovable. En este sentido, la energía solar fotovoltaica se presenta como una alternativa viable para sustituir parcial o totalmente el suministro de energía eléctrica utilizado en los sistemas de iluminación de áreas comunes.

2.2.2 Planteamiento del producto

Una vez identificadas las necesidades del mercado, se procede al planteamiento del producto, en el cual se define la solución tecnológica propuesta para atender la problemática identificada.

En esta etapa se establece la implementación de un sistema de generación de energía solar fotovoltaica destinado a suministrar energía eléctrica para los sistemas de iluminación de las zonas comunes del conjunto residencial. Asimismo, se definen los beneficios esperados en términos de eficiencia energética, reducción de costos operativos y disminución de la dependencia de la red eléctrica convencional.

2.2.3 Diseño preliminar del producto

El diseño preliminar corresponde a la fase en la cual se realiza una aproximación inicial a las características técnicas del sistema fotovoltaico propuesto, en función de las condiciones del mercado y del contexto de aplicación.

En esta etapa se consideran aspectos como la estimación del consumo energético de las zonas comunes, la evaluación del recurso solar disponible y la determinación de la capacidad requerida del sistema. Este análisis permite establecer una base técnica inicial que orienta el desarrollo del producto dentro del mercado objetivo.

2.2.4 Evaluación de impacto en el mercado

En la evaluación de impacto tiene como objetivo analizar los efectos que podría generar la implementación del sistema fotovoltaico en el contexto del mercado residencial.

En esta etapa se consideran aspectos relacionados con el impacto económico, energético y ambiental de la solución propuesta, tales como la reducción del consumo de energía de la red, la disminución de costos operativos para las comunidades y la contribución al uso de fuentes de energía renovable. Este análisis permite evidenciar el valor agregado del producto frente a soluciones tradicionales.

2.2.5 Consolidación del producto

Esta etapa corresponde a la definición más estructurada del producto dentro del mercado, en la cual se establecen sus características técnicas principales, su funcionalidad y su aplicación específica en conjuntos residenciales.

En esta fase se consolidan los elementos que componen el sistema fotovoltaico, su configuración general y su capacidad de respuesta frente a las necesidades identificadas, permitiendo definir una solución técnicamente viable y adaptable al contexto del mercado objetivo.

2.2.6 Costo de inversión y operación

La etapa final del ciclo de vida del producto corresponde al análisis de los costos asociados a su implementación y funcionamiento dentro del mercado.

En esta fase se estiman los costos relacionados con la adquisición de equipos, instalación y puesta en marcha del sistema, así como los costos de operación y mantenimiento a lo largo de su vida útil. Este análisis permite evaluar la viabilidad económica del producto y determinar los beneficios financieros derivados de su implementación frente al uso de energía convencional.

2.3 Análisis de la demanda

El análisis de la demanda permite identificar el nivel de necesidad e interés existente en el mercado frente a la solución tecnológica propuesta. En este caso, el estudio se orienta a evaluar el potencial de adopción de sistemas de generación de energía solar fotovoltaica destinados al suministro de energía para los sistemas de iluminación de zonas comunes en conjuntos residenciales.

El crecimiento del sector de energías renovables, junto con el incremento progresivo en las tarifas del servicio de energía eléctrica, ha generado un mayor interés en la implementación de soluciones que permitan optimizar el consumo energético. En el ámbito residencial, los conjuntos habitacionales representan un segmento con alto potencial para la adopción de tecnologías que contribuyan a mejorar la eficiencia energética y reducir los costos asociados al consumo de electricidad.

En Colombia, el consumo energético en zonas comunes representa una fracción significativa del gasto total de las copropiedades, pudiendo alcanzar hasta el 40% del presupuesto de administración, debido al funcionamiento continuo de sistemas como iluminación, bombeo y seguridad. Esto evidencia una necesidad clara de optimización energética en este tipo de infraestructuras.

Siendo así los sistemas fotovoltaicos aplicados a la iluminación de áreas comunes se posicionan como una alternativa viable para sustituir totalmente el consumo de energía proveniente de la red convencional, mediante el aprovechamiento de una fuente de energía renovable disponible en el entorno.

2.3.1 Estimación actual de clientes

La estimación de clientes potenciales se centra en conjuntos residenciales que cuentan con áreas comunes que requieren sistemas permanentes de iluminación, tales como pasillos, zonas de acceso, áreas de circulación y espacios compartidos.

En ciudades como Bogotá, caracterizadas por una alta densidad de edificaciones residenciales, existe un número significativo de conjuntos habitacionales con consumo energético constante en zonas comunes. Estudios energéticos en Colombia indican que el consumo promedio de energía en áreas comunes puede alcanzar valores cercanos a 59 kWh/mes por vivienda, con casos que superan los 79 kWh/mes en estratos medios, dependiendo de la infraestructura y los servicios del conjunto.

Adicionalmente, un conjunto residencial típico de aproximadamente 100 viviendas puede registrar gastos mensuales en energía eléctrica para zonas comunes entre 5 y 15 millones de pesos, lo que representa una carga económica relevante para la administración.

Estos valores permiten evidenciar que existe un mercado potencial amplio, conformado por conjuntos residenciales que buscan reducir sus costos operativos mediante soluciones de eficiencia energética, convirtiéndose en clientes potenciales para la implementación de sistemas fotovoltaicos.

2.3.2 Comportamiento geográfico de la demanda

Desde el punto de vista geográfico, la demanda potencial de sistemas fotovoltaicos en el sector residencial se concentra principalmente en zonas urbanas con alta densidad de edificaciones habitacionales.

En el caso de Bogotá, la expansión urbana y el crecimiento del número de conjuntos residenciales han generado un entorno propicio para la implementación de soluciones energéticas alternativas. La concentración de proyectos de vivienda en diferentes localidades incrementa la posibilidad de adopción de tecnologías orientadas a la eficiencia energética.

Adicionalmente, las condiciones de radiación solar en Colombia permiten el aprovechamiento de la energía solar como una fuente viable, lo que favorece la implementación de sistemas fotovoltaicos en entornos urbanos.

2.3.3 Clasificación de la demanda del producto en el mercado

La demanda asociada a sistemas de generación de energía solar fotovoltaica puede clasificarse como una demanda derivada, ya que surge a partir de la necesidad de satisfacer requerimientos energéticos específicos dentro del sector residencial.

En este caso, la demanda del producto se origina en la necesidad de garantizar el funcionamiento continuo de los sistemas de iluminación en zonas comunes, lo cual genera un consumo energético constante y costos recurrentes.

Asimismo, esta demanda puede considerarse en crecimiento, debido a factores como:

- El incremento en los costos de la energía eléctrica

- La reducción de costos de tecnologías fotovoltaicas
- La necesidad de implementar soluciones sostenibles

Adicionalmente, estudios en conjuntos residenciales han demostrado que es posible lograr reducciones entre el 20% y el 30% del consumo energético total, e incluso hasta 85% en sistemas de iluminación, mediante la implementación de soluciones eficientes.

2.3.4 Tamaño y características del mercado objetivo

El mercado residencial en Bogotá, el segmento de vivienda de interés social (VIS) presenta una participación significativa dentro del sector inmobiliario, lo cual refuerza el potencial de implementación de soluciones energéticas basadas en sistemas fotovoltaicos.

De acuerdo con datos del sector construcción, para inicios de 2026 se registran aproximadamente 677 proyectos de vivienda nueva en Bogotá, de los cuales cerca de 282 corresponden a proyectos VIS, lo que representa alrededor del 41% de la oferta total. Esto evidencia la alta relevancia de este segmento dentro del desarrollo urbano de la ciudad.

Asimismo, el comportamiento del mercado inmobiliario refleja un predominio del segmento VIS, el cual representó aproximadamente el 74% de las viviendas vendidas en 2025, alcanzando cerca de 40.000 unidades comercializadas. Este nivel de participación confirma que la vivienda de interés social constituye el principal motor del sector residencial en la ciudad.

En términos de tipología constructiva, el modelo de conjunto residencial cerrado, que incluye zonas comunes, sistemas de iluminación compartidos y administración, se ha consolidado como el estándar predominante para este tipo de vivienda. Esta característica resulta relevante para el proyecto, dado que estos espacios generan un consumo energético constante susceptible de ser optimizado mediante soluciones fotovoltaicas.

Desde el punto de vista geográfico, la mayor concentración de proyectos VIS se encuentra en localidades como Fontibón, Suba, Puente Aranda y Santa Fe, donde se registran miles de unidades habitacionales en desarrollo. Esta distribución territorial permite identificar zonas con alto potencial para la implementación de sistemas de generación de energía solar aplicados a zonas comunes.

Adicionalmente, la clasificación de vivienda VIS en Bogotá establece un tope máximo de hasta 150 salarios mínimos mensuales legales vigentes (SMMLV), mientras que la vivienda de interés prioritario (VIP) alcanza un límite de 90 SMMLV, lo que define el perfil socioeconómico del mercado objetivo y su sensibilidad frente a los costos de servicios públicos.

En conjunto, estos elementos permiten concluir que existe un mercado amplio, dinámico y con características favorables para la implementación de soluciones orientadas a la eficiencia energética, particularmente en el segmento de vivienda de interés social.

2.4 Mercado objetivo

El mercado objetivo del presente proyecto está conformado por conjuntos residenciales de Vivienda de Interés Social (VIS) que cuentan con zonas comunes que requieren sistemas

permanentes de iluminación, con el fin de garantizar condiciones adecuadas de seguridad y funcionamiento dentro de la infraestructura habitacional.

En el contexto urbano de Bogotá, el desarrollo de proyectos de vivienda VIS ha presentado un crecimiento significativo en los últimos años, consolidándose como el segmento predominante dentro del mercado inmobiliario. Para el año 2026, se estima que existen aproximadamente 677 proyectos de vivienda nueva activos en la ciudad, de los cuales cerca de 282 corresponden al segmento VIS, lo que representa alrededor del 41% de la oferta total.

Adicionalmente, el comportamiento del mercado evidencia que la vivienda de interés social domina el sector, alcanzando cerca del 74% de las unidades vendidas en 2025, con aproximadamente 40.000 viviendas comercializadas. Estos datos reflejan la alta participación y dinamismo de este segmento, lo que lo posiciona como el principal mercado objetivo para la implementación de soluciones energéticas alternativas.

Desde el punto de vista funcional, los conjuntos residenciales VIS se caracterizan por la incorporación de áreas comunes tales como pasillos, accesos, zonas de circulación y espacios compartidos, los cuales requieren sistemas de iluminación continua o programada. Este tipo de infraestructura genera un consumo energético constante, que se traduce en costos operativos relevantes para las administraciones y los copropietarios.

En este sentido, el consumo de energía asociado a la iluminación de zonas comunes puede representar una proporción significativa dentro del presupuesto de administración, lo que genera la necesidad de implementar soluciones orientadas a la optimización del uso de la energía y la reducción de costos.

Desde el punto de vista geográfico, la mayor concentración de proyectos VIS en Bogotá se presenta en localidades como Fontibón, Suba, Puente Aranda y Santa Fe, lo que permite identificar zonas con alto potencial para la implementación de sistemas fotovoltaicos aplicados a zonas comunes.

De esta manera, el mercado objetivo se encuentra conformado por administradores de propiedad horizontal, juntas de copropietarios y comunidades residenciales de conjuntos VIS, que buscan implementar alternativas tecnológicas que les permitan mejorar la eficiencia energética de sus instalaciones, reducir los costos asociados al consumo de electricidad y avanzar hacia modelos de gestión más sostenibles.



Imagen 1. Mercado objetivo.

2.5. Análisis de oferta

El análisis de la oferta permite identificar las empresas y organizaciones que actualmente participan en el mercado de soluciones energéticas basadas en tecnología solar fotovoltaica, así como las características de los servicios que ofrecen y su enfoque dentro del sector. Este análisis resulta fundamental para comprender el nivel de competencia existente y las oportunidades de diferenciación para la solución propuesta.

En el contexto colombiano, el mercado de energía solar fotovoltaica ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos años, impulsado por políticas de transición energética, la reducción en los costos de la tecnología y el aumento en las tarifas del servicio de energía eléctrica. Este crecimiento ha favorecido la entrada y consolidación de múltiples empresas especializadas en el diseño, suministro e instalación de sistemas fotovoltaicos.

En ciudades como Bogotá, la oferta se compone principalmente de dos tipos de actores: por un lado, empresas del sector energético con amplia cobertura y capacidad técnica, como Enel Colombia y Celsia, las cuales han desarrollado soluciones solares orientadas a proyectos de mediana y gran escala; y por otro, empresas especializadas en energía solar que ofrecen servicios de diseño e instalación de sistemas fotovoltaicos para aplicaciones residenciales, comerciales e industriales.

Estas empresas generalmente enfocan su oferta en soluciones integrales que incluyen estudios técnicos, suministro de equipos, instalación y mantenimiento. Sin embargo, su enfoque principal se orienta hacia proyectos individuales (viviendas unifamiliares) o aplicaciones de mayor escala,

como industrias o comercios, lo que evidencia una menor especialización en soluciones dirigidas específicamente a zonas comunes de conjuntos residenciales VIS.

En este sentido, aunque existe una oferta tecnológica disponible y empresas con capacidad técnica para desarrollar proyectos fotovoltaicos, se identifica una oportunidad de mercado en el desarrollo de soluciones más específicas y adaptadas a las necesidades de conjuntos residenciales de vivienda de interés social, particularmente en lo relacionado con la optimización del consumo energético en sistemas de iluminación de áreas comunes.

De esta manera, el análisis de la oferta permite concluir que el mercado cuenta con proveedores consolidados y tecnología disponible para la implementación de sistemas fotovoltaicos; sin embargo, también evidencia un espacio para el desarrollo de soluciones diferenciadas, enfocadas en segmentos específicos del mercado residencial, como lo es el caso del presente proyecto.

2.6. Características de la competencia

El análisis de la competencia permite identificar las características de las empresas que participan en el mercado de soluciones energéticas basadas en tecnología solar fotovoltaica, así como sus enfoques, capacidades técnicas y segmentos de mercado atendidos. Este análisis resulta fundamental para comprender el nivel de desarrollo del sector y detectar oportunidades de diferenciación para la solución propuesta.

En el mercado colombiano, la competencia en el sector de energía solar está conformada principalmente por empresas especializadas en el diseño, suministro e instalación de sistemas fotovoltaicos. Estas organizaciones ofrecen soluciones dirigidas a diferentes tipos de usuarios, incluyendo aplicaciones residenciales, comerciales e industriales, lo que evidencia un mercado en crecimiento y con una oferta tecnológica consolidada.

Entre las principales características de estas empresas se destaca la prestación de servicios integrales, los cuales abarcan todas las etapas del desarrollo de proyectos fotovoltaicos, desde el análisis del consumo energético y el diseño del sistema, hasta el suministro de equipos, la instalación y el mantenimiento. Este enfoque permite ofrecer soluciones completas adaptadas a las necesidades energéticas de cada cliente.

Asimismo, se identifica una amplia diversidad de soluciones tecnológicas disponibles en el mercado, lo que facilita la implementación de sistemas fotovoltaicos en diferentes tipos de infraestructura. Sin embargo, esta diversidad también evidencia que la mayoría de las soluciones están orientadas a proyectos individuales o de mayor escala, como viviendas unifamiliares, comercios o industrias.

En el caso específico de Bogotá, la presencia de empresas del sector energético y proveedores especializados ha incrementado la disponibilidad de soluciones solares. No obstante, se observa que existe una limitada especialización en soluciones enfocadas exclusivamente en zonas comunes de conjuntos residenciales de vivienda de interés social (VIS), lo que representa una oportunidad de desarrollo para propuestas más específicas y adaptadas a este segmento.

En este contexto, aunque el mercado cuenta con empresas con capacidad técnica y experiencia en la implementación de sistemas fotovoltaicos, también se evidencia un espacio para el desarrollo de soluciones diferenciadas que respondan de manera directa a las necesidades energéticas de las zonas comunes en conjuntos residenciales VIS.

Empresa	**Tipo de servicios ofrecidos**	**Tipo de proyectos**	**Segmento de mercado**	**Observación estratégica**
Enel Colombia	Diseño, suministro e instalación; eficiencia energética	Residenciales, comerciales, industriales	Grandes consumidores, empresas	Enfoque en gran escala, baja especialización en VIS
Celsia	Diseño, instalación, operación y mantenimiento	Viviendas, comercios, industrias	Residencial y empresarial	Soluciones amplias, no específicas para zonas comunes
Erco Energía	Ingeniería, suministro e instalación	Residencial y comercial	Usuarios residenciales y proyectos inmobiliarios	Más flexible, pero no enfocado en VIS
GreenYellow Colombia	Desarrollo de proyectos y eficiencia energética	Mediana y gran escala	Sector empresarial e industrial	Enfoque corporativo, no residencial VIS
Solecol	Diseño e instalación de sistemas solares	Residencial y comercial	Vivienda y pequeñas empresas	Escala pequeña, sin enfoque en zonas comunes

Tabla 14. características de la competencia.

2.7. Análisis de precio

El sistema fotovoltaico propuesto presenta una capacidad instalada aproximada de 10 kW, con una generación estimada de 960 kWh mensuales, lo cual permite cubrir la totalidad del consumo energético asociado a la iluminación de zonas comunes del conjunto residencial. Esta implementación representa un ahorro aproximado de $640.000 COP mensuales, equivalente a más de $7.6 millones COP anuales, evidenciando la viabilidad técnica y económica del proyecto.

Área	**Tipo de Luminaria**	**Potencia Unit.**	**Cantidad (Est.)**	**Horas/Día**	**Consumo Mes (kWh)**
Pasillos y Escaleras	Plafón LED Circular	12W	120	12	518.4

Parqueaderos Ext.	Reflector LED	50W	10	12	180.0
Portería / Lobby	Tubo o Panel LED	18W	8	24	103.7
Salón Social	Panel LED 60x60	36W	6	4	25.9
Perímetro	Reflector LED	30W	8	12	86.4
TOTAL					**~914.4 kWh**

Tabla 15. Análisis de precios.

Los valores de consumo energético presentados corresponden a una estimación basada en supuestos técnicos representativos de un conjunto residencial tipo de vivienda de interés social (VIS). Estos datos fueron construidos considerando cantidades aproximadas de luminarias, potencias típicas de tecnología LED y tiempos promedio de uso en zonas comunes.

Si bien los valores pueden variar dependiendo de las características específicas de cada conjunto residencial, esta estimación permite establecer una base técnica confiable para el dimensionamiento preliminar del sistema fotovoltaico y la evaluación de su viabilidad energética y económica.

2.7.1. Comportamiento general de los precios

El comportamiento de los precios en el mercado de sistemas de generación de energía solar fotovoltaica ha presentado una tendencia decreciente en los últimos años, debido principalmente a los avances tecnológicos en la fabricación de los componentes, el aumento en la producción a escala global y la creciente competencia entre proveedores del sector.

La reducción en los costos de los módulos fotovoltaicos, inversores y demás equipos asociados ha permitido que este tipo de soluciones sea cada vez más accesible para diferentes sectores, incluyendo el ámbito residencial. Adicionalmente, el fortalecimiento del mercado de energías renovables en Colombia ha contribuido a la consolidación de una oferta más amplia de proveedores, lo cual genera condiciones de competencia que favorecen la optimización de los precios.

En el contexto de Bogotá, el comportamiento de los precios también se encuentra influenciado por factores como las condiciones de instalación, la disponibilidad de infraestructura adecuada y los costos asociados a la mano de obra especializada. Sin embargo, la tendencia general del mercado refleja una mayor accesibilidad a este tipo de tecnologías, lo cual ha facilitado su implementación en proyectos residenciales.

Por otra parte, es importante considerar que, aunque la inversión inicial en sistemas fotovoltaicos puede representar un costo significativo, los beneficios económicos asociados a la reducción del consumo de energía eléctrica permiten compensar esta inversión a lo largo del tiempo. Esto convierte a la energía solar en una alternativa competitiva frente al suministro convencional de energía, especialmente en aplicaciones como la iluminación de zonas comunes en conjuntos residenciales.

En este sentido, el comportamiento general de los precios evidencia una tendencia favorable para la implementación de sistemas fotovoltaicos, lo cual respalda la viabilidad económica de este tipo de soluciones dentro del contexto del presente proyecto.

2.7.2. Comparación con tecnologías sustituidas

El análisis comparativo entre los sistemas de generación de energía solar fotovoltaica y las tecnologías convencionales de suministro de energía permite identificar las ventajas y limitaciones asociadas a cada alternativa, particularmente en términos de costos y eficiencia en el uso de los recursos energéticos.

En el contexto de los conjuntos residenciales, la tecnología tradicional utilizada para el suministro de energía en sistemas de iluminación de zonas comunes corresponde a la conexión directa a la red eléctrica convencional. Este modelo implica un consumo continuo de energía que se traduce en costos operativos recurrentes para la administración del conjunto y los copropietarios.

En contraste, los sistemas fotovoltaicos permiten generar energía eléctrica a partir de una fuente renovable, lo que reduce la dependencia de la red convencional y disminuye los costos asociados al consumo energético a lo largo del tiempo. Aunque la implementación de esta tecnología requiere una inversión inicial mayor en comparación con el uso exclusivo de la red eléctrica, los costos de operación y mantenimiento suelen ser menores, lo que representa una ventaja en el mediano y largo plazo.

Desde el punto de vista económico, la principal diferencia entre ambas tecnologías radica en la estructura de costos. Mientras que el sistema convencional presenta costos iniciales bajos pero costos operativos permanentes, el sistema fotovoltaico implica una inversión inicial más elevada, pero con una reducción significativa en los costos de operación durante su vida útil.

En el contexto de Bogotá, donde el consumo energético en zonas comunes es constante, la implementación de sistemas fotovoltaicos para iluminación puede representar una alternativa eficiente para optimizar los costos asociados al suministro de energía eléctrica. Esta comparación permite evidenciar que, a pesar de la inversión inicial, la tecnología solar fotovoltaica se posiciona como una opción competitiva frente a las tecnologías tradicionales, especialmente en aplicaciones donde el consumo energético es continuo.

En este sentido, la sustitución del suministro convencional por sistemas fotovoltaicos se justifica desde una perspectiva técnica y económica, al ofrecer beneficios asociados a la eficiencia energética, la reducción de costos operativos y el aprovechamiento de fuentes de energía renovable.

2.7.3. Factores que afectan los precios

Los precios de los sistemas de generación de energía solar fotovoltaica pueden variar en función de diversos factores técnicos, económicos y operativos que influyen directamente en el costo total de implementación del sistema. La comprensión de estos factores permite realizar estimaciones más precisas y contextualizadas dentro del desarrollo del proyecto.

Uno de los principales factores que incide en el precio es la capacidad del sistema fotovoltaico, la cual está directamente relacionada con la cantidad de energía que se desea generar. A mayor

capacidad instalada, mayor será la inversión requerida en equipos como módulos fotovoltaicos, inversores y estructuras de soporte.

Otro factor relevante corresponde a la calidad y tecnología de los equipos utilizados, ya que existen diferentes tipos de paneles solares e inversores con variaciones en eficiencia, durabilidad y desempeño. La selección de equipos de mayor calidad puede incrementar el costo inicial del sistema, pero también puede generar beneficios en términos de mayor vida útil y mejor rendimiento energético.

Las condiciones de instalación también influyen en el precio, incluyendo aspectos como la ubicación de la infraestructura, el tipo de superficie disponible para la instalación de los módulos y la complejidad del montaje. En entornos urbanos como Bogotá, factores como el acceso a cubiertas, la inclinación de las superficies y las condiciones estructurales pueden incidir en los costos asociados a la instalación.

Adicionalmente, los costos de mano de obra y servicios especializados representan un componente importante dentro del precio total del sistema. La instalación de sistemas fotovoltaicos requiere personal técnico calificado, lo cual puede influir en la variabilidad de los costos dependiendo del proveedor seleccionado.

