

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	Documento F-AC-DBL-007	Código 30-09-2024	Fecha C
	DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	Dependencia	Aprobado SUBDIRECTOR ACADEMICO	Pág. (79)

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	Julian Guillermo Castilla Valbuena		
FACULTAD	Ingenierías		
PLAN DE ESTUDIOS	Ingeniería mecánica		
DIRECTOR	Msc. Jhon Arévalo Toscano		
CODIRECTOR (si aplica)	No aplica		
TÍTULO DE LA TESIS	Diseño de un sistema solar fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica para la operación del cuarto frío de preservación de cadáveres en la ESE Hospital Emiro Quintero Cañizares de Ocaña, Norte de Santander		
TITULO EN INGLES	Design of a photovoltaic solar system for the supply of electrical energy for the operation of the cold room for the preservation of corpses at the ESE Hospital Emiro Quintero Cañizares in Ocaña, Norte de Santander		
RESUMEN (70 palabras)			
El presente estudio de factibilidad analiza la viabilidad de implementar un sistema solar fotovoltaico para alimentar energéticamente el cuarto frío destinado a la preservación de cadáveres en la ESE HEQC de Ocaña, Norte de Santander. Esta iniciativa surge ante la necesidad de mejorar la autonomía energética del hospital, reducir costos operativos y garantizar el funcionamiento continuo de los equipos de refrigeración, aun en condiciones de interrupción del servicio eléctrico convencional.			
RESUMEN EN INGLES			
This feasibility study analyzes the viability of implementing a photovoltaic solar system to power the cold storage room for preserving corpses at the ESE HEQC hospital in Ocaña, Norte de Santander. This initiative arises from the need to improve the hospital's energy independence, reduce operating costs, and ensure the continuous operation of refrigeration equipment, even during power outages.			
PALABRAS CLAVES	Fotovoltaico, energía, cadáveres, preservación, refrigeración		
PALABRAS CLAVES EN INGLES	Photovoltaics, energy, corpses, preservation, refrigeration		
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 79	PLANOS:	ILUSTRACIONES:	CD-ROM:



Vía Acolsure, Sede el Algodonal, Ocaña, Colombia - Código postal: 546552
 atencionalciudadano@ufpso.edu.co - www.ufpso.edu.co
 Línea de atención: 311 436 1717

**Diseño de un sistema solar fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica para la
operación del cuarto frío de preservación de cadáveres en la ESE Hospital Emiro Quintero
Cañizares de Ocaña, Norte de Santander**

Julian Guillermo Castilla Valbuena

Facultad de Ingenierías, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña

Ingeniería mecánica

Msc. Jhon Arévalo Toscano

Mayo 5 de 2026

Índice

Capítulo 1. Diseño de un sistema solar fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica para la operación del cuarto frío de preservación de cadáveres en la ESE Hospital Emiro Quintero Cañizares de Ocaña, Norte de Santander.....	10
1.1. Descripción breve de la empresa	10
1.1.1 Misión.....	11
1.1.2 Visión.....	11
1.1.3 Objetivos de la empresa.....	11
1.1.4 Descripción de la estructura organizacional	13
1.1.5 Descripción de la dependencia y/o proyecto al que fue asignada	13
1.2 Diagnóstico inicial de la dependencia asignada.....	14
1.2.1 Planteamiento del problema	17
1.3 Objetivos de la pasantía	18
1.3.1 Objetivo general	18
1.3.2 Objetivos específicos.....	19
Capítulo 2. Enfoque conceptual.....	23
2.1 Enfoque conceptual.....	23
2.2 Enfoque legal	26
Capítulo 3. Presentación de resultados	28
3.1 Cantidad de energía necesaria para mantener el cuarto frío en funcionamiento continuo y asegurar la preservación adecuada de los cadáveres.....	28

3.1.1 Determinar la carga térmica del cuarto frío basada en factores como la temperatura ambiente, el nivel de aislamiento, el número de aperturas de puertas, y la cantidad y tipo de cadáveres que se preservarán.....	29
3.1.2 Investigar y seleccionar equipos de refrigeración que se ajusten a las necesidades del cuarto frío	38
3.1.3 Verificar los meses más soleados en la ciudad de Ocaña, según la información del IDEAM	40
3.2. Diseñar un sistema solar fotovoltaico que será implementado al cuarto frío para asegurar la preservación adecuada de los cadáveres	50
3.2.1 Estimar la vida útil de los componentes del sistema fotovoltaico	51
3.2.2 Calcular las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al consumo energético actual utilizando factores de emisión.....	54
3.3. Analizar el estudio de factibilidad para la implementación de un cuarto frío en funcionamiento continuo y asegurar la preservación adecuada de los cadáveres, en la ESE Hospital Emiro Quintero Cañizares	58
3.3.1 Determinar los costos de adquisición de las celdas fotovoltaicas, costos de instalación, incluyendo mano de obra, permisos y otros gastos asociados	58
3.3.2 Evaluar el periodo de recuperación de la inversión y la rentabilidad del proyecto a largo plazo	61
3.3.3 Evaluar otros beneficios ambientales como la reducción de la huella de carbono y la disminución de la contaminación del aire	62
Capítulo 4. Diagnóstico final	65
Capítulo 5. Conclusiones	67

Capítulo 6. Recomendaciones.....	69
Referencias.....	70
Apéndices.....	76

Lista de tablas

Tabla 1. Matriz DOFA	15
Tabla 2. Descripción de Actividades	19
Tabla 3. Resumen de cargas.....	34
Tabla 4. Impacto sobre caso base	51

Lista de figuras

Figura 1. Estructura Organizacional	13
Figure 2. Energía solar fotovoltaica.....	23
Figure 3. Radiación solar	24
Figure 4. Flujo de calor.....	29
Figura 5. Clima y prevención meteorológica mensual	31
Figura 6. Humedad.....	42
Figure 7. Precipitaciones.....	43
Figure 8. Horas luz diurna	¡Error! Marcador no definido.

Lista de apéndices

Apéndice A. evidencias fotográficas	79
---	----

Resumen

El presente estudio de factibilidad analiza la viabilidad de implementar un sistema solar fotovoltaico para alimentar energéticamente el cuarto frío destinado a la preservación de cadáveres en la ESE Hospital Emiro Quintero Cañizares de Ocaña, Norte de Santander. Esta iniciativa surge ante la necesidad de mejorar la autonomía energética del hospital, reducir costos operativos y garantizar el funcionamiento continuo de los equipos de refrigeración, aun en condiciones de interrupción del servicio eléctrico convencional.

Desde un enfoque técnico, se evaluó la demanda energética del cuarto frío y se diseñó una propuesta de sistema fotovoltaico capaz de abastecer dicha carga de forma autónoma o híbrida, considerando la excelente radiación solar disponible en la región. Económicamente, se analizaron los costos de inversión, operación y mantenimiento, junto con el ahorro proyectado en la factura eléctrica. Se determinó que el retorno de inversión se puede alcanzar en un plazo estimado de 8 a 12 años.

El proyecto también contempla beneficios ambientales como la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la promoción de energías limpias en instituciones públicas. Socialmente, contribuiría al fortalecimiento del servicio hospitalario, asegurando una conservación digna de los cuerpos incluso en eventos de emergencia o cortes prolongados de energía, la implementación de un sistema solar fotovoltaico en el cuarto frío del hospital es una alternativa viable y sostenible que responde a las necesidades actuales del centro médico, alineándose con los principios de eficiencia energética, respeto humano y desarrollo responsable.

Introducción

En el contexto hospitalario, se debe garantizar la preservación adecuada de los cadáveres constituyendo un aspecto esencial para el respeto de los procesos postmortem y la atención digna a las familias. El cuarto frío cumple un papel fundamental en esta labor, ya que permite conservar los cuerpos bajo condiciones óptimas de temperatura. No obstante, su funcionamiento continuo demanda una considerable cantidad de energía eléctrica, lo que representa un desafío en zonas donde el suministro es costoso o presenta intermitencias.

El presente estudio de factibilidad analiza la implementación de un sistema solar fotovoltaico para abastecer energéticamente el cuarto frío de la ESE Hospital Emiro Quintero Cañizares en Ocaña, Norte de Santander. A partir de una evaluación técnica, económica y ambiental, se busca determinar si esta alternativa sostenible puede mejorar la autonomía energética del hospital, disminuir costos operativos y mitigar el impacto ambiental asociado al uso de fuentes convencionales.

Este análisis cobra relevancia dentro de un escenario global que promueve el uso de energías renovables y la optimización de recursos en instituciones públicas. Así, el estudio se convierte en una propuesta que conjuga eficiencia, respeto por la dignidad humana y compromiso con el desarrollo sostenible.

Capítulo 1. Diseño de un sistema solar fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica para la operación del cuarto frío de preservación de cadáveres en la ESE Hospital Emiro Quintero Cañizares de Ocaña, Norte de Santander

1.1 Descripción breve de la empresa

La E.S.E hospital Emiro Quintero Cañizares es una empresa social del estado que presta servicios de salud, de baja, mediana y alta complejidad en la provincia de Ocaña, con altos estándares de calidad.

Actualmente se encuentra en el segundo nivel, estando muy cerca de ascender al tercero; Su nivel de atención se determinó en 1960, cuando Norte de Santander fue tomado como uno de los Departamentos de prueba en la implantación de la regionalización, según el plan Piloto estructurado por el Ministerio de salud, O.P.S.

UNICEF, con el fin de descentralizar las cuatro especialidades básicas como lo es Cirugía, Medicina Interna, Pediatría y Gineco-Obstetricia.

En el año de 1990, se inician los trabajos de remodelación, culminándose a finales de 1995, en esta misma fecha se le da vida jurídica como una Empresa Social del Estado, según ordenanza 060 del 29 de diciembre de 1995, emanada por la honorable Asamblea del Norte de Santander.” (Quintero, 2025).

1.1.1 Misión

Somos una empresa social del estado que presta servicios de salud, de baja, mediana y alta complejidad en la provincia de Ocaña, con altos estándares de calidad y mejora continua a los usuarios del sistema general de seguridad social en salud en la sede principal y redes integradas; basadas en la participación social, el desarrollo del talento humano, la relación docencia – servicio e investigación, con tecnología apropiada y en pro de la sostenibilidad financiera, respetando la dignidad del individuo, con enfoque diferencial, enfoque de géneros, enfoque de derechos, logrando satisfacer las necesidades en salud” (Quintero, 2025).

1.1.2 Visión

Para el año 2023 ser reconocida en el nororiente colombiano como una institución líder en salud, en la prestación de servicios, modelo en la atención, acreditada, promoviendo la gestión del conocimiento a través de la atención humanizada para mejorar la salud de la comunidad, enfocada a la población materno – infantil” (Quintero, 2025).

1.1.3 Objetivos de la empresa

Contribuir al desarrollo social de la región mejorando la calidad de vida, y reduciendo la morbilidad, la mortalidad, la incapacidad y la angustia evitables en la población usuaria, en la medida en que esto esté a su alcance.

Producir servicios de salud eficientes y efectivos, que cumplan con las normas de calidad establecidas de acuerdo con las reglamentaciones que se expida para tal propósito.

Garantizar, mediante un manejo Gerencial adecuado, la rentabilidad social y financiera de la empresa.

Ofrecer a las Empresas Promotoras de salud y demás personas naturales o jurídicas que lo demandan, servicios y paquetes de servicios a tarifas competitivas en el mercado.

Satisfacer los requerimientos del entorno, adecuando continuamente sus servicios y funcionamiento.

Garantizar los mecanismos de participación ciudadana y comunitaria establecidos por la ley y los reglamentos.

