



**Proyecto tipo:
Medidas de eficiencia energética en
edificios públicos de ciudades capitales en
Colombia**





Diseñar un **proyecto tipo orientado a establecer medidas de eficiencia energética en edificios públicos de ciudades capitales en Colombia**, que permitan avanzar en la mitigación del **cambio climático y la descarbonización**, a través de la reducción de las emisiones de **GEl y el uso de fuentes de energía renovables**

Contrato CO-T1636-P003
Entregable 3

Proyecto tipo
Bogotá, 1 de febrero de 2024



TABLA DE CONTENIDO

1 Objetivos	6
1.1 Objetivo del Proyecto	6
1.2 Objetivos específicos.....	6
1.3 Objetivo del Informe.....	6
2 Introducción	7
3 Estructuración del proyecto tipo	8
3.1 Identificación de la problemática.....	8
3.2 Localización del proyecto	8
3.3 Caracterización o diagnóstico energético.....	9
3.4 Descripción del problema.....	12
3.5 Análisis de alternativas.....	13
3.6 Marco normativo y de política.....	15
3.7 Identificación y análisis de actores involucrados.....	16
3.8 Etapas del proyecto	18
3.8.1 <i>Estudios previos</i>	18
3.8.2 <i>Ejecución</i>	19
3.8.3 <i>Operación y mantenimiento</i>	19
3.9 Alternativa propuesta.....	20
3.9.1 <i>Requisitos técnicos de la medida propuesta</i>	20
3.10 Presupuesto y cronograma	34
3.11 Levantamiento de información	41
3.11.1 <i>Selección de Edificios Públicos</i>	41
3.11.2 <i>Documentación Requerida</i>	41
3.11.3 <i>Caracterización Energética de la Edificación</i>	41
3.12 Aspecto socio – ambiental	43
3.13 Aspecto legal y normativo.....	43
3.14 Aspectos económicos y financieros.....	46
3.15 Concepto de viabilidad, escalabilidad y replicabilidad.....	47

3.16 Sostenibilidad y análisis de barreras	48
3.16.1 <i>Sostenibilidad del proyecto</i>	48
3.16.2 <i>Análisis de Barreras</i>	48
3.16.3 <i>Estrategias de Mitigación y Superación de Barreras</i>	48
3.17 Seguimiento al proyecto	49
Referencias Bibliográficas	51
Anexos	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Análisis de viabilidad financiera de las oportunidades de mejora de la eficiencia energética identificadas para el Hospital del Sur	14
Tabla 2. Áreas de rejillas de ventilación por zona de acuerdo con la Figura 7	21
Tabla 3. Características equipos reemplazantes	22
Tabla 4. Características equipos reemplazantes	23
Tabla 5. Consumo promedio kWh/mes Hospital del Sur	24
Tabla 6. Características Módulos Fotovoltaicos	26
Tabla 7. Características inversor ON GRID	27
Tabla 8. Características medidor bidireccional	27
Tabla 9. Resumen de características del sistema de generación solar fotovoltaico propuesto	34
Tabla 10. Presupuesto para la implementación de las medidas del proyecto	35
Tabla 11. Costo de mantenimiento anual para cada una de las medidas	37
Tabla 12. Cronograma de implementación del proyecto	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del proyecto, Hospital del Sur	9
Figura 2. Participación del consumo de energía eléctrica por usos finales	9
Figura 3. Curva de demanda diaria promedio	11
Figura 4. Modelado 3D del Hospital del Sur en Design Builder	11
Figura 5. Resultados visuales de la temperatura de las superficies externas de la edificación	12
Figura 6. Autores involucrados	17
Figura 7. Etapas del proyecto	18
Figura 8. Potenciales lugares para las rejillas de ventilación en el Hospital del Sur	20
Figura 9. Forma general de rejillas de ventilación para el Hospital del Sur	22
Figura 10. Históricos de consumo de energía eléctrica del Hospital del Sur	25
Figura 11. Sistema de generación fotovoltaica conectado a la red	26
Figura 12. Diagrama punto de conexión sistema de generación fotovoltaico	28
Figura 13. Ubicación sistema de generación solar	29
Figura 14. Localización con coordenadas geográficas	30
Figura 15. Generación mensual del emplazamiento solar	31
Figura 16. Energía generada y energía demandada	31
Figura 17. Dibujo de la ubicación del sistema solar	32
Figura 18. Diagrama unifilar	33
Figura 19. Capacidad copada y Límite a inyectar, para los transformadores en el periodo del 2022	44
Figura 20. Resumen de estudio de conexión simplificado	45
Figura 21. Proceso de sostenibilidad y análisis de barreras	49

1. OBJETIVOS

1.1 Objetivo del Proyecto

Diseñar un proyecto tipo orientado a establecer medidas de eficiencia energética en edificios públicos de ciudades capitales en Colombia, que permitan avanzar en la mitigación del cambio climático y la descarbonización, a través de la reducción de las emisiones de GEI y el uso de fuentes de energía renovables.

1.2 Objetivos específicos

- Realizar auditorías energéticas para conocer los usos y consumos de la energía de la edificación seleccionada de las ciudades priorizadas, que deberá incluir el análisis del consumo y el potencial de eficiencia.
- Identificar, relacionar y sensibilizar actores clave para los objetivos de reducción y eficiencia energética.
- Proponer las recomendaciones y medidas de gestión eficiente de la energía (tanto pasivas como activas) que se podrían implementar, según el diagnóstico de la ciudad, teniendo en cuenta las alternativas técnicas y financieras para su implementación y con base en lo anterior, diseñar un proyecto tipo en esta materia.

1.3 Objetivo del Informe

Presentar la estructuración de un proyecto tipo para implementar en una edificación del sector público de la ciudad de Armenia, con base en los resultados obtenidos en las auditorías energéticas realizadas en dos edificaciones públicas de la ciudad.

2. INTRODUCCIÓN

Las acciones tomadas en Colombia para mitigar el cambio climático se identifican en iniciativas como la Estrategia Climática de Largo Plazo – E2050 que concreta los compromisos adquiridos en el marco del Acuerdo de París en relación con la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y la promoción de la resiliencia climática. Con la actualización a las contribuciones determinadas a nivel nacional (NDC) realizada en 2020, en la cual se incrementó la meta de reducción de emisiones de GEI pasando del 20% al 51% con respecto al escenario base, se materializaron nuevos retos que el país ha trabajado sectorialmente con los Planes Integrales de Gestión de Cambio Climático desarrollados por los gobiernos nacional, departamentales y municipales.

Como parte de este amplio marco de acción nacional frente al cambio climático, las políticas en gestión de eficiente de la energía, generación de energía a partir de fuentes renovables no convencionales, y más recientemente la transición energética justa, han tenido un rol relevante como estrategias para la reducción de las emisiones que se producen en la generación de energía.

Este informe se enmarca en el desarrollo de la consultoría del Banco Interamericano de Desarrollo en la cual apoya a Asocapitales para el financiamiento del diseño de un proyecto piloto de descarbonización enfocado en eficiencia energética y fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER) a nivel local, que contribuya a la reducción de emisiones urbanas de GEI, sea implementable a escala urbana y se pueda replicar en otras ciudades.

En este sentido, con el fin de diseñar el proyecto tipo, la consultoría parte de la realización de caracterizaciones o auditorías energéticas en dos edificaciones de la ciudad de Armenia, para identificar medidas de mejora en eficiencia energética y energías renovables, y a partir de los hallazgos y recomendaciones resultantes, estructurar un proyecto con posibilidad de ser replicado en diversas edificaciones del país para la reducción de los consumos de energía y la respectiva reducción de emisiones de GEI.

Una vez realizadas las auditorías energéticas en el mes de noviembre de 2023 se elaboraron los informes de resultados y se presentaron en el primer entregable, incluyendo la información histórica de consumos energéticos de la Unidad Intermedia Hospital del Sur y la alcaldía de Armenia. Con base en estos resultados y en la experticia de los consultores del proyecto, se presentan en este informe las alternativas identificadas y las recomendaciones de medidas a implementar (tanto activas como pasivas) para una gestión eficiente de la energía y para el uso de fuentes de energía renovables, con el fin de reducir las emisiones de GEI.

3. ESTRUCTURACIÓN DEL PROYECTO TIPO

3.1 Identificación de la problemática

El consumo total de energía en Colombia para 2021 fue de 1.402.399 TJ, lo cual representa aproximadamente 85.163 mil toneladas equivalentes de CO₂. De este consumo de energía nacional, el transporte tiene una participación del 42%, la industria del 22%, el sector residencial de 19% y el sector comercial y público del 6%, correspondiente a 77.877 TJ, según el Balance Energético Colombiano (BECO) realizado anualmente por la UPME. Si bien en el balance de energía el sector comercial y el público se encuentran agrupados por las similitudes en sus usos energéticos, el consumo de energía del sector público tiene una proporción de aproximadamente el 5% de este consumo agregado de acuerdo con los anexos del PAI PROURE 2022-2030.

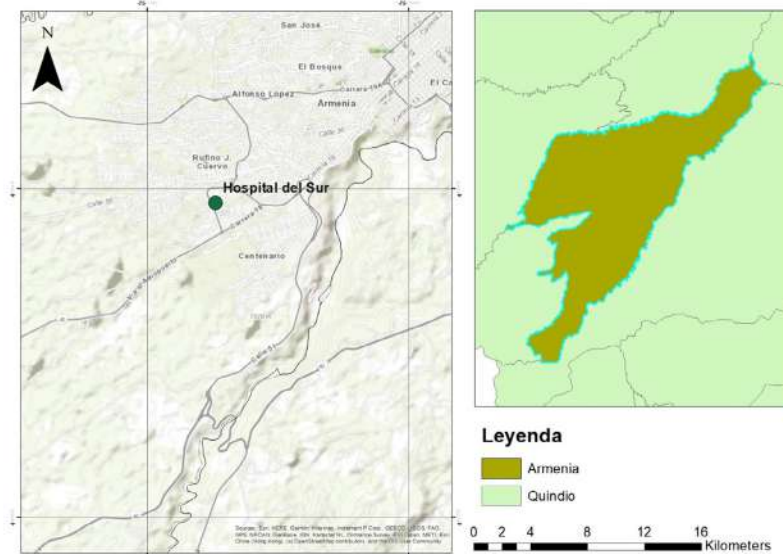
En el sector terciario, de acuerdo con la caracterización realizada por la UPME en el año 2022, la mayor parte de los consumos de energía del sector a nivel nacional se dedican a la climatización de espacios (46%), el 18% en iluminación y el 16% en equipos ofimáticos, siendo estas las áreas en las que se podrían implementar las principales medidas de eficiencia energética para reducir los consumos de energía totales de las edificaciones.

Dentro del sector terciario, un comportamiento particular en cuanto a consumos energéticos lo tienen los hospitales, ya que su horario de funcionamiento generalmente es de 24 horas durante los 7 días de la semana, razón por la cual los consumos de energía no tienen ciclos tan marcados como sucede en otras edificaciones en las cuales los horarios de funcionamiento son de 8 a 10 horas de lunes a viernes. En este sentido, los hospitales presentan un importante potencial para la implementación de medidas que permitan reducir los consumos de energía de sus edificaciones, y asimismo sus emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) que contribuyen al cambio climático.

3.2 Localización del proyecto

La Unidad Intermedia Hospital del Sur es una edificación prestadora de servicios de salud, con una antigüedad de 20 años, ubicada en la Avenida Montecarlo Urbanización Guadales de la Villa en el sur de la ciudad de Armenia, departamento del Quindío. En esta ciudad, la altitud promedio es de 1.483 msnm y la temperatura promedio anual es de 21,8 °C.

Figura 1. Localización del proyecto, Hospital del Sur

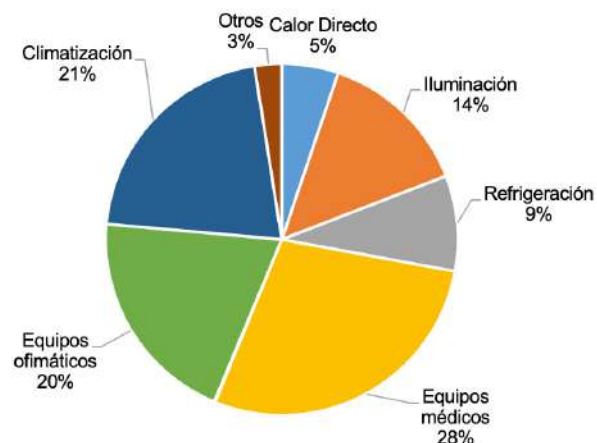


Fuente: Elaboración propia

3.3 Caracterización o diagnóstico energético

La edificación de la Unidad Intermedia Hospital del Sur de Armenia tiene un consumo de energía promedio de 24.691 kWh/mes, su consumo mínimo en este periodo fue de 19.713 kWh/mes, y su consumo máximo alcanzó los 37.671 kWh/mes. La información recopilada posibilita aproximar el consumo anual a 296.287 kWh/año. Con base en los registros de los consumos de energía eléctrica compartidos por la entidad, el inventario de los equipos consumidores de energía identificados en la visita técnica y las mediciones eléctricas realizadas, se puede observar en la siguiente figura cómo dentro del total del consumo energético de la entidad, los equipos médicos tienen la mayor participación con un 28%, seguido por los usos de climatización (21%) y los equipos ofimáticos (20%). Por el contrario, los usos con menores consumos son el calor directo (5%) y la refrigeración (9%).

Figura 2. Participación del consumo de energía eléctrica por usos finales



Fuente: Elaboración propia con base en la auditoría energética de la edificación realizada en 2023.

Considerando esta participación de los consumos, de acuerdo con el Pareto de los usos en el consumo, los usos en los cuales se deberían centrar las acciones de eficiencia energética a implementar en la entidad son: equipos médicos, climatización, equipos ofimáticos e iluminación. La mayor participación de estos usos se explica por la misionalidad de la edificación, que para prestar servicios de salud requiere el uso de equipos médicos y ofimáticos, y a las condiciones climáticas de la ciudad de Armenia junto con las características de la edificación, que llevan a requerir el uso de climatización.