Otro aspecto por considerar es la regulación y políticas energéticas, que pueden afectar los costos a través de incentivos, beneficios tributarios o requisitos técnicos asociados a la implementación de sistemas de energía renovable. Estos factores pueden contribuir a reducir o incrementar la inversión necesaria dependiendo del contexto normativo vigente.

Finalmente, el comportamiento del mercado y la competencia también influye en la determinación de los precios, ya que una mayor oferta de proveedores puede generar condiciones más competitivas que favorezcan la reducción de costos.

En este sentido, la identificación de los factores que afectan los precios permite comprender la variabilidad en los costos de los sistemas fotovoltaicos y facilita la formulación de estimaciones más ajustadas a las condiciones específicas del proyecto.

2.8 Proyección

La proyección del mercado permite estimar el comportamiento futuro de la demanda de la solución propuesta, a partir del análisis de las tendencias actuales del sector energético y del contexto en el cual se desarrollará el proyecto.

En el caso de los sistemas de generación de energía solar fotovoltaica, se evidencia una tendencia de crecimiento sostenido tanto a nivel global como nacional, impulsada por factores como la reducción progresiva de los costos de la tecnología (cercana al 80% en la última década), el avance en eficiencia de los equipos y el fortalecimiento de políticas públicas orientadas a la transición energética.

En el contexto de Bogotá, este crecimiento se ve reforzado por la dinámica del sector de la vivienda, especialmente en el segmento de vivienda de interés social (VIS), el cual representa aproximadamente el 41% de los proyectos activos y cerca del 74% de las viviendas

comercializadas en la ciudad. Esta alta participación implica un aumento continuo en el número de conjuntos residenciales con zonas comunes que demandan consumo energético permanente.

Adicionalmente, el incremento en las tarifas de energía eléctrica, con valores promedio entre $680 y $870 COP/kWh, ha generado una mayor presión sobre los costos de administración en estos conjuntos, lo que incentiva la búsqueda de alternativas que permitan reducir el gasto operativo.

A partir de estas condiciones, se proyecta un aumento progresivo en la adopción de sistemas fotovoltaicos aplicados a la iluminación de zonas comunes, especialmente en el segmento VIS, donde la relación costo–beneficio resulta altamente favorable. La combinación entre crecimiento del sector residencial, aumento en costos energéticos y disponibilidad tecnológica permite prever que este tipo de soluciones continuará ganando relevancia en los próximos años.

2.8.1 Estrategia de mercado

La definición de la estrategia de mercado se fundamenta en el análisis de las condiciones actuales del sector energético, el comportamiento de la demanda y las características del mercado objetivo identificado.

Considerando que la tecnología fotovoltaica se encuentra en una fase de crecimiento y que existe una necesidad claramente identificada en el mercado objetivo, se establece como enfoque principal la estrategia de penetración de mercado, de acuerdo con la Matriz de Ansoff.

Esta estrategia se orienta a introducir y posicionar la solución dentro de un mercado existente —los conjuntos residenciales VIS en Bogotá— mediante la implementación de sistemas fotovoltaicos enfocados específicamente en la iluminación de zonas comunes. A diferencia de otras soluciones del mercado, el proyecto propone una aplicación especializada que responde directamente a una necesidad puntual: la reducción del consumo energético en áreas compartidas.

La estrategia se basa en resaltar los beneficios económicos tangibles, como la disminución de costos mensuales de energía (aproximadamente $640.000 COP mensuales en el caso estimado), así como en la confiabilidad técnica del sistema y su contribución a la sostenibilidad ambiental.

Asimismo, se identifican como principales barreras de entrada la inversión inicial requerida y el desconocimiento de la tecnología por parte de los usuarios. Frente a esto, la estrategia contempla:

- Generación de información clara y técnica sobre el funcionamiento del sistema
- Socialización de beneficios económicos mediante ejemplos reales
- Enfoque en proyectos piloto o demostrativos
- Acompañamiento técnico en la toma de decisiones

De manera complementaria, se plantea una estrategia de crecimiento a futuro orientada al desarrollo de mercado, mediante la expansión de la solución hacia otros segmentos residenciales y ciudades con características similares.

Producto / Mercado	**Mercado Actual (Conjuntos VIS en Bogotá)**	**Mercado Nuevo (Otros segmentos o ciudades)**
Producto Actual (Sistema FV zonas comunes)	Penetración de mercado**:** Implementación en conjuntos VIS, enfocada en reducción de costos energéticos y eficiencia	Desarrollo de mercado: Expansión a otros estratos y ciudades con condiciones similares
Producto Nuevo (Mejoras del sistema)	Desarrollo de producto: Integración de monitoreo, baterías y automatización	Diversificación: Soluciones energéticas integrales (sistemas híbridos, nuevos usos)

Tabla 16. Estrategia de mercado.

2.9. Conclusión análisis de mercado

El análisis de mercado desarrollado permitió identificar condiciones favorables para la implementación de sistemas fotovoltaicos aplicados a la iluminación de zonas comunes en conjuntos residenciales de vivienda de interés social (VIS) en Bogotá. El estudio evidenció que el crecimiento del sector de energías renovables, el incremento progresivo en las tarifas de energía eléctrica y la necesidad de optimizar los costos operativos de las copropiedades han generado un entorno propicio para la adopción de soluciones energéticas sostenibles.

Asimismo, se determinó que el segmento VIS representa actualmente uno de los mercados con mayor participación dentro del desarrollo inmobiliario de la ciudad. De acuerdo con la información analizada, para el año 2026 existen aproximadamente 677 proyectos de vivienda nueva activos en Bogotá, de los cuales cerca de 282 corresponden a proyectos VIS, representando alrededor del 41% de la oferta total de vivienda.

Dado este escenario, el presente estudio proyecta como objetivo de implementación alcanzar durante el primer año una participación aproximada entre el 4% y el 5% del total de proyectos de vivienda de interés social (VIS) identificados en Bogotá, enfocados principalmente en conjuntos residenciales que cuenten con zonas comunes susceptibles de optimización energética mediante sistemas fotovoltaicos.

Desde el punto de vista geográfico, localidades como Fontibón, Suba, Puente Aranda y Santa Fe concentran una parte importante del desarrollo VIS en Bogotá, lo cual permite identificar zonas estratégicas para futuras implementaciones del proyecto. Además, el análisis de la oferta y la competencia evidenció que, aunque existen empresas con experiencia en energía solar fotovoltaica, aún se presenta una limitada especialización en soluciones enfocadas específicamente en zonas comunes de conjuntos residenciales VIS, situación que representa una oportunidad de desarrollo y diferenciación para el presente proyecto.

Finalmente, se concluye que el mercado objetivo presenta características técnicas, económicas y operativas favorables para la implementación de sistemas fotovoltaicos en conjuntos residenciales VIS, evidenciando un alto potencial de crecimiento y expansión para soluciones orientadas a la eficiencia energética y sostenibilidad dentro del contexto urbano de Bogotá.

Esta proyección se fundamenta en el crecimiento sostenido del mercado VIS, la alta concentración de proyectos residenciales activos en la ciudad y la necesidad existente de reducir los costos asociados al consumo energético en áreas comunes, lo cual posiciona al proyecto como una alternativa técnicamente viable y comercialmente atractiva dentro del sector residencial.

Adicionalmente, el análisis evidenció que el modelo de conjunto residencial cerrado predomina dentro de este tipo de vivienda, incorporando zonas comunes, sistemas permanentes de iluminación y consumos energéticos constantes, factores que convierten a estos proyectos en potenciales usuarios de soluciones fotovoltaicas orientadas a la reducción de costos y la optimización energética.

3. Planificación del proyecto

3.1. Misión

Desarrollar una propuesta técnica y administrativa para la implementación de un sistema de generación de energía solar fotovoltaica destinado al suministro de energía para las zonas comunes de conjuntos residenciales tipo VIS, promoviendo la eficiencia energética, la reducción del consumo de energía convencional y el aprovechamiento de fuentes de energía renovable bajo criterios de sostenibilidad, viabilidad técnica y seguridad operativa.

3.2. Visión

Consolidar una propuesta de referencia para la implementación de sistemas fotovoltaicos en conjuntos residenciales tipo VIS en la ciudad de Bogotá, contribuyendo al fortalecimiento de soluciones energéticas sostenibles, eficientes y técnicamente viables que promuevan el aprovechamiento de energías renovables y la optimización del consumo eléctrico en el sector residencial.

3.3. Alcance del proyecto

El presente proyecto comprende el análisis, diseño y evaluación de la viabilidad técnica, económica y ambiental de un sistema de generación de energía solar fotovoltaica destinado al suministro eléctrico de los sistemas de iluminación de las zonas comunes en un conjunto residencial de vivienda de interés social (VIS) ubicado en la ciudad de Bogotá.

Dentro del desarrollo del estudio se contempla la caracterización del consumo energético asociado a las áreas comunes, la estimación de la demanda eléctrica, el dimensionamiento preliminar del sistema fotovoltaico y la selección general de sus componentes principales, de acuerdo con las condiciones operativas requeridas.

De igual forma, se incluye la evaluación económica del proyecto, considerando variables como costos de inversión, operación y mantenimiento, ahorro potencial en la facturación de energía y período estimado de recuperación de la inversión.

Adicionalmente, el proyecto incorpora un análisis de mercado orientado a identificar la demanda potencial, la oferta existente y las oportunidades de implementación de este tipo de soluciones en el segmento residencial VIS de Bogotá.

Es importante precisar que el estudio se desarrolla a nivel de factibilidad, por lo cual no contempla la ejecución física, instalación ni puesta en marcha del sistema fotovoltaico, sino la formulación técnica y financiera de una alternativa viable para la optimización del consumo energético en zonas comunes.

En este sentido, el alcance del proyecto busca proporcionar una base objetiva para la toma de decisiones relacionadas con futuras implementaciones de sistemas solares fotovoltaicos en conjuntos residenciales de vivienda de interés social.

3.4. Acciones para cumplimiento de objetivos

Con el fin de garantizar el cumplimiento de los objetivos planteados en el presente proyecto, se establecen una serie de acciones orientadas al desarrollo ordenado de las actividades técnicas, económicas y ambientales requeridas para la evaluación de la solución propuesta.

En primer lugar, para el cumplimiento del objetivo relacionado con la factibilidad técnica, se desarrollarán actividades asociadas al levantamiento de información del consumo energético en zonas comunes del conjunto residencial, identificación de cargas eléctricas existentes, análisis del recurso solar disponible en la ciudad de Bogotá y dimensionamiento preliminar del sistema fotovoltaico de acuerdo con la demanda estimada.

En segundo lugar, para la evaluación de la viabilidad económica, se realizará la recopilación de información referente a costos de equipos, instalación, operación y mantenimiento del sistema. Asimismo, se efectuarán proyecciones de ahorro en el consumo de energía eléctrica, análisis del flujo de caja e indicadores financieros como período de retorno de la inversión, valor presente neto (VPN) y tasa interna de retorno (TIR).

En cuanto al componente ambiental, se desarrollarán estimaciones relacionadas con la reducción del consumo de energía proveniente de la red eléctrica convencional, así como el cálculo de disminución de emisiones de dióxido de carbono (CO_2) derivadas de la implementación del sistema fotovoltaico.

De manera complementaria, se ejecutarán actividades de análisis de mercado orientadas a identificar la demanda potencial, la oferta existente, el comportamiento del sector residencial VIS y las oportunidades de implementación de soluciones energéticas sostenibles en la ciudad de Bogotá.



Imagen 2. Análisis de cumplimiento de objetivos.

3.5. Cronograma de actividades

El cronograma de actividades del proyecto fue estructurado en un período total de 74 días, comprendiendo las etapas de inicio, planificación, ingeniería del proyecto, evaluación económica, análisis ambiental, análisis social y cierre. Cada fase integra actividades específicas orientadas

al cumplimiento de los objetivos planteados, estableciendo una secuencia lógica de ejecución y relaciones de dependencia entre tareas.

La programación permitió organizar el desarrollo del estudio desde la recopilación de información inicial hasta la formulación de conclusiones y recomendaciones, garantizando un uso eficiente del tiempo y de los recursos disponibles.

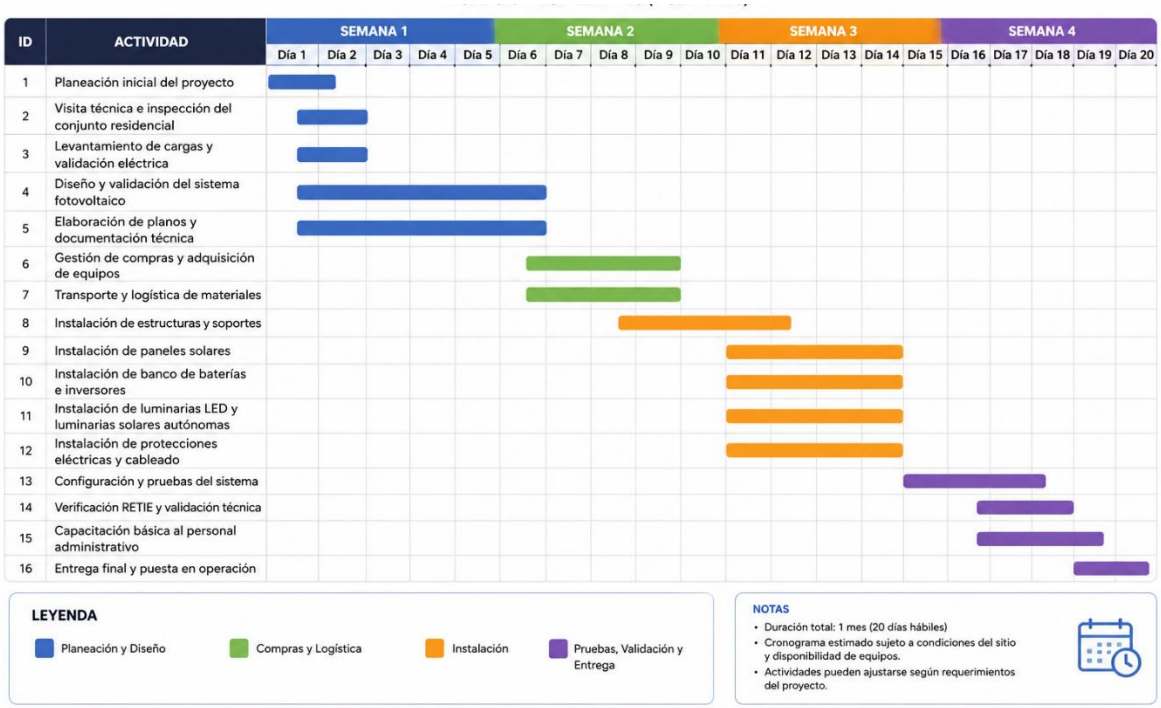


Imagen 3. Cronograma de actividades.

3.6. Estructura analítica del proyecto

La estructura analítica del proyecto (EDT), también conocida como Work Breakdown Structure (WBS), corresponde a la descomposición jerárquica de las actividades necesarias para el desarrollo del estudio de factibilidad de un sistema de generación de energía solar fotovoltaica aplicado a las zonas comunes de un conjunto residencial VIS en la ciudad de Bogotá.

Esta herramienta permite organizar de manera ordenada el trabajo requerido, facilitando la planeación, asignación de recursos, seguimiento del cronograma y control del avance del proyecto. La EDT fue estructurada con base en las fases definidas dentro del cronograma general, agrupando las actividades principales y sus respectivos entregables.

Para el presente proyecto, la estructura analítica se divide en siete componentes principales: inicio del proyecto, planificación, ingeniería del proyecto, estudio económico-financiero, evaluación ambiental, análisis social y cierre del proyecto.

3.7. Riesgos

La identificación y análisis de riesgos constituye una actividad fundamental dentro de la planificación del proyecto, ya que permite reconocer los eventos internos o externos que podrían

afectar el cumplimiento de los objetivos técnicos, económicos y operativos planteados para el estudio de factibilidad del sistema fotovoltaico.

En el presente proyecto, los riesgos fueron analizados considerando las etapas de formulación, diseño y evaluación de la solución propuesta. Debido a que el estudio se desarrolla a nivel de factibilidad, los principales riesgos se relacionan con la disponibilidad de información, variaciones económicas, supuestos técnicos y condiciones externas del entorno.

La adecuada gestión de riesgos permite establecer acciones preventivas y correctivas orientadas a reducir su probabilidad de ocurrencia o minimizar su impacto sobre los resultados esperados.

Código	Riesgo identificado	Probabilidad	Impacto	Nivel	Acción de mitigación
R1	Información insuficiente del consumo energético real del conjunto residencial	Media	Alta	Alto	Utilizar estimaciones técnicas y escenarios comparativos
R2	Variación en precios de paneles, inversores y equipos	Alta	Media	Alto	Cotizar con varios proveedores y usar precios promedio
R3	Sobreestimación de generación solar por condiciones climáticas	Media	Alta	Alto	Aplicar factores de pérdida y datos históricos de Bogotá
R4	Cambios en tarifas de energía eléctrica	Media	Media	Medio	Trabajar con escenarios conservador, medio y optimista
R5	Limitaciones de área disponible en cubierta	Media	Alta	Alto	Levantamiento preliminar y diseño ajustado al espacio
R6	Falta de aceptación por parte de copropietarios	Baja	Alta	Medio	Socialización de beneficios económicos y ambientales
R7	Cambios normativos o regulatorios	Baja	Media	Bajo	Basar estudio en normativa vigente y revisar actualizaciones

UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

R8	Errores en proyecciones financieras	Media	Media	Medio	Validación de fórmulas e indicadores financieros

Tabla 17. Riesgos

3.8. Monitoreo y evaluación.

El monitoreo y la evaluación constituyen procesos fundamentales dentro de la planificación del proyecto, ya que permiten realizar seguimiento al cumplimiento de las actividades programadas, verificar el avance frente a los objetivos establecidos y detectar oportunamente posibles desviaciones durante el desarrollo del estudio.

En el presente proyecto, el monitoreo se orienta al control periódico de las actividades definidas en el cronograma, revisando el cumplimiento de tiempos, la calidad de la información recopilada y el avance de los análisis técnico, económico, ambiental y social. Este seguimiento permite garantizar una ejecución organizada y coherente con el alcance planteado.

Por su parte, la evaluación se enfoca en verificar si los resultados obtenidos responden a los objetivos propuestos, especialmente en lo relacionado con la factibilidad de implementar un sistema fotovoltaico para la iluminación de zonas comunes en un conjunto residencial VIS en Bogotá.

Para el desarrollo de estas actividades se establecen indicadores de desempeño que facilitan la medición del progreso del proyecto y la toma de decisiones oportunas.

Indicador	**Método de medición**	**Frecuencia**	**Meta esperada**
Cumplimiento del cronograma	Actividades ejecutadas / actividades programadas	Semanal	≥ 90%
Avance documental	Capítulos desarrollados frente al total programado	Quincenal	100%
Calidad de información técnica	Validación de datos y fuentes consultadas	Permanente	Información confiable
Cumplimiento de objetivos específicos	Objetivos alcanzados / objetivos formulados	Final del proyecto	100%
Viabilidad económica evaluada	Desarrollo de VPN, TIR, PRI y costos	Final del análisis financiero	Completo
Impacto ambiental estimado	Cálculo de reducción CO_2 y beneficios	Final del proyecto	Completo

Tabla 18. Monitoreo y evaluación.

3.9. Políticas

Las políticas del proyecto constituyen lineamientos generales orientados a garantizar que el desarrollo del estudio se realice bajo criterios de calidad, sostenibilidad ambiental, cumplimiento normativo y adecuada asignación de responsabilidades. Estas directrices permiten fortalecer la organización del proyecto y asegurar que los resultados obtenidos sean confiables, pertinentes y acordes con las buenas prácticas técnicas y administrativas.

En el presente proyecto, las políticas definidas se orientan al análisis de factibilidad de un sistema fotovoltaico para zonas comunes de un conjunto residencial VIS en Bogotá, considerando aspectos técnicos, económicos y ambientales.

3.9.1. Política de calidad

La política de calidad del presente proyecto se orienta a garantizar que todas las actividades relacionadas con el análisis, diseño y evaluación de la factibilidad del sistema fotovoltaico se desarrollen bajo criterios de rigurosidad técnica, confiabilidad metodológica y mejora continua, asegurando que los resultados obtenidos sean consistentes, verificables y útiles para la toma de decisiones.

Para el cumplimiento de esta política, se establece como principio fundamental el uso de información proveniente de fuentes oficiales, técnicas y académicas reconocidas, tales como normativas vigentes, bases de datos institucionales, literatura especializada, fabricantes certificados y entidades del sector energético. Esto permite respaldar técnicamente los análisis realizados y fortalecer la validez de las conclusiones del proyecto.

En el componente técnico, todos los cálculos relacionados con demanda energética, estimación de generación solar, dimensionamiento preliminar del sistema y selección de componentes deberán desarrollarse mediante procedimientos reconocidos en ingeniería, aplicando criterios conservadores y supuestos claramente definidos. Asimismo, se verificará la coherencia entre variables de entrada, fórmulas utilizadas y resultados obtenidos, con el fin de reducir errores y asegurar la precisión de la información.

En el componente económico-financiero, los análisis de costos de inversión, operación y mantenimiento, así como los indicadores financieros proyectados, deberán elaborarse con base en datos actualizados del mercado y metodologías de evaluación financiera ampliamente aceptadas. Se priorizará la transparencia en los supuestos económicos utilizados, tales como tarifas de energía, inflación estimada, vida útil de equipos y tasas de descuento aplicadas.

En relación con la gestión documental, toda la información generada durante el desarrollo del proyecto deberá conservar criterios de organización, trazabilidad, claridad y adecuada presentación. Los documentos, tablas, figuras y anexos deberán estructurarse de manera lógica, permitiendo su fácil consulta, revisión y validación.

De igual forma, se establecerá un proceso de revisión periódica de avances, orientado a verificar el cumplimiento del cronograma, la calidad de los entregables parciales y la coherencia entre los diferentes capítulos del estudio. Cuando se identifiquen desviaciones, inconsistencias o

oportunidades de mejora, se implementarán las acciones correctivas necesarias de manera oportuna.

Como principio complementario, el proyecto promoverá la mejora continua durante todas sus fases, incentivando la actualización de información, el perfeccionamiento de metodologías de análisis y la incorporación de recomendaciones técnicas que fortalezcan la calidad del resultado final.

En este sentido, la política de calidad busca asegurar que el estudio de factibilidad presentado cumpla estándares académicos y técnicos adecuados, ofreciendo una propuesta sólida, confiable y aplicable al contexto de conjuntos residenciales de vivienda de interés social en la ciudad de Bogotá.

3.9.2. Política ambiental

La política ambiental del presente proyecto se fundamenta en el compromiso de promover soluciones energéticas sostenibles que contribuyan a la reducción de impactos ambientales asociados al consumo de energía eléctrica proveniente de fuentes convencionales. En este sentido, el desarrollo del estudio se orienta a evaluar la implementación de un sistema fotovoltaico como alternativa limpia y renovable para el suministro de energía en las zonas comunes de un conjunto residencial VIS en la ciudad de Bogotá.

Como principio general, el proyecto prioriza el aprovechamiento de la energía solar como recurso renovable disponible en el entorno, fomentando la transición hacia modelos de consumo energético más eficientes y ambientalmente responsables dentro del sector residencial. La incorporación de esta tecnología busca disminuir la dependencia de la red eléctrica convencional y favorecer el uso de fuentes con menor huella ambiental.

Dentro de esta política, se establece como objetivo principal la identificación y cuantificación de los beneficios ambientales derivados de la implementación del sistema fotovoltaico, especialmente en aspectos relacionados con la reducción del consumo energético de la red, la disminución de emisiones de dióxido de carbono (CO_2) y la mitigación indirecta de otros contaminantes generados por sistemas tradicionales de generación eléctrica.