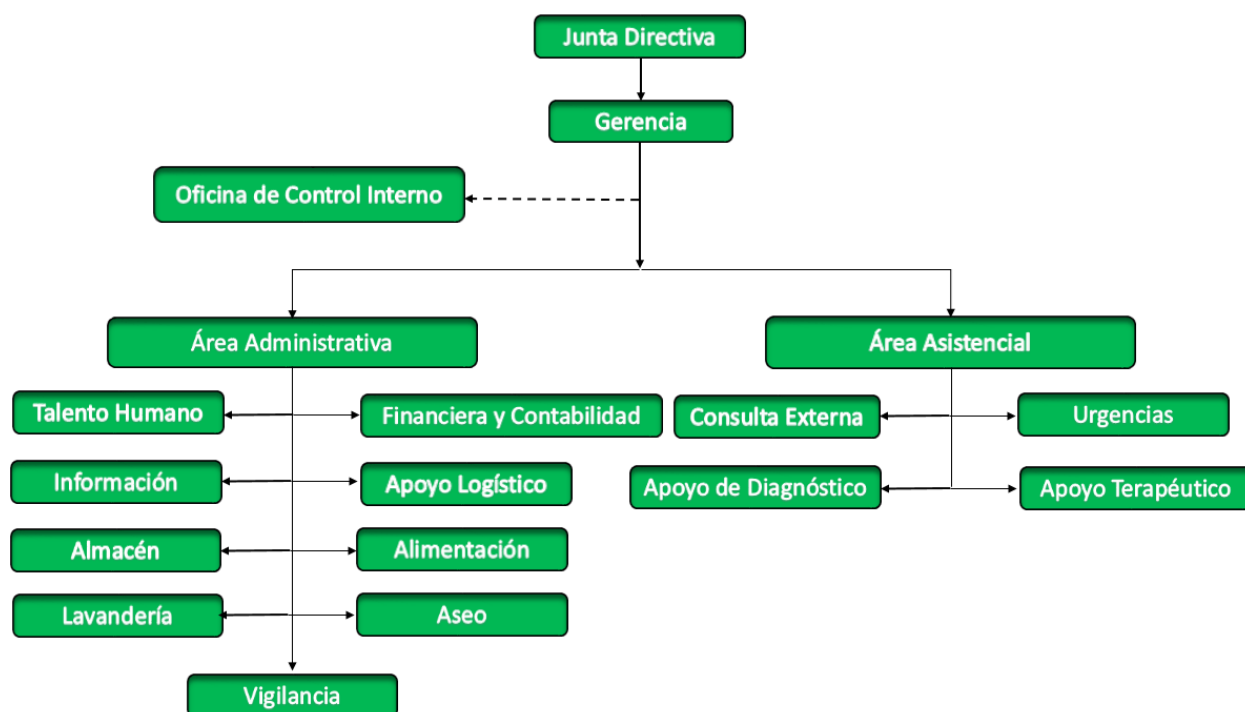
Prestar servicios de salud que satisfagan de manera óptima las necesidades y expectativas de la población en relación con la promoción, el fomento y la conservación de la salud y la prevención, tratamiento y rehabilitación de la enfermedad.

Satisfacer las necesidades esenciales y secundarias de salud de la población usuaria a través de acciones gremiales, organizativas, técnico-científicas y técnico-administrativas (Quintero, 2025).

1.1.4 Descripción de la estructura organizacional

Figura 1

Estructura Organizacional



Nota. La figura muestra el organigrama de la ESE Hospital Emiro Quintero Cañizares

1.1.5 Descripción de la dependencia y/o proyecto al que fue asignada

Para la presente pasantía el estudiante fue asignado a la dependencia de mantenimiento en el Hospital Emiro Quintero Cañizares, siendo esta área de la Entidad de Salud, una de las más importantes ya que, es crucial para garantizar el buen funcionamiento de todos los equipos médicos, instalaciones y sistemas necesarios para proporcionar atención de salud de calidad.

En esta dependencia está encargada del mantenimiento preventivo, mantenimiento correctivo, gestión de Equipos Médicos, gestión de Infraestructura, seguridad y Cumplimiento Normativo, gestión de Inventarios, documentación y colaboración Multidisciplinaria. De igual forma, la dependencia de mantenimiento en el hospital es esencial para la seguridad de los pacientes y la eficiencia operativa, por esto que los cuartos fríos representan una herramienta esencial en el manejo adecuado y ético de los cuerpos humanos en contextos médicos, forenses y funerarios. Su capacidad para preservar los tejidos mediante el control de temperatura garantiza que los procedimientos científicos, legales y ceremoniales se realicen con precisión y respeto. Gracias a ellos, se evita la acelerada descomposición, se facilita la investigación médica o judicial, y se brinda a las familias la posibilidad de despedirse de sus seres queridos en condiciones dignas (Hospital Emiro Quintero Cañizares, 2024).

1.2 Diagnóstico inicial de la dependencia asignada

El análisis del área objeto estudio, se desarrolló elaborando la matriz DOFA, facilitando de esta manera la identificación de Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas, siendo esencial para una planificación estratégica efectiva y para asegurar que una organización pueda adaptarse y prosperar en un entorno dinámico, a continuación, se muestra la tabla 1, con la matriz DOFA.

Tabla 1.*Matriz DOFA*

DIAGNOSTICO INICIAL		
F	FORTALEZAS	F1. Personal altamente capacitado y especializado en mantenimiento de equipos médicos.
		F2. Procedimientos y protocolos establecidos para el mantenimiento preventivo y correctivo.
		F3. Disponibilidad de herramientas y equipos modernos para realizar reparaciones eficientes.
		F4. Buena colaboración con otros departamentos como ingeniería clínica y control de calidad.
		F5. Alta tasa de cumplimiento de normativas y estándares de salud y seguridad.
O	OPORTUNIDADES	O1. Avances tecnológicos en equipos médicos que pueden mejorar la eficiencia y eficacia.
		O2. Programas de capacitación y desarrollo profesional para el personal de mantenimiento.
		O3. Disponibilidad de subsidios y financiamiento para la modernización de equipos.
		O4. Colaboraciones con instituciones educativas y centros de investigación para innovar en mantenimiento.
		O5. Implementación de sistemas de gestión de

mantenimiento asistidos por software.

D

DEBILIDADES

D1. Recursos financieros limitados para actualizar y reemplazar equipos obsoletos.

D2. Dependencia de proveedores externos para el suministro de piezas de repuesto.

D3. Falta de personal suficiente en situaciones de alta demanda o emergencias.

D4. Procedimientos administrativos lentos que retrasan las reparaciones.

D5. Inadecuada gestión de inventarios y stock de repuestos.

A

AMENAZAS

D1. Incremento en los costos de piezas de repuesto y equipos.

D2. Regulaciones gubernamentales cada vez más estrictas que aumentan la carga de cumplimiento.

D3. Falta de proveedores locales confiables, lo que puede causar demoras en el suministro.

D4. Rápida obsolescencia tecnológica de equipos médicos.

D5. Competencia por recursos y financiamiento dentro del hospital.

ESTRATEGIA FO

ESTRATEGIAS DO

Fortalezas/Oportunidades (FO). Utilizar la capacitación del personal y los procedimientos establecidos para implementar nuevas tecnologías y mejoras.	Debilidades/Oportunidades (DO). Buscar subsidios y financiamiento para actualizar equipos y optimizar la gestión de inventarios.
ESTRATEGIAS FA	ESTRATEGIAS DA
Fortalezas/Amenazas (FA). Aprovechar la buena colaboración con otros departamentos y el alto cumplimiento de normativas para gestionar eficazmente los riesgos y costos.	Debilidades/Amenazas (DA). Reducir la dependencia de proveedores externos desarrollando alianzas locales y mejorando los procesos administrativos.
<i>Nota.</i> La tabla muestra las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas	

1.2.1 Planteamiento del problema

Según Intarcon (2024), la refrigeración de cadáveres es práctica habitual en tanatorios y velatorios, y en ciertos casos obligatoria, para la conservación temporal del cuerpo tras el fallecimiento hasta la inhumación o cremación. Con la entrada en vigor hace unos años de las nuevas normativas autonómicas sobre sanidad mortuoria, algunos hospitales en los últimos años han estado adecuando paulatinamente sus instalaciones con la incorporación de sistemas de acondicionamiento de las salas de exposición y preparación de cadáveres, así como de cámaras de conservación.

Teniendo en cuenta lo anterior se debe decir que en la E.S.E Hospital Emiro Quintero Cañizares del municipio de Ocaña, Norte de Santander, existe la necesidad de contar con un cuarto frío para la conservación de cadáveres. Actualmente, el hospital no dispone de un sistema de refrigeración adecuado, lo que puede afectar la calidad y la seguridad de los cuerpos almacenados. Además, hace que la implementación de un sistema de refrigeración convencional sea inviable.

De acuerdo a lo anterior se propone un estudio de factibilidad, ya que esta propuesta permitirá el diseño de un cuarto frío auto sostenible alimentado por un sistema solar fotovoltaico. Este sistema no solo garantizará la conservación adecuada de los cadáveres, sino que también será energéticamente eficiente y sostenible, aprovechando la energía solar disponible en la región. Con lo anterior se cumple la normatividad, ya que los hospitales están sujetos a estrictas regulaciones y estándares de salud y seguridad. La dependencia de mantenimiento asegura que todas las instalaciones y equipos cumplan con estas normativas, evitando sanciones y garantizando un entorno seguro para pacientes y personal.

1.3 Objetivos de la pasantía

1.3.1 Objetivo general

Diseñar un sistema solar fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica para la operación del cuarto frío de preservación de cadáveres en la ESE Hospital Emiro Quintero Cañizares de Ocaña, Norte de Santander.

1.3.2 Objetivos específicos

Determinar la carga térmica de refrigeración del cuarto frío de la ESE Hospital Emiro Quintero Cañizares, mediante el análisis de las condiciones de operación.

Especificar las condiciones técnicas asociadas a la implementación de un sistema solar fotovoltaico, incluyendo el potencial solar, la orientación, inclinación y cantidad de paneles, de modo que cubra la demanda de energía eléctrica del sistema de refrigeración del cuarto frío.

Realizar un estudio de factibilidad para futura implementación del sistema solar fotovoltaico.

1.4 Descripción de las actividades a desarrollar en la misma.

A continuación, se muestra la tabla número 2 con la descripción de las actividades realizadas en la pasantía.

Tabla 2.

Descripción de Actividades

Objetivo General	Objetivos Específicos	Actividades
Estudiar la factibilidad para la implementación de un sistema solar	Determinar la carga térmica de refrigeración del cuarto frío de la ESE Hospital Emiro	A1. Estudiar los parámetros técnicos de funcionamiento y estructura del cuarto frío bajo carga

fotovoltaico en un cuarto frío para la preservación de los cadáveres en la ESE Hospital Emiro Quintero Cañizares de Ocaña	Quintero Cañizares, mediante el análisis de las condiciones de operación.	nominal. A2. Seleccionar a nivel comercial el sistema requerido para las condiciones de refrigeración del cuarto frío de la ESE.
	Especificar las condiciones técnicas asociadas a la implementación de un sistema solar fotovoltaico, incluyendo el potencial solar, la orientación, inclinación y cantidad de paneles, de modo que cubra la demanda de energía eléctrica del sistema de refrigeración del cuarto frío.	A3. Determinar los meses con mayor radiación solar en la ciudad de Ocaña, Norte de Santander, con base en los registros climatológicos oficiales. A1. Calcular el potencial de radiación solar de la ubicación bajo estudio mediante el uso de la Hora Solar Pico (HSP). A2. Establecer la cantidad de paneles solares requeridos, su inclinación y orientación, inversores y demás parámetros técnicos, con base en la potencia eléctrica requerida para el

funcionamiento del sistema de refrigeración.

A3. Seleccionar el tipo de instalación más conveniente para el sistema fotovoltaico (conecto a la red o con baterías).

A1. Definir los costos de adquisición, instalación y mantenimiento del sistema solar fotovoltaico.

A2. Determinar el ahorro económico de la operación con base en el funcionamiento anual del sistema solar, versus el consumo eléctrico del cuarto frío.

Realizar un estudio de factibilidad para futura implementación del sistema solar fotovoltaico.

A3. Calcular el periodo de retorno de la inversión con base en el ahorro de consumo de energía eléctrica de la red, costos de adquisición, operación y

mantenimiento del sistema solar
fotovoltaico.