Como parte de la caracterización energética realizada en la edificación, se realizaron mediciones a los consumos de energía entre el 30 de octubre y el 16 de noviembre de 2023, en las cuales se realizaron mediciones con analizador de red en el tablero de transferencia, específicamente en el breaker principal, desde el cual se alimentan las cargas críticas del hospital, tales como: Radiología, Ascensor, Tercer Piso, Motobomba, Adecuación Parte 3, Hospitalización, Laboratorio, Quirófanos, Compresor de Oxígeno y el totalizador de Laboratorio 2. Adicionalmente, se instalaron transformadores de corriente (CT) y un registrador de datos para monitorización en tiempo real de los breakers principales mediante conexión directa a la red de área local (LAN) de la entidad con direccionamiento IP estático. Algunos de los hallazgos derivados del proceso, fueron:

- En el transcurso del periodo evaluado, se evidenció un pico máximo de demanda que alcanzó los 55,16 kW. Este aumento en la demanda de energía se atribuye al incremento de la corriente, que llegó a 160 amperios fenómeno se originó debido a que, en ese momento, el compresor de oxígeno, junto con el área de laboratorio, requirieron más energía eléctrica.
- La tendencia de la potencia aparente sigue de cerca la variación de la potencia activa.
- La potencia reactiva tuvo un valor máximo de 12,44 kVAR, que de acuerdo con los criterios de aceptación establecidos por la CREG 082, es una contribución insignificante y representa menos del 50% de la componente activa. Esto implica que el factor de potencia de la entidad se mantiene por encima de 0,92, evitando así la imposición de penalidades.
- El factor de potencia presenta en todos los casos valores por encima de 0,92 reflejando un comportamiento adecuado de la red en términos del balance entre las potencias activa y reactiva. Esta consistencia evidencia que no se presentan problemas asociados a circulación excesiva de potencia reactiva o presencia marcada de cargas inductivas que degraden el rendimiento del sistema.
- Durante el período de medición la frecuencia se mantuvo extremadamente estable, con un valor máximo de 60,08 Hz y un mínimo de 58,99 Hz. De acuerdo con la Resolución CREG 070 de 1998, la frecuencia nominal del Sistema Interconectado Nacional (SIN) es de 60 Hz, con un rango normal de operación entre 59,8 y 60,2 Hz, por lo tanto, se conserva dentro de los márgenes esperados para el sistema eléctrico nacional. Dicha estabilidad de la frecuencia es indicativa de un funcionamiento adecuado del sistema y la red eléctrica.

Las mediciones realizadas permitieron hacer un análisis de la curva de demanda eléctrica del hospital para identificar los patrones de consumo. En este sentido, se encontró que los períodos de menor demanda eléctrica comprenden el intervalo entre las 9:37 p.m. hasta las 5:17 a.m., y que durante el horario de 6:30 a.m. hasta las 6:00 p.m. hay un incremento significativo en la demanda. En la siguiente figura se muestra la curva de demanda promedio.

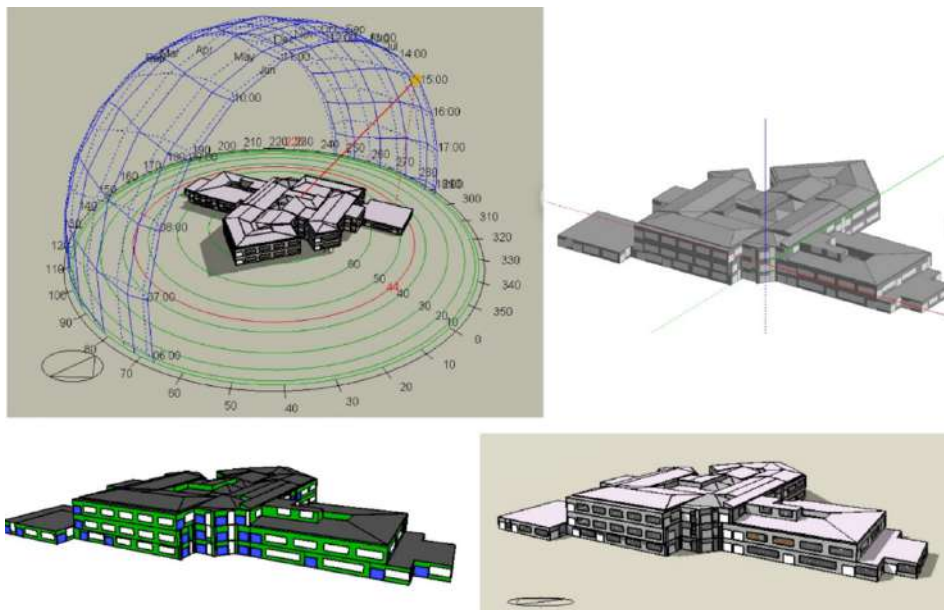
Figura 3. Curva de demanda diaria promedio



Fuente: Elaboración propia.

Los datos recopilados en el proceso de auditoría energética permitieron realizar una simulación energética de la edificación en el Software *Design Builder*. Que consistió en incluir los datos arquitectónicos de la edificación y de su ubicación, y posteriormente se incluyó la información de los equipos consumidores de energía en cada área.

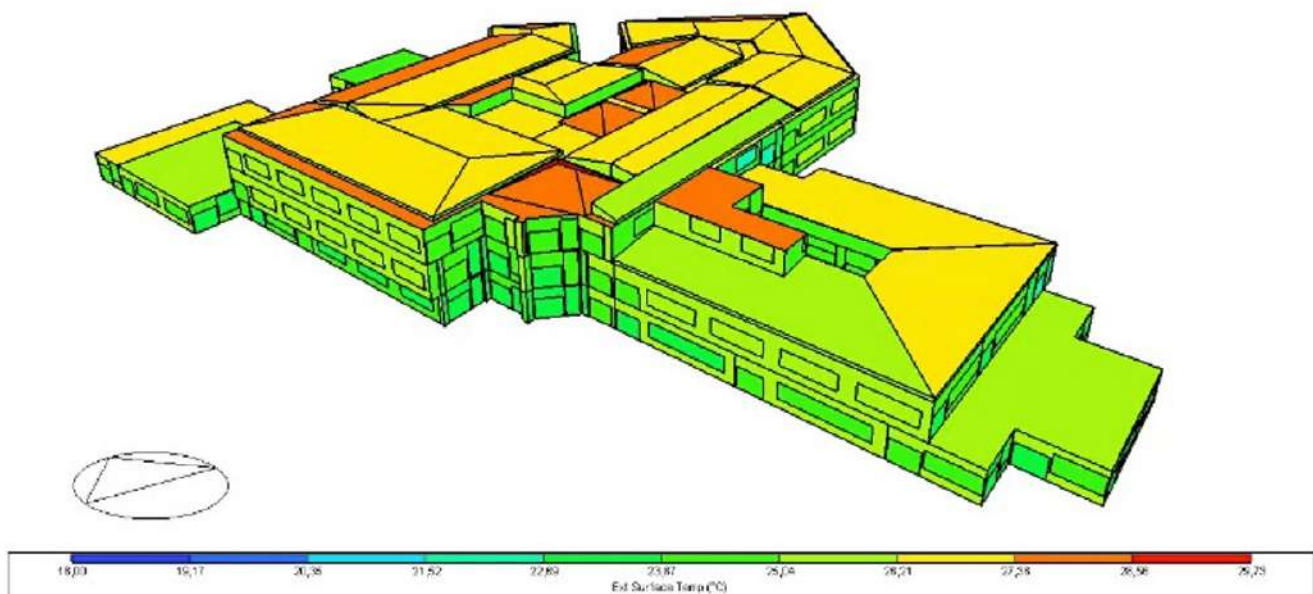
Figura 4. Modelado 3D del Hospital del Sur en Design Builder



Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos a partir de la simulación energética mostraron ser concordantes con la línea base estimada a partir del inventario de equipos, con las mediciones, y con la facturación de la energía eléctrica consumida por el hospital, con una diferencia aproximada de 2,5%. Este análisis también permitió identificar que el 24% del tiempo la edificación no logra alcanzar la temperatura de confort requerida. La siguiente figura permite observar la estimación de la temperatura superficial externa de los techados y muros de la edificación, y observar que en algunos de los techados se alcanzan temperaturas medias anuales de 30°C bajo las condiciones climáticas externas reportadas por el aeropuerto Internacional El Edén. Mientras que la potencia de frío instalada actualmente es de 24 TR (Toneladas de Refrigeración), con las condiciones actuales de la edificación, esta debería ser de aproximadamente 100 TR; sin embargo, es importante considerar la posibilidad de implementar medidas de ventilación natural para disminuir la demanda de frío actual.

Figura 5. Resultados visuales de la temperatura de las superficies externas de la edificación



Fuente: Elaboración propia.

3.4 Descripción del problema

La Unidad Intermedia Hospital del Sur de Armenia, es una edificación de 3 pisos de altura. Su sistema constructivo es una combinación de materiales y técnicas modernas y tradicionales. La estructura principal del edificio está construida en concreto reforzado, la materialidad de los muros de la envolvente es mixta, en bloque y SuperBoard¹ con acabado en pañete, estuco exterior y pintura blanca y azul, tiene una cubierta liviana termoacústica en varias secciones a dos aguas. La implantación volumétrica, al no tener barreras en su contorno, permite el flujo de aire

¹ SuperBoard: lámina de fibrocemento.

natural, aportando renovaciones de aire. La construcción al poseer patios internos permite mantener una ventilación apropiada de los espacios que lo rodean.

La auditoría energética permitió encontrar que en la edificación se cuenta con una baja tasa de renovación de aire, razón por la cual el calor generado por los equipos y los ocupantes no puede ser removido de forma parcial o total, según sea la temperatura del aire exterior. Asimismo, todos los equipos de aire acondicionado, con excepción del equipo ubicado en el área de vacunación, tienen una antigüedad de 6 años y no tienen tecnología Inverter, lo que genera pérdidas de energía por eficiencia energética y renovación tecnológica. Esto es particularmente importante, considerando que la temperatura promedio anual de Armenia es de 21,8 °C.

Por otro lado, se identificó que los vidrios de las ventanas son corrientes transparentes que permiten que alrededor del 60% de la radiación solar directa y difusa ingrese a la edificación, y que no se cuenta con un sistema de manejo y control de la iluminación centralizado y automático que permita determinar la demanda requerida.

Adicionalmente, se identificó la posibilidad de aprovechar la cubierta para un sistema solar fotovoltaico, ya que gran parte de la estructura cuenta con la resistencia mecánica necesaria para soportar este tipo de sistema renovable, y este podría aportar a la disminución del consumo de energía eléctrica del Sistema Interconectado Nacional, y reducir las emisiones de GEI generadas actualmente por la edificación.

3.5 Análisis de alternativas

De acuerdo con la auditoría energética realizada en la edificación de la Unidad Intermedia Hospital del Sur en Armenia, se identificaron varias alternativas de medidas de eficiencia energética y generación de energía a partir de fuentes renovables. Estas medidas viables técnicamente fueron analizadas económicamente para validar si los beneficios de su implementación son mayores que sus costos, y si la implementación de cada medida es o no rentable. Las medidas identificadas se describen brevemente a continuación:

- Película protectora para vidrio de ventanas: colocar sobre cada uno de los vidrios de las ventanas de la edificación, una película adhesiva protectora solar que permita reducir la transmisividad solar total a un valor de 0,35. En la siguiente tabla se muestran los ahorros generados en cada uno de los usos por esta medida. Se puede evidenciar que no es una medida que sea relevante y que impacte de forma contundente el consumo de aire acondicionado, esto porque no es demasiado ambiciosa en la reducción de la transmisividad (este índice de transmisividad corresponde a productos disponibles en el mercado colombiano).
- Cambio de Aires Acondicionados a tecnología Inverter: cambiar todos los equipos de Aire Acondicionado Split y mini-Split a tecnología inverter, a excepción de la unidad HVAC de vacunación que ya cuenta con esta tecnología. Esta medida posibilita elevar la eficiencia a un valor de 3,5 W/W permitiendo reducir el consumo de energía, entregando más potencia de enfriamiento ya que los equipos serían nuevos. Esta medida hace que el tiempo que no se cumple el set-point de frío que requieren los espacios descienda de 3.049 horas en la línea base a 43 horas, mejorando así la sensación térmica durante más tiempo en el Hospital.
- Instalación de rejillas de ventilación en las zonas superiores de la edificación: instalación de rejillas de ventilación en las zonas superiores de las zonas comunes y que están abiertas a todos los pisos, ello para mejorar la ventilación natural del edificio con alrededor de 48 m² de rejilla de 1 m de alto, o bien en una región del edificio que garantice 2 renovaciones de aire por hora para toda la edificación. Esta ventilación mejora la tasa de renovación de aire de la edificación y el valor de horas que los espacios no están acordes con la temperatura que deberían tener de un valor de 3.049 horas en la línea base a 282 horas. Por otro lado, también esta medida permite reducir

en cerca de la mitad (1.033 horas), el valor del tiempo del año que no se cumple con las condiciones de confort, ello de acuerdo con el criterio adaptativo del 80% de la norma ASHRAE 55.

- Instalación de rejillas y cambio a tecnología Inverter de forma simultánea: implementar de forma simultánea estas dos medidas ya que son las únicas dos medidas que sus ahorros generados no son independientes y sumarlos de forma aritmética podría conllevar a una estimación mayor del ahorro.
- Instalación de equipos de control de iluminación por dimerización: se pretende mejorar la eficiencia del sistema de iluminación permitiendo que las personas adecuen el valor de la intensidad de la luz de acuerdo con su necesidad. De esta forma, se puede tener un ajuste a lo largo del día que se complementa con la luz natural y la posibilidad de controlar de forma independiente en el momento en que deje de estar ocupado cada espacio.
- Generación de energía a partir de energía solar fotovoltaica: implementar se propone un sistema de 81,81 kWp conectado a la red. Estaría compuesto de 161 paneles solares de 505 Wp, 5 inversores on-grid de 15 kW, entre otros elementos, para una generación mensual promedio de 10.250 kWh/mes que equivale al 41,51 % de la demanda promedio actual que es de 24.690 kWh/mes.

Una vez identificadas las medidas que técnicamente podrías aportar a la descarbonización de la edificación a partir de la reducción de sus consumos de energía o la sustitución de una porción de esta energía por energía renovable, se realizó un análisis financiero de cada una de las medidas, que se resume en la siguiente tabla:

Tabla 1. Análisis de viabilidad financiera de las oportunidades de mejora de la eficiencia energética identificadas para el Hospital del Sur

Medida	Inversión (COP)	Ahorro (COP)	VPN (COP/año)	TIR %	PRI (años)	Beneficio /Costo	Emisiones evitadas (Ton CO ₂ equ/año)
Película protectora para vidrio de ventanas	10.067.200	734.792	- 5.552.219,7	-5%	0,0	0,7	0,15
Sustitución de equipos de aire acondicionado por tecnología inverter	50.050.000	7.531.621	- 22.006.316,9	-4%	0,0	0,9	1,53
Instalación de rejillas de ventilación en las zonas superiores de la edificación	15.600.000	11.021.884	50.207.599,9	68%	1,8	5,9	2,24
Instalación de rejillas de ventilación en las zonas superiores de la edificación y sustitución de equipos de aire acondicionado por tecnología inverter	65.650.000	16.900.222	10.709.982,4	14%	6,2	1,6	3,43

Medida	Inversión (COP)	Ahorro (COP)	VPN (COP/año)	TIR %	PRI (años)	Beneficio /Costo	Emisiones evitadas (Ton CO ₂ equ/año)
Instalación de equipos de control de iluminación por dimerización	451.218.338	11.940.374	- 405.575.321,4	-24%	0,0	0,2	2,43
Instalación de un sistema de generación a partir de energía solar fotovoltaica	520.468.748	76.508.000	57.654.142,6	12%	12,8	2,2	15,55

Fuente: Auditoría energética realizada en la edificación como parte del contrato BID CO-T1636-P003.

