COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA
ICAI

MÁSTER EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE MÁSTER

# INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA EN COLEGIO DE ACOGIDA A NIÑAS EN CALCUTA, INDIA

Autor: Cayetana Candau Otero

Director: Gaspar López

Madrid | 02/01/2025

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título Instalación de Paneles Solares en un colegio de acogida a niñas en Calcuta, India en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el

curso académico 2024-2025 es de mi autoría, original e inédito y

no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada

de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Cayetana Candau Otero Fecha:02/ 01/ 2025

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Gaspar López Fecha: 02/ 01/ 2025

MÁSTER EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE MÁSTER

# INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA EN COLEGIO DE ACOGIDA A NIÑAS EN CALCUTA, INDIA

Autor: Cayetana Candau Otero

Director: Gaspar López

Madrid | 03/01/2025

# INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA EN COLEGIO DE ACOGIDA A NIÑAS EN CALCUTA, INDIA

Director: Gaspar López

## Resumen del Proyecto

Es este Trabajo de Fin de Máster, se ha llevado a cabo el estudio de la implantación de una instalación fotovoltaica en un colegio de acogida en Calcuta, India. Se ha estudiado el consumo de dicho colegio, la configuración fotovoltaica necesaria para cubrir dicha demanda y que se ajuste a las necesidades climatológicas del lugar, los componentes necesarios, un análisis financiero para ver la viabilidad económica del proyecto y, por último, posibles fuentes de financiación.

**Palabras clave:** social, instalación fotovoltaica, producción, demanda, red eléctrica, baterías.

## 1. Introducción

Durante el verano de 2023, tuve el privilegio de trabajar como voluntaria en la Escuela Loreto de Calcuta (India), un centro de acogida para niñas que han sufrido pobreza extrema, abusos o abandono. El tiempo que pasé allí me impactó profundamente, y fui testigo de primera mano de los retos a los que se enfrenta el colegio para proporcionar energía constante y asequible. Inspirada por esta experiencia, y tras hablar con una de las fundadoras del proyecto, he decidido dedicar mi TFM a diseñar una instalación fotovoltaica para el colegio, un proyecto de importancia tanto técnica como social.

Esta iniciativa une tanto mi interés por aprender acerca de energías renovables como mi compromiso con el impacto social. El objetivo es cubrir las necesidades energéticas del colegio y, al mismo tiempo, alinearse para promover la sostenibilidad y empoderar a comunidades desfavorecidas.

## 2. Objetivos

El proyecto tiene varios objetivos clave:

- Proporcionar energía sostenible: mi objetivo es diseñar y poner en marcha un sistema solar fotovoltaico que reduzca la dependencia de la escuela de fuentes de energía no renovables, reduzca los costes de electricidad y garantice un suministro eléctrico constante.
- Empoderar la educación: más allá del ahorro energético, este proyecto busca mejorar las oportunidades educativas de las niñas, redirigiendo los recursos financieros de los constes energéticos a programas educativos y mejoras de infraestructuras.
- Conciencia medioambiental: el sistema fotovoltaico servirá como herramienta educativa para las alumnas y el personal, fomentando la conciencia sobre las energáis renovables y la sostenibilidad.
- Escalabilidad: espero que este proyecto se convierta en un modelo para instalaciones similares en otras Rainbow Homes y escuelas de la Inida, ampliando su impacto social y medioambiental.

## 3. Descripción del Proyecto

La ubicación del colegio en Calcuta ofrece una elevada irradiación solar. Sin embargo, los problemas climáticos de la región, como los monzones y las altas temperaturas, exigen un diseño robusto y eficiente.

La superficie del tejado disponible para la instalación es de aproximadamente 393m2.

La configuración final de la instalación fotovoltaica consta de los siguientes componentes:

- **16 paneles solares** dispuestos en 2 strings de 8 paneles cada uno, conectados en paralelo para optimizar la generación de la energía.
- **Un inversor**, que convierte la corriente continua generada por los paneles en corriente alterna para uso del colegio.
- **Dos baterías**, las cuales proporcionan almacenamiento de energía para garantizar un suministro fiable durante las horas sin luz solar (periodos nocturnos).
- **Un grupo electrógeno**, que actúa como fuente de energía de reserva, garantizando el suministro continuo de energía durante periodos de largos cortes de electricidad.

- **Sistemas de protección** que protegen los componentes del sistema contra fallos eléctricos, sobretensiones y otros riesgos potenciales.

El sistema está diseñado para satisfacer el consumo anual de energía del colegio de aproximadamente **12675 kWh** y funciona de manera eficiente dentro de la infraestructura disponible.

Al reducir la dependencia de los combustibles fósiles, el proyecto se alinea con los objetivos de la India en materia de energías renovables y contribuye a mitigar el cambio climático mundial. El ahorro económico derivado de la reducción de costes energéticos se reinvitirá en los programas del colegio, lo que beneficiará directamente a la educación y el bienestar de las niñas.

Un análisis económico se ha realizado para garantizar la viabilidad del proyecto. Aunque los costes iniciales de instalación son significativos, el ahorro a largo plazo y las posibles fuentes de financiación, como el crowdfunding, el patrocinio de empresas y las subvenciones, hacen que este proyecto sea sostenible.

## 4. Motivación y visión personales

Este proyecto es muy personal para mí. Mi experiencia en el colegio fue transformadora y reforzó mi creencia en que la ingeniería puede crear cambios significativos. Quería devolver algo a la comunidad que me acogió, y esta instalación fotovoltaica representa una forma tangible de tener un impacto durarero.

Me enorgullece decir que este proyecto no es sólo un ejercicio teórico, sino que también es un proyecto que se va a poner en marcha. Los próximos pasos incluyen la obtención de financiación, la finalización de los diseños técnicos y la colaboración con las partes interesadas locales.

## 5. Conclusiones

Este proyecto es un ejemplo de cómo la ingeniería pued abordar retos del mundo real al tiempo que fomenta el progreso social y medioambiental. Al proporcioanr una solución energética sostenible, la instalación fotovoltaica transformará el funcionamiento del colegio de acogida, mejorará la calidad de vida de las niñas y servirá como herramienta educativa para promover las energías renovables.

El diseño del sistema, que incorpora paneles solares, un inversor, baterías, un grupo electrógeno y sistemas de protección, garantiza tanto la fiabilidad como la eficiencia. Creo que esta iniciativa puede inspirar una adopción más amplia de prácticas sostenibles en comunidades desfavorecidas y demostrar cómo los conocimientos técnicos pueden impulsar un cambio social significativo.

# PHOTOVOLTAIC INSTALLATION IN A GIRL´S SHELTER SCHOOL IN KOLKATA, INDIA

Director: Gaspar López

## Proyect Summary

In this Master's Thesis, a study has been conducted on the implementation of a photovoltaic installation in a shelter school in Kolkata, India. The school's energy consumption has been analyzed, as well as the necessary photovoltaic configuration to meet this demand and adapt to the region's climatic needs, the required components, a financial analysis to assess the economic feasibility of the project, and finally, potential funding.

**Keywords:** social, photovoltaic installation, production, demand, electricity grid, batteries.

## 1. Introduction

During the summer of 2023, I had the privilege of working as a volunteer at Loreto School in Kolkata (India), a shelter school for girls who have experienced extreme poverty, abuse, or abandonment. My time there deeply impacted me, and I witnessed firsthand the challenges the school faces in providing consistent and affordable energy. Inspired by this experience and after speaking with one of the project's founders, I decided to dedicate my Master's Thesis to designing a photovoltaic installation for the school, a project with both technical and social significance.

This initiative combines my interest in learning about renewable energy with my commitment to social impact. The goal is to meet the school's energy needs while promoting sustainability and empowering disadvantaged communities.

## 2. Objectives

The project has several key objectives:

- **Provide sustainable energy**: My aim is to design and implement a solar photovoltaic system that reduces the school's reliance on non-renewable energy sources, lowers electricity costs, and ensures a consistent power supply.

- **Empower education**: Beyond energy savings, this project seeks to enhance educational opportunities for the girls by redirecting financial resources from energy costs to educational programs and infrastructure improvements.
- **Environmental awareness**: The photovoltaic system will serve as an educational tool for students and staff, fostering awareness of renewable energy and sustainability.
- **Scalability**: I hope this project becomes a model for similar installations in other Rainbow Homes and schools across India, expanding its social and environmental impact.

## 3. Proyect Description

The school's location in Kolkata offers high solar irradiation. However, the region's climatic challenges, such as monsoons and high temperatures, require a robust and efficientdesign.

The rooftop area available for the installation is approximately 393m$^2$.

The final configuration of the photovoltaic installation includes the following components:

- **16 solar panels** arranged in 2 strings of 8 panels each, connected in parallel to optimize energy generation.
- **An inverter** that converts the direct current generated by the panels into alternating current for the school's use.
- **Two batteries** that provide energy storage to ensure reliable power supply during non-solar hours (nighttime).
- **A generator** that acts as a backup power source, ensuring continuous energy supply during extended power outages.
- **Protection systems** to safeguard the system's components against electrical faults, surges, and other potential risks.

The system is designed to meet the school's annual energy consumption of approximately **12,675 kWh** and operates efficiently within the available infrastructure.

By reducing reliance on fossil fuels, the project aligns with India's renewable energy goals and contributes to mitigating global climate change. The economic savings from reduced energy costs will be reinvested in the school's programs, directly benefiting the girls' education and well-being.

An economic analysis was conducted to ensure the project's feasibility. While the initial installation costs are significant, long-term savings and potential funding sources such as crowdfunding, corporate sponsorships, and grants make this project sustainable.

## 4. Personal motivation and vision

This project is deeply personal to me. My experience at the school was transformative and reinforced my belief that engineering can create meaningful change. I wanted to give back to the community that welcomed me, and this photovoltaic installation represents a tangible way to make a lasting impact.

I am proud to say that this project is not just a theoretical exercise but also a project that will be implemented. The next steps include securing funding, finalizing technical designs, and collaborating with local stakeholders.

## 5. Conclusions

This project is an example of how engineering can address real-world challenges while fostering social and environmental progress. By providing a sustainable energy solution, the photovoltaic installation will transform the operations of the shelter school, improve the quality of life for the girls, and serve as an educational tool to promote renewable energy.

The system's design, incorporating solar panels, an inverter, batteries, a generator, and protection systems, ensures both reliability and efficiency. I believe this initiative can inspire broader adoption of sustainable practices in underserved communities and demonstrate how technical knowledge can drive meaningful social change.

1. INTRODUCCIÓN ..... 16
1.1. Estado de la cuestión ..... 17
1.2. Motivación ..... 19
1.3. Objetivos ..... 20
1.4. Alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) ..... 20
1.5. Metodología de Trabajo ..... 21
1.6. Recursos a emplear ..... 22
1.7. Ideas de proyecto de colaboración ..... 22
2. CONTEXTUALIZACIÓN Y ANTECEDENTES ..... 23
2.1. Proyecto Rainbow Homes, Calcuta ..... 23
3. CONTEXTO GEOGRÁFICO Y CLIMÁTICO EN CALCUTA ..... 25
3.1. Condiciones Meteorológicas ..... 28
3.1.1. Vientos ..... 29
3.1.2. Temperaturas medias y precipitaciones Calcuta ..... 33
3.1.3. Días nublados, soleados y con precipitaciones ..... 34
3.1.4. Temperaturas máximas ..... 35
3.2. Comparación entre Andalucía y Calcuta en la Producción Fotovoltaica ..... 36
4. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS ..... 38
4.1. Elementos de un Sistema Fotovoltaico ..... 38
4.1.1. Paneles solares ..... 39
4.1.2. Inversor ..... 39
4.1.3. Batería ..... 39
4.1.4. Protecciones ..... 39
4.2. Tipos de Sistemas Fotovoltaicos ..... 39
4.2.1. Sistemas Aislados ..... 40
4.2.2. Sistemas Conectados a la Red Eléctrica ..... 40
5. CÁLCULO DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA ..... 40
6. EMPLAZAMIENTO ..... 41
6.1. Localización ..... 42

6.2. Estudio del Edificio ..... 43
6.3. Estudio del recurso solar ..... 44
7. ANÁLISIS DE LA DEMANDA ..... 46
8. ESTUDIO DE LA GENERACIÓN ..... 49
8.1. Superficie Neta ..... 49
8.2. Orientación ..... 50
8.3. Análisis de sombra ..... 50
8.4. Potencia de la instalación ..... 51
8.5. Módulo Fotovoltaico ..... 52
8.6. Máximo número de paneles ..... 52
8.7. Número de paneles instalados ..... 53
8.8. Curva de Producción de los Paneles ..... 54
9. ANÁLISIS DE LA CONFIGURACIÓN ÓPTIMA ..... 57
9.1. Elección de número de paneles ..... 57
9.2. Impacto de los cortes de suministro eléctrico en Calcuta y necesidad de baterías ..... 59
9.3. Estudio de Net Metering ..... 61
9.3.1. ¿Qué es el Net Metering? ..... 61
9.3.2. Funcionamiento del Net Metering ..... 62
9.3.3. Beneficios del Net Metering ..... 62
9.3.4. Políticas de Net Metering en India ..... 63
9.3.5. Limitaciones del Net Metering ..... 63
10. CONFIGURACIÓN DE PANELES ..... 64
11. ESPECIFICACIONES DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA ..... 66
11.1. Módulo Fotovoltaico ..... 66
11.2. Inversor ..... 67
11.3. Protecciones en continua (panel-inversor) ..... 69
11.5. Pérdidas del sistema ..... 71
11.6. Cableado ..... 72
11.7. Soportes de los paneles ..... 74
12. VENTAJAS DE LA CONFIGURACIÓN FINAL DEL SISTEMA ..... 75

13. REGULACIONES ..... 77
14. ANÁLISIS FINANCIERO ..... 80
14.1. Precios de la Luz ..... 80
14.1.1. Tarifas en India ..... 81
14.1.2. Compra y venta de electricidad ..... 81
14.1.3. Indian Energy Exchange (IEX) ..... 82
14.2. Precios de la luz de años anteriores ..... 82
14.3. Estimación de la variación del IPC en los siguientes años ..... 83
14.4. Análisis Económico ..... 84
14.4.1. Análisis Económico - Escenario 1 ..... 84
14.4.2. Análisis Económico - Escenario 2 ..... 86
14.4.3. Análisis Económico - Escenario 3 ..... 88
15. FINANCIACIÓN DEL PROYECTO ..... 88
16. CONSIDERACIONES AMBIENTALES ..... 95
17. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ..... 96
17.1. Recomendaciones ..... 97
Bibliografía ..... 99
ANEXO 1: Fotos del Colegio ..... 100
ANEXO 2: Planos Colegio ..... 101
Zona de Baño ..... 101
Rainbow Home ..... 101
Oficina y Edificio Residencial ..... 105
Site Plan ..... 108
ANEXO 3: Esquema Unifilar y Planos AutoCad ..... 109
1. Esquema Unifilar ..... 109
2. Esquema Plano Tejado con Paneles ..... 109
3. Detalle inclinación de los paneles y distancia ..... 109
4. Detalle Medidas Paneles ..... 109
ANEXO 4: Ficha Técnica Elementos del Sistema ..... 114
1. Módulos Solares ..... 114
2. Inversor ..... 116

3. Batería ..... 117
4. Turbina de Viento ..... 118
ANEXO 5: Análisis Financiero ..... 119

# 1. INTRODUCCIÓN

Desde comienzos del siglo XXI, el aumento de la producción de energía proveniente de fuentes renovables ha sido exponencial. Este crecimiento viene de la mano de los objetivos marcados por la Transición Energética para la descarbonización de la economía, permitiendo el desarrollo de modelos de negocio sostenibles. En concreto, el sector fotovoltaico es uno de los que más se ha desarrollado en los últimos años y está llamado a ser un actor clave para llevar a cabo la Transición Energética.

La energía solar se ha convertido en un elemento crucial en la transición hacia un modelo energético más sostenible y respetuoso con el medio ambiente. La capacidad de generación solar ha crecido exponencialmente en las últimas décadas, impulsada por los avances tecnológicos y la reducción de los costes de producción de los paneles solares. En todo el mundo, gobiernos y organizaciones privadas están invirtiendo en esta energía limpia para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y mitigar el cambio climático. La energía solar es especialmente ventajosa en países con alta irradiación solar, ya que permite un aprovechamiento óptimo de los recursos naturales para la generación de electricidad.

También es importante destacar que la energía solar es capaz de abastecer, desde el punto de vista de consumo, sistemas aislados sin ningún tipo de infraestructura previa. Esto la hace ideal para reducir los plazos de suministros energéticos en localizaciones remotas y sin infraestructuras. De alguna manera es equivalente a colocar un satélite en órbita en lugar de torres repetidoras para proporcionar cobertura de móvil a localizaciones aisladas.

En India, la energía solar se ha consolidado como estrategia energética nacional. El gobierno indio ha puesto en marcha iniciativas como la Misión Solar Nacional para promover la instalación de sistemas solares tanto a gran escala como a escala local. El objetivo es alcanzar una capacidad de energía renovable superior a 175 GW para 2025, con una parte significativa de esta capacidad procedente de la energía solar. En Calcuta, sede de este proyecto, el uso de paneles solares va en aumento, aunque los problemas económicos y logísticos limitan su adopción en los sectores más vulnerables. No obstante, la elevada irradiación solar anual de la región hace de Calcuta un lugar ideal para proyectos solares.

En este trabajo se plantea el uso de la energía solar fotovoltaica para generar energía de autoconsumo en un colegio de Calcuta, Loreto School, donde fui voluntaria el verano de 2023. La implantación de un sistema de energía solar en este centro reducirá su dependencia de la red eléctrica, generará un importante ahorro económico a largo plazo y, lo que es más importante, proporcionará una fuente de energía sostenible que garantice el funcionamiento de la escuela. Este tipo de plantas son de energía distribuida, es decir, la energía se genera y se consume en un mismo lugar evitando por tanto las pérdidas derivadas del transporte (no solo por distancia sino también por elevación y bajada de tensión). Esto deriva por tanto en, por ejemplo, mayor eficiencia.

## 1.1. Estado de la cuestión

El término descarbonización se repite cada vez con más frecuencia en discursos políticos y herramientas de política pública en todo el mundo. Uno de los ejes de la descarbonización de la economía mundial es el compromiso por una transición energética que vaya desde la energía producida por los combustibles fósiles hacia un sistema eléctrico fundamentado en las energías renovables (REN21, 2023).

A partir de octubre de 2021, el mundo experimentó los impactos de una severa crisis energética global. La rápida recuperación económica tras la desaceleración de la pandemia de COVID-19 llevó a mercados más ajustados, y la crisis energética se exacerbó aún más en febrero de 2022 después de la invasión de Ucrania por parte de Rusia. A lo largo de 2022, los precios de la energía en Europa y en otros lugares se dispararon a sus niveles más altos desde 2008. La Agencia Internacional de Energía estima que los mayores precios de los combustibles fósiles representaron el 90% del aumento en los precios de la electricidad en 2022, y que los precios del gas fósil solos representaron más de la mitad de este aumento (REN21, 2023).

El aumento en los precios de la energía tuvo fuertes impactos inflacionarios en todos los sectores que consumen energía, en algunos casos llevando a familias a la pobreza, obligando a las fábricas a reducir la producción y desacelerando el crecimiento económico en todos los sectores. Debido a que la energía impulsa toda la actividad económica, puede afectar los precios de bienes desde alimentos hasta ropa y teléfonos

inteligentes. La alta inflación se convirtió en un fenómeno global durante 2022, aunque los efectos fueron menos visibles en algunas partes del mundo, como Asia (REN21, 2023).

En muchos países, los gobiernos buscaron fuentes alternativas de combustibles fósiles para restablecer las interrupciones en el suministro de energía, u optaron por subsidiar en gran medida los combustibles fósiles para proteger a los consumidores de los aumentos de precios. A pesar de esto, la adopción de energías renovables aumentó en todos los sectores de demanda. En general, el año 2022 fue marcado por una crisis energética que resultó en una alta inflación a nivel mundial, pero también fue un año de despliegue acelerado de energías renovables, ya que diferentes sectores encontraron que las fuentes de energía renovable son confiables, estables y asequibles (REN21, 2023).

Esta situación se traduce en un aumento en la generación renovable mundial durante la última década. La demanda global ha aumentado un 4,7% al año de media entre el 2010 y 2020. Además, hay un crecimiento del uso de energías renovables en el consumo total final de energía en los distintos sectores. Dentro de este panorama de expansión de las energías renovables, la energía solar ha destacado especialmente por su rápida adopción y su capacidad de abastecer de energía sostenible incluso a comunidades remotas, con un impacto positivo tanto en el medio ambiente como en el desarrollo social (REN21, 2023).

Es importante mencionar que la fotovoltaica no es una energía completamente limpia, pues mejora emisiones en la generación, pero no en la fabricación y reciclado de elementos esenciales como los paneles y las baterías. De alguna manera no es una solución perfecta, pero al menos es menos que la generación en base a combustibles derivados del petróleo. También hay que destacar en la energía solar que el combustible es gratis por lo que solo solo es necesaria la inversión inicial y los costes derivados de operación y mantenimiento reduciendo así, de forma drástica, los costes recurrentes.

Este contexto global también afecta a países en desarrollo como India, donde el impulso hacia fuentes de energía renovables se ha acelerado en respuesta a los desafíos energéticos y ambientales. India ha establecido ambiciosos objetivos para aumentar su capacidad de generación solar, y la ciudad de Calcuta, con sus altos niveles de irradiación solar, presenta un entorno propicio para el desarrollo de proyectos solares. Esto no solo ayuda a reducir la dependencia de los combustibles fósiles, sino que también tiene un impacto significativo en comunidades vulnerables.

## 1.2. Motivación

La creciente urgencia mundial de pasar a las energías renovables, como ya se ha dicho, presenta una oportunidad no sólo para los beneficios medioambientales, sino también para la transformación social. La energía solar ha demostrado ser una poderosa herramienta para el desarrollo sostenible, especialmente en regiones como la India, donde el acceso a una energía fiable y asequible puede ser un reto. La instalación de paneles solares en comunidades desfavorecidas ofrece un ahorro energético inmediato y dota a estas comunidades de recursos sostenibles. Este proyecto se ajusta a esa misión, centrándose específicamente en un grupo vulnerable de niñas de Calcuta (India) que han encontrado refugio y apoyo en la Escuela Loreto, un santuario para niños de la calle.

La visión de instalar paneles solares en esta escuela fue concebida inicialmente por las fundadoras del Proyecto Rainbow, que vieron en la energía renovable una forma de apoyar la misión de la escuela y reducir la dependencia de fuentes de energía externas, a menudo poco fiables. Sin embargo, la aparición de la pandemia de COVID-19 hizo que esos planes quedaran en suspenso, ya que los recursos y las prioridades cambiaron para satisfacer las necesidades inmediatas de supervivencia. Con este proyecto, pretendo reavivar esa visión, no sólo para cumplir los requisitos de mi tesis de máster, sino para aportar beneficios tangibles y a largo plazo a las niñas del colegio Loreto. Este proyecto es más que un ejercicio académico; es una oportunidad de hacer una contribución significativa a una comunidad que ya ha demostrado resistencia y esperanza ante la adversidad.

La instalación de paneles solares mejorará significativamente la infraestructura de la escuela, reduciendo los costes operativos y liberando recursos que podrán reorientarse hacia las necesidades educativas y de desarrollo de los alumnos. Además, el proyecto pretende concienciar a las alumnas y a la comunidad en general sobre las energías renovables y la protección del medio ambiente. Al integrar las energías renovables en la vida cotidiana de estas jóvenes, esperamos inspirar a una generación que comprenda el valor de la sostenibilidad.

Esta colaboración, por tanto, va más allá de los límites académicos de una tesis. Es un compromiso para apoyar a una comunidad vulnerable de forma duradera, proporcionar una fuente de energía estable y sostenible y, con suerte, despertar el interés de estas

jóvenes por las energías renovables. El impacto de este proyecto tiene tanto que ver con la capacitación social como con la aplicación técnica. Es una oportunidad de llevar mis conocimientos teóricos a un entorno real en el que pueden ayudar directamente a quienes más lo necesitan.

### 1.3. Objetivos

Los objetivos del proyecto son los siguientes:

1. **Instalación solar:** Diseñar un sistema solar fotovoltaico (FV) en el tejado de la escuela Loreto de Calcuta para reducir la dependencia de la escuela de fuentes de energía no renovables y disminuir los costes operativos.
2. **Impacto educativo:** Aumentar la concienciación y fomentar la comprensión de las energías renovables entre los estudiantes y el personal, utilizando la instalación solar como una herramienta educativa práctica para promover la responsabilidad medioambiental y las prácticas energéticas sostenibles.
3. **Empoderamiento de la comunidad e impacto social:** Proporcionar una fuente de energía fiable y sostenible para el funcionamiento diario de la escuela, permitiéndole destinar más recursos al desarrollo educativo y personal de sus alumnas, chicas jóvenes procedentes de entornos vulnerables.
4. **Conseguir financiación:** Buscar metodologías de financiamiento de proyectos de este tipo que pueden ir desde vincular grandes corporaciones (Fundación Bill Gates, Fundación March, Fundación la Caixa, etc.) hasta el financiamiento por particulares mediante financiación colectiva tipo crowdfunding en plataformas como URBANITATE, GoFundMe, etc.
5. **Ahorro económico y sostenibilidad:** Demostrar los beneficios económicos de la energía solar para las organizaciones sin ánimo de lucro, con el objetivo de reducir los gastos energéticos a lo largo del tiempo y crear ahorros financieros que puedan reinvertirse en su misión principal de apoyar a las niñas en situación de riesgo.

### 1.4. Alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

La instalación de paneles solares en el Colegio Loreto de Calcuta apoya directamente varios de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, asegurando que

el proyecto no solo satisfaga las necesidades energéticas inmediatas, sino que también contribuya al desarrollo sostenible a largo plazo. Específicamente, el proyecto se alinea con los siguientes ODS:

- **ODS 7: Energía asequible y no contaminante**
  El proyecto encarna el espíritu del ODS 7 al ofrecer acceso a una fuente de energía asequible, confiable y limpia. Gracias a esta instalación solar, el Colegio Loreto podrá beneficiarse de una fuente de energía renovable, reduciendo su dependencia de fuentes no renovables y mitigando el impacto ambiental asociado a la energía tradicional.
- **ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles**
  Implementar energía solar en una escuela que apoya a niñas en situación de vulnerabilidad contribuye a crear una comunidad más sostenible y resiliente. Este proyecto demuestra que las soluciones de energía limpia pueden ser viables y beneficiosas en áreas desfavorecidas, sirviendo como ejemplo para otras instituciones y comunidades.
- **ODS 13: Acción por el clima**
  Al adoptar la energía solar, el proyecto reduce la huella de carbono del colegio, abordando el cambio climático a través de la reducción de emisiones. Esta iniciativa contribuye a los esfuerzos de descarbonización global y representa un paso local hacia la lucha contra el cambio climático, inspirando a otros a adoptar prácticas ambientalmente responsables.
- **ODS 4: Educación de calidad**
  Al reducir los costos de energía y proporcionar una fuente de energía confiable, el proyecto permite que el colegio destine más recursos a programas educativos para niñas en situación de vulnerabilidad. Además, la instalación misma servirá como herramienta educativa, promoviendo la conciencia y comprensión sobre la energía renovable entre las estudiantes, enriqueciendo así su aprendizaje y habilidades en sostenibilidad.

## 1.5. Metodología de Trabajo

Para abordar el diseño de un sistema de energía solar fotovoltaica en el Colegio Loreto, se emplearán diversas técnicas y procedimientos técnicos, combinados con un plan

estructurado de actividades. Este enfoque busca asegurar que el proyecto cumpla tanto con sus objetivos técnicos como con su impacto social. La metodología incluye las siguientes fases:

1. Análisis preliminar y evaluación de necesidades
2. Diseño del sistema fotovoltaico
3. Análisis financiero y de viabilidad

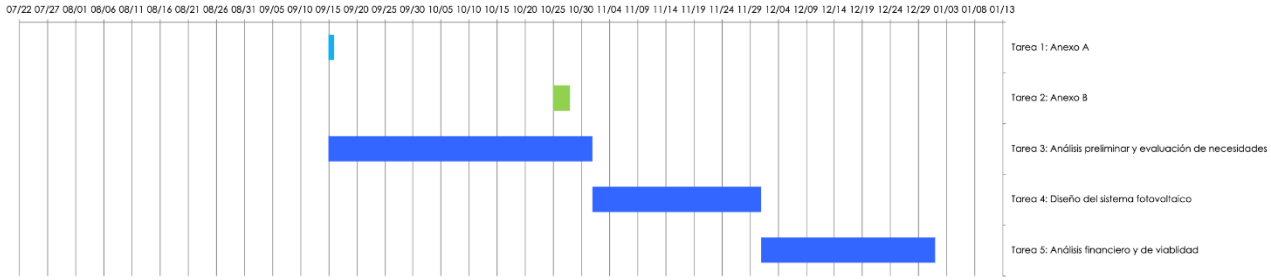



*Figura 1: Cronograma Proyecto [Elaboración Propia]*

## 1.6. Recursos a emplear

Para llevar a cabo y desarrollar todos los objetivos del proyecto se emplearán los siguientes recursos:

- Comunicación directa con las fundadoras del proyecto Rainbow y con la directora del colegio. Así mismo, se mantendrá comunicación activa con aquellas personas que sean "key-decision makers" en el proyecto.
- Investigación profunda en Internet para estudiar la situación actual del proyecto y en Calcuta.
- Uso de herramientas como: PVSyst, PVGis, Google Earth, QGis, AutoCad

## 1.7. Ideas de proyecto de colaboración

Integrar un sistema fotovoltaico en el colegio no solo contribuye a la reducción de los costos energéticos, sino que ofrece una oportunidad educativa invaluable. La presencia de la instalación permite que las niñas adquieran conocimientos prácticos sobre energías renovables y gestión de sistemas eléctricos, potenciando su formación profesional y generando posibilidades de empleo futuro en un sector en crecimiento. La implicación en el mantenimiento de la planta por parte de las estudiantes podría también reducir

parcialmente los costes de operación. Además, un proyecto de este tipo podría captar financiación de entidades como la Fundación Bill Gates, financiamiento por particulares mediante financiación colectiva tipo crowdfunding en plataformas como URBANITATE, GoFundMe, etc., y otras fundaciones reconocidas en España, lo que facilitaría su viabilidad y éxito a largo plazo.

# 2. CONTEXTUALIZACIÓN Y ANTECEDENTES

## 2.1. Proyecto Rainbow Homes, Calcuta

El Instituto de la Bienaventurada Virgen María, fundado por Mary Ward (1585-1645), es una comunidad de mujeres que se consideran compañeras de Jesús y están arraigadas en el corazón de la Iglesia. Viven en diversas comunidades alrededor del mundo, celebrando y valorando la riqueza de las diferentes culturas e historias, y superando las barreras que separan (Fundación Kambia, s.f.).

Se involucran en una amplia gama de actividades en diversos entornos, como escuelas, clínicas de atención médica, organizaciones dedicadas a combatir la trata de personas, prisiones, universidades, entre otros (Fundación Kambia, s.f.).

Kambia, una ONG asociada al IBVM, se dedica específicamente a la defensa de los derechos de las mujeres, niñas y niños, fomentando posibilidades de transformación a nivel comunitario y fomentando una ciudadanía más solidaria y comprometida. Esta organización promueve la justicia e impulsa la transformación social. Se esfuerzan por crear un mundo donde la pobreza y la exclusión no existan, donde todas las personas tengan la oportunidad de desarrollar sus habilidades en un entorno de igualdad y justicia, y donde sean libres para expresar su diversidad (Fundación Kambia, s.f.).

Para hacer realidad esta visión, llevan a cabo proyectos de cooperación al desarrollo, programas de educación para la ciudadanía global y campañas de sensibilización. Su enfoque se basa en los derechos humanos, la equidad de género y el cuidado del medio ambiente. Se guían por sus principios fundamentales: libertad, independencia, verdad, transparencia e integridad en sus acciones, así como por la justicia, la horizontalidad y la reciprocidad en sus relaciones, todo ello vivido con alegría (Fundación Kambia, s.f.).

Esta organización tiene diversos proyectos en Perú, España, Marruecos, Albania, Sudán del Sur, Kenia, Tanzania, Nepal y la India. Tienen proyectos de cooperación internacional en distintos ámbitos, acceso a la educación, lucha contra la trata, acceso a la salud y garantía de vida digna. Además, tienen proyectos de acción social en España y de ciudadanía global, con temas como educación transformadora y sensibilización (Fundación Kambia, s.f.).

Hace seis años, un grupo de antiguas alumnas del Instituto de la Bienaventurada Virgen María (IBVM) decidió viajar durante el verano a Calcuta para conocer uno de los proyectos que la Fundación Kambia lleva a cabo en dicha ciudad: el Proyecto Rainbow Homes. Este proyecto consiste en la habilitación de las azoteas de los colegios de Loreto —cinco de ellos situados en Calcuta— para acoger a niñas en situación de calle. Estas niñas, de entre 0 y 18 años, viven en condiciones de extrema pobreza, han sido abandonadas por sus familias, sufrieron abusos, o han sido comprometidas en matrimonios arreglados a cambio de una dote.

Las antiguas alumnas quedaron profundamente impactadas por las historias de estas niñas y, admiradas por el proyecto, decidieron iniciar su propia iniciativa, denominada Rainbow Family. A lo largo del año, realizan diversas actividades para recaudar fondos con el fin de apoyar las necesidades emergentes de las niñas y las infraestructuras de las azoteas habilitadas. Por ejemplo, hace un par de años, se recaudaron fondos para la instalación de ventanas en uno de los colegios.

Este verano, tuve la gran oportunidad de participar en esta iniciativa, denominada Rainbow Camp. Este programa consiste en pasar un mes del verano con las niñas, impartiendo clases, organizando charlas, realizando actividades y organizando excursiones. Gracias a estas actividades, las niñas tienen la posibilidad de conocer una realidad distinta a la suya, a menudo tan adversa que resulta inimaginable para muchos.

A raíz de mi experiencia como voluntaria el verano pasado, conversé con una de las coordinadoras sobre la posibilidad de realizar mi Trabajo de Fin de Máster en algún aspecto en el que necesitaran apoyo. Para mi satisfacción, me informaron de que llevan años considerando la viabilidad de instalar paneles solares para autoconsumo en uno de los colegios, el Loreto School. Motivada por esta idea y mi afecto hacia este proyecto, decidí centrar mi TFM en este tema.

## 3. CONTEXTO GEOGRÁFICO Y CLIMÁTICO EN CALCUTA

Calcuta es la capital del estado indio de Bengala Occidental. Su nombre oficial es Kolkata, aunque hasta el 1 de enero de 2001 se le conocía como Calcutta, y su nombre original, Kolikata, todavía se utiliza en la literatura formal. Es famosa por ser conocida como "la ciudad de la alegría" o "la ciudad de los palacios", y localmente se le llama Michhil Nagari (Calcuta, India, 2010).

*Figura 2: Mapa India [WordPress]*

| | |
|---|---|
| **Coordenadas** | 22°34′22″N 88°21′50″E |
| **Idioma oficial** | Inglés |
| • Co-oficiales | Bengalí |
| **Entidad** | Ciudad |
| • País | India |
| • Estado | Bengala Occidental |
| • Distrito | Distrito de Calcuta |
| **Superficie** | |
| • Total | 206,08 km² |
| **Altitud** | |
| • Media | 9 m s. n. m. |
| **Clima** | Clima tropical húmedo |
| **Población (2011)** | |
| • Total | 4 496 694 hab. |

*Figura 3: Datos Demográficos Calcuta [WordPress]*

Hubo un tiempo en que Calcuta fue la ciudad más poblada de la India, superando incluso a Bombay. Según el último censo indio realizado el 1 de marzo de 2001, la población de la ciudad era de 4,580,544 habitantes. Esto sugiere que el área urbana histórica de la ciudad estaba bastante saturada, ya que el censo anterior de 1991 registraba 4,399,819 habitantes. Algunas estimaciones indican que Bangalore ha superado en población a Calcuta, colocándola entonces en el cuarto lugar entre las ciudades más grandes de la India, después de Bombay, Delhi y Bangalore (Calcuta, India, 2010).

Sin embargo, según los datos oficiales de 2001, la población de su área metropolitana era de 13,211,853 habitantes (11,021,918 según el censo anterior de 1991). Para enero de 2009, se estimaba que había crecido hasta los 15,230,000 habitantes, lo que la convierte en la tercera aglomeración urbana más grande de la India, superada solo por Bombay y Delhi (Calcuta, India, 2010).