Asimismo, durante el análisis técnico del proyecto se considerarán criterios de eficiencia energética orientados a optimizar el uso de los recursos disponibles, promoviendo configuraciones que permitan un adecuado rendimiento del sistema, menores pérdidas energéticas y mejor aprovechamiento del recurso solar existente en Bogotá.

En cuanto al ciclo de vida de los equipos propuestos, la política ambiental reconoce la importancia de seleccionar tecnologías confiables, durables y de bajo requerimiento de mantenimiento, favoreciendo una mayor vida útil de los componentes y una menor generación de residuos asociados al reemplazo prematuro de equipos.

De igual forma, se promoverá la adecuada disposición final de los componentes al término de su vida útil, especialmente en elementos como módulos fotovoltaicos, inversores, baterías (si aplican) y materiales eléctricos, recomendando su manejo conforme a programas de reciclaje, aprovechamiento o disposición autorizada según la normativa ambiental vigente.

Como criterio complementario, el proyecto incentivará la sensibilización ambiental de administraciones y copropietarios frente a los beneficios del uso racional de la energía y la adopción de tecnologías limpias en conjuntos residenciales, fortaleciendo una cultura orientada a la sostenibilidad.

En este sentido, la política ambiental busca asegurar que la solución propuesta no solo sea técnicamente viable y económicamente conveniente, sino también coherente con los principios de protección ambiental, eficiencia energética y desarrollo sostenible aplicables al contexto urbano de Bogotá.

3.9.3. Normatividad y responsables

El desarrollo del presente proyecto requiere el cumplimiento de disposiciones técnicas, regulatorias y administrativas aplicables al sector eléctrico y al uso de fuentes no convencionales de energía en Colombia. La consideración de este marco normativo permite garantizar que la propuesta de implementación del sistema fotovoltaico se formule bajo criterios de seguridad, legalidad, calidad técnica y viabilidad operativa.

En primer lugar, el proyecto se enmarca en la Ley 1715 de 2014, normativa mediante la cual se promueve la integración de las fuentes no convencionales de energía renovable al sistema energético nacional, estableciendo lineamientos e incentivos para proyectos relacionados con energía solar, eficiencia energética y sostenibilidad.

De igual forma, se considera la Ley 2099 de 2021, la cual fortalece la transición energética en Colombia y amplía el marco regulatorio para la promoción de tecnologías limpias y soluciones energéticas sostenibles en diferentes sectores productivos y residenciales.

En el componente técnico y de seguridad eléctrica, se toma como referencia el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE), el cual establece requisitos obligatorios orientados a garantizar condiciones seguras en el diseño, construcción, operación y mantenimiento de instalaciones eléctricas en el país.

Asimismo, para aspectos relacionados con diseño y buenas prácticas de instalaciones internas, se contemplan lineamientos del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP) cuando resulten aplicables a los sistemas de iluminación de zonas comunes y niveles mínimos de iluminación requeridos.

En materia de conexión de sistemas solares a la red eléctrica, se consideran las disposiciones regulatorias emitidas por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), especialmente aquellas relacionadas con autogeneración a pequeña escala y generación distribuida, según la naturaleza y capacidad del sistema propuesto.

Desde el enfoque administrativo, también se tendrán en cuenta las normas internas de propiedad horizontal establecidas en la Ley 675 de 2001, debido a que la implementación de soluciones energéticas en zonas comunes requiere participación de la administración y aprobación de órganos de decisión del conjunto residencial cuando corresponda.

4. Ingeniería del proyecto

El presente capítulo desarrolla los aspectos técnicos relacionados con la formulación y diseño del sistema de generación de energía solar fotovoltaica propuesto para el suministro de energía eléctrica en los sistemas de iluminación de las zonas comunes de un conjunto residencial de vivienda de interés social (VIS) en la ciudad de Bogotá.

La ingeniería del proyecto constituye una fase fundamental dentro del estudio de factibilidad, ya que permite transformar la necesidad identificada en una solución técnicamente estructurada, mediante el análisis de variables operativas, energéticas y de infraestructura necesarias para su implementación. En esta etapa se establecen los criterios técnicos que orientan el dimensionamiento del sistema y la selección preliminar de los componentes requeridos.

Para ello, se realiza inicialmente un diagnóstico del consumo energético actual asociado a las áreas comunes del conjunto residencial, identificando las cargas eléctricas existentes, los horarios de operación y la demanda energética estimada. Posteriormente, se analizan las condiciones del recurso solar disponible en Bogotá, así como las características físicas del sitio donde podría instalarse la solución fotovoltaica.

Con base en esta información, se desarrolla el diseño preliminar del sistema, definiendo la capacidad requerida, la configuración general de los módulos solares, los equipos principales y la producción energética esperada. Asimismo, se evalúa la capacidad del sistema para cubrir parcial o totalmente la demanda eléctrica objetivo.

4.1. Diagnóstico energético actual

El diagnóstico energético actual permite identificar las condiciones operativas y de consumo eléctrico asociadas a las zonas comunes del conjunto residencial objeto de estudio. Este análisis constituye la base técnica para determinar la viabilidad de implementar un sistema fotovoltaico destinado al suministro de energía para iluminación común.

En los conjuntos residenciales de vivienda de interés social (VIS), la energía consumida en áreas compartidas representa un costo fijo dentro de la administración, debido al funcionamiento diario de luminarias instaladas en pasillos, accesos, zonas exteriores y demás espacios comunes. Por esta razón, resulta necesario caracterizar el comportamiento energético actual antes de formular la solución propuesta**.**

4.1.1. Descripción del conjunto residencial VIS

El conjunto residencial considerado como referencia para el presente estudio corresponde a una edificación multifamiliar tipo Vivienda de Interés Social (VIS), ubicada en la ciudad de Bogotá. Este tipo de proyectos habitacionales se caracteriza por estar orientado a hogares de ingresos medios y bajos, bajo los parámetros establecidos por la normativa nacional para acceso a vivienda formal.

En Bogotá, la vivienda VIS representa uno de los segmentos más importantes del mercado inmobiliario. Para el año 2025, aproximadamente el 74% de las viviendas vendidas en la ciudad correspondieron a este segmento, alcanzando cerca de 40.000 unidades comercializadas, lo que evidencia su alta participación dentro del desarrollo urbano.

Generalmente, estos conjuntos residenciales están conformados por torres de apartamentos, accesos controlados, portería, zonas peatonales, áreas recreativas básicas y espacios comunes administrados bajo régimen de propiedad horizontal. Debido a su naturaleza colectiva, requieren servicios permanentes como iluminación, seguridad y mantenimiento.

4.1.2. Áreas comunes existentes

Las áreas comunes corresponden a los espacios compartidos por los residentes y administrados por la copropiedad. En un conjunto residencial VIS típico, estas zonas incluyen infraestructura básica necesaria para la movilidad, seguridad y convivencia de los habitantes.

Entre las principales áreas comunes identificadas se encuentran:

- Pasillos internos de circulación
- Escaleras y descansos
- Portería y recepción
- Parqueaderos
- Senderos peatonales internos
- Perímetro de seguridad
- Salón social o zona comunal
- Cuartos técnicos o zonas de servicios

Estas áreas requieren iluminación artificial en diferentes horarios del día, especialmente durante la noche o en espacios interiores con baja iluminación natural.

4.1.3. Sistema de iluminación actual

El sistema de iluminación actual de este tipo de conjuntos residenciales suele estar compuesto por luminarias LED de bajo consumo, debido a su mayor eficiencia frente a tecnologías tradicionales como fluorescentes o halógenas.

Entre los equipos comúnmente instalados se encuentran:

- Plafones LED circulares en pasillos y escaleras
- Reflectores LED en parqueaderos y perímetros
- Tubos LED o paneles LED en portería y lobby
- Paneles LED en salones comunales

La operación de estas luminarias depende del uso de cada espacio. Algunas funcionan de forma continua (24 horas), mientras otras operan mediante horarios programados o sensores de encendido.

Aunque la tecnología LED reduce el consumo eléctrico, la cantidad de luminarias instaladas y las largas jornadas de funcionamiento generan una demanda energética constante que impacta los costos mensuales de administración.

4.1.4. Consumo energético estimado actual

Con base en una estimación técnica para un conjunto residencial VIS típico en Bogotá, se obtuvo el siguiente comportamiento de consumo mensual asociado exclusivamente a iluminación de zonas comunes:

Área	**Tipo de luminaria**	**Potencia Unit.**	**Cantidad**	**Horas/ Día**	**Consumo Mes (kWh)**
Pasillos y Escaleras	Plafón LED Circular	12W	120	12	518.4
Parqueaderos Ext.	Reflector LED	50W	10	12	180.0
Portería / Lobby	Tubo o Panel LED	18W	8	24	103.7
Salón Social	Panel LED 60x60	36W	6	4	25.9
Perímetro (Seguridad)	Reflector LED	30W	8	12	86.4
TOTAL ILUMINACIÓN					**914.4 kWh/mes**

Tabla 19. Consumo energético estimado actual.

Este consumo equivale aproximadamente a 10.973 kWh anuales, representando un costo significativo dentro de la administración del conjunto, especialmente al considerar tarifas promedio de energía en Bogotá entre $680 y $870 COP/kWh.

En consecuencia, la demanda energética actual evidencia una oportunidad técnica para evaluar sistemas fotovoltaicos orientados a reducir totalmente el consumo eléctrico proveniente de la red convencional en las zonas comunes.

4.2. Determinación de la demanda energética

La determinación de la demanda energética permite establecer la cantidad de energía eléctrica requerida para el funcionamiento de los sistemas de iluminación de las zonas comunes del conjunto residencial objeto de estudio. Este análisis constituye un insumo fundamental para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, ya que define la carga que se pretende cubrir total o parcialmente mediante generación solar.

Para el presente proyecto, la demanda energética fue estimada con base en un inventario técnico de luminarias, considerando su potencia nominal, cantidad instalada y tiempo promedio diario de

operación. A partir de esta información, se calcularon los consumos diarios, mensuales y anuales asociados a las áreas comunes del conjunto residencial VIS.

4.2.1. Inventario de cargas

El inventario de cargas corresponde a la identificación de los equipos eléctricos que conforman el sistema de iluminación de zonas comunes. Para este estudio se consideran luminarias LED de uso frecuente en conjuntos residenciales, debido a su eficiencia energética y amplia utilización en el sector habitacional.

Área	**Tipo de luminaria**	**Potencia unitaria**	**Cantidad**	**Potencia total**
Pasillos y escaleras	Plafón LED circular	12 W	120	1.440 W
Parqueaderos exteriores	Reflector LED	50 W	10	500 W
Portería / Lobby	Tubo o panel LED	18 W	8	144 W
Salón social	Panel LED 60x60	36 W	6	216 W
Perímetro de seguridad	Reflector LED	30 W	8	240 W
Total instalado				**2.540 W (2.54 kW)**

Tabla 20. Inventario de cargas.

La potencia total instalada del sistema de iluminación analizado asciende aproximadamente a 2,54 kW, correspondiente a la suma de todas las cargas operativas de las zonas comunes.

4.2.2. Horas de uso

El tiempo de funcionamiento diario depende de las condiciones operativas de cada espacio, los horarios de circulación de residentes y los requerimientos de seguridad del conjunto residencial.

Área	**Horas promedio por día**
Pasillos y escaleras	12 h/día
Parqueaderos exteriores	12 h/día
Portería / Lobby	24 h/día
Salón social	4 h/día
Perímetro de seguridad	12 h/día

Tabla 21. Horas de uso.

Se observa que las áreas de seguridad y circulación presentan mayores tiempos de operación mientras que espacios de uso eventual, como el salón social, registran menor demanda horaria.

4.2.3. Consumo diario, mensual y anual

A partir de la potencia instalada y las horas de uso, se obtiene el siguiente comportamiento energético:

Área	**Consumo diario (kWh)**	**Consumo mensual (kWh)**	**Consumo anual (kWh)**
Pasillos y escaleras	17,28	518,4	6.220,8
Parqueaderos exteriores	6,00	180,0	2.160,0
Portería / Lobby	3,46	103,7	1.244,4
Salón social	0,86	25,9	310,8
Perímetro de seguridad	2,88	86,4	1.036,8
Total	**30,48**	**914,4**	**10.972,8**

Tabla 22. Consumo diario, mensual y anual.

Con base en estos resultados, el sistema de iluminación de zonas comunes requiere aproximadamente:

- 30,48 kWh diarios
- 914,4 kWh mensuales
- 10.972,8 kWh anuales

Esto confirma que se trata de una carga estable y predecible, favorable para ser atendida mediante autogeneración fotovoltaica.

4.2.4. Demanda objetivo para suplir con energía solar

Para el presente proyecto se establece como objetivo técnico cubrir el 100% del consumo energético asociado al sistema de iluminación de las zonas comunes del conjunto residencial mediante generación de energía solar fotovoltaica, bajo un esquema de autogeneración sin necesidad de estar conectado a la red.

Esta decisión se fundamenta en que la carga analizada corresponde a un consumo estable, predecible y permanente, características que favorecen el dimensionamiento de sistemas solares orientados a compensar totalmente la energía demandada durante el periodo de facturación mensual.

Con base en los resultados obtenidos en el diagnóstico energético, la demanda objetivo a suplir

Concepto	Valor
Consumo diario objetivo	30,48 kWh/día
Consumo mensual objetivo	914,4 kWh/mes
Consumo anual objetivo	10.972,8 kWh/año
Porcentaje de cobertura esperado	100%

Tabla 23. Demanda objetivo para suplir con energía solar.

Desde el punto de vista operativo, aunque una parte importante del consumo ocurre en horario nocturno, la energía generada por el sistema fotovoltaico durante el día puede compensar el consumo total mediante mecanismos de autogeneración con entrega de excedentes a red, dependiendo de la configuración adoptada y de la regulación vigente.

El planteamiento de una cobertura total permite maximizar el ahorro económico en la factura de energía de las zonas comunes, reducir la dependencia de la red eléctrica convencional y fortalecer la sostenibilidad energética del conjunto residencial.

En consecuencia, el sistema fotovoltaico a diseñar en los siguientes apartados deberá contar con la capacidad suficiente para producir aproximadamente 914,4 kWh mensuales, equivalentes a 10.972,8 kWh anuales, considerando además factores de pérdidas, variaciones climáticas y condiciones reales de operación.

4.3. Recurso solar y condiciones del sitio

El análisis del recurso solar y de las condiciones del sitio constituye un elemento fundamental dentro del diseño de sistemas fotovoltaicos, ya que permite evaluar la disponibilidad de energía solar en el entorno y las condiciones físicas que influyen en el desempeño del sistema.

En el caso del presente proyecto, este análisis se enfoca en la ciudad de Bogotá, considerando variables como la radiación solar disponible, las condiciones climáticas, la temperatura ambiente y las características del espacio destinado para la instalación del sistema fotovoltaico.

Aunque Bogotá presenta niveles moderados de radiación solar en comparación con otras regiones del país, cuenta con una ventaja importante asociada a la alta presencia de radiación difusa, lo cual permite la generación de energía incluso en condiciones de nubosidad. Esta característica hace viable la implementación de sistemas fotovoltaicos en el contexto urbano de la ciudad.

Adicionalmente, factores como la ubicación geográfica cercana al ecuador, la estabilidad en la duración del día a lo largo del año y la disponibilidad de superficies en cubiertas de edificaciones residenciales favorecen el aprovechamiento de la energía solar como fuente alternativa para el suministro eléctrico.

En este sentido, el análisis del recurso solar permite establecer los parámetros necesarios para el dimensionamiento del sistema, considerando tanto el potencial energético disponible como las condiciones reales de operación del entorno donde se implementará la solución.

4.3.1. Ubicación: Bogotá

El proyecto se localiza en la ciudad de Bogotá, capital de Colombia, situada en la región andina a una altitud aproximada de 2.640 metros sobre el nivel del mar. Su ubicación geográfica cercana a la línea ecuatorial le permite contar con una relativa estabilidad en la duración del día a lo largo del año, con variaciones mínimas en las horas de luz solar.

Desde el punto de vista climático, Bogotá presenta una temperatura promedio entre 12°C y 20°C, con condiciones de nubosidad frecuentes durante gran parte del año. Sin embargo, esta característica no limita significativamente el aprovechamiento de la energía solar, debido a la presencia de radiación difusa, la cual permite la generación de energía incluso en condiciones de cielo parcialmente cubierto.

Adicionalmente, la altitud de la ciudad favorece una menor densidad atmosférica, lo que contribuye a una adecuada incidencia de la radiación solar sobre las superficies de captación. Estas condiciones, combinadas con una irradiación solar constante durante el año, hacen que Bogotá sea un entorno técnicamente viable para la implementación de sistemas fotovoltaicos.

En el contexto urbano, los conjuntos residenciales tipo VIS suelen contar con áreas disponibles en cubiertas y espacios comunes que pueden ser aprovechados para la instalación de módulos solares, facilitando la integración de este tipo de soluciones dentro de la infraestructura existente.

En consecuencia, la ubicación del proyecto presenta condiciones geográficas y climáticas adecuadas para el desarrollo de sistemas de generación de energía solar fotovoltaica, lo cual respalda la viabilidad técnica de la solución planteada.

4.3.2. Radiación solar

La radiación solar es el principal recurso energético para el funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos, ya que determina la cantidad de energía que puede ser transformada en electricidad a partir de la incidencia de la luz solar sobre los módulos.

En el caso de la ciudad de Bogotá, se presenta un nivel de radiación solar moderado en comparación con otras regiones del país; sin embargo, es suficiente para el desarrollo de proyectos de generación fotovoltaica en entornos urbanos.

Para efectos de diseño, se utiliza el concepto de Horas Solar Pico (HSP), el cual representa el número de horas equivalentes al día en las que la radiación solar alcanza una intensidad de 1.000 W/m². Este parámetro permite estimar de manera práctica la energía que puede generar un sistema fotovoltaico.

En Bogotá, las HSP se encuentran en un rango aproximado de:

- 3,8 a 4,2 horas/día

Para el presente proyecto, se adopta un valor promedio de:

- 4,0 HSP/día

Este valor será utilizado como referencia para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, ya que permite calcular la energía diaria generada en función de la potencia instalada.

Desde el punto de vista técnico, la energía generada por un sistema fotovoltaico puede estimarse mediante la siguiente relación:

Energía (kWh/día) = Potencia instalada (kW) × HSP × Factor de eficiencia

Donde el factor de eficiencia considera pérdidas del sistema asociadas a condiciones reales de operación.

Es importante destacar que, aunque Bogotá presenta niveles de radiación inferiores a zonas como la región Caribe, la estabilidad del recurso solar a lo largo del año y la baja variabilidad estacional permiten un comportamiento predecible de la generación energética.

En consecuencia, el valor de HSP adoptado constituye un parámetro clave para el dimensionamiento del sistema, permitiendo estimar la capacidad requerida para suplir la demanda energética identificada en el proyecto.

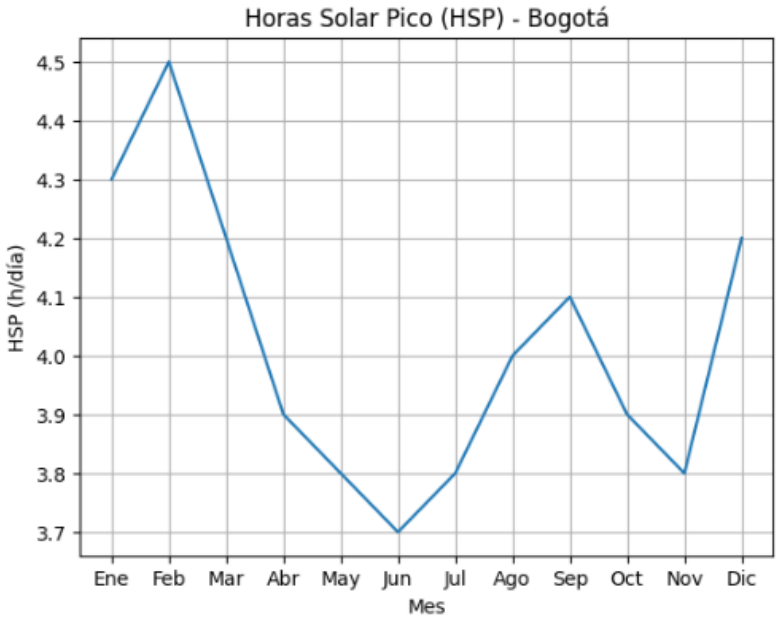


Imagen 4. Horas solar pico.

4.3.3. Nubosidad y radiación difusa

La ciudad de Bogotá se caracteriza por presentar condiciones de alta nubosidad durante gran parte del año, debido a su ubicación geográfica y a las dinámicas climáticas propias de la región andina. Este fenómeno influye directamente en la forma en que la radiación solar llega a la superficie terrestre, reduciendo la componente de radiación directa.

Sin embargo, esta condición no representa una limitante significativa para la implementación de sistemas fotovoltaicos, ya que en Bogotá predomina la radiación difusa, la cual corresponde a la fracción de la radiación solar que, al atravesar la atmósfera, es dispersada por partículas, nubes y gases, llegando a la superficie desde múltiples direcciones.

A diferencia de la radiación directa, que incide de manera perpendicular y concentrada, la radiación difusa permite que los módulos fotovoltaicos continúen generando energía incluso en

condiciones de cielo parcialmente nublado o cubierto. Esta característica resulta especialmente favorable en entornos urbanos como Bogotá, donde las condiciones climáticas varían constantemente a lo largo del día.

Desde el punto de vista técnico, los sistemas fotovoltaicos modernos están diseñados para aprovechar tanto la radiación directa como la difusa, lo que garantiza una generación energética continua, aunque con variaciones en su nivel de producción. En este sentido, la presencia de nubosidad genera una disminución en la eficiencia instantánea del sistema, pero no impide su funcionamiento.

Adicionalmente, la estabilidad climática relativa de Bogotá, sin variaciones extremas entre estaciones, permite que la disponibilidad del recurso solar sea constante a lo largo del año, lo cual favorece la predictibilidad en la generación de energía.

En consecuencia, aunque la nubosidad es un factor para considerar dentro del diseño del sistema, la alta proporción de radiación difusa en la ciudad permite mantener condiciones adecuadas para la generación de energía solar fotovoltaica, respaldando la viabilidad técnica del proyecto.

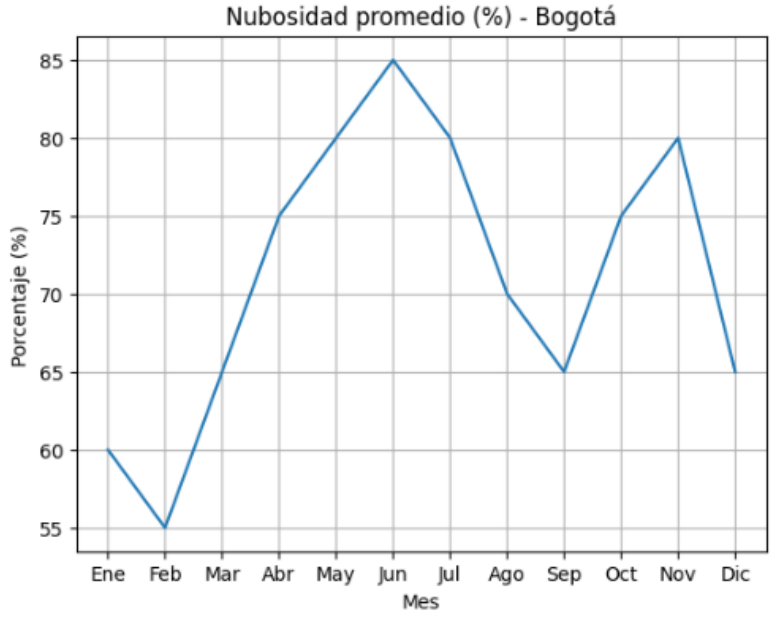


Imagen 5. Nubosidad promedio.