Con base en los resultados del análisis realizado, se identifica que las medidas que resultan rentables para la entidad, son:

- Instalación de rejillas de ventilación en las zonas superiores de la edificación

Es una medida rentable, dado que los ahorros que genera son altos con respecto a la inversión a realizar. Es una inversión que se recupera en un periodo aproximado de 1,8 años, con una inversión de un valor de 50.207.599,9 pesos, la cual genera un ahorro de aproximadamente 16.900.222 pesos al año y la tasa interna de retorno del proyecto (TIR) es de 68%, mayor al 10% definido como tasa de descuento. Con la implementación de esta medida en el periodo de vida estimado de 10 años, se reducirían 2,24 TonCO₂equ/año.

- Instalación de rejillas de ventilación en las zonas superiores de la edificación y sustitución de equipos de aire acondicionado por tecnología inverter

Si bien la instalación de equipos de aire acondicionado por tecnología inverter no es rentable por sí sola, al combinar esta medida con la instalación de rejillas de ventilación, la rentabilidad se hace positiva. La implementación conjunta de estas medidas genera una reducción de emisiones de 3,43 TonCO₂equ/año, con un valor de inversión inicial de 65.650.000 pesos se generan ahorros anuales de 16.900.222 pesos, por lo cual la TIR es de 14% y la inversión se recupera en 6,2 años.

- Instalación de un sistema de generación a partir de energía solar fotovoltaica

La instalación de un sistema para la generación de energía solar fotovoltaica en el edificio del Hospital del Sur, con las características descritas en la sección 3.1.2, permite reducir las emisiones en 15,55 TonCO₂equ/año, recuperar la inversión de 520.468.748 pesos en 12,8 años, gracias a los ahorros anuales de 73.508.000 pesos, con una TIR de la inversión de 12%.

3.6 Marco normativo y de política

En el ámbito de proyectos energéticos en Colombia, resulta esencial considerar el marco normativo que rige el sector. Este marco tiene como objetivo impulsar la implementación de buenas prácticas, la sustitución de equipos ineficientes, el fomento del uso racional de la energía, la promoción de la eficiencia energética y la integración de fuentes de energía renovable no convencionales. Todo ello en función de asegurar un suministro energético sostenible, alineado con la preservación del medio ambiente y los recursos naturales.

En primer lugar, destaca la Ley 697 de 2001, la cual impulsa el uso racional y eficiente de la energía (URE) mientras promueve la adopción de energías alternativas. Luego, surge la Resolución 40156 de 2022, que incorpora el Plan de Acción Indicativo 2022-2030 para el desarrollo del Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía (PROURE). En este contexto, se identifica ahorro potencial de 131,71 PJ para el sector terciario, con un porcentaje de ahorro estimado del 0,78%. Este esfuerzo se traduce en la prevención de 14,12 MtonCO₂ de emisiones durante el período 2022-2030.

En línea con las metas identificadas en el PROURE, se introduce la Resolución 319 de 2022, la cual establece los requisitos y el procedimiento para la evaluación y emisión de certificados que permitan acceder a los incentivos tributarios dispuestos en la Ley 1715 de 2014.

Ahora bien, en el contexto de entidades públicas y a través de la Ley 2294 de 2023, que promulga el Plan Nacional de Desarrollo 2022-2023, en su artículo 237 se establece que el Gobierno Nacional y otras entidades gubernamentales deben realizar auditorías energéticas cada cuatro años, dentro de un plazo máximo de un año desde la entrada en vigencia de la ley. Además, las entidades públicas que implementen medidas de eficiencia energética y proyectos de autogeneración con Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER) pueden utilizar los ahorros generados para cubrir tanto las inversiones realizadas como nuevas inversiones.

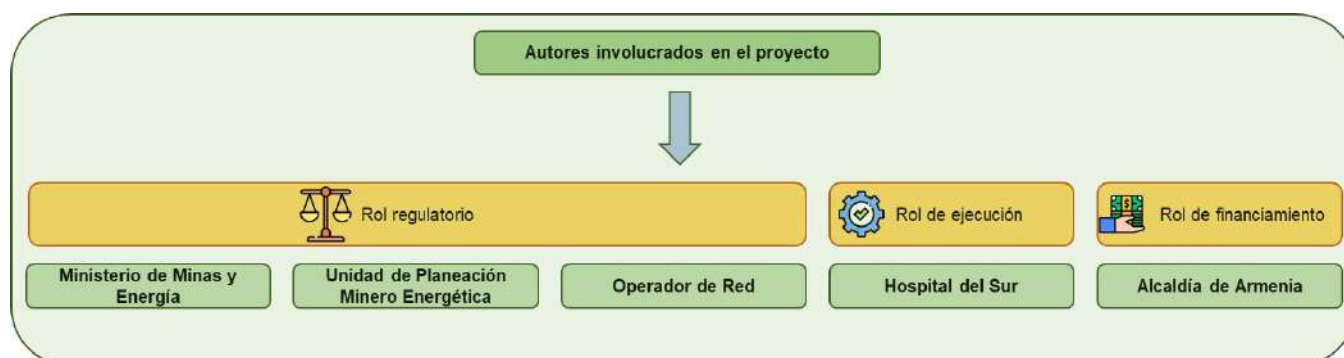
Por otro lado, en el marco del cumplimiento de la obligación de llevar a cabo auditorías energéticas en entidades públicas, destaca la Resolución 016 de 2024 emitida por la UPME. Esta resolución tiene como objetivo la adopción de la metodología de línea base de consumo y ahorro estimado, la cual debe aplicarse durante la ejecución de las auditorías energéticas.

Finalmente, en el caso específico de las normativas para la implementación de energías renovables no convencionales y, por ende, para ser autogeneradores, es esencial seguir la Resolución CREG 030 de 2018. Esta resolución regula aspectos operativos y comerciales que posibilitan la integración de la autogeneración a pequeña escala. Además, es crucial tener en cuenta la Resolución CREG 174 de 2021, la cual establece el proceso para la aprobación del proyecto ante el operador de red correspondiente.

3.7 Identificación y análisis de actores involucrados

Es fundamental destacar a los actores involucrados en el desarrollo del proyecto para el Hospital del Sur, con el objetivo de entender sus roles y posiciones respecto al mismo. A continuación, se ilustran los principales autores identificados y que serán analizados.

Figura 6. Autores involucrados



Fuente: elaboración propia

Dado que esta edificación es un establecimiento público de salud en Armenia, el primer actor implicado en el proyecto es la alcaldía de la ciudad. En este sentido, la alcaldía tiene la responsabilidad de gestionar y asignar los recursos necesarios para la implementación de las medidas identificadas y previamente presupuestadas en la auditoría energética del Hospital del Sur.

Una vez completado el proceso para obtener los recursos y considerando que, de acuerdo con el Artículo 237 de la Ley 2294 de 2023, la entidad pública puede utilizar los ahorros generados por el proyecto para cubrir las inversiones, el segundo actor clave es la administración del hospital. Tras la obtención de los recursos, la administración del hospital asume la tarea de implementar las medidas presupuestadas. En este contexto, el hospital, como contratante, llevará a cabo las actividades y obras a través de un contratista.

Cabe recalcar que, previo a la realización de las actividades de implementación e instalación, el Hospital del Sur debe llevar a cabo la gestión ante el operador de red, en este caso, EDEQ (Empresa de Energía del Quindío), que forma parte de EPM (Empresas Públicas de Medellín). Este proceso implica registrar al hospital como usuario autogenerador, teniendo en cuenta los aspectos legales y normativos pertinentes al proyecto.

En este contexto, el papel del operador de red se percibe como un ente regulador que verifica el aspecto técnico del sistema fotovoltaico en el marco de este proyecto.

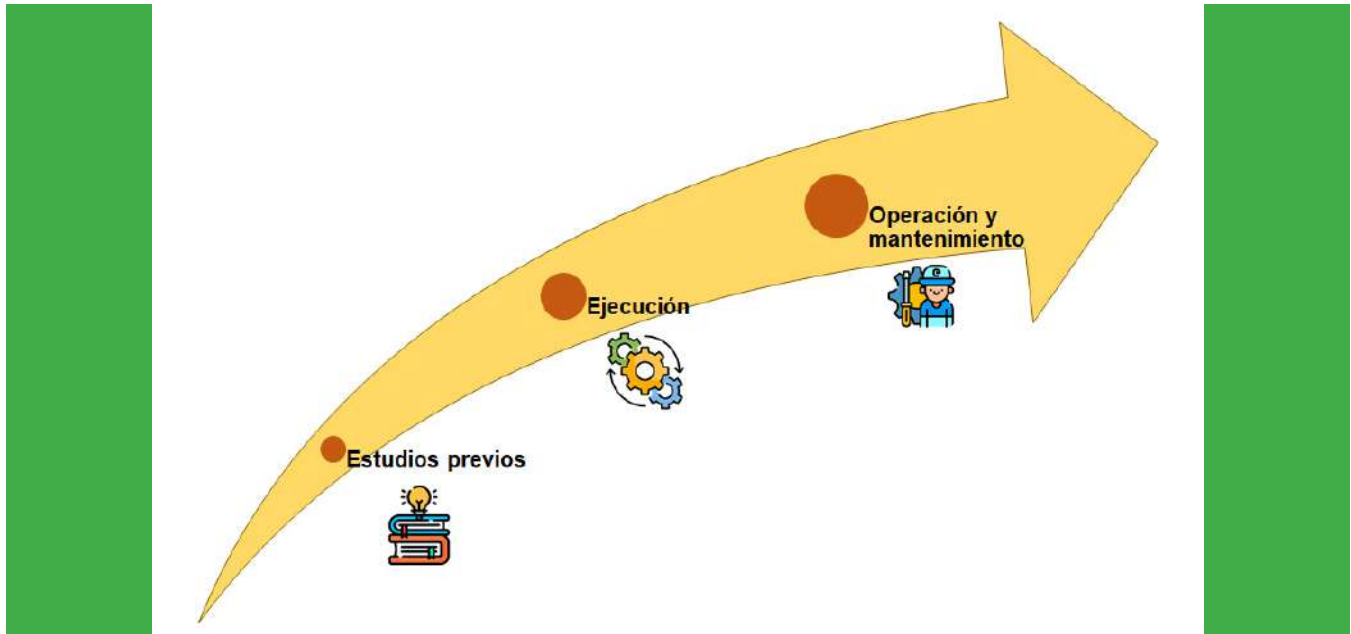
Seguido de lo anterior, el Ministerio de Minas y Energía, a través de la UPME, se encarga de gestionar los requisitos y el procedimiento para la evaluación y emisión de certificados que posibiliten el acceso a los incentivos tributarios. De esta manera, el papel de la UPME se considera regulatorio en representación del Ministerio de Minas y Energía. El procedimiento para acceder a los incentivos tributarios también deberá ser gestionado por la administración del Hospital del Sur.

Por último, la entidad principal, el Hospital del Sur, asumirá la responsabilidad de exigir que se cumplan los términos acordados con el contratista, supervisando así el inicio, desarrollo y conclusión del proyecto. Aunque también existe la opción de contratar interventoría, esta elección dependerá de los recursos de tiempo y financieros disponibles para las partes involucradas.

3.8 Etapas del proyecto

En cuanto a las diferentes etapas que constituyen el desarrollo del proyecto tipo desde su inicio hasta su culminación, a continuación se describen cada una de ellas y se resumen de manera ilustrativa en la siguiente figura.

Figura 7. Etapas del proyecto



Fuente: Elaboración propia.

3.8.1 Estudios previos

Evaluación

Es esencial iniciar considerando la identificación de la problemática, la exploración de alternativas de solución y el análisis técnico y financiero de medidas que garanticen su viabilidad. Este proceso se inicia con una auditoría energética, en la cual se establece una línea base de la edificación mediante la recopilación de información secundaria, como registros históricos de consumo, inventarios de equipos de aire acondicionado, equipos médicos, ofimáticos y luminarias. También, se realizan mediciones directas en los tableros eléctricos de distribución y simulaciones energéticas que tienen en cuenta la carga térmica por ocupación, equipos, fachada y materialidad, para obtener datos precisos sobre la demanda energética y porcentajes de consumos por uso final.

Con el procesamiento de estos datos y la obtención de resultados, se procede a realizar un análisis detallado de las posibles alternativas de solución. Este análisis incluye información técnica y financiera, además de la evaluación de

impactos ambientales, como emisiones de CO₂ evitadas y diversificación de la matriz energética. Esto último, con el objetivo de reforzar el impacto positivo que puede generar la ejecución del proyecto.

Formulación

Una vez identificadas las medidas viables, se avanza con la formulación detallada de las propuestas, especificando cantidades, ubicaciones, precios y especificaciones técnicas. Este proceso debe seguir los lineamientos de la Resolución 016 de 2024 emitida por la UPME, que precisa aplicarse durante la ejecución de las medidas y soluciones propuestas.

3.8.2 Ejecución

Financiamiento

Una vez diseñada la estructura del proyecto y elaborado el presupuesto correspondiente, se inicia el proceso de financiamiento. En esta etapa, se verifica el marco legal aplicable al proyecto, incluyendo la posibilidad de acceder a incentivos tributarios. Es esencial tener definidos los actores involucrados, así como sus roles dentro del proyecto, con el objetivo de establecer un modelo financiero que identifique claramente los flujos de efectivo de cada actor.

Cronograma de ejecución

Además, se deben considerar los aspectos sociales y posibles barreras que puedan surgir durante la ejecución del proyecto, lo que podría afectar el cronograma establecido. El propósito es identificar posibles medidas de mitigación para prevenir consecuencias negativas durante esta fase.

Implementación

Durante la etapa de implementación, se lleva a cabo la instalación de las medidas previamente evaluadas y presupuestadas. Esto se realiza de acuerdo con los acuerdos establecidos entre los actores involucrados y el contratista o contratistas responsables de ejecutar las actividades y obras correspondientes. Establecer acuerdos claros entre las partes es de suma importancia para asegurar una implementación exitosa y garantizar el logro de los objetivos del proyecto.