Calcuta se encuentra en el este de la India, en el delta del río Ganges, a una altitud que oscila entre 1,5 y 9 metros sobre el nivel del mar. Está situada a lo largo del río Hugli en dirección norte-sur, aproximadamente a 154 km tierra adentro desde el golfo de Bengala. La mayor parte del área donde se encuentra la ciudad originalmente era un extenso humedal, que fue ganado gradualmente a lo largo de décadas debido al asentamiento humano. Parte de este humedal, conocido como Humedales Occidentales de Calcuta o East Calcutta Wetlands, ha sido reconocido como una "zona húmeda de importancia internacional" por el Convenio de Ramsar desde el 19 de agosto de 2002 (Calcuta, India, 2010).

Al igual que en la mayoría de las llanuras del Indo-Ganges, el suelo predominante en Calcuta es de aluvión. La ciudad se encuentra sobre suelos cuaternarios que consisten en varias capas de sedimentos de arcilla, limo y grava. Estos sedimentos están enmarcados entre dos capas de arcilla, una inferior con una profundidad de entre 250 y 650 metros, y otra superior con un grosor de entre 10 y 40 metros. Según el Bureau of Indian Standards, la ciudad se encuentra en una zona sísmica de grado III en una escala de I a V, mientras que según el PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo), la zona se considera de "muy alto riesgo de daños" por viento y ciclones (Calcuta, India, 2010).

El clima de Calcuta se clasifica como tropical, húmedo y seco según la Clasificación climática de Köppen. La temperatura media anual ronda los 26,8 °C, con temperaturas

mensuales promedio que varían entre los 19 °C y los 30 °C. Los veranos son calurosos y húmedos, con temperaturas máximas que a menudo superan los 40 °C durante la temporada seca, que abarca mayo y junio. El invierno, relativamente corto, se extiende por unos dos meses, de diciembre a enero, con mínimas estacionales de alrededor de 12 °C. La temperatura más alta registrada alcanza los 43,9 °C, mientras que la más baja desciende hasta los 5 °C. Al inicio del verano, se experimentan fuertes lluvias y tormentas, conocidas localmente como kal baisakhi, que ayudan a aliviar el calor (Calcuta, India, 2010).

**La mayor cantidad de lluvia se registra en agosto, con un promedio de 306 milímetros.**

Las lluvias del monzón sudoccidental golpean el golfo de Bengala y la ciudad entre junio y septiembre, proporcionando la mayor parte de la precipitación anual de Calcuta, que alcanza los 1582 milímetros. La mayor cantidad de lluvia se registra en agosto, con un promedio de 306 milímetros (Calcuta, India, 2010).

Calcuta disfruta de alrededor de 2528 horas de sol al año, siendo marzo el mes con mayor exposición solar. Sin embargo, la contaminación es una preocupación significativa en la ciudad, con niveles altos en comparación con otras grandes ciudades de la India. Esta grave contaminación del aire ha contribuido al aumento de enfermedades respiratorias, como el cáncer de pulmón (Calcuta, India, 2010). Esta información se plasma en la Figura 4.

| Parámetros climáticos promedio de Calcuta [ocultar] | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mes | Ene. | Feb. | Mar. | Abr. | May. | Jun. | Jul. | Ago. | Sep. | Oct. | Nov. | Dic. | Anual |
| Temp. máx. media (°C) | 26 | 29 | 33 | 36 | 36 | 34 | 32 | 32 | 32 | 31 | 29 | 26 | **31.3** |
| Temp. mín. media (°C) | 13 | 16 | 21 | 25 | 26 | 27 | 26 | 26 | 26 | 24 | 19 | 14 | **21.9** |
| [*cita requerida*] | | | | | | | | | | | | | |

*Figura 4: Parámetros Climáticos Promedio Calcuta [WordPress]*

En la siguiente Figura 5 se puede observar la distribución de recurso solar en la India. Cabe destacar que Calcuta no recibe una gran cantidad de sol, ya que se encuenta entre 1314 kWh/kWp y 1461 kWh/kWp.

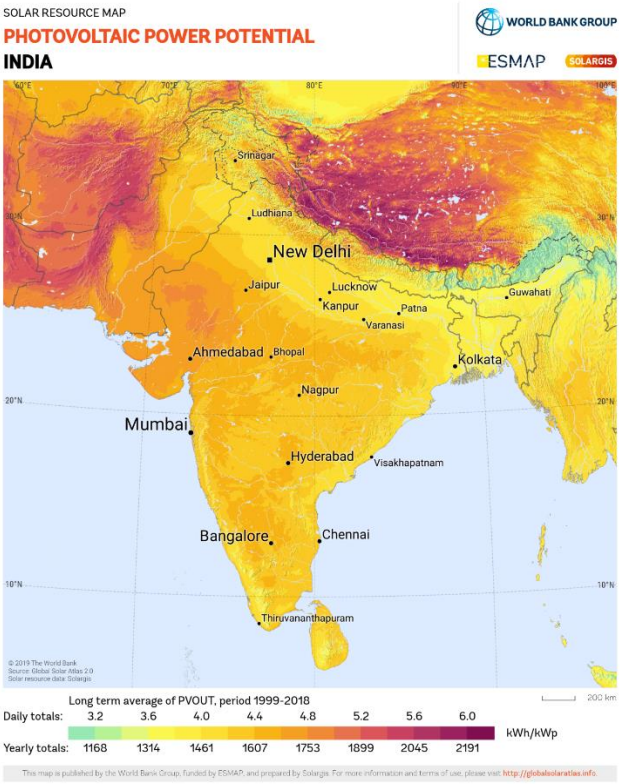



*Figura 5: Distribución Recurso Solar India [Solar Resource Map]*

## 3.1. Condiciones Meteorológicas

En este apartado, se van a comentar las condiciones meteorológicas propias de Calcuta.

### 3.1.1. Vientos

Calcuta, al estar ubicada en la región del delta del Ganges y bajo la influencia de los patrones monzónicos, experimenta vientos que varían en dirección e intensidad a lo largo del año. Durante la temporada de monzones, de junio a septiembre, los vientos predominantes provienen del suroeste, trayendo consigo fuertes lluvias y altos niveles de humedad. En cambio, durante la estación seca, entre noviembre y febrero, los vientos suelen soplar desde el noreste, creando un ambiente más fresco y seco. Estos ciclos de viento están estrechamente relacionados con los patrones monzónicos que afectan a gran parte del subcontinente, influyendo no solo en Calcuta, sino también en regiones elevadas como la meseta tibetana, donde el monzón genera una dinámica interesante de fuertes vientos de diciembre a abril y períodos de calma entre junio y octubre (Meteoblue, s.f.).

La siguiente figura, Figura 6 , se muestra la distribución del viento en los distintos meses y la velocidad que alcanza.

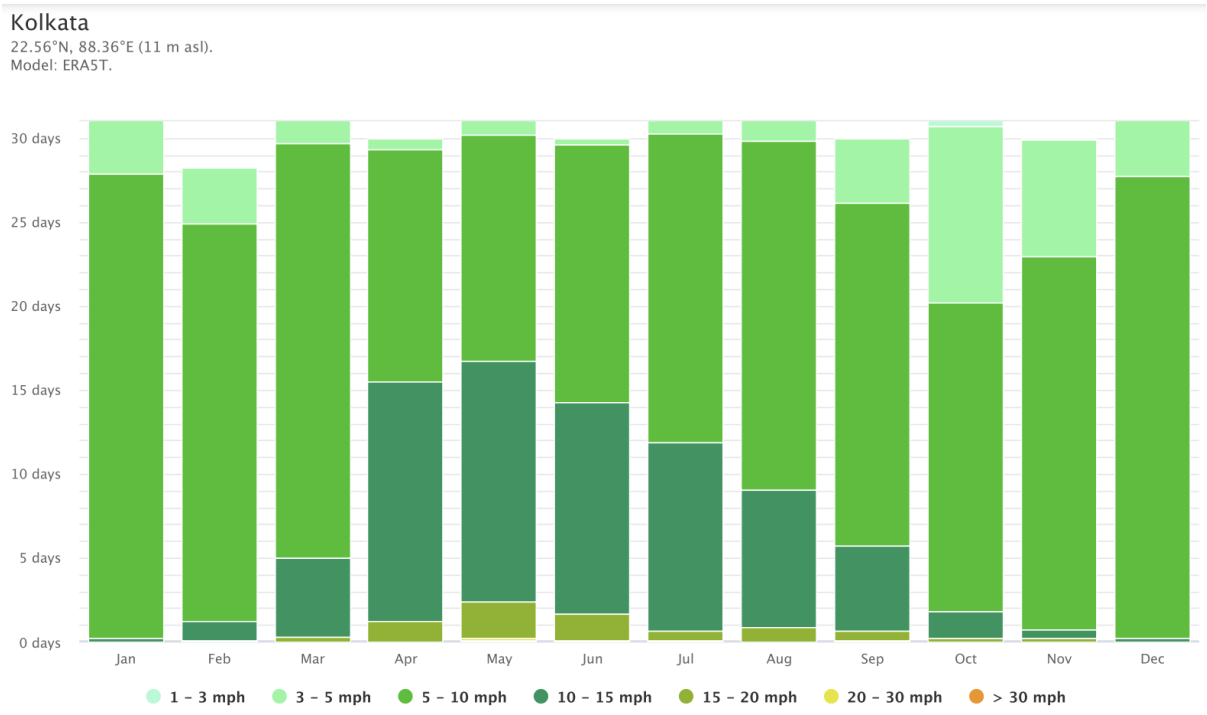



*Figura 6: Distribución del Viento Calcuta [Meteoblue]*

La rosa de los vientos de Calcuta muestra cuántas horas al año sopla el viento desde la dirección indicada. Se puede observar en la figura que desde el sur suroeste el viento sopla con mayor fuerza y durante más tiempo.

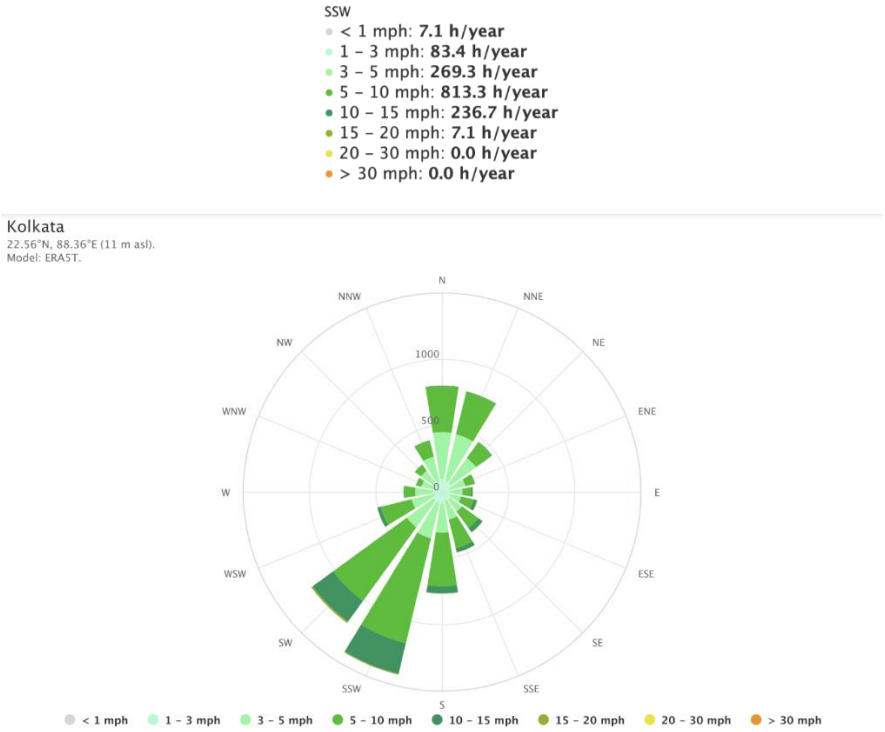



*Figura 7: Rosa de los Vientos [Meteoblue]*

Como complemento a los paneles solares, los cuales solo pueden producir energía cuando hay luz solar, se decide realizar el estudio de poner una turbina eólica tipo Liam F1 AMW1500b.

La turbina **Liam F1 AMW1500b** genera energía eléctrica en corriente alterna (AC). La designación "1500b" sugiere que esta turbina tiene una capacidad de generación de hasta 1.5 kW (kilovatios) en condiciones óptimas de viento. Cuando el viento pasa a través de las palas de la turbina, estas giran, haciendo que el generador interno produzca electricidad. La producción de energía varía según la velocidad del viento. La turbina generará su máxima capacidad solo a velocidades de viento específicas (conocidas como "velocidad de corte" y "velocidad nominal"). Para integrarse en un sistema de energía renovable, como un sistema solar, puede requerir un controlador de carga y/o un inversor específico para gestionar adecuadamente la producción de energía y asegurarse de que sea compatible con la red. En la Tabla 1, se muestran las características técnicas de dicha turbina.

| | |
|---|---|
| **Potencia máxima [W]** | 1500 |
| **Potencia 10m/s** | 510 |
| **Potencia 12m/s** | 880 |
| **Potencia 15m/s** | 1500 |
| **Eficiencia del generador** | 86% |
| **Eficiencia total** | 45% |
| **Máximo viento aceptado [m/s]** | 35 |

*Tabla 1: Características Técnicas Turbina [Elaboración Propia]*

Las siguientes tablas, Tabla 2 y Tabla 3, proporcionan una estimación de la producción de energía de una turbina de viento **Liam F1 AMW1500b** en función de las velocidades del viento predominantes durante el verano y el invierno, y son útiles para evaluar la viabilidad de integrar esta tecnología como complemento a los paneles solares.

En primer lugar, en la tabla x, se muestra que la turbina, en verano, genera **40,919 kW** a lo largo de **42,1 días** de viento favorable. Esto indica que el verano podría ser una temporada viable para aprovechar la energía eólica, con una buena distribución de velocidades de viento.

| VERANO | Dias | Potencia [kW] |
|---|---|---|
| Días potencia 10m/s | 13,5 | 6,885 |
| Días potencia 12 m/s | 14,3 | 12,584 |
| Días potencia 15 m/s | 14,3 | 21,45 |
| Total | 42,1 | **40,919** |

*Tabla 2: Cálculos generación verano [Elaboración Propia]*

Por otro lado, en invierno, la turbina genera **14,501 kW** en **27,9 días** de viento favorable. Aunque hay más días con viento en invierno, la menor velocidad promedio limita la

capacidad de generación en comparación con el verano. Esto se puede comprobar en la Tabla 3.

| INVIERNO | Dias | Potencia [kW] |
|---|---|---|
| Dias potencia 10m/s | 27,5 | 14,025 |
| Dias potencia 12 m/s | 0,2 | 0,176 |
| Dias potencia 15 m/s | 0,2 | 0,3 |
| Total | 27,9 | **14,501** |

*Tabla 3: Cálculos generación Invierno [Elaboración Propia]*

La turbina de viento **Liam F1 AMW1500b** demuestra un mejor rendimiento durante el verano, con una producción total de **40,919 kW** en 42,1 días, gracias a la mayor frecuencia de velocidades de viento superiores a 12 m/s. En contraste, el invierno presenta más días con viento (27,9 días), pero con velocidades predominantemente moderadas (10 m/s), lo que limita la generación a **14,501 kW**. Esto indica que el verano es la temporada más favorable para aprovechar la energía eólica, mientras que el invierno tiene un aporte más reducido debido a la menor intensidad del viento.

La incorporación de esta turbina como complemento de los paneles solares puede ser beneficiosa, ya que aumenta la diversificación de fuentes de energía y reduce la dependencia de la red eléctrica, especialmente en verano y durante los periodos nocturnos en los que no hay energía solar. Sin embargo, su contribución limitada en invierno destaca la importancia de ajustar la capacidad instalada y evaluar la interacción con la generación solar y el perfil de demanda energética del colegio, garantizando que ambas tecnologías trabajen en conjunto para satisfacer las necesidades energéticas de forma eficiente.

Es importante destacar, que con las velocidades de viento que se indican, habría que proteger los paneles frente al efecto vela. Es decir, en vez de colocar una estructura de perfiles sola, habría que hacer una caja en la parte de atrás y los laterales del conjunto de los paneles para evitar que el viento entre por debajo y los levante.

### 3.1.2. Temperaturas medias y precipitaciones Calcuta

Calcuta muestra un marcado patrón estacional en sus temperaturas y precipitaciones, típico de un clima tropical monzónico. Los meses de junio a septiembre son los más lluviosos, con la llegada de los monzones que traen la mayor parte de las precipitaciones anuales. Durante este periodo, la humedad y la intensidad de las lluvias alcanzan su pico, mientras que las temperaturas se moderan ligeramente por la nubosidad y las lluvias. En cuanto a las temperaturas, los meses más calurosos son de marzo a junio, alcanzando máximas diarias que rondan los 35°C, mientras que las mínimas nocturnas se mantienen más frescas, especialmente en los meses secos de noviembre a febrero, cuando las temperaturas bajan a su nivel más bajo del año (entre 12 y 15°C) (Meteoblue, s.f.).

En la Figura 8, se destacan las temperaturas medias máximas y mínimas diarias (líneas continuas rojas y azules), así como las temperaturas extremas (líneas discontinuas) que representan el día más caluroso y la noche más fría de cada mes en los últimos 30 años. También se muestra la velocidad del viento, la cual tiende a intensificarse ligeramente durante los meses de monzón debido al cambio en los patrones climáticos.

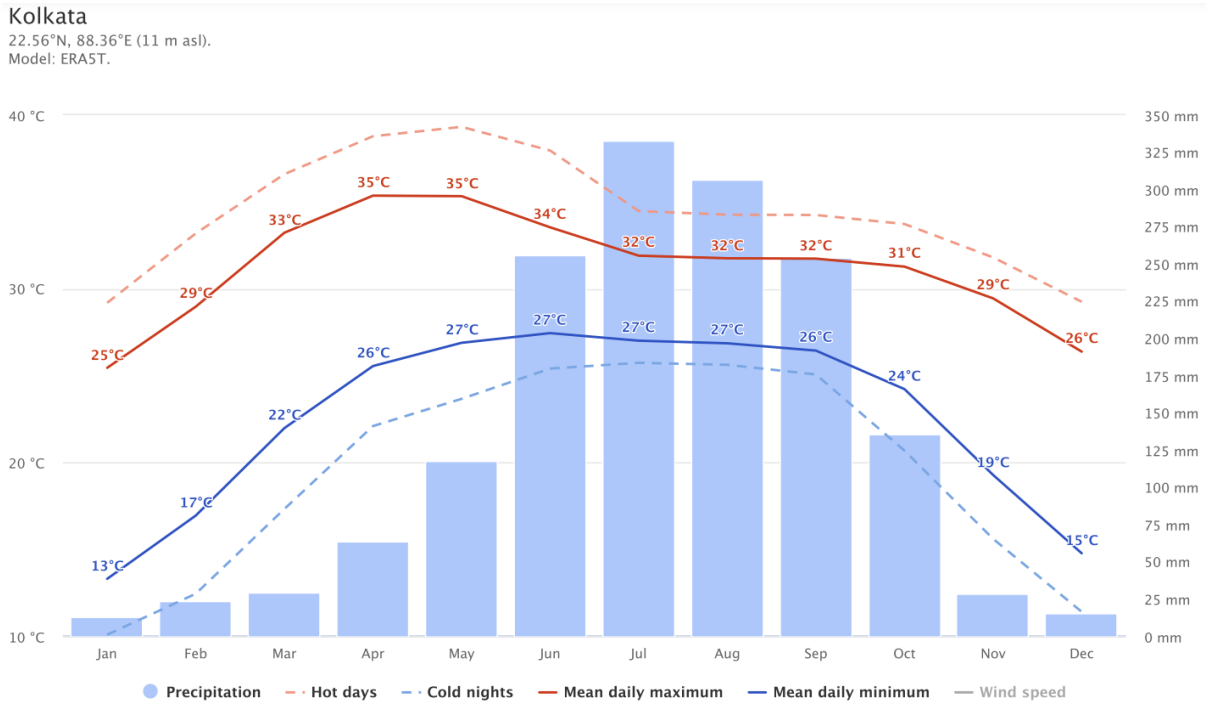



*Figura 8: Temperaturas medias, máximas y mínimas Calcuta [Meteoblue]*

En la Figura 9, se muestra la información acerca de las temperaturas, así como la velocidad del viento.

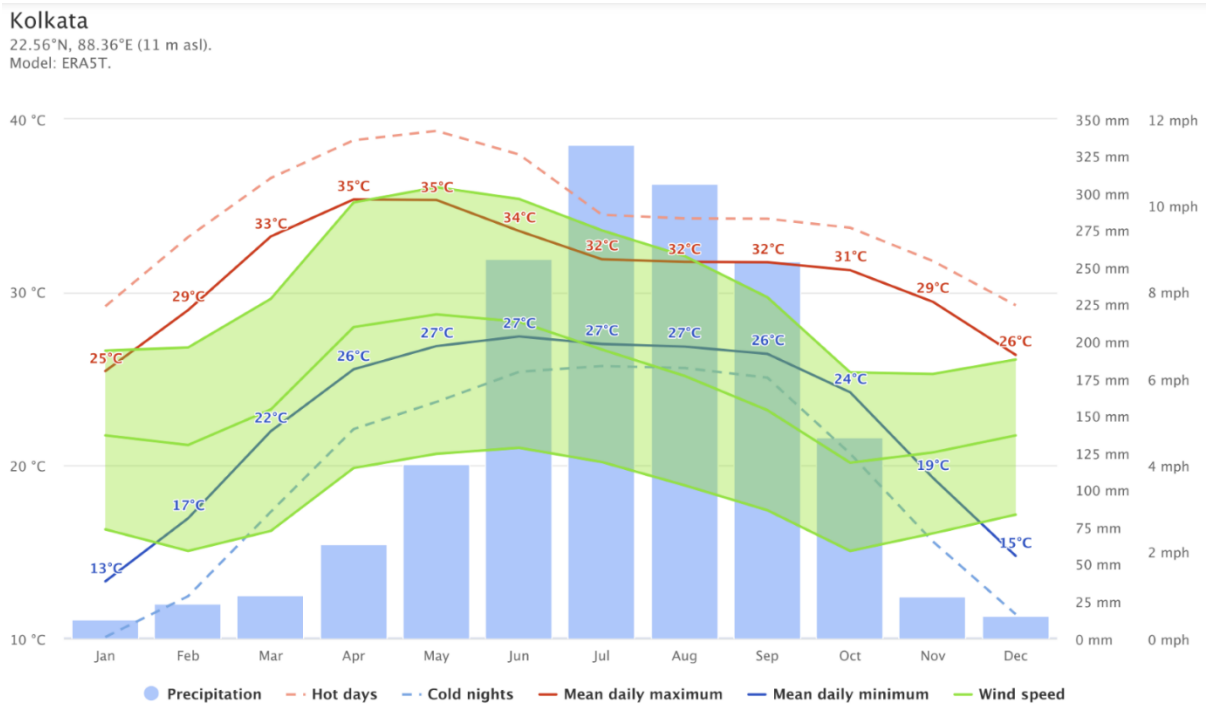



*Figura 9: Temperaturas + Velocidad del viento [Meteoblue]*

### 3.1.3. Días nublados, soleados y con precipitaciones

En Calcuta, la distribución de días soleados, nublados y con precipitaciones refleja el fuerte impacto de los patrones monzónicos en la región. Los meses de mayor nubosidad y precipitaciones corresponden a la temporada de monzón (julio y agosto), donde el porcentaje de días cubiertos aumenta considerablemente. En contraste, durante los meses de invierno (diciembre y enero), cuando las precipitaciones son mínimas, Calcuta experimenta más días soleados y cielos despejados, lo cual es consistente con el clima tropical de la región (Meteoblue, s.f.).

En la Figura 10 , los días se clasifican según el nivel de nubosidad: aquellos con menos de un 20% se consideran soleados, entre un 20-80% parcialmente nublados, y más del 80% de nubosidad se consideran cubiertos. Este desglose permite observar el claro aumento de días soleados durante los meses secos de invierno, mientras que la proporción de días

nublados y de lluvia se concentra en los meses de verano, alineándose con las tendencias de precipitación ya discutidas.

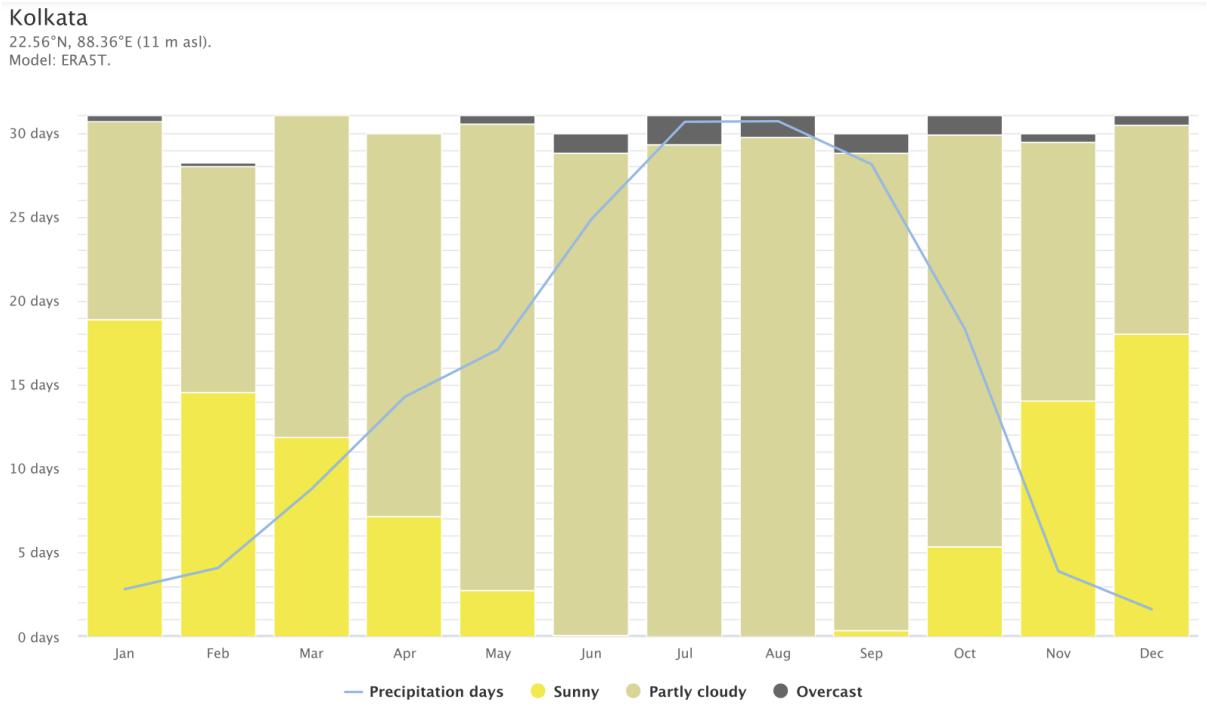



*Figura 10: Días nublados y soleados Calcuta [Meteoblue]*

### 3.1.4. Temperaturas máximas

El diagrama de temperaturas máximas de Calcuta muestra cuántos días al mes se alcanzan determinadas temperaturas. Los meses más calurosos son los de abril y mayo y aquellos con temperaturas máximas más bajas son los meses de diciembre y enero, a pesar de ser los meses, como hemos visto en las figuras anteriores, con mayor número de días soleados (Meteoblue, s.f.).

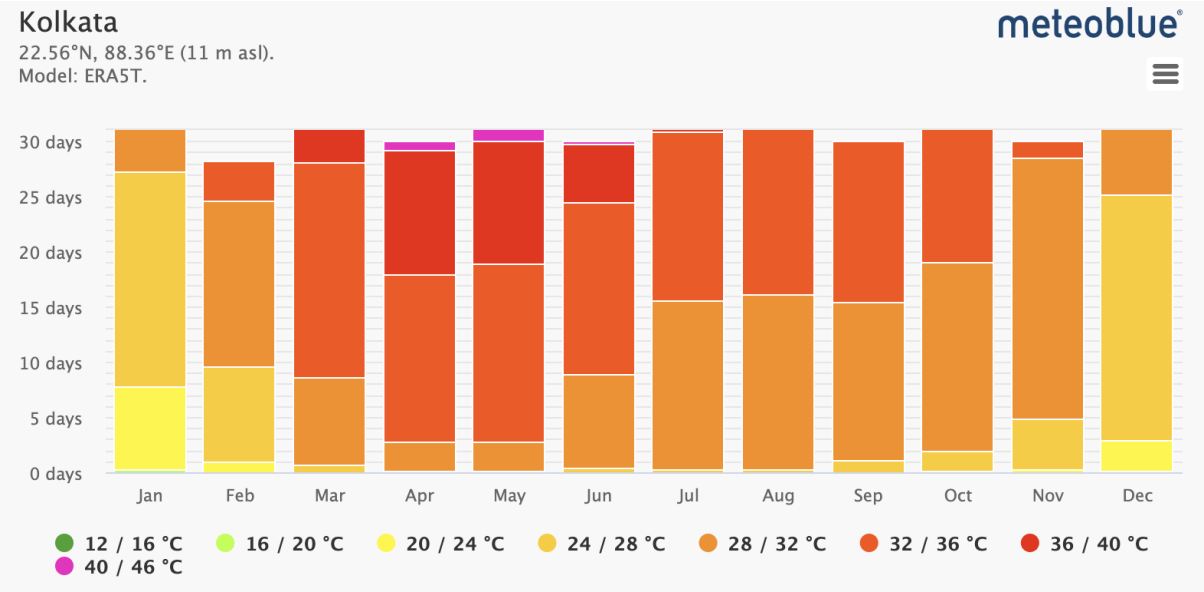



*Figura 11: Temperaturas máximas Calcuta [Meteoblue]*

De todo lo dicho, podremos derivar que la producción FV en invierno será bastante alta porque, aunque parezca una paradoja respecto al clima en España, las temperaturas serán más bajas y el cielo estará más despejado derivando en una producción FV mayor que la producida en España.

## 3.2. Comparación entre Andalucía y Calcuta en la Producción Fotovoltaica

La producción de energía fotovoltaica depende principalmente de dos factores: la irradiación solar y la temperatura ambiente. A mayor irradiación solar, la generación de electricidad será mayor; sin embargo, la eficiencia de los paneles fotovoltaicos disminuye con el aumento de la temperatura.

Como se observa en la Figura 12, se presenta niveles de irradiación constantes a lo largo del año, con valores que oscilan entre 100 y 200 kWh/m$^2$ al mes. Por otro lado, en Andalucía, la irradiación alcanza picos más altos, especialmente en los meses de verano, llegando a valores cercanos a los 280 kWh/m$^2$/mes en julio. Esto supone una ventaja para la producción fotovoltaica en Andalucía, donde la mayor irradiación favorece un aumento en la generación de energía.

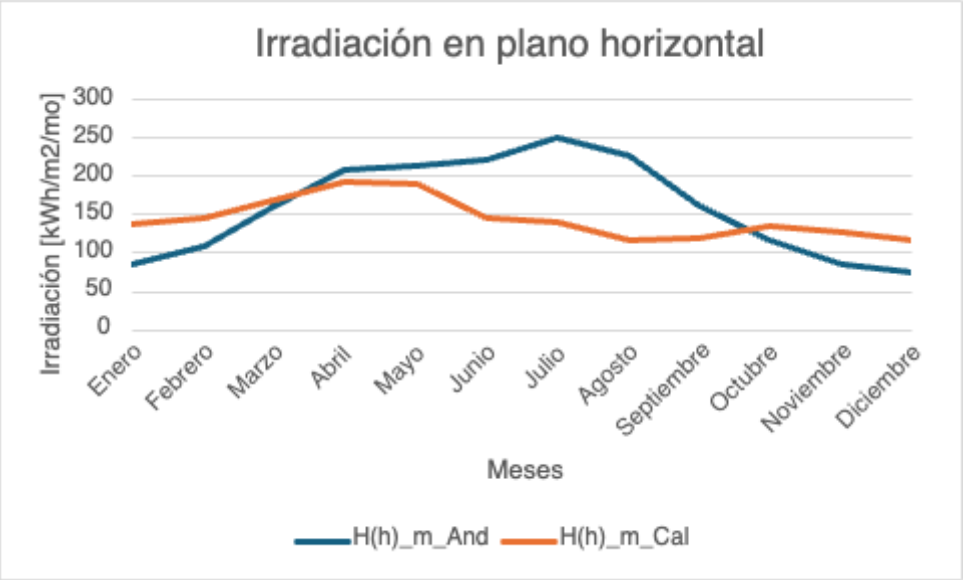



*Figura 12: Irradiación Andalucía vs Calcuta [Elaboración Propia]*

La Figura 13, muestra que Calcuta presenta temperaturas significativamente más elevadas a lo largo del año, con valores que oscilan entre 20°C y 33°C, alcanzando el pico en los meses de mayo y junio. En contraste, Andalucía presenta temperaturas más moderadas, con un pico cercano a 27°C en los meses de verano y temperaturas bajas durante los meses de invierno.

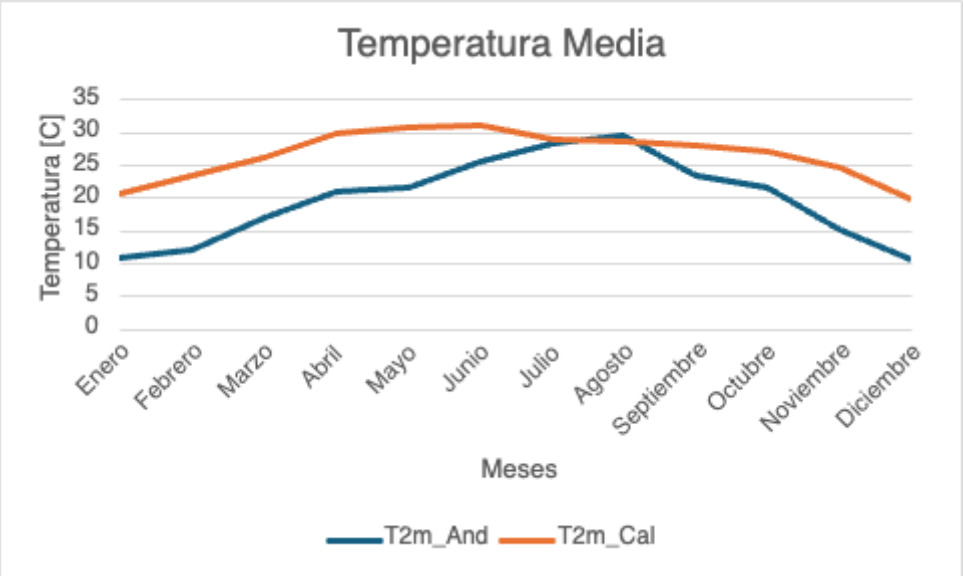



*Figura 13: Temperatura media Andalucía vs Calcuta [Elaboración Propia]*

La producción fotovoltaica es **directamente proporcional a la irradiación** y **negativamente afectada por altas temperaturas**, debido a la pérdida de eficiencia de los paneles solares. En Calcuta, aunque la irradiación es constante, las temperaturas elevadas reducirán la eficiencia de los paneles durante gran parte del año. En Andalucía, la menor temperatura en comparación con Calcuta, junto con la mayor irradiación en verano, favorece una mayor producción de energía.

Por lo tanto, en el proyecto del colegio en Calcuta, debemos tener en cuenta que la producción será menor en comparación con las plantas fotovoltaicas ubicadas en España debido al impacto de las altas temperaturas sobre la eficiencia de los paneles solares. Esta comparación refuerza la necesidad de optimizar el diseño y la gestión de la instalación en Calcuta, considerando tecnologías que mitiguen la pérdida de eficiencia térmica, como paneles de mejor coeficiente de temperatura o sistemas de refrigeración pasiva.

# 4. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Una instalación de generación fotovoltaica es básicamente una planta generadora de energía distribuida. Existen plantas de generación fotovoltaica a gran escala que, de alguna manera, van en contra de la propia efectividad de esta forma de generación. En algunos casos, se ha intentado replicar los sistemas de producción de las plantas de generación habitual que produce una ingente cantidad de energía que debe ser transportada y distribuida a mucha distancia con grandes costes asociados tanto en la construcción de la propia planta como en su red de transporte y distribución. Por otro lado, los plazos de generar este tipo de infraestructuras son extremadamente largos. La energía distribuida coloca la generación muy cerca del punto de consumo, no requiere infraestructuras muy costosas y puede realizarse de forma casi inmediata.

## 4.1. Elementos de un Sistema Fotovoltaico

Los componentes que conforman este sistema son: paneles solares, inversor/regulador, batería y protecciones.