Nota. La tabla muestra los objetivos y las actividades

Capítulo 2. Enfoque conceptual

2.1 Enfoque conceptual

Estudio de factibilidad es una herramienta esencial que permite a las empresas evaluar sus proyectos. Mediante el análisis de indicadores financieros, se toma la decisión de aprobar o no la inversión. Según Vergara (2019), se trata de un análisis que realiza la organización para determinar las probabilidades de éxito o fracaso de una inversión, así como las estrategias que se deben implementar para asegurar una ejecución exitosa. Este estudio de factibilidad financiera es fundamental para la toma de decisiones, ya que ayuda a establecer la viabilidad de un proyecto de inversión. (Arévalo, 2019).

Energía Solar Fotovoltaica, es la transformación de luz y radiación provenientes del sol en electricidad mediante artefactos semiconductores. Se basa en el principio fotoeléctrico que consiste el desprendimiento de electrones dentro del placas fotovoltaicas (Martínez, 2021). A continuación, se muestra en la figura 2, de forma gráfica la energía solar fotovoltaica.

Figura 2.

Energía solar fotovoltaica



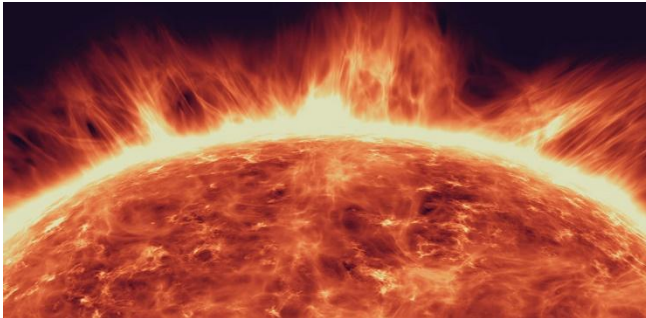
Nota. Fotovoltaica, S. A. D. E. S. (2021).

Las celdas solares son dispositivos elaborados para transformar la energía luminosa en energía eléctrica. Este proceso ocurre en estructuras conocidas como placas, donde la luz solar incide y genera una diferencia de voltaje entre ellas, lo que permite que la corriente fluya a través del circuito de la celda. Por lo general, estas celdas están compuestas por dos tipos de silicio: el tipo p (positivo) y el tipo n (negativo) (Torres, 2025).

Radiación Solar, se puede definir como el flujo de energía solar que recibe la superficie terrestre en forma de ondas electromagnéticas. Según la frecuencia de onda se puede dividir en luz infrarroja, luz ultravioleta y luz visible (Ideam, 2020). A continuación, se muestra en la figura 3, de forma gráfica la radiación solar.

Figura 3.

Radiación solar



Nota. Aparicio, M. P. (2020).

Según Alarcón (2021), las baterías o acumuladores son componentes esenciales para el funcionamiento de SFTV aislados, dado que tienen la tarea de guardar la energía cuando existe

radiación solar y finalmente suministrarla cuando no hay suficiente o, en última instancia, no existe. Esto favorece el inicio de máquinas que necesitan altas potencias.

Cuarto frío, o cámara frigorífica es un cuarto en el que se genera artificialmente una temperatura determinada. Generalmente está diseñado para almacenar productos en un ambiente por debajo de la temperatura exterior (Refriplast, 2020).

Preservación de los cuerpos, se puede decir que la historia cuenta que numerosos cuerpos han sido hallados congelados. Uno de los hallazgos más relevantes es el de un hombre adulto que se remonta al 3350 y 3100 a. C. (periodo Calcolítico), hallado. ubicado en los Alpes tirolese, también llamado Ötzi. La excelente conservación de este y las extensas investigaciones que se han llevado a cabo sobre él permiten obtener información exacta sobre lo que consumía en el periodo previo a su fallecimiento, las enfermedades que padecía (periodontitis y caries, artritis, borreliosis de Lyme). infección por *Helicobacter pylori* en el intestino y parasitosis intestinal por tricocéfalo) e incluso, en el intestino de la persona. origen de su fallecimiento (muerte violenta causada por el impacto de una flecha en la zona de la espalda). Es tan significativo que se ha establecido un museo en la ciudad de Bolzano (Italia) para acogerlo. el objetivo es recrear la temperatura y humedad del ambiente que lo ha mantenido durante milenios, y se ha producido una película basada en él (Ötzi, el hombre del hielo) (García B. , 2023).

2.2 Enfoque legal

El enfoque legal es una perspectiva o marco de trabajo utilizado para analizar, interpretar y resolver problemas basándose en las normas, leyes y principios del derecho. Este enfoque se centra en identificar los derechos, deberes y responsabilidades legales de las partes involucradas, así como en garantizar que las decisiones y acciones cumplan con las leyes vigentes.

Para el estudio de factibilidad de la implementación de un sistema solar fotovoltaico en un cuarto frío para la preservación de los cadáveres en la ESE Hospital Emiro Quintero Cañizares de Ocaña, se tendrá en cuenta la siguiente normatividad:

Según la Constitución de Colombia (2024), en el Artículo 79. Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.

ASTM E2848 – 13. Método de prueba estándar para la presentación de informes del rendimiento del sistema fotovoltaico (Standard Test Method for, 2023).

IEC 61724 de 1998. Supervisión del rendimiento del sistema fotovoltaico - Directrices para la medición, el intercambio y análisis de datos (Comisión Electronica Internacional, 2023).

Es fundamental recordar que la energía renovable, también conocida como fuentes no convencionales de energía, es un tema de gran relevancia para la sociedad, dado los beneficios que aporta a la protección de los recursos naturales y a la conservación del medio ambiente. Por esta razón, el gobierno nacional, a través del Ministerio de Minas y Energía y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, establece regulaciones tanto económicas como técnicas en todo lo relacionado con la generación, distribución, transporte, uso y comercialización de la energía (República de Colombia, Ley 142 de 1994, 2022).

En Colombia, la generación eléctrica se rige por normas generales establecidas en las leyes 142 y 143 de 1994, las cuales regulan también las actividades de transmisión, distribución y comercialización. Estas leyes promueven la neutralidad tecnológica, buscando el beneficio de los usuarios. Sin embargo, en la actualidad no resulta viable adoptar fuentes renovables, dado que sus costos se mantienen significativamente más altos que los de las fuentes convencionales. Es importante señalar que los costos de inversión son los que no son competitivos, mientras que los gastos relacionados con la administración, operación y mantenimiento sí lo son (República de Colombia, Ley 142 de 1994, 2022).

La Ley 697 de 2001, que se centra en el Uso Racional de la Energía, tiene como objetivo nacional promover el uso de fuentes renovables a pequeña escala. En particular, esta ley respalda la investigación tanto básica como aplicada, con el fin de lograr, a largo plazo, una reducción de costos y una expansión de la capacidad de energías como la eólica, solar, geotérmica y de biomasa (República de Colombia, Ley 697 de 2001, 2023).

Capítulo 3. Presentación de resultados

3.1 Cantidad de energía necesaria para mantener el cuarto frío en funcionamiento continuo y asegurar la preservación adecuada de los cadáveres

La operación continua de un cuarto frío destinado a la conservación de cadáveres requiere un suministro energético constante y eficiente, que garantice condiciones térmicas óptimas para evitar la descomposición biológica. Este tipo de infraestructura debe mantener temperaturas específicas, generalmente entre 2 °C y 4 °C, mediante sistemas de refrigeración que operan sin interrupciones.

El presente análisis tiene como objetivo determinar la cantidad de energía eléctrica necesaria para asegurar el funcionamiento ininterrumpido del cuarto frío, considerando factores como la capacidad volumétrica de la cámara, el tipo de aislamiento térmico, la eficiencia del sistema de refrigeración, las condiciones ambientales externas y la frecuencia de apertura de puertas. Esta información es fundamental para dimensionar adecuadamente el sistema energético, prever costos operativos y garantizar la preservación adecuada de los cuerpos bajo condiciones controladas.

Según Santana (2021), mantener un cuarto frío en funcionamiento continuo para la preservación de cadáveres requiere una planificación energética cuidadosa. Aunque el consumo exacto depende de múltiples factores, como es el tamaño ya que, a mayor volumen, más energía se necesita para mantener la temperatura. De otra parte, para mantener cadáveres, se debe utilizar

temperaturas entre 2°C y 4°C, lo que exige refrigeración constante, como también un buen aislamiento que reduzca la pérdida de frío y el consumo energético.

3.1.1 Determinar la carga térmica del cuarto frío basada en factores como la temperatura ambiente, el nivel de aislamiento, el número de aperturas de puertas, y la cantidad y tipo de cadáveres que se preservarán

Para el desarrollo de esta actividad se tiene en cuenta las dimensiones con las que cuenta actualmente el cuarto frío de Hospital, cuyas medidas son:

Alto: 2.5 m

Largo: 7 m

Ancho: 3 m

Figura 4.

Cuarto frío



Nota. Cuarto frío existente

1) Geometría y áreas de transferencia

Dimensiones internas: $3 \text{ m} \times 7 \text{ m} \times 2.5 \text{ m} \rightarrow \text{Volumen } V = 52.5 \text{ m}^3$.

Perímetro $P = 2(3 + 7) = 20 \text{ m} \rightarrow \text{Área de muros } A_{muros} = P \cdot h = 20 \cdot 2.5 = 50 \text{ m}^2$

Techo $A_{techo} = 3 \cdot 7 = 21 \text{ m}^{2**}$

Piso $A_{piso} = 3 \cdot 7 = 21 \text{ m}^{2**}$

Área total de envolvente (suponiendo piso aislado):

$$A_{tot} = 50 + 21 + 21 = \boxed{92 \text{ m}^2}$$

Aislamiento y U: PU 100 mm $\rightarrow U \simeq 0.19 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ (valor típico para panel de 100 mm).

El coeficiente global de transferencia de calor ($U = 0.19 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$) fue tomado de fichas técnicas de paneles tipo sándwich con núcleo de poliuretano, según fabricantes como Kingspan o Metecno, para espesores cercanos a 100 mm.

Condiciones de diseño:

Las condiciones de diseño indican que la morgue debe mantenerse a una temperatura interna de 4°C , mientras que la temperatura exterior es de 27°C ; la diferencia entre ambas, llamada ΔT , es de 23 K (equivalente a 23°C). Este valor representa cuántos grados de diferencia hay entre el interior y el exterior, y es fundamental porque determina la cantidad de calor que tiende a ingresar al espacio refrigerado, lo que a su vez permite calcular la capacidad de enfriamiento necesaria y el nivel de aislamiento térmico requerido para conservar adecuadamente las condiciones internas.

$$T_{int} = 4^\circ\text{C} (\text{morgue}); T_{ext} = 27^\circ\text{C} \rightarrow \Delta T = 23 \text{ K}.$$

2) Componentes de la carga y ecuaciones resueltas

2.1 Transmisión (muros, techo y piso)

El flujo de calor a través de las paredes del cuarto frío se calcula mediante la ecuación $Q_t = U \cdot A_{tot} \cdot \Delta T$, donde Q_t representa la cantidad de calor que ingresa al sistema (en watts), U es el coeficiente global de transferencia de calor del material ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$), A_{tot} es el área total de las superficies expuestas (m^2) y ΔT es la diferencia de temperatura entre el exterior y el interior (K o $^{\circ}\text{C}$).

Para este caso, utilizando un valor de $U = 0.19 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$, un área total de 92 m^2 y una diferencia de temperatura de 23 K , se obtiene una carga térmica de aproximadamente 402 W , lo que representa el calor que ingresa continuamente al cuarto frío a través de sus muros.

El muro actúa como una barrera, pero el calor igual intenta salir, y el valor U mide qué tan fácil lo logra, como lo explica la imagen.

Figura 5.

Flujo de calor



Fuente. PNGWing (s.f.)

$$Q_t = U \cdot A_{tot} \cdot \Delta T = 0.19 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \cdot 92 \text{ m}^2 \cdot 23 \text{ K} = \boxed{402 \text{ W}}_c$$

La ecuación calcula la cantidad de calor que se transfiere a través de una superficie; en este caso, indica que se están transfiriendo 402 watts de calor debido a la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior. Aquí, U representa qué tan fácil pasa el calor por el material (transmitancia térmica), A_{tot} es el área total por donde ocurre la transferencia y ΔT es la diferencia de temperatura, por lo que al multiplicarlos se obtiene el calor que debe ser controlado por el sistema (por ejemplo, refrigeración) para mantener la temperatura deseada.