3.8.3 Operación y mantenimiento

Finalmente, se espera que las medidas instaladas entren en operación y permanezcan operativas durante el periodo definido como la vida útil del proyecto. Asimismo, se contemplarán acciones de sostenibilidad, tales como el mantenimiento preventivo y el mantenimiento correctivo. En este último caso, se realizarán intervenciones en caso de fallos en equipos y/o elementos. De esta manera, se busca minimizar la posibilidad de incumplimiento del cierre financiero del proyecto y asegurar el logro de sus objetivos.

3.9 Alternativa propuesta

De acuerdo con los resultados del análisis de alternativas presentado en la sección 3.5, la alternativa propuesta para lograr una mayor renovación del aire y reducir los consumos de energía eléctrica de la edificación con el objetivo de dirigirse hacia la descarbonización, es instalar rejillas de ventilación en las zonas superiores de las zonas comunes y que están abiertas a todos los pisos, cambiar todos los equipos de Aire Acondicionado Split y mini-Split a tecnología Inverter (exceptuando el caso que ya tiene esta tecnología), e instalar un sistema de generación a partir de energía solar fotovoltaica en el techo de la edificación.

3.9.1 Requisitos técnicos de la medida propuesta

Rejillas de ventilación

Considerando que en la edificación se cuenta con una baja tasa de renovación de aire, razón por la cual el calor generado por los equipos y los ocupantes no puede ser removido de forma parcial o total, según sea la temperatura del aire exterior, se propone instalar rejillas de ventilación en las zonas superiores de las zonas comunes y que están abiertas a todos los pisos. De acuerdo con las características de la edificación, se requeriría instalar aproximadamente 48m² de rejilla de 1 m de alto, o bien en una región del edificio que garantice 2 renovaciones de aire por hora para toda la edificación.

Figura 8. Potenciales lugares para las rejillas de ventilación en el Hospital del Sur



Fuente: Elaboración propia.

Para esta edificación se proponen 4 posibles lugares para las rejillas de ventilación, el primero, identificado con el número 1 en la figura anterior es la zona central del bloque sur en la que en las fachadas internas oriental y norte se pueden ubicar rejillas de ventilación que en algunas secciones permite ventilar halls de circulación. Los lugares 2 y 3 consisten en elevar ligeramente los tejados de esas dos secciones que actualmente cuentan con unos vacíos o aberturas, pero de un tamaño muy pequeño, se seleccionan estas dos ubicaciones porque su intervención es mucho más sencilla que en las demás partes donde existe una placa de concreto bajo el tejado. Finalmente, el cuarto lugar y el más viable corresponde a reemplazar el 50% de los vidrios en el tercer y segundo piso de la fachada principal del edificio. En la sección derecha de la figura 28 se encuentra una rejilla de ejemplo para la propuesta de implementación. Aunque se mencionan las posibles opciones para este

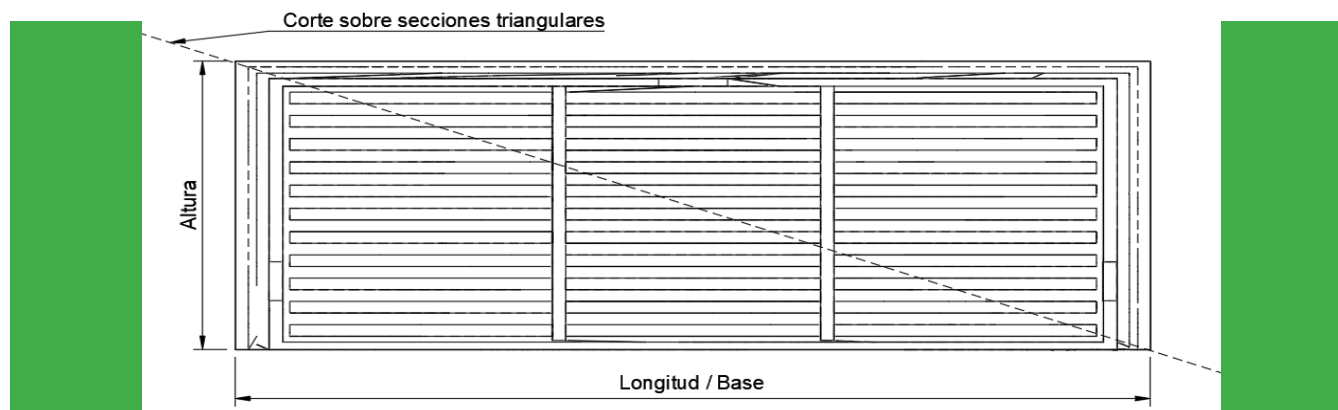
Tabla 2. Áreas de rejillas de ventilación por zona de acuerdo con la Figura 7

Zona según Figura 7	Área (m ²)
2	12
3	22
4	12

Fuente: Elaboración propia.

Una vez determinada la participación de cada zona en la tabla anterior se puede ver que en caso de requerir se puede intervenir la zona 1 de la figura para completar los metros cuadrados de rejillas. La zona 2 y 3 son similares ya que requieren que se levante 1m el techo que es de un material traslucido elevando los soportes metálicos de los que esta sujetado el tejado, de manera conjunta con la elevación del techo es necesario instalar los marcos metálicos para la instalación de rejillas de ventilación. Todo el acero utilizado debe ser galvanizado con un recubrimiento Z200 y prelacado. Posteriormente se realiza la instalación y adecuación de cada una de las rejillas de ventilación. La zona 2 tiene rejillas de ventilación rectangulares con tres tramos rectos cada uno con una longitud de 4 m cada una y una altura de 1 m. En la zona 3 consta de dos tramos triangulares con una base de 8m y una altura de 1m y una sección rectangular de 14 m de largo y 1 m de alto. El mantenimiento de estas rejillas de ventilación consiste en reemplazar los sellos y la realización de limpiezas generales de forma periódica.

Figura 9. Forma general de rejillas de ventilación para el Hospital del Sur



Fuente: Elaboración propia.

Equipos de aire acondicionado

La edificación cuenta con 14 equipos de aire acondicionado identificados durante la auditoría energética realizada en noviembre de 2023, de estos equipos, únicamente uno tiene tecnología inverter, que es la que presenta una mayor eficiencia energética. En este sentido se propone cambiar los 13 equipos de aire acondicionado Split y mini-Split a tecnología inverter. Esta medida posibilita elevar la eficiencia a un valor de 3,5 W/W permitiendo reducir el consumo de energía, entregando más potencia de enfriamiento con el mismo consumo eléctrico o, en consecuencia, entregar la misma potencia de frío con una demanda menor de energía eléctrica, ya que los equipos serían nuevos; asimismo, hace que el tiempo que no se cumple el set-point de frío que requieren los espacios descienda de 3.049 horas en la línea base a 43 horas, mejorando así la sensación térmica durante más tiempo en el Hospital. Los equipos que se reemplacen deberán tener una potencia igual o superior a la anterior a menos que la carga interna de ese lugar cambie. El refrigerante para cumplir con lo especificado en el PAI-PROURE 2022-2030 debería tener un GWP menor a 1.400 para mantener el lineamiento de buenas prácticas y a fin de cumplir con las especificaciones de ahorro simuladas el valor de eficiencia entre energía eléctrica consumida y potencia de frío o refrigeración entregada debe ser de al menos 3,5 y contar con tecnología Inverter de tal forma que el compresor pueda variar su velocidad de operación según las necesidades evidenciando todos los beneficios de menor mantenimiento, menor ruido y eficiencia energética de la que gozan estos equipos.

Tabla 3. Características equipos reemplazantes

Split/Mini-Split Inverter	
Capacidad (TR)	Según equipo a reemplazar
COP o EER (W/W)	3.5
Tecnología Inverter	SI
Tensión eléctrica	110V/220V
GWP	<1400

Fuente: Elaboración propia.

De esta forma los equipos a que requieren ser suministrados para la actualización tecnológica son los siguientes:

Tabla 4. Características equipos reemplazantes

Equipos de reemplazo		
Equipo	Capacidad	Cantidad
MiniSplit Inverter R-410-A COP 3.7	9000 BTU/h	2
MiniSplit Inverter R-410-A COP 3.7	12000 BTU/h	2
MiniSplit Inverter R-410-A COP 4	18000 BTU/h	4
MiniSplit Inverter R-410-A COP 3.8	24000 BTU/h	4
MiniSplit Inverter R-410-A COP 4	60000 BTU/h	1

Fuente: Elaboración propia.

La instalación de los equipos de forma conjunta por otro lado requiere el desmontaje de las unidades actuales, para realizar una limpieza de los lugares en contacto con las unidades HVAC y la posterior instalación de las unidades nuevas. Dado que ya existen unidades del mismo tipo, la intervención en la estructura de la edificación es mínima, de tal forma que, los costos de instalación son reducidos. Respecto a la operación y mantenimiento se estima un mantenimiento que incluye la limpieza de filtros para evitar la caída de eficiencia de los ventiladores y que se afecte la calidad del aire del sistema, inspecciones a las bobinas del evaporador y el condensador y una limpieza para mantener la transferencia de calor en los valores de diseño. Revisión de la presión del refrigerante para detectar a tiempo fugas o rendimiento insuficiente de los equipos. También es necesario hacer inspección de la unidad exterior para revisar obstrucciones y su estado por las condiciones climáticas.

Sistema solar fotovoltaico

De acuerdo con la auditoría energética realizada en la edificación, se pudo identificar que el Hospital del Sur en la actualidad no cuenta con un sistema de generación solar fotovoltaico, por esa razón como posible medida a implementar se propone un sistema de 81,81 kWp conectado a la red. Estaría compuesto de 161 paneles solares de 505 Wp, 5 inversores on-grid de 15 kW, entre otros elementos, para una generación mensual promedio de 10.250 kWh/mes que equivale al 41,51 % de la demanda promedio actual que es de 24.690 kWh/mes.

A continuación, se presentan los cálculos y la simulación del sistema de generación fotovoltaica.

Cálculo de la demanda

De acuerdo con lo establecido en el entregable 1 del estudio, la institución tiene un consumo mensual promedio de 24.690 kWh/mes y un consumo diario de 832 kWh/día. En la siguiente tabla se puede observar el consumo mensual de la institución.

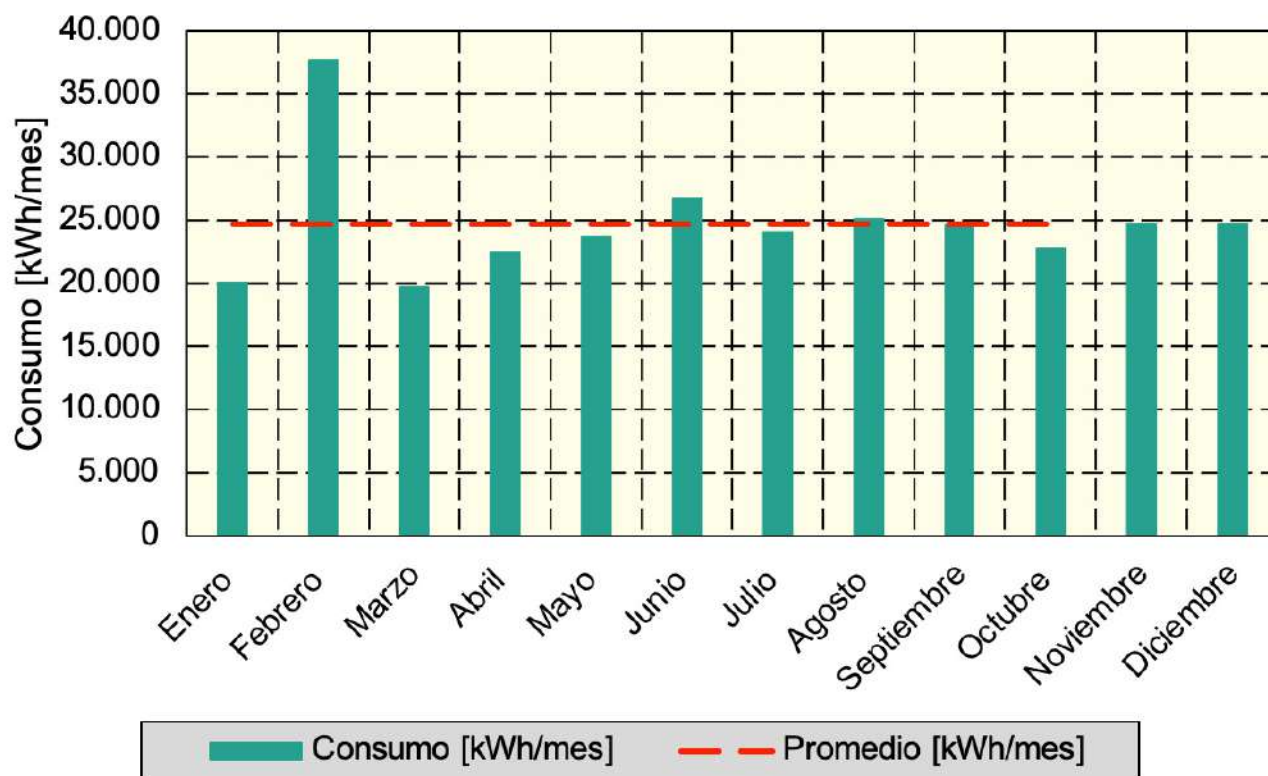
Tabla 5. Consumo promedio kWh/mes Hospital del Sur

Históricos cuenta 202435		
Promedio [kWh/mes]		24.690,60
Promedio [kWh/día]		832
Mes	Año	Consumo [kWh/mes]
Enero	2023	20.049,00
Febrero	2023	37.671,00
Marzo	2023	19.713,00
Abril	2023	22.476,00
Mayo	2023	23.711,00
Junio	2023	26.734,00
Julio	2023	24.000,00
Agosto	2023	25.110,00
Septiembre	2023	24.676,00
Octubre	2023	22.766,00
Noviembre	2023	24.690,60
Diciembre	2023	24.690,60
Total, año kWh		296.287,00

Fuente: Elaboración propia.

La entidad suministró los consumos hasta el mes de octubre, los meses de noviembre y diciembre fueron estimados de acuerdo con el promedio de las facturas anteriores. En la siguiente figura se observa el comportamiento de la demanda de energía de la institución.