#### 4.1.1. Paneles solares

Estos transforman la radiación solar en energía eléctrica de corriente continua. El material del que están hechas las células FV suele ser silicio cristalino y cada célula puede producir entre 4-5W. Esto da lugar a grandes rangos de potencia para los diferentes paneles según el número de células que disponga. Su rendimiento global se encuentra entre un 14-21% (energía sola incidente/energía eléctrica producida).

#### 4.1.2. Inversor

Este equipo transforma la energía eléctrica de corriente continua producida por los paneles solares en energía eléctrica de corriente alterna. Se encargan de gestionar y monitorizar el sistema fotovoltaico y permiten maximizar el rendimiento del campo solar gracias al seguimiento MPPT (Maximum Power Point Tracker), alcanzar un balance entre el voltaje y la corriente en aquellas placas que trabajan a su máxima potencia. El rendimiento de estos aparatos es elevado, de más del 95%.

#### 4.1.3. Batería

La batería almacena la corriente continua generada cuando la producción de energía supera el consumo, para utilizarla posteriormente cuando el consumo excede la producción.

#### 4.1.4. Protecciones

Las protecciones en un sistema eléctrico fotovoltaico son dispositivos y medidas diseñadas para garantizar la seguridad, el correcto funcionamiento y la longevidad del sistema. Estas protecciones tienen como objetivo prevenir daños en los componentes eléctricos (paneles solares, inversores, baterías, cables, etc.), proteger a las personas contra riesgos eléctricos, y minimizar los efectos de los fallos, sobrecargas o situaciones irregulares del sistema.

### 4.2. Tipos de Sistemas Fotovoltaicos

Tras revisar los componentes principales de un sistema fotovoltaico, se presentan los diferentes tipos de sistemas, diferenciando aquellos que están conectados a la red eléctrica y los que no lo están.

### 4.2.1. Sistemas Aislados

Los sistemas aislados no están conectados a la red eléctrica o usan ésta únicamente como energía de respaldo, por tanto, toda la energía consumida proviene de la energía generada por la propia instalación. Estos sistemas incluyen todos los componentes mencionados anteriormente. Es esencial que puedan almacenar suficiente energía durante las horas de producción para satisfacer la demanda de energía durante las horas sin luz solar. La red eléctrica solo se utiliza en caso de exceso de consumo o incidencia técnica de la instalación. Adicionalmente a la red, o si está no está presente localmente, pueden acoplarse otros sistemas de generación como, por ejemplo, un grupo electrógeno que entra en las mismas circunstancias que la red o incluso si existen fallos de suministro de esta.

### 4.2.2. Sistemas Conectados a la Red Eléctrica

A diferencia de los sistemas aislados, los sistemas conectados a la red no requieren almacenamiento de energía, ya que cuando no se puede producir energía solar, se puede obtener de la red eléctrica. Por este motivo, cuando la producción de energía solar supera la demanda, el excedente se vierte a la red, lo que puede generar, dependiendo de la legislación local, una compensación económica por éste volcado a red. Ya que no es necesario almacenar energía, las instalaciones conectadas a la red no necesitan baterías ni reguladores. Sin embargo, hay inversores que, si no tienen conexión a red no funcionan por lo que, en esos casos, si se origina un fallo de suministro de la red, tampoco podría generar energía el sistema fotovoltaico. Hay que tener en cuenta que, en la localización del colegio, los fallos de suministro de la red local son muy frecuentes repecto a los que tenemos en España.

# 5. CÁLCULO DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

Es muy importante tener claro cuál va a ser el procedimiento para realizar los cálculos de una instalación fotovoltaica. Por ello, se ha seguido el esquema mostrado en la Figura 14.

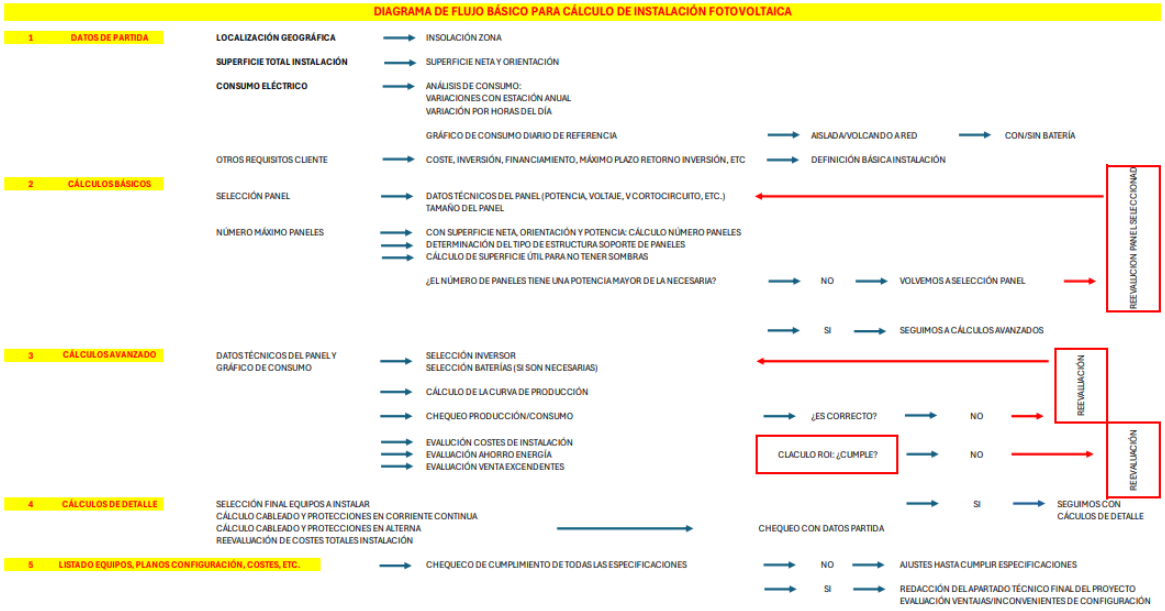



*Figura 14: Diagrama de Flujo Básico*

En primer lugar, se tiene que llevar a cabo un estudio del emplazamiento. Posteriormente, se analizan los equipos de que se dispone en el colegio para derivar las curvas de consumo tanto diario como estacional y poder realizar el estudio de la generación necesaria. En base a ello, se determina la configuración óptima y se procede con la especificación de los elementos del sistema. Una vez que optimizamos la curva de generación respecto a las necesidades de consumo, definimos las especificaciones que debe cumplir cada equipo y la inversión a realizar. Por último, para llevar a cabo el análisis económico, es necesario realizar un estudio de la variación de los precios de la energía en los últimos años y hacer una proyección futura de estos. Finalmente se evaluarán los costes de operación y mantenimiento.

Todo los pasos mencionados anteriormente son los que se mostrarán a lo largo del desarrollo de la memoria del proyecto.

## 6. EMPLAZAMIENTO

Para iniciar el estudio y diseño de una instalación fotovoltaica, el primer paso es realizar un análisis de emplazamiento donde se encuentra el edificio en el que se instalará el sistema. Este análisis incluye la identificación de la ubicación y el estudio de los planos

facilitados por el colegio. Además, se recopilarán datos sobre las horas de sol disponibles y un estudio climatológico con las herramientas PVGis y PVSyst. También se empleará AutoCad para complementar este análisis, con la elaboración de los planos, proporcionando una evaluación detallada y precisa del rendimiento esperado de la instalación.

Este enfoque, combinando diferentes herramientas y métodos, muestra una planificación efectiva y optimizada del sistema en función de las condiciones específicas del sitio.

## 6.1. Localización

El edificio objeto de este estudio es el Loreto Entally Rainbow en Calcuta, India. Este está ubicado en el estado de West Bengal, en la ciudad de Calcuta, con las siguientes coordenadas:

Latitud: 22.5496°

Longitud: 88.3525°

Altitud: 17 metros por encima del nivel del mar

En las siguiente figura, Figura 15, se puede observar la ubicación de dicho colegio en Google Maps.

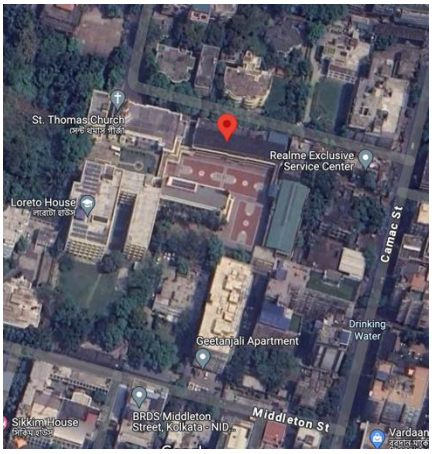



*Figura 15: Ubicación Colegio Calcuta [Google Maps]*

## 6.2. Estudio del Edificio

El edificio Loreto Entally Rainbow se encuentra específicamente en la siguiente ubicación: 1, Convent Lane, Tangra, Kolkata – 700015. El colegio nos ha proporcionado con los planos de dicho edificio, dividido por las siguientes zonas:

- Baños y zona de aseo: 118,75m2
- Edificio residencial: 420,83m2 y altura del edificio 4,772m
- Oficinas y 2º edificio residencial: 444,81m2 y altura del edificio 3,8m

Los planos se encuentran en el ANEXO 2: Planos Colegio.

El primer edificio residencial tiene 3 plantas y el tejado. En este tejado es donde se colocarían las placas solares. Además, el segundo edificio residencial también tiene 3 plantas, y hay un hueco donde se pueden colocar también paneles solares. Todo ello, como se ha mencionado anteriormente, se puede encontrar en los planos.

En la siguiente figura, Figura 16, se puede ver el "site plan" de los tres edificios.

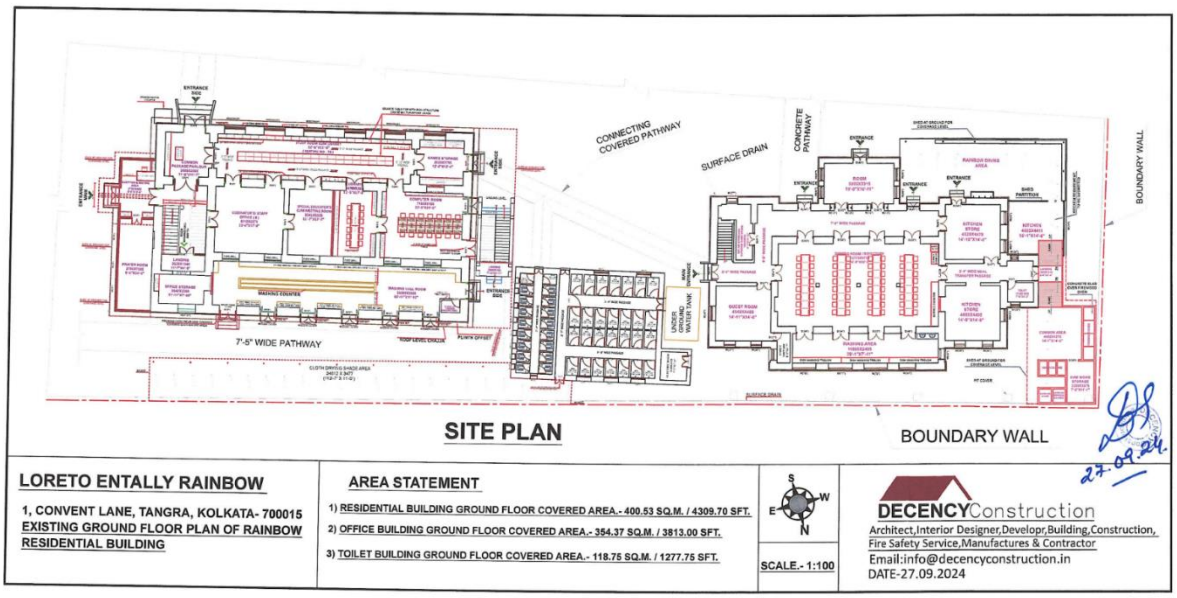



*Figura 16: Plano de los 3 edificios [Rainbow Home]*

La orientación de los paneles es hacia el sur, para así obtener la máxima eficiencia y producción.

## 6.3. Estudio del recurso solar

Es necesario conocer los datos de radiación directa, así como la radiación difusa, porque ambos afectan al proceso de generación de energía fotovoltaica. La radiación directa es la irradiancia que proviene directamente del sol, y su intensidad depende de la localización geográfica, el ángulo de las placas respecto a la horizontal, la nubosidad y de la estación del año. A diferencia de esta, la radiación difusa es el resultado de la dispersión de la luz solar por partículas en la atmósfera, como aire, vapor y nubes. En días soleados, la radiación difusa representa aproximadamente el 10% de la irradiancia total, pero en días nublados, puede constituir casi toda la radiación recibida. Ambos tipos de irradiancia son esenciales para el diseño y cálculo de la capacidad pico de la planta solar.

| | Irradiación Horizontal Global | Irradiación Difusa Horizontal | Temperatura |
|---|---|---|---|
| | *kWh/m2/mes* | *kWh/m2/mes* | *(°C)* |
| Enero | 112,2 | 60,6 | 17,5 |
| Febrero | 118,2 | 66,7 | 22,1 |
| Marzo | 157,1 | 84,8 | 27,6 |
| Abril | 166,5 | 88,5 | 30,2 |
| Mayo | 171,7 | 96,6 | 31,4 |
| Junio | 134 | 93,6 | 30,5 |
| Julio | 128,3 | 87,2 | 29,8 |
| Agosto | 125 | 83,6 | 29,4 |
| Septiembre | 120,4 | 78,3 | 28,3 |
| Octubre | 121,9 | 73,6 | 27,3 |
| Noviembre | 112,9 | 60,9 | 23,4 |
| Diciembre | 106,1 | 57,1 | 18,7 |
| **Año** | **1574,3** | **931,5** | **26,35** |

*Tabla 4: Datos Irradiación Calcuta [Elaboración Propia]*

El valor anual de la irradiación horizontal global es de 1574,3 kWh/m2, el cual es un indicador crucial del potencial solar de la ubicación. Marzo y abril presentan los valores más altos de Irradiación Global Horizontal, lo que sugiere que estos meses son los más productivos para la generación de energía solar. Por el contrario, julio y agosto tienen los valores más bajos, lo cual puede deberse a la temporada de monzones, cuando la nubosidad y las lluvias reducen la irradiación solar.

El valor de la irradiación difusa horizontal es considerablemente alto en comparación con la global, lo que indica una alta proporción de días nublados o parcialmente nublados. Junio y julio presentan los mayores valores de irradiación difusa, y enero y febrero los valores más bajos.

Con respecto a la temperatura, las altas temperaturas pueden afectar la eficiencia de los paneles solares, reduciendo su rendimiento. Los meses más calurosos son mayo y junio, mientras que los más frescos son enero y diciembre.

Para maximizar la producción de energía, los meses de marzo y abril deben aprovecharse al máximo debido a sus altos niveles de irradiación global. Además, la alta irradiación difusa durante los monzones sugiere la necesidad de limpiar regularmente los paneles solares para mantener su eficiencia, ya que el polvo y la suciedad pueden acumularse debido a las lluvias. Las altas temperaturas en mayo y junio podrían requerir sistemas de ventilación o estrategias de enfriamiento para los paneles solares, mejorando así su eficiencia.

Los datos indican que Calcuta tiene un buen potencial para la generación de energía solar, especialmente en los meses de primavera. Sin embargo, es crucial tener en cuenta las variaciones estacionales en la irradiación y la temperatura para diseñar un sistema eficiente y sostenible.

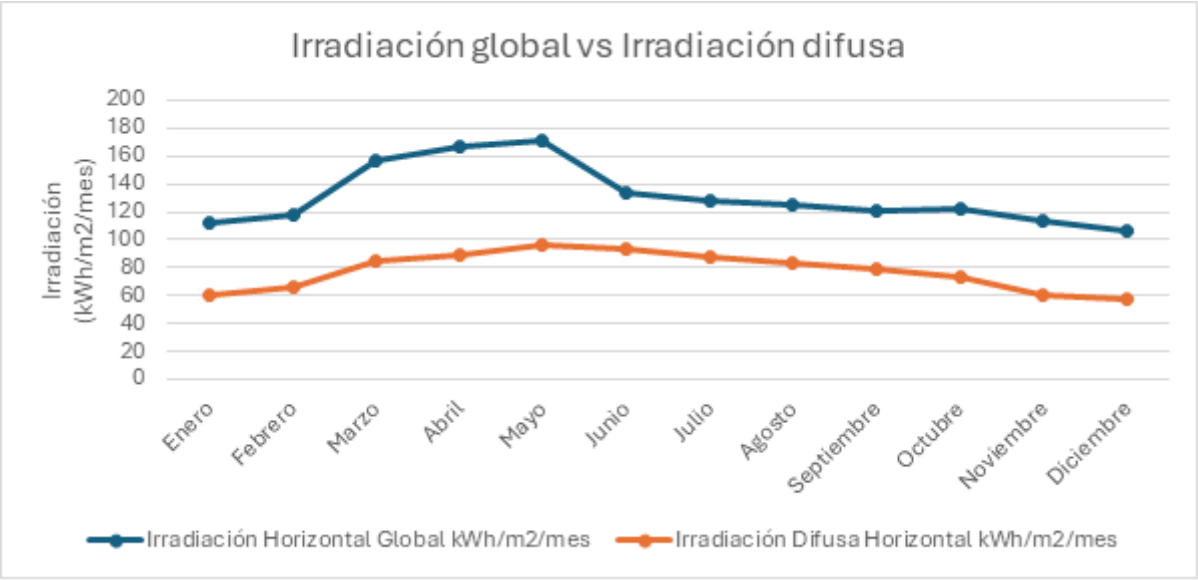



*Figura 17: Irradiación difusa vs Irradiación global [Elaboración Propia]*

Las horas solares pico facilitan la estimación de la producción de energía solar. En la Figura 18, se estima la cantidad de energía solar disponible diariamente en horas pico. Estas son importantes para dimensionar y evaluar la producción potencial de un sistema fotovoltaico.

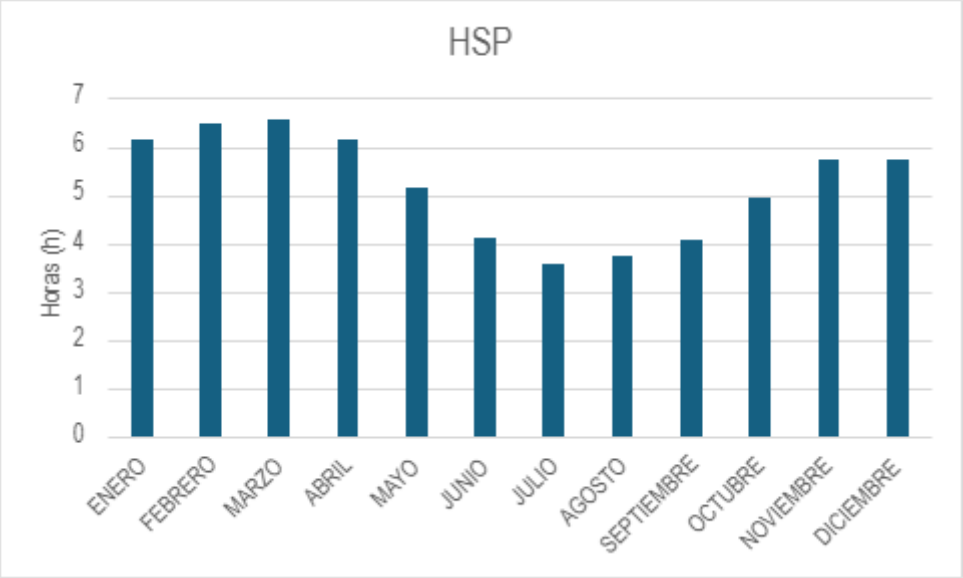



*Figura 18: Horas Solares Pico Mensuales [Elaboración Propia]*

## 7. ANÁLISIS DE LA DEMANDA

Después de analizar el emplazamiento, el siguiente paso es estimar el consumo del colegio. Para ello se han utilizado los datos proporcionados por la responsable del proyecto y, además, de suposiciones necesarias para poder comenzar a realizar los cálculos.

En España, el consumo medio por alumno en un colegio es de 23,76 kWh/año. Teniendo en cuenta este dato, se ha calculado que, en Calcuta, el consumo medio por niña en el internado será de **84,50 kWh/año dado que en Calcuta no tenemos solo un colegio dónde viven las niñas todo el año**. El desglose de este consumo, por día, es el siguiente:

- 40 Wh de iluminación básica
- 30 Wh de iluminación adicional
- 140 Wh de ventilación
- 1,5 Wh/alumna de dispositivos electrónicos

- 20 Wh para el funcionamiento de las bombas de agua

Las razones por la que se han establecido estas cifras son las siguientes:

1. El colegio es una vivienda completa para más de 100 niñas
2. Hay un uso continuo de los servicios básicos, como, por ejemplo, las duchas, la cocina...
3. Sistemas de iluminación y ventilación
4. Equipos educativos y tecnológicos

Una vez establecido este dato de partida, se ha elaborado un perfil de la demanda horaria del colegio, haciendo distinción entre los meses de verano e invierno. En verano se ha supuesto alta demanda entre las 9:00 y las 16:00 debido a las horas de clase y el uso intensivo de refrigeración y la demanda disminuye a medida que avanza la tarde. En invierno, la demanda se distribuye más uniformemente, pero se consume más al anochecer que en verano cuando se requiere iluminación adicional. A continuación, se muestra como es el perfil de demanda horaria en la siguiente figura.

| | | Verano | Invierno |
|---|---|---|---|
| 0 | % | 1% | 0,5% |
| 1 | % | 1% | 0,5% |
| 2 | % | 1% | 0,5% |
| 3 | % | 1% | 0,5% |
| 4 | % | 1% | 0,5% |
| 5 | % | 3% | 2% |
| 6 | % | 3% | 3% |
| 7 | % | 4% | 3% |
| 8 | % | 6% | 5% |
| 9 | % | 8% | 6% |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 10 | % | 9% | 7% |
| 11 | % | 9% | 7% |
| 12 | % | 8% | 7% |
| 13 | % | 7% | 8% |
| 14 | % | 7% | 8% |
| 15 | % | 6% | 7% |
| 16 | % | 5% | 6% |
| 17 | % | 4% | 6% |
| 18 | % | 3% | 7% |
| 19 | % | 3% | 5% |
| 20 | % | 3% | 4% |
| 21 | % | 3% | 3% |
| 22 | % | 3% | 3% |
| 23 | % | 1% | 0,5% |
| | | 100% | 100% |

*Tabla 5: Perfil Demanda Horaria Colegio [Elaboración Propia]*

La suma de 100% refleja cómo se distribuye la energía total consumida durante el día. Si los porcentajes no suman 100%, significaría que no se está considerando la demanda completa o que se está considerando un consumo mayor o menor del real.

A continuación, se ha calculado la superficie total del colegio, con el uso de los planos facilitados por el colegio. La superficie total es de **874 m2**. Estos datos se pueden comprobar en los planos, incluidos en el ANEXO 2: Planos Colegio.

Por tanto, el consumo total anual del colegio es de **12674,63kW/año**. Se ha realizado la distinción en el consumo entre los meses de verano e invierno. Los meses de verano representan un 60% del consumo mientras que los meses de invierno representan el 40% restante. Se ha elaborado un gráfico, Figura 19, donde se puede observar las curvas de demanda horaria diaria para verano e invierno.

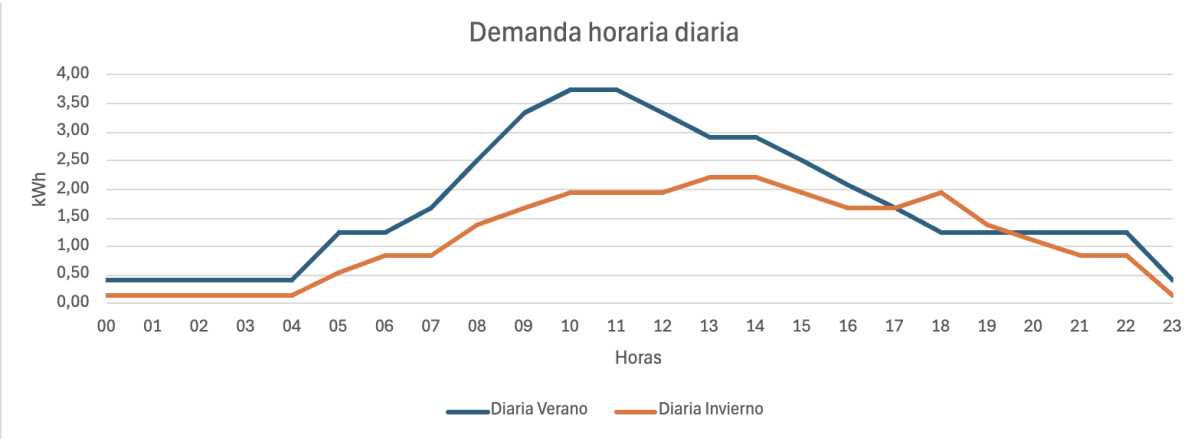



*Figura 19: Demanda Horaria Diaria [Elaboración Propia]*

# 8. ESTUDIO DE LA GENERACIÓN

Una vez recopilada la información del emplazamiento y del consumo eléctrico del colegio, se procede a realizar el diseño de los elementos del sistema. En primer lugar, se calcula la generación de la instalación, y, posteriormente, se muestran los paneles, el inversor, baterías, cableado y otros elementos auxiliares, así como las protecciones elegidas.

## 8.1. Superficie Neta

En primer lugar, se han tenido en cuenta los siguientes datos de partida para el cálculo de la generación. Se ha supuesto un factor de corrección de superficie útil del **50%**, un factor de conversión superficie-potencia FV de **0,0002 MW/m2** (la ratio que se utiliza en el sector es que por cada 5.000 m2 se instala 1 MW en paneles solares) y un factor de sombra del **90%** (el factor de sombra depende de la ubicación y posibles obstáculos (edificios, árboles, etc.). Generalmente, se usan valores entre 0.7 y 0.9. Se puede utilizar 0.9 si las sombras son moderadas y esperadas solo en ciertas horas del día.

Como se había mencionado anteriormente, la superficie total es de 874 m2. Sin embargo, teniendo en cuanta los factores anteriores, la superficie final máxima que se puede utilizar es de **393 m2**.

## 8.2. Orientación

La orientación de los paneles está definida por dos variables: la inclinación y el ángulo azimut. Esta primera viene dada por la latitud del país/región donde se encuentre; cuanto más cerca esté del ecuador, menor será el ángulo de inclinación del panel, ya que los rayos del sol incidirán más perpendicularmente sobre él (Diaz, 2023). La segunda variable es el ángulo de azimut, que es el ángulo que forma la proyección horizontal de la línea que conecta el centro del sol con el meridiano del lugar (dirección norte-sur) que se origina en el sur (García Gómez, 2017).

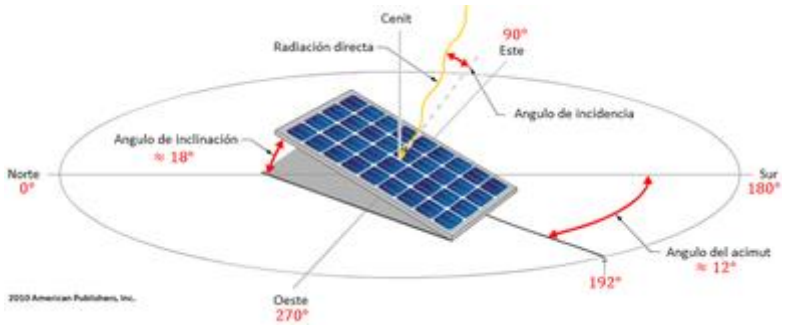



*Figura 20: Orientación de los Modulos Solares [Imagen Internet]*

Al encontrarse el colegio donde se plantea realizar el proyecto en el hemisferio norte, la orientación de los paneles debe ser hacia el sur, aprovechando así al máximo los puntos de incidencia solar (Planas, 2022).

Con el uso de la herramienta PVGis, se ha obtenido que el ángulo óptimo de inclinación es de 28° y el ángulo de azimut de -4°.

## 8.3. Análisis de sombra

Este análisis permite estudiar el impacto de las sombras en la eficiencia de los paneles solares. Las sombras pueden reducir considerablemente la producción de energía, ya que bloquean la luz solar directa y dificultan el proceso fotovoltaico. Este análisis incluye el estudio de la posición del sol a lo largo del año, la identificación de los objetos que pueden dar sombra (como edificios o árboles) y la simulación de su efecto sobre la exposición solar. Evaluando la extensión y el momento de las sombras, es posible optimizar la colocación y orientación de los paneles para maximizar la generación de energía y reducir las pérdidas de rendimiento.

La posición del sol en verano está alrededor de 84, 8° y en invierno alrededor de 37,9°. No hay obstáculos, como árboles o edificios cercanos que den sombra a los paneles solares, por lo que el impacto de las sombras es mínimo o inexistente.

## 8.4. Potencia de la instalación

A diferencia de los sistemas fotovoltaicos aislados, las instalaciones conectadas a la red tienen más flexibilidad a la hora de seleccionar la capacidad del sistema. Cuando la demanda de energía supera a la producción, simplemente se extrae energía adicional de la red. Del mismo modo, si el sistema genera más energía de la necesaria, la energía sobrante se devuelve a la red, compensando económicamente el excedente.

Sin embargo, a pesar de ello, se intenta dimensionar la planta de forma que la generación cubra la demanda, ya que la compensación que se recibe por los excedentes suele ser mucho menor que el precio de compra.

La potencia total del colegio, al igual que la demanda calculada en el apartado anterior, se calcula de la siguiente manera:

$$P = \frac{Consumo\ Diario}{HSP}$$

Al haber diferentes horas pico para verano y para invierno, se calculan las dos potencias necesarias.

$$P = \frac{42}{7} = 6kW$$

$$P = \frac{28}{4} = 7kW$$

Para el cálculo del número de los módulos solares, que se llevará a cabo en los siguientes apartados, se va a utilizar la producción menor, porque es la que va a necesitar mayor número de paneles para cubrir la demanda.

## 8.5. Módulo Fotovoltaico

Una vez establecida la orientación de los paneles y el cálculo de la potencia, se ha previsto la instalación del panel solar "600W Bifacial Tensite N-Type". Panel Solar 600W Bifacial Tensite cuenta con unas características excelentes con un precio muy económico. Esto se traduce en un gran ahorro económico y en una rápida amortización del panel.

**Panel Solar 600W Bifacial Tensite N-Type**

| | |
|---|---|
| *Potencia* | 600W |
| *Eficiencia del panel* | 22,32% |
| *Tensión máxima del sistema* | 1000/1500V |
| *Tipo de célula* | Monocristalina |
| *Peso* | 32Kg |
| *Dimensiones* | 2278x1134x30mm |
| *Grado de protección* | IP68 |
| *Voltaje a máxima potencia* | 43,9V |
| *Corriente a máxima potencia* | 13,76A |
| *Voltaje en circuito abierto* | 51,48V |
| *Corriente en cortocircuito* | 14A |

*Tabla 6: Características Técnicas Módulos Solares [Elaboración Propia]*

## 8.6. Máximo número de paneles

Con estos datos, se procede al cálculo del número máximo de paneles. En primer lugar, el área ocupada por cada panel es de 2,58m2. Sin embargo, se necesita incluir también la distancia entre filas de estos paneles, para así saber con certeza la superficie que van a ocupar. Por tanto, para ello, se calcula la altura efectiva del panel:

$$Altura\ Efectiva\ del\ Panel = \frac{Altura\ Panel}{cos(inclinación)} = \frac{1{,}134}{cos(28)} = 1{,}342m$$

Además, se calcula la distancia entre filas de la siguiente manera:

$$Distancia\ entre\ filas = \frac{Altura\ panel}{sin(inclinación)} = \frac{1{,}134}{0{,}469} = 2{,}41m$$

Por tanto, el área total ocupada por panel es de **5,33m2**.

El número máximo de paneles solares se obtiene de la siguiente manera:

$$Max\ paneles = \frac{Superficie\ neta}{Area\ total} = \frac{393}{5{,}33} = 74\ paneles$$

El número máximo de paneles es 74, y, con este resultado, la potencia máxima instalable es **44kW**.

### 8.7. Número de paneles instalados

Sin embargo, como el consumo del colegio es de 41,67kW en verano y 27,68kW en invierno, no es necesario la instalación del número máximo de paneles. Con el consumo, las horas pico y la generación por panel, se ha calculado el número óptimo de paneles a instalar, tanto en verano como en invierno. Las horas pico en verano en Calcuta son 7h y en invierno 4h. Con estos datos, y con la producción de un panel (600W) se ha calculado una producción diaria para verano y para invierno de un panel solar.

**Producción diaria**

| | |
|---|---|
| Producción diaria VERANO (kWh) | 3 |
| Producción diaria INVIERNO (kWh) | 2 |

*Tabla 7: Producción Diaria [Elaboración Propia]*

Dividiendo las demandas entre las producciones diarias anteriores, se obtiene el número de paneles óptimo para cada estación, **12 en verano** y **15 en invierno**. Al ser el número 15 un número impar, se deciden colocar 16 paneles. A partir de ahora, todo el proyecto se hará con el análisis de 12 y 16 paneles.

## 8.8. Curva de Producción de los Paneles

Una vez obtenidos las horas de pico en Calcuta para las dos estaciones y el número de paneles óptimo para cada una de estas, es necesario analizar las curvas de producción de los paneles para los dos supuestos.

La irradiancia en Calcuta en el día más corto (21 de diciembre) y día más largo (21 de junio) se muestra en las siguientes figuras, Figura 21 y Figura 22.

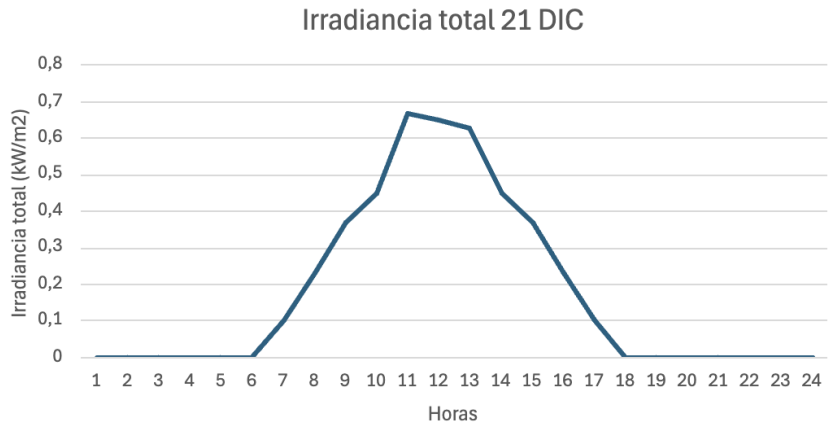



*Figura 21: Irradiancia Total 21 Diciembre [Elaboración Propia]*

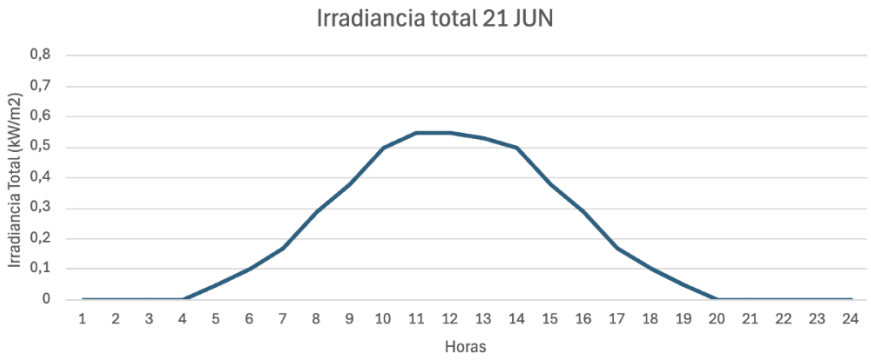



*Figura 22: Irradiancia Total 21 Junio [Elaboración Propia]*

Además de para estos días, se ha analizado para los distintos meses. Este análisis se puede observar en las siguientes figuras.