4.3.4. Temperatura y pérdidas

La temperatura ambiente y las pérdidas del sistema son factores determinantes en el rendimiento real de un sistema fotovoltaico, ya que influyen directamente en la eficiencia de conversión de los módulos solares y en la energía efectivamente generada.

En la ciudad de Bogotá, la temperatura promedio oscila entre 12°C y 20°C, con valores relativamente estables a lo largo del año. Estas condiciones resultan favorables para la operación de sistemas fotovoltaicos, dado que los módulos solares presentan una mejor eficiencia en

ambientes de temperatura moderada. A diferencia de climas cálidos, donde el incremento térmico puede reducir el rendimiento de los paneles, en Bogotá se minimizan las pérdidas asociadas al sobrecalentamiento.

No obstante, en condiciones reales de operación, los sistemas fotovoltaicos están sujetos a diversas pérdidas que deben ser consideradas en el proceso de dimensionamiento. Estas pérdidas se originan por factores técnicos y ambientales, entre los cuales se destacan:

- Pérdidas por temperatura del módulo: aunque la temperatura ambiente es moderada, los paneles pueden alcanzar temperaturas superiores durante la operación, generando una ligera disminución en su eficiencia.
- Pérdidas por suciedad: la acumulación de polvo, material particulado y hollín (común en entornos urbanos) puede reducir la captación de radiación solar.
- Pérdidas en inversor: asociadas a la conversión de corriente continua (DC) a corriente alterna (AC).
- Pérdidas en cableado y conexiones: debidas a resistencias eléctricas en el sistema.
- Pérdidas por desajustes (mismatch): variaciones en el desempeño entre módulos.

Para efectos del presente proyecto, se adopta un factor global de pérdidas del sistema entre el 15% y el 20%, valor comúnmente utilizado en el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos en condiciones reales.

En consecuencia, la eficiencia global del sistema se puede expresar como:

- Eficiencia del sistema ≈ 80% – 85%

Este factor será incorporado en los cálculos de dimensionamiento del sistema fotovoltaico, permitiendo obtener estimaciones más precisas de la energía generada y garantizar que la solución propuesta cumpla con la demanda energética establecida.

En este sentido, la consideración de la temperatura y las pérdidas del sistema permite ajustar el diseño a condiciones reales de operación, fortaleciendo la viabilidad técnica del proyecto.

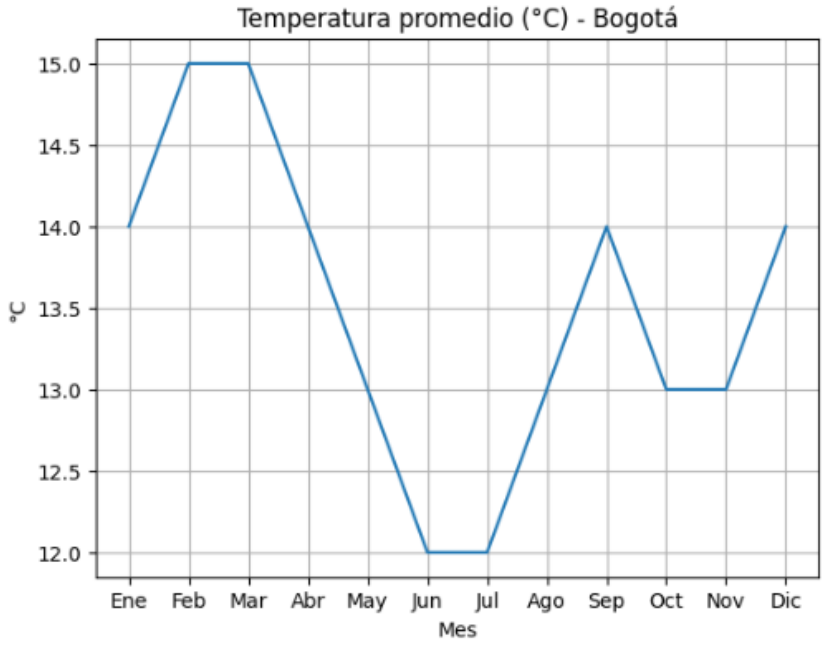


Imagen 6. Temperatura promedio.

4.3.5. Área disponible para instalación

El área disponible para la instalación de los módulos fotovoltaicos es un factor determinante en el diseño del sistema, ya que condiciona la capacidad máxima de generación energética que puede implementarse dentro del conjunto residencial.

El presente proyecto, se considera que la instalación del sistema se realizará principalmente en la cubierta del conjunto residencial, la cual representa el espacio más adecuado debido a su exposición directa a la radiación solar y a la menor presencia de obstáculos que generen sombras.

Dado que el estudio se desarrolla a nivel de factibilidad, se adopta un enfoque de estimación técnica del área disponible. Para un conjunto residencial tipo VIS en la ciudad de Bogotá, se puede considerar un área útil aproximada en cubierta entre:

- 80 m² y 120 m² disponibles para instalación

Este rango contempla espacios libres de interferencias, zonas sin equipos existentes y condiciones adecuadas de orientación e inclinación para la instalación de los módulos.

Desde el punto de vista técnico, los paneles fotovoltaicos actuales requieren en promedio:

- Entre 2 m² y 2,2 m² por panel

Esto implica que, dentro del área estimada, sería posible instalar aproximadamente:

- Entre 36 y 60 paneles solares

Adicionalmente, es importante considerar factores que pueden reducir el área efectiva de instalación, tales como:

- Sombras proyectadas por edificaciones cercanas o elementos estructurales
- Separaciones necesarias entre filas de paneles para evitar sombreado
- Espacios destinados a mantenimiento y accesibilidad
- Restricciones estructurales de la cubierta

A pesar de estas consideraciones, el área estimada resulta suficiente para la implementación de un sistema fotovoltaico orientado a suplir la demanda energética identificada en el proyecto.

En este sentido, la disponibilidad de superficie en cubierta no representa una limitante para el desarrollo de la solución propuesta, sino que, por el contrario, constituye un recurso clave para la integración de sistemas de generación de energía solar en el conjunto residencial.

4.4. Diseño del sistema fotovoltaico

Previo al dimensionamiento del sistema fotovoltaico, se realizó un proceso de optimización del consumo energético asociado a la iluminación de las zonas comunes del conjunto residencial, con el propósito de reducir la demanda eléctrica y mejorar la viabilidad técnica y económica del proyecto.

Inicialmente, el sistema de iluminación presentaba un consumo elevado debido al funcionamiento continuo de luminarias en diferentes áreas comunes. Sin embargo, considerando que la implementación de un sistema fotovoltaico tipo off-grid requiere almacenamiento energético mediante baterías uno de los componentes de mayor costo dentro del sistema, se determinó la necesidad de aplicar estrategias de eficiencia energética antes de definir la capacidad de generación solar requerida.

Bajo este enfoque, se planteó la incorporación de tecnologías orientadas a disminuir el tiempo de operación y la potencia demandada por las luminarias, manteniendo al mismo tiempo condiciones adecuadas de iluminación y seguridad dentro del conjunto residencial.

En el caso de los pasillos y escaleras, se propone la instalación de sensores de movimiento que permitan activar las luminarias únicamente cuando se detecte presencia de personas. Esta medida reduce significativamente el tiempo de funcionamiento continuo de las luminarias, logrando una disminución aproximada del 65% en el consumo energético de estas áreas.

Para las zonas exteriores y parqueaderos se plantea la utilización de luminarias autónomas con sensor de movimiento integrado, las cuales operan normalmente al 50% de intensidad y aumentan al 100% únicamente cuando detectan presencia. Además de reducir el consumo energético, esta solución disminuye considerablemente la necesidad de cableado, canalización e infraestructura eléctrica, simplificando la instalación y reduciendo costos asociados.

En la zona de portería y lobby se propone reemplazar la configuración inicial por un menor número de luminarias LED de alta eficiencia, manteniendo niveles adecuados de iluminación con

un consumo energético reducido. Estas luminarias operarán de manera continua debido a los requerimientos de funcionamiento permanente de esta área.

Por otra parte, el salón social se considera un espacio de uso ocasional, por lo cual su sistema de iluminación funcionará mediante accionamiento manual únicamente cuando sea requerido, evitando consumos innecesarios durante periodos sin utilización.

Finalmente, el sistema de iluminación perimetral se mantiene sin modificaciones significativas, debido a que constituye un elemento fundamental para la seguridad del conjunto residencial y requiere operación continua en horario nocturno.

La implementación conjunta de estas estrategias permitió reducir significativamente el consumo energético asociado al sistema de iluminación de zonas comunes. Inicialmente, la demanda estimada era de aproximadamente 914,4 kWh/mes; sin embargo, tras la incorporación de medidas de eficiencia energética y la utilización de luminarias exteriores autónomas para parqueaderos, las cuales operan de manera independiente mediante panel solar y batería integrada, la demanda energética considerada para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico se redujo a aproximadamente 346,8 kWh/mes. Esto representa una disminución cercana al 62% respecto a la estimación inicial del consumo.

Esta reducción tiene un impacto directo sobre el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, ya que permite disminuir la cantidad de paneles solares, la capacidad del banco de baterías y la potencia del inversor requerida para suplir la demanda energética. En consecuencia, se obtiene un sistema más eficiente, económicamente viable y técnicamente adecuado para las condiciones del proyecto.

En este sentido, la aplicación de medidas de eficiencia energética previas al diseño fotovoltaico constituye una estrategia fundamental para optimizar el desempeño global del sistema y mejorar la sostenibilidad de la solución propuesta.

Área	**Tipo de iluminación**	**Estrategia implementada**	**Consumo estimado mensual (kWh)**
Pasillos y escaleras	Plafones LED con sensores	Reducción del tiempo de encendido mediante sensores de movimiento	181,4
Parqueadero y exteriores	Luminarias LED autónomas	Operación al 50% y activación al 100% con detección	81,0
Portería / Lobby	Luminarias LED alta eficiencia	Reducción de cantidad de luminarias	72,0
Salón social	Panel LED	Uso ocasional mediante interruptor manual	7,0

Perímetro de seguridad	Reflectores LED	Operación permanente nocturna	86,4
TOTAL	—	—	**346,8 kWh/mes**

Tabla 24. Diseño del sistema fotovoltaico.

4.4.1. Parámetros de diseño

Para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico se establecen los parámetros técnicos y operativos que permiten definir la capacidad de generación y almacenamiento requerida para suplir la demanda energética de las zonas comunes del conjunto residencial.

Previo al diseño del sistema, se implementaron estrategias de eficiencia energética orientadas a reducir el consumo eléctrico de iluminación, permitiendo disminuir la capacidad requerida del sistema fotovoltaico y mejorar la viabilidad técnica y económica del proyecto.

El sistema propuesto corresponde a una configuración off-grid con almacenamiento energético, diseñada para alimentar las cargas de iluminación de las zonas comunes mediante energía solar generada durante el día y almacenada en baterías para su utilización posterior.

Los parámetros considerados para el diseño son los siguientes:

Parámetro	**Valor**
Consumo mensual considerado	346,8 kWh/mes
Consumo diario estimado	11,56 kWh/día
Tipo de sistema	Off-grid con almacenamiento
Horas Solar Pico (HSP)	4,0 h/día
Eficiencia global del sistema	80%
Cobertura energética	100% de la demanda de iluminación
Tipo de operación	Consumo mixto con predominio nocturno

Tabla 25. Parámetros de diseño.

El consumo energético considerado para el dimensionamiento corresponde únicamente a las cargas que serán alimentadas por el sistema fotovoltaico central. En este caso, las luminarias exteriores de parqueaderos no se incluyen dentro de la demanda total, debido a que funcionarán mediante luminarias solares autónomas con panel y batería integrada.

En el caso de los pasillos y escaleras, las luminarias permanecerán disponibles durante las 24 horas del día; sin embargo, su funcionamiento estará controlado mediante sensores de movimiento, permitiendo que las luminarias se activen únicamente cuando se detecte presencia de personas. Esta estrategia elimina la operación continua de las luminarias y reduce significativamente el tiempo efectivo de encendido, generando una disminución aproximada del 65% en el consumo energético asociado a estas áreas.

El valor de Horas Solar Pico (HSP) corresponde al promedio de radiación solar disponible en la ciudad de Bogotá, considerando las condiciones climáticas características de la región, especialmente la presencia de nubosidad y radiación difusa.

Asimismo, se adopta una eficiencia global del sistema del 80%, incorporando pérdidas asociadas a temperatura, suciedad, cableado, inversor y almacenamiento energético. Este criterio permite obtener un diseño más ajustado a condiciones reales de operación.

Debido a que la mayor parte del consumo energético se concentra durante el horario nocturno, el sistema requiere almacenamiento mediante baterías para garantizar el suministro continuo de energía hacia las cargas de iluminación cuando no existe generación solar.

La definición de estos parámetros constituye la base técnica para el cálculo de la potencia fotovoltaica requerida, el dimensionamiento del banco de baterías y la selección de los equipos principales del sistema.

4.4.2. Cálculo de la potencia del sistema

Una vez definidos los parámetros de diseño y estimada la demanda energética del sistema, se procede al cálculo de la potencia fotovoltaica requerida para suplir el consumo eléctrico de las zonas comunes del conjunto residencial.

El dimensionamiento del sistema se realiza considerando el consumo diario estimado, las condiciones de radiación solar disponibles en la ciudad de Bogotá y las pérdidas asociadas al funcionamiento real del sistema fotovoltaico.

Para el cálculo de la potencia requerida se utiliza la siguiente expresión:

$$P_{FV} = \frac{E_d}{(HSP)(n)}$$

Donde:

$P_{FV} =$ Potencia requerida del sistema fotovoltaico (KWp)

$E_d =$ Consumo energético diario (KWh/d)

HSP = Horas solar pico (h/dia)

n = Eficiencia global del sistema

Sustituyendo los valores definidos previamente:

Consumo diario: 11,56 kWh/día

HSP: 4,0 h/día

Eficiencia: 0,80

Se obtiene:

$$P_{FV} = \frac{11{,}56\ KWh/dia}{(4{,}0\ h/dia)(0{,}80)}$$

Potencia mínima requerida del sistema: ≈ 3,6 kWp

Este valor representa la capacidad mínima necesaria para generar diariamente la energía requerida por las cargas de iluminación consideradas dentro del proyecto.

La reducción obtenida en la demanda energética, gracias a la implementación de estrategias de eficiencia energética, permitió disminuir considerablemente la capacidad del sistema fotovoltaico respecto al planteamiento inicial. Esto genera un impacto positivo sobre la cantidad de paneles solares requeridos, la capacidad del banco de baterías y el costo total de implementación del sistema.

Adicionalmente, el cálculo realizado considera condiciones reales de operación en la ciudad de Bogotá, incorporando pérdidas asociadas a temperatura, suciedad, cableado, inversor y almacenamiento energético, obteniendo así un dimensionamiento más ajustado al comportamiento real del sistema fotovoltaico.

4.4.3. Dimensionamiento del banco de baterías

El banco de baterías constituye uno de los componentes más importantes del sistema fotovoltaico, debido a que permite almacenar la energía generada durante el día para su posterior utilización en los periodos donde no existe generación solar.

En el presente proyecto, el sistema fotovoltaico operará bajo una configuración off-grid, por lo cual el almacenamiento energético resulta fundamental para garantizar el funcionamiento continuo de la iluminación en las zonas comunes del conjunto residencial, especialmente durante el horario nocturno.

No obstante, debido a la implementación de sensores de movimiento en pasillos y escaleras, parte del consumo energético puede presentarse también durante el día, reduciendo parcialmente la dependencia total del sistema de almacenamiento. Aun así, la mayor demanda energética continúa concentrándose en horas nocturnas, razón por la cual se requiere un banco de baterías capaz de cubrir la demanda energética diaria estimada.

Para el dimensionamiento del banco de baterías se considera:

- Consumo diario estimado: 11,56 kWh/día
- Profundidad de descarga (DoD): 80%
- Tecnología seleccionada: Baterías de litio $LiFePO_4$

La capacidad requerida del banco de baterías se calcula mediante la siguiente expresión:

$$C_{bat} = \frac{E_d}{DoD}$$

Donde:

$C_{bat} =$ Capacidad requerida del banco de baterías (kWh)

$E_d =$ Consumo energético diario (kWh/día)

DoD = Profundidad de descarga permitida

Sustituyendo los valores:

$$C_{bat} = \frac{11{,}56}{0{,}80}$$

Capacidad requerida del banco de baterías: ≈ 14,5 kWh

Este valor corresponde a la capacidad mínima necesaria para garantizar el suministro energético de las cargas consideradas dentro del sistema.

La utilización de baterías de litio tipo $LiFePO_4$ se justifica debido a su alta eficiencia, mayor vida útil, elevada profundidad de descarga y menor requerimiento de mantenimiento en comparación con tecnologías convencionales como las baterías de plomo-ácido.

Asimismo, la reducción del consumo energético obtenida mediante las estrategias de eficiencia implementadas permitió disminuir considerablemente la capacidad requerida del banco de baterías frente al planteamiento inicial del proyecto, reduciendo de manera significativa el costo total del sistema fotovoltaico.

De esta manera, el banco de baterías propuesto permite garantizar la continuidad del servicio de iluminación en las zonas comunes, asegurando un funcionamiento estable y adecuado del sistema fotovoltaico bajo las condiciones de operación establecidas para el proyecto.

4.4.4. Selección de módulos fotovoltaicos

La selección de los módulos fotovoltaicos se realiza considerando criterios de eficiencia, capacidad de generación, disponibilidad en el mercado colombiano y relación costo–beneficio, buscando garantizar un adecuado desempeño del sistema bajo las condiciones climáticas de la ciudad de Bogotá.

Para el presente proyecto se seleccionan módulos fotovoltaicos monocristalinos, debido a que este tipo de tecnología presenta mayores niveles de eficiencia y mejor comportamiento en condiciones de radiación difusa y nubosidad, características predominantes en Bogotá.

Adicionalmente, los módulos monocristalinos permiten obtener una mayor generación energética utilizando menor área de instalación, lo cual representa una ventaja importante en aplicaciones residenciales.

Considerando la potencia requerida del sistema fotovoltaico, estimada en aproximadamente 3,6 kWp, se seleccionan módulos solares de 550 Wp.

Las características principales del módulo seleccionado son las siguientes:

Característica	**Valor**
Tipo de panel	Monocristalino
Potencia nominal	550 Wp
Eficiencia	20% – 22%
Voltaje nominal	~48 V
Corriente nominal	~13 A
Vida útil estimada	25 años

Tabla 26. Selección de módulos fotovoltaicos.

La cantidad de paneles requeridos se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\mathrm{N} = \frac{P_{FV}}{P_{panel}}$$

Donde:

N= Número de paneles requeridos

P_{FV} = Potencia requerida del sistema

P_{panel}= Potencia individual del panel

Sustituyendo valores:

$$\mathrm{N} = \frac{3{,}61}{0{,}55}$$

N = 6,56

Cantidad mínima requerida: 7 paneles solares de 550 W

La capacidad total instalada del sistema corresponde a 8 paneles solares debido a u sobre dimensionamiento del 15% por normativa lo cual tiene como resultado:

P_{inst} = 8 x 550 Wp = 4,4 KWp

Se adopta esta configuración debido a que proporciona un margen adicional de generación energética que permite compensar variaciones climáticas, pérdidas operativas y posibles disminuciones de rendimiento con el paso del tiempo.

Asimismo, la selección de paneles de alta potencia reduce la cantidad total de módulos requeridos, disminuyendo espacio de instalación, estructura de soporte, conexiones eléctricas y costos asociados a la implementación del sistema.

De esta manera, la configuración propuesta permite garantizar una generación energética adecuada para suplir la demanda del sistema de iluminación de las zonas comunes bajo las condiciones de operación definidas para el proyecto.

4.4.5. Área requerida

Una vez definida la cantidad de módulos fotovoltaicos necesarios para el sistema, se procede a calcular el área aproximada requerida para su instalación dentro del conjunto residencial.

El cálculo del área resulta importante para verificar la disponibilidad de espacio en la cubierta y garantizar la viabilidad física del sistema fotovoltaico.

Para el presente proyecto se seleccionaron 8 módulos fotovoltaicos monocristalinos de 550 W, los cuales presentan dimensiones aproximadas de:

Largo: 2,27 m

Ancho: 1,13 m

El área aproximada por panel corresponde a:

Área aproximada por panel: 2,56 m²

La superficie total requerida para la instalación se calcula mediante la siguiente expresión:

$$A_{total} = 8 \times 2.56 = 20{,}48\, m^2$$

Área mínima requerida: ≈ 21 m²

No obstante, para garantizar adecuadas condiciones de instalación, ventilación, mantenimiento y separación entre módulos, se considera un margen adicional de espacio.

Por esta razón, el área recomendada para la instalación del sistema corresponde aproximadamente a:

Área recomendada de instalación: 22 – 25 m²

Esta superficie puede ser ubicada sobre la cubierta del conjunto residencial, aprovechando espacios disponibles con adecuada exposición solar y mínima presencia de sombras.

Adicionalmente, la utilización de módulos de alta potencia permitió reducir la cantidad total de paneles requeridos, disminuyendo el área de instalación necesaria respecto a configuraciones con paneles de menor capacidad.

De esta manera, el sistema fotovoltaico propuesto resulta viable desde el punto de vista físico debido a que el área requerida puede ser fácilmente implementada dentro de las condiciones típicas de infraestructura presentes en conjuntos residenciales tipo VIS.

4.5. Selección de equipos principales

4.5.1. Paneles solares

La selección de los equipos principales del sistema fotovoltaico se realizó considerando criterios de eficiencia, confiabilidad, disponibilidad en el mercado colombiano, compatibilidad entre componentes y relación costo–beneficio, con el fin de garantizar un funcionamiento adecuado del sistema bajo las condiciones de operación definidas para el proyecto.

Asimismo, se priorizó la utilización de equipos ampliamente implementados en aplicaciones residenciales y comerciales, permitiendo facilitar procesos de mantenimiento, reposición y soporte técnico.

Característica	**Valor**
Tipo de panel	Monocristalino
Potencia nominal	550 W
Eficiencia	20% – 22%
Voltaje nominal	~41 V
Corriente nominal	~13 A
Vida útil estimada	25 años
Cantidad requerida	8 paneles

Tabla 27. Paneles solares.

4.5.2. Inversor

Para el sistema fotovoltaico se seleccionan módulos monocristalinos de alta eficiencia, debido a su buen desempeño en condiciones de radiación difusa y nubosidad, características presentes en la ciudad de Bogotá.

El modelo seleccionado corresponde a paneles solares monocristalinos de 550 Wp, debido a su adecuada relación entre capacidad de generación, costo y área requerida de instalación.

La utilización de paneles de alta potencia permite reducir la cantidad total de módulos necesarios, disminuyendo estructura de soporte, conexiones eléctricas y espacio de instalación.

Característica	**Valor**
Tipo	Off-grid

Potencia nominal	5 kW
Voltaje de baterías	48 V
Tipo de salida	Monofásica 120/220 V
Controlador MPPT	Integrado

Tabla 28. Inversor del sistema.

4.5.3. Protecciones eléctricas

El inversor constituye el elemento encargado de convertir la corriente continua generada por los paneles solares en corriente alterna utilizable para las cargas del sistema.

Debido a que el sistema operará bajo una configuración off-grid con almacenamiento energético, se requiere un inversor híbrido que permita gestionar simultáneamente:

- Generación fotovoltaica
- Carga y descarga de baterías
- Alimentación de cargas AC

Considerando la potencia estimada del sistema y posibles márgenes de crecimiento, se selecciona un inversor de:

Protección	**Función**
Interruptores termomagnéticos DC	Protección de paneles y baterías
Interruptores termomagnéticos AC	Protección de cargas
Fusibles DC	Protección contra sobre corriente
DPS / SPD	Protección contra sobretensiones
Sistema de puesta a tierra	Protección de personas y equipos

Tabla 29. Protecciones eléctricas.