Figura 10. Históricos de consumo de energía eléctrica del Hospital del Sur



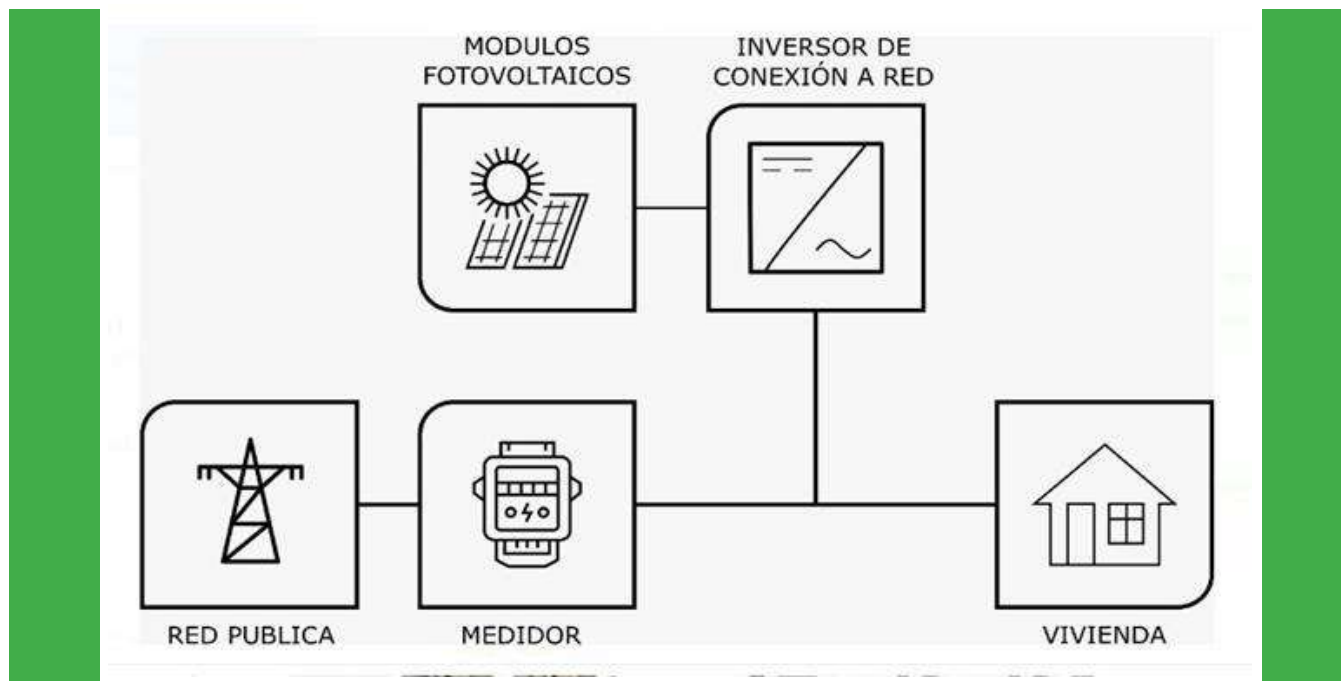
Fuente: Elaboración propia.

Luego del cálculo de la capacidad de generación del sistema solar, se determina la demanda de energía que se puede satisfacer, esto debido a que considerando el área disponible de la institución, como se explicará más adelante, no es posible suplir toda la demanda de energía.

Componentes de un Sistema Solar Fotovoltaico para Autogeneración

El sistema de generación solar fotovoltaica para el Hospital del Sur es de conexión a la red, como se muestra esquemáticamente en la Figura 10. El sistema consta de módulos fotovoltaicos dimensionados en cantidad y distribución de acuerdo con la capacidad del sistema que se ve en el Diagrama unifilar, un inversor de conexión a la red que actúa como una fuente de corriente, convirtiendo energía de DC a AC a la tensión de la red, y de un tablero de conexiones de red.

Figura 11. Sistema de generación fotovoltaica conectado a la red



Fuente: Elaboración propia.

Paneles/Módulos Fotovoltaicos

Los paneles/módulos fotovoltaicos se configuran en cadenas (módulos en serie), esto para garantizar las condiciones de voltaje óptimas hacia un buen funcionamiento del inversor de conexión a red. Estas cadenas se conectan en paralelo para alcanzar la potencia de generación máxima posible, de acuerdo con las especificaciones del inversor que se verán más adelante. En la Tabla 6 se muestran las características eléctricas del módulo fotovoltaico con el cual se diseñó el sistema propuesto para la entidad.

Tabla 6. Características Módulos Fotovoltaicos

MÓDULO 505WP (1000V)	
Potencia Pico (WP)	505 W
Voltaje Máxima Potencia (VMP)	38,53 V
Voltaje de Circuito Abierto (VOC)	45,72 VV
Corriente Máxima Potencia (IMPP)	13,11 A
Corriente de Corto Circuito (ISC)	14 A

Fuente: Elaboración propia.

Inversor Grid Tie (Inversor de Conexión a Red)

El Inversor de Conexión a Red (Grid Tie) tiene la función de convertir la energía en corriente continua generada por los paneles /módulos fotovoltaicos a corriente alterna, ello en las condiciones del punto de conexión del sistema. Es el componente del sistema cuya capacidad limita la potencia máxima de inyección de energía en el punto de conexión, no siendo posible inyectar a la red más energía que la de la potencia nominal del inversor de conexión a la red. En la Tabla 7 se muestran las características que deben tener los inversores de conexión a la red.

Tabla 7. Características inversor ON GRID

INVERSOR TRIFÁSICO 15 kW	
Máxima potencia en AC	15000 W
Máxima tensión de entrada	1000 Vdc
Mínima potencia en AC	0 W
Mínima tensión de entrada	160 V

Fuente: Elaboración propia.

Medidor Bidireccional

La función del medidor bidireccional es la de medir la energía que se consume y la que se entrega al operador de red (OR), esto en el caso de existir excedentes.

Se propone entregar los excedentes de la generación solar al Operador de red, cuando la generación del sistema solar sea mayor al consumo propio del edificio, y así negociar el excedente de energía eléctrica en los términos de la Resolución CREG 030 de 2018. Para la vigencia del objeto contractual, se aplica la Resolución CREG 174 de 2021 que actualiza los términos de la 030.

Tabla 8. Características medidor bidireccional

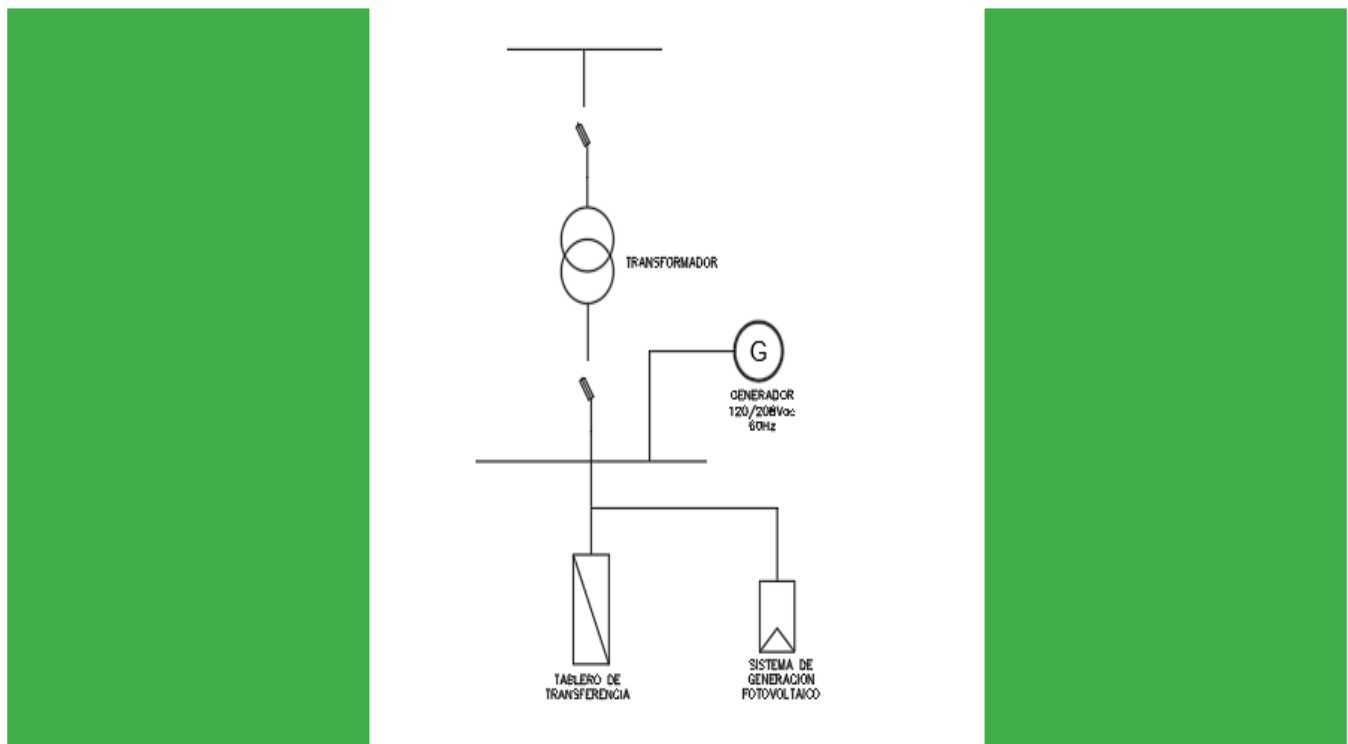
MEDIDOR BIDIRECCIONAL	
Voltaje de referencia U	3x57.7/100 V, 3x290/500
Rango de voltaje	0.8 Un ... 1.15 Un
Corriente nominal	2.5 A
Corriente Máx. Imax	20 A
Frecuencia de referencia	60 Hz +/- 2

Fuente: Elaboración propia.

Punto de conexión

El punto de conexión estará ubicado en el tablero de transferencia, desde el cual se alimentan las cargas críticas del hospital: radiología, ascensor, tercer piso, motobomba, adecuación parte 3, hospitalización, laboratorio, quirófanos, compresor de oxígeno y el totalizador del laboratorio 2.

Figura 12. Diagrama punto de conexión sistema de generación fotovoltaico



Fuente: Elaboración propia.

Estructuras de soporte

Las especificaciones de las estructuras de soporte deben tener entre las más importantes, las que se enuncian a continuación:

- La estructura con los módulos instalados debe resistir la sobrecarga por viento (100 km/hora).
- La estructura y el sistema de fijación de los módulos debe permitir dilataciones térmicas, sin transmitir cargas que pueden afectar la integridad de los módulos, siguiendo las instrucciones del fabricante.

- Los puntos de sujeción para el módulo fotovoltaico serán suficientes en número, teniendo en cuenta el área de apoyo y posición relativa, de modo que no se produzcan flexiones en los módulos superiores.
- El material empleado para la construcción de las estructuras debe ser el adecuado para las condiciones ambientales del emplazamiento, por ejemplo, ambiente corrosivo y helado.

Estudio de áreas disponibles en la institución

El Hospital del sur cuenta con un área de 2.856 m² de los cuales 2.176 m² serían aprovechables para un sistema de generación solar, sin embargo, esta área no está completamente disponible, esto debido al diseño arquitectónico y estado de la estructura, por esa razón para el diseño del sistema de generación solar fotovoltaica se utilizaron 867 m². Con esta área disponible se calcula el valor de la energía generada.

En la siguiente figura se puede observar el área seleccionada para el sistema solar propuesto.

Figura 13. Ubicación sistema de generación solar



Fuente: Elaboración propia.

Simulación del sistema de generación solar fotovoltaico

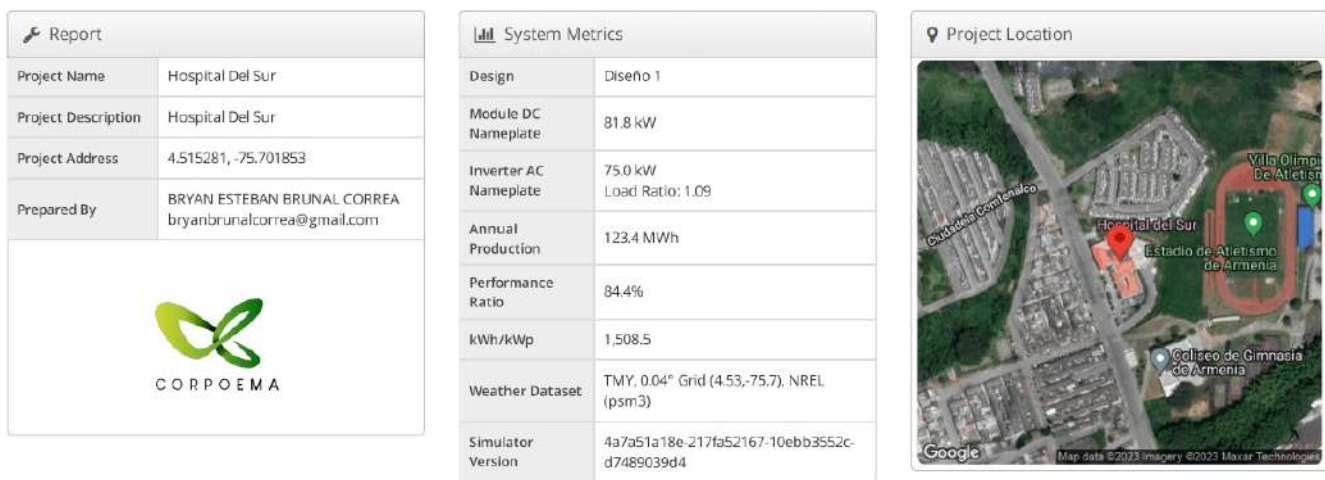
Para la simulación y el cálculo del sistema solar se utilizó el programa HELIOSCOP. Una vez se da como entrada las condiciones meteorológicas del sitio, las áreas disponibles, el ángulo de inclinación de los módulos, las tecnologías de módulos a usar y las tecnologías de inversores, se da como salida del programa los cálculos de potencias y energía suministrada por el sistema, los cuales brindan las mejores condiciones de rendimiento y eficiencia en las áreas y la edificación dispuesta.

A continuación, se muestran los resultados de la simulación. Para mayor información se puede consultar el Anexo 1, en el cual se encuentra el informe directo del programa HELIOSCOP.

Localización

La ilustración define las coordenadas geográficas de la institución (4.515281 N, -75.701853°W), la potencia que decidió instalarse (81,8 kWp), la generación de energía anual (123,4 MWh/año) y la producción específica (1.508.5 kWh/kWp/año).