Infiltración (método de caudal por ACH)

El método de infiltración por ACH (Air Changes per Hour) permite estimar de manera práctica el intercambio de aire en un recinto debido a infiltraciones. Para un valor de 0.5 ACH (infiltración moderada) y un volumen de 52.5 m³, se obtiene un caudal volumétrico y un caudal másico. Considerando una diferencia de temperatura de 23 K, la carga térmica asociada a la infiltración es aproximadamente 202 W, la cual debe ser compensada por el sistema de refrigeración. Este enfoque constituye una estimación base adecuada, complementable con análisis más detallados para condiciones específicas como apertura de puertas.

Por esta razón

- El ACH indica cuántas veces se renueva completamente el aire de un recinto en 1 hora.
- Por ejemplo, 1 ACH significa que en una hora entra (o sale) un volumen de aire igual al volumen total del espacio.

Interpretación rápida:

- ACH bajo (0.1 – 0.5): espacio bien sellado
- ACH medio (0.5 – 1.5): infiltración moderada
- ACH alto (>2): muchas fugas de aire

$$\dot{V} = \frac{\text{ACH} \cdot V}{3600} = \frac{0.5 \cdot 52.5}{3600} = \boxed{7.29 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}$$

$$\dot{m} = \rho \dot{V} \approx 1.2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 7.29 \times 10^{-3} = \boxed{8.75 \times 10^{-3} \text{ kg/s}}$$

$$Q_i = \dot{m} c_p \Delta T \approx (8.75 \times 10^{-3}) \cdot (1005) \cdot 23 = \boxed{202 \text{ W}}$$

También existe un método específico para **puertas de cámaras** (flujo por abertura con estratificación térmica); aquí se usa ACH para el **balance base**, y el efecto de puertas se cubre en **sensibilidad**.

Producto (cadáveres) – enfriamiento transitorio (aporte medio)

Estos datos representan un modelo para estimar la carga térmica necesaria en un sistema de refrigeración. Se considera que ingresan 2 cuerpos por día, cada uno con un peso promedio de 70 kg, y se utiliza un calor específico aproximado de 3.5 kJ/(kg·K), que indica la energía necesaria para disminuir su temperatura. La diferencia de temperatura ($\Delta T = 16 \text{ K}$) corresponde al enfriamiento desde 2°C hasta 4°C, mientras que el tiempo de 8 horas define el periodo en el cual debe ocurrir este proceso. En conjunto, estos parámetros permiten calcular cuánta energía térmica debe extraerse de los cuerpos para lograr su enfriamiento, información clave para

dimensionar adecuadamente el sistema de refrigeración, estimar el consumo energético y definir la capacidad requerida del cuarto frío.

$$c_{p, \text{cuerpo}} \approx 3.5 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K}),$$

$$\Delta T = (20 - 4) = 16 \text{ K, tiempo } t = 8 \text{ h por cuerpo.}$$

Energía por cuerpo:

$$E = m c_p \Delta T = 70 \cdot 3.5 \cdot 16 = \boxed{3920 \text{ kJ}}$$

Potencia media por cuerpo:

$$\bar{Q}_1 = \frac{E}{t} = \frac{3920 \text{ kJ}}{8 \text{ h}} = 490 \text{ kJ/h} = \boxed{136 \text{ W}}$$

Para 2 cuerpos/día: $\bar{Q}_2 \approx \boxed{272 \text{ W}}$.

(Valores de c_p del cuerpo humano $\sim 3.3\text{--}3.6 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$; se adopta $3.5 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$, tal y como reportan compendios de ingeniería/termo-fisiología).

Equipos internos (ventiladores del evaporador y auxiliares)

Se adopta **150 W** (motor-ventiladores del evaporador para un recinto $\sim 50 \text{ m}^3$).

Iluminación LED: 10 W (uso esporádico). $\rightarrow \boxed{160 \text{ W}}$.

(Toda la potencia eléctrica interna se transforma en calor sensible en la cámara). (*Base práctico HVAC*)

3) Resumen de cargas – Caso base (operación típica)

Tabla 3 Resumen de cargas

Componente	Ecuación / criterio	Potencia (W)	%
------------	---------------------	--------------	---

Transmisión	$Q_t = UA\Delta T$	402	38.8
Infiltración (0.5 ACH)	$Q_i = \rho c_p \dot{V} \Delta T$	202	19.5
Producto (2 cuerpos/día)	$\bar{Q} = mc_p \Delta T / t$	272	26.3
Equipos internos + luz	Potencia eléctrica $\rightarrow$ calor	160	15.4
Total		1036 W	100

Equivalencias:

$$1036 \text{ W} \approx 1.04 \text{ kW} \approx 3536 \text{ BTU/h} \approx 0.30 \text{ TR}$$

(1 kW = 3412 BTU/h; 1 TR = 12000 BTU/h).

4) Escenario “operación exigente” (puerta y rotación alta)

- **Puertas: 1.0 ACH** (aperturas más frecuentes).
- **Producto: 3 cuerpos/día** (mismas condiciones $t = 8 \text{ h}$).

Resultados:

- $Q_i(1.0 \text{ ACH}) = 2 \times 202 = \boxed{404 \text{ W}}$.
- $Q_p(3 \text{ cuerpos}) = 3 \times 136 = \boxed{408 \text{ W}}$.
- Total “exigente”:

$$Q_{tot} = 402 + 404 + 408 + 160 = \boxed{1374 \text{ W}}$$

$$\approx 4687 \text{ BTU/h} \approx 0.39 \text{ TR}$$

Este valor **calza** con tu orden de magnitud (**0.37 TR**) y justifica una **selección de 0.5 TR** para margen operativo, temperatura estable y ciclos del compresor saludables (mejor COP, menor desgaste). **El set-point 2–4 °C es el recomendado** para conservación temporal; para periodos largos o fines judiciales, cámaras negativas (–15 a –20 °C).

5) Figura (descripción) del balance térmico

Incluye este esquema al pasarlo a Word:

- **Flechas de calor hacia adentro:**
 - (1) **Transmisión** por muros/techo/piso,
 - (2) **Infiltración** por puerta,
 - (3) **Producto** (cuerpos ingresando),
 - (4) **Cargas internas** (ventiladores, luminarias).
- **Flecha de salida:** **Evaporador** absorbiendo Q_{tot} y expulsado al **condensador** fuera de la sala.

6) Recomendación de capacidad

- **Selección mínima:** $0.5 \text{ TR} = 6000 \text{ BTU/h} = 1.76 \text{ kW}$
 Cubre el **escenario exigente** ($\approx 1.37 \text{ kW}$) con **margen ~25–30 %**, amortigua picos por puerta o lotes de ingreso calientes, y mantiene 2–4 °C en clima de Ocaña. (Para diseño de equipos, ver ASHRAE 2022, cap. de cargas en recintos refrigerados).

7) Análisis de sensibilidad (impacto sobre el caso base)

Tabla 3.

Impacto sobre caso base

Parámetro	Cambio	ΔQ (W) aprox.	Nuevo Q_{tot} (W)	Δ (%)
T_{ext}	+3 K	$+\Delta Q_t = UA(3) = 52$ y $\Delta Q_i = \dot{m}c_p(3) = 26 \rightarrow +79$	1115	+7.6
Infiltración (ACH)	+20 % (0.5 $\rightarrow$ 0.6)	$0.2 \times 202 = ** +40 **$	1076	+3.9
Aislamiento (U)	+10 %	$0.1 \times 402 = ** +40 **$	1076	+3.9
Producto	+6 K en $T_{ini}(20 \rightarrow 26 \text{ } ^\circ\text{C})$	$272 \times (22/16 - 1) = ** +102 **$	1138	+9.8
Producto	3 cuerpos/día	+136	1172	+13.1
Puerta	1.0 ACH	+202	1238	+19.5

Observación: Si **coinciden** puerta exigente (1.0 ACH) y 3 cuerpos/día, el total sube a **1374 W** (cálculo de la sección 4). Para una **puerta sin protección**, puede estimarse infiltración por **modelo de abertura** (Industrial Refrigeration Consortium), útil si el jurado pide más detalle de **puertas**.

8) Requisitos ambientales del cuarto mortuario (para el texto de soporte)

- **Temperatura:** 2–4 °C (conservación temporal); para períodos prolongados y fines forenses: –15 a –20 °C.
- **Humedad:** 60–70 % (controlar mohos/olores, evitar desecación excesiva). *(Buenas prácticas de cámaras mortuorias; respáldalo en tu normativa sanitaria local si aplica).*
- **Circulación de aire:** uniforme para evitar “zonas calientes”; ventiladores del evaporador adecuados. *(ASHRAE/criterios de diseño de cámaras).*

3.1.2 Investigar y seleccionar equipos de refrigeración que se ajusten a las necesidades del cuarto frío

Estas actividades consisten en identificar y evaluar alternativas comerciales de cuartos fríos disponibles en el mercado colombiano, comparando sus características técnicas frente a las necesidades reales del cuarto frío de la ESE Hospital Emiro Quintero Cañizares. Con base en dicha evaluación, se selecciona la opción más adecuada en términos de capacidad, compatibilidad con los requisitos térmicos calculados, disponibilidad, condiciones de suministro y costo.

Inconsistencia entre volumen del cuarto frío y equipo seleccionado. Se detectó una contradicción entre el volumen real del cuarto frío (52.5 m³) y los equipos comerciales inicialmente seleccionados (8 m³ y 18 m³). Para corregir este aspecto, se reemplaza la selección comercial por una cotización ajustada a las dimensiones reales del recinto.

Para la selección del sistema de refrigeración, se consideró una cotización real basada en las dimensiones actuales del cuarto frío del hospital ($3\text{ m} \times 7\text{ m} \times 2.5\text{ m}$), correspondiente a un volumen de 52.5 m^3 .

A diferencia de las alternativas comerciales estándar previamente analizadas, esta cotización se ajusta específicamente a las condiciones reales del recinto, garantizando coherencia entre el cálculo de carga térmica y el sistema propuesto.

El sistema seleccionado incluye un equipo de refrigeración con capacidad suficiente para cubrir la carga térmica estimada ($1036 - 1374\text{ W}$), incorporando además un margen de seguridad para condiciones de operación exigentes, tales como apertura frecuente de puertas, ingreso de cuerpos y variaciones térmicas externas. De esta manera, se asegura la trazabilidad técnica del proyecto, manteniendo consistencia entre el diseño térmico del recinto y la selección del sistema de refrigeración.

Las alternativas comerciales previamente analizadas ($2 \times 2 \times 2.5\text{ m}$ y $3 \times 3 \times 2.5\text{ m}$) pueden mantenerse únicamente como referencia, agregando la siguiente aclaración:

“Estas opciones fueron consideradas únicamente como referencia comercial, pero no fueron seleccionadas debido a que no corresponden al volumen real del cuarto frío.”