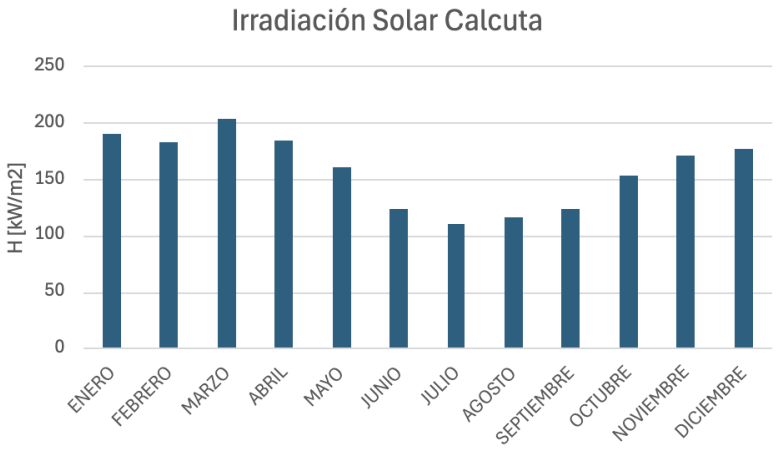



*Figura 23: Irradiación Solar Calcuta [Elaboración Propia]*

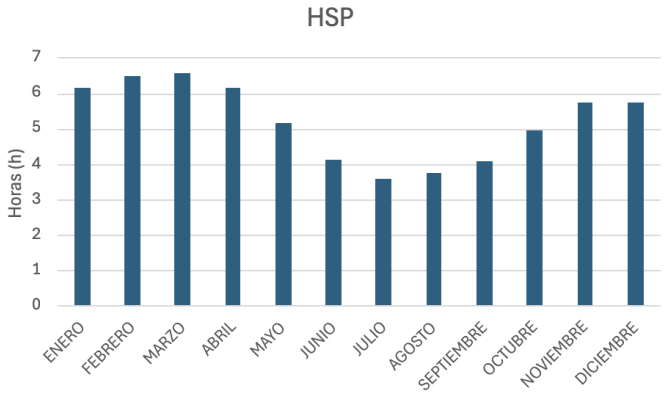



*Figura 24: Horas Pico [Elaboración Propia]*

Como se puede observar, las horas pico son directamente proporcionales a la irradiancia mensual. Estas se calculan dividiendo el valor de la irradiancia por el número de días que hay en cada mes.

Con todos estos datos anteriores, se puede elaborar la curva de producción de los paneles y comparar esta con la demanda mensual del colegio. Este análisis se ha realzado para el supuesto de 12 paneles y para el supuesto de 16 paneles.

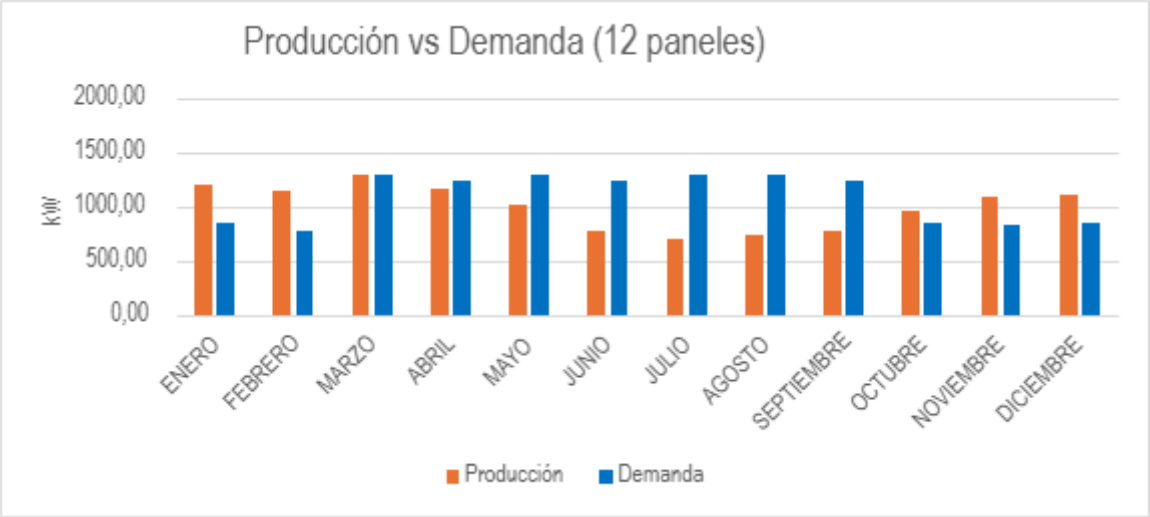



*Figura 25: Producción vs Demanda (12 paneles) [Elaboración Propia]*

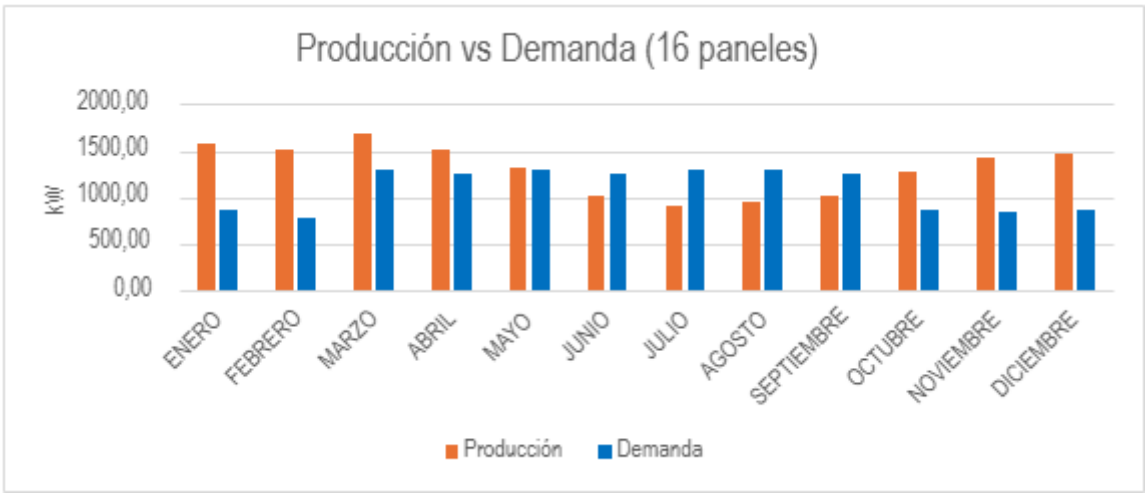



*Figura 26: Producción vs Demanda (16 paneles) [Elaboración Propia]*

Con las gráficas anteriores, se observa que, en el supuesto de 12 paneles, se necesitaría comprar a red a falta de producción suficiente de los paneles en los meses de octubre a febrero. En el segundo supuesto (16 paneles), hay producción de excedentes de marzo a septiembre, por lo que se podría vender este excedente a red.

En los siguientes apartados se van a analizar cada uno de los supuestos para determinar aquel que presenta mayores ventajas económicas para el colegio.

# 9. ANÁLISIS DE LA CONFIGURACIÓN ÓPTIMA

En este apartado, se va a llevar a cabo el estudio y elección de la configuración, entre los dos supuestos presentados en el apartado anterior.

## 9.1. Elección de número de paneles

En el contexto de un colegio en Calcuta, donde los apagones y cortes de suministro eléctrico son frecuentes, se han evaluado tres posibles configuraciones de instalación solar: 12 paneles sin batería (comprando a red), 16 paneles sin batería (vendiendo a red) y 16 paneles con batería.

En primer lugar, para el supuesto de **12 paneles sin batería** se ha llegado a la conclusión de que la instalación se amortizaría a los **8 años**. En base a los siguientes pasos:

1. Coste inicial: 4.730,56€ (incluye componentes y mano de obra)
2. Coste anual: 297,58€ (mantenimiento y fondo para sustitución del inversor)
3. Pago a la red: 88,60€ anuales por 1.100,41 kWh de consumo no cubierto por los paneles solares (precio de electricidad es 0,08052€/kWh).
4. Ahorro anual: 967,17€.
5. Gasto anual total: 386,19€.
6. Beneficio neto anual: 581,00€.
7. Amortización: 8 años

En segundo lugar, para el supuesto de **16 paneles sin batería**, se ha llegado a la conclusión de que la instalación se amortizará a los **8 años**. En base a los siguientes pasos:

1. Coste inicial: 5.947,26€ (incluye componentes y mano de obra)
2. Coste anual: 358,95€ (mantenimiento y fondo para sustitución del inversor)
3. Ingresos por venta de excedentes: 88,44€ anuales (2.536,41 kWh vendidos a 0,08052€/kWh).

4. Ahorro anual: 1.144,24€.
5. Gasto anual total: 358,95€.
6. Beneficio neto anual: 785,29€.
7. Amortización: 8 años

En tercer y último lugar, para el supuesto de **16 paneles con batería**, se ha llegado a la conclusión de que la instalación se amortizará a los **12 años**. Se ha llegado a la conclusión de este dato siguiendo los siguientes pasos:

1. Coste inicial: 8.347,26€ (incluye componentes, mano de obra y 2 baterías para almacenamiento)
2. Coste anual: 377,17€ (mantenimiento y fondo para sustitución del inversor)
3. Ahorro anual: 1.055,79€.
4. Gasto anual total: 377,17€€.
5. Beneficio neto anual: 678,62€.
6. Amortización: 12 años

Aunque las opciones de 12 y 16 paneles sin batería son económicamente más atractivas a corto plazo, la configuración de **16 paneles con batería** es la más adecuada para el contexto específico del colegio en Calcuta. La inversión inicial más alta y el periodo de amortización más largo se justifican por la mayor confiabilidad y seguridad que proporciona frente a los apagones frecuentes, asegurando un suministro continuo y mejorando la calidad de vida de las alumnas. La configuración con batería elimina la dependencia a la red eléctrica, garantizando que el colegio tenga acceso a energía incluso durante cortes prolongados. Estas aseguran que las actividades clave, como la iluminación, ventilación y el uso de dispositivos electrónicos esenciales, no se vean interrumpidas.

## 9.2. Impacto de los cortes de suministro eléctrico en Calcuta y necesidad de baterías

Calcuta, como muchas otras ciudades de la India, enfrenta frecuentes cortes de suministro eléctrico que afectan tanto a las áreas residenciales como a las comerciales. Estos cortes, que pueden ocurrir varias veces al día y extenderse desde unos minutos hasta varias horas, son causados por la alta demanda de electricidad, problemas en la infraestructura de distribución y eventos climáticos extremos como lluvias torrenciales y ciclones.

Según datos recientes, se registran en promedio **50 a 60 horas de interrupciones eléctricas al mes en áreas urbanas de la India** (Chatterjee, 2023). Durante los meses de verano, cuando la demanda de energía alcanza su punto máximo debido al uso de ventiladores y sistemas de refrigeración, los cortes pueden ser aún más frecuentes. Esto genera una gran incertidumbre en la disponibilidad del suministro eléctrico, afectando de manera significativa las actividades cotidianas y operativas de instituciones como colegios.

En el caso de la configuración propuesta con 16 paneles solares y dos baterías de litio **Pylon US5000 de 4.8 kWh** cada una, se dispone de un almacenamiento total de **9.6 kWh**. Esta capacidad sería clave para cubrir parte del consumo eléctrico durante los cortes. Sería interesante disponer adicionalmente de un pequeño grupo electrógeno para cubrir cortes de larga duración. El coste del mismo es relativamente bajo y nos aseguraría el suministro en el 100% de los casos o cuando exista una incidencia en la propia instalación.

Un grupo electrógeno es un equipo que combina un motor (generalmente de combustión interna, como un motor diésel o de gasolina) con un generador eléctrico. Es una fuente de energía independiente que se utiliza cuando no hay acceso a la red eléctrica o como respaldo en caso de fallos del suministro eléctrico. Los componentes principales son:

- Motor: proporciona la energía mecánica necesaria para que el generador funcione.
- Generador: convierte la energía mecánica producida por el motor en energía eléctrica.
- Sistema de control: regula el funcionamiento del grupo electrógeno.

- Sistema de refrigeración: evita el sobrecalentamiento del motor durante su funcionamiento.
- Sistema de combustible: proporciona el combustible necesario para el motor.
- Chasis y silenciador: estructura que soporta todos los componentes y reduce el ruido del motor.

Los grupos electrógenos se utilizan generalmente en zonas de emergencia, remotas o como respaldo industrial. Es una solución eficaz y sencilla para garantizar la disponibilidad de electricidad en situaciones donde no hay acceso a la red o se producen interrupciones.

El colegio tiene un consumo promedio diario estimado de:

- **41,67 kWh** en verano.
- **27,78 kWh** en invierno.

Durante las **50-60 horas de cortes al mes**, la energía requerida para cubrir las necesidades básicas dependerá del consumo priorizado.

Si se prioriza el funcionamiento de ventiladores e iluminación en verano, el consumo podría reducirse a aproximadamente **6-8 kWh por día durante los cortes**, mientras que, en invierno, cuando los ventiladores no son necesarios, el consumo priorizado podría ser tan bajo como **4-6 kWh por día**.

Autonomía del sistema de baterías:

- En **verano:**
  - Capacidad: 9.6 kWh.
  - Consumo priorizado: 6-8 kWh por día.
  - Autonomía: **1.2-1.6 días (29-40 horas) de cortes continuos.**

- En **invierno:**

- Capacidad: 9.6 kWh.
- Consumo priorizado: 4-6 kWh por día.
- Autonomía: **1.6-2.4 días (38-57 horas) de cortes continuos.**

En condiciones de cortes intermitentes (por ejemplo, varias horas al día), las baterías podrían cubrir una gran parte de la demanda necesaria, especialmente si se recargan parcialmente durante el día con la energía solar generada (es por lo que se optó por la configuración con 16 paneles).

Las baterías suministran la energía que se consume por la noche. Lo que "sobre" se utilizaría para los cortes de luz. Se ha decidido estudiar la incorporación de un grupo electrógeno porque este sería para aportar energía cunado haya un corte de luz o varios días nublados con periodos en el que el sistema no cubra los consumos. Las baterías, además, podrían requerir el uso del grupo electrógeno para cargarlas para su uso nocturno.

## 9.3. Estudio de Net Metering

Aunque la configuración propuesta para este proyecto incluye baterías para el almacenamiento de energía, resulta interesante analizar cómo funciona el **Net Metering** en India, ya que es un mecanismo que permite a los usuarios con sistemas solares conectados a la red eléctrica optimizar el uso de la energía generada.

### 9.3.1. ¿Qué es el Net Metering?

El **Net Metering** (medición neta) es un sistema que permite a los consumidores con instalaciones solares conectadas a la red **exportar el excedente de energía generada** a la red eléctrica y, a su vez, **importar energía de la red cuando la generación solar es insuficiente**. La cantidad neta de energía (diferencia entre lo exportado y lo importado) se calcula al final del ciclo de facturación y se refleja en la factura eléctrica del consumidor (Understanding Solar Net Metering for Consumers in India, 2023).

### 9.3.2. Funcionamiento del Net Metering

El proceso se puede resumir en los siguientes pasos:

1. **Generación de energía:** Los paneles solares generan electricidad durante las horas de sol. Esta energía se consume directamente por el usuario y se utilizan para cargar las baterías.
2. **Excedente de energía:** Si la energía generada es mayor que la demanda del consumidor, el excedente se **envía a la red eléctrica** a través de un medidor bidireccional.
3. **Importación de energía:** Durante la noche o en días nublados, cuando la generación solar no es suficiente, el usuario **toma energía de las baterías y si es necesario, de la red eléctrica** para cubrir su consumo.
4. **Cálculo neto:** Al final del período de facturación, se calcula la diferencia entre la energía exportada y la importada. Si la cantidad exportada es mayor, se puede compensar contra el consumo futuro o recibir una tarifa según las políticas estatales.

El sistema podría hacer pensar, con mentalidad europea, que no son necesarias las baterías pero, como se dijo antes, éstas se utilizarán para suministro de energía a consumo nocturno y, eventualmente, para minimizar los cortes de suministro.

### 9.3.3. Beneficios del Net Metering

- **Reducción en la factura eléctrica:** Al compensar la energía consumida con la energía exportada, el consumidor paga solo por el consumo neto.
- **Uso eficiente de la energía generada:** Permite aprovechar al máximo la energía generada por el sistema solar, evitando desperdicios.
- **Apoyo a la red eléctrica:** La energía solar exportada a la red contribuye al suministro eléctrico general, ayudando a estabilizar la demanda.

### 9.3.4. Políticas de Net Metering en India

En India, el Net Metering está regulado por las **Comisiones Estatales de Regulación de la Electricidad (SERCs)**, y cada estado puede tener políticas ligeramente diferentes. Sin embargo, las características generales incluyen:

- La instalación debe estar conectada a la red y contar con un **medidor bidireccional**.
- Hay límites de capacidad para el sistema solar que pueden variar según el estado. Generalmente, el límite está en un rango del 75% al 100% de la demanda contratada.
- El excedente de energía puede compensarse en ciclos de facturación mensuales o anuales.

### 9.3.5. Limitaciones del Net Metering

- **Políticas estatales diversas:** La normativa puede variar entre estados, lo que a veces genera confusión para los usuarios.
- **Límite de capacidad:** Los límites de tamaño del sistema solar pueden restringir el potencial de generación en grandes instalaciones.
- **Infraestructura de red:** No todas las redes eléctricas están preparadas para manejar el flujo bidireccional de energía, lo que podría limitar la implementación del Net Metering.

El Net Metering en India es una solución eficiente para maximizar el uso de la energía solar generada y reducir los costos eléctricos de los consumidores. Aunque en este proyecto se utilizarán **baterías** para el almacenamiento de energía y evitar la dependencia de la red eléctrica durante los cortes de suministro, comprender el funcionamiento del Net Metering permite evaluar futuras oportunidades para aprovechar el excedente de energía generada y, en caso de cambios en la configuración del sistema, facilitar una conexión a la red eléctrica bajo este esquema.

La instalación puede aprovechar el Net Metering cuando las baterías estén cargadas al 100% y la producción sea mayor que el consumo. En este sentido, se podría colocar un contador bidireccional e inscribir la instalación para poder vender energía.

En la siguiente figura, Figura 27,se ilustra de manera clara cómo funciona este concepto.

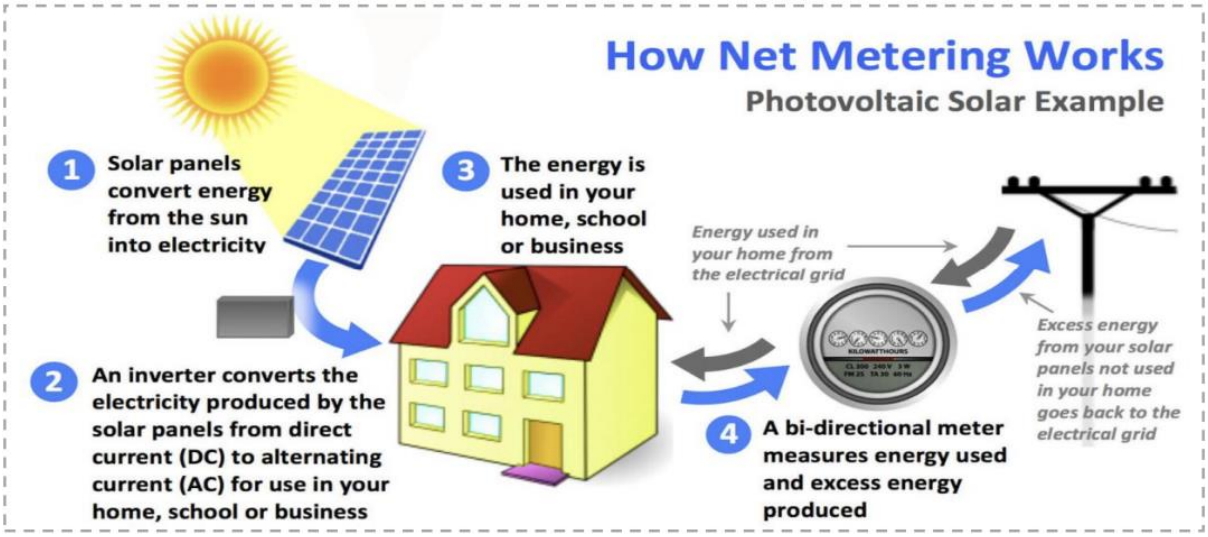



*Figura 27: Net Metering [Maiteryi Karthik]*

## 10. CONFIGURACIÓN DE PANELES

Los paneles solares los podemos configurar en paralelo o en serie o una combinación entre ellos.

En la ficha técnica de los paneles solares tenemos la siguiente información:

- Vmax e Imax → cálculo de generación
- Voc e Isc → cálculos de protecciones

El inversor por la mañana antes de empezar a funcionar va a tener una tensión en circuito abierto a temperatura ambiente.

Los sistemas en serie son los más predominantes en los sistemas solares. El voltaje (diferencia de potencial que existe entre terminales) se suma y la corriente se mantiene. Ayudan a mantener la corriente relativamente baja y aumentar el voltaje, disminuyendo las pérdidas de conducción de la corriente. El problema es que la corriente que pasa por todo el circuito es la misma. Si tengo una sombra o una orientación diferente, toda la corriente disminuye.

En el circuito en paralelo, la diferencia de potencial se mantiene constante pero la corriente que aporta cada módulo solar se suma. Esto permite tener mayores corrientes y voltajes constantes, lo cual permite una menor afectación de sombras porque el voltaje cambia poco con las sombras y la corriente se suma, por lo que si uno es bajo no afecta. La corriente genera pérdidas de conducción.

En la realidad, siempre se utiliza una mezcla, para optimizar el sistema. Por tanto, la configuración de los paneles en este proyecto va a ser de la siguiente manera: 16 paneles

- 2 strings de 8 paneles en serie
- Los dos strings en paralelo o conectados a dos entradas diferentes del inversor

SERIE:

Voltaje=8·43,9=351,2V

Corriente=14A

PARALELO:

Corriente=14·2=28A

Se ha decidido poner esta configuración porque, a pesar de que no hay sombras causadas por árboles o edificios que vayan a afectar a los paneles, siempre hay que contar con la posibilidad de que haya sombra debido a las nubes, por ejemplo. Si este fuera el caso, aunque la sombra de la nube diera a un solo panel y este produjera solo un 20%, los demás paneles en serie, a pesar de no ser afectados por la sombra de la nube, también producirían a un 20%.

A continuación, en la se muestra el esquema unifilar de la configuración elegida. Se puede ver con mayor detalle en el ANEXO 3: Esquema Unifilar y Planos AutoCad.

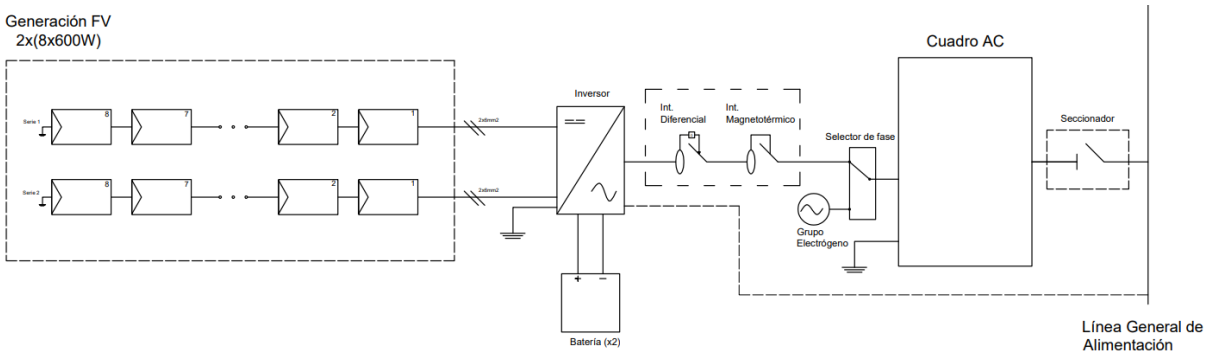



*Figura 28: Esquema Unifilar [Elaboración Propia]*

Para configuraciones en serie el cableado necesario es más fino porque pasa por ellos una menor corriente, mientras que, para la configuración en paralelo, estos cables deben ser más gruesos, ya que la corriente que pasa por ellos es mayor.

# 11. ESPECIFICACIONES DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA

En este apartado se van a definir las especificaciones técnicas de los diferentes elementos que componen el sistema y su uso en la configuración.

## 11.1. Módulo Fotovoltaico

Los módulos fotovoltaicos deben proporcionarnos una potencia total de 600 W x 16 UD = 9.600 W. Esta información se ha detallado anteriormente, pero se quiere volver a recordar en este apartado. Se ha previsto la instalación del panel solar “600W Bifacial Tensite N-Type". Panel Solar 600W Bifacial Tensite cuenta con unas características excelentes con un precio muy económico. Esto se traduce en un gran ahorro económico y en una rápida amortización del panel.

**Panel Solar 600W Bifacial Tensite N-Type**

| | |
|---|---|
| *Potencia* | 600W |
| *Eficiencia del panel* | 22,32% |
| *Tensión máxima del sistema* | 1000/1500V |
| *Tipo de célula* | Monocristalina |
| *Peso* | 32Kg |
| *Dimensiones* | 2278x1134x30mm |
| *Grado de protección* | IP68 |
| *Voltaje a máxima potencia* | 43,9V |
| *Corriente a máxima potencia* | 13,76A |
| *Voltaje en circuito abierto* | 51,48V |
| *Corriente en cortocircuito* | 14A |

*Tabla 8: Características Técnicas Paneles [Elaboración Propia]*

## 11.2. Inversor

El inversor se encarga de convertir la corriente continua del módulo fotovoltaico en corriente alterna, adecuada para el tipo de consumo eléctrico actual, así como para la conexión a la red en una configuración con net metering. En India, los estándares para sistemas de energía solar en tejados varían por estado y requieren que los inversores cumplan con ciertos requisitos, como especificaciones de voltaje y limitaciones de capacidad en relación con la carga sancionada. West Bengal, el estado en el que se encuentra Calcuta permite la conexión a la red bajo un esquema de medición neta y establece un límite mínimo de capacidad de 5 kW para instalaciones solares conectadas a la red (Awasthy, 2021).

El Ministerio de Energías Nuevas y Renovables de la India (MNRE) ha publicado unas directrices para que los fabricantes de inversores fotovoltaicos sometan sus productos a ensayos y los aprueben laboratorios certificados por la Oficina de Normas de la India (BIS). Estas directrices se aplican a los inversores aislados, conectados a la red e híbridos de hasta 150 kW (Gupta, 2019). Las directrices del MNRE cubren los inversores solares con una tensión CC máxima de 1000/1100V y una tensión CA nominal de 415V. Los

inversores con una tensión nominal de 1100 V CC se someterán a pruebas de 1000 V (Gupta, 2019).

Para el supuesto de 16 paneles con batería, se ha elegido un inversor de la marca Solis, con mayor potencia. El inversor elegido es **Solis S6-EH1P8K-L-PRO**. Las características de este se muestran a continuación en las siguientes tablas. Presenta la opción también de incluir baterías, que como se ha explicado anteriormente, resultan ser muy útiles para el consumo nocturno y en la región de West Bengal por los frecuentes cortes de energía.

S6-EH1P8K-L-PRO

| | |
|---|---|
| *Potencia Max PV MPPT (kW)* | 12,8 |
| *Intensidad Max Cortocircuito (A)* | 36 |
| *Numero MPP Trackers* | 2 |
| *Rango de Voltaje de operación (V)* | 90-520 |
| *Rend. Max (%)* | 96,90% |
| Rated output power (kW) | 8 |

**Baterias**

| | |
|---|---|
| Voltaje (V) | 40-60 |
| Máxima Corriente (A) | 190 |
| Máxima potencia de carga (W) | 8000 |

**Dimensiones**

| | |
|---|---|
| Peso (kg) | 26 |
| Ancho (mm) | 406 |
| Alto (mm) | 560 |
| Profundo (mm) | 215 |

*Tabla 9: Características Técnicas Inversor [Elaboración Propia]*

### 11.3. Protecciones en continua (panel-inversor)

Para garantizar la seguridad y fiabilidad en el circuito de corriente continua de la instalación fotovoltaica, se han implementado las siguientes medidas de protección.

Se instalan fusibles en cada línea de corriente continua (en cada string) tanto en los polos positivos como en los negativos, con el objetivo de proteger el sistema frente a **sobrecargas** y **cortocircuitos** y, eventualmente corriente inversa al grupo de placas. Los fusibles actúan como dispositivos de protección pasiva, desconectando la línea en caso de sobrepasar la corriente nominal permitida, evitando daños en los paneles, los cables y otros componentes del sistema.

La selección de los fusibles se realiza considerando:

- La **corriente máxima esperada** en las líneas.
- La **tensión nominal** de los paneles solares y el sistema en conjunto.

Se incorpora un seccionador en corriente continua antes del inversor, con la finalidad de permitir una desconexión segura del sistema fotovoltaico durante tareas de mantenimiento o en situaciones de emergencia. Este dispositivo garantiza la posibilidad de aislar la parte de CC de la instalación sin necesidad de intervenir directamente en los módulos solares o en el cableado.

El seccionador está dimensionado para soportar:

- La **tensión máxima en circuito abierto (Voc)** de los paneles solares.
- La **corriente máxima de cortocircuito (Icc)** del sistema.

Estas protecciones se han implementado debido a las siguientes razones:

- Seguridad del sistema: los fusibles protegen contra posibles fallos eléctricos, como corriente inversa a paneles, cortocircuitos y sobrecargas, que pueden provocar daños en los paneles solares o el cableado.
- Mantenimiento seguro: El seccionador permite desconectar completamente la sección de corriente continua del inversor, asegurando un entorno seguro para realizar inspecciones, reparaciones o modificaciones en el sistema.

- Cumplimiento normativo: Estas medidas garantizan que la instalación cumpla con las normativas internacionales de seguridad para instalaciones fotovoltaicas.
- Prevención de riesgos: Al tratarse de corriente continua, donde los arcos eléctricos pueden ser más difíciles de extinguir que en corriente alterna, es fundamental contar con dispositivos adecuados para mitigar estos riesgos.

La implementación de fusibles en cada línea de CC y un seccionador antes del inversor proporciona una protección robusta y asegura la operación segura del sistema fotovoltaico.

### 11.4. Protecciones en alterna (inversor-colegio)

Para garantizar la seguridad y fiabilidad de la instalación fotovoltaica en el lado de alterna, se emplean los siguientes dispositivos de protección:

1. **Interruptor diferencial**

El diferencial protege a las personas contra fugas de corriente a tierra, desconectando el circuito si detecta diferencias entre la corriente que entra y la que sale. Esto previene posibles accidentes por contacto indirecto y garantiza la seguridad del sistema. Un diferencial de 30mA monitorea continuamente las corrientes de entrada y salida del circuito. El valor nominal de 30mA es el umbral comúnmente aceptado como seguro para evitar daños al ser humano.

Dado que el sistema utiliza un magnetotérmico monofásico, se selecciona un diferencial monofásico con una corriente nominal acorde a las características del sistema. En este caso se emplea un diferencial monofásico de 80A (Schneider IID 2P 80A 300mA-S AC – A9R15280), al igual que el magnetotérmico instalado, garantizando así una protección adecuada y una coordinación positiva entre ambos dispositivos.

2. **Magnetotérmico (Interruptor automático)**

Este dispositivo protege el sistema contra sobrecargas y cortocircuitos en el circuito de alterna. El valor nominal del magnetotérmico debe ser adecuado a la corriente máxima de salida del inversor y compatible con el tipo de cable utilizado en la instalación.

En sistemas fotovoltaicos, el valor del magnetotérmico generalmente se dimensiona al 125% de la corriente máxima de salida del inversor, lo que permite soportar picos de corriente sin disparos innecesarios. La corriente máxima calculada es de 55,65A y la corriente nominal del magnetotérmico (125%) es de 69,57A. Por tanto, se establece un magnetotérmico monofásico de 80A (Schneider Acti9 C120N, 2P, 80A, C Curva).

3. **Seccionador**

El seccionador permite desconectar manualmente el sistema de la red eléctrica en caso de mantenimiento o emergencia. A diferencia de los magnetotérmicos, no proporciona protección automática contra sobrecargas o cortocircuitos; su función es puramente de maniobra.

Este aparato debe estar diseñado para soportar al menos la corriente máxima de salida del inversor. El dispositivo seleccionado, por tanto, es un seccionador de 40A.

La correcta selección e instalación de estos dispostivos garantiza la protección de las personas, los equipos y la instalación eléctrica frente a condiciones anómalas. Estas medidas son esenciales para cumplir con las normativas de seguridad eléctrica aplicables a instalaciones fotovoltaicas y asegurar un funcionamiento seguro y eficiente.

### 11.5. Pérdidas del sistema

El último paso para calcular la potencia de la instalación es considerar una serie de pérdidas en el sistema por diversos factores. Para este proyecto se han considerado a la hora de calcular el número de paneles, y estos han sido el factor de pérdida por el inversor, factor de pérdida por temperatura y factor de pérdida por orientación.

| | |
|---|---|
| Eficiencia del inversor | 98,00% |
| Perdida por temp. | 90,00% |
| Perdida por orientación | 95,00% |

*Tabla 10: Pérdidas del Sistema [Elaboración Propia]*

## 11.6. Cableado

El dimensionamiento de los cables en corriente continua (DC) y corriente alterna (AC) es fundamental para garantizar la eficiencia y seguridad de la instalación fotovoltaica. Se ha realizado el cálculo considerando las pérdidas de tensión permitidas (1%-3%), las características de la instalación y la normativa vigente.

La sección del cableado se calcula de la siguiente manera:

$$S=(2\cdot L\cdot I\cdot \rho)\Delta V\cdot VS=2\cdot L\cdot I\cdot \rho\Delta V\cdot V$$

- L = Longitud del conductor (m)
- I = Corriente que circula por el conductor (A)
- ρ = Resistividad del conductor (Ω*mm2/m)
- ΔV = Caída de tensión en el conductor (%)
- V = Tensión nominal del sistema (V)

La configuración de los paneles solares consta de 2 strings de 8 paneles en serie, conectados en paralelo o conectados a dos entradas del inversor.

- Corriente por string = 14A
- Corriente total = 28A
- Tensión de salida = 351,20V

El cálculo del cableado se ha realizado, por un lado, para los cables en continua y, por otro, los cables en alterna. Sin embargo, al ser una instalación pequeña, es muy probable que ambas secciones sean iguales.

Para calcular la sección de los paneles en continua es necesario tener en cuenta la información de los paneles.

| | |
|---|---|
| Icc panel | 14 |
| Vsistema | 351,20 |
| Altura edificio (m) | 10 |
| Distancia al inversor | 2 |
| Distancia paneles | 25 |

*Tabla 11: Información de los panales para el cableado [Elaboración Propia]*

En la siguiente tabla, se muestran las características que se han establecido para poder realizar el cálculo de la sección.

| | |
|---|---|
| Factor de seguridad | 1,25 |
| Longitud cable | 49 |
| Caida de tensión max | 2,00% |
| ρ cobre (Ω·mm2/m) | 0,0175 |

*Tabla 12: Características para el cálculo de la sección [Elaboración Propia]*

Por tanto, con los datos mostrados en las tablas anteriores y el uso de la fórmula del cálculo de la sección, se llega a la conclusión de que dicha sección es de **6mm2**.

El cableado en alterna corresponde a la conexión entre el **inversor** y el **cuadro de protecciones**. La corriente en alterna se ha calculado en función de la potencia de salida del inversor y la tensión de trabajo.

Con un factor de potencia de 0,8 y misma caída de tensión, la sección del cable es de **6mm2**.

## 11.7. Soportes de los paneles

El sistema de soporte para la instalación fotovoltaica ha sido diseñado para garantizar la estabilidad, durabilidad y eficiencia de los paneles solares sobre el tejado plano del colegio. Los paneles se instalarán con una inclinación de 28 grados orientados hacia el sur, lo que optimiza la captación de irradiación solar teniendo en cuenta la latitud de Calcuta, maximizando así el rendimiento tanto en verano como en invierno y minimizando las sombras proyectadas entre los paneles.

El soporte estará fabricado con aluminio, seleccionado por su alta resistencia a la corrosión y su ligereza, lo que facilita su manejo e instalación. Aunque el acero galvanizado puede soportar mayores cargas mecánicas, el aluminio se ha considerado más adecuado en este caso debido a su durabilidad frente a condiciones ambientales adversas y a su capacidad natural para prevenir la corrosión intergalvánica, eliminando la necesidad de aislantes eléctricos entre metales. Además, el aluminio proporciona suficiente robustez para resistir los vientos fuertes característicos de la zona y ofrece una solución más sostenible gracias a su fácil reciclaje. Esta elección asegura estabilidad y longevidad del sistema de soporte, maximizando la eficiencia de la instalación fotovoltaica en el tejado del colegio.

Para preservar la integridad del tejado, se ha optado por un sistema de soporte con lastre en lugar de perforaciones. Este enfoque elimina el riesgo de filtraciones de agua, protege la impermeabilidad del tejado y permite una distribución uniforme de la carga, asegurando la estabilidad de los paneles sin necesidad de anclajes invasivos. Además, este sistema proporciona flexibilidad en caso de que se requiera modificar o reubicar la instalación en el futuro.