La selección de un inversor de 5 kW proporciona capacidad suficiente para alimentar las cargas previstas y garantizar estabilidad operativa del sistema.

4.5.4. Estructura de montaje

Las protecciones eléctricas son fundamentales para garantizar la seguridad del sistema fotovoltaico y proteger los equipos frente a fallas eléctricas, cortocircuitos, sobretensiones o sobre corrientes.

Para el presente proyecto se consideran las siguientes protecciones:

Característica	Valor
Tipo de estructura	Fija
Material	Aluminio / Acero galvanizado
Tipo de instalación	Sobre cubierta
Resistencia	Intemperie y corrosión

Tabla 30. Estructura de montaje.

La incorporación de estos elementos permite garantizar condiciones adecuadas de seguridad y confiabilidad durante la operación del sistema.

4.5.5. Cableado

La estructura de montaje permite la fijación segura de los módulos fotovoltaicos sobre la cubierta del conjunto residencial.

Para el proyecto se selecciona una estructura fija fabricada en aluminio anodizado o acero galvanizado, materiales que presentan alta resistencia a la corrosión y adecuada durabilidad en ambientes exteriores.

Asimismo, el dimensionamiento del cableado se realiza considerando la corriente de operación y la reducción de pérdidas eléctricas dentro del sistema.

La utilización de conductores adecuados contribuye a mejorar la eficiencia energética y garantizar condiciones seguras de operación del sistema fotovoltaico.

4.6. Producción estimada del sistema

4.6.1. Generación diaria

La generación diaria estimada corresponde a la cantidad de energía que el sistema puede producir en un día promedio bajo las condiciones de radiación solar consideradas para Bogotá.

Sustituyendo los valores definidos:

$$E_d = 3.85 \times 4.0 \times 0.80 = 12.32\ kWh/día$$

Generación diaria estimada: ≈ 12,32 kWh/día

Este valor permite cubrir la demanda energética diaria estimada del sistema de iluminación de las zonas comunes.

4.6.2. Generación mensual

La generación mensual estimada se obtiene a partir de la producción diaria promedio del sistema.

$$E_m = 12.32 \times 30 = 369.6\ kWh/mes$$

Generación mensual estimada: ≈ 369,6 kWh/mes

UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

La generación mensual proyectada resulta superior al consumo energético mensual estimado de 346,8 kWh/mes, proporcionando un margen adicional que permite compensar variaciones climáticas y posibles pérdidas operativas adicionales.

4.6.3. Generación anual

a producción anual estimada del sistema se calcula considerando la generación promedio mensual durante los doce meses del año.

$$E_a = 369.6 \times 12 = 4435.2\ kWh/año$$

Generación anual estimada: ≈ 4.435,2 kWh/año

La generación energética anual proyectada evidencia la capacidad del sistema para suplir de manera continua la demanda de iluminación de las zonas comunes del conjunto residencial.

Asimismo, la implementación de estrategias de eficiencia energética permitió reducir considerablemente la capacidad requerida del sistema fotovoltaico, optimizando la relación entre generación energética, capacidad instalada y costos de implementación.

De esta manera, el sistema fotovoltaico propuesto presenta una capacidad de generación adecuada para satisfacer las necesidades energéticas definidas dentro del proyecto, garantizando condiciones favorables de funcionamiento bajo las condiciones climáticas de Bogotá.

4.7. Distribución e integración eléctrica

La distribución e integración eléctrica del sistema fotovoltaico comprende la forma en que los diferentes componentes del sistema se interconectan para garantizar el suministro de energía hacia las cargas de iluminación de las zonas comunes del conjunto residencial.

El sistema propuesto opera bajo una configuración off-grid con almacenamiento energético, permitiendo que la energía generada por los paneles solares sea utilizada directamente por las cargas o almacenada en baterías para su utilización posterior cuando no exista generación solar.

La integración eléctrica se diseña considerando criterios de seguridad, confiabilidad y facilidad de operación, permitiendo una adecuada protección de los equipos y garantizando condiciones seguras para el funcionamiento del sistema.

4.8. Evaluación técnica del sistema

La evaluación técnica del sistema fotovoltaico permite analizar las condiciones de funcionamiento, desempeño, confiabilidad y requerimientos operativos de la solución propuesta para el suministro de energía en las zonas comunes del conjunto residencial.

El sistema diseñado se basa en una configuración off-grid con almacenamiento energético, complementada con estrategias de eficiencia energética orientadas a reducir el consumo eléctrico y optimizar el dimensionamiento del sistema.

La combinación entre generación solar, almacenamiento en baterías y tecnologías de iluminación eficiente permite plantear una solución técnicamente viable para aplicaciones residenciales tipo VIS en la ciudad de Bogotá.

4.8.1. Ventajas técnicas

El sistema fotovoltaico propuesto presenta diversas ventajas técnicas asociadas a su funcionamiento, eficiencia y capacidad de adaptación a las condiciones del proyecto.

Entre las principales ventajas se destacan:

Ventaja	**Descripción**
Reducción del consumo de red eléctrica	Disminuye la dependencia energética de la red convencional
Aprovechamiento de energía renovable	Utiliza radiación solar como fuente de generación
Funcionamiento autónomo	Capacidad de operación mediante almacenamiento energético
Integración con iluminación eficiente	Uso de sensores y luminarias LED de bajo consumo
Bajo nivel de ruido	Operación silenciosa frente a otras tecnologías de generación
Escalabilidad	Posibilidad de ampliación futura del sistema
Reducción de pérdidas por cableado	Uso de luminarias autónomas en parqueaderos

Tabla 31. Ventajas técnicas.

Adicionalmente, la implementación de sensores de movimiento y luminarias LED de alta eficiencia permitió reducir considerablemente la demanda energética del sistema, optimizando la capacidad requerida de generación y almacenamiento.

El uso de módulos monocristalinos también representa una ventaja técnica importante, debido a su mejor desempeño en condiciones de radiación difusa y nubosidad presentes en Bogotá.

4.8.2. Limitaciones

A pesar de las ventajas identificadas, el sistema fotovoltaico también presenta algunas limitaciones técnicas asociadas principalmente a las condiciones de operación y a las características propias de los sistemas off-grid.

Entre las principales limitaciones se encuentran:

Limitación	Descripción
Dependencia de la radiación solar	La generación energética depende de las condiciones climáticas
Variación de generación	La producción energética puede disminuir en días de alta nubosidad
Costo del almacenamiento energético	Las baterías representan una parte importante de la inversión
Espacio de instalación	Se requiere disponibilidad de área en cubierta
Pérdidas energéticas	Existen pérdidas asociadas al sistema eléctrico y almacenamiento

Tabla 32. Limitaciones.

Asimismo, debido a que el sistema opera con almacenamiento energético, el desempeño del banco de baterías influye directamente en la continuidad y estabilidad del suministro eléctrico hacia las cargas.

No obstante, la implementación de estrategias de eficiencia energética permitió reducir considerablemente estas limitaciones, especialmente aquellas relacionadas con la capacidad requerida del sistema y el costo del almacenamiento.

4.8.3. Vida útil

La vida útil del sistema fotovoltaico depende de las características de los equipos seleccionados, las condiciones de operación y el mantenimiento realizado durante su funcionamiento.

En términos generales, los componentes principales presentan la siguiente vida útil estimada:

Componente	Vida útil aproximada
Paneles solares	25 años
Inversor híbrido	10 – 15 años
Baterías $LiFePO_4$	8 – 15 años
Estructura de montaje	20 – 25 años
Cableado y protecciones	15 – 20 años

Tabla 33. Vida útil.

Los módulos fotovoltaicos presentan la mayor vida útil dentro del sistema, manteniendo niveles adecuados de generación energética incluso después de varios años de operación.

Por su parte, las baterías constituyen el componente con mayor desgaste operativo debido a los ciclos continuos de carga y descarga, razón por la cual pueden requerir reemplazo antes que el resto de los equipos.

4.8.4. Mantenimiento requerido

El sistema fotovoltaico propuesto presenta requerimientos de mantenimiento relativamente bajos en comparación con otros sistemas de generación eléctrica.

Las principales actividades de mantenimiento consideradas son las siguientes:

Actividad	**Frecuencia**
Limpieza de paneles solares	Cada 3 – 6 meses
Verificación de conexiones eléctricas	Semestral
Inspección de protecciones eléctricas	Semestral
Revisión del estado de baterías	Periódica
Verificación del inversor	Anual

Tabla 34. Mantenimiento requerido.

La limpieza de los módulos fotovoltaicos resulta especialmente importante en la ciudad de Bogotá debido a la acumulación de polvo, hollín y material particulado que puede disminuir la eficiencia de generación.

Asimismo, se recomienda realizar inspecciones periódicas del sistema eléctrico para garantizar condiciones seguras de operación y detectar posibles fallas de manera preventiva.

Debido al uso de luminarias LED y baterías de litio, el sistema presenta menores requerimientos de mantenimiento respecto a tecnologías convencionales, mejorando la confiabilidad y continuidad operativa del sistema fotovoltaico.

5. Estudio Administrativo

El estudio administrativo permite definir los aspectos organizacionales, operativos y de gestión necesarios para el desarrollo e implementación del sistema fotovoltaico propuesto para las zonas comunes del conjunto residencial tipo VIS.

Este capítulo tiene como finalidad establecer la estructura básica requerida para la ejecución, operación y mantenimiento del sistema, identificando los recursos humanos necesarios, las responsabilidades asociadas al proyecto y los procesos relacionados con la instalación y funcionamiento de la solución energética planteada.

Asimismo, el estudio administrativo contempla aspectos relacionados con la gestión operativa del sistema fotovoltaico, incluyendo actividades de mantenimiento, monitoreo y control, con el propósito de garantizar condiciones adecuadas de funcionamiento, seguridad y continuidad del servicio.

De igual manera, se consideran elementos normativos y de seguridad aplicables a instalaciones eléctricas y sistemas fotovoltaicos, permitiendo que la solución propuesta se desarrolle bajo criterios técnicos y regulatorios acordes con el contexto del proyecto.

En este sentido, el estudio administrativo constituye un componente fundamental para evaluar la viabilidad integral del sistema fotovoltaico, complementando los análisis técnicos y económicos desarrollados en los capítulos anteriores.

5.1. Estructura organizacional del proyecto

La estructura organizacional del proyecto define los roles, responsabilidades y niveles de coordinación necesarios para el desarrollo, implementación y seguimiento del sistema fotovoltaico propuesto para las zonas comunes de los conjuntos residenciales.

Para el presente proyecto se adopta un enfoque basado en los lineamientos de la gestión de proyectos establecidos por el Project Management Institute, orientado a garantizar una adecuada planificación, ejecución, control y cierre de las actividades asociadas al sistema fotovoltaico.

Bajo este enfoque, la estructura organizacional se plantea de manera funcional, permitiendo establecer una distribución clara de responsabilidades entre los diferentes actores involucrados en el proyecto.



Imagen 7. Estructura organizacional.

5.2. Recursos humanos requeridos

La implementación y operación del sistema fotovoltaico requiere la participación de personal técnico con conocimientos en sistemas eléctricos, energías renovables y mantenimiento de instalaciones fotovoltaicas.

La definición de los recursos humanos necesarios permite establecer las responsabilidades operativas y técnicas asociadas al desarrollo del proyecto, garantizando una adecuada ejecución de las actividades relacionadas con diseño, instalación, supervisión y mantenimiento del sistema.

Debido a que el proyecto corresponde a una solución fotovoltaica de escala residencial para zonas comunes de un conjunto tipo VIS, la cantidad de personal requerido es relativamente reducida, permitiendo una gestión operativa eficiente y técnicamente viable.

5.2.1. Personal técnico

Para el desarrollo e implementación del sistema fotovoltaico se considera la participación del siguiente personal técnico:

Cargo	**Perfil requerido**	**Función general**
Director del proyecto	Ingeniero especialista en gestión de proyectos	Dirección general, planificación y control del proyecto

Ingeniero diseñador	Profesional con conocimientos en sistemas fotovoltaicos y diseño eléctrico	Diseño y supervisión técnica
Ingeniero comercial	Profesional con conocimiento en sistemas eléctricos y fotovoltaicos especialista en ventas	Ventas de proyectos
Técnico electricista	Personal técnico certificado en instalaciones eléctricas	Instalación y conexión del sistema
Auxiliar técnico	Apoyo operativo en montaje e instalación	Soporte en actividades de campo

Tabla 35. Personal técnico.

El ingeniero electricista o eléctrico será el responsable del análisis técnico y validación del sistema fotovoltaico, asegurando el cumplimiento de criterios de diseño, seguridad y normatividad aplicable.

El técnico electricista participará directamente en las actividades de instalación, montaje y conexión de los componentes eléctricos del sistema.

Por su parte, el auxiliar técnico brindará apoyo en labores operativas relacionadas con manipulación de equipos, estructura de montaje y canalización.

5.2.2. Funciones y responsabilidades

La definición de funciones y responsabilidades permite establecer una adecuada distribución de actividades dentro del proyecto, facilitando la coordinación operativa y el control de las tareas asociadas al sistema fotovoltaico.

A continuación, se presentan las principales responsabilidades de cada cargo:

Cargo	**Funciones y responsabilidades**
Director del proyecto	Coordinar la ejecución general del proyecto, supervisar cronogramas, administrar recursos y garantizar el cumplimiento técnico y financiero.
Ingeniero diseñador	Realizar el diseño eléctrico y fotovoltaico del sistema, elaborar planos, cálculos técnicos y supervisar la correcta implementación del proyecto.
Ingeniero comercial	Gestionar clientes, elaborar propuestas comerciales, realizar seguimiento de ventas y coordinar procesos de contratación del servicio.
Técnico electricista	Ejecutar la instalación eléctrica, conexión de equipos, montaje de protecciones y puesta en funcionamiento del sistema fotovoltaico.

Auxiliar técnico	Apoyar las actividades de montaje, transporte de materiales, instalación de estructuras y asistencia operativa en campo.

Tabla 36. Funciones y responsabilidades.

La asignación clara de responsabilidades permite mejorar la organización del proyecto y garantizar condiciones adecuadas de operación, mantenimiento y seguridad durante el funcionamiento del sistema fotovoltaico.

5.3. Normatividad aplicable

La implementación de sistemas fotovoltaicos en instalaciones residenciales requiere el cumplimiento de diferentes normas y reglamentos técnicos orientados a garantizar condiciones adecuadas de seguridad eléctrica, calidad de instalación y funcionamiento del sistema.

En el presente proyecto se consideran las principales disposiciones normativas aplicables en Colombia para sistemas eléctricos de baja tensión e instalaciones fotovoltaicas, las cuales sirven como referencia para el diseño, selección de equipos e integración eléctrica del sistema propuesto.

Entre las principales normas y reglamentos aplicables se encuentran:

Norma / Reglamento	**Aplicación dentro del proyecto**
RETIE (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas)	Establece condiciones de seguridad para instalaciones eléctricas
NTC 2050	Define criterios técnicos para diseño e instalación eléctrica
RETILAP	Regula condiciones de iluminación y eficiencia energética
Resoluciones CREG	Lineamientos relacionados con generación y energía eléctrica
Normas IEC para sistemas fotovoltaicos	Referencia técnica para equipos y componentes solares
Normativa UPME	Referencias para implementación de energías renovables

Tabla 37. Normatividad aplicable.

El Ministerio de Minas y Energía, mediante el RETIE, establece los requisitos mínimos de seguridad que deben cumplir las instalaciones eléctricas, incluyendo sistemas de generación fotovoltaica, protecciones eléctricas, puesta a tierra y condiciones de operación segura.

Por su parte, la norma NTC 2050 proporciona lineamientos relacionados con conductores eléctricos, protecciones, canalizaciones y métodos de instalación aplicables a sistemas eléctricos de baja tensión.

Asimismo, el RETILAP establece criterios relacionados con niveles adecuados de iluminación y eficiencia energética, aspectos relevantes para el diseño de las zonas comunes del conjunto residencial.

Adicionalmente, se consideran referencias técnicas internacionales basadas en normas IEC aplicables a módulos fotovoltaicos, inversores, baterías y componentes eléctricos utilizados en sistemas solares.

El cumplimiento de estas normas permite garantizar que el sistema fotovoltaico propuesto opere bajo condiciones adecuadas de seguridad, confiabilidad y desempeño técnico, contribuyendo a una implementación más segura y eficiente dentro del conjunto residencial.

5.4. Seguridad y gestión del riesgo

La seguridad y gestión del riesgo constituyen aspectos fundamentales dentro de la implementación y operación del sistema fotovoltaico, debido a que permiten prevenir accidentes, proteger los equipos instalados y garantizar condiciones seguras para los usuarios y el personal técnico encargado del sistema.

La instalación propuesta involucra componentes eléctricos, estructuras metálicas y sistemas de almacenamiento energético, por lo cual es necesario identificar los principales riesgos asociados al proyecto y establecer medidas básicas de control y prevención.

Entre los riesgos más relevantes asociados al sistema fotovoltaico se encuentran:

Riesgo identificado	**Posible afectación**	**Medida de control**
Contacto eléctrico	Lesiones al personal	Uso de protecciones eléctricas y procedimientos seguros
Cortocircuitos	Daño de equipos	Interruptores y fusibles de protección
Sobretensiones	Fallas en inversor o baterías	Instalación de DPS/SPD
Trabajo en alturas	Riesgo de caídas	Uso de elementos de protección personal
Sobrecalentamiento	Disminución de eficiencia o fallas	Adecuada ventilación y mantenimiento
Manipulación de baterías	Riesgo eléctrico y térmico	Supervisión técnica y procedimientos de seguridad

Tabla 38. Seguridad y gestión del riesgo.

Para reducir estos riesgos, el sistema incorpora diferentes elementos de protección eléctrica, incluyendo interruptores termomagnéticos, fusibles, dispositivos de protección contra sobretensiones y sistema de puesta a tierra.

Asimismo, durante las actividades de instalación y mantenimiento se deben aplicar procedimientos básicos de seguridad industrial y trabajo seguro, especialmente en labores realizadas sobre cubierta y en manipulación de equipos eléctricos.

Adicionalmente, se recomienda que las actividades técnicas relacionadas con instalación, mantenimiento y verificación operativa sean ejecutadas por personal capacitado en sistemas eléctricos y energías renovables.

Desde el enfoque de gestión de proyectos basado en los lineamientos del Project Management Institute, la gestión del riesgo permite identificar, analizar y controlar posibles situaciones que puedan afectar el desempeño técnico, operativo o administrativo del proyecto.

En este sentido, la implementación de medidas de seguridad y control contribuye a garantizar un funcionamiento confiable del sistema fotovoltaico, reduciendo la probabilidad de fallas operativas y fortaleciendo las condiciones de seguridad para la operación del sistema dentro del conjunto residencial.

5.5. Viabilidad administrativa

La viabilidad administrativa del proyecto se relaciona con la capacidad organizacional y operativa requerida para implementar, supervisar y mantener el sistema fotovoltaico propuesto dentro del conjunto residencial.

A partir del análisis desarrollado en el presente capítulo, se evidencia que la solución planteada puede ser administrada de manera adecuada mediante una estructura organizacional básica, apoyada en personal técnico especializado y procedimientos operativos relativamente simples.

El sistema fotovoltaico diseñado presenta características que favorecen su viabilidad administrativa, entre las cuales se destacan:

- Bajo requerimiento de personal operativo permanente
- Actividades de mantenimiento preventivo de baja complejidad
- Operación automatizada del sistema
- Integración sencilla con el tablero de zonas comunes
- Uso de equipos comerciales disponibles en el mercado colombiano

Asimismo, la implementación de estrategias de eficiencia energética permitió reducir la capacidad requerida del sistema, disminuyendo también las exigencias operativas y de mantenimiento asociadas a la instalación fotovoltaica.

Desde el punto de vista organizacional, la administración del conjunto residencial puede asumir la supervisión general del sistema, apoyándose en personal técnico para actividades especializadas de mantenimiento e inspección periódica.

Adicionalmente, la utilización de tecnologías LED, sensores de movimiento y luminarias autónomas contribuye a reducir costos operativos y necesidades de intervención técnica frecuente, mejorando la sostenibilidad administrativa del proyecto.

Por otra parte, el cumplimiento de normativas eléctricas y la incorporación de medidas básicas de seguridad permiten fortalecer las condiciones de operación segura y confiable del sistema fotovoltaico.

En este sentido, se concluye que el proyecto presenta condiciones favorables de viabilidad administrativa, debido a que su implementación y operación no requieren estructuras organizacionales complejas ni altos niveles de intervención operativa permanente, facilitando su aplicación dentro del contexto de conjuntos residenciales tipo VIS en la ciudad de Bogotá.

6. Estudio Económico – Financiero

El estudio económico–financiero tiene como finalidad evaluar la viabilidad económica de la implementación del sistema fotovoltaico propuesto para las zonas comunes del conjunto residencial, considerando los costos de inversión, operación, mantenimiento y los beneficios derivados de la reducción del consumo de energía eléctrica convencional.

Este análisis permite determinar el impacto financiero de la solución planteada, identificando el nivel de ahorro energético y económico que puede obtenerse mediante la integración de estrategias de eficiencia energética y generación solar fotovoltaica.

A diferencia de un enfoque basado únicamente en la instalación de paneles solares, el presente proyecto incorpora previamente medidas de optimización energética, tales como sensores de movimiento, luminarias LED de alta eficiencia y sistemas autónomos de iluminación exterior, permitiendo reducir significativamente la demanda energética antes del dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

La implementación de estas estrategias contribuye a disminuir la capacidad requerida de generación y almacenamiento energético, reduciendo costos de inversión y mejorando la viabilidad financiera del proyecto.

Asimismo, el estudio económico contempla el análisis de costos asociados a equipos principales, instalación, operación y mantenimiento del sistema, así como la estimación del ahorro económico generado por la disminución del consumo de energía proveniente de la red eléctrica convencional.

De igual manera, este capítulo analiza indicadores financieros básicos relacionados con el retorno de inversión y la sostenibilidad económica del proyecto, permitiendo evaluar la factibilidad de implementación de este tipo de soluciones en conjuntos residenciales tipo VIS en la ciudad de Bogotá.

Finalmente, el análisis financiero permite proyectar el potencial de crecimiento y escalabilidad del modelo propuesto, considerando la posibilidad de adaptar este tipo de soluciones energéticas a otros conjuntos residenciales y diferentes segmentos del sector habitacional.

6.1. Costos de inversión inicial

Los costos de inversión inicial corresponden al conjunto de recursos económicos necesarios para la implementación del sistema fotovoltaico propuesto para las zonas comunes del conjunto residencial.

Dentro de esta inversión se consideran los costos asociados a la adquisición de equipos principales, componentes eléctricos, estructura de montaje, instalación y mano de obra requerida para la puesta en funcionamiento del sistema.

El análisis de inversión se desarrolla tomando como referencia precios comerciales disponibles en el mercado colombiano, considerando equipos con características técnicas adecuadas para aplicaciones residenciales y una relación equilibrada entre calidad, eficiencia y costo.

Asimismo, la implementación de estrategias de eficiencia energética previamente desarrolladas permitió reducir significativamente la capacidad requerida del sistema fotovoltaico, disminuyendo la cantidad de equipos necesarios y optimizando el costo total de inversión del proyecto.

En este sentido, el análisis de costos iniciales permite establecer una base económica para la evaluación financiera del sistema y determinar su viabilidad de implementación dentro del contexto de conjuntos residenciales tipo VIS en la ciudad de Bogotá.

6.1.1. Costo de paneles solares

Los paneles solares constituyen el principal componente del sistema fotovoltaico, debido a que son los encargados de transformar la energía solar en energía eléctrica utilizable para alimentar las cargas de iluminación del conjunto residencial.