Cotización

Bucaramanga 18/04/2026

COTIZACIÓN

Señor

Julián Castilla

DESCRIPCIÓN	CANT	V.UNIT	VALOR TOTAL
Panel 80 mm	71 mts	\$ 186.000	\$ 13.206.000
Panel 80 mm piso	21 mts	\$ 97.700	\$ 2.051.700
Puerta batientes 2x1	1	\$ 2.300.000	\$ 2.300.000
Tablero eléctrico	1	\$ 1.800.000	\$ 1.800.000
Media caña	36 mts	\$ 18.000	\$ 648.000
Tubería de cobre	4 mts	\$ 173.000	\$ 692.000
Condensadora 5,5 hp	1	\$ 10.500.000	\$ 10.500.000
Difusor 5,5 hp	1	\$ 5.900.000	\$ 5.900.000
Válvula expansión	1	\$ 450.000	\$ 450.000
Cortina plástica	1	\$ 350.000	\$ 350.000
Insumos (varios)		\$ 2.200.000	\$ 2.200.000
Viáticos		\$ 3.000.000	\$ 3.000.000
Mano de obra		\$ 8.000.000	\$ 8.000.000

VALOR TOTAL

\$ 51.097.700

La potencia la suministra el contratante hasta donde queda el tablero, y del tablero hasta donde quedan los equipos



Norbey Rosero Ramirez
TL:3154293757-3107528675

nr.refrigeracion202@gmail.com

Nota. La figura muestra la cotización realizada en la ciudad de Bucaramanga

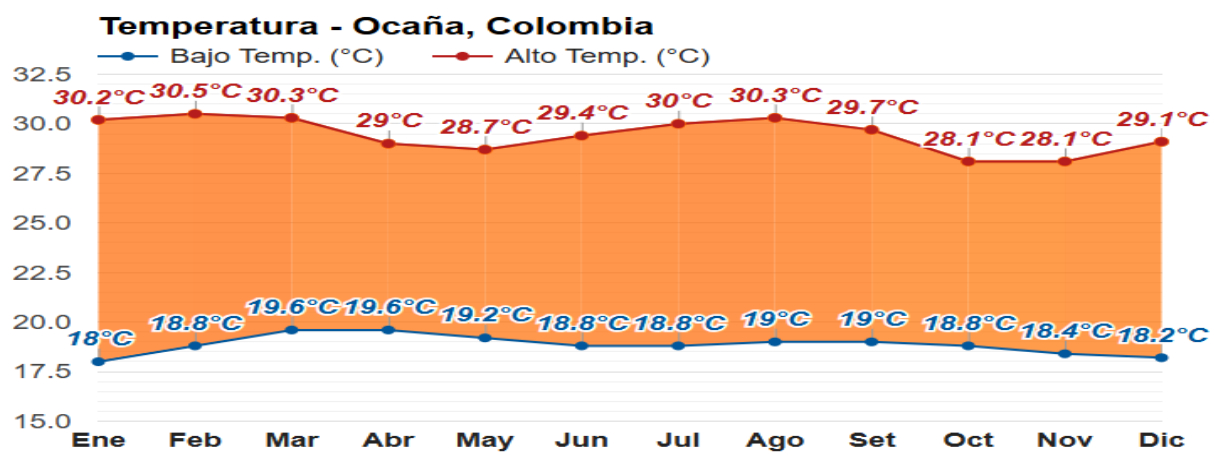
3.1.3 Verificar los meses más soleados en la ciudad de Ocaña, según la información del

IDEAM

Se realizó una búsqueda en las bases de datos del IDEAM para poder determinar los meses más soleados y la temperatura en la ciudad de Ocaña, a continuación, se describe cada una de estas condiciones, en la figura 5 se muestra la temperatura durante todo el año, de igual forma en la figura se muestra en línea roja la temperatura más elevada y en línea azul la más baja durante cada mes del año. A continuación, se muestra en la figura 4, el clima y previsión meteorológica mensual.

Figura 6.

Clima y prevención meteorológica mensual

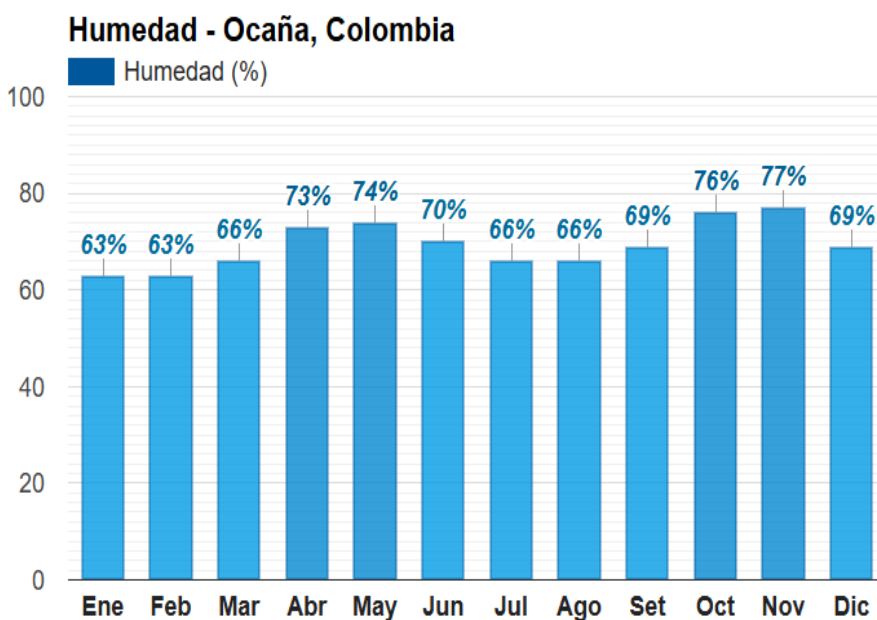


Nota. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

Como se observa en la figura 4 el mes más cálido (con el máximo promedio de temperatura alta) es Febrero (30.5°C). Los meses con el promedio de temperatura alta más bajo son Octubre y Noviembre (28.1°C).

Los meses con el promedio de temperatura baja más alto son Marzo y Abril (19.6°C). El mes más frío (con el promedio de temperatura baja más bajo) es Enero (18°C).

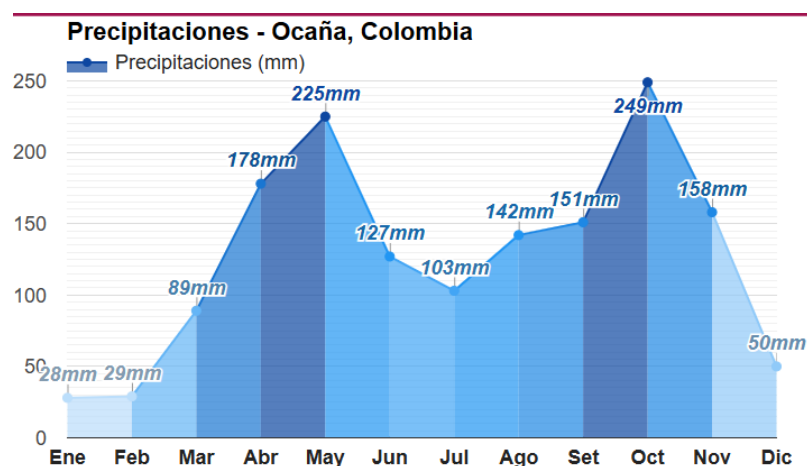
La Humedad en Ocaña oscila alrededor de 70% , en la figura 6 se muestra la imagen correspondiente según el IDEAM. A continuación, en la figura 5 se muestra la humedad presente en Ocaña, Norte de Santander.

Figura 7.*Humedad*

Nota. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

El mes con la humedad relativa más alta es Noviembre (77%). Los meses con la humedad relativa más baja son Enero y Febrero (63%). Teniendo en cuenta lo anterior se puede decir que la humedad se da en mayor proporción en el mes de noviembre, lo que sugiere una mayor presencia de lluvias o condiciones atmosféricas más húmedas. Esto puede coincidir con la temporada de transición entre épocas secas y lluviosas en algunas regiones tropicales.

Enero y Febrero (63%): Estos meses tienen la humedad más baja, lo que indica condiciones más secas, posiblemente asociadas con la temporada seca o con mayor radiación solar y menor nubosidad.

Figura 8.*Precipitaciones*

Nota. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

El mes más húmedo (con la precipitación más alta) es Octubre (249mm). El mes más seco (con la precipitación más baja) es Enero (28mm). Se evidencia que Octubre (249 mm): Este mes destaca por su alta precipitación, lo que sugiere una temporada lluviosa activa. Es probable que esté influenciado por fenómenos como la Zona de Convergencia Intertropical o vientos húmedos del este. Las lluvias pueden ser frecuentes y prolongadas, afectando actividades al aire libre, transporte y agricultura.

Enero (28 mm): Representa el pico de la temporada seca. Las lluvias son escasas, y predominan los días soleados. Esto puede favorecer actividades turísticas, cosechas que requieren menos humedad, y menor riesgo de deslizamientos o inundaciones.

El mes con días más largos es Junio (Luz diurna media: 12h and 36min). El mes con días más cortos es Diciembre (Luz diurna media: 11h and 42min).

El mes con más sol es Agosto (Promedio de insolación: 11h and 18min). El mes con menos sol es Enero (Promedio de insolación: 7h and 18min).

El propósito de esta actividad es identificar los meses con mayor radiación solar, horas de sol y comportamiento térmico en el municipio de Ocaña, Norte de Santander, a partir de información climatológica oficial. Para ello se consultaron registros históricos de temperatura, humedad, precipitación y radiación solar provenientes del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, complementados con series climáticas de plataformas meteorológicas reconocidas como Weather-Atlas, que ofrecen datos derivados del IDEAM para esta ciudad.

Este análisis es fundamental para el diseño del sistema solar fotovoltaico, pues permite conocer:

- La variación mensual de **Horas Sol Pico (HSP)**.
- La **radiación útil disponible** para la generación fotovoltaica.
- Los meses óptimos y críticos para el funcionamiento del sistema.
- La relación entre **temperatura, humedad** y el rendimiento del equipo.

1. Horas Sol Pico (HSP) promedio

Con base en el análisis de datos históricos de radiación se determinó que el valor promedio anual de **Horas Sol Pico (HSP)** en Ocaña es aproximadamente:

HSP promedio anual: 3.15 h/día

Este valor representa la energía solar promedio equivalente a “sol pleno” disponible por metro cuadrado y es utilizado directamente para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico. Un HSP de 3.15 indica un nivel de radiación **moderado**, característico de zonas montañosas en Colombia con presencia marcada de periodos húmedos. Esto coincide con los patrones de nubosidad y humedad registrados por IDEAM para la región.

El HSP constituye el insumo principal para determinar:

La potencia pico del arreglo fotovoltaico.

Las horas efectivas de generación diaria.

La viabilidad energética del proyecto.

2. Comportamiento térmico mensual (temperaturas máximas y mínimas)

La figura climatológica consultada muestra que:

El mes más cálido es febrero, con una temperatura máxima promedio de **30.5 °C**.

Los meses más frescos son octubre y noviembre, con máximas de **28.1 °C**.

Las temperaturas mínimas más elevadas se presentan en marzo y abril (19.6 °C).

El mes más frío es enero, con una mínima promedio de **18 °C**.

Interpretación técnica

Febrero, además de ser el mes más cálido, coincide con la temporada de menor humedad y baja precipitación, lo que favorece un incremento en la radiación solar útil.

Octubre y noviembre, aunque más frescos, presentan fuertes lluvias que incrementan la nubosidad y reducen la radiación efectiva disponible.

Este comportamiento térmico ayuda a estimar la eficiencia real de los paneles, ya que temperaturas muy altas reducen su rendimiento, mientras que temperaturas moderadas son más favorables.

3. Humedad relativa

Los valores de humedad identificados para Ocaña muestran que:

La humedad más baja se registra en enero y febrero (63 %).

La humedad más alta ocurre en noviembre (77 %).

Implicación en radiación solar

Humedades **bajas** → menor nubosidad → **mayor radiación solar disponible** → mayor producción FV.

Humedades **altas** → mayor carga de vapor → más nubosidad → menor irradiancia.

Esto indica que **enero y febrero** se perfilan como meses óptimos para producción solar.

4. Precipitación

Los datos analizados indican que:

El mes más seco es enero (28 mm).

El mes más lluvioso es octubre (249 mm).

Implicación en el sistema FV

Periodos secos → menos nubosidad → mejor desempeño FV.

Periodos lluviosos → menor radiación → reducción temporal en generación.

La temporada lluviosa intensa (septiembre-noviembre) debe considerarse para calcular autonomía en baterías y dimensionar el inversor si el sistema opera en modo híbrido o backup.

5. Horas de luz diurna e insolación

Datos obtenidos de Weather-Atlas (que emplea registros y modelos basados en IDEAM):

Mes con días más largos: junio (12 h 36 min).

Mes con días más cortos: diciembre (11 h 42 min).

Mes con mayor insolación: agosto (11 h 18 min de sol real).

Mes con menor insolación: enero (7 h 18 min).

Interpretación. Aunque enero posee poca insolación horaria, mantiene **baja humedad y baja precipitación**, lo que mejora su irradiancia efectiva.