El diseño del lastre ha sido dimensionado específicamente para compensar el efecto vela que generan los paneles solares frente a vientos extremos, teniendo en cuenta las condiciones meteorológicas locales características de Calcuta. Para ello, se ha calculado la fuerza ejercida por el viento sobre las superficie inclinada de los paneles, asegurando

que el peso del lastre sea suficiente para mantener la instalación estable sin comprometer la estructura del tejado.

El diseño también considera la resistencia al viento, garantizando la estabilidad de los paneles incluso en condiciones adversas. Se han realizado cálculos estructurales que contemplan las velocidades máximas de viento en la región, la inclinación de los paneles para reducir la resistencia aerodinámica y el peso del lastre para evitar desplazamientos. Asimismo, se incorporarán elementos aerodinámicos adicionales que minimizan las fuerzas ejercidas por el viento y reducen el riesgo de daños estructurales.

En resumen, el sistema de soporte combina materiales duraderos, un diseño adaptado a las condiciones climáticas locales y una instalación no invasiva que protege la estructura del tejado, asegurando la eficiencia y seguridad de la instalación fotovoltaica a largo plazo en un entorno crítico como un colegio.

En la siguiente imagen, Figura 29, se muestran las medidas del soporte seleccionado.

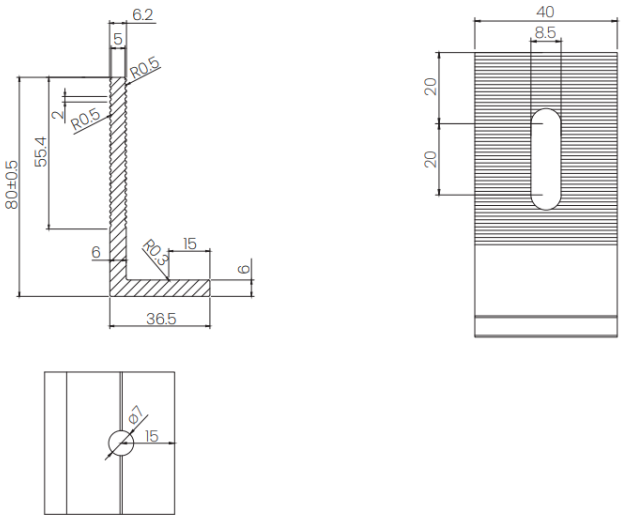



*Figura 29: Medidas Soporte [Ficha Técnica]*

## 12. VENTAJAS DE LA CONFIGURACIÓN FINAL DEL SISTEMA

La configuración propuesta para este sistema solar en el colegio de Calcuta combina eficiencia, seguridad y adaptabilidad a las condiciones específicas del lugar.

La configuración de 2 strings en paralelo, cada uno con 8 paneles en serie, permite una tensión más alta por string (al sumar los voltajes de los paneles en serie), reduciendo las pérdidas de energía en el cableado. La conexión en paralelo de los strings garantiza un mejor rendimiento en caso de sombras parciales o diferencias de irradiación entre los paneles, ya que cada string determina su MPPT de manera independiente.

Los fusibles en cada línea protegen al sistema de sobrecorrientes causadas por fallos en los paneles o cables, el seccionador en continua facilita la desconexión segura del sistema durante tareas de mantenimiento o en caso de emergencia. Estas protecciones garantizan la seguridad del sistema al minimizar riesgos de fallos eléctricos en la etapa de corriente continua.

Por otro lado, el magnetotérmico evita daños en el sistema al proteger contra sobrecargas y cortocircuitos en la etapa alterna. El interruptor diferencial proporciona seguridad adicional al proteger a las personas contra fugas de corriente a tierra. El seccionador en alterna permite desconectar el sistema de forma manual en caso de trabajos de mantenimiento o situaciones de emergencia. Todas estas medidas cumplen con estándares de seguridad eléctrica, ofreciendo tranquilidad a los usuarios del sistema.

Las dos baterías permiten un uso más eficiente de la energía generada, almacenando el excedente y reduciendo la dependencia de la red eléctrica. Estas baterías no solo contribuyen a la estabilidad del sistema durante picos de demanda o variaciones en la generación solar, sino que también están diseñadas para garantizar el suministro energético durante la noche, proporcionando una fuente confiable para el consumo nocturno.

Además, el sistema está equipado con un grupo electrógeno de respaldo con arraque automático. Este se activa en función de una señal emitida por el inversor, que detecta niveles bajos de carga en las baterías y la ausencia de suministro eléctrico desde la red. Esta solución asegura un suministro continuo de energía, incluso en situaciones de emergencia, mejorando la resiliencia ante posibles interrupciones prolongadas.

El inversor seleccionado combina alta eficiencia y compatibilidad con baterías, y es capaz de gestionar la energía de los paneles, las baterías, el grupo electrógeno y la red eléctrica, maximizando el aprovechamiento del sistema en cualquier circunstancia.

Las ventajas globales del sistema son las siguientes:

1. Eficiencia y estabilidad: la combinación de protecciones, almacenamiento en baterías y el diseño de strings asegura un rendimiento óptimo y confiable.
2. Seguridad: la implementación de protecciones en continua y en alterna reduce riesgos de fallos eléctricos y garantiza un funcionamiento seguro para los usuarios.
3. Adaptabilidad: la configuración puede integrarse con la red eléctrica en caso de futuras necesidades, permitiendo opciones como el Net Metering.
4. Sostenibilidad: el sistema contribuye a la reducción de emisiones de CO2 al aprovechar una fuente de energía limpia y renovable.
5. Sin coste de combustible
6. Muy bajo nivel de mantenimiento requerido

## 13. REGULACIONES

India lidera un cambio significativo en su sector energético mediante estrategias y políticas de transición. Con un enfoque en la sostenibilidad, promueve la energía limpia y prácticas eficientes. Sus estrategias incluyen la integración de energías renovables, electrificación y redes inteligentes, demostrando su compromiso con el crecimiento económico y la responsabilidad ambiental (Thompson, 2024).

El panorama energético de India enfrenta desafíos y oportunidades mientras busca satisfacer sus necesidades crecientes, abordar preocupaciones ambientales y garantizar la seguridad energética. Como una de las economías de más rápido crecimiento, está viendo un aumento en la demanda de energía, aún dependiente del carbón. Sin embargo, está avanzando hacia las energías renovable gracias a políticas ambiciosas para diversificar su cartera energética (Thompson, 2024).

- Al 30 de noviembre de 2021, la capacidad instalada total de la India es de 392.017 GW, de los cuales el 60 % proviene de combustibles fósiles y el 26 % de fuentes de energía renovable (ER).

- Después de la COP-26, India acordó reducir gradualmente las plantas alimentadas con carbón para alcanzar emisiones netas cero para 2070, y la generación de energía contribuirá con el 40% de las emisiones totales.
- India necesita aumentar la capacidad renovable, invertir en sistemas de almacenamiento de energía y mejorar la infraestructura de la red para enfrentar estos desafíos.

El sector de energías renovables en India ha crecido notablemente, representando el 10,7% de la generación total en 2020-21. Aunque el carbón sigue predominando con el 71% de la energía, hay un creciente énfasis en la energía solar y eólica. Iniciativas gubernamentales como la Misión Solar Nacional han atraído inversiones y ampliado la capacidad. Sin embargo, persisten desafíos en la integración de la red y la intermitencia (Thompson, 2024).

La Política Nacional de Energía solar de India, lanzada en 2010 con la Jawaharlal Nehru National Solar Mission, busca posicionar al país como líder mundial en energía solar, con una meta de 100GW de capacidad instalada para 2022 (Ministry of New and Renewable Energy, s.f.). Aunque no se logró este objetivo en el plazo previsto, la India ha realizado avances significativos en la expansión de su capacidad de energía solar. En marzo de 2024, la capacidad solar acumulada de la India alcanzó los 82 GW, representando el 18,5% de la capacidad total instalada de energía del país y el 43% de la capacidad total instalada de energía renovable (Nuevas Energías, 2024). En el primer trimestre de 2024, la India añadió más de 10 GW de capacidad solar, marcando la instalación trimestral más alta hasta la fecha (DS New Energy, 2024). En diciembre de 2024, se ha informado que la capacidad solar instalada en la India ha aumentado un 30,2% en comparación con el año anterior, alcanzando los 94,17 GW (Diario Octubre, 2024). Aunque la meta de 100 GW para 2022 no se cumplió en el tiempo establecido, la India sigue expandiendo su capacidad de energía solar, acercándose progresivamente a este objetivo y demostrando un compromiso sostenido con la energía renovable.

Las regulaciones de Conexión a la Red en India, establecidas por la Central Electricity Authority (CEA), determinan los estándares técnicos y de seguridad para conectar

plantas solares a la red. Las plantas deben cumplir con las normativas de calidad de energía y requisitos de medición de la CEA. Además, muchos estados han adoptado políticas de medición neta, permitiendo a los propietarios de sistemas solares vender el exceso de electricidad generada a la red pública (Ministry of New and Renewable Energy, s.f.).

Para los Permisos de Construcción y Licencias de proyectos solares en India, es necesario obtener aprobaciones de las autoridades de desarrollo locales según el tamaño y ubicación del proyecto. Las comisiones reguladoras de electricidad estatales (SERCs) emiten regulaciones específicas, siendo crucial consultar la SERC de Bengala Occidental para proyectos en Calcuta. En cuanto a incentivos y subsidios, el gobierno central ofrece subsidios y financiación a través del Ministerio de Energías Nuevas y Renovables, mientras que algunos estados, como Bengala Occidental, también ofrecen incentivos adicionales (Ministry of New and Renewable Energy, s.f.).

Las normas de Seguridad y Calidad en India exigen que todos los equipos solares cumplan con las especificaciones técnicas y estándares de seguridad del Bureau of Indian Standards (BIS) y las normativas locales de seguridad contra incendios (Ministry of New and Renewable Energy, s.f.).

El procedimiento general para obtener los permisos es el siguiente:

1. **Preparación del Proyecto**: Realiza estudios preliminares y prepara un plan detallado del proyecto.
2. **Solicitud de Permisos**: Presenta solicitudes a las autoridades pertinentes (development authority, SERC, CEA) .
3. **Revisión y Aprobación**: Las autoridades revisarán tu solicitud y pueden requerir información adicional o modificaciones .
4. **Instalación y Supervisión**: Una vez aprobados, procede con la instalación bajo la supervisión de un ingeniero certificado .
5. **Inspección y Conexión a la Red**: Después de la instalación, la autoridad local inspeccionará el sistema y, si cumple con todas las normativas, autorizará la conexión a la red .

En Bengala Occidental, incluyendo Calcuta, los propietarios de sistemas fotovoltaicos pueden vender el exceso de electricidad a la red pública gracias a la política de Net Metering. La Comisión Reguladora de Electricidad del estado (WBERC) ha establecido regulaciones para conectar con estos sistemas solares a la red y permitir la venta del excedente de energía generada (WBERC, s.f.).

En el contexto de sistemas fotovoltaicos conectados a la red con Net Metering, hay un límite máximo para la capacidad del sistema, dependiendo del tipo de consumidor y del transformador. Se instala un medidor bidireccional que registra tanto la electricidad consumida generada como la generada y vertida a la red. El exceso de energía se convierte en créditos para compensar el consumo futuro. Al final de cada período de facturación, se compara la energía inyectada con la consumida. El excedente se lleva como crédito para la siguiente factura, promoviendo así la eficiencia energética y el uso de energías renovables (WBERC, s.f.).

# 14. ANÁLISIS FINANCIERO

En este apartado se ha llevado a cabo el análisis económico de la instalación, pero antes se ha llevado a cabo el estudio de los precios de la luz en Calcuta, necesario para estimar la proyección de ingresos y costes de la instalación.

## 14.1. Precios de la Luz

Para poder realizar el análisis financiero de la instalación, es necesario conocer el precio tanto de compra como de venta de la luz. Este es uno de los factores más determinantes para el estudio económico y ver la rentabilidad del proyecto.

En India, la factura de electricidad también se compone de dos conceptos principales: la potencia contratada (o cargo por demanda) y a energía consumida. La potencia contratada es un importe fijo basado en la potencia eléctrica máxima que el consumidor pueda utilizar, mientras que el costo de la energía consumida es un importe variable que depende de la cantidad de electricidad utilizada y del precio por unidad de energía (kWh).

La instalación fotovoltaica proyectada, permitirá reducir mucho la potencia contratada, eliminando una parte importante del fijo de la factura eléctrica al reducir, también proporcionalmente, los impuestos que la cargan.

#### 14.1.1. Tarifas en India

En India los precios de electricidad varían dependiendo del estado, la categoría del consumidor (doméstico, comercial, industrial...) y el tipo de tarifa acordada. Existen principalmente dos tipos de sistemas tarifarios:

1. **Tarifas Fijas (Fixed Tariffs):**

En este caso, el precio por kWh se establece de manera fija según las políticas estatales o acuerdos específicos con las empresas distribuidoras. Estas tarifas son más comunes para consumidores domésticos y comerciales pequeños.

2. **Tarifas variables y Ajustadas (Time-of-Day Pricing):**

Algunas distribuidoras implementan tarifas variables que dependen de la hora del día (pico, valle, normal), incentivando el uso de energía durante horas de menor demanda. Esto afecta a consumidores industriales y grandes consumidores comerciales.

#### 14.1.2. Compra y venta de electricidad

En India, el sistema eléctrico está gestionado por la Autoridad Central de Electricidad (CEA), con regulaciones específicas para cada estado a través de sus comisiones reguladoras (State Electricity Regulatory Commissions, SERCs). El proceso incluye:

1. Compra de electricidad:

- Los consumidores compran electricidad directamente de las distribuidoras estatales o privadas
- En Calcuta, la electricidad es gestionada principalmente por la West Bengal State Electricity Distribution Company Limited (WBSEDCL), con tarifas que dependen del uso y las políticas de subsidios locales.

2. Venta de electricidad

- En el caso de instalaciones solares con excedentes, el Net Metering es una opción relevante en India. Este sistema permite a los consumidores inyectar a la red energía excedente generada por el sistema solar, compensándola con facturas.
- En lugar de recibir un pago directo por los excedentes, os consumidores suelen obtener créditos que se descuentan de su consumo eléctrico futuro, bajo las normas locales.

Toda esta información se ha recogido del documento oficial acerca de la electricidad en la India (Understanding Solar Net Metering for Consumers in India, 2023).

#### 14.1.3. Indian Energy Exchange (IEX)

Este mercado opera subastas para ajustar la oferta y la demanda de energía, estableciendo precios para periodos horarios en función de las fuentes de generación disponibles. Las energías renovables, como la solar y la eólica, tienen prioridad en el despacho energético debido a políticas que favorecen la transición energética. Sin embargo, el costo final de la electricidad también está influenciado por fuentes de generación más costosas, como plantas térmicas basadas en carbón o gas (IEX, s.f.).

### 14.2. Precios de la luz de años anteriores

Para realizar un estudio sobre la evolución del precio de la electricidad en los próximos años, indispensable para el análisis financiero del proyecto, se ha consultado la página oficial de estadística de la India. En este análisis se ha examinado la variación del Índice de Precios de Consumo (IPC) relacionado con el petróleo y el gas (Gov).

El precio de la luz está directamente influenciado por factores económicos como la inflación y el costo de las fuentes de energía primaria, como el petróleo y el gas. Estos son fundamentales en muchas matrices energéticas, especialmente en países como la India, donde los combustibles fósiles aún desempeñan un papel importante en la generación de electricidad.

Conocer la tendencia histórica de los precios del petróleo y gas permite estimar cómo podrían evolucionar los precios de la electricidad. Esto es esencial para evaluar la viabilidad económica y el Retorno de Inversión (ROI) del proyecto. Además, la variación

del IPC refleja el comportamiento de los precios en el tiempo, lo que permite ajustar los ingresos esperados por la venta de excedentes o el ahorro generado al reducir la dependencia de la red.

Por ello, se muestra a continuación en la figura 30 dicha variación.

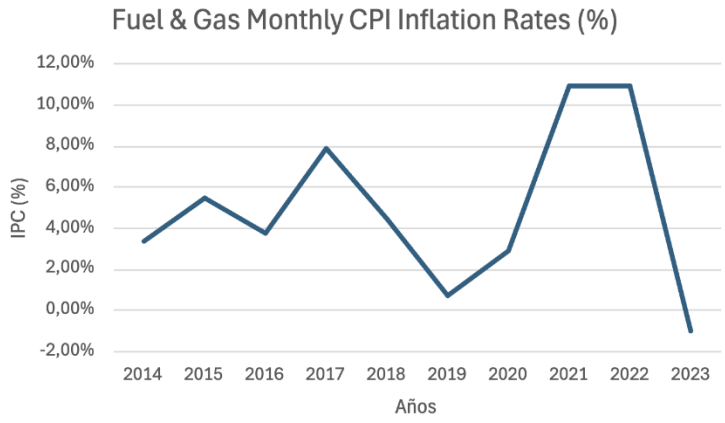



*Figura 30: Variación del Petróleo y Gas [Elaboración Propia]*

### 14.3. Estimación de la variación del IPC en los siguientes años

Para la estimación de la variación de los precios en los años siguientes, se han establecido tres escenarios: pesimista, normal, optimista. Se ha tomado como base para el 2024, una ratio de inflación de 4,63%.

Para el escenario 1, se asume que las tasas de incremento aumentan gradualmente debido a factores como: escasez de recursos, conflictos geopolíticos y falta de implementación efectiva de energías renovables. Se parte del valor inicial de 7,5% en 2024 y se añade 0,5% cada año.

Para el escenario 2, se asume un crecimiento más estable del índice, reflejando una recuperación económica progresiva y un avance en políticas energéticas renovables. Se parte del valor inicial de 4,63% en 2024 y se añade 0,1% cada año.

Por último, para el escenario 3, se asume un fuerte compromiso con las energías renovables, nuevas inversiones en infraestructuras energético y precios más competitivos gracias a políticas efectivas. Se parte del valor inicial de 2,5% en 2024 y se añade 0% cada año.

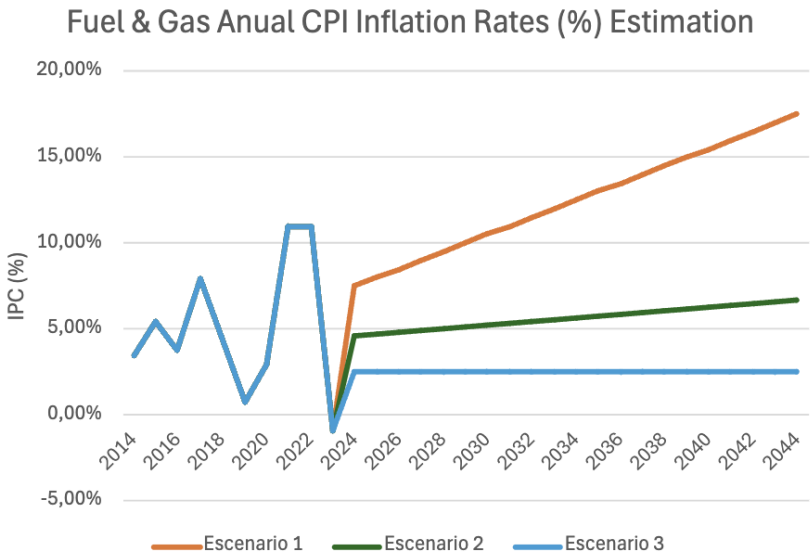



*Figura 31: Estimación próximos años Petróleo y Gas [Elaboración Propia]*

## 14.4. Análisis Económico

Una vez establecidos los tres escenarios y proyectada la variación del petróleo y gas IPC anual, se ha procedido con el análisis económico.

Se han distinguido los tres escenarios, teniendo en cuenta que no hay excedentes, porque la producción extra se almacenará en las baterías.

### 14.4.1. Análisis Económico - Escenario 1

En este apartado, se presenta el análisis económico del proyecto para el Escenario 1. Los resultados han sido obtenidos para un horizonte temporal de 20 años, considerando los costos, ingresos y flujos netos asociados al sistema fotovoltaico. A continuación, se detalla el enfoque metodológico y los resultados obtenidos.

Con respecto al consumo y la generación, se ha estimado un consumo anual de **13.112,16 kWh** basado en las necesidades energéticas del colegio. La generación de energía mediante el sistema fotovoltaico cubre completamente esta demanda, alcanzando una generación anual de **15.648,57 kWh**. Esto significa que, en este escenario, el colegio no necesita recurrir a la red eléctrica para abastecerse de energía.

Para proyectar los ingresos y gastos energéticos a lo largo de 20 años, se han considerado escenarios de inflación (0,5% incremento cada año) en los precios de la electricidad y los excedentes. El precio de la energía adquirida de la red comienza en **0,0805 €/kWh** en el

año 1, con incrementos anuales hasta alcanzar **0,7505 €/kWh** en el año 20. Para los excedentes, se considera una tarifa inicial de **0,0349 €/kWh**, que sigue una tendencia similar de crecimiento.

Los ingresos por autoconsumo representan el ahorro generado al evitar la compra de energía de la red. Estos ingresos aumentan progresivamente desde **1.055,79 €** en el primer año hasta **9.840,78 €** en el año 20, en línea con el crecimiento del precio de la electricidad. En este escenario, no se generan ingresos por excedentes debido a que toda la energía sobrante se almacenará en las baterías.

Los costes incluyen el mantenimiento anual, con un valor constante de **104,72 €**, y la sustitución del inversor, planificada en los años 8 y 15, con un costo de **1.907,16 €** en cada reposición. El coste inicial de los componentes del sistema es de **8.347,26 €**, que se refleja íntegramente en el primer año. Además, también se tiene en cuenta el cambio de las baterías y algunos materiales como algún magnetotérmico o diferencial que se estropee cada 10 años. Esto último se puede sustituir por un 2% del coste total de mantenimiento asociado a equipos, inversor más las baterías.

En el primer año, el flujo neto es de **-7.668,64 €**, debido a los altos costos iniciales del sistema. A partir del año 8, se observa un incremento significativo en los flujos positivos debido al aumento progresivo de los ingresos por autoconsumo y la reducción de los costos operativos. Para el año 20, el flujo neto acumulado alcanza los **52.596,54 €**, demostrando la rentabilidad del sistema en el largo plazo.

Al ser un proyecto social y una instalación para un centro educativo y de acogida a niñas de la calle, es factible conseguir el financiamiento de la inversión inicial por terceros, con lo que la horquilla de beneficios acumulados estaría entre los 52.596,54€ más la inversión inicial.

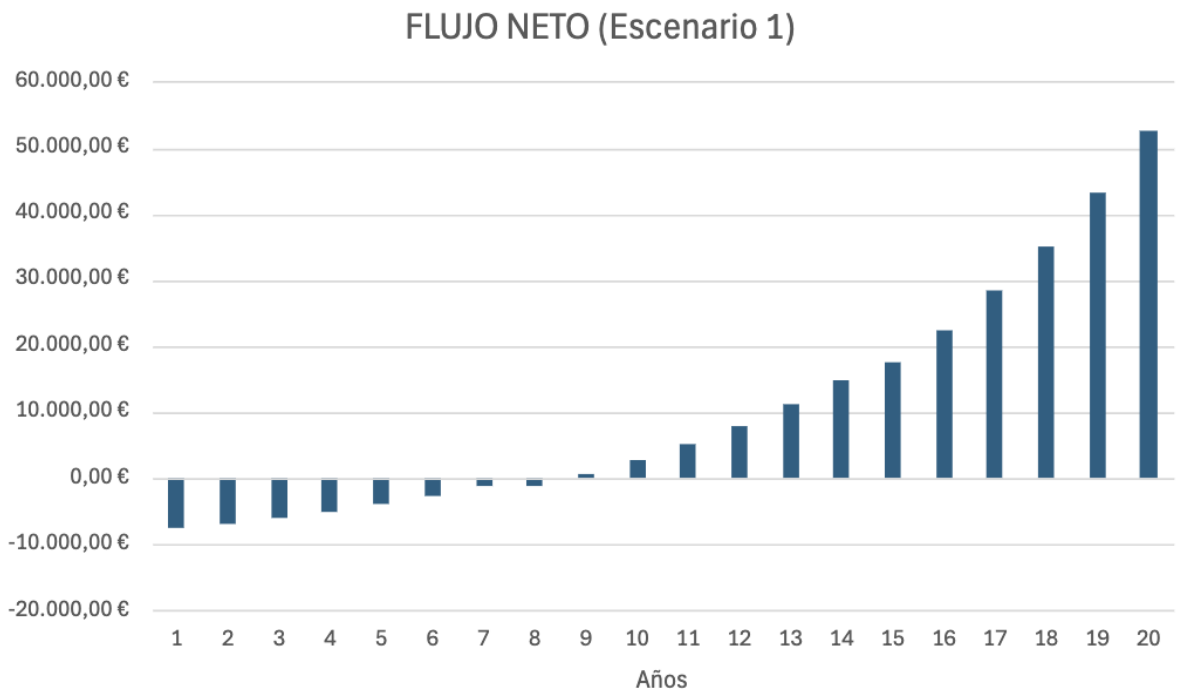



*Figura 32: Flujo Neto - Escenario 1 [Elaboración Propia]*

### 14.4.2. Análisis Económico - Escenario 2

En este apartado, se presenta el análisis económico del proyecto para el Escenario 2. Este análisis se realiza sobre un horizonte de 20 años, considerando las características del consumo energético, los costos del sistema y los flujos netos anuales. A continuación, se detalla el enfoque metodológico y los resultados obtenidos.

El consumo y la generación del sistema es igual que en el escenario 1 y será igual para el escenario 3.

Se ha considerado un incremento progresivo (0,1%) en los precios de la energía adquirida de la red y de los excedentes. El precio inicial de la energía de la red es **0,0805 €/kWh** en el año 1, alcanzando **0,2279 €/kWh** en el año 20. El precio de los excedentes comienza en **0,0349 €/kWh**, pero no aplica en este escenario debido a la ausencia de excedentes.

Los ingresos por autoconsumo reflejan el ahorro generado al evitar la compra de energía de la red. Estos ingresos comienzan en **1.055,79 €** el primer año y aumentan

progresivamente hasta **2.988,31 €** en el año 20, debido al incremento de los precios de la electricidad.

La instalación del sistema fotovoltaico tiene un coste inicial de **8.347,26 €**, reflejado en el año 1. Los costes de mantenimiento son constantes, con un valor anual de **104,72 €**. Se ha planificado en los años 8 y 15 el cambio del inversor, con un coste de **1.907,16 €** cada vez.

El flujo neto en el primer año es de **-7.668,64 €**, debido a la inversión inicial. A partir del año 2, los flujos negativos disminuyen progresivamente debido a los ingresos por autoconsumo, y en el año 11 se logra un flujo acumulado positivo. En el año 20, el flujo neto acumulado alcanza los **17.158,57 €**, mostrando la rentabilidad a largo plazo.

Los ingresos totales generados a lo largo de 20 años suman **39.161,42 €**, mientras que los costos totales ascienden a **22.002,85 €**. Esto refleja un balance neto positivo y una recuperación total de la inversión inicial más los costos operativos.

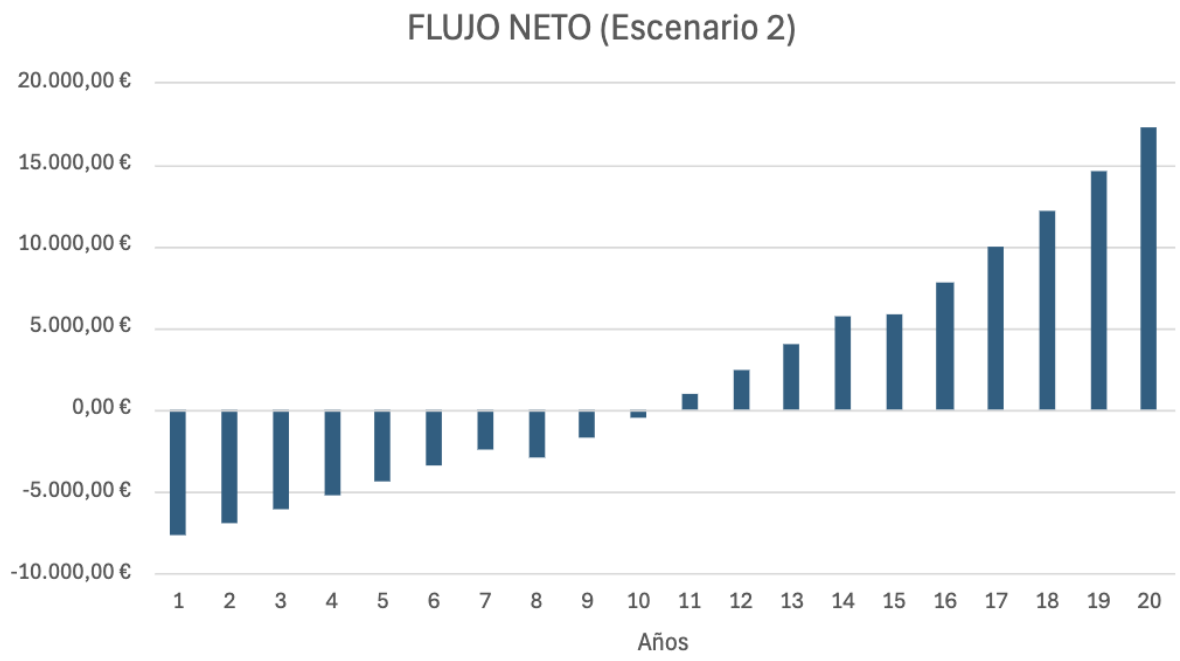



*Figura 33: Flujo Neto - Escenario 2 [Elaboración Propia]*

### 14.4.3. Análisis Económico - Escenario 3

En este apartado, se presenta el análisis económico del proyecto para el Escenario 2. El análisis muestra un desglose detallado de los ingresos por autoconsumo, gastos, y flujo neto para un proyecto solar durante 20 años.

Los ingresos aumentan anualmente debido al incremento en el precio de la electricidad de la red. Esto quiere decir que, al estar utilizando el autoconsumo, el colegio no tiene que comprar a red, por tanto, esto es dinero que se está ahorrando.

Los gastos son como en los dos escenarios anteriores. El flujo neto es negativo en los primeros años debido a los costos iniciales de instalación. A partir del año 12, el proyecto genera flujos netos positivos consistentes, lo que indica un retorno sostenible en el largo plazo.

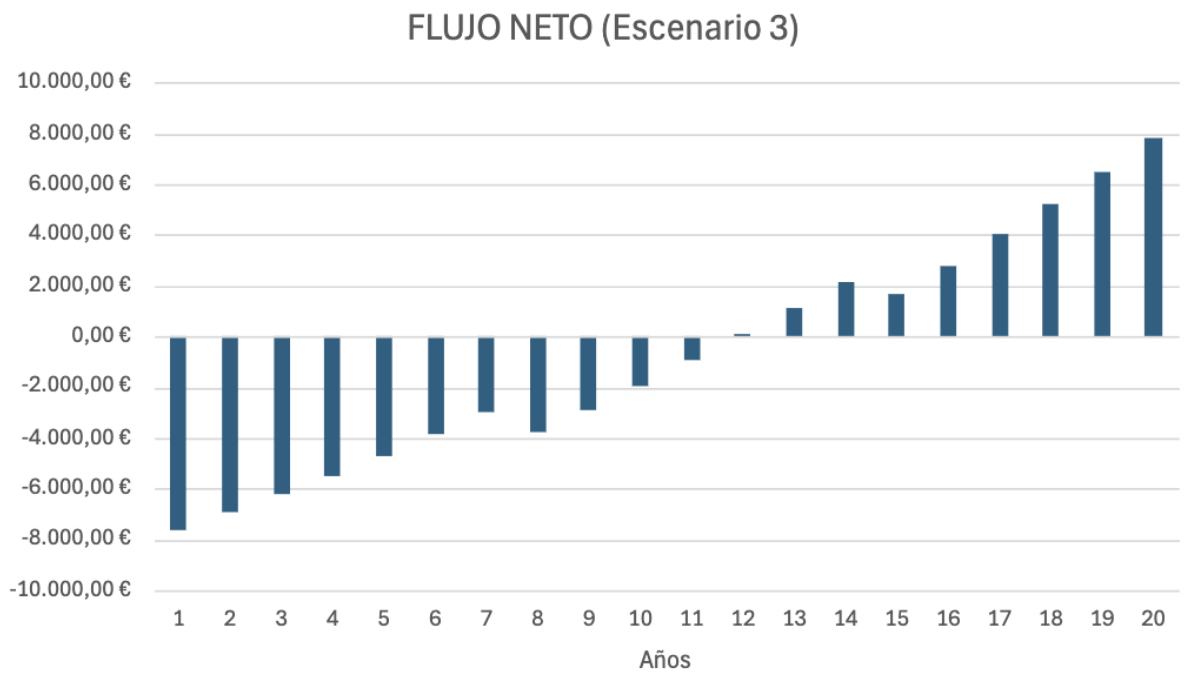



*Figura 34: Flujo Neto - Escenario 3 [Elaboración Propia]*

## 15. FINANCIACIÓN DEL PROYECTO

El financiamiento es un aspecto crucial para la implantación de este proyecto de energía solar en el colegio de Calcuta. Este proyecto no solo busca proveer una fuente sostenible de energía para cubrir las necesidades diarias del colegio, sino también reducir

significativamente las emisiones de $CO_2$ asociadas al consumo energético convencional. Adicionalmente, el impacto social es notable, ya que beneficiará directamente a más de 150 niñas que residen en el colegio, garantizando un entorno más autosuficiente y sostenible. Debido a la naturaleza del proyecto, que abarca tanto impactos sociales como ambientales, existe un abanico de opciones de financiamiento que pueden ser exploradas, desde subvenciones gubernamentales hasta donaciones internacionales y modelos innovadores como el Crowdfunding. Este apartado analiza en detalle las posibles vías de financiamiento y se propone un enfoque híbrido que permita garantizar la viabilidad económica del proyecto.

1. Financiación Gubernamental India

El gobierno de India ha demostrado un fuerte compromiso con la expansión de la energía a nivel nacional, como se refleja en programas como el *PM Surya Gar Muft Bijli Yojana*, que incentiva la instalación de paneles solares en techos. Este programa otorga subsidios directos para cubrir parte del costo inicial de la instalación, haciendo que proyectos como este sean elegibles para recibir apoyo financiero. Según diversas fuentes, el gobierno indio ha destinado fondos significativos para promover la energía solar en instituciones educativas y residenciales, con el objetivo de alcanzar metas ambiciosas en materia de sostenibilidad (India recurre a la energía solar en los tejados para dar electricidad gratuita, 2023).

En la siguiente Figura 35 se muestra la ayuda que ofrece el gobierno indio a las instalaciones fotovoltaicas, según la potencia de la instalación.

**Suitable Rooftop Solar Plant Capacity for households**

| Average Monthly Electricity Consumption (units) | Suitable Rooftop Solar Plant Capacity | Subsidy Support |
|---|---|---|
| 0-150 | 1 – 2 kW | Rs 30,000 to Rs 60,000 |
| 150-300 | 2 – 3 kW | Rs 60,000 to Rs 78,000 |
| >300 | Above 3 kW | Rs 78,000 |

*Figura 35: Ayudas según el tamaño de la instalación [Gobierno Indio]*

Además de este programa, el gobierno ofrece incentivos fiscales y créditos blandos para proyectos de energías renovables, especialmente en áreas donde se busca promover la

autosuficiencia energética. En el caso del colegio, la aplicación a estos programas resulta factible dada la capacidad del sistema solar propuesto (16 paneles) y su impacto positivo en la comunidad local. Por ejemplo, el programa de instalación de paneles solares en techos residenciales y comunitarios busca beneficiar a instituciones como colegios y hospitales, alineándose directamente con los objetivos del presente proyecto (Cómo aprovechar el potencial de la energía solar en los rejados residenciales de la India, 2023).