Para el presente proyecto se seleccionan módulos fotovoltaicos monocristalinos de 550 Wp, considerando criterios de eficiencia, disponibilidad comercial, desempeño en condiciones de radiación difusa y relación costo–beneficio para aplicaciones residenciales.

Con el propósito de garantizar un margen adicional de generación energética y compensar posibles pérdidas asociadas a condiciones climáticas, suciedad, degradación natural de los módulos y variaciones operativas del sistema, se plantea un sobredimensionamiento moderado del arreglo fotovoltaico mediante la instalación de un panel adicional respecto a la capacidad mínima calculada.

Esta estrategia permite mejorar la estabilidad energética del sistema y garantizar un suministro más confiable para las cargas de iluminación del conjunto residencial.

A continuación, se presenta el costo estimado de los módulos fotovoltaicos seleccionados:

Concepto	Cantidad	Valor unitario (COP)	Valor total (COP)
Panel solar monocristalino 550 W	8	$450.000	$3.600.000

Tabla 39. Costo de paneles solares.

6.1.2. Costo del inversor

El inversor es el equipo encargado de convertir la energía generada por los paneles solares en energía utilizable para las cargas eléctricas del sistema. Adicionalmente, en sistemas off-grid permite gestionar la carga y descarga del banco de baterías.

Para el presente proyecto se selecciona un inversor híbrido/off-grid de **5 kW**, considerando la capacidad del sistema y la posibilidad de futuras ampliaciones.

A continuación, se presenta el costo estimado del equipo:

Concepto	Cantidad	Valor unitario (COP)	Valor total (COP)
Inversor híbrido/off-grid 5 kW	1	$3.900.000	$3.900.000

Tabla 40. Costo de inversor.

6.1.3. Costo banco de baterías

El banco de baterías permite almacenar la energía generada por el sistema fotovoltaico para su utilización en los periodos donde no existe generación solar, principalmente durante la noche.

Para el presente proyecto se seleccionan baterías de litio tipo $LiFePO_4$, debido a su mayor vida útil, mejor eficiencia y menor necesidad de mantenimiento frente a otras tecnologías convencionales.

A continuación, se presenta el costo estimado del banco de baterías:

Concepto	**Cantidad**	**Valor unitario (COP)**	**Valor total (COP)**
Batería de litio $LiFePO_4$ 48V	1	$8.500.000	$8.500.000

Tabla 41. Costo banco de baterías.

6.1.4. Costos de estructura y cableado

La estructura de montaje y el sistema de cableado permiten la correcta instalación e interconexión de los componentes del sistema fotovoltaico, garantizando condiciones adecuadas de soporte y funcionamiento.

Para el presente proyecto se plantea la utilización de dos estructuras independientes para grupos de 4 paneles solares cada una, permitiendo reducir costos de fabricación e instalación, así como facilitar el montaje sobre la cubierta del conjunto residencial.

Asimismo, se considera cableado especializado para aplicaciones fotovoltaicas y accesorios de conexión necesarios para el sistema.

A continuación, se presentan los costos estimados:

Concepto	**Cantidad**	**Valor estimado (COP)**	**Concepto**
Estructura metálica para 4 paneles	2	$650.000	Estructura metálica para 4 paneles
Cableado y conectores	1	$1.200.000	Cableado y conectores
Total	—	**$2.500.000**	

Tabla 42. Costo de estructura y cableado.

6.1.5. Costos de protecciones eléctricas

Las protecciones eléctricas permiten garantizar condiciones adecuadas de seguridad y funcionamiento del sistema fotovoltaico, protegiendo los equipos frente a sobrecorrientes, cortocircuitos, sobretensiones y posibles fallas eléctricas.

Para el presente proyecto se consideran protecciones tanto en corriente continua (DC) como en corriente alterna (AC), incluyendo elementos de protección para paneles solares, baterías, inversor y cargas del sistema.

A continuación, se presentan los costos estimados de las protecciones eléctricas:

Elemento	**Especificación**	**Cantidad**	**Precio Unitario (COP)**	**Precio Total (COP)**
Fusibles DC fotovoltaicos	15 A / 1000 VDC	2	$15.000	$30.000
Breaker principal DC	2 Polos / 32 A	1	$90.000	$90.000
DPS DC	2 Polos / 600 VDC	1	$99.000	$100.000
Breaker de baterías	125 A / DC	1	$80.000	$80.000
Breakers AC	Bipolar / 32 A	2	$35.000	$70.000
Interruptor diferencial (RCD)	40 A / 30 mA	1	$110.000	$110.000
DPS AC	Bipolar Clase II	1	$120.000	$120.000
TOTAL PROTECCIONES	—	—	—	**$600.000**

Tabla 43. Costo de protecciones eléctricas.

6.1.6. Costos de luminarias

Las luminarias corresponden a uno de los componentes principales del sistema de iluminación propuesto para las zonas comunes del conjunto residencial.

Para el presente proyecto se consideran luminarias LED de alta eficiencia para zonas interiores y luminarias solares autónomas para parqueaderos exteriores, permitiendo reducir el consumo energético y disminuir costos asociados a cableado e infraestructura eléctrica.

A continuación, se presentan los costos estimados de luminarias requeridas para cada instalación:

Área	**Tipo de luminaria**	**Cantidad**	**Valor unitario (COP)**	**Valor total (COP)**
Pasillos y escaleras	Plafón LED circular 12 W con sensor	120	$35.000	$4.200.000
Parqueaderos exteriores	Reflector solar autónomo 50 W	10	$450.000	$4.500.000
Portería / Lobby	Panel LED 18 W	8	$40.000	$320.000
Salón social	Panel LED 60x60 36 W	6	$85.000	$510.000

Perímetro de seguridad	Reflector LED 30 W	8	$95.000	$760.000
TOTAL LUMINARIAS	—	—	—	**$10.290.000**

Tabla 44. Costo de luminarias.

6.1.7. Costos de herramienta

Para la ejecución de las actividades de instalación, montaje y puesta en funcionamiento del sistema fotovoltaico, se requiere la utilización de herramientas y equipos básicos de trabajo eléctrico y mecánico.

Estas herramientas permiten garantizar una adecuada instalación de los componentes del sistema, facilitando actividades de montaje estructural, conexión eléctrica, fijación de paneles y verificación operativa del sistema.

A continuación, se presentan las principales herramientas requeridas para la implementación del proyecto:

Herramienta / Equipo	**Cantidad**	**Valor estimado (COP)**
Taladro percutor industrial	1	$450.000
Juego de herramientas eléctricas	1	$350.000
Multímetro digital	1	$180.000
Pinza amperimétrica	1	$220.000
Escalera tipo industrial	1	$400.000
Equipo de seguridad y EPP	2	$300.000
Ponchadora y herramientas MC4	1	$150.000
Pulidora / Herramienta de corte	1	$250.000
Herramienta menor y consumibles	1	$300.000
TOTAL ESTIMADO	—	**$2.600.000**

Tabla 45. Costo de herramientas.

6.1.8. Costos de mano de obra

Los costos de mano de obra corresponden al personal técnico y administrativo requerido para la planificación, diseño, supervisión e instalación del sistema fotovoltaico dentro del conjunto residencial.

Para el presente proyecto se considera la participación del personal definido en el estudio administrativo, garantizando una adecuada ejecución técnica y operativa del sistema.

A continuación, se presentan los costos estimados de mano de obra:

Cargo / Actividad	Cantidad	Valor estimado (COP)
Director del proyecto	1	$5.000.000
Ingeniero diseñador	1	$3.000.000
Ingeniero comercial	1	$3.000.000
Técnico electricista	1	$2.000.000
Auxiliar técnico	1	$1.700.000
TOTAL	—	**$14.700.000**

Tabla 46. Costo de mano de obra.

6.1.9. Costo certificado RETIE

La certificación RETIE corresponde al proceso de inspección y validación técnica requerido para verificar el cumplimiento de las condiciones de seguridad eléctrica establecidas en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas en Colombia.

Este proceso permite garantizar que la instalación fotovoltaica y el sistema de iluminación cumplen con los requisitos técnicos y normativos aplicables para su correcta operación y puesta en servicio.

A continuación, se presenta el costo estimado de certificación para cada instalación:

Concepto	Cantidad	Valor estimado (COP)
Inspección y certificación RETIE	1	$2.000.000
TOTAL CERTIFICACIÓN RETIE	—	**$2.000.000**

Tabla 47. Costo certificado RETIE.

6.1.10. Costo total estimado del sistema

A partir de los costos asociados a equipos principales, protecciones eléctricas, herramientas y mano de obra, se obtiene el costo total estimado para la implementación del sistema fotovoltaico propuesto para las zonas comunes del conjunto residencial.

El análisis económico realizado considera precios promedio de mercado en Colombia para el periodo 2026, tomando como referencia equipos y materiales utilizados comúnmente en instalaciones fotovoltaicas residenciales.

A continuación, se presenta el resumen general de inversión inicial del sistema:

Concepto	Valor total (COP)
Paneles solares	$3.600.000
Inversor híbrido/off-grid	$3.900.000

Banco de baterías	$8.500.000
Estructura y cableado	$2.500.000
Protecciones eléctricas	$600.000
Luminarias	$10.290.000
Herramientas	$2.600.000
Mano de obra	$14.700.000
Certificación RETIE	$2.000.000
TOTAL ESTIMADO DEL SISTEMA	**$48.690.000**

Tabla 48. Costo total estimado del sistema.

El valor total estimado evidencia que la implementación de estrategias de eficiencia energética permitió reducir considerablemente la capacidad requerida del sistema fotovoltaico y, en consecuencia, disminuir los costos de inversión frente al planteamiento inicial del proyecto.

Asimismo, el sistema propuesto presenta una configuración técnicamente viable y económicamente más accesible para aplicaciones en conjuntos residenciales tipo VIS, facilitando su posible implementación y adaptación a otros proyectos residenciales similares.

6.2. Costos administrativos y operativos

Los costos administrativos y operativos corresponden a los recursos necesarios para la gestión, funcionamiento y operación del modelo propuesto para la implementación de soluciones fotovoltaicas en conjuntos residenciales.

Estos costos incluyen elementos relacionados con administración básica, operación técnica, logística y mantenimiento, permitiendo garantizar la continuidad operativa y el adecuado desarrollo de las actividades asociadas al proyecto.

Asimismo, este análisis permite establecer una visión más integral de la viabilidad financiera del modelo, considerando no solamente la inversión técnica del sistema fotovoltaico, sino también los recursos requeridos para su gestión y posible expansión hacia otros proyectos residenciales.

La estimación de estos costos se realiza considerando un esquema operativo básico orientado a una etapa inicial de implementación y crecimiento del modelo de negocio.

6.2.1. Costos administrativos

Los costos administrativos corresponden a los recursos básicos requeridos para la coordinación y gestión operativa del proyecto.

Dentro de estos costos se consideran elementos como espacio de trabajo, equipos de oficina, conectividad y recursos administrativos necesarios para el funcionamiento del modelo propuesto.

A continuación, se presentan los costos administrativos estimados:

Concepto	Valor estimado (COP)
Arriendo oficina pequeña	$2.00.000
Equipos de cómputo	$5.000.000
Escritorios y mobiliario	$3.000.000
TOTAL COSTOS ADMINISTRATIVOS	**$10.000.000**

Tabla 49. Costos administrativos.

6.3. Evaluación financiera del proyecto

La evaluación financiera del proyecto tiene como finalidad analizar la viabilidad económica y el potencial de rentabilidad del modelo de negocio propuesto para la implementación de sistemas fotovoltaicos y soluciones de iluminación eficiente en conjuntos residenciales.

Este análisis se desarrolla considerando los costos de inversión inicial, costos operacionales, proyección de ingresos y comportamiento financiero del proyecto durante un horizonte de evaluación de cinco años.

Asimismo, se realiza la evaluación bajo diferentes escenarios financieros, permitiendo analizar el comportamiento del modelo frente a condiciones optimistas y pesimistas, tanto con financiación externa como mediante inversión con recursos propios.

La evaluación financiera incorpora indicadores como el flujo de fondos, Valor Presente Neto (VPN) y Tasa Interna de Retorno (TIR), permitiendo determinar la capacidad del proyecto para generar rentabilidad y sostenibilidad económica a largo plazo.

De igual manera, el análisis financiero realizado busca establecer la viabilidad del modelo no solo como solución técnica para optimización energética en conjuntos residenciales, sino también como una alternativa empresarial escalable y adaptable a diferentes tipos de proyectos habitacionales.

6.3.1. Inversión inicial

La inversión inicial corresponde a los recursos económicos requeridos para el inicio de operaciones del modelo de negocio propuesto para la implementación de sistemas fotovoltaicos y soluciones de iluminación eficiente en conjuntos residenciales.

Para el presente proyecto, la inversión inicial se plantea considerando la adquisición de materiales, equipos y recursos básicos necesarios para la ejecución de los primeros seis proyectos residenciales, permitiendo establecer una capacidad operativa inicial adecuada para el inicio de actividades comerciales y técnicas.

A continuación, se presenta el resumen de la inversión inicial estimada:

Costos de inversión	Valor año cero (COP)
Material	$292.140.000

Equipos	$5.000.000
Muebles y enseres	$3.000.000
TOTAL INVERSIÓN INICIAL	**$300.140.000**

Tabla 50. Inversión inicial.

Los materiales considerados dentro de la inversión inicial corresponden principalmente a equipos fotovoltaicos, luminarias, protecciones eléctricas y elementos requeridos para la implementación de los primeros proyectos contemplados dentro del modelo de negocio.

Por su parte, los costos asociados a equipos, muebles y enseres corresponden a recursos administrativos y operativos necesarios para el funcionamiento inicial de la empresa.

6.3.2. Costos de producto

Los costos de producto corresponden a los costos directos asociados a la implementación de cada sistema fotovoltaico y de iluminación eficiente desarrollado dentro del modelo de negocio propuesto.

Para el presente análisis financiero se consideran costos relacionados con materiales principales, mano de obra y costos indirectos de fabricación (CIF), contemplando además un incremento anual estimado del 4%, asociado al comportamiento del mercado, inflación y variación de precios de equipos y materiales eléctricos.

Costo de materia prima	
Concepto	**Valor total (COP)**
Paneles solares	$3.600.000
Inversor híbrido/off-grid	$3.900.000
Banco de baterías	$8.500.000
Estructura y cableado	$2.500.000
Protecciones eléctricas	$600.000
Luminarias	$10.290.000
Certificación RETIE	$2.000.000
TOTAL	**$31.390.000**

Tabla 51. Costos de materia prima.

Costo mano de obra		
Cargo / Actividad	**Cantidad**	**Valor estimado (COP)**
Director del proyecto	1	$5.000.000

Ingeniero diseñador	1	$3.000.000
Ingeniero comercial	1	$3.000.000
Técnico electricista	1	$2.000.000
Auxiliar técnico	1	$1.700.000
TOTAL	—	**$14.700.000**

Tabla 52. Costos de mano de obra.

Costo CIF	
Herramientas	$2.600.000
Total	**$2.600.000**

Tabla 53. Costos indirectos de fabricación.

La siguiente proyección de costos será utilizada como base para el desarrollo de los diferentes escenarios financieros planteados dentro del proyecto.

PRODUCTO	**%**	**COSTO UNIDAD AÑO CERO**
COSTO DE MATERIA PRIMA	4,0%	$ 31.390.000
COSTO MANO DE OBRA	4,0%	$ 14.700.000
COSTO CIF	4,0%	$ 2.600.000
TOTAL		**$ 48.690.000**

1	**2**	**3**	**4**	**5**
$ 32.645.600	$ 33.951.424	$ 35.309.481	$ 36.721.860	$ 38.190.735
$ 15.288.000	$ 15.899.520	$ 16.535.501	$ 17.196.921	$ 17.884.798
$ 2.704.000	$ 2.812.160	$ 2.924.646	$ 3.041.632	$ 3.163.298
$ 50.637.600	**$ 52.663.104**	**$ 54.769.628**	**$ 56.960.413**	**$ 59.238.830**

Tabla 54. Costos de fabricación más proyección.

6.3.3. Gastos operacionales

Los gastos operacionales corresponden a los costos administrativos y operativos requeridos para el funcionamiento continuo de la empresa encargada de la implementación de sistemas fotovoltaicos.

Para el presente análisis financiero se consideran gastos relacionados con arrendamiento de oficina, servicios básicos, papelería y otros costos operativos fijos necesarios para el desarrollo de las actividades comerciales y técnicas del proyecto.

Asimismo, se contempla un incremento anual estimado del 4%, asociado al comportamiento de inflación y variación de costos administrativos durante el horizonte de evaluación financiera.

A continuación, se presenta la proyección de gastos operacionales para los cinco años evaluados:

GASTOS	**%**	**COSTO UNIDAD AÑO CERO**
GASTOS ADMIN TOTALES	4,0%	$ 24.000.000,00
COSTOS FIJOS	4,0%	$ 6.000.000,00
TOTAL GASTOS		$ 30.000.000,00

1	**2**	**3**	**4**	**5**
$ 24.960.000,00	$ 25.958.400,00	$ 26.996.736,00	$ 28.076.605,44	$ 29.199.669,66
$ 6.240.000,00	$ 6.489.600,00	$ 6.749.184,00	$ 7.019.151,36	$ 7.299.917,41
$ 31.200.000,00	$ 32.448.000,00	$ 33.745.920,00	$ 35.095.756,80	$ 36.499.587,07

Tabla 55. Gastos operacionales más proyección.

Los valores proyectados serán utilizados como base para el desarrollo de los diferentes escenarios financieros planteados dentro del proyecto.

El incremento anual aplicado permite considerar posibles variaciones económicas y administrativas asociadas al crecimiento operativo del modelo de negocio propuesto.

6.3.4. Producción e ingresos operacionales

La proyección de producción del modelo de negocio se desarrolla considerando una capacidad operativa inicial asociada a la implementación de seis sistemas fotovoltaicos completos durante el año cero, correspondientes a la inversión inicial del proyecto.

A partir del inicio de operación comercial, se plantea la venta de doce instalaciones durante el primer año de funcionamiento, contemplando posteriormente un crecimiento anual estimado del 8% en la cantidad de proyectos ejecutados.

Asimismo, el modelo financiero considera un incremento anual del 4% en el precio de venta de cada instalación, asociado al comportamiento de inflación, variación de precios del mercado y actualización de costos tecnológicos del sector energético.

A continuación, se presenta la proyección de producción e ingresos operacionales para el escenario optimista:

PRODUCTO OPTIMISTA	%	COSTO UNIDAD AÑO CERO
CANTIDADES	8,0%	6
PRECIO	4,0%	$ 58.428.000

COSTO TOTAL DE PRODUCCION		$ 292.140.000
INGRESO OPTIMISTA		$ 350.568.000

1	2	3	4	5
13	14	15	16	18
$ 60.765.120	$ 63.195.725	$ 65.723.554	$ 68.352.496	$ 71.086.596

$ 658.288.800	$ 739.389.980	$ 830.482.826	$ 932.798.310	$ 1.047.719.062
$ 789.946.560	$ 887.267.976	$ 996.579.391	$ 1.119.357.972	$ 1.257.262.874

Tabla 56. Producción optimista más proyección.

A partir del inicio de operación comercial, se plantea la venta de diez instalaciones durante el primer año de funcionamiento, contemplando posteriormente un crecimiento anual estimado del 5% en la cantidad de proyectos ejecutados.

Asimismo, el modelo financiero considera un incremento anual del 4% en el precio de venta de cada instalación, asociado al comportamiento de inflación, variación de precios del mercado y actualización de costos tecnológicos del sector energético.

A continuación, se presenta la proyección de producción e ingresos operacionales para el escenario pesimista:

PRODUCTO PESIMISTA	%	COSTO UNIDAD AÑO CERO
CANTIDADES	5,0%	$ 6
PRECIO	4,0%	$ 58.428.000,00

COSTO TOTAL DE PRODUCCION		$ 292.140.000,00
INGRESO PESIMISTA		$ 350.568.000,00

1	**2**	**3**	**4**	**5**
10	11	11	12	12
$ 60.765.120	$ 63.195.725	$ 65.723.554	$ 68.352.496	$ 71.086.596

$ 506.376.000	$ 552.962.592	$ 603.835.150	$ 659.387.984	$ 720.051.679
$607.651.200	$ 663.555.110	$ 724.602.181	$ 791.265.581	$ 864.062.015

Tabla 57. producción pesimista más proyección.

6.3.5. Préstamo y amortización

Con el fin de fortalecer la capacidad operativa inicial del modelo de negocio propuesto, se plantea la utilización de financiación externa correspondiente al 80% del costo total de inversión inicial del proyecto.

El crédito se proyecta a un plazo de cinco años, con una tasa de interés anual del 12%, contemplando pagos anuales de amortización a capital durante el horizonte de evaluación financiera.

Este esquema de financiación será utilizado tanto para el escenario optimista financiado como para el escenario pesimista financiado, permitiendo analizar el comportamiento financiero del modelo bajo condiciones de apalancamiento externo.

A continuación, se presenta la proyección de amortización del préstamo:

PRESTAMO	$ 240.112.000,00
ABONO CAPITAL (PERIODO 5 AÑOS)	$ 48.022.400,00
TASA	12%

1	**2**	**3**	**4**	**5**
$ 48.022.400	$ 48.022.400	$ 48.022.400	$ 48.022.400,00	$ 48.022.400,00
$ 28.813.440	$ 23.050.752	$ 17.288.064	$ 11.525.376,00	$ 5.762.688,00

Tabla 58. préstamo y amortización.

La disminución progresiva de los intereses corresponde a la reducción anual del saldo de deuda mediante los pagos de amortización realizados durante el periodo de financiamiento.

La utilización de financiación externa permite incrementar la capacidad de operación inicial del proyecto y mejorar el potencial de crecimiento del modelo de negocio propuesto.

6.4. Flujo de fondos

El flujo de fondos permite analizar el comportamiento financiero del modelo de negocio propuesto durante el horizonte de evaluación establecido, considerando ingresos operacionales, costos de producción, gastos operativos, depreciación y obligaciones financieras asociadas al proyecto.

Para el presente estudio se realiza una proyección financiera a cinco años, evaluando diferentes escenarios de comportamiento económico y operativo del modelo de negocio.

Asimismo, el flujo de fondos constituye la base para el cálculo de indicadores financieros como el Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), permitiendo determinar la viabilidad económica y rentabilidad del proyecto.

6.4.1. Escenario optimista financiado

El escenario optimista financiado contempla un comportamiento favorable del modelo de negocio, considerando crecimiento progresivo en la cantidad de instalaciones ejecutadas, incremento anual en el precio de venta y utilización de financiación externa equivalente al 80% de la inversión inicial del proyecto.

Asimismo, este escenario considera condiciones operativas estables y un comportamiento positivo del mercado de soluciones energéticas para conjuntos residenciales, permitiendo una expansión gradual de la capacidad operativa de la empresa.