Por otro lado, **agosto**, pese a tener alta insolación, coincide con lluvias moderadas en la región, por lo cual no siempre es el mes con mayor HSP útil.

6. Meses con mayor potencial solar (síntesis)

Integrando:

Horas Sol Pico (HSP)

Humedad

Precipitación

Insolación

Temperatura

Se tiene:

Mejor potencial FV en Ocaña:

Enero

Febrero

Marzo**Potencial medio:**

Julio

Agosto

Meses críticos (baja radiación):**Septiembre****Octubre****Noviembre**

(Período de lluvias intensas, nubosidad alta y humedad elevada)

Esto deberá considerarse al dimensionar:

Capacidad del arreglo FV

Tamaño de baterías

Margen de seguridad para garantizar suministro continuo al cuarto frío.

Análisis climatológico del recurso solar en Ocaña

Con base en la información climatológica oficial suministrada por el IDEAM y registros complementarios de plataformas meteorológicas que integran dichos datos, se realizó una evaluación detallada del recurso solar disponible en el municipio de Ocaña, Norte de Santander. El análisis de radiación permitió determinar que el valor promedio de Horas Sol Pico (HSP) para esta ubicación es de **3.15 h/día**, cifra que representa la energía solar útil equivalente a sol pleno disponible diariamente. Este parámetro constituye un insumo fundamental para el

dimensionamiento del sistema fotovoltaico, dado que permite estimar la energía diaria generada y el tamaño necesario del arreglo solar.

En cuanto al comportamiento térmico, se identificó que **febrero** es el mes más cálido del año, con una temperatura máxima promedio de **30.5 °C**, mientras que **octubre y noviembre** registran las temperaturas máximas más bajas (28.1 °C). Las temperaturas mínimas más elevadas se presentan en **marzo y abril (19.6 °C)**, y la mínima más baja corresponde a **enero (18 °C)**. La humedad relativa presenta valores más bajos en **enero y febrero (63 %)**, meses que además presentan las menores precipitaciones del año, lo que favorece una mayor disponibilidad de radiación solar. En contraste, la humedad más alta corresponde a **noviembre (77 %)**, coincidiendo con la temporada de mayor nubosidad.

La precipitación evidencia dos comportamientos opuestos: **enero**, como el mes más seco con 28 mm, y **octubre**, como el mes más lluvioso con 249 mm, lo cual representa una disminución significativa de la radiación disponible durante el último trimestre del año.

Finalmente, las horas de luz diurna y de insolación muestran que **junio** presenta los días más largos (12 h 36 min) y **agosto** el mayor número de horas de sol directo (11 h 18 min), mientras que **diciembre y enero** registran los valores más bajos.

En conjunto, se concluye que los meses con **mayor potencial solar** en Ocaña son **enero, febrero y marzo**, debido a su baja humedad, reducida precipitación y alta estabilidad atmosférica, factores que contribuyen a una mayor irradiancia útil. Por el contrario, los meses de **septiembre, octubre y noviembre** presentan condiciones menos favorables para la captación solar debido a la elevada nubosidad y precipitación. Este análisis climatológico es fundamental

para definir el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, la energía disponible por estación y la viabilidad técnica del proyecto.

3.2 Diseñar un sistema solar fotovoltaico que será implementado al cuarto frío para asegurar la preservación adecuada de los cadáveres

Diseñar un sistema de energía solar fotovoltaica para el suministro del cuarto frío de conservación de cadáveres en las instalaciones hospitalarias se presenta como una solución estratégica ante los retos energéticos actuales, al permitir este tipo de puesta en práctica el mantenimiento del suministro eléctrico en el caso de que se produzca un corte de luz, logrando así la conservación digna y segura de los cuerpos, la cual es un aspecto fundamental, en el ámbito de la medicina y social.

Desconexión entre la demanda y el sistema fotovoltaico. Se identificó que la carga térmica calculada del cuarto frío (1036 – 1374 W) no presenta coherencia directa con el sistema fotovoltaico propuesto. Para corregir esta observación, se incorpora la siguiente justificación técnica:

Es importante señalar que, aunque la carga térmica calculada del cuarto frío se encuentra en un rango entre 1036 W y 1374 W, el sistema fotovoltaico propuesto fue dimensionado considerando no solo esta demanda base, sino también factores adicionales que influyen en el consumo energético real del sistema. Entre estos se incluyen las pérdidas asociadas al inversor,

eficiencia de los equipos, variaciones en la radiación solar, condiciones climáticas de la zona y la necesidad de garantizar operación continua del sistema.

Asimismo, el dimensionamiento contempla un margen de seguridad que permita asegurar la disponibilidad energética en condiciones críticas, evitando interrupciones en el funcionamiento del cuarto frío. Por lo tanto, el sistema propuesto no responde únicamente a la carga térmica calculada, sino a un enfoque integral de confiabilidad y continuidad operativa.

3.2.1 Estimar la vida útil de los componentes del sistema fotovoltaico

La vida útil de los componentes de un sistema fotovoltaico varía según el tipo de tecnología, la calidad de fabricación, el mantenimiento y las condiciones ambientales.

Tabla 4.

Vida útil de los componentes del sistema

Componente	Vida útil estimada	Observaciones clave
Paneles solares	25–30 años	Pierden eficiencia gradualmente ($\approx 0.5\text{--}1\%$ anual), pero siguen funcionando
Inversores	10–15 años	Son más propensos a fallos; requieren monitoreo y posible

		recambio estratégico
Microinversores	Hasta 20 años	Mayor eficiencia individual por panel; más duraderos que los inversores centrales
Baterías de litio	10–12 años	Alta eficiencia y profundidad de descarga; ideales para autoconsumo
Baterías de plomo-ácido	3–5 años	Menor duración y eficiencia; requieren más mantenimiento
Cables solares	25–30 años	Dependen de la resistencia UV y condiciones ambientales; inspección periódica clave

Factores que influyen en la durabilidad

Calidad de los materiales y tecnología empleada

Mantenimiento regular (limpieza, inspección de conexiones, monitoreo de rendimiento)

Condiciones climáticas extremas (granizo, calor, humedad)

Nivel de contaminación ambiental

Para prolongar la vida útil del sistema:

Realiza limpiezas periódicas de los paneles

Monitorea el rendimiento con software especializado

Sustituye componentes críticos antes de fallos graves

Consumo diario del sistema

Según la empresa (Eligenio, 2024), el consumo estimado promedio del cuarto frío: 30000

Wh/día (30 kWh)

Número de paneles solares requeridos

Panel solar considerado: 450 Wp

Radiación solar en diciembre (HSP crítica): 3,32 horas pico solar

Performance Ratio (PR): 0.90

Fórmula: $N^{\circ} \text{ de paneles} = 30000 / (450 \times 3,32 \times 0,90) \approx 22$

Total: 22 paneles solares de 450 Wp

Banco de baterías

El sistema contempla un banco de baterías de respaldo destinado a cubrir interrupciones temporales del suministro eléctrico, con una autonomía estimada entre 4 y 6 horas, suficiente para garantizar la continuidad del servicio mientras se restablece la red

Voltaje del sistema: 220V

Días de autonomía: 1 día

Profundidad máxima de descarga: 70%

Capacidad requerida (Wh): $30000 / 0,7 = 42857,14 \text{ Wh}$

Capacidad requerida en Ah a 220V: $42857,14 / 220 \approx 194 \text{ Ah}$

Capacidad recomendada: 194 Ah a 220V

Regulador de carga

Corriente de cortocircuito (I_{sc}) del panel: 11 A

Suposición: 10 paneles en serie $\rightarrow$ 21 ramas en paralelo

Corriente de entrada al regulador: $11 \text{ A} \times 21 \times 1,25 \approx 288 \text{ A}$

El regulador debe soportar mínimo: 288 A de entrada

Inversor

Se selecciona un inversor trifásico de 15 kW, con capacidad suficiente para soportar la demanda del sistema de refrigeración y los picos de arranque del compresor.

Potencia continua promedio: $30000 / 24 \times 1,25 \approx 1562,5 \text{ W}$

Potencia pico por arranque de motores ($\times 3$): $14.450 \times 3 \approx 4687,5 \text{ W}$

Inversor recomendado: mínimo 45 kW, trifásico, onda senoidal pura

Recomendaciones

Usar baterías de litio si el presupuesto lo permite.

Considerar inversores híbridos para posible integración a red.

La instalación debe realizarse con profesionales certificados RETIE.

3.2.2 Calcular las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al consumo energético actual utilizando factores de emisión

El cálculo de las emisiones de gas, además de mejorar la eficiencia operativa, este sistema promueve el uso de energías limpias, disminuye los costos a largo plazo y contribuye al

compromiso institucional con la sostenibilidad ambiental. El proyecto se alinea con las políticas de modernización tecnológica y atención humanizada, fortaleciendo la autonomía energética del hospital y elevando su capacidad de respuesta en momentos críticos.

El diseño del sistema solar fotovoltaico no solo es viable, sino altamente beneficioso desde una perspectiva técnica, económica y ética, convirtiéndose en una herramienta clave para el fortalecimiento de la infraestructura hospitalaria en la región. A continuación, en la tabla 6 se muestra los equipos necesarios para el diseño del cuarto frío.

Equipos necesarios para el diseño del cuarto frío

COMPONENTE	POTENCIA (W)	HORAS / DIA	CONSUMO DÍA (KW)
Compresor	8000	12 h	96
Condensador	1000	12 h	12
Evaporador + Ventiladores	600	12 h	7.2
Controladores+ Válvulas	300	12 h	3.6

Una vez calculado el consumo, buscamos los datos de radiación solar global con la localización del Hospital. De acuerdo a los datos arrojados por el programa, el mes de noviembre sería el mes crítico con un valor de radiación solar del 4.31 kwh/m