Figura 14. Localización con coordenadas geográficas

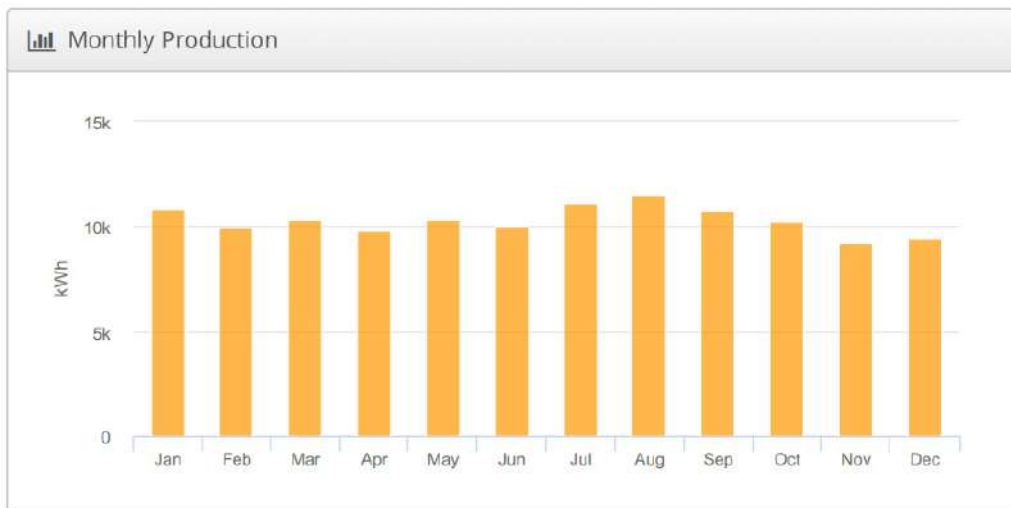


Fuente: Elaboración propia.

Producción o generación de energía mensual del emplazamiento propuesto

La Figura 14 muestra el comportamiento de la generación del emplazamiento solar para cada uno de los meses del año, puede determinarse una media de generación mes de 10.250 kWh/mes.

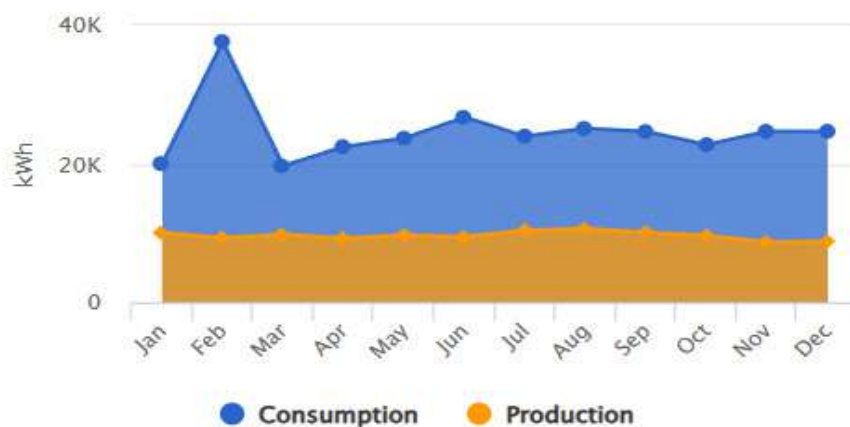
Figura 15. Generación mensual del emplazamiento solar



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 15 se observa una curva de demanda de energía en color azul y la energía generada por el sistema solar en color naranja, como se dijo anteriormente, la generación del sistema solar equivale a un 41,51 % de la energía demanda promedio de la institución.

Figura 16. Energía generada y energía demandada



Fuente: Elaboración propia (creada en HELIOSCOP).

Plano de planta de la ubicación de módulos dentro de las losas

La Figura 16 presenta en detalle los arreglos constructivos dentro del proyecto, no se muestra el tipo de estructura propuesto en este caso, lo cual es parte del desarrollo de la ingeniería básica esquemática de estas estructuras, ello en tanto pueden presentarse variaciones del sistema constructivo una vez se realice la implementación.

Figura 17. Dibujo de la ubicación del sistema solar

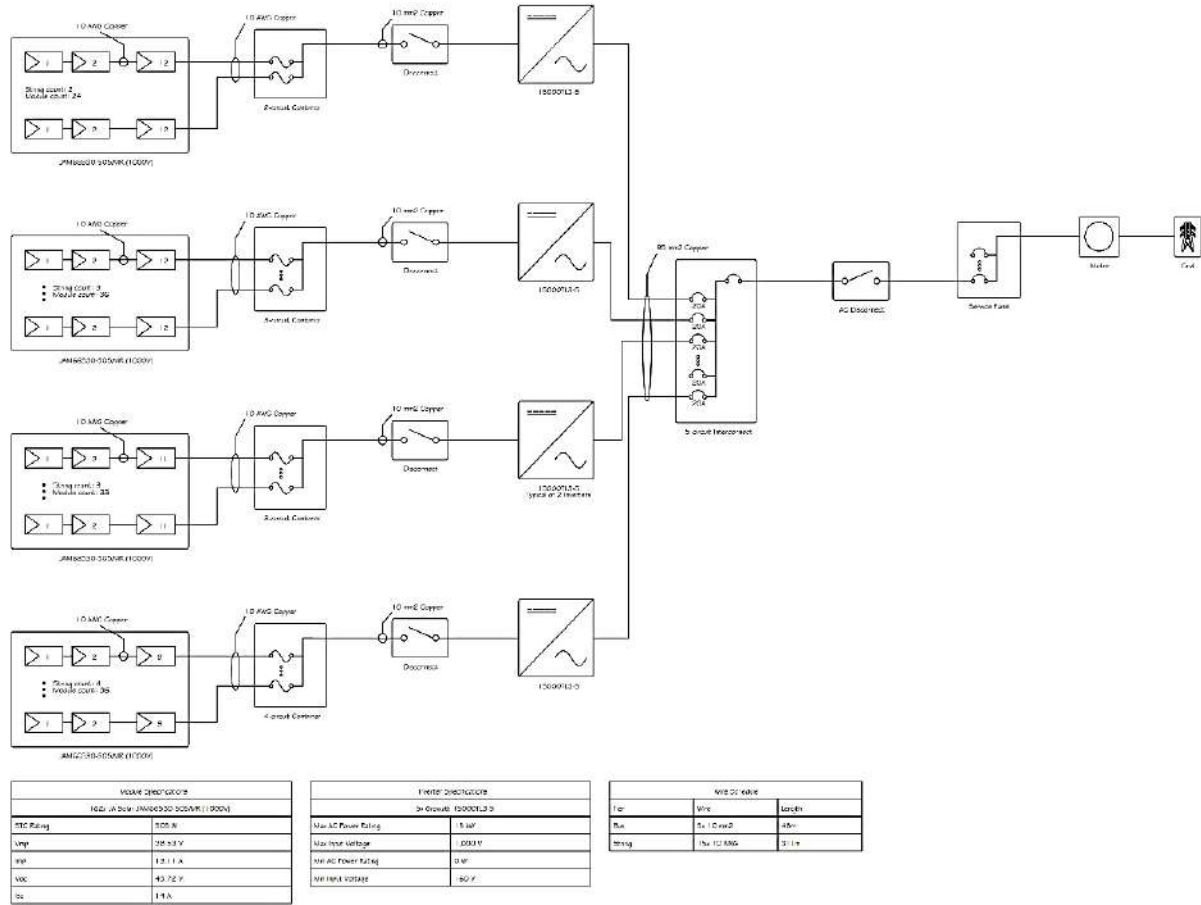


Fuente: Elaboración propia.

Diagrama unifilar

El diagrama unifilar de la Figura 17 muestra la integración del campo solar propuesto a través de la red de baja tensión a un nivel de 220/127 V, para mayor detalle el diagrama unifilar se puede ver en el Anexo 1.

Figura 18. Diagrama unifilar



Fuente: Elaboración propia.

Resumen del sistema

A continuación, se muestra una tabla con el resumen del sistema de generación solar fotovoltaico.

Tabla 9. Resumen de características del sistema de generación solar fotovoltaico propuesto

Descripción	Detalle
Demanda promedio anual	296.287 [kWh]
Demanda promedio mensual	24.690 [kWh/mes]
Demanda promedio diaria	823 [kWh/día]
Generación promedio anual	123.400 [kWh]
Generación promedio mensual	10.250 [kWh/mes]
Generación promedio diaria	341,6 [kWh/día]
Porcentaje de demanda cubierta	41,51%
Potencia total del sistema	81,8 [kW]
Cantidad de paneles solares	161
Potencia paneles solares	505 [Wp]
Cantidad de inversores	5
Potencia de inversores	15 [kW]

Fuente: Elaboración propia.

3.10 Presupuesto y cronograma

Considerando la alternativa propuesta para ser implementada en la edificación del Hospital del Sur de Armenia, se presenta a continuación el presupuesto requerido y el cronograma de implementación que se debería tener en cuenta para la fase de implementación del proyecto.

Tabla 10. Presupuesto para la implementación de las medidas del proyecto

Implementación de medidas de eficiencia energética		
Medida	Actividades	Costo total (no incluye costos de supervisión e interventoría)
Instalación de 48 m2 de rejilla de ventilación	Precontractual	\$ 0
	Solicitud de permisos	\$ 450.000
	Obras civiles	\$ 2.070.000
	Estructura metálica de levantamiento de techo	\$ 3.600.000
	Estructura metálica de marcos en ventanas	\$ 1.800.000
	Instalación de rejillas de ventilación	\$ 9.600.000
	Ajustes verificación de infiltraciones	\$ 900.000
	Capacitación en O&M	\$ 180.000
	Liquidación	\$ 0
Reemplazo de equipos de aire acondicionado	Precontractual	\$ 0
	Compra de equipos	\$ 53.351.700
	Transportes de equipos a sitio	\$ 2.667.585
	Solicitud de permisos	\$ 266.759
	Desmante y limpieza de área de equipos antiguos	\$ 1.600.551
	Instalación de equipos nuevos	\$ 1.333.793
	Instalación y adecuación de tubería interna y externa	\$ 426.814
	Mantenimiento de sistema eléctrico de suministro para nuevos HVAC	\$ 373.462
	Suministro e instalación de protección eléctrica nueva	\$ 1.067.034
	Pruebas y ensayos	\$ 160.055
	Capacitación en O&M	\$ 106.703
Liquidación	\$ 0	

Implementación de medidas de eficiencia energética		
Medida	Actividades	Costo total (no incluye costos de supervisión e interventoría)
Implementación de un sistema fotovoltaico	Precontractual estudios y diseños	\$ 31.228.125
	Importación de equipos	\$ 260.234.374
	Transportes de equipos a sitio	\$ 10.409.375
	Transferencia tecnológica y capacitación en energías renovables	\$ 2.602.344
	Solicitud de permisos	\$ 520.469
	Obras civiles	\$ 44.239.844
	Instalación estructura metálica paneles	\$ 31.228.125
	Instalación de paneles solares	\$ 18.216.406
	Instalación de tableros	\$ 20.298.281
	Instalación inversores en campo	\$ 17.175.469
	Sistema de protección y tierras	\$ 14.573.125
	Cableados internos y externos	\$ 29.146.250
	Sistema de comunicación y monitoreo	\$ 14.573.125
	Pruebas y ensayos	\$ 12.491.250
	Capacitación en AOM	\$ 3.122.812
	Puesta en marcha del sistema	\$ 0
	Certificación RETIE	\$ 10.409.375
	Liquidación	\$ 0
Valor total del proyecto - Inversión		\$ 600.423.203

Fuente: Elaboración propia.

Costos de mantenimiento

Como fueron descritos en las secciones anteriores cada uno de los componentes o medidas de eficiencia energética tiene unas actividades de mantenimiento que es necesario tener en cuenta a la hora de realizar la inversión. El siguiente cuadro resume los costos de estas actividades anuales.

Tabla 11. Costo de mantenimiento anual para cada una de las medidas

Medida	Costo de mantenimiento anual en COP
Instalación de 48 m2 de rejilla de ventilación	\$ 372.000
Reemplazo de equipos de aire acondicionado	\$ 1.867.310
Implementación de un sistema fotovoltaico	\$ 2.863.000
Total	\$ 5.102.310

Fuente: Elaboración propia.

cronograma

A continuación se presenta el tiempo estimado para la ejecución de las actividades que conforman cada componente del proyecto.

Tabla 12. Cronograma de implementación del proyecto

Compo- nente	Actividad	Mes / semana																																	
		Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4				Mes 5				Mes 6				Mes 7				Mes 8					
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32		
Instala- ción 48 m ² de rejilla de ventila- ción	Precon- tractual	■	■	■	■																														
	Solicitud de perm- isos					■	■	■	■																										
	Obras civiles									■	■																								
	Estructura metálica de levanta- miento de techo										■	■																							
	Estructura metálica de marcos en venta- nas											■	■																						
	Instalación de rejillas de ventila- ción												■	■																					
	Ajustes verificación de infiltra- ciones													■																					
	Capaci- tación en AOM														■																				
	Liquida- ción															■	■																		

Compo- nente	Actividad	Mes / semana																																	
		Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4				Mes 5				Mes 6				Mes 7				Mes 8					
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32		
Reem- plazo de equipos de aire acondicio- nado	Precon- tractual	■	■	■	■																														
	Compra de equipos					■	■	■																											
	Transpor- tes de equipos a sitio							■	■																										
	Solicitud de permisos					■	■	■	■																										
	Desmante y limpieza de área de equipos antiguos									■	■																								
	Instalación de equipos nuevos											■	■																						
	Instalación y adecua- ción de tubería interna y externa											■	■																						
	Manteni- miento de sistema eléctrico de sumi- nistro para nuevos HVAC											■	■																						
	Suministro e instala- ción de protección eléctrica nueva											■	■																						
	Pruebas y ensayos												■	■																					
	Capaci- tación en AOM													■																					
	Liquida- ción															■	■																		

Compo- nente	Actividad	Mes / semana																																					
		Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4				Mes 5				Mes 6				Mes 7				Mes 8									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32						
Imple- mentación de un sistema fotovol- taico	Pre-contractual estudios y diseños	■	■	■	■																																		
	Importación de equipos					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																						
	Transportes de equipos a sitio													■	■	■	■																						
	Transferencia tecnológica y capacitación en energías renovables													■	■	■	■																						
	Solicitud de permisos					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																								
	Obras civiles										■	■	■	■	■																								
	Instalación estructura metálica paneles													■	■	■	■																						
	Instalación de paneles solares													■	■	■	■	■	■	■	■																		
	Instalación de tableros																	■	■	■	■	■	■	■	■														
	Instalación inversores en campo																						■	■	■	■	■												
	Sistema de protección y tierras																						■	■	■	■	■												
	Cableados internos y externos																						■	■	■	■	■	■	■	■									
	Sistema de comunicación y monitoreo																							■	■	■	■	■	■	■	■								
	Pruebas y ensayos																								■	■	■	■	■	■	■	■							
	Capacitación en AOM																							■	■	■	■	■											
	Puesta en marcha del sistema																									■	■	■	■	■	■	■	■						
	Certificación RETIE																									■	■	■	■	■	■	■	■						
Liquidación																																				■	■	■	■

Fuente: Elaboración propia.