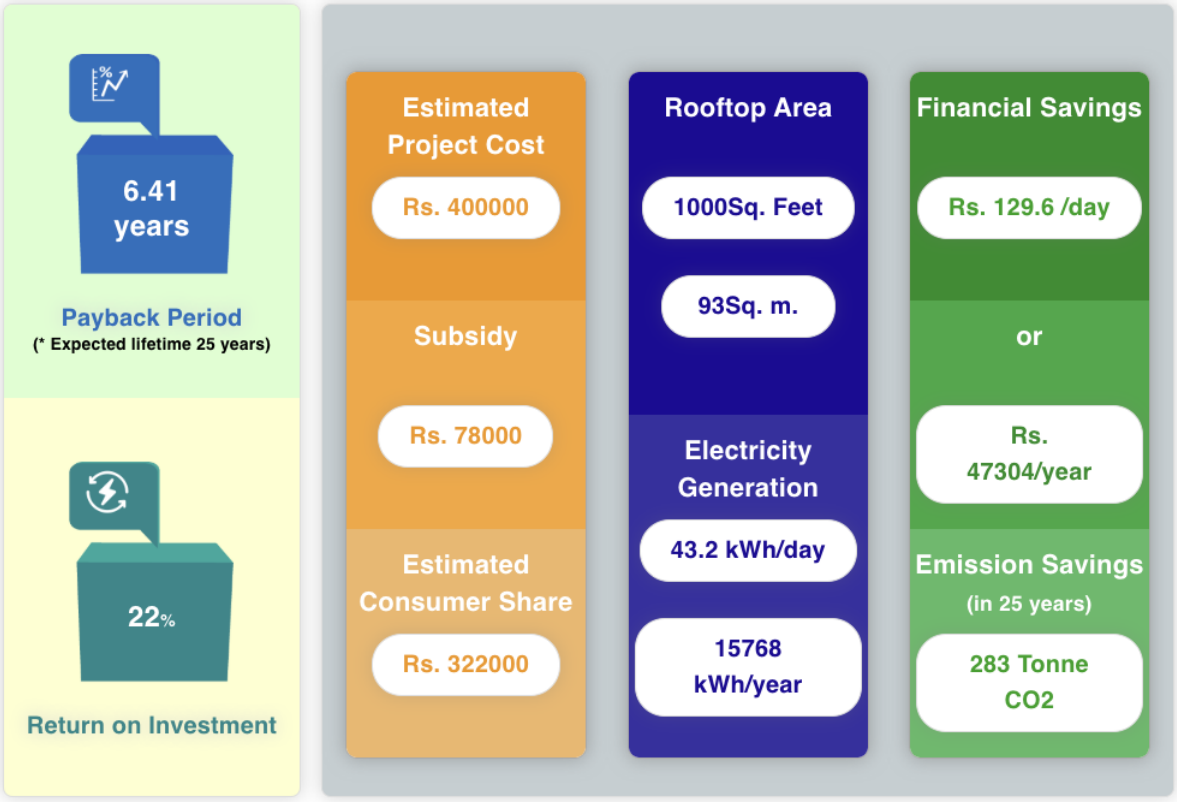



*Figura 36: Ejemplo de Ayudas [Gobierno India]*

Para el proyecto de Calcuta, el programa gubernamental PM Surya Ghar Muft Bijli Yojana puede ser una fuente clave de financiamiento. Basado en datos del programa y la Figura 36, se puede realizar la siguiente adapatación del proyecto:

- Costo estimado del proyecto
  - El costo total para la instalación de 16 paneles solares (600W cada uno) asciende aproximadamente a 400000 Rs (incluye el coste de la instalación completa).
- Subsidio gubernamental

    - Según el esquema del programa, el gobierno proporciona 78000 Rs a aquellos proyectos con una potencia mayor a 3kW.
- Contribución del consumidor
    - Con el subsidio aplicado, el costo restante para el colegio sería de 322000 Rs, lo cual es suficiente para cubrir una parte significativa de la demanda del colegio.

El apoyo del gobierno indio no solo ayuda a mitigar los costos iniciales del proyecto, sino que también refuerza la viabilidad a largo plazo de la transición a energías renovables. En este caso, el colegio no solo se beneficiará económicamente, sino que también contribuirá a un modelo educativo basado en la sostenibilidad ambiental. Esto resulta especialmente importante en el contexto de la India, donde se busca empoderar comunidades rurales y urbanas mediante energía solar, asegurando el acceso a recursos energéticos limpios.

El colegio puede aplicar a este programa siguiendo estos pasos básicos:

- Registro en la plataforma oficial (pmsuryagharyojana.in)
- Verificación técnica (someterse a una evaluación de viabilidad técnica y estructural del techo para confirmar la capacidad de soportar paneles solares)
- Selección de proveedor acreditado (contratar a un instalador registrado bajo el programa para garantizar la calidad de la instalación y la obtención del subsidio)
- Instalación y certificación (realizar la instalación con la supervisión del organismo gubernamental pertinente)
- Activación del subsidio (una vez completada la instalación y verificada por los inspectores, se activa el subsidio y se calcula la cantidad final que el colegio debe cubrir)

2. Financiamiento a través de grandes fundaciones

Varias fundaciones internacionales podrían ser potenciales aliados para este proyecto, ya que comparten intereses en sostenibilidad, educación y reducción de desigualdades. Entre ellas destacan:

- Fundación Bill & Melinda Gates: aunque sus principales esfuerzos están centrados en la salud global, esta fundación tiene un interés creciente en proyectos que promueven soluciones sostenibles para comunidades vulnerables. Presentar este proyecto como un modelo replicable en instituciones educativas podría alinearse con su enfoque de impacto global (Grant Opportunities, 2023). En la Figura 37 se muestra un resumen de aquellas cuestiones en las que han ayudado en el último año.

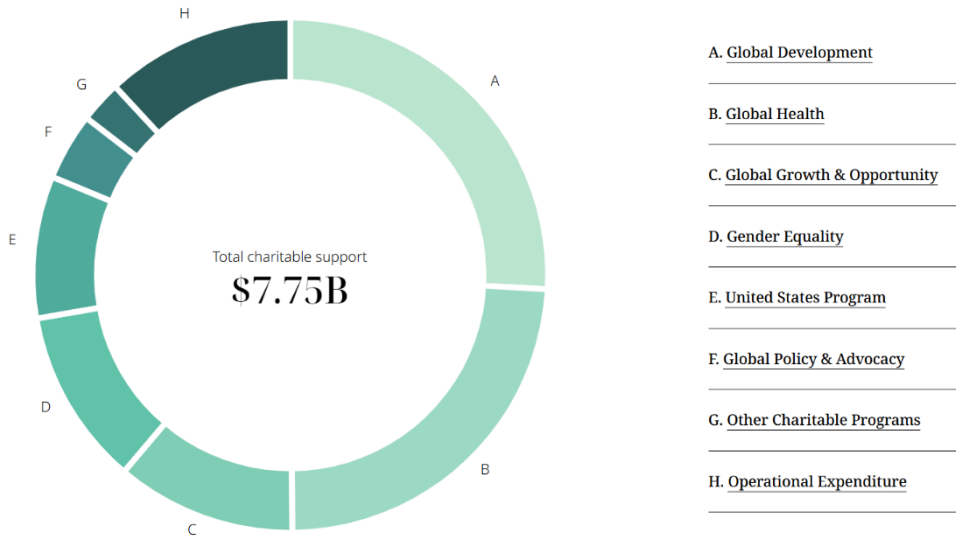



*Figura 37: Ayudas Fundación Gates [Fundación Gates]*

Analizando cada uno de los apartados, este proyecto podría recibir ayudas del apartado de "Global Growth & Opportunity", ya que se centra en crear y escalar innovaciones en el mercado para estimular la inclusividad y el crecimiento económico sostenible.

- Fundación la Caixa: Esta fundación española tiene una larga trayectoria apoyando iniciativas sociales y educativas, especialmente en países en desarrollo. Su programa de cooperación internacional podría ser una vía para solicitar financiamiento (Cooperación Internacional, 2023). La fundación tiene varias vías de actuación, y una de ellas es a través de Alianzas Estratégicas. Este apartado puede incluir la alianza con la Fundación Gates, por ejemplo. Además, en su guía de cooperación, incluyen los siguientes pilares de actuación, alianzas, innovación,

sensibilización y fundraising y transparencia. Utilizan la innovación para el fomento de empleo y reducir las diferencias en el ámbito educativo, lo cual se alinea mucho con los objetivos de este proyecto.

- Fundación March: con un enfoque en proyectos sociales y culturales, esta fundación podría respaldar este tipo de iniciativas por su impacto en la mejora de las condiciones de vida de la comunidad educativa.

El enfoque para solicitar financiamiento a estas organizaciones debe centrarse en el impacto social del proyecto, destacando cómo la provisión de energía solar sostenible en un colegio puede servir como modelo de transformación en comunidades similares.

3. Crowdfunding

Otra metodología viable es la financiación colectiva o crowdfunding, que permite involucrar a una comunidad global de donantes individuales. Plataformas como GoFundMe, Kickstarter y Urbanitae ofrecen un espacio para campañas de recaudación que combinan donaciones pequeñas de miles de personas para alcanzar un objetivo común.

Este método no solo permite recaudar fondos, sino también sensibilizar a una audiencia global sobre la importancia del proyecto. Para maximizar el impacto de la campaña, se podrían incluir vídeos que muestren la situación actual del colegio, testimonios de las niñas y datos concretos sobre la reducción de emisiones de $CO_2$ asociada al proyecto (13221,41 kg/año). Este enfoque emocional, combinado con la explicación clara de los beneficios sociales y ambientales, puede generar un alto apoyo en plataformas digitales.

Un ejemplo exitoso de crowdfunding es el proyecto de la ONG Barefoot College en India, qué recaudó fondos para instalar paneles solares en comunidades rurales. Este tipo de historias inspira a personas a contribuir con iniciativas similares (Barefoot College International, s.f.).

4. Alianzas con el sector privado

El sector privado, a través de sus programas de Responsabilidad Social Corporativa (RSC), representa otra opción clave de financiamiento. Empresas tecnológicas y fabricantes de paneles solares, como Tata Power Solar y Adani Solar en India, podrían estar interesadas en patrocinar o colaborar en la instalación. Esto no solo beneficiará al proyecto, sino también a las empresas al asociarse con una iniciativa que promueve la sostenibilidad y el impacto social.

Además, algunas multinacionales con operaciones en India tienen programas específicos de RSC enfocados en educación y energías renovables. Una estrategia sería identificar empresas que compartan valores similares y presentarles una propuesta de colaboración, destacando los beneficios tanto para la comunidad como para su reputación corporativa.

5. Financiamiento híbrido

Dado el alcance del proyecto, una propuesta viable sería implementar un modelo híbrido de financiamiento que combine varias fuentes, como:

- Subvenciones gubernamentales para cubrir el costo inicia de la instalación.
- Donaciones internacionales, provenientes de fundaciones interesadas en el impacto social del proyecto.
- Crowdfunding, para involucrar a una comunidad global en la recaudación de fondos adicionales.
- RSC del sector privado para completar el presupuesto con colaboraciones estratégicas.

Esta estrategia diversificada no solo garantiza la viabilidad financiera del proyecto, sino que también aumenta la resiliencia ante posibles limitaciones de una sola fuente de financiamiento.

Este proyecto debe ser visto como una inversión en el bienestar de las niñas del colegio, en la sostenibildidad energética y en la lucha contra el cambio climático. Al combinar múltiples fuentes de financiación y enfatizar el impacto social, ambiental y educativo del

proyecto, se incrementa la probabilidad de éxito y se sienta un precedente para futuras iniciativas similares.

## 16. CONSIDERACIONES AMBIENTALES

Por último, se ha llevado a cabo el estudio de la reducción de emisión de CO2 a partir de la instalación de los paneles solares en el colegio. La instalación de paneles solares no solo representa una solución eficiente para cubrir las necesidades energéticas del colegio, sino que también contribuye significativamente a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. En el caso concreto de instalar 16 paneles solares, se ha estimado una producción anual de **16.064,89 kWh**, lo que equivale a una reducción de aproximadamente **13.221,41 kg de $CO_2$ al año**. Esta cifra refleja el impacto positivo de sustituir fuentes de energía convencionales, como las basadas en combustibles fósiles, por fuentes renovables y sostenibles.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos. Los datos se han recopilado de un documento del gobierno indio, del ministerio de energía. El documento se puede encontrar aquí: link

| | |
|---|---|
| **Factor de emisión "average" [ t CO2 / MWh ]** | 0,823 |
| | |
| **16 PANELES** | |
| **Producción de los paneles anual [kWh]** | 16.064,89 |
| **Reducción CO2 (kg/año)** | 13.221,41 |

*Tabla 13: Reducción de emisiones CO2 Instalación [Elaboración Propia]*

El cálculo de la reducción de emisiones es un indicador clave de la sostenibilidad del proyecto. Esta disminución contribuye directamente a mitigar el cambio climático y a cumplir con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), específicamente en lo relacionado con la acción por el clima (ODS 13) y el acceso a energía asequible y no contaminante (ODS 7). Además, en el contexto de Calcuta, una ciudad que enfrenta altos niveles de contaminación, esta medida representa un beneficio significativo tanto para el medio ambiente como para la calidad de vida de la comunidad. La implementación de

este sistema energético también posiciona al colegio como un referente de compromiso ambiental en la región, demostrando que las inversiones en energía solar no solo son económicamente viables, sino también necesarias para avanzar hacia un modelo energético más limpio y responsable.

## 17. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El desarrollo de este proyecto para la instalación de paneles solares en el colegio de Calcuta representa un paso significativo hacia la sostenibilidad y la mejora de las condiciones de vida de las niñas que viven en el colegio. Este proyecto no solo responde a las necesidades energéticas del centro, sino que también aborda problemas estructurales de suministro eléctrico en la región, como los frecuentes apagones, mediante la incorporación de dos baterías de almacenamiento y un grupo electrógeno que garantizarán una fuente de energía estable y confiable.

La producción anual estimada de 16064,89 kWh mediante 16 paneles solares permitirá cubrir una parte importante del consumo energético del colegio, el cual has sido calculado en función de las necesidades diarias de iluminación, ventilación, cocina y otras actividades esenciales para más de 150 niñas. Adicionalmente, esta instalación contribuirá a reducir la huella de carbono en 13221,41 kg de $CO_2$ al año, marcando un avance en la lucha contra el cambio climático en una de las regiones más contaminadas del mundo.

Además, se podría evaluar la posibilidad de integrar una turbina eólica, para un futuro, como complemento al sistema solar, considerando patrones de viento en Calcuta durante los meses de invierno, cuando la generación solar disminuye. Esto diversificaría las fuentes de energía renovable disponibles y aseguraría un suministro más estable durante todo el año. Esto sería una inversión a futuro, ya que no depende del día o la noche.

El impacto del proyecto no se limita al ámbito técnico o ambiental, sino que también tiene profundas implicaciones sociales y educativas. Las niñas del colegio, que ya enfrentan desafíos significativos en su vida diaria, se beneficiarán de un acceso fiable a la electricidad para actividades como el estudio nocturno, la ventilación constante en los meses calurosos y la posible incorporación de tecnología en el aprendizaje. A nivel

comunitario, el colegio se convertirá en un ejemplo de sostenibilidad y un punto de referencia para fomentar el uso de energías renovables en la región.

### 17.1. Recomendaciones

A continuación, se detallan algunas recomendaciones para que el proyecto siga adelante.

- **Maximizar el impacto ambiental y educativo**: Complementar la instalación de paneles solares con programas educativos para que las niñas y la comunidad aprendan sobre energías renovables y su importancia para el medio ambiente. Esto no solo empoderará a las estudiantes, sino que también ampliará el alcance del impacto del proyecto.
- **Incorporar tecnologías complementarias**: Analizar la viabilidad de integrar una turbina eólica como la Liam F1 AMW1500b, que podría complementar la generación solar, especialmente en la temporada de verano (hay más nubosidad y menos generación solar).
- **Buscar apoyo institucional y comunitario**: Aprovechar iniciativas como el programa PM Surya Ghar Muft Bijli Yojana del gobierno indio, así como colaboraciones con organizaciones internacionales como la Fundación Gates, CODESPA o el Fondo OPEC. Esto garantizará la sostenibilidad financiera del proyecto y abrirá nuevas oportunidades para expandir sus beneficios.
- **Monitoreo y mantenimiento**: Implementar un plan de seguimiento y mantenimiento para asegurar que el sistema funcione de manera óptima durante su vida útil. Esto incluye capacitar al personal local para manejar pequeños inconvenientes y realizar revisiones periódicas, así como monitorear la producción para identificar la posible aparición de “señales” de futuros fallos del sistema.
- **Extender el impacto**: Con el tiempo, explorar la posibilidad de expandir el sistema para cubrir más necesidades energéticas del colegio o incluso generar excedentes que puedan ser vendidos a la red, ayudando a financiar otros proyectos educativos o sociales.

Esta iniciativa no solo es un esfuerzo técnico para proporcionar energía limpia y sostenible al colegio, sino también una iniciativa transformadora con un profundo

impacto social y educativo. En el futuro, se plantea establecer colaboración con la Escuela Técnica Superior de Ingeniería ICAI, con el propósito de promover este proyecto como un ejemplo de "Ingeniería con Propósito". Esta colaboración buscaría involucrar a ingenieros de ICAI en actividades formativas dirigidas a las niñas del colegio, con el objetivo de capacitarlas en el mantenimiento de la instalación solar. Adicionalmente, se podrían organizar conferencias y seminarios sobre energías renovables, destacando su importancia y evolución en el contexto actual. La incorporación de paneles solares, baterías de almacenamiento y, potencialmente, una turbina eólica, refleja un enfoque integral para abordar los desafíos energéticos y climáticos de la región.

Mi experiencia como voluntaria en el colegio de Calcuta me ha permitido comprender de cerca las necesidades y aspiraciones de las niñas que viven allí. Este proyecto no solo busca mejorar sus condiciones de vida, sino también ofrecerles oportunidades de aprendizaje y empoderamiento a través de un modelo de sostenibilidad que puede replicarse en otros contextos similares.

## Bibliografía

(s.f.). Obtenido de https://mospi.gov.in/dataviz

*Barefoot College International*. (s.f.). Obtenido de https://www.barefootcollege.org/a-beginners-guide-to-barefoot-college-international/

*Calcuta, India*. (24 de 08 de 2010). Obtenido de https://mundodeciudades.wordpress.com/category/india/calcuta/

*Cómo aprovechar el potencial de la energía solar en los rejados residenciales de la India*. (2023). Obtenido de https://elperiodicodelaenergia.com/

*Cooperación Internacional*. (2023). Obtenido de https://fundacionlacaixa.org/es/cooperacion-internacional

*Diario Octubre*. (15 de Diciembre de 2024). Obtenido de https://diario-octubre.com/2024/12/15/india-incrementa-su-capacidad-de-energia-renovable-en-un-142/

*DS New Energy*. (29 de Mayo de 2024). Obtenido de https://www.dsisolar.com/info/india-record-10-gw-solar-capacity-added-in-q1-96051634.html

*Fundación Kambia*. (s.f.). Obtenido de https://www.fundacionkambia.org/

*Grant Opportunities*. (2023). Obtenido de https://www.gatesfoundation.org/about/how-we-work/grant-opportunities

*IEX*. (s.f.). Obtenido de https://www.iexindia.com/

*India recurre a la energía solar en los tejados para dar electricidad gratuita*. (2023). Obtenido de https://lacarabuenadelmundo.com/

*Meteoblue*. (s.f.). Obtenido de https://www.meteoblue.com/en/weather/historyclimate/climatemodelled/kolkata_india_1275004

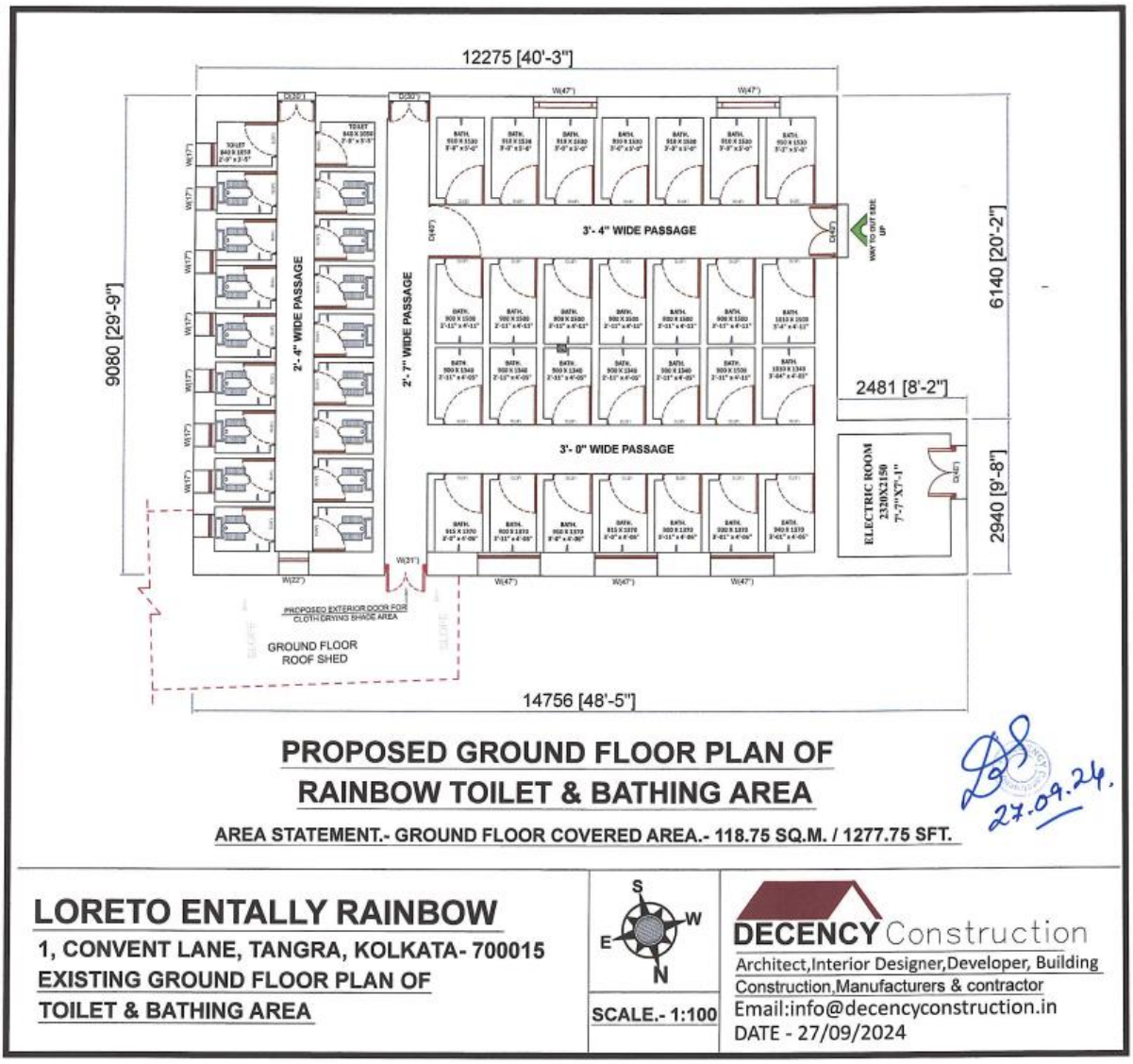
*Nuevas Energías*. (29 de Mayo de 2024). Obtenido de https://inspenet.com/noticias/india-supero-record-de-10-gw-energia-solar

*Understanding Solar Net Metering for Consumers in India*. (31 de Mayo de 2023). Obtenido de https://cdn.cseindia.org/attachments/0.52095900_1685525460_understanding-solar-net-metering-for-consumers-in-india.pdf

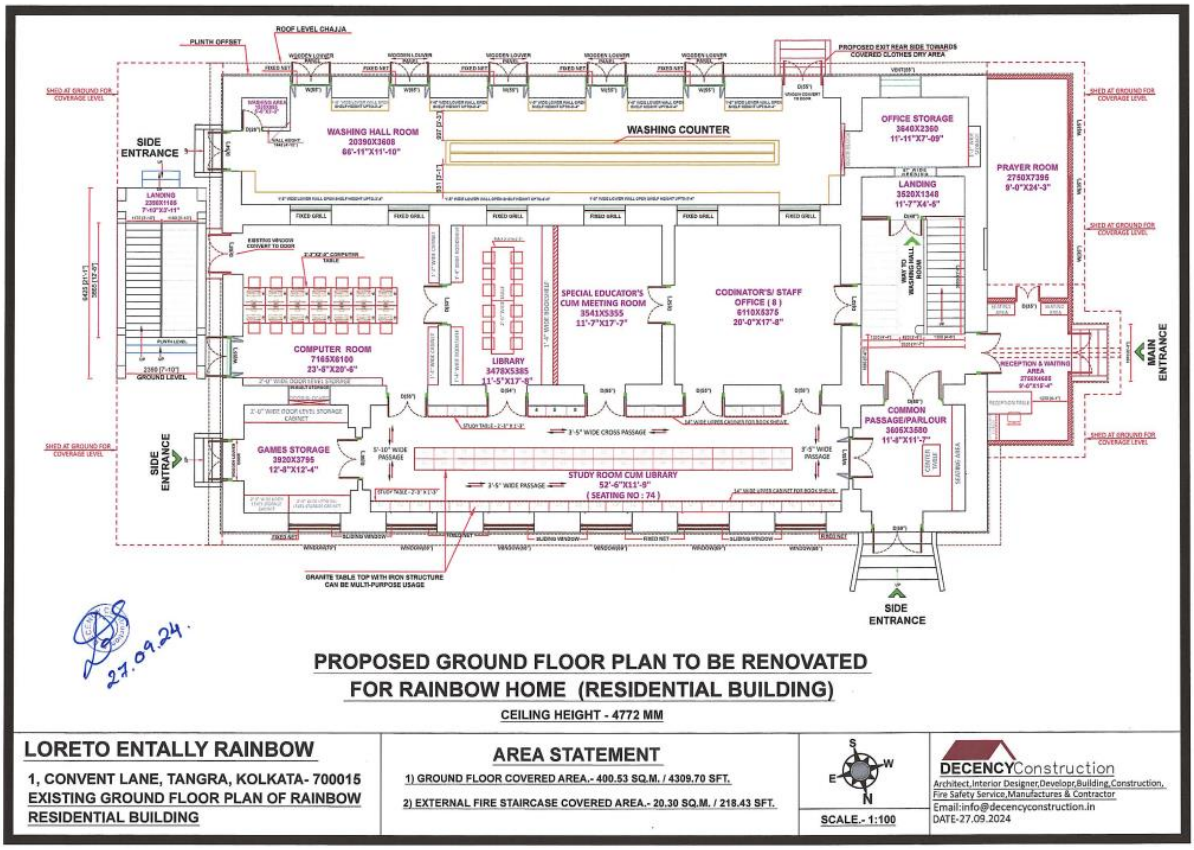
# ANEXO 1: Fotos del Colegio

# ANEXO 2: Planos Colegio

## Zona de Baño




## Rainbow Home




## PROPOSED GROUND FLOOR PLAN TO BE RENOVATED FOR RAINBOW HOME (RESIDENTIAL BUILDING)

CEILING HEIGHT - 4772 MM

**LORETO ENTALLY RAINBOW**

1, CONVENT LANE, TANGRA, KOLKATA- 700015
EXISTING GROUND FLOOR PLAN OF RAINBOW RESIDENTIAL BUILDING

**AREA STATEMENT**

1) GROUND FLOOR COVERED AREA.- 400.53 SQ.M. / 4309.70 SFT.

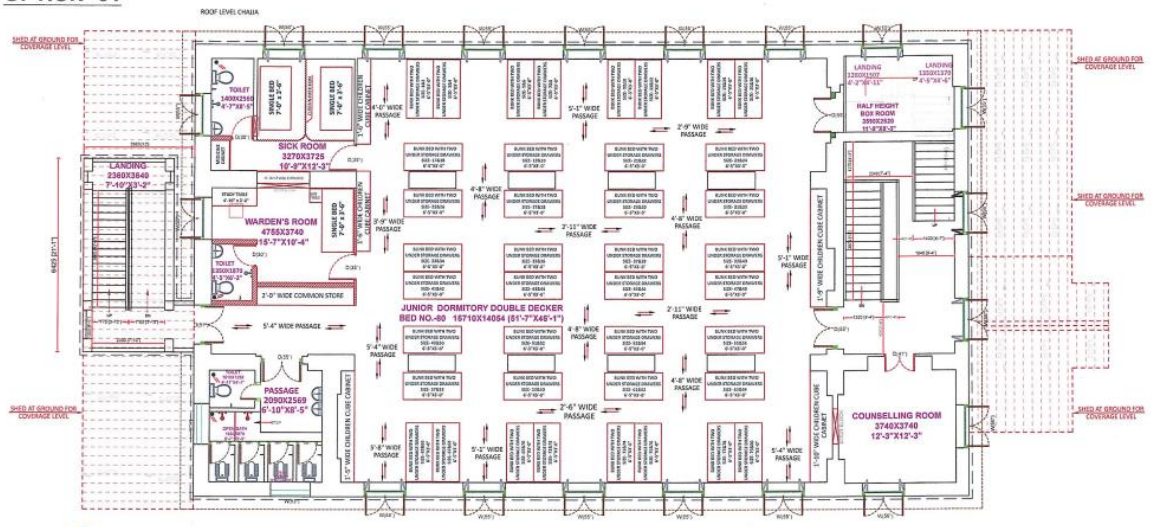
2) EXTERNAL FIRE STAIRCASE COVERED AREA.- 20.30 SQ.M. / 218.43 SFT.

S W E N

SCALE.- 1:100

DECENCYConstruction
Architect,Interior Designer,Developr,Building,Construction, Fire Safety Service,Manufactures & Contractor
Email:info@decencyconstruction.in
DATE-27.09.2024

**OPTION -01**




## PROPOSED FIRST FLOOR PLAN TO BE RENOVATED FOR RAINBOW HOME (RESIDENTIAL BUILDING)

CEILING HEIGHT - 4772 MM

**LORETO ENTALLY RAINBOW**

1, CONVENT LANE, TANGRA, KOLKATA- 700015
EXISTING GROUND FLOOR PLAN OF RAINBOW RESIDENTIAL BUILDING

**AREA STATEMENT**

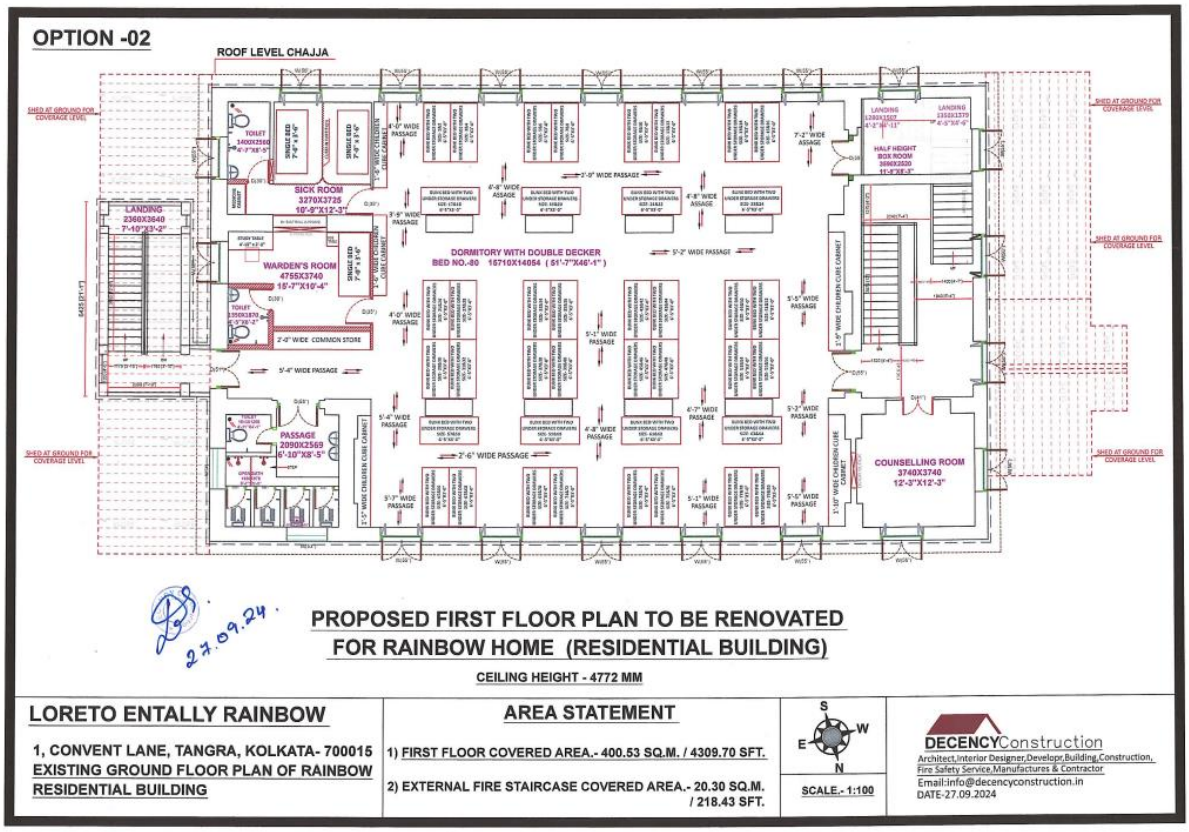
1) FIRST FLOOR COVERED AREA.- 400.53 SQ.M. / 4309.70 SFT.

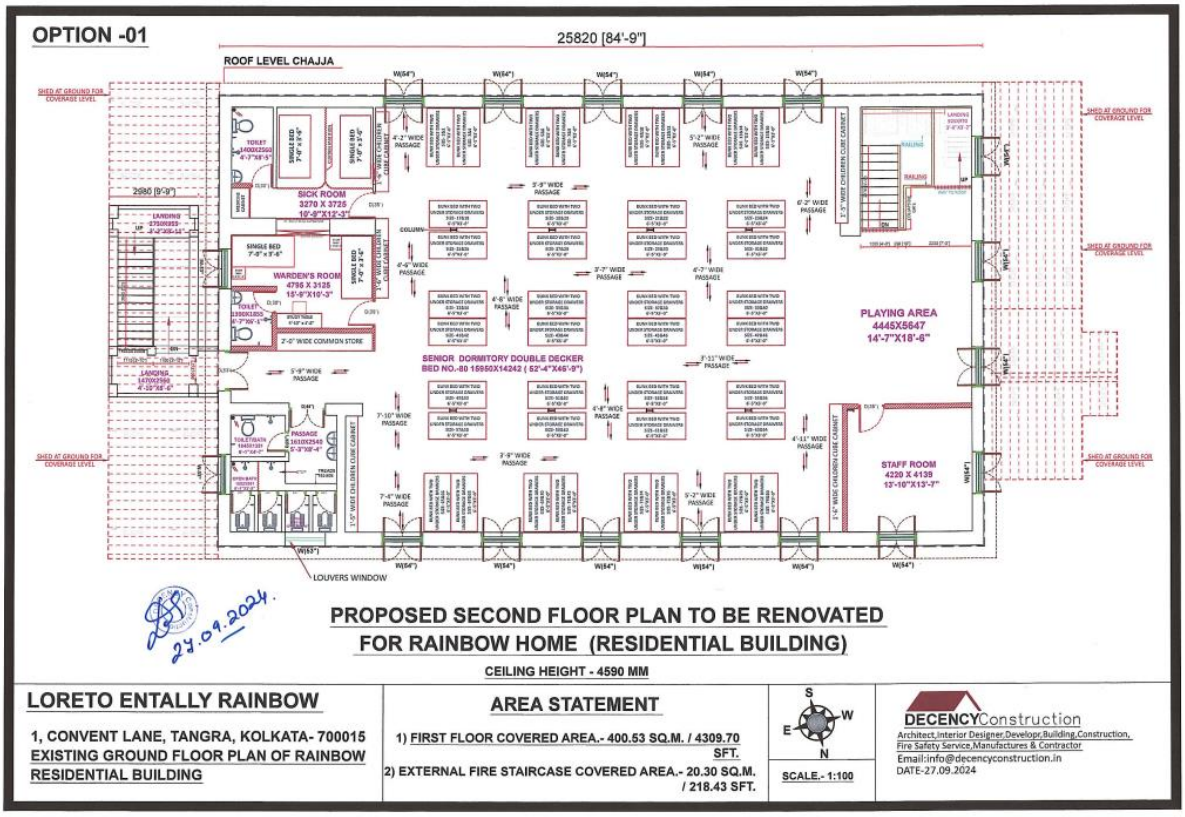
2) EXTERNAL FIRE STAIRCASE COVERED AREA.- 20.30 SQ.M. / 218.43 SFT.

