Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales
ICADE

Estudio de viabilidad de una Planta Solar Fotovoltaica con Almacenamiento de Energía en Nueva York

Autor: Rafael Bravo Martín
Director: Carmen Fullana Belda

MADRID | Diciembre de 2024

Rafael

Bravo

Martín

Estudio de viabilidad de una Planta Solar Fotovoltaica con Almacenamiento de Energía en Nueva York

Resumen

En este proyecto se presenta una solución para la transición energética económicamente viable y que implica únicamente la energía renovable de origen solar. Además, se introduce el almacenamiento de energía como solución a los problemas de la energía solar, la falta de gestión y la indisponibilidad en situaciones climáticas adversas. Por otro lado, se centra en la región de Nueva York, necesitada de proyectos renovables que suplan los combustibles fósiles que alimentan energéticamente los grandes núcleos urbanos de la zona.

Según los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), todos los países deben conseguir un avance significativo para 2030 y reducir las emisiones de su sistema eléctrico a cero para 2050. Este dato se traduce en una necesidad de desarrollar proyectos basados en fuentes renovables como la solar y la eólica en los próximos años.

Sin embargo, para que la transición se consiga imponer con un sistema basado en estas energías limpias, deben de solucionarse primero las carencias de un sistema basado únicamente en energías renovables. Estas son la falta de gestión del recurso, es decir, no poder aumentar o disminuir la energía generada a voluntad, y también la disponibilidad variable del recurso, la cual no puede ser prevista con anterioridad y depende de variables aleatorias como el clima. Es aquí donde entra en juego el almacenamiento de energía.

Estas tecnologías aprovechan la energía sobrante para almacenar la energía, ya sea de forma física como las estaciones de bombeo, o química, como las baterías. En este proyecto se utilizarán las baterías para recoger la energía solar en aquellos momentos que la red se encuentre saturada y no pueda absorber toda la energía generada, recogiendo ese excedente para poder usarlo en momentos que el recurso sea menor. Además, puede guardarse a voluntad en función del precio de la energía, de forma que se genere más energía en los momentos que mayor rentabilidad produzca su venta.

Por otro lado, el proyecto se ha decidido localizar en el estado de Nueva York, zona de grandes urbes con alto consumo energético, pero con una diferencia

grande en cuanto a generación eléctrica entre las zonas norte y sur. Resulta que las mayores comunidades se encuentran al sur, y por ello y