3.11 Levantamiento de información

Esta sección del informe final se centra en el proceso de levantamiento de información, el cual es necesario para contar con una caracterización o diagnóstico energético en edificaciones públicas en Colombia. A continuación, se detalla la metodología utilizada, la cual podría ser considerada para otras edificaciones del sector público.

3.11.1. Selección de Edificios Públicos

Se propone un criterio de selección que considera el consumo energético, la antigüedad de la edificación y la disponibilidad de datos relevantes para la auditoría. Se sugiere la evaluación de edificaciones públicas con consumos energéticos importantes, clasificadas como Hospital, Administrativo y Educación, tomando en cuenta el potencial de reducción de emisiones de GEI y el uso de fuentes de energía renovables.

3.11.2. Documentación Requerida

Se identifican los documentos esenciales para el proceso de auditoría, como la documentación de diseño, operación y mantenimiento de equipos energéticos relevantes, auditorías energéticas previas y cualquier otro dato financiero, de gestión o consumo de energéticos, siguiendo las directrices de la norma ISO 50002.

Se requiere que la entidad recopile y tenga disponible información referente a:

- Costos energéticos históricos: se requirieron copias de las facturas de servicios públicos de los últimos 3 años, o un resumen con los consumos mensuales de electricidad y otros combustibles.
- Contratos y compras relacionadas con energía: términos contractuales para la adquisición de equipos energéticos, vehículos y combustibles, así como lineamientos en pliegos y procedimientos de compra.
- Estructura organizacional: conocer la existencia de un equipo responsable de la gestión energética y los roles de sus integrantes.
- Comunicaciones externas sobre consumos energéticos e indicadores.
- Financiación de proyectos previos de eficiencia energética.

3.11.3. Caracterización Energética de la Edificación

Asimismo, se recopila información sobre las características constructivas, horarios de uso de espacios, potencia de equipos de iluminación y un resumen histórico de consumos de combustibles, esto según lo establecido en la guía de implementación de planes de gestión eficiente de la energía. Algunos de los datos que se levantan en las instalaciones, son los siguientes:

- Planos arquitectónicos actualizados en formato digital.
- Tablas detallando las características y composición de muros, pisos, techos, puertas y ventanas.

- Áreas y uso por horario semanal de los distintos espacios y su nivel de ocupación.
- Estado y tipo de climatización de cada área y temperaturas de operación.
- Sistemas de suministro y consumo energético

También se recopila información sobre:

- Diagramas unifilares eléctricos con detalles de las acometidas, transformadores y circuitos.
- Diagramas de distribución de combustibles y especificaciones de su uso.
- Reportes históricos de consumos mensuales de electricidad y otros combustibles durante 3 años.
- Diagramas de flujo de los sistemas HVAC con equipos y temperaturas de operación.

Se realizan inventarios detallados de:

- Equipos eléctricos en cada área, con cantidad y potencia.
- Luminarias de interior y exterior, especificando tecnología y potencia.
- Equipos de climatización como chillers, torres de enfriamiento, fancoils, splits, cassettes, incluyendo fichas técnicas.

Toda esta información técnica es analizada para establecer una línea base energética, identificar oportunidades de eficiencia y realizar los análisis técnico-económicos correspondientes. De este proceso se obtiene como resultado un diagnóstico energético, este se puede observar en la sección 3.3.



3.12 Aspecto socio – ambiental

Los beneficios ambientales y sociales del proyecto a implementar se evidencian principalmente a través de la reducción que se generará de los consumos de energía eléctrica, la cual se relaciona directamente con una reducción de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) al ambiente, que son causa del cambio climático. El cambio climático tiene efectos que perjudican a los ecosistemas y a la sociedad, con eventos como inundaciones, deslizamientos, cambios en los patrones de las precipitaciones, incremento de las temperaturas, pérdidas de biodiversidad, entre otros, que impactan a la sociedad amenazando la seguridad alimentaria, poniendo en riesgo a poblaciones, e incluso impactando la salud.

En este sentido, la medición directa de los efectos ambientales de la implementación del proyecto se puede medir con la reducción de las emisiones de GEI que se proyecta con la implementación de las medidas seleccionadas. En total, con el proyecto que tiene un ciclo de vida de 15 años, según la expectativa de vida útil de los equipos de aire acondicionado, es de 18,98 TonCO₂eq/año.

Adicionalmente, a nivel social, la implementación de un proyecto de eficiencia energética y energías renovables como el que se propone, hay otros beneficios sociales como la reducción en los costos de la entidad y de la sociedad en general por reducir los consumos de energía, que permite que haya recursos disponibles para otros requerimientos sociales, la mejor calidad del aire en la edificación que se logrará en este caso con la instalación de rejillas de ventilación y beneficiará a los usuarios de las instalaciones, la menor dependencia de la energía eléctrica del Sistema Interconectado Nacional con la generación de energía a partir de una fuente renovable, y aportar a la descarbonización y a los compromisos nacionales en materia de mitigación al cambio climático.

Para que el desarrollo del proyecto permita lograr los beneficios esperados, es importante tener consideraciones sociales y ambientales en su desarrollo. En los aspectos ambientales se debe considerar el cumplimiento de la normativa relacionada en cuanto a la correcta disposición de los residuos que se generarán en el proceso de implementación de las medidas propuestas, así como evitar al máximo posible la contaminación ambiental y auditiva que puede llegar a darse en la edificación como consecuencia de algunas actividades necesarias en la instalación.

En cuanto a los aspectos sociales, es importante asegurarse de que en el diseño del proyecto estén consideradas las perspectivas de distintas personas que se vean impactadas por este, considerando que haya diversidad de edad género, nivel educativo, condiciones de discapacidad, y otras que puedan afectar la percepción sobre algunas características del proyecto.

3.13 Aspecto legal y normativo

El desarrollo e implementación de un sistema de generación solar fotovoltaica en Colombia requiere del cumplimiento de la normatividad vigente que regula la integración de este tipo de fuentes renovables al sistema eléctrico nacional. Dentro del marco legal se deben tener en cuenta regulaciones como la inscripción ante la UPME como autogenerador, la obtención de los permisos de conexión por parte del operador de red, y el cumplimiento de los requisitos técnicos sobre inyección de energía reactiva a la red.

Asimismo, se deben considerar los mecanismos de comercialización y remuneración de excedentes contemplados por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). La resolución CREG 030 de 2018 se regulan aspectos operativos y comerciales para permitir la integración de la autogeneración a pequeña escala y de la generación distribuida al Sistema Interconectado Nacional (SIN), se deben tener en cuenta las siguientes definiciones:

- **Autogenerador a pequeña escala, AGPE:** Autogenerador con potencia instalada igual o inferior a 1MW.
- **FNCER:** Son las fuentes no convencionales de energía renovables tales como la biomasa, los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos, la eólica, la geotérmica, la solar y los mares.
- **Exportación de energía:** Cantidad de energía entregada a la red por un autogenerador o un generador distribuido
- **Crédito de energía:** Cantidad de energía exportada a la red por un AGPE con FNCER que se permuta contra la importación de energía que éste realice durante un periodo de facturación.

Se debe realizar el registro del proyecto fotovoltaico ante el operador de red local, en este caso EPM. Para ello, es necesario conocer datos como la potencia del transformador y el nivel de tensión de conexión, principalmente en baja tensión. Asimismo, se debe determinar la capacidad máxima a instalar según la cantidad de paneles fotovoltaicos y la potencia del inversor seleccionado. Realizando una consulta de disponibilidad de red con EPM, se ha verificado que el transformador al cual se conectaría el sistema posee actualmente capacidad para recibir inyección de energía. Esto aumenta la probabilidad de que la solicitud de conexión por parte del proyecto fotovoltaico sea aceptada por el operador de red, esto según la resolución CREG 174 de 2021.

Figura 19. Capacidad copada y Límite a inyectar, para los transformadores en el periodo del 2022.

Trafo	Capacidad copada de potencia entregable a la red kVA	Capacidad copada de energía entregable a la red sin TFV kWh	Capacidad copada de energía entregable a la red Con TFV kWh	Límite de potencia a inyectar kVA	Límite de energía a inyectar sin TFV en kWh	Límite de energía a inyectar con TFV en kWh
ARUQ2007	0	0	0	37,5	6,32695925	7,65917743
ARUQ2010	0	0	0	37,5	7,23914298	8,58573898
ARUQ2016	0	0	0	75	13,8155934	16,6575312
ARUQ2017	0	0	0	56,25	10,8384338	12,6754229
ARUQ2018	0	0	0	37,5	5,90873062	6,94528221
ARUQ2020	0	0	0	22,5	1,72026654	2,04332348

Fuente: (EDEQ Grupo EPM, 2021)

Sin embargo, se establece una limitación a la cantidad de energía que los generadores distribuidos (GD) y autogeneradores a pequeña escala (AGPE) pueden inyectar a la red. La cantidad total de energía en una hora que pueden entregar todos los GD y AGPE conectados al mismo circuito o transformador del nivel de tensión 1, cuyo sistema de producción sea fotovoltaico sin capacidad de almacenamiento, no debe superar el 50% del promedio anual de las horas de mínima demanda diaria de energía registradas para el año anterior a la solicitud de conexión, considerando la franja horaria entre las 6 a.m. y las 6 p.m. En caso de incumplirse esta limitación, la conexión deberá realizarse conforme al artículo 17 de la misma resolución. Esto implica que los costos y gastos necesarios para aumentar la

capacidad del transformador deberán ser asumidos por el AGPE, el generador distribuido o autogenerador a gran escala (AGGE).

Con lo anterior definido se explicarán los pasos para registrar el proyecto y efectuarse la entrega de excedentes para un AGPE menor a 100kW:

- Diligenciar formulario de solicitud de conexión simplificada que se presenta a continuación.

Figura 20. Resumen de estudio de conexión simplificado



Contenido Estudio de Conexión Simplificado AGPE menores a 0,1 MW y GD

1. Resumen Ejecutivo

- 1.1. Descripción General del proyecto
- 1.2. Fecha de entrada del proyecto
- 1.3. Potencia máxima de generación
- 1.4. Número de unidades
- 1.5. Parámetros eléctricos del generador
- 1.6. Ubicación geográfica del proyecto y de la instalación
- 1.7. Parámetros técnicos de los paneles y de los inversores para tecnología solar fotovoltaica
- 1.8. Información adicional que sea necesaria para el análisis de la conexión

2. Objeto y Alcance

3. Metodología

- 3.1. Criterios técnicos de calidad, seguridad y confiabilidad
- 3.2. Límites a validar de acuerdo con los criterios del numeral 3.1.
- 3.3. Descripción de los análisis a realizar
- 3.4. Cálculo teórico de la energía anual producida por el proyecto y comparación con la curva de carga del cliente y el transformador

4. Resultados de los análisis eléctricos

- 4.1. Flujo de carga AC en estado estable para condiciones normales de operación (sistema desbalanceado) o análisis desbalanceado de corrientes, en el que se evidencie el impacto de la conexión y las corrientes circulantes por el neutro
- 4.2. Cálculo de pérdidas en NT1
- 4.3. Verificación del nivel de cortocircuito en NT1 (norma IEC60909)
- 4.4. Calidad de la potencia: Declaración técnica del equipo en cuanto al cumplimiento de los parámetros establecidos en la IEEE 1547 y de estándares en cuanto a la calidad de la potencia (inyección de armónicos a la red y fluctuaciones de tensión, etc.) y sujetos a la verificación con medidas en campo antes y después de la instalación del proyecto.

Para los estudios se debe realizar la modelación en la fecha indicada por el promotor tanto para el caso sin proyecto, como para el caso con proyecto.

Dependiendo del proyecto se deben analizar los siguientes escenarios:

Para proyectos diferentes a solar fotovoltaico sin almacenamiento:

- Demanda máxima- Generación máxima
- Demanda media-Generación máxima (si existen proyectos fotovoltaicos sin almacenamiento que impacten la conexión)
- Demanda mínima- Generación máxima

Para proyectos fotovoltaicos sin almacenamiento:

Analizar en los periodos (9 a.m. - 12 p.m. - 15 p.m.) los siguientes escenarios: • Demanda cliente - Generación solar fotovoltaica esperada

5. Verificación de protecciones

Validar que las protecciones del transformador de distribución continúen siendo válidas, en caso contrario proponer el ajuste de las mismas.

6. Conclusiones y recomendaciones

Si se requieren obras en la red de distribución eléctrica es necesario la descripción de las mismas.

 EPM | Medellín - Colombia
Carrera 58 N° 42-125 | A.A. 940

 Línea de servicio al cliente: +57-4-4444 115
Oficinas: +57-4-380 8080 | Fax: +57-4-384 3940

 www.epm.com.co
e-mail: estamosahi@epm.com.co



Fuente: (EPM, 2018)

Una vez diligenciado el formulario anterior, según la resolución CREG 038 de 2014 y el RETIE se deben adjuntar los siguientes documentos para poder realizar la solicitud:

- Memorias de cálculo y selección de sistema de medida.
- Esquema de protección de voltaje y frecuencia del punto de conexión.
- El tipo de conexión a tierra, de la generación como para el punto de conexión.
- Diagrama unifilar.

Documentos que se deben presentar en las pruebas de conexión:

- Certificación de conformidad con el RETIE.
- Certificado de conformidad de producto y certificados de calibración vigentes del sistema de medición.
- Especificaciones técnicas de inversores y paneles solares.

Es importante tener en cuenta que si hay entrega de excedentes se debe cambiar el medidor por uno bidireccional el cual censará cuanta energía es importada y exportada de la red y hacer un neteo del consumo final mensual y permitirá efectuar la reducción del costo en la cuenta de servicios.

Para finalizar, el 7 de junio de 2023 el Ministerio de Minas y Energía emitió el Decreto 0929, que establece medidas para promover la eficiencia y competitividad del servicio de energía eléctrica en Colombia. Dentro de este decreto, el artículo 2.2.3.2.4.9 modifica la remuneración de los excedentes de autogeneración a pequeña escala. En el parágrafo 2 de este artículo se establece que: “Los usuarios que cuenten con sistemas de autogeneración a pequeña escala a partir de Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER), están exentos del cobro de energía reactiva”. (CREG, 2023)

Esta exención del cobro de energía reactiva para sistemas de autogeneración con energías renovables busca promover e incentivar la participación de este tipo de generación distribuida en el sistema interconectado nacional. Junto con otras medidas incluidas en el Decreto 0929, como facilitar la remuneración de excedentes, se apunta a cumplir los objetivos de eficiencia, sostenibilidad y competitividad que plantea esta reglamentación para el servicio de energía eléctrica en el país.