A continuación, se presenta el flujo de fondos proyectado para el escenario optimista financiado:

ESQUEMA DEL FLUJO DE FONDOS						
	0	1	2	3	4	5
INGRESOS DE OPERACIÓN		$ 789.946.560	$ 887.267.976	$ 996.579.391	$ 1.119.357.972	$ 1.257.262.874
INGRESOS FINANCIEROS						
COSTOS DE OPERACIÓN		$ 689.488.800	$ 771.837.980	$ 864.228.746	$ 967.894.067	$ 1.084.218.649
INTERESES SOBRE CRÉDITOS RECIBIDOS POR EL PROYECTO		$ 28.813.440	$ 23.050.752	$ 17.288.064	$ 11.525.376	$ 5.762.688
DEPRECIACIÓN		$ 60.028.000	$ 60.028.000	$ 60.028.000	$ 60.028.000	$ 60.028.000
GANANCIAS NETAS GRAVABLES		$ 11.616.320	$ 32.351.244	$ 55.034.581	$ 79.910.529	$ 107.253.537
IMPUESTOS DIRECTOS		$ 3.833.386	$ 10.675.911	$ 18.161.412	$ 26.370.475	$ 35.393.667
VALORES DE SALVAMENTO GRAVABLES (POR VENTA DE ACTIVOS)						
IMPUESTO A LA UTILIDAD POR VENTA DE ACTIVOS						
VALOR EN LIBROS DE ACTIVOS VENDIDOS (INGRESO NO GRAVABLE)						
INGRESOS NO GRAVABLES						
COSTOS DE OPERACIÓN NO DEDUCIBLES						
GANANCIAS NETAS		$ 7.782.934	$ 21.675.334	$ 36.873.169	$ 53.540.055	$ 71.859.870
DEPRECIACIÓN	$ 1	$ 60.028.000	$ 60.028.000	$ 60.028.000	$ 60.028.000	$ 60.028.000
VALOR DE SALVAMENTO (ACTIVOS NO VENDIDOS)						
INVERSIONES FINANCIERAS						
COSTOS DE INVERSIÓN	$ 300.140.000					$ -
INGRESOS POR EMISIONES DE BONOS O ACCIONES DEL PROYECTO						
DIVIDENDOS PAGADOS						
CRÉDITOS RECIBIDOS	$ 240.112.000					
AMORTIZACIONES DE CRÉDITOS Y PRÉSTAMOS		$ 48.022.400	$ 48.022.400	$ 48.022.400	$ 48.022.400	$ 48.022.400
FLUJO DE FONDOS NETO	**-$ 60.027.999**	**$ 19.788.534**	**$ 33.680.934**	**$ 48.878.769**	**$ 65.545.655**	**$ 83.865.470**

Imagen 8. Escenario optimista financiado.

Los resultados obtenidos para el escenario optimista financiado evidencian un comportamiento financiero favorable, presentando flujos netos positivos durante el horizonte de evaluación del proyecto.

Asimismo, el uso de financiación externa permite fortalecer la capacidad operativa inicial del modelo de negocio y mejorar la rentabilidad del capital propio mediante el efecto de apalancamiento financiero.

6.4.2. Escenario optimista sin financiación

El escenario optimista sin financiación contempla un comportamiento favorable del modelo de negocio bajo un esquema de inversión realizada completamente con recursos propios, sin utilización de créditos o financiación externa.

Este escenario considera crecimiento progresivo en la cantidad de instalaciones ejecutadas, incremento anual en el precio de venta y condiciones operativas favorables para la expansión gradual de la empresa durante el horizonte de evaluación financiera.

A continuación, se presenta el flujo de fondos proyectado para el escenario optimista sin financiación:

ESQUEMA DEL FLUJO DE FONDOS						
	0	1	2	3	4	5
INGRESOS DE OPERACIÓN		$ 789.946.560	$ 887.267.976	$ 996.579.391	$ 1.119.357.972	$ 1.257.262.874
INGRESOS FINANCIEROS						
COSTOS DE OPERACIÓN		$ 689.488.800	$ 771.837.980	$ 864.228.746	$ 967.894.067	$ 1.084.218.649
INTERESES SOBRE CRÉDITOS RECIBIDOS POR EL PROYECTO		$ -	$ -	$ -	$ -	$ -
DEPRECIACIÓN		$ 60.028.000	$ 60.028.000	$ 60.028.000	$ 60.028.000	$ 60.028.000
GANANCIAS NETAS GRAVABLES		$ 40.429.760	$ 55.401.996	$ 72.322.645	$ 91.435.905	$ 113.016.225
IMPUESTOS DIRECTOS		$ 13.341.821	$ 18.282.659	$ 23.866.473	$ 30.173.849	$ 37.295.354
VALORES DE SALVAMENTO GRAVABLES (POR VENTA DE ACTIVOS)						
IMPUESTO A LA UTILIDAD POR VENTA DE ACTIVOS						
VALOR EN LIBROS DE ACTIVOS VENDIDOS (INGRESO NO GRAVABLE)						
INGRESOS NO GRAVABLES						
COSTOS DE OPERACIÓN NO DEDUCIBLES						
GANANCIAS NETAS		$ 27.087.939	$ 37.119.337	$ 48.456.172	$ 61.262.056	$ 75.720.871
DEPRECIACIÓN		$ 60.028.000	$ 60.028.000	$ 60.028.000	$ 60.028.000	$ 60.028.000
VALOR DE SALVAMENTO (ACTIVOS NO VENDIDOS)						
INVERSIONES FINANCIERAS						
COSTOS DE INVERSIÓN	$ 300.140.000					$ -
INGRESOS POR EMISIONES DE BONOS O ACCIONES DEL PROYECTO						
DIVIDENDOS PAGADOS						
CRÉDITOS RECIBIDOS						
AMORTIZACIONES DE CRÉDITOS Y PRÉSTAMOS		$ -	$ -	$ -	$ -	$ -
FLUJO DE FONDOS NETO	**-$ 300.140.000**	**$ 87.115.939**	**$ 97.147.337**	**$ 108.484.172**	**$ 121.290.056**	**$ 135.748.871**

Imagen 9. Escenario optimista sin financiación.

6.4.3. Escenario pesimista financiado

El escenario pesimista financiado contempla un comportamiento conservador del modelo de negocio, considerando menores niveles de crecimiento comercial, reducción en los ingresos operacionales y condiciones menos favorables del mercado durante el horizonte de evaluación financiera.

Asimismo, este escenario mantiene la utilización de financiación externa equivalente al 80% de la inversión inicial del proyecto, bajo un plazo de cinco años y una tasa de interés anual del 12%.

El análisis realizado permite evaluar la capacidad de sostenibilidad financiera del modelo de negocio bajo condiciones operativas menos favorables y mayores restricciones económicas.

A continuación, se presenta el flujo de fondos proyectado para el escenario pesimista financiado:

ESQUEMA DEL FLUJO DE FONDOS						
	0	1	2	3	4	5
INGRESOS DE OPERACIÓN		$ 607.651.200	$ 663.555.110	$ 724.602.181	$ 791.265.581	$ 864.062.015
INGRESOS FINANCIEROS						
COSTOS DE OPERACIÓN		$ 537.576.000	$ 585.410.592	$ 637.581.070	$ 694.483.741	$ 756.551.266
INTERESES SOBRE CRÉDITOS RECIBIDOS POR EL PROYECTO		$ 28.813.440	$ 23.050.752	$ 17.288.064	$ 11.525.376	$ 5.762.688
DEPRECIACIÓN		$ 60.028.000	$ 60.028.000	$ 60.028.000	$ 60.028.000	$ 60.028.000
GANANCIAS NETAS GRAVABLES		-$ 18.766.240	-$ 4.934.234	$ 9.705.046	$ 25.228.464	$ 41.720.061
IMPUESTOS DIRECTOS		-$ 6.192.859	-$ 1.628.297	$ 3.202.665	$ 8.325.393	$ 13.767.620
VALORES DE SALVAMENTO GRAVABLES (POR VENTA DE ACTIVOS)						
IMPUESTO A LA UTILIDAD POR VENTA DE ACTIVOS						
VALOR EN LIBROS DE ACTIVOS VENDIDOS (INGRESO NO GRAVABLE)						
INGRESOS NO GRAVABLES						
COSTOS DE OPERACIÓN NO DEDUCIBLES						
GANANCIAS NETAS		-$ 12.573.381	-$ 3.305.937	$ 6.502.381	$ 16.903.071	$ 27.952.441
DEPRECIACIÓN		$ 60.028.000	$ 60.028.000	$ 60.028.000	$ 60.028.000	$ 60.028.000
VALOR DE SALVAMENTO (ACTIVOS NO VENDIDOS)						
INVERSIONES FINANCIERAS						
COSTOS DE INVERSIÓN	$ 300.140.000					$ -
INGRESOS POR EMISIONES DE BONOS O ACCIONES DEL PROYECTO						
DIVIDENDOS PAGADOS						
CRÉDITOS RECIBIDOS	$ 240.112.000					
AMORTIZACIONES DE CRÉDITOS Y PRÉSTAMOS		$ 48.022.400	$ 48.022.400	$ 48.022.400	$ 48.022.400	$ 48.022.400
FLUJO DE FONDOS NETO	**-$ 60.028.000**	**-$ 567.781**	**$ 8.699.663**	**$ 18.507.981**	**$ 28.908.671**	**$ 39.958.041**

Imagen 10. Escenario pesimista financiado.

Los resultados obtenidos evidencian que, bajo condiciones menos favorables del mercado y utilizando financiación externa, el modelo de negocio presenta una disminución considerable en la rentabilidad durante los primeros años de operación.

Sin embargo, el flujo de fondos proyectado muestra una recuperación progresiva del comportamiento financiero del proyecto, obteniendo resultados positivos a partir de los años posteriores del horizonte de evaluación.

6.4.4. Escenario pesimista sin financiación

El escenario pesimista sin financiación contempla un comportamiento conservador del modelo de negocio bajo un esquema de operación financiado completamente con recursos propios, sin utilización de créditos o financiación externa.

Este escenario considera menores niveles de crecimiento comercial, ingresos operacionales más bajos y condiciones menos favorables del mercado durante el horizonte de evaluación financiera del proyecto.

El análisis realizado permite evaluar la sostenibilidad económica del modelo de negocio bajo condiciones operativas restrictivas y sin apoyo de apalancamiento financiero externo.

A continuación, se presenta el flujo de fondos proyectado para el escenario pesimista sin financiación:

ESQUEMA DEL FLUJO DE FONDOS						
	0	1	2	3	4	5
INGRESOS DE OPERACIÓN		$ 607.651.200	$ 663.555.110	$ 724.602.181	$ 791.265.581	$ 864.062.015
INGRESOS FINANCIEROS						
COSTOS DE OPERACIÓN		$ 537.576.000	$ 585.410.592	$ 637.581.070	$ 694.483.741	$ 756.551.266
INTERESES SOBRE CRÉDITOS RECIBIDOS POR EL PROYECTO		$ -	$ -	$ -	$ -	$ -
DEPRECIACIÓN		$ 60.028.000	$ 60.028.000	$ 60.028.000	$ 60.028.000	$ 60.028.000
GANANCIAS NETAS GRAVABLES		$ 10.047.200	$ 18.116.518	$ 26.993.110	$ 36.753.840	$ 47.482.749
IMPUESTOS DIRECTOS		$ 3.315.576	$ 5.978.451	$ 8.907.726	$ 12.128.767	$ 15.669.307
VALORES DE SALVAMENTO GRAVABLES (POR VENTA DE ACTIVOS)						
IMPUESTO A LA UTILIDAD POR VENTA DE ACTIVOS						
VALOR EN LIBROS DE ACTIVOS VENDIDOS (INGRESO NO GRAVABLE)						
INGRESOS NO GRAVABLES						
COSTOS DE OPERACIÓN NO DEDUCIBLES						
GANANCIAS NETAS		$ 6.731.624	$ 12.138.067	$ 18.085.384	$ 24.625.073	$ 31.813.442
DEPRECIACIÓN		$ 60.028.000	$ 60.028.000	$ 60.028.000	$ 60.028.000	$ 60.028.000
VALOR DE SALVAMENTO (ACTIVOS NO VENDIDOS)						
INVERSIONES FINANCIERAS						
COSTOS DE INVERSIÓN	$ 300.140.000					$ -
INGRESOS POR EMISIONES DE BONOS O ACCIONES DEL PROYECTO						
DIVIDENDOS PAGADOS						
CRÉDITOS RECIBIDOS						
AMORTIZACIONES DE CRÉDITOS Y PRÉSTAMOS		$ -	$ -	$ -	$ -	$ -
FLUJO DE FONDOS NETO	**-$ 300.140.000**	**$ 66.759.624**	**$ 72.166.067**	**$ 78.113.384**	**$ 84.653.073**	**$ 91.841.442**

Imagen 11. Escenario pesimista sin financiación.

Los resultados obtenidos evidencian que, incluso bajo condiciones conservadoras y sin utilización de financiación externa, el modelo de negocio mantiene flujos de fondos positivos durante el horizonte de evaluación financiera.

Esto permite concluir que el proyecto presenta capacidad de sostenibilidad económica y generación de valor aún bajo escenarios menos favorables del mercado energético y de construcción residencial.

6.5. Análisis comparativo de escenarios

Con el fin de determinar la viabilidad financiera del modelo de negocio propuesto, se realizó un análisis comparativo entre los diferentes escenarios planteados durante la evaluación económica del proyecto.

La comparación desarrollada contempla escenarios optimistas y pesimistas, tanto bajo esquemas de financiación externa como mediante inversión con recursos propios, permitiendo evaluar el comportamiento financiero del proyecto frente a diferentes condiciones operativas y económicas.

Asimismo, el análisis incorpora indicadores financieros como el Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), los cuales permiten medir la capacidad del proyecto para generar rentabilidad, recuperar la inversión inicial y producir valor económico durante el horizonte de evaluación de cinco años.

De igual manera, se realizó un análisis de sensibilidad financiera considerando diferentes tasas de oportunidad, permitiendo evaluar el comportamiento del VPN frente a variaciones en el costo de capital y las condiciones del mercado.

Los resultados obtenidos permiten establecer el nivel de rentabilidad, sostenibilidad y estabilidad financiera del modelo de negocio propuesto para la implementación de sistemas fotovoltaicos y soluciones de iluminación eficiente en conjuntos residenciales.

6.5.1. Sensibilidad financiera del proyecto optimista financiado

Con el fin de analizar el comportamiento financiero del proyecto frente a variaciones en la tasa de oportunidad, se desarrolló un análisis de sensibilidad para el escenario optimista financiado, evaluando el comportamiento del Valor Presente Neto (VPN) bajo diferentes tasas de descuento.

El análisis realizado permite determinar la capacidad del proyecto para mantener rentabilidad y generación de valor económico frente a posibles cambios en el costo de capital, inflación y condiciones del mercado financiero.

Para el presente escenario se estableció una tasa de oportunidad base del 10%, obteniendo un VPN de $119.362.825,39 y una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 56%, evidenciando un comportamiento financiero favorable y una alta capacidad de rentabilidad del modelo de negocio.

A continuación, se presenta la proyección de sensibilidad financiera del proyecto:

TASA DE OPORTUNIDAD	VPN	TIR
10%	**$ 119.362.825,39**	**56%**

OPORTUNIDAD	VPN
1%	$ 182.806.350
3%	$ 166.242.235
5%	$ 151.226.505
7%	$ 137.583.213
9%	$ 125.159.561
11%	$ 113.822.473
13%	$ 103.455.723
15%	$ 93.957.532
17%	$ 85.238.539
19%	$ 77.220.089
21%	$ 69.832.784
23%	$ 63.015.252
25%	$ 56.713.093
27%	$ 50.877.983
29%	$ 45.466.906

31%	$ 40.441.488
33%	$ 35.767.435
35%	$ 31.414.033
37%	$ 27.353.727

Tabla 59. Sensibilidad financiera del proyecto optimista financiado.

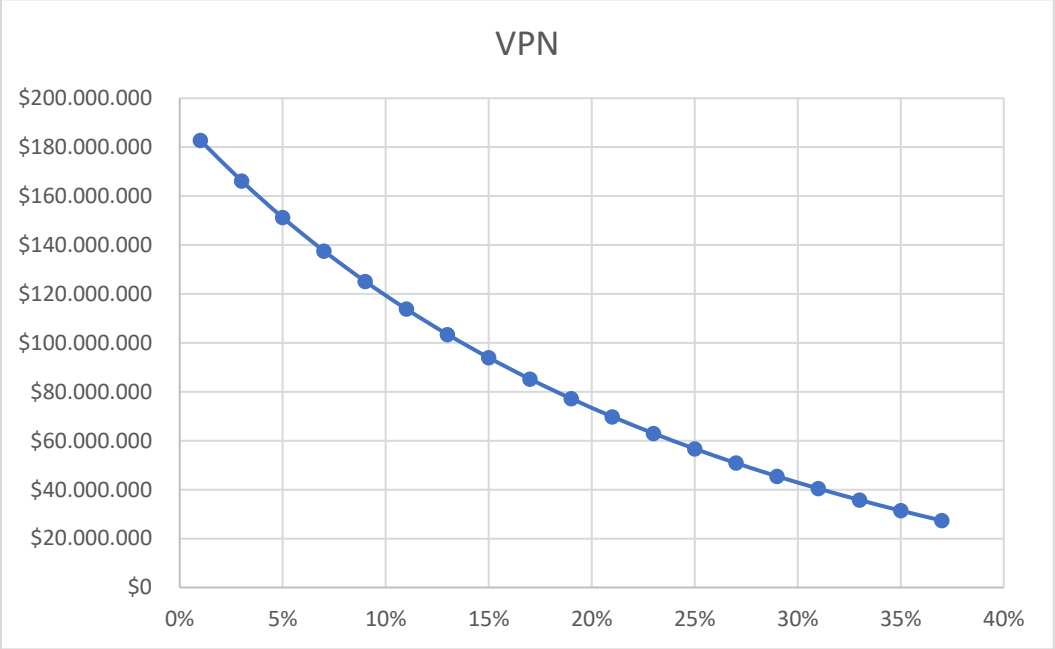


Imagen 12. Sensibilidad financiera del proyecto optimista financiado.

El comportamiento obtenido evidencia una disminución progresiva del VPN conforme aumenta la tasa de oportunidad, situación esperada dentro de los análisis de sensibilidad financiera.

Sin embargo, el proyecto mantiene valores positivos de VPN incluso bajo tasas de descuento elevadas, lo cual demuestra una adecuada estabilidad financiera y capacidad de generación de valor económico para el escenario optimista financiado.

6.5.2. Sensibilidad financiera del proyecto optimista sin financiación

Con el fin de evaluar el comportamiento financiero del proyecto bajo un esquema de inversión con recursos propios, se realizó un análisis de sensibilidad para el escenario optimista sin financiación, considerando diferentes tasas de oportunidad y su efecto sobre el Valor Presente Neto (VPN).

El análisis desarrollado permite determinar la capacidad del proyecto para mantener condiciones de rentabilidad y sostenibilidad financiera frente a variaciones en el costo de capital y cambios en las condiciones económicas del mercado.

Para el presente escenario se estableció una tasa de oportunidad base del 10%, obteniendo un VPN de $107.981.237,39 y una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 22%, evidenciando que el

proyecto mantiene viabilidad financiera aun bajo un esquema de inversión completamente financiado con recursos propios.

A continuación, se presenta la proyección de sensibilidad financiera del proyecto:

TASA DE OPORTUNIDAD	VPN	TIR
10%	**$ 107.981.237,39**	**22%**

OPORTUNIDAD	VPN
1%	$ 232.357.978,00
3%	$ 200.150.462,64
5%	$ 170.804.188,75
7%	$ 144.003.084,06
9%	$ 119.471.921,61
11%	$ 96.970.342,96
13%	$ 76.287.851,32
15%	$ 57.239.602,65
17%	$ 39.662.855,48
19%	$ 23.413.966,85
21%	$ 8.365.842,30
23%	-$ 5.594.235,26
25%	-$ 18.566.459,40
27%	-$ 30.640.087,74
29%	-$ 41.894.805,01
31%	-$ 52.401.896,57
33%	-$ 62.225.261,33
35%	-$ 71.422.288,15
37%	-$ 80.044.615,98

Tabla 60. Sensibilidad financiera del proyecto optimista sin financiación.

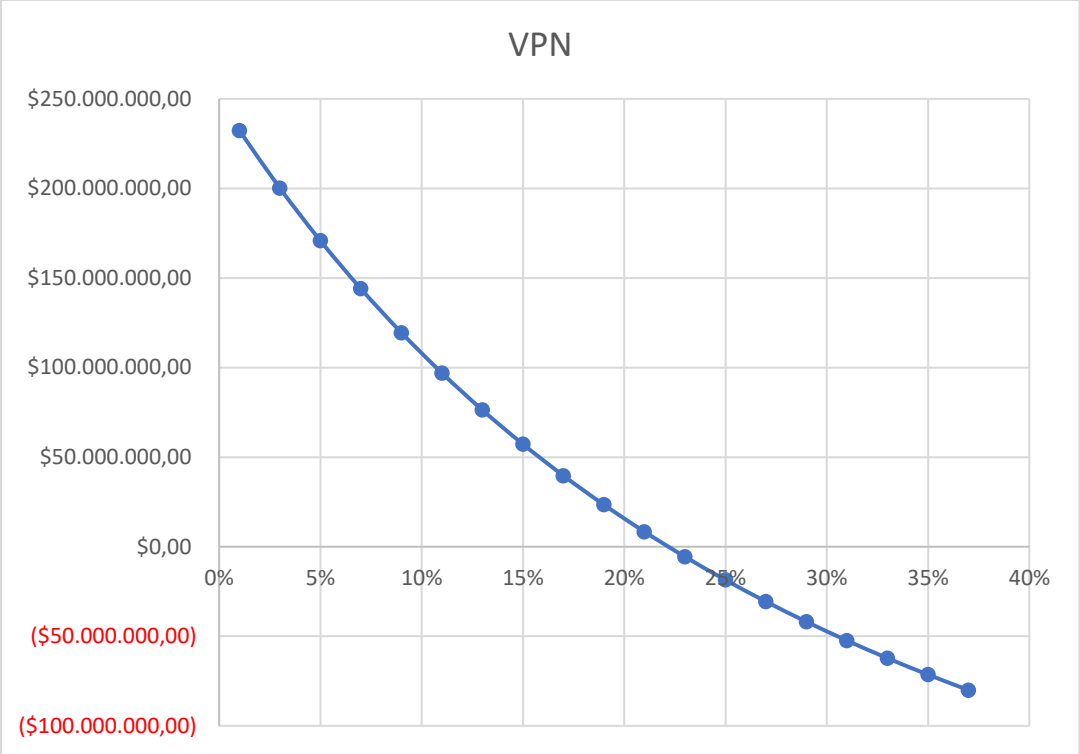


Imagen 13. Sensibilidad financiera del proyecto optimista sin financiación.

El comportamiento obtenido evidencia una disminución progresiva del VPN conforme aumenta la tasa de oportunidad, alcanzando valores negativos a partir de tasas superiores al 22%, comportamiento coherente con la TIR obtenida para este escenario.

No obstante, el proyecto mantiene valores positivos de VPN dentro de rangos normales de evaluación financiera, lo cual demuestra que el modelo de negocio conserva condiciones adecuadas de rentabilidad y sostenibilidad económica bajo un esquema de operación sin financiación externa.

6.5.3. Sensibilidad financiera del proyecto pesimista financiado

Con el fin de evaluar la estabilidad financiera del proyecto bajo condiciones conservadoras y utilizando financiación externa, se realizó un análisis de sensibilidad para el escenario pesimista financiado, considerando diferentes tasas de oportunidad y su efecto sobre el Valor Presente Neto (VPN).

El análisis desarrollado permite identificar el comportamiento del proyecto frente a incrementos en el costo de capital y condiciones menos favorables del mercado, evaluando la capacidad de sostenibilidad económica del modelo de negocio durante el horizonte de evaluación financiera.

Para el presente escenario se estableció una tasa de oportunidad base del 10%, obteniendo un VPN de $5.106.770,84 y una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 12%, evidenciando que el proyecto mantiene viabilidad financiera mínima bajo condiciones operativas restrictivas y utilizando financiación externa.

A continuación, se presenta la proyección de sensibilidad financiera del proyecto:

TASA DE OPORTUNIDAD	VPN	TIR
10%	**$ 5.106.770,84**	**12%**

OPORTUNIDAD	VPN
1%	$ 31.701.120
2%	$ 28.116.053
4%	$ 21.476.762
6%	$ 15.476.032
8%	$ 10.040.575
10%	$ 5.106.771
12%	$ 619.235
14%	-$ 3.470.377
16%	-$ 7.204.374
18%	-$ 10.619.880
20%	-$ 13.749.544
22%	-$ 16.622.152
24%	-$ 19.263.136
26%	-$ 21.695.021
28%	-$ 23.937.793
30%	-$ 26.009.227
32%	-$ 27.925.161
34%	-$ 29.699.732
36%	-$ 31.345.589
38%	-$ 32.874.062
40%	-$ 34.295.323
42%	-$ 35.618.519

44%	-$ 36.851.888

Tabla 61. Sensibilidad financiera del proyecto pesimista financiado.