$$P_{MPP} = \frac{L_{md}}{N_T * HPS_{crit} * PR}$$

$N_T =$

$$\Rightarrow N_T = \frac{L_{md}}{P_{MPP} * HPS_{crit} * PR}$$

$$\frac{149895.7895}{400 * 4.31 * 0.9} \rightarrow N_T = 96.607$$

```

-BEGIN HEADER-
NASA/POWER CERES/MERRA2 Native Resolution Climatology Climatologies
2-year Meteorological and Solar Monthly & Annual Climatologies (January 2021 - December 2022)
Location: Latitude 8.2371 Longitude -73.3569
Elevation from MERRA-2: Average for 0.5 x 0.625 degree lat/lon region = 1450.17 meters
The value for missing source data that cannot be computed or is outside of the sources availability range: -999
Parameter(s):
T2M_MAX MERRA-2 Temperature at 2 Meters Maximum (C)
T2M_MIN MERRA-2 Temperature at 2 Meters Minimum (C)
EQUIV_NO_SUN_CONSEC_MONTH SRB V4/CERES SYN1deg Equivalent No-Sun Days Over A Month Period (Days)
SI_EF_TILTED_SURFACE_HORIZONTAL SRB V4/CERES SYN1deg Solar Irradiance for Equator Facing Horizontal Surface (kw-hr/m^2/day)
SI_EF_TILTED_SURFACE_LAT_MINUS15 SRB V4/CERES SYN1deg Solar Irradiance for Equator Facing Latitude Minus 15 Tilt (kw-hr/m^2/day)
SI_EF_TILTED_SURFACE_LATITUDE SRB V4/CERES SYN1deg Solar Irradiance for Equator Facing Latitude Tilt (kw-hr/m^2/day)
SI_EF_TILTED_SURFACE_LAT_PLUS15 SRB V4/CERES SYN1deg Solar Irradiance for Equator Facing Latitude Plus 15 Tilt (kw-hr/m^2/day)
SI_EF_TILTED_SURFACE_VERTICAL SRB V4/CERES SYN1deg Solar Irradiance for Equator Facing Vertical Surface (kw-hr/m^2/day)
SI_EF_TILTED_SURFACE_OPTIMAL SRB V4/CERES SYN1deg Solar Irradiance Optimal (kw-hr/m^2/day)
SI_EF_TILTED_SURFACE_OPTIMAL_ANG SRB V4/CERES SYN1deg Solar Irradiance Optimal Angle (Degrees)
SI_EF_TILTED_SURFACE_OPTIMAL_ANG_ORI SRB V4/CERES SYN1deg Solar Irradiance Tilted Surface Orientation (N/S Orientation)
Message(s):
The Battery Sizing parameters are computed for January 2001 to December 2020 not a custom climatological period; the parameter
-END HEADER-
PARAMETER JAN FEB MAR APR MAY JUN JUL AUG SEP OCT NOV DEC ANN
T2M_MAX 30.23 30.48 30.55 31.78 32.62 31.58 32.52 32.37 33.44 31.12 32.36 30.11 33.44
T2M_MIN 11.93 14.47 13.14 15.19 13.85 14.44 14.83 13.37 15.23 14.42 14.96 11.96 11.93
EQUIV_NO_SUN_CONSEC_MONTH 2.81 2.91 3.66 2.82 2.11 1.92 3.52 3.06 2.13 2.44 2.49 4.16 -999.0
SI_EF_TILTED_SURFACE_HORIZONTAL 5.22 5.14 4.67 4.68 4.98 4.63 5.45 5.24 5.26 4.72 4.48 4.87 -999.0
SI_EF_TILTED_SURFACE_LAT_MINUS15 4.90 4.94 4.60 4.68 5.03 4.70 5.54 5.27 5.21 4.62 4.31 4.57 -999.0
SI_EF_TILTED_SURFACE_LATITUDE 5.51 5.30 4.70 4.63 4.86 4.51 5.28 5.15 5.25 4.79 4.63 5.15 -999.0
SI_EF_TILTED_SURFACE_LAT_PLUS15 5.84 5.41 4.59 4.40 4.48 4.13 4.78 4.80 5.05 4.75 4.74 5.48 -999.0
SI_EF_TILTED_SURFACE_VERTICAL 3.69 2.84 1.98 1.74 1.75 1.69 1.73 1.78 1.99 2.38 2.80 3.61 -999.0
SI_EF_TILTED_SURFACE_OPTIMAL 5.89 5.41 4.70 4.69 5.03 4.72 5.58 5.27 5.26 4.80 4.74 5.54 -999.0
SI_EF_TILTED_SURFACE_OPTIMAL_ANG 29.50 19.00 4.00 -4.00 -15.00 -14.50 -15.50 -10.00 -0.50 10.50 21.50 31.00 -999.0
SI_EF_TILTED_SURFACE_OPTIMAL_ANG_ORI S S S N N N N N N S S S

```

Respecto a la **conexión de los módulos calculados en serie o paralelo**, teniendo en cuenta que el TP672P - 320W tiene una $V_{max}=37,1$ Volt., hacemos:

$$N_{serie} = \frac{V_{bat}}{V_{mod,MPP}} \quad N_{serie} = \frac{24}{37,1}$$

$$N_{serie} = 0,65 \approx 1$$

$$N_{paralelo} = \frac{\text{Numero de paneles}}{N_{serie}} =$$

Así pues, conectaríamos 96.607 ramas en paralelo con un panel por rama.

$$C_{ne} = \frac{L_{md} * N}{P_{DE} * F_{CT}}$$

96.607

Si dividimos el valor anterior entre el voltaje de las baterías obtenemos:

Dimensiones del acumulador (Cne): 8922.36 Ah

Cálculo del regulador, para ello debemos calcular cual es la máxima corriente que debe

$$I_{ent} = FS * I_{CS} * N_p$$

soportar el regulador, a su entrada, pero también a su salida.

$$I_{SAL} = \frac{FS * (P_{DC} + \frac{P_{AC}}{\eta_{inv}})}{V_{Bat}}$$

Corriente de salida del regulador (Isal)	149.7048611	Amperios
Potencia en corriente alterna (PAC)	2586	
Potencia en corriente directa (PDC)	0	
Eficiencia del inversor (ninv)	0.9	
Voltaje de la batería (VBAT)	24	

Así pues, el regulador debería soportar una corriente, como mínimo de 84.7 Amp. a su entrada y 149 Amp. a su salida.

Cálculo del inversor, únicamente hemos de calcular la suma de las potencias de las cargas de alterna y aplicar un margen de seguridad del 20%. Así pues:

$$P_{inv} = FS * P_{AC}$$

Factor de seguridad (FS)	1.25	
Potencia en corriente alterna (PAC)	2586	Watt
Potencia inversor (Pinv)	3232.5	Watt

3.3 Analizar el estudio de factibilidad para la implementación de un cuarto frío en funcionamiento continuo y asegurar la preservación adecuada de los cadáveres, en la ESE Hospital Emiro Quintero Cañizares

Según la Gobernación de Norte de Santander (2024), existen documentos donde se evidencia que el hospital ha desarrollado estudios previos y procesos de contratación relacionados con infraestructura hospitalaria, incluyendo áreas de apoyo como cuartos fríos. Aunque no se menciona explícitamente un cuarto frío para cadáveres en funcionamiento continuo, hay evidencia de adquisiciones de elementos de protección para este tipo de espacios.

3.3.1 Determinar los costos de adquisición de las celdas fotovoltaicas, costos de instalación, incluyendo mano de obra, permisos y otros gastos asociados

Para la presente propuesta se sugiere Panel Solar 450W marca Solartech
SKU 2403811

Precio actual \$113.093,00

El Panel Solar 450W 12V convierte la luz solar en electricidad de corriente continua (DC) de manera eficiente. Gracias a sus células fotovoltaicas de alta calidad, es ideal para aplicaciones de baja demanda energética, proporcionando una solución confiable y económica para generar energía limpia (Ferragro, 2024).

Características Claves

Tecnología de celda PERC: Alta eficiencia en la conversión de energía solar.

Bajo LCOE y BOS: Reducción en el costo nivelado de energía (LCOE) y menores costos de balance de sistema (BOS).

Protección Anti PID y bajo nivel de LID: Mayor durabilidad y rendimiento a largo plazo.

Bajo coeficiente de temperatura: Funciona de manera óptima en diversas condiciones climáticas.

Menor riesgo de puntos calientes: Previene problemas por sombreado, mejorando la seguridad y rendimiento.

Dimensiones: 520 x 680 x 30 mm

Peso: 4 kg

Costo de instalación. Al instalar 96 paneles solares de 450W equivale a una capacidad total de aproximadamente 93 kWp, lo que representa un sistema de escala comercial o industrial.

Aquí te dejo una estimación detallada para Colombia en 2025:

Costo por panel (450W): Entre \$800.000 y \$1.200.000 COP, dependiendo de la marca y tecnología (PERC, monocristalino)

Costo total de paneles: Entre \$165 y \$250 millones COP

Costo de instalación completa (incluye inversores, estructuras, cableado, certificaciones, mano de obra): Entre \$400 y \$600 millones COP

Incluye. Paneles solares de alta eficiencia (JA Solar, Canadian Solar, etc.)

Inversores trifásicos o híbridos

Estructuras antisísmicas certificadas RETIE

Sistema de monitoreo en tiempo real

Medidor bidireccional y permisos de conexión (Autosolar, 2024).

Permisos. Instalar paneles solares en un cuarto frío en Colombia requiere cumplir con normativas específicas para garantizar seguridad eléctrica, eficiencia energética y legalidad.

Certificación RETIE (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas): Es obligatoria para cualquier instalación eléctrica superior a 10 kW o que implique riesgo eléctrico.

Debe ser emitida por un organismo acreditado tras inspección técnica.

Registro ante la UPME (Unidad de Planeación Minero Energética): Aplica si el sistema está conectado a la red o si se busca acceder a beneficios tributarios. Permite monitorear la generación distribuida en el país.

Autorización de conexión de la empresa distribuidora de energía: Requerida si el sistema es híbrido o conectado a la red. Debe cumplir con requisitos técnicos para evitar afectaciones al sistema eléctrico local.

Licencia de construcción o modificación (si se altera la estructura del cuarto frío): Aplica si se instalan estructuras en techo o suelo que cambien el diseño original.

Requisitos técnicos adicionales

Diseño eléctrico certificado: Incluye memoria de cálculo, diagrama unifilar y especificaciones de equipos.

Normas NTC aplicables: Paneles, inversores, baterías y reguladores deben cumplir normas como NTC 2050, NTC 2883, NTC 5899.

Inspección técnica: Antes de operar, se realiza una inspección para validar seguridad y cumplimiento normativo (República de Colombia, Normatividad requerida para la instalación de paneles solares, 2024).

3.3.2 Evaluar el periodo de recuperación de la inversión y la rentabilidad del proyecto a largo plazo

Al evaluar la rentabilidad y el periodo de recuperación de instalar 96 paneles solares de 450W (total: 93.15 kWp) en un cuarto frío, considerando su alta demanda energética constante, se debe tener en cuenta lo siguiente.

Concepto	Valor estimado
Inversión inicial total	\$450 – \$600 millones
Producción anual estimada	135,000 kWh
Tarifa eléctrica promedio	\$700 COP/kWh
Ahorro anual estimado	\$94 millones
Vida útil del sistema	25 años

Periodo de recuperación

Fórmula: Inversión inicial / Ahorro anual

Si inviertes \$500 millones y ahorras \$94 millones/año, el periodo de recuperación sería de 5.3 años

Con incentivos tributarios, este tiempo puede reducirse a 4 años

Rentabilidad a largo plazo

Ahorro acumulado en 25 años: \$2.350 millones (sin contar aumentos en tarifas eléctricas)

Tasa Interna de Retorno (TIR): Entre 18% y 25%, dependiendo del costo final y eficiencia del sistema

Valor Actual Neto (VAN): Positivo en todos los escenarios, especialmente si se aprovechan incentivos fiscales

3.3.3 Evaluar otros beneficios ambientales como la reducción de la huella de carbono y la disminución de la contaminación del aire

Al Instalar 96 paneles solares de 450W, en un cuarto frío no solo genera ahorro económico, sino también impactos ambientales positivos de gran escala.

Reducción de la huella de carbono

Cada megavatio-hora (MWh) generado con energía solar evita entre 0.5 y 1 tonelada de CO₂

Con una producción anual estimada de 135,000 kWh, se evitarían entre 67 y 135 toneladas de CO₂ al año

Esto equivale a:

Plantar 3,000 árboles cada año

Eliminar las emisiones de 30 vehículos de combustión interna

Disminución de la contaminación del aire

La energía solar no emite gases contaminantes como dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x) ni partículas finas

Mejora la calidad del aire, especialmente en zonas industriales o rurales donde operan cuartos fríos

Reduce riesgos de salud como asma, bronquitis y enfermedades cardiovasculares

Conservación de recursos naturales

A diferencia de las plantas térmicas, los paneles solares no consumen agua para generar electricidad

Esto ayuda a preservar fuentes hídricas locales, especialmente en regiones con estrés hídrico

Cero contaminación sonora

Los sistemas fotovoltaicos operan de forma silenciosa, lo que los hace ideales para entornos sensibles como zonas residenciales o agroindustriales.

Protección de ecosistemas

Al reducir la dependencia de combustibles fósiles, se evita la deforestación y la destrucción de hábitats naturales

Menor impacto en flora y fauna local

Ahorro mensual estimado: Más de \$9 millones COP

Retorno de inversión (ROI): Entre 4 y 6 años

Deducción del 50% en renta

Exclusión de IVA en equipos

Exención arancelaria para componentes importados

Capítulo 4. Diagnóstico final

La implementación de un sistema solar fotovoltaico en el cuarto frío de la ESE Hospital Emiro Quintero Cañizares de Ocaña, destinado a la preservación de cadáveres, representa una solución estratégica y sostenible que responde a necesidades críticas en el sector salud. El estudio de factibilidad no solo permite evaluar la viabilidad técnica, económica y ambiental del proyecto, sino que también garantiza que la inversión se traduzca en beneficios tangibles y duraderos.