3.14 Aspectos económicos y financieros

En cuanto a los temas económicos y financieros que se deben considerar en el desarrollo del proyecto, el primero es el costo de la inversión a realizar, detallado en la sección 3.10, que se ha estimado en un total de seiscientos millones cuatrocientos veintitrés mil doscientos tres pesos colombianos (\$600.423.203). Adicionalmente, es importante considerar los costos que pueden tener estos proyectos en términos de administración, operación y mantenimiento (AOM) requeridos durante su ciclo de vida para un correcto uso.

En cuanto a los costos de AOM de las medidas propuestas, estos se estiman aproximadamente en cinco millones ciento dos mil trescientos diez pesos colombianos (\$ 5.102.310) anuales, como se detalla en la Tabla 11.

Con el fin de aproximarse al impacto del desarrollo del proyecto en términos financieros, se estima el indicador beneficio costo de esta inversión, donde el beneficio considerado es el ahorro en el costo de la energía obtenido a partir de la implementación de la medida, y el costo corresponde a la inversión en tecnologías y los costos de mante-

nimiento anuales. En el caso de la información con la que se cuenta para este proyecto, el indicador beneficio/costo es de 1,9, por lo tanto el proyecto tiene beneficios mayores a los costos de su implementación.

3.15 Concepto de viabilidad, escalabilidad y replicabilidad

El Hospital del Sur de Armenia es una edificación de 20 años de antigüedad que presenta oportunidades de implementar mejoras energéticas con alta viabilidad técnica y económica. Su ubicación cuenta con buenos niveles de irradiación solar, lo que permite plantear un sistema fotovoltaico de 81,81 kWp para autoabastecer parte del consumo eléctrico. Adicionalmente, se contemplan acciones de eficiencia energética como la instalación de rejillas de ventilación y equipos de aire acondicionado inverter.

Según el análisis de viabilidad realizado, el proyecto fotovoltaico permite un ahorro potencial del 41,51% del consumo actual, equivalente a 10.250 kWh/mes, utilizando 161 paneles solares de 505 Wp y 5 inversores de 15 kW. La inversión de este sistema se recuperaría en 13 años, teniendo un VPN de \$57.654.142 COP anuales y una TIR de 12%. Las acciones de eficiencia energética como ventilación e instalación de aire acondicionado inverter presentan mayor rentabilidad, con un retorno de la inversión en 6,2 años, un VPN de \$10.709.982 COP anuales y una TIR de 14%.

En conjunto, las medidas de eficiencia energética y el sistema fotovoltaico propuesto tendrían un impacto ambiental al permitir una reducción de 18,98 toneladas de CO₂ equivalente por año. Los indicadores económicos calculados para cada iniciativa en la etapa de formulación del proyecto evidencian una alta viabilidad, lo cual incrementa la probabilidad de obtener resultados positivos al implementar estas mejoras en la edificación del Hospital del Sur.

Aunque existen limitaciones de espacio y tamaño que restringen la escalabilidad del sistema fotovoltaico propuesto, el proyecto puede crecer en el futuro a través de la implementación modular de medidas adicionales de eficiencia energética. La escalabilidad en este caso se refiere a la capacidad de aumentar la eficiencia energética de la edificación de forma sencilla, mediante la incorporación progresiva de mejoras tecnológicas según la demanda y los recursos disponibles.

Algunas de las medidas con enfoque escalable son la inclusión de sistemas de iluminación eficiente con sensores de presencia y regulación de intensidad lumínica, los cuales pueden expandirse a más áreas incrementando los ahorros. Asimismo, la implementación de un sistema de monitoreo y mantenimiento preventivo de los equipos permite optimizar su funcionamiento en el tiempo.

Para concluir, la replicabilidad de los proyectos de implementación de medidas de eficiencia energética en entidades del sector público y de la salud implica la capacidad de reproducir con éxito las medidas adoptadas en otras instituciones que enfrenten desafíos energéticos similares. Esta replicabilidad se fundamenta en un riguroso proceso de diagnóstico energético, que debe llevarse a cabo de manera individualizada en cada entidad, siguiendo las directrices establecidas en el Artículo del Plan Nacional de Desarrollo (PND) y la Resolución de la UPME 016.

Los sistemas solares fotovoltaicos, al ser diseñados para ajustarse a la curva de demanda promedio, caracterizada por su forma de campana de Gauss y con picos de consumo durante el día, representan una solución altamente replicable en edificaciones hospitalarias con perfiles de demanda energética y condiciones solares similares.

En conclusión, el proyecto planteado para el Hospital del Sur de Armenia presenta altos indicadores de viabilidad, escalabilidad y replicabilidad, constituyendo una alternativa energética sostenible de alto impacto para el sector salud de la región.

3.16 Sostenibilidad y análisis de barreras

3.16.1 Sostenibilidad del proyecto

El proyecto propuesto para el Hospital del Sur de Armenia se alinea estrechamente con los principios de sostenibilidad, ofreciendo una serie de beneficios ambientales, sociales y económicos significativos. En términos ambientales, la instalación de un sistema fotovoltaico y la implementación de medidas de eficiencia energética contribuirán a reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y a disminuir la dependencia de fuentes de energía no renovables. Esto se traduce en una mejora en la calidad del aire y en la protección del medio ambiente local.

Desde una perspectiva social, el proyecto beneficiará directamente a la comunidad al mejorar la calidad de la atención médica en el hospital. Además, la creación de empleo en el sector de las energías renovables y la promoción de prácticas sostenibles fomentarán el desarrollo económico local y la inclusión social.

En términos de responsabilidad corporativa, la implementación del proyecto refleja el compromiso del hospital con la salud pública y el bienestar de la comunidad. Cumplir con las normativas ambientales y promover prácticas sostenibles en el sector de la salud son aspectos clave de la responsabilidad social corporativa que se abordan con este proyecto.

3.16.2 Análisis de Barreras

Limitaciones técnicas y logísticas: Si bien el proyecto cuenta con un diseño técnico sólido, pueden surgir desafíos relacionados con la disponibilidad de recursos técnicos especializados y la infraestructura existente en el hospital.

Factores financieros: La obtención de financiamiento inicial y la evaluación de la rentabilidad a largo plazo del proyecto pueden representar desafíos financieros importantes. Además, los costos de mantenimiento a largo plazo deben ser cuidadosamente considerados para garantizar la viabilidad económica del proyecto.

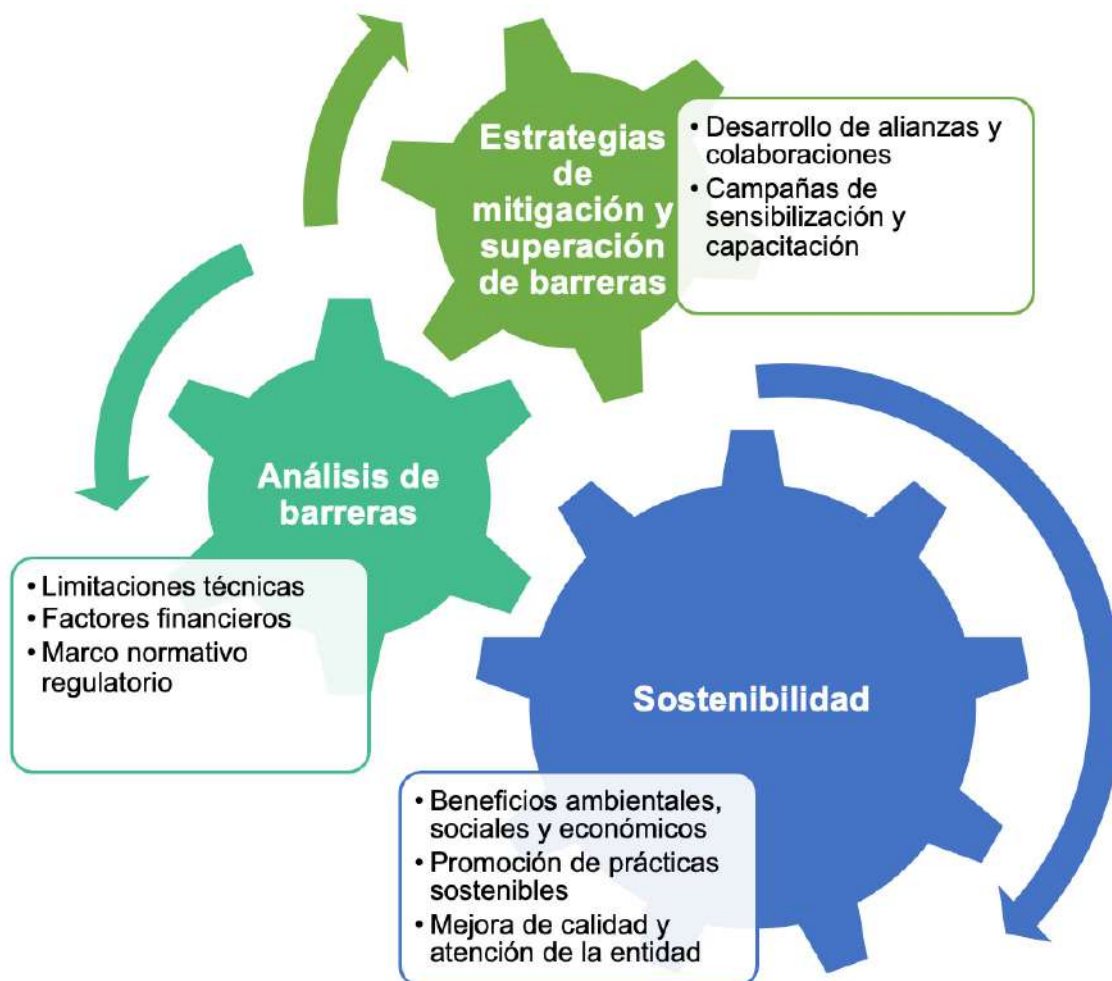
Marco normativo y regulatorio: La obtención de permisos y licencias necesarios, así como el cumplimiento de regulaciones específicas del sector de la salud y del sector energético, pueden ser barreras importantes para la implementación del proyecto.

3.16.3 Estrategias de Mitigación y Superación de Barreras

Desarrollo de alianzas y colaboraciones: Se promoverá la colaboración con instituciones gubernamentales, organizaciones no gubernamentales y empresas privadas para superar obstáculos y maximizar el impacto del proyecto.

Campañas de sensibilización y capacitación: Se llevarán a cabo actividades de sensibilización y capacitación dirigidas a la comunidad, el personal médico y otros stakeholders para promover la aceptación y participación activa en el proyecto.

Figura 21. Proceso de sostenibilidad y análisis de barreras.



Fuente: Elaboración propia

3.17 Seguimiento al proyecto

Los indicadores de resultado y seguimiento del proyecto son métricas claves utilizadas para evaluar el desempeño y los resultados obtenidos en la implementación de las medidas de eficiencia energética. Estos indicadores proporcionan una visión detallada del impacto del proyecto y permiten realizar un seguimiento continuo de su progreso a lo largo del tiempo.

Algunos de los indicadores de resultado y seguimiento más relevantes incluyen:

- **Porcentaje de reducción de consumo energético:** Este indicador cuantifica la eficacia de las medidas implementadas en la reducción del consumo total de energía de la entidad. Se calcula como la diferencia porcentual entre el consumo energético actual y el consumo previo a la implementación de las medidas de eficiencia energética.

- **Porcentaje de ahorro económico obtenido:** Este indicador evalúa el impacto económico del proyecto al mostrar el porcentaje de ahorro en los costos de energía de la entidad. Se calcula como la diferencia porcentual entre los costos energéticos actuales y los costos energéticos previos a la implementación de las medidas de eficiencia energética.
- **Toneladas de CO₂ reducidas:** Este indicador proporciona una medida del impacto ambiental del proyecto al cuantificar la cantidad de emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO₂eq) evitadas gracias a la reducción en los consumos de energía derivada de las medidas de eficiencia energética implementadas. Se calcula utilizando el factor de emisiones colombiano publicados por la UPME y los datos de consumo energético de la entidad. En el caso de energía eléctrica, se toma el factor de emisión del Sistema Interconectado Nacional, y se multiplica por la energía que se ha dejado de consumir en determinado periodo de tiempo.
- **Rendimiento en la calidad del servicio prestado por la entidad:** Este indicador busca medir el impacto de las medidas de eficiencia energética en el confort térmico, la iluminación y la calidad del aire interior, factores que inciden directamente en la calidad del servicio prestado. Se determinará a través de encuestas al personal y a los usuarios del servicio, para conocer su percepción sobre estos aspectos después de implementadas las medidas.

El monitoreo regular de estos indicadores permite identificar áreas de mejora y tomar medidas correctivas para optimizar el rendimiento del proyecto. Además, facilita la toma de decisiones informadas y la evaluación de la efectividad de las estrategias implementadas en la búsqueda de los objetivos de eficiencia energética y sostenibilidad de la entidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CREG. (2023). Decreto 0929. https://www.minenergia.gov.co/documents/10237/DECRETO_0929_DEL_7_DE_JUNIO_DE_2023.pdf
- EDEQ Grupo EPM. (2021). Consultar disponibilidad de la red. Obtenido de: <https://www.edeq.com.co/clientes-y-usuarios/usuarios-autogeneradores-y-generadores-distribuidos-resolucion-creg-174-de-2021/consultar-disponibilidad-de-la-red>
- EPM. (2018). Contenido Estudio de Conexión Simplificado AGPE menores a 0,1 MW y GD. Obtenido de: <https://www.epm.com.co/content/dam/epm/clientes-y-usuarios/autogeneradores/autogeneradores/ContenidoEstudiodeConexionSimplificado-NT1.pdf>
- UPME- Unidad de Planeación Minero Energética (2021). PAI PROURE 2022-2030. Obtenido de: https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PROURE/Documento_PROURE_2022-2030_v4.pdf
- UPME- Unidad de Planeación Minero Energética (2022). Caracterizar el consumo energético del sector terciario para fortalecer las estrategias y medidas de eficiencia energética, descritas en el reciente PAI PROURE.
- UPME- Unidad de Planeación Minero Energética (2023). Balance energético colombiano. Obtenido de: <https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Paginas/BECO-Consulta.aspx>

ANEXOS

- Anexo 1. Simulación sistema solar fotovoltaico Hospital del Sur
- Anexo 2. Diagrama unifilar sistema solar fotovoltaico Hospital del Sur
- Anexo 3. Evaluación financiera Hospital del Sur



www.asocapitales.co