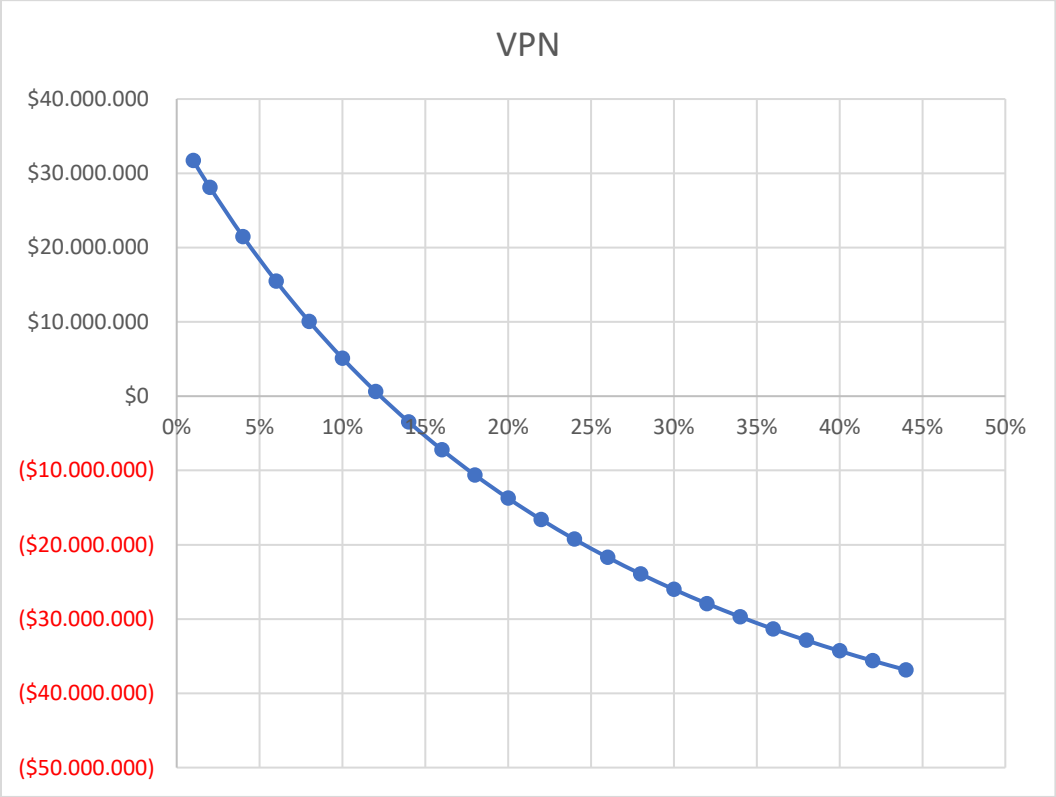


Imagen 14. Sensibilidad financiera del proyecto pesimista financiado.

El comportamiento obtenido evidencia una disminución acelerada del VPN conforme aumenta la tasa de oportunidad, alcanzando valores negativos a partir de tasas cercanas al 12%, situación coherente con la TIR obtenida para este escenario.

No obstante, el proyecto conserva valores positivos de VPN dentro de rangos moderados de evaluación financiera, lo cual demuestra que, aun bajo condiciones conservadoras y utilizando financiación externa, el modelo de negocio mantiene una capacidad mínima de sostenibilidad económica.

6.5.4. Sensibilidad financiera del proyecto pesimista sin financiación

Con el fin de evaluar el comportamiento financiero del proyecto bajo condiciones conservadoras y sin utilización de financiación externa, se realizó un análisis de sensibilidad para el escenario pesimista sin financiación, considerando diferentes tasas de oportunidad y su efecto sobre el Valor Presente Neto (VPN).

El análisis desarrollado permite determinar la capacidad del proyecto para mantener sostenibilidad económica frente a variaciones en el costo de capital y condiciones menos favorables del mercado, operando únicamente con recursos propios.

Para el presente escenario se estableció una tasa de oportunidad base del 10%, obteniendo un VPN de -$6.274.816,16 y una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 9%, evidenciando que el proyecto presenta un comportamiento financiero limitado bajo condiciones pesimistas y sin apoyo de financiación externa.

A continuación, se presenta la proyección de sensibilidad financiera del proyecto:

TASA DEOPORTUNUDAD	**VPN**	**TIR**
10%	**-$ 6.274.816**	**9%**

OPORTUNIDAD	VPN
1%	$ 81.252.749
2%	$ 69.672.346
4%	$ 48.064.818
6%	$ 28.336.254
8%	$ 10.282.438
10%	-$ 6.274.816
12%	-$ 21.491.424
14%	-$ 35.504.190
16%	-$ 48.433.473
18%	-$ 60.385.431
20%	-$ 71.453.930
22%	-$ 81.722.166
24%	-$ 91.264.051
26%	-$ 100.145.390
28%	-$ 108.424.903
30%	-$ 116.155.097
32%	-$ 123.383.014
34%	-$ 130.150.888
36%	-$ 136.496.708
38%	-$ 142.454.704

40%	-$ 148.055.780
42%	-$ 153.327.881
44%	-$ 158.296.322

Tabla 62. Sensibilidad financiera del proyecto pesimista sin financiación.

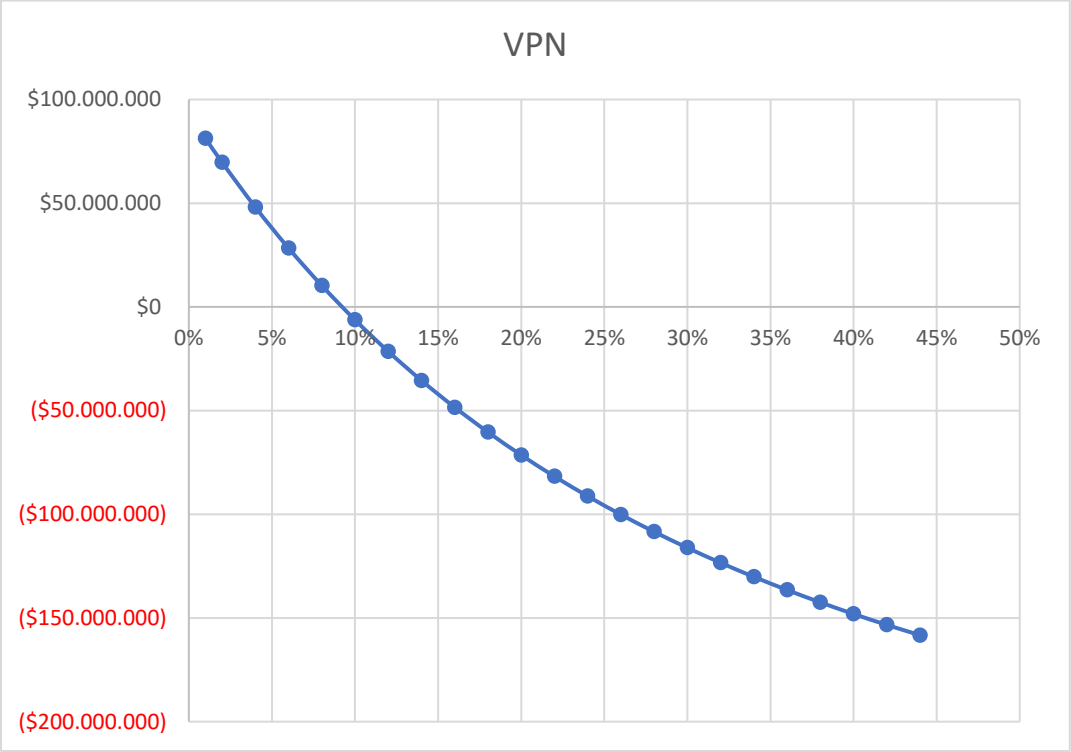


Imagen 15. Sensibilidad financiera del proyecto pesimista sin financiación.

El comportamiento obtenido evidencia una disminución progresiva del VPN conforme aumenta la tasa de oportunidad, alcanzando valores negativos a partir de tasas cercanas al 9%, comportamiento coherente con la TIR obtenida para este escenario.

Los resultados obtenidos permiten concluir que el escenario pesimista sin financiación representa la condición financiera más restrictiva dentro de los escenarios evaluados, presentando una rentabilidad inferior a la tasa de oportunidad establecida para el proyecto.

No obstante, el análisis realizado evidencia que el modelo de negocio conserva capacidad de recuperación y generación de ingresos incluso bajo condiciones operativas conservadoras, lo cual aporta información relevante para la toma de decisiones financieras y estratégicas del proyecto.

6.6. Comparación de VPN y TIR

Con el fin de establecer una comparación general entre los escenarios financieros evaluados, se analizaron los resultados obtenidos para el Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) en cada uno de los casos planteados durante el estudio financiero del proyecto.

Los indicadores obtenidos permiten evaluar el nivel de rentabilidad, sostenibilidad económica y capacidad de generación de valor del modelo de negocio propuesto bajo diferentes condiciones operativas y esquemas de financiación.

A continuación, se presenta la comparación general de resultados financieros:

Opción	1	2	3	4
Inversión	**OPTIMISTA FINANCIADO**	**OPTIMISTA SIN FINANCIACION**	**PESIMISTA FINANCIADO**	**PESIMISTA SIN FINANCIACION**
VPN	$ 119.362.825	$ 107.981.237	$ 5.106.770	-$ 6.274.816
TIR	56%	22%	12%	9%

Tabla 63. Comparación de VPN y TIR.

Los resultados obtenidos evidencian que los escenarios optimistas presentan los mayores niveles de rentabilidad y generación de valor económico para el proyecto, especialmente bajo esquemas de financiación externa, donde el efecto de apalancamiento financiero permite incrementar significativamente la TIR del proyecto.

Por otra parte, los escenarios pesimistas presentan una disminución considerable en los indicadores financieros debido a menores niveles de crecimiento comercial y condiciones menos favorables del mercado.

No obstante, el escenario pesimista financiado mantiene indicadores positivos de VPN y una TIR superior a la tasa de oportunidad establecida, lo cual evidencia que el modelo de negocio conserva viabilidad financiera aún bajo condiciones operativas restrictivas.

Finalmente, el escenario pesimista sin financiación representa la condición más crítica dentro del análisis realizado, obteniendo un VPN negativo y una TIR inferior a la tasa de oportunidad establecida, indicando una reducción significativa en la rentabilidad del proyecto bajo condiciones conservadoras y sin apoyo de financiación externa.

6.7. Viabilidad financiera y proyección del modelo

A partir de los resultados obtenidos durante la evaluación económica y financiera del proyecto, se evidencia que el modelo de negocio propuesto para la implementación de sistemas fotovoltaicos y soluciones de iluminación eficiente presenta condiciones favorables de rentabilidad y sostenibilidad económica, especialmente bajo escenarios de crecimiento optimista y esquemas de financiación externa.

Los análisis desarrollados mediante indicadores como el Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) permitieron determinar que el proyecto posee capacidad de generación de valor económico y recuperación de la inversión durante el horizonte de evaluación de cinco años.

Asimismo, los resultados obtenidos evidencian que el uso de financiación externa puede fortalecer significativamente la rentabilidad del capital propio mediante el efecto de

apalancamiento financiero, incrementando la capacidad operativa y el potencial de expansión del modelo de negocio.

De igual manera, el análisis de sensibilidad financiera permitió identificar el comportamiento del proyecto frente a diferentes tasas de oportunidad y condiciones del mercado, evidenciando que los escenarios optimistas presentan una alta estabilidad financiera y adecuada capacidad de sostenibilidad económica.

Por otra parte, aunque los escenarios pesimistas presentan una disminución considerable en los indicadores financieros, el modelo de negocio conserva capacidad operativa y generación de ingresos bajo condiciones conservadoras, lo cual demuestra un nivel aceptable de resiliencia financiera frente a posibles variaciones del mercado energético y del sector de construcción residencial.

Finalmente, el modelo propuesto presenta potencial de escalabilidad y adaptación a diferentes tipos de conjuntos residenciales, no limitándose únicamente a proyectos de vivienda de interés social (VIS), sino también a conjuntos residenciales de mayor capacidad y complejidad energética.

En este sentido, el proyecto no solo representa una alternativa técnica orientada a la optimización energética y sostenibilidad ambiental, sino también una oportunidad de desarrollo empresarial con potencial de crecimiento, expansión comercial y aplicación en futuros proyectos residenciales dentro del mercado colombiano.

6.8. Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE)

PROYECTO ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA					
ACTIVO	COSTO	CANT.	VIDA UTIL	TOTAL	CUOTAS
Paneles solares	$ 480.000	8	25	$ 3.840.000	-$ 423.045
Inversor híbrido/off-grid	$ 3.900.000	1	10	$ 3.900.000	-$ 634.707
Banco de baterías	$ 8.500.000	1	8	$ 8.500.000	-$ 1.593.274
Estructura	$ 650.000	2	20	$ 1.300.000	-$ 152.698
Cableado	$ 1.200.000	1	20	$ 1.200.000	-$ 140.952
Protecciones eléctricas	$ 600.000	1	15	$ 600.000	-$ 78.884
Luminarias	$ 10.290.000	1	10	$ 10.290.000	-$ 1.674.650
Herramientas	$ 2.600.000	1	5	$ 2.600.000	-$ 685.873
				CAUE	**$ 5.384.083**

Tabla 64. Costo anual uniforme equivalente.

Con el fin de determinar el costo anual equivalente de la inversión inicial, se calculó el CAUE para cada uno de los activos principales que conforman el sistema fotovoltaico, considerando una tasa de interés del 10% y la vida útil estimada de cada elemento. Los resultados muestran un costo anual uniforme equivalente total de $5.384.083 por año, valor que representa el costo anualizado de la inversión realizada durante la vida útil de los activos considerados. Este

indicador permite complementar el análisis financiero del proyecto al expresar la inversión en términos de una anualidad equivalente para facilitar su comparación con los beneficios económicos generados.

6.9. Relación Beneficio/Costo (RBC)

	0	1	2	3	4	5
Proyecto optimista financiado	-$ 60.027.999	$ 19.788.534	$ 33.680.934	$ 48.878.769	$ 65.545.655	$ 83.865.470
Proyecto optimista sin financiación	-$ 300.140.000	$ 87.115.939	$ 97.147.337	$ 108.484.172	$ 121.290.056	$ 135.748.871
Proyecto pesimista financiado	-$ 60.027.999	-$ 567.781	$ 8.699.663	$ 18.507.981	$ 28.908.671	$ 39.958.041
Proyecto pesimista sin financiación	-$ 300.140.000	$ 66.759.624	$ 72.166.067	$ 78.113.384	$ 84.653.073	$ 91.841.442

RELACIÓN COSTO BENEFICIO PROYECTO OPTIMISTA FINANCIADO							
	0	1	2	3	4	5	
VPC	$ 60.027.999						$ 60.027.999
VPB		$ 17.989.577	$ 27.835.482	$ 36.723.343	$ 44.768.564	$ 52.073.859	$ 179.390.824
						RBC	$ 2,9885

RELACIÓN COSTO BENEFICIO PROYECTO OPTIMISTA SIN FINANCIACION							
	0	1	2	3	4	5	
VPC	$ 300.140.000						$ 300.140.000
VPB		$ 79.196.308	$ 80.287.056	$ 81.505.764	$ 82.842.741	$ 84.289.369	$ 408.121.237
						RBC	$ 1,3598

RELACIÓN COSTO BENEFICIO PROYECTO PESIMISTA FINANCIADO							
	0	1	2	3	4	5	
VPC	$ 60.027.999	$ 516.164					$ 60.544.163
VPB			$ 7.189.805	$ 13.905.320	$ 19.745.011	$ 24.810.799	$ 65.650.935
						RBC	$ 1,0843

RELACIÓN COSTO BENEFICIO PROYECTO PESIMISTA SIN FINANCIACION							
	0	1	2	3	4	5	
VPC	$ 300.140.000						$ 300.140.000
VPB		$ 60.690.567	$ 59.641.378	$ 58.687.741	$ 57.819.188	$ 57.026.309	$ 293.865.184
						RBC	$ 0,9791

Tabla 65. Relación costo beneficio.

Con el fin de complementar la evaluación financiera del proyecto, se realizó el análisis de la Relación Beneficio/Costo (RBC), calculada como el cociente entre el Valor Presente de los Beneficios (VPB) y el Valor Presente de los Costos (VPC), empleando una tasa de descuento del 10% y un horizonte de evaluación de cinco años.

Los resultados obtenidos evidencian que los escenarios optimistas presentan los mayores niveles de rentabilidad, destacándose el escenario optimista financiado con una relación beneficio/costo de 2,9885. Esto indica que por cada peso invertido se generan aproximadamente $2,99 en beneficios actualizados, convirtiéndose en la alternativa de mayor atractivo financiero. De igual forma, el escenario optimista sin financiación obtuvo una relación beneficio/costo de 1,3598, evidenciando que el proyecto continúa siendo viable y rentable aun cuando se financia completamente con recursos propios.

Por otra parte, el escenario pesimista financiado presentó una relación beneficio/costo de 1,0843, resultado que demuestra que el proyecto conserva viabilidad económica bajo condiciones conservadoras de crecimiento y operación. Finalmente, el escenario pesimista sin financiación registró una relación beneficio/costo de 0,9791, valor inferior a la unidad que indica que los beneficios generados no alcanzan a compensar completamente los costos asociados al proyecto.

En términos generales, los resultados de la relación beneficio/costo son consistentes con los indicadores financieros previamente calculados, tales como el VPN y la TIR, confirmando que los escenarios financiados presentan un mejor desempeño económico debido al efecto del apalancamiento financiero. Asimismo, se ratifica que el escenario optimista financiado constituye la alternativa más favorable para la implementación del proyecto desde el punto de vista económico y financiero.

7. Conclusiones

7.1. Conclusiones generales

El presente estudio permitió concluir que la implementación de sistemas fotovoltaicos para alumbrado comunal en conjuntos residenciales VIS constituye una alternativa viable desde los enfoques técnico, ambiental, administrativo y financiero, integrando soluciones sostenibles que responden a las necesidades actuales de eficiencia energética y reducción de costos operativos.

El crecimiento del mercado VIS en Bogotá D.C., sumado a la alta concentración de conjuntos residenciales y al incremento de la demanda energética en zonas comunes, representa una oportunidad significativa para la aplicación de tecnologías solares dentro del sector residencial.

Además de generar beneficios económicos para las comunidades, el proyecto contribuye al fortalecimiento de la transición energética en Colombia, fomenta la innovación tecnológica en vivienda social y promueve modelos de urbanismo más sostenibles e inclusivos.

En conclusión, el proyecto desarrollado no solo demuestra la factibilidad de implementar sistemas solares fotovoltaicos en conjuntos VIS, sino que también establece una base técnica y financiera que puede servir como referencia para futuras investigaciones y proyectos orientados al desarrollo sostenible del sector residencial colombiano.

7.2. Conclusiones técnicas

El estudio permitió determinar que la implementación de un sistema fotovoltaico para el alumbrado comunal en conjuntos residenciales VIS es técnicamente viable, debido a las condiciones favorables de radiación solar presentes en Bogotá D.C. y a la disponibilidad de tecnologías fotovoltaicas con altos niveles de eficiencia y durabilidad.

El diseño realizado demostró que el sistema puede suplir adecuadamente la demanda energética de zonas comunes como pasillos, escaleras, porterías, salones sociales y áreas exteriores, integrando luminarias LED y luminarias solares autónomas que optimizan el consumo energético y mejoran la eficiencia operativa del conjunto residencial.

Asimismo, el análisis técnico evidenció que los equipos seleccionados, como paneles solares, inversores, baterías y protecciones eléctricas, cumplen con las condiciones necesarias para garantizar confiabilidad, continuidad operativa y una vida útil prolongada del sistema, permitiendo además una futura escalabilidad del proyecto hacia otros conjuntos residenciales VIS de la ciudad.

7.3. Conclusiones ambientales

Desde el enfoque ambiental, el proyecto representa una alternativa sostenible para disminuir la dependencia de la energía convencional proveniente de fuentes fósiles, contribuyendo a la reducción de emisiones de CO_2 y al fortalecimiento de estrategias de transición energética en el sector residencial.

La implementación de sistemas fotovoltaicos en zonas comunes permite promover el uso racional de la energía y fortalecer la conciencia ambiental de las comunidades residenciales, incentivando prácticas sostenibles dentro de los conjuntos VIS.

De igual manera, el proyecto se encuentra alineado con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente con el ODS 7 relacionado con energía asequible y no contaminante y el ODS 11 enfocado en ciudades y comunidades sostenibles, aportando a la construcción de entornos urbanos más eficientes y ambientalmente responsables.

7.4. Conclusiones financieras

El análisis financiero desarrollado mediante los diferentes escenarios de evaluación permitió establecer que el proyecto presenta viabilidad económica principalmente en los escenarios optimistas, donde se obtuvieron valores positivos de VPN y tasas internas de retorno superiores a la tasa de oportunidad establecida.

El escenario optimista financiado presentó los mejores resultados financieros, alcanzando un VPN superior a los demás escenarios y una TIR del 56%, lo que demuestra que la financiación del proyecto puede convertirse en una herramienta estratégica para mejorar la rentabilidad y facilitar la implementación del sistema.

Por otra parte, los escenarios pesimistas evidenciaron una alta sensibilidad frente a variables como el crecimiento de ventas, los costos de operación y la inversión inicial, permitiendo identificar los riesgos financieros asociados al proyecto y la importancia de mantener estrategias de control administrativo y comercial que garanticen su sostenibilidad económica a largo plazo.

Finalmente, el estudio financiero confirmó que el modelo de negocio puede ser replicable en otros proyectos VIS de Bogotá, considerando el crecimiento sostenido del sector y la necesidad de implementar soluciones energéticas eficientes en conjuntos residenciales.

8. Referencias

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*. Diario Oficial No. 49.150.

Ministerio de Minas y Energía. (2022). *Plan Energético Nacional Colombia: Ideario Energético 2050*. Bogotá D.C., Colombia.

Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (2023). *Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia*. Bogotá D.C., Colombia.

International Energy Agency (IEA). (2023). *Renewables 2023: Analysis and forecast to 2028*. París, Francia.

IDEAM. (2023). *Promedios climatológicos de Bogotá D.C. y comportamiento de radiación solar*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2023). *Informe del mercado de vivienda VIS en Colombia*. Bogotá D.C., Colombia.

Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). (2022). *Regulación para autogeneración y generación distribuida en Colombia*. Bogotá D.C., Colombia.

Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. (2023). *Estadísticas del consumo energético residencial en Colombia*. Bogotá D.C., Colombia.

Naciones Unidas. (2015). *Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)*. Organización de las Naciones Unidas.

XM S.A. E.S.P. (2023). *Informe de operación del Sistema Interconectado Nacional*. Medellín, Colombia.

RETIE. (2024). *Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas*. Ministerio de Minas y Energía, Colombia.

RETILAP. (2024). *Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público*. Ministerio de Minas y Energía, Colombia.

Universidad Distrital Francisco José de Caldas. (2025). *Guía metodológica para trabajos de grado y proyectos de investigación*. Bogotá D.C., Colombia.

Asociación Colombiana de Energía Solar (ACESOL). (2023). *Panorama del sector fotovoltaico en Colombia*. Bogotá D.C., Colombia.

Camacol Bogotá y Cundinamarca. (2024). *Informe de oferta y demanda de vivienda VIS en Bogotá*. Bogotá D.C., Colombia.