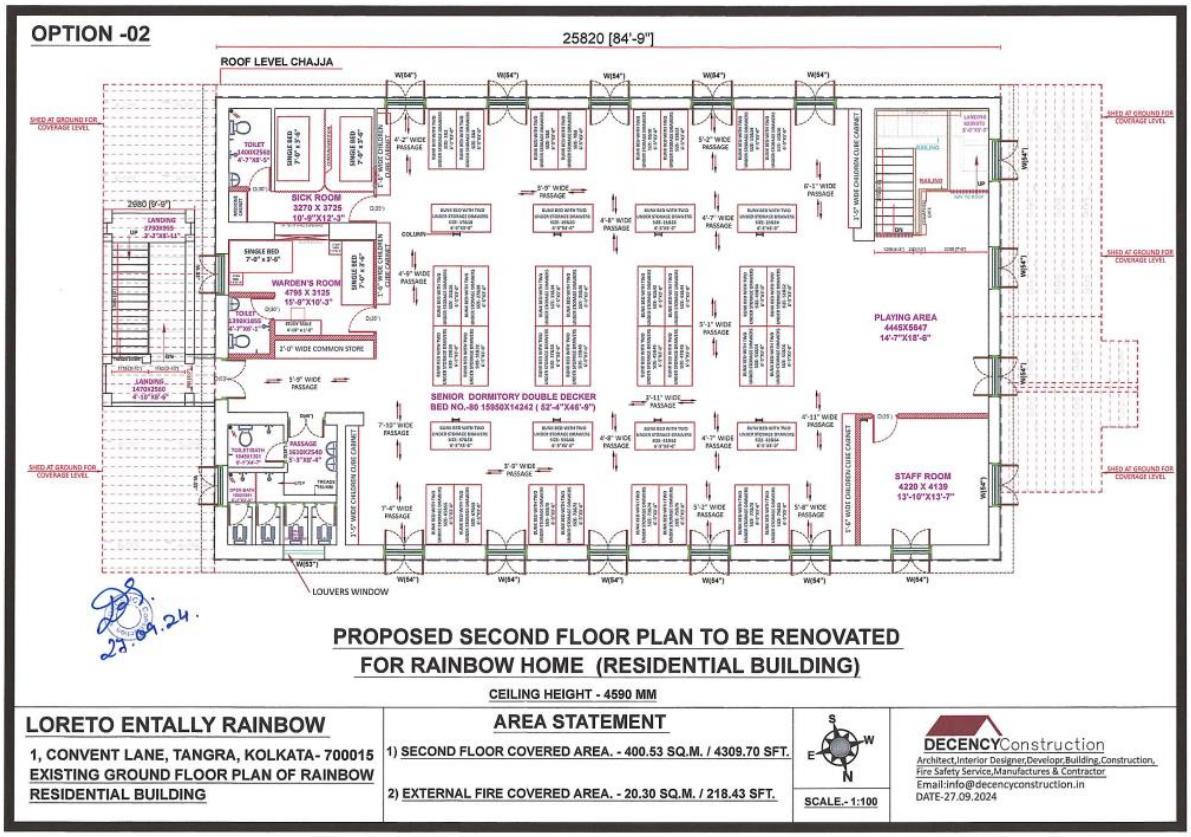
S W E N

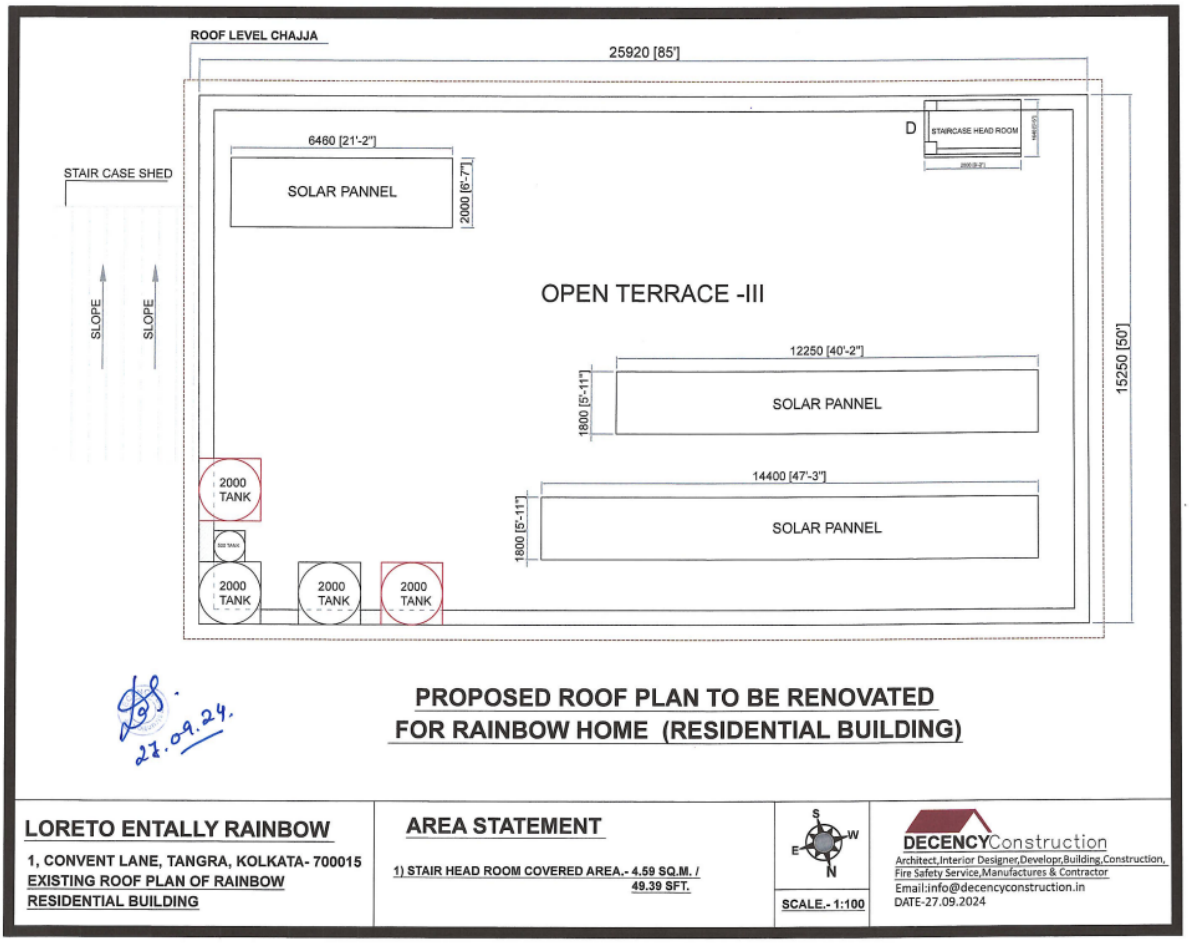
SCALE.- 1:100

DECENCYConstruction
Architect,Interior Designer,Developr,Building,Construction, Fire Safety Service,Manufactures & Contractor
Email:info@decencyconstruction.in
DATE-27.09.2024

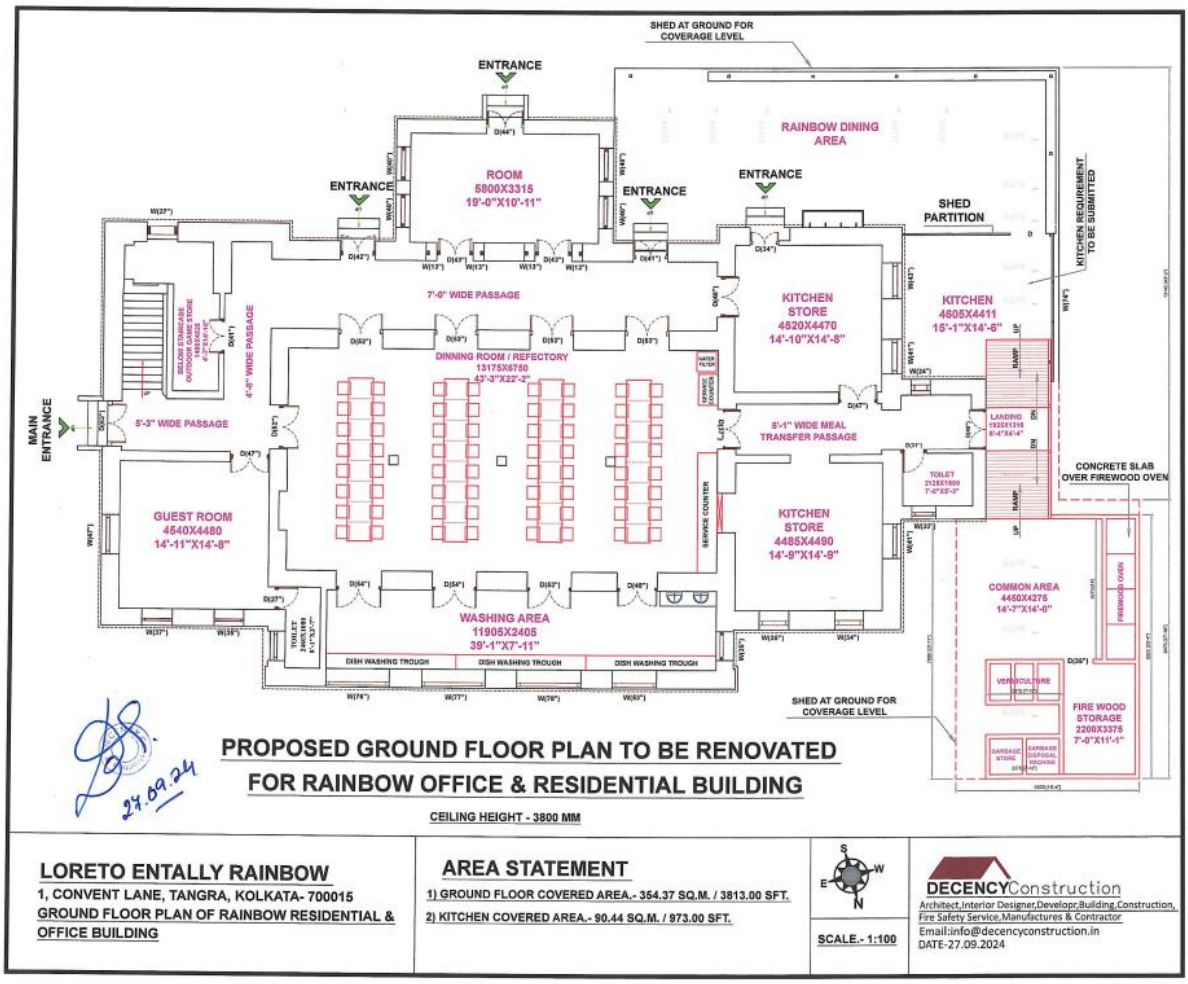

OPTION -02
ROOF LEVEL CHAJJA
SICK ROOM
3270X3725
10'-9"X12'-3"
WARDEN'S ROOM
4755X3740
15'-7"X10'-4"
DORMITORY WITH DOUBLE DECKER
BED NO.-80 15710X14054 ( 51'-7"X46'-1" )
2'-0" WIDE COMMON STORE
PASSAGE
2090X2569
6'-10"X8'-5"
COUNSELLING ROOM
3740X3740
12'-3"X12'-3"
HALF HEIGHT
BOX ROOM
3090X3520
10'-1"X11'-6"
LANDING
2360X3640
7'-10"X12'-0"
27.09.24
PROPOSED FIRST FLOOR PLAN TO BE RENOVATED
FOR RAINBOW HOME (RESIDENTIAL BUILDING)
CEILING HEIGHT - 4772 MM
LORETO ENTALLY RAINBOW
1, CONVENT LANE, TANGRA, KOLKATA- 700015
EXISTING GROUND FLOOR PLAN OF RAINBOW
RESIDENTIAL BUILDING
AREA STATEMENT
1) FIRST FLOOR COVERED AREA.- 400.53 SQ.M. / 4309.70 SFT.
2) EXTERNAL FIRE STAIRCASE COVERED AREA.- 20.30 SQ.M.
/ 218.43 SFT.
SCALE.- 1:100
DECENCYConstruction
Architect,Interior Designer,Developr,Building,Construction,
Fire Safety Service,Manufactures & Contractor
Email:info@decencyconstruction.in
DATE-27.09.2024

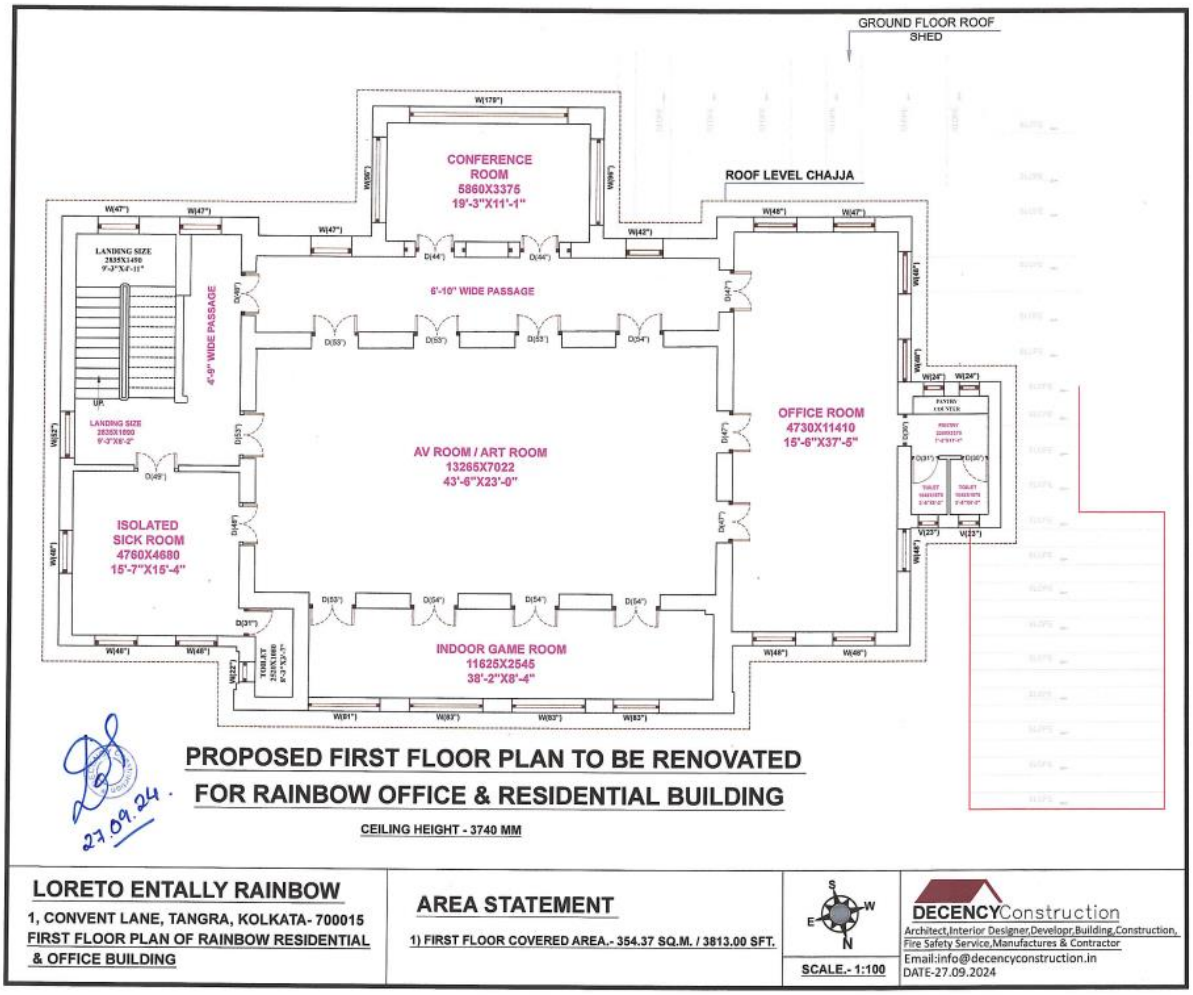

OPTION -01
25820 [84'-9"]
ROOF LEVEL CHAJJA
SICK ROOM
3270 X 3725
10'-9"X12'-3"
WARDEN'S ROOM
4755 X 3125
15'-7"X10'-3"
2'-0" WIDE COMMON STORE
SENIOR DORMITORY DOUBLE DECKER
BED NO.-80 15950X14242 ( 52'-4"X46'-9")
PLAYING AREA
4445X5647
14'-7"X18'-6"
STAFF ROOM
4220 X 4135
13'-10"X13'-7"
LOUVERS WINDOW
24.09.2024
PROPOSED SECOND FLOOR PLAN TO BE RENOVATED
FOR RAINBOW HOME (RESIDENTIAL BUILDING)
CEILING HEIGHT - 4590 MM
LORETO ENTALLY RAINBOW
1, CONVENT LANE, TANGRA, KOLKATA- 700015
EXISTING GROUND FLOOR PLAN OF RAINBOW
RESIDENTIAL BUILDING
AREA STATEMENT
1) FIRST FLOOR COVERED AREA.- 400.53 SQ.M. / 4309.70
SFT.
2) EXTERNAL FIRE STAIRCASE COVERED AREA.- 20.30 SQ.M.
/ 218.43 SFT.
SCALE.- 1:100
DECENCYConstruction
Architect,Interior Designer,Developr,Building,Construction,
Fire Safety Service,Manufactures & Contractor
Email:info@decencyconstruction.in
DATE-27.09.2024

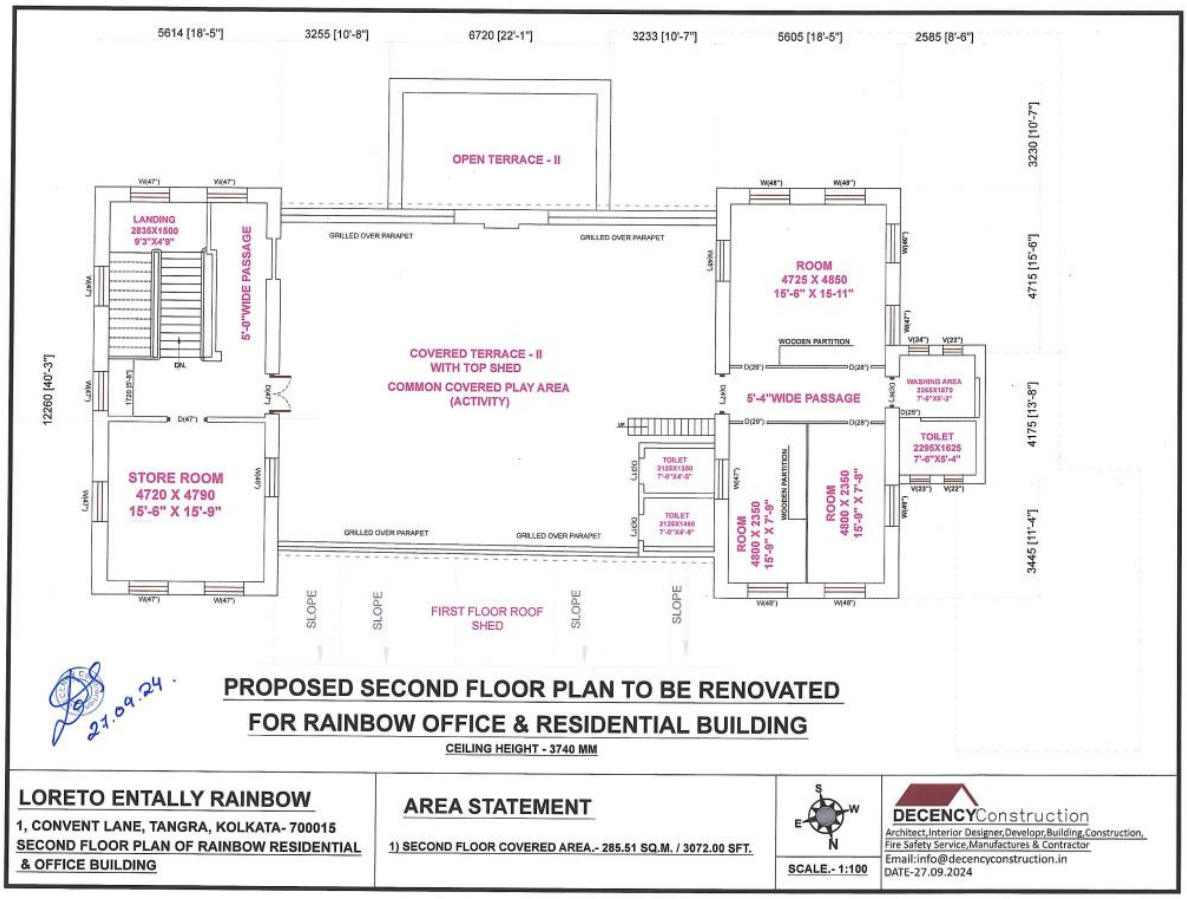

OPTION -02
25820 [84'-9"]
ROOF LEVEL CHAJJA
SICK ROOM
3270 X 3725
10'-9"X12'-3"
WARDEN'S ROOM
4795 X 3125
15'-9"X10'-3"
SENIOR DORMITORY DOUBLE DECKER
BED NO.-80 15950X14242 ( 52'-6"X46'-9")
PLAYING AREA
4445X5547
14'-7"X18'-6"
STAFF ROOM
4220 X 4139
13'-10"X13'-7"
LOUVERS WINDOW
PROPOSED SECOND FLOOR PLAN TO BE RENOVATED
FOR RAINBOW HOME (RESIDENTIAL BUILDING)
CEILING HEIGHT - 4590 MM
LORETO ENTALLY RAINBOW
1, CONVENT LANE, TANGRA, KOLKATA- 700015
EXISTING GROUND FLOOR PLAN OF RAINBOW
RESIDENTIAL BUILDING
AREA STATEMENT
1) SECOND FLOOR COVERED AREA. - 400.53 SQ.M. / 4309.70 SFT.
2) EXTERNAL FIRE COVERED AREA. - 20.30 SQ.M. / 218.43 SFT.
SCALE.- 1:100
DECENCYConstruction
Architect,Interior Designer,Developr,Building,Construction,
Fire Safety Service,Manufactures & Contractor
Email:info@decencyconstruction.in
DATE-27.09.2024

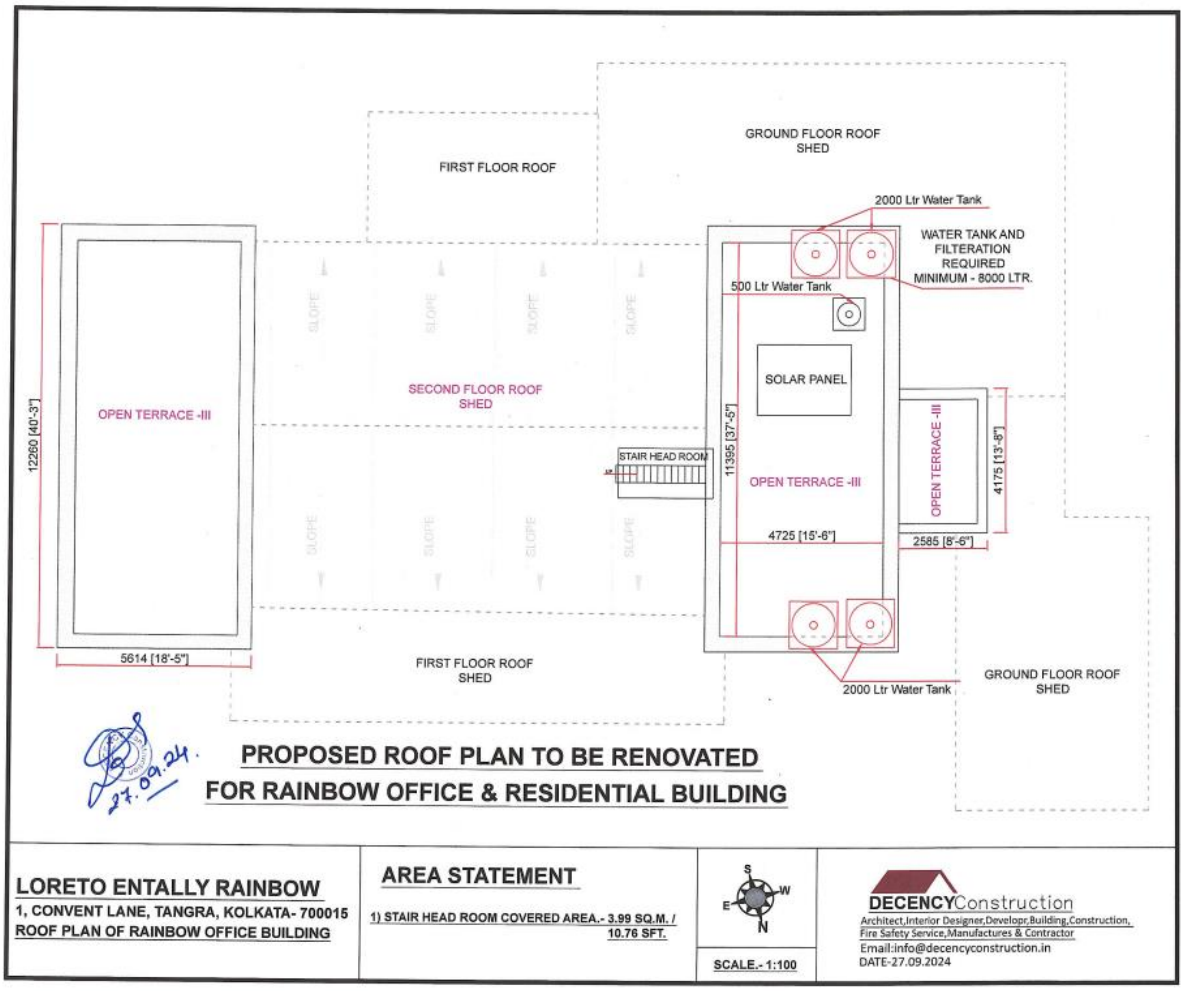

ROOF LEVEL CHAJJA
25920 [85']
STAIR CASE SHED
6460 [21'-2"]
SOLAR PANNEL
2000 [6'-7"]
STAIRCASE HEAD ROOM
OPEN TERRACE -III
SLOPE
SLOPE
12250 [40'-2"]
1800 [5'-11"]
SOLAR PANNEL
14400 [47'-3"]
1800 [5'-11"]
SOLAR PANNEL
15250 [50']
2000 TANK
2000 TANK
2000 TANK
2000 TANK
PROPOSED ROOF PLAN TO BE RENOVATED
FOR RAINBOW HOME (RESIDENTIAL BUILDING)
LORETO ENTALLY RAINBOW
1, CONVENT LANE, TANGRA, KOLKATA- 700015
EXISTING ROOF PLAN OF RAINBOW
RESIDENTIAL BUILDING
AREA STATEMENT
1) STAIR HEAD ROOM COVERED AREA.- 4.59 SQ.M. / 49.39 SFT.
SCALE.- 1:100
DECENCYConstruction
Architect,Interior Designer,Developr,Building,Construction,
Fire Safety Service,Manufactures & Contractor
Email:info@decencyconstruction.in
DATE-27.09.2024

## Oficina y Edificio Residencial

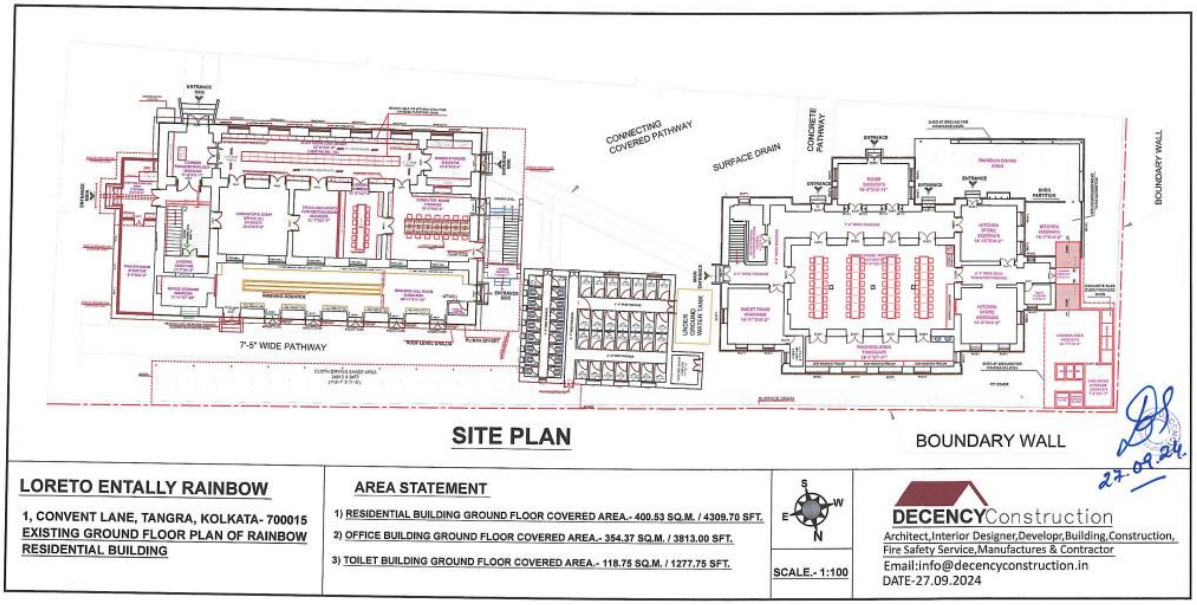



GROUND FLOOR ROOF
SHED
CONFERENCE
ROOM
5860X3375
19'-3"X11'-1"
ROOF LEVEL CHAJJA
6'-10" WIDE PASSAGE
4'-9" WIDE PASSAGE
AV ROOM / ART ROOM
13265X7022
43'-6"X23'-0"
OFFICE ROOM
4730X11410
15'-6"X37'-5"
ISOLATED
SICK ROOM
4760X4680
15'-7"X15'-4"
INDOOR GAME ROOM
11625X2545
38'-2"X8'-4"
PROPOSED FIRST FLOOR PLAN TO BE RENOVATED
FOR RAINBOW OFFICE & RESIDENTIAL BUILDING
CEILING HEIGHT - 3740 MM
27.09.24
LORETO ENTALLY RAINBOW
1, CONVENT LANE, TANGRA, KOLKATA- 700015
FIRST FLOOR PLAN OF RAINBOW RESIDENTIAL
& OFFICE BUILDING
AREA STATEMENT
1) FIRST FLOOR COVERED AREA.- 354.37 SQ.M. / 3813.00 SFT.
SCALE.- 1:100
DECENCYConstruction
Architect,Interior Designer,Developr,Building,Construction,
Fire Safety Service,Manufactures & Contractor
Email:info@decencyconstruction.in
DATE-27.09.2024


5614 [18'-5"]
3255 [10'-8"]
6720 [22'-1"]
3233 [10'-7"]
5605 [18'-5"]
2585 [8'-6"]
3230 [10'-7"]
4715 [15'-6"]
4175 [13'-8"]
3445 [11'-4"]
12260 [40'-3"]
OPEN TERRACE - II
LANDING
2835X1500
9'3"X4'9"
5'-0"WIDE PASSAGE
GRILLED OVER PARAPET
GRILLED OVER PARAPET
COVERED TERRACE - II
WITH TOP SHED
COMMON COVERED PLAY AREA
(ACTIVITY)
ROOM
4725 X 4850
15'-6" X 15-11"
WOODEN PARTITION
5'-4"WIDE PASSAGE
WASHING AREA
2363X1679
7'-9"X5'-6"
TOILET
2295X1625
7'-6"X5'-4"
STORE ROOM
4720 X 4790
15'-6" X 15'-9"
TOILET
2135X1330
7'-0"X4'-6"
TOILET
2135X1460
7'-0"X4'-9"
ROOM
4800 X 2350
15'-9" X 7'-9"
WOODEN PARTITION
ROOM
4800 X 2350
15'-9" X 7'-9"
GRILLED OVER PARAPET
GRILLED OVER PARAPET
SLOPE
SLOPE
FIRST FLOOR ROOF
SHED
SLOPE
SLOPE
27.09.24
PROPOSED SECOND FLOOR PLAN TO BE RENOVATED
FOR RAINBOW OFFICE & RESIDENTIAL BUILDING
CEILING HEIGHT - 3740 MM
LORETO ENTALLY RAINBOW
1, CONVENT LANE, TANGRA, KOLKATA- 700015
SECOND FLOOR PLAN OF RAINBOW RESIDENTIAL
& OFFICE BUILDING
AREA STATEMENT
1) SECOND FLOOR COVERED AREA.- 285.51 SQ.M. / 3072.00 SFT.
S
E
W
N
SCALE.- 1:100
DECENCYConstruction
Architect,Interior Designer,Developr,Building,Construction,
Fire Safety Service,Manufactures & Contractor
Email:info@decencyconstruction.in
DATE-27.09.2024

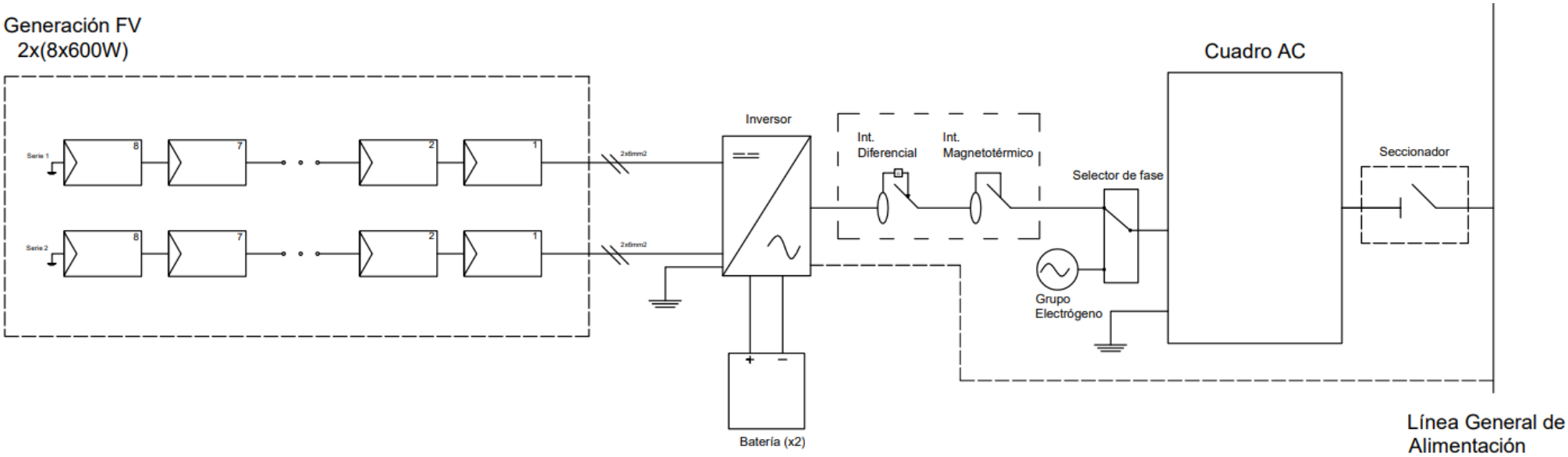

GROUND FLOOR ROOF SHED
FIRST FLOOR ROOF
2000 Ltr Water Tank
WATER TANK AND FILTERATION REQUIRED MINIMUM - 8000 LTR.
500 Ltr Water Tank
SOLAR PANEL
SECOND FLOOR ROOF SHED
OPEN TERRACE -III
12260 [40'-3"]
STAIR HEAD ROOM
11395 [37'-5"]
OPEN TERRACE -III
OPEN TERRACE -III
4175 [13'-8"]
4725 [15'-6"]
2585 [8'-6"]
5614 [18'-5"]
FIRST FLOOR ROOF SHED
2000 Ltr Water Tank
GROUND FLOOR ROOF SHED
PROPOSED ROOF PLAN TO BE RENOVATED
FOR RAINBOW OFFICE & RESIDENTIAL BUILDING
LORETO ENTALLY RAINBOW
1, CONVENT LANE, TANGRA, KOLKATA- 700015
ROOF PLAN OF RAINBOW OFFICE BUILDING
AREA STATEMENT
1) STAIR HEAD ROOM COVERED AREA.- 3.99 SQ.M. / 10.76 SFT.
SCALE.- 1:100
DECENCYConstruction
Architect,Interior Designer,Developr,Building,Construction,
Fire Safety Service,Manufactures & Contractor
Email:info@decencyconstruction.in
DATE-27.09.2024