De otra parte, debo decir que en el periodo de mi pasantía tuve la oportunidad de dimensionar correctamente el sistema solar, considerando la demanda energética constante del cuarto frío, la radiación solar local, y la necesidad de respaldo energético para garantizar la preservación de cadáveres sin interrupciones. Como también se pudo evaluar el retorno de la inversión, los costos iniciales, el ahorro mensual en energía eléctrica, y los incentivos tributarios disponibles en Colombia. Esto asegura que el proyecto sea rentable y sostenible a largo plazo. Sin desconocer que para lo anterior se debe cumplir con la regulación del RETIE, permisos ambientales, licencias de conexión a la red, certificaciones técnicas, evitando sanciones y garantizando seguridad operativa.

Por último, es de anotar que el estudio de factibilidad es la piedra angular para tomar decisiones informadas, minimizar riesgos y maximizar beneficios. En contextos sensibles como la preservación de cadáveres, donde la continuidad eléctrica es vital, este tipo de análisis se

convierte en una herramienta esencial para garantizar calidad, eficiencia y sostenibilidad en los servicios hospitalarios.

Capítulo 5. Conclusiones

Determinar con precisión la cantidad de energía requerida para mantener un cuarto frío en funcionamiento continuo es un paso esencial para garantizar la preservación adecuada de los cadáveres, especialmente en instituciones de salud como la ESE Hospital Emiro Quintero Cañizares de Ocaña. Este análisis permite asegurar la confiabilidad operativa, optimizar el uso de recursos y prevenir riesgos asociados a fallas eléctricas, por lo tanto, la demanda energética constante de los cuartos fríos deben mantener temperaturas entre 2°C y 8°C de forma ininterrumpida. Esto implica un consumo eléctrico estable, que puede oscilar entre 6,000 y 10,000 kWh mensuales, dependiendo del tamaño, aislamiento y carga térmica.

Diseñar e implementar un sistema solar fotovoltaico para alimentar un cuarto frío destinado a la preservación de cadáveres representa una solución estratégica que combina seguridad sanitaria, eficiencia energética y sostenibilidad ambiental. Esta iniciativa permite garantizar la operación continua del sistema de refrigeración, incluso en zonas con suministro eléctrico inestable o limitado. Es decir, que el diseño para un cuarto frío hospitalario no solo responde a una necesidad técnica, sino que se convierte en una solución integral que fortalece la infraestructura de salud, promueve la equidad energética y posiciona a la institución como referente en innovación sostenible.

La implementación de un sistema solar fotovoltaico híbrido de 12 kWp, compuesto por 96 paneles de 450 Wp, permite abastecer la demanda diaria del cuarto frío estimada en 30 kWh/día, garantizando operación continua, reducción de costos energéticos y beneficios ambientales.

La implementación de un cuarto frío en funcionamiento continuo para la preservación adecuada de cadáveres en la ESE Hospital Emiro Quintero Cañizares representa una solución técnica, sanitaria y estratégica que responde a necesidades institucionales críticas. El análisis de factibilidad demuestra que este proyecto es viable, tanto desde el punto de vista operativo como económico, y que su ejecución fortalecería la capacidad del hospital para brindar servicios dignos, seguros y eficientes.

Capítulo 6. Recomendaciones

Para garantizar la preservación adecuada de cadáveres en un cuarto frío de funcionamiento continuo, es fundamental realizar un diagnóstico energético integral que permita dimensionar correctamente el sistema de refrigeración y asegurar su eficiencia operativa. Por lo tanto, se debe tener en cuenta el volumen del cuarto frío (m^3), el aislamiento térmico de paredes, techo y piso, frecuencia de apertura de puertas, número de cuerpos almacenados y su temperatura inicial. Esto permite calcular la energía necesaria para mantener la temperatura entre $2^{\circ}C$ y $8^{\circ}C$.

Diseñar un sistema solar fotovoltaico para alimentar un cuarto frío destinado a la preservación de cadáveres es una decisión estratégica que combina eficiencia energética, seguridad sanitaria y sostenibilidad institucional. Su implementación garantiza la continuidad del servicio en condiciones críticas, especialmente en hospitales con limitaciones en el suministro eléctrico.

Analizar el estudio de factibilidad para la implementación de un cuarto frío en funcionamiento continuo y asegurar la preservación adecuada de los cadáveres, en la ESE Hospital Emiro Quintero Cañizares, por lo tanto, se recomienda que el análisis del estudio de factibilidad debe ir más allá de lo técnico ya que debe ser una herramienta estratégica que garantice que el cuarto frío sea viable, sostenible, seguro y alineado con la misión del hospital.

Referencias

- Alarcon, W. (2021). *Características de baterías para instalaciones de sistemas fotovoltaicos aislados en zonas rurales del departamento de Santander Colombia*. Bucaramanga: Unidades Tecnologicas de Santander.
- ASHRAE. (2022). *ASHRAE Handbook—Refrigeration (SI edition)*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (Cap. Cargas en recintos refrigerados; diseño de equipos). [ashrae.org], [img.antpedia.com]
- Autosolar. (2024). *Cotización de los costos de instalación*. Obtenido de nstalar 96 paneles solares de 450W equivale a una capacidad total de aproximadamente 93 kWp, lo que representa un sistema de escala comercial o industrial. Aquí te dejo una estimación detallada para Colombia en 2025:.
- Chiavenato, I. (2009). *Gestión del talento humano*. Mexico: McGraw-Hill Companies.
- Chemistry StackExchange (citando literatura). (2016). Specific heat of human body $\sim 3.5 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$. (Divulgación con fuentes). [chemistry....change.com]
- Comisión Electronica Internacional. (2023). *IEC 61724*. Obtenido de <https://webstore.iec.ch/en/publication/5733>.

Congreso de Colombia. (2024). *Constitución Política de Colombia*. Bogotá: Documentos nacionales.

Daza, I. (2023). *Información de la empresa*. Obtenido de <https://guiaempresas.universia.net.co/INVERSIONES-AGRICOLAS-JP-SAS.html>.

Domínguez, M. (2018). *Factores determinantes en la gestión de recursos humanos en empresas de servicios que incorporan de manera sistemática nuevas tecnologías Un estudio de caso en la comunidad valenciana*. Barranquilla: Universidad del Norte.

Engineering Mindset / Toolbox. Propiedades del aire (densidad y c_p alrededor de 0–25 °C). [theengineer...indset.com], [engineerin...oolbox.com]

Ferragro. (2024). *Especificaciones de los paneles solares*. Obtenido de https://www.ferragro.com/products/panel-solar-solartech-50w-12v-1?_pos=5&_sid=44055819c&_ss=r.

García, B. (2023). *El intento por perdurar y la preservación del cuerpo humano*. Obtenido de https://www.acta.es/medios/articulos/ciencias_y_tecnologia/139001.pdf.

García, M. (2021). *Los macro procesos un nuevo enfoque al estudio de la gestión humana*. Cali: Universidad del Valle.

Gobernación de Norte de Santander. (2024). *Estudios previos*. Obtenido de <https://studylib.es/doc/907380/estudios-previos---hospital-emiro-quintero-ca%C3%B1izares-de-o...>

Hospital Emiro Quintero Cañizares. (2024). *Información de la dependencia de mantenimiento*. Obtenido de <http://www.heqc.gov.co/>.

Hubspot. (2021). *Proceso administrativo empresarial*. Obtenido de <https://.hubspot.es/sales/proceso-administrativo>.

Ideam. (2020). *Sede electrónica del Ideam en construcción*. Obtenido de <https://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/radiacion-solar-ultravioleta>.

IDEAM. (2024). Tiempo y clima; Atlas climatológico y de radiación de Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (Portal oficial de datos climáticos; usar para tablas del capítulo solar). [ideam.gov.co]

Intarcon. (2024). *Recomendaciones para la refrigeración de cadáveres*. Obtenido de <https://www.intarcon.com/refrigeracion-de-cadaveres/>.

Industrial Refrigeration Consortium (U. Wisconsin). (2017). Door Infiltration Estimator (modelo por puertas abiertas/ protección). [irc.wisc.edu]

INTARCON. (s. f.). Refrigeration in mortuaries and funeral parlour (rangos de temperatura y criterios de equipos). [intarcon.com]

Martínez, L. (2021). *Diseño de un sistema de energía solar fotovoltaico en las instalaciones del edificio de las UTS*. Bucaramanga: Unidades Tecnológicas De Santander.

Manni Group Magazine. (s. f.). Paneles sándwich de poliuretano: valores... (U values típicos: $100\text{ mm} \approx 0.19\text{ W/m}^2\cdot\text{K}$). [blog.mannigroup.com]

Quintero, L. (2025). *Información del hospital*. Obtenido de <http://www.heqc.gov.co/>.

Randstad. (28 de Marzo de 2022). <https://www.randstad.es/tendencias360/como-se-organiza-un-departamento-de-recursos-humanos/>. Obtenido de Funciones y responsabilidades del departamento de rrhh.

Redator Rock Content. (2022). *Matriz Dofa*. Obtenido de <https://rockcontent.com/es/blog/como-hacer-una-matriz-dofa/>.

Refriplast. (2020). *¿Qué es un cuarto frío y por qué lo necesitas para tus productos?* Obtenido de <https://www.refriplast.com/blog/que-es-un-cuarto-frio-y-por-que-la-necesitas-para-tus-productos/>.

República de Colombia. (2022). *Ley 142 de 1994*. Bogotá: Documentos oficiales.

República de Colombia. (2023). *Ley 697 de 2001*. Bogotá: Documentos oficiales.

República de Colombia. (2024). *Normatividad requerida para la instalación de paneles solares*.

Obtenido de <https://ambientesolar.com.co/permisos-para-instalar-paneles-solares/>.

Santana, I. (2021). *Diagnóstico ambiental del consumo energético en el sistema del cuarto frío para conservación de muestras de la empresa DAPHNIA LTDA*. Bogotá: Universidad Santo Tomás.

SAS, S. (s.f.). *SERPETCOL SAS*. Obtenido de SERPETCOL SAS :

<https://www.serpetcoll.com/empresa/quienes-somos>

Standard Test Method for. (2023). *E2848 – 13*. Obtenido de

<https://cdn.standards.iteh.ai/samples/115933/0d59741b526b4b3fac3a195321568848/ASTM-E2848-13-2023-.pdf>.

Torres, C. (2025). *¿Qué son los paneles solares, cómo funcionan y cuál es su futuro?* Obtenido de <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-son-los-paneles-solares-como-funcionan-y-cual-es-su-futuro/>.

Vergel, E. (2022). *Quienes somos*. Obtenido de <https://www.serpetcoll.com/empresa/quienes-somos>.

Weather Atlas. (s. f.). Clima mensual de Ocaña, Colombia. (Datos de temperaturas altas medias mensuales usadas como T_{ext} de referencia de diseño). [weather-atlas.com]

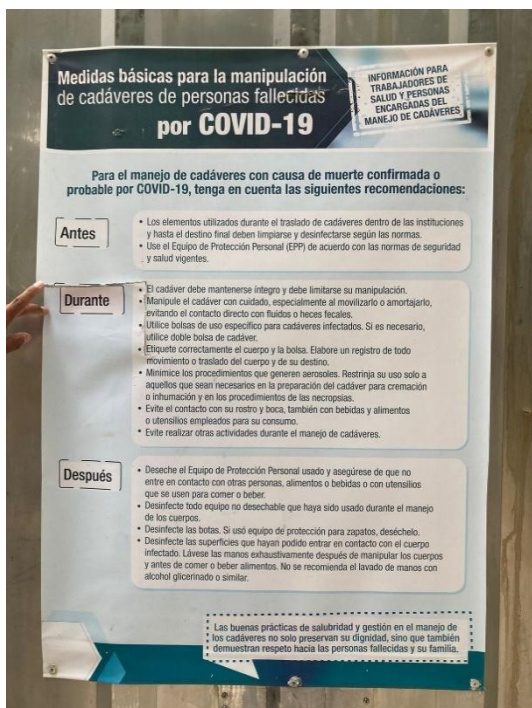
Xu, X., et al. (2023). The specific heat of the human body is lower than previously believed. *Temperature*, 10(2), 235–239. (Soporte de c_p del cuerpo). [tandfonline.com]

Apéndices

Apéndice A. Evidencias fotográficas



Nota. Fotografías del lugar donde quedaría el cuarto frío



Nota. Cuarto frío existente