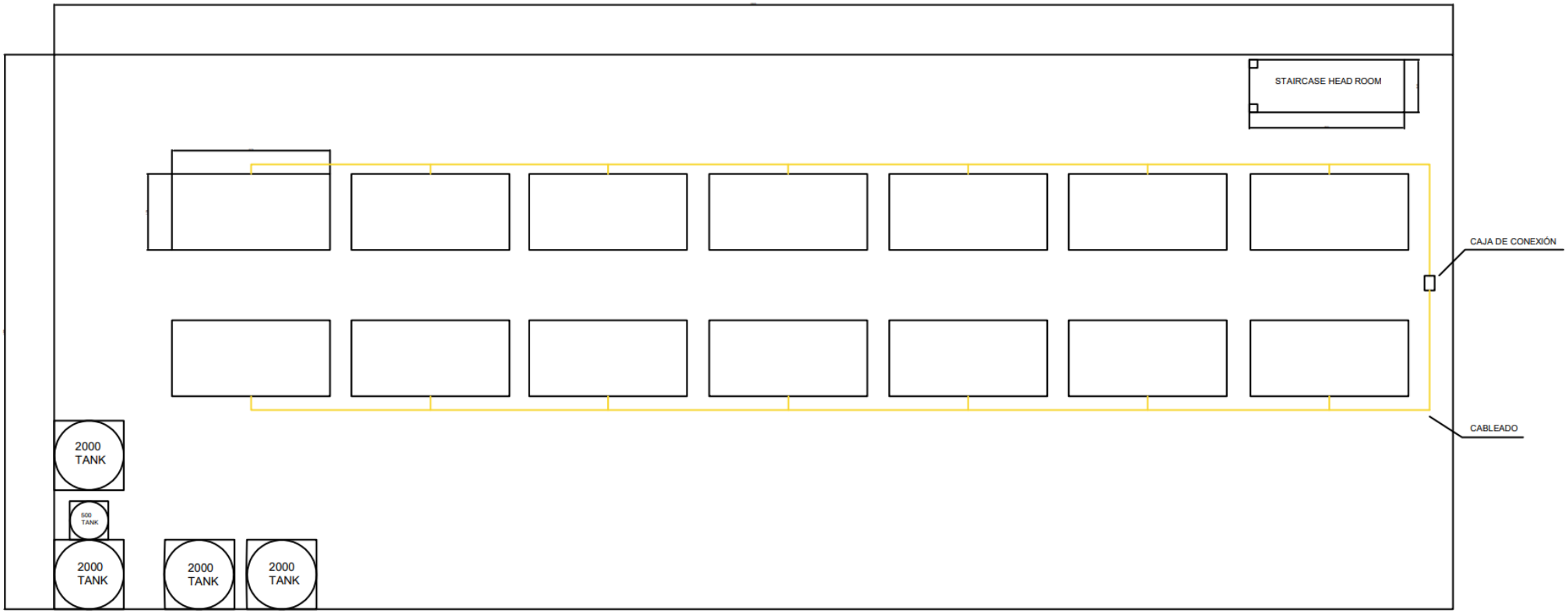
## Site Plan

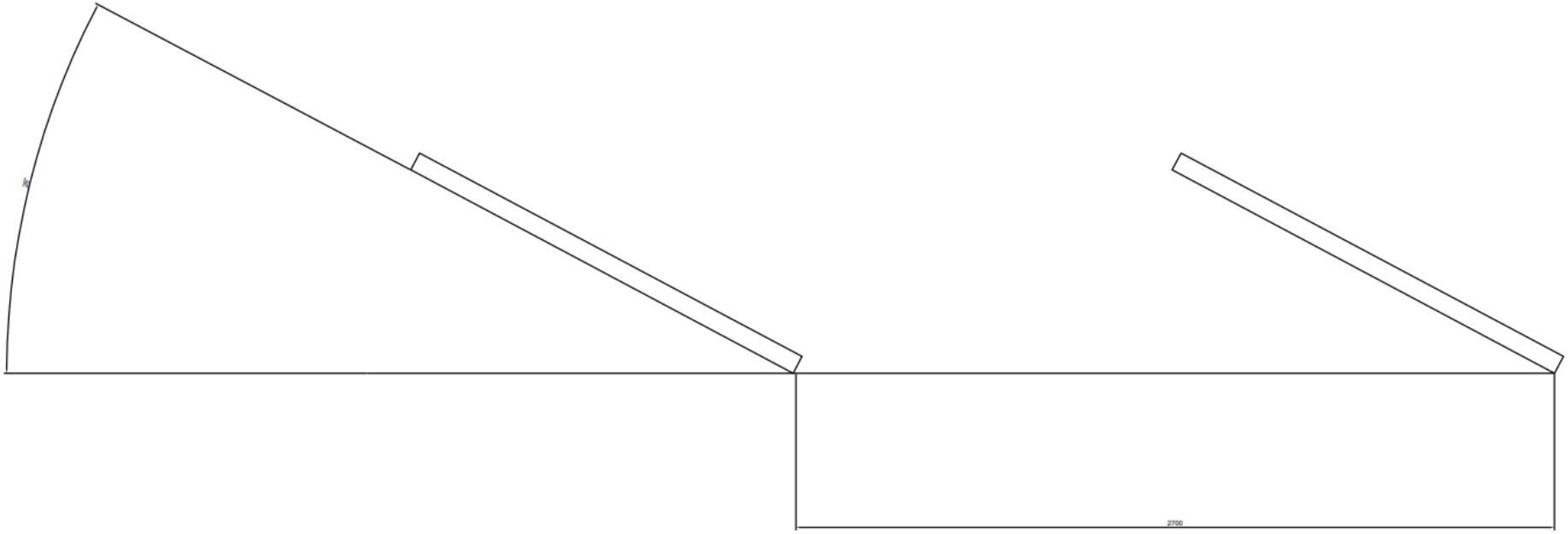

CONNECTING COVERED PATHWAY
SURFACE DRAIN
CONCRETE PATHWAY
BOUNDARY WALL
7'-5" WIDE PATHWAY
SITE PLAN
BOUNDARY WALL
LORETO ENTALLY RAINBOW
1, CONVENT LANE, TANGRA, KOLKATA- 700015
EXISTING GROUND FLOOR PLAN OF RAINBOW RESIDENTIAL BUILDING
AREA STATEMENT
1) RESIDENTIAL BUILDING GROUND FLOOR COVERED AREA.- 400.53 SQ.M. / 4309.70 SFT.
2) OFFICE BUILDING GROUND FLOOR COVERED AREA.- 354.37 SQ.M. / 3813.00 SFT.
3) TOILET BUILDING GROUND FLOOR COVERED AREA.- 118.75 SQ.M. / 1277.75 SFT.
SCALE.- 1:100
DECENCYConstruction
Architect,Interior Designer,Developr,Building,Construction,
Fire Safety Service,Manufactures & Contractor
Email:info@decencyconstruction.in
DATE-27.09.2024

# ANEXO 3: Esquema Unifilar y Planos AutoCad

1. Esquema Unifilar
2. Esquema Plano Tejado con Paneles
3. Detalle inclinación de los paneles y distancia
4. Detalle Medidas Paneles


Generación FV
2x(8x600W)
Serie 1
Serie 2
8
7
2
1
2x6mm2
Inversor
Int.
Diferencial
Int.
Magnetotérmico
Selector de fase
Cuadro AC
Seccionador
Grupo
Electrógeno
Batería (x2)
Línea General de
Alimentación

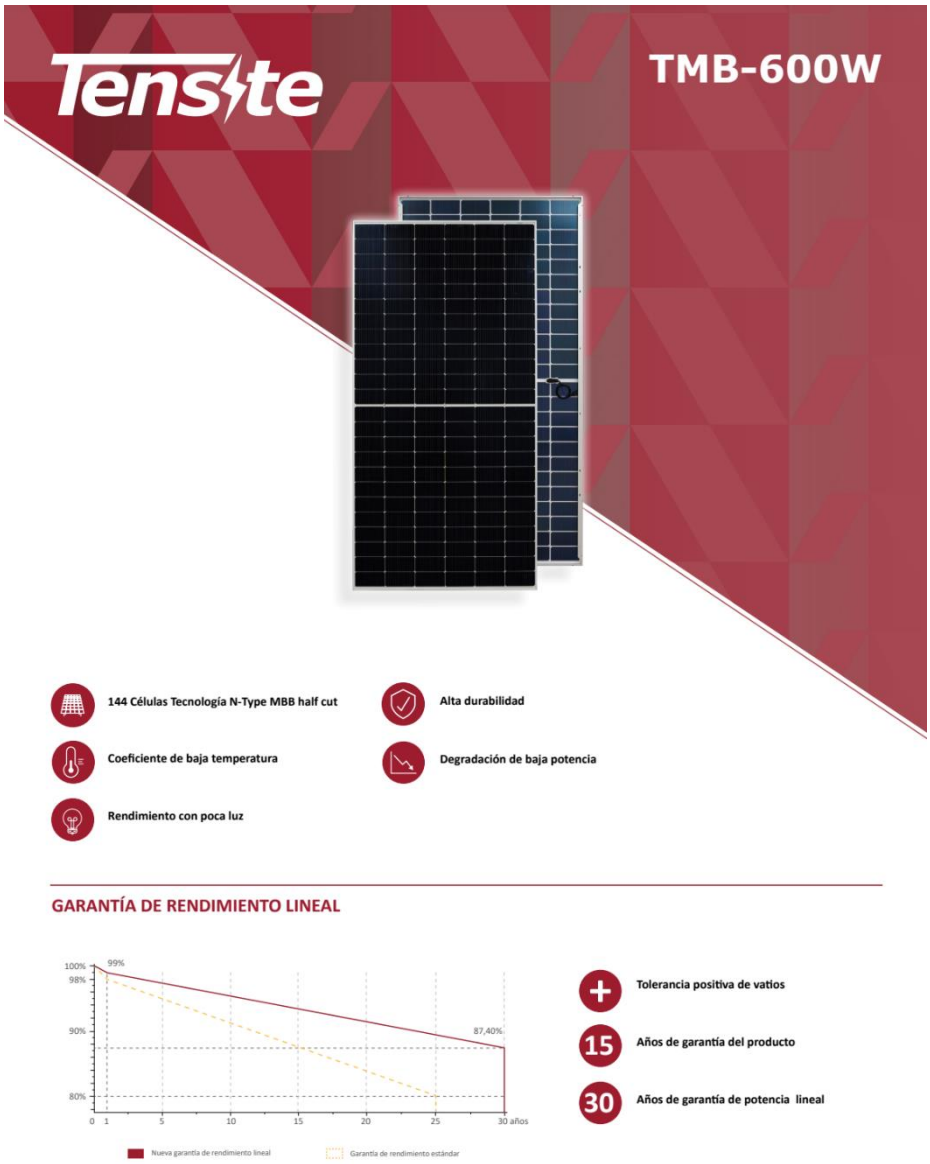

STAIRCASE HEAD ROOM
CAJA DE CONEXIÓN
CABLEADO
2000
TANK
500
TANK
2000
TANK
2000
TANK
2000
TANK


2700

30
2278
1134

# ANEXO 4: Ficha Técnica Elementos del Sistema

## 1. Módulos Solares



# Tenste TMB-600W

| Datos Eléctricos STC | TMB-600W |
|---|---|
| Máxima potencia ($P_{max/W}$) | 600W |
| Corriente de potencia máxima ($I_{mp}$) | 13,67A |
| Voltaje de potencia máxima ($V_{mp}$) | 43,9V |
| Corriente de cortocircuito ($I_{sc}$) | 14A |
| Voltaje de circuito abierto ($V_{oc}$) | 51,48V |
| Eficiencia del módulo | 22,32% |
| Condiciones de prueba estándar | 1000 W/m², 25 °C , AM 1.5 |
| Tensión máxima del sistema | 1000/1500V |
| Coeficiente de temperatura $I_{sc}$ | 0,045% / °C |
| Coeficiente de temperatura $V_{oc}$ | -0,250% / °C |
| Coeficiente de temperatura $P_{mp}$ | -0,300% / °C |
| Rango temperatura funcionamiento | -40°C / +85°C |
| Temperatura operación célula (TONC) | 41 ±3 °C |

*Condiciones Estandar de Medida STC: Irradiación 1.000 W/m2, espectro AM1.5, célula a 25°C.

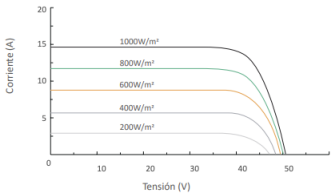
| Valores en condiciones TONC** | |
|---|---|
| Potencia máxima ($P_{max/W}$) | 437W |
| Voltaje de potencia máxima ($V_{mp\ TONC}$) | 40,18V |
| Corriente de potencia máxima ($I_{mp\ TONC}$) | 10,86A |
| Voltaje de circuito abierto ($V_{oc\ TONC}$) | 48,81V |
| Corriente de cortocircuito ($I_{sc\ TONC}$) | 11,52A |

**Condiciones TONC: Irradiación de 800 W/m2, AM1.5, temperatura ambiente 20 °C y viento de 1 m/s.

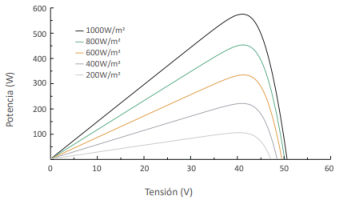
| Valores generación de energía bifacial (ganancias posteriores) | | |
|---|---|---|
| 5% | Potencia máxima ($P_{max/W}$) | 619W |
| | Eficiencia del módulo (%) | 24,12 |
| 15% | Potencia máxima ($P_{max/W}$) | 676W |
| | Eficiencia del módulo (%) | 26,5 |
| 25% | Potencia máxima ($P_{max/W}$) | 734W |
| | Eficiencia del módulo (%) | 27,9 |

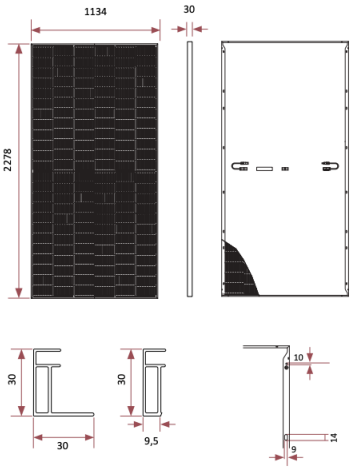
| Características mecánicas | |
|---|---|
| Tipo de célula | 182x91mm mono |
| Peso del módulo | 32kg |
| Dimensiones del módulo | 2278x1134x30mm |
| Revestimiento (color) | 2,0mm vidrio cerámico blanco |
| Vidrio | 2,0mm vidrio reforzado |
| Células (cantidad/dimensiones) | 144(6x24) |
| Marco (material) | Aleación de aluminio anodizado |
| Grado protección caja de conexiones | IP68 |
| Cables y conectores | 4mm² polo positivo: 200mm<br>polo negativo: 250mm |
| Conectires | MC4 EVO2 |

Curva Corriente-Tensión (575W)




Curva Potencia-Tensión (575W)



## 2. Inversor

| Models | 8K |
|---|---|
| **Input DC (PV side)** | |
| Recommended max. PV array size | 16 kW |
| Max. usable PV input power | 12.8 kW |
| Max. input voltage | 500 V |
| Rated voltage | 330 V |
| Start-up voltage | 90 V |
| MPPT voltage range | 90-435 V |
| Max. input current | 32 A / 32 A |
| Max. short circuit current | 40 A / 40 A |
| MPPT number/Max. input strings number | 2/4 |
| **Battery** | |
| Battery type | Li-ion / Lead-acid |
| Battery voltage range | 40-60 V |
| Max. charge / discharge power | 8 kW |
| Max. charge / discharge current | 190 A |
| Communication | CAN/RS485 |
| **Output AC (Grid side)** | |
| Rated output power | 8 kW |
| Max. apparent output power | 8 kVA |
| Operation phase | L/N/PE |
| Rated grid voltage | 220 V / 230 V |
| Rated grid frequency | 50 Hz / 60 Hz |
| Rated grid output current | 36.4 A / 34.8 A |
| Max. output current | 36.4 A / 34.8 A |
| Power factor | >0.99 (0.8 leading - 0.8 lagging) |
| THDi | <2% |
| **Input AC (Grid side)** | |
| Input voltage range | 187-253 V |
| Max. input current | 50 A |
| Frequency range | 45-55 Hz / 55-65 Hz |
| **Output AC (Back-up)** | |
| Rated output power | 8 kW |
| Max. apparent output power | 2 times of rated power, 10 s |
| Back-up switch time | <4 ms |
| Rated output voltage | L/N/PE, 220 V / 230 V |
| Rated frequency | 50 Hz / 60 Hz |
| Rated output current | 36.4 A / 34.8 A |
| Max. AC Passthrough current | 50 A |
| THDv (@linear load) | <2% |
| **Efficiency** | |
| Max. efficiency | 96.2% |
| EU efficiency | 96.1% |
| BAT charged by PV/AC Max. efficiency | 95.3%/93.9% |
| BAT discharged to AC Max. efficiency | 93.8% |
| **Protection** | |
| Ground fault monitoring | Yes |
| DC reverse-polarity protection | Yes |
| Integrated AFCI 2.0 | Optional |
| Protection class/Over voltage category | I / II (PV and BAT), III (MAINS and BACKUP and GEN) |

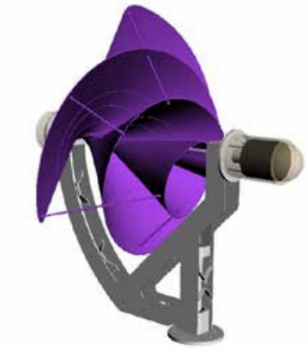
| | |
|---|---|
| **General Data** | |
| Dimensions (W*H*D) | 335*560*227 mm |
| Weight | 22.2 kg |
| Topology | High frequency isolation (for battery) |
| Operating ambient temperature range | -40 ~ +60°C |
| Ingress protection | IP66 |
| Cooling concept | Intelligent redundant fan-cooling |
| Max. operation altitude | 3000 m |
| Grid connection standard | NRS 097-2-1, IEC 62116, IEC 61727, IEC 60068, IEC 61683, EN 50530, MEA, PEA, NBR 16149, NBR 16150 |
| Safety/EMC standard | IEC/EN 62109-1/-2, EN 61000-6-2/-3 |
| **Features** | |
| DC connection | MC4 plug (PV port) / Terminal Block (BAT port) |
| AC connection | Terminal Block |
| Display | LCD + Bluetooth + APP |
| Communication | RS485, CAN, Optional: Wi-Fi, GPRS, LAN |

## 3. Batería

| Module | | US5000 |
|---|---|---|
| **Basic Parameters** | | |
| Nominal Voltage (Vdc) | | 48 |
| Nominal Capacity(Wh) | | 4800 |
| Depth of discharge (%) | | 95 |
| Usable Capacity(Wh) | | 4560 |
| Dimension(mm) | | 442*420*162 |
| Weight (Kg) | | 40 |
| Discharge Voltage (V) | | 44.5 ~ 53.5 |
| Charge Voltage (V) | | 52.5 ~ 53.5 |
| Charge/Discharge Current (A) | Recommend | 50 |
| Charge/Discharge Current(A) | Max. | 100 |
| Charge/Discharge Current (A) 1 | Peak | 100~120@15min |
| Charge/Discharge Current (A) 2 | Peak | 121~200@15sec |
| Communication | | RS485, CAN |
| Configuration (max. in 1 battery group) | | 16pcs |
| Working Temperature | Charge | 0℃~55℃ |
| Working Temperature | Discharge | -10℃~55℃ |
| Shelf Temperature | | -20℃~60℃ |
| Short current/duration time | | <4000A/2ms |
| Cooling type | | Natural |
| Protective class | | I |
| IP rating of enclosure | | IP20 |
| Humidity | | 5% ~ 95%(RH) No Condensation |
| Altitude(M) | | <4000 |
| Certification | | TÜV / CE / UN38.3/UL |
| Design life | | 15+ Years (25℃/77℉) |
| Cycle Life | | >6,000 25℃ |
| Reference to standards) | | IEC62619, IEC63056,IEC61000-6-2, ]' IEC61000-6-3, UN38.3,UL1973, UKCA, IEC62040-1,CEC |

## 4. Turbina de Viento

# Liam F1 Specifications



the Archimedes
Research & Development

Scheepsbouwweg 8-K12
3089 JW Rotterdam
The Netherlands

+31 (0)10 820 17 27
www.thearchimedes.com *
www.windwaterturbines.com

| | |
|---|---|
| Maximum Power | 1,50 kW |
| Rated power at 10 ms-1 | 510 W |
| Rated power at 12 ms-1 | 880 W |
| Maximum power at 15 ms-1 | 1.500 W |
| Cut in wind speed | 2,5 ms-1 |
| Cp Blades at 10 m/s | 52 |
| Efficiency generator | 86% |
| Overall efficiency | 45% |
| Survival wind speed | 35 ms-1 (IEC61400-1 class 2) |

| | |
|---|---|
| Number of blades | 3 |
| Blade diameter | 1,50 mtr |
| Production Certificates | ISO 9001, CE, IPE (MCS, CSA) |
| Patents UWM | more then 5 |

| | |
|---|---|
| Inverter/controller | 1.5 or 2.0 kW |
| Type ongrid/off controller | AC-AC on grid tie inverter / off grid AC-DC |
| Generator - Phases | 3 |
| Generator - Poles | 12-6 paires |
| Output voltage | 0 - 450 V |

| | |
|---|---|
| Maximum RPM at 35 ms-1 | 400 |
| Operating temperature | -25 <> +60°C |
| Safety systems | electrical, mechanical, manual |
| Turbine controller | Controller (with MPPT) |
| Starting system | none, self starting |
| Yaw control | none, yawing by rotorshape |

| | |
|---|---|
| Material blades | Composite Glass Fiber, Brasalt Fiber, PA |
| Material Body-parts | Hot tub galvanished Steel<br>Alluminium |
| Weight ± | 100 Kg |
| Length x width x height | 1745 x 1345 x 1760 mm |
| Maintance-low | only 2 moving parts |
| Warranty | 2 Years limited warranty |

# ANEXO 5: Análisis Financiero

Instalación de 16 paneles con baterías

| Componentes de la Instalación | Precios | Cantidad | Precio Total |
|---|---|---|---|
| Paneles Solares | 117,71 € | 16 | 1.883,36 € |
| Inversor | 1.907,16 € | 1 | 1.907,16 € |
| Cableado | 4,00 € | 70,8 | 283,20 € |
| Magnetotérmico | 40,00 € | 1 | 40,00 € |
| Diferencial | 97,57 € | 1 | 97,57 € |
| Seccionador | 60,24 € | 1 | 60,24 € |
| Soportes | 60,00 € | 15 | 900,00 € |
| Batería | 1.200,00 € | 2 | 2.400,00 € |

| | |
|---|---|
| **Mano de obra para la instalación** | 775,73 € |

| | |
|---|---|
| **Mantenimiento de la intalación (limipieza de paneles)** | 77,57 € |
| **Seguimiento del control de la producción** | 27,15 € |
| **Ingresos para poder sustituir componentes en 6/7 años (mantenimiento básico)** | 272,45 € |

| | |
|---|---|
| **TOTAL (pago inicial de la instalación)** | **8.347,26 €** |
| **TOTAL (pago anual por mantenimiento de la instalación)** | **377,17 €** |
| **TOTAL** | **8.724,43 €** |

| | |
|---|---|
| Precio Electricidad Calcuta [Rs/kWh] | 7,32 |
| Precio Electricidad Calcuta [€/kWh] | 0,08052 |

| | |
|---|---|
| Consumo [kWh/año] | 13.112,16 |
| Producción (16 paneles) [kWh/año] | 15.648,57 |
| Resto de consumo que hay que cubrir con la red | -2.536,41 |

| | |
|---|---|
| Pago por consumir en la red sin paneles solares | 1.055,79 € |

| | |
|---|---|
| Ahorro anual [€/año] | 1.055,79 € |
| Gasto total anual | 377,17 € |
| Beneficio Neto Anual | 678,62 € |

| | |
|---|---|
| ROI anual | 8,13% |
| Payback Period [años] | 12 |

**ESCENARIO 1**

| | Año 1 | Año 2 | Año 3 | Año 4 | Año 5 | Año 6 | Año 7 | Año 8 | Año 9 | Año 10 | Año 11 | Año 12 | Año 13 | Año 14 | Año 15 | Año 16 | Año 17 | Año 18 | Año 19 | Año 20 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Consumo [kWh] | 13112,16 | 13112,16 | 13112,16 | 13112,16 | 13112,16 | 13112,16 | 13112,16 | 13112,16 | 13112,16 | 13112,16 | 13112,16 | 13112,16 | 13112,16 | 13112,16 | 13112,16 | 13112,16 | 13112,16 | 13112,16 | 13112,16 | 13112,16 |
| Autoconsumo [kWh] | 15648,57 | 15648,57 | 15648,57 | 15648,57 | 15648,57 | 15648,57 | 15648,57 | 15648,57 | 15648,57 | 15648,57 | 15648,57 | 15648,57 | 15648,57 | 15648,57 | 15648,57 | 15648,57 | 15648,57 | 15648,57 | 15648,57 | 15648,57 |
| Excedentes [kWh] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Precio Red [€] | 0,0805 € | 0,0870 € | 0,0944 € | 0,1028 € | 0,1126 € | 0,1239 € | 0,1369 € | 0,1519 € | 0,1694 € | 0,1897 € | 0,2135 € | 0,2412 € | 0,2738 € | 0,3121 € | 0,3574 € | 0,4110 € | 0,4747 € | 0,5506 € | 0,6415 € | 0,7505 € |
| Precio Excedentes [€] | 0,0349 € | 0,0377 € | 0,0409 € | 0,0445 € | 0,0488 € | 0,0536 € | 0,0593 € | 0,0658 € | 0,0734 € | 0,0822 € | 0,0924 € | 0,1045 € | 0,1186 € | 0,1352 € | 0,1548 € | 0,1780 € | 0,2056 € | 0,2384 € | 0,2778 € | 0,3250 € |
| Ingresos Autoconsumo [€] | 1.055,79 € | 1.140,25 € | 1.237,18 € | 1.348,52 € | 1.476,63 € | 1.624,29 € | 1.794,85 € | 1.992,28 € | 2.221,39 € | 2.487,96 € | 2.798,95 € | 3.162,82 € | 3.589,80 € | 4.092,37 € | 4.685,76 € | 5.388,62 € | 6.223,86 € | 7.219,68 € | 8.410,93 € | 9.840,78 € |
| Ingresos Excedentes [€] | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € |
| Ingresos totales [€] | 1.055,79 € | 1.140,25 € | 1.237,18 € | 1.348,52 € | 1.476,63 € | 1.624,29 € | 1.794,85 € | 1.992,28 € | 2.221,39 € | 2.487,96 € | 2.798,95 € | 3.162,82 € | 3.589,80 € | 4.092,37 € | 4.685,76 € | 5.388,62 € | 6.223,86 € | 7.219,68 € | 8.410,93 € | 9.840,78 € |
| Componentes (€) | 8.347,26 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € |
| Mantenimiento [€] | 104,72 € | 104,72 € | 104,72 € | 104,72 € | 104,72 € | 104,72 € | 104,72 € | 104,72 € | 104,72 € | 104,72 € | 104,72 € | 104,72 € | 104,72 € | 104,72 € | 104,72 € | 104,72 € | 104,72 € | 104,72 € | 104,72 € | 104,72 € |
| Cambio Inversor [€] | 272,45 € | 272,45 € | 272,45 € | 272,45 € | 272,45 € | 272,45 € | 272,45 € | 1.907,16 € | 272,45 € | 272,45 € | 272,45 € | 272,45 € | 272,45 € | 272,45 € | 1.907,16 € | 272,45 € | 272,45 € | 272,45 € | 272,45 € | 272,45 € |
| Gastos totales [€] | 8.724,43 € | 377,17 € | 377,17 € | 377,17 € | 377,17 € | 377,17 € | 377,17 € | 2.011,88 € | 377,17 € | 377,17 € | 377,17 € | 377,17 € | 377,17 € | 377,17 € | 2.011,88 € | 377,17 € | 377,17 € | 377,17 € | 377,17 € | 377,17 € |
| Flujo neto [€] | -7.668,64 € | -6.905,56 € | -6.045,56 € | -5.074,22 € | -3.974,76 € | -2.727,64 € | -1.309,97 € | -1.329,57 € | 514,64 € | 2.625,42 € | 5.047,20 € | 7.832,84 € | 11.045,46 € | 14.760,66 € | 17.434,53 € | 22.445,98 € | 28.292,67 € | 35.135,18 € | 43.168,93 € | 52.632,54 € |

**ESCENARIO 2**

| | Año 1 | Año 2 | Año 3 | Año 4 | Año 5 | Año 6 | Año 7 | Año 8 | Año 9 | Año 10 | Año 11 | Año 12 | Año 13 | Año 14 | Año 15 | Año 16 | Año 17 | Año 18 | Año 19 | Año 20 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Consumo [kWh] | 13112,16 | 13112,16 | 13112,16 | 13112,16 | 13112,16 | 13112,16 | 13112,16 | 13112,16 | 13112,16 | 13112,16 | 13112,16 | 13112,16 | 13112,16 | 13112,16 | 13112,16 | 13112,16 | 13112,16 | 13112,16 | 13112,16 | 13112,16 |
| Autoconsumo [kWh] | 15648,57 | 15648,57 | 15648,57 | 15648,57 | 15648,57 | 15648,57 | 15648,57 | 15648,57 | 15648,57 | 15648,57 | 15648,57 | 15648,57 | 15648,57 | 15648,57 | 15648,57 | 15648,57 | 15648,57 | 15648,57 | 15648,57 | 15648,57 |
| Excedentes [kWh] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Precio Red [€] | 0,0805 € | 0,0843 € | 0,0884 € | 0,0928 € | 0,0974 € | 0,1024 € | 0,1078 € | 0,1135 € | 0,1197 € | 0,1263 € | 0,1334 € | 0,1411 € | 0,1493 € | 0,1581 € | 0,1677 € | 0,1780 € | 0,1890 € | 0,2010 € | 0,2139 € | 0,2279 € |
| Precio Excedentes [€] | 0,0349 € | 0,0365 € | 0,0383 € | 0,0402 € | 0,0422 € | 0,0444 € | 0,0467 € | 0,0492 € | 0,0518 € | 0,0547 € | 0,0578 € | 0,0611 € | 0,0647 € | 0,0685 € | 0,0726 € | 0,0771 € | 0,0819 € | 0,0870 € | 0,0926 € | 0,0987 € |
| Ingresos Autoconsumo [€] | 1.055,79 € | 1.105,73 € | 1.159,14 € | 1.216,28 € | 1.277,46 € | 1.343,00 € | 1.413,23 € | 1.488,56 € | 1.569,39 € | 1.656,17 € | 1.749,42 € | 1.849,66 € | 1.957,49 € | 2.073,57 € | 2.198,61 € | 2.333,39 € | 2.478,75 € | 2.635,66 € | 2.805,13 € | 2.988,31 € |
| Ingresos Excedentes [€] | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € |
| Ingresos totales [€] | 1.055,79 € | 1.105,73 € | 1.159,14 € | 1.216,28 € | 1.277,46 € | 1.343,00 € | 1.413,23 € | 1.488,56 € | 1.569,39 € | 1.656,17 € | 1.749,42 € | 1.849,66 € | 1.957,49 € | 2.073,57 € | 2.198,61 € | 2.333,39 € | 2.478,75 € | 2.635,66 € | 2.805,13 € | 2.988,31 € |
| Componentes (€) | 8.347,26 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € |
| Mantenimiento [€] | 104,72 € | 104,72 € | 104,72 € | 104,72 € | 104,72 € | 104,72 € | 104,72 € | 104,72 € | 104,72 € | 104,72 € | 104,72 € | 104,72 € | 104,72 € | 104,72 € | 104,72 € | 104,72 € | 104,72 € | 104,72 € | 104,72 € | 104,72 € |
| Cambio Inversor [€] | 272,45 € | 272,45 € | 272,45 € | 272,45 € | 272,45 € | 272,45 € | 272,45 € | 1.907,16 € | 272,45 € | 272,45 € | 272,45 € | 272,45 € | 272,45 € | 272,45 € | 1.907,16 € | 272,45 € | 272,45 € | 272,45 € | 272,45 € | 272,45 € |
| Gastos totales [€] | 8.724,43 € | 377,17 € | 377,17 € | 377,17 € | 377,17 € | 377,17 € | 377,17 € | 2.011,88 € | 377,17 € | 377,17 € | 377,17 € | 377,17 € | 377,17 € | 377,17 € | 2.011,88 € | 377,17 € | 377,17 € | 377,17 € | 377,17 € | 377,17 € |
| Flujo neto [€] | -7.668,64 € | -6.940,09 € | -6.158,13 € | -5.319,02 € | -4.418,73 € | -3.452,91 € | -2.416,85 € | -2.940,18 € | -1.747,97 € | -468,97 € | 903,28 € | 2.375,76 € | 3.956,08 € | 5.652,48 € | 5.839,21 € | 7.795,42 € | 9.897,00 € | 12.155,48 € | 14.583,44 € | 17.194,57 € |

**ESCENARIO 3**

| | Año 1 | Año 2 | Año 3 | Año 4 | Año 5 | Año 6 | Año 7 | Año 8 | Año 9 | Año 10 | Año 11 | Año 12 | Año 13 | Año 14 | Año 15 | Año 16 | Año 17 | Año 18 | Año 19 | Año 20 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Consumo [kWh] | 13112,16 | 13112,16 | 13112,16 | 13112,16 | 13112,16 | 13112,16 | 13112,16 | 13112,16 | 13112,16 | 13112,16 | 13112,16 | 13112,16 | 13112,16 | 13112,16 | 13112,16 | 13112,16 | 13112,16 | 13112,16 | 13112,16 | 13112,16 |
| Autoconsumo [kWh] | 15648,57 | 15648,57 | 15648,57 | 15648,57 | 15648,57 | 15648,57 | 15648,57 | 15648,57 | 15648,57 | 15648,57 | 15648,57 | 15648,57 | 15648,57 | 15648,57 | 15648,57 | 15648,57 | 15648,57 | 15648,57 | 15648,57 | 15648,57 |
| Excedentes [kWh] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Precio Red [€] | 0,0805 € | 0,0825 € | 0,0846 € | 0,0867 € | 0,0889 € | 0,0911 € | 0,0934 € | 0,0957 € | 0,0981 € | 0,1006 € | 0,1031 € | 0,1056 € | 0,1083 € | 0,1110 € | 0,1138 € | 0,1166 € | 0,1195 € | 0,1225 € | 0,1256 € | 0,1287 € |
| Precio Excedentes [€] | 0,0349 € | 0,0357 € | 0,0366 € | 0,0376 € | 0,0385 € | 0,0395 € | 0,0404 € | 0,0414 € | 0,0425 € | 0,0435 € | 0,0446 € | 0,0458 € | 0,0469 € | 0,0481 € | 0,0493 € | 0,0505 € | 0,0518 € | 0,0531 € | 0,0544 € | 0,0557 € |
| Ingresos Autoconsumo [€] | 1.055,79 € | 1.082,19 € | 1.109,24 € | 1.136,97 € | 1.165,40 € | 1.194,53 € | 1.224,39 € | 1.255,00 € | 1.286,38 € | 1.318,54 € | 1.351,50 € | 1.385,29 € | 1.419,92 € | 1.455,42 € | 1.491,81 € | 1.529,10 € | 1.567,33 € | 1.606,51 € | 1.646,67 € | 1.687,84 € |
| Ingresos Excedentes [€] | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € |
| Ingresos totales [€] | 1.055,79 € | 1.082,19 € | 1.109,24 € | 1.136,97 € | 1.165,40 € | 1.194,53 € | 1.224,39 € | 1.255,00 € | 1.286,38 € | 1.318,54 € | 1.351,50 € | 1.385,29 € | 1.419,92 € | 1.455,42 € | 1.491,81 € | 1.529,10 € | 1.567,33 € | 1.606,51 € | 1.646,67 € | 1.687,84 € |
| Componentes (€) | 8.347,26 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € |
| Mantenimiento [€] | 104,72 € | 104,72 € | 104,72 € | 104,72 € | 104,72 € | 104,72 € | 104,72 € | 104,72 € | 104,72 € | 104,72 € | 104,72 € | 104,72 € | 104,72 € | 104,72 € | 104,72 € | 104,72 € | 104,72 € | 104,72 € | 104,72 € | 104,72 € |
| Cambio Inversor [€] | 272,45 € | 272,45 € | 272,45 € | 272,45 € | 272,45 € | 272,45 € | 272,45 € | 1.907,16 € | 272,45 € | 272,45 € | 272,45 € | 272,45 € | 272,45 € | 272,45 € | 1.907,16 € | 272,45 € | 272,45 € | 272,45 € | 272,45 € | 272,45 € |
| Gastos totales [€] | 8.724,43 € | 377,17 € | 377,17 € | 377,17 € | 377,17 € | 377,17 € | 377,17 € | 2.011,88 € | 377,17 € | 377,17 € | 377,17 € | 377,17 € | 377,17 € | 377,17 € | 2.011,88 € | 377,17 € | 377,17 € | 377,17 € | 377,17 € | 377,17 € |
| Flujo neto [€] | -7.668,64 € | -6.963,63 € | -6.231,57 € | -5.471,77 € | -4.683,55 € | -3.866,19 € | -3.018,97 € | -3.775,85 € | -2.866,65 € | -1.925,29 € | -950,96 € | 57,16 € | 1.099,90 € | 2.178,15 € | 1.658,07 € | 2.809,99 € | 4.000,15 € | 5.229,48 € | 6.498,98 € | 7.809,65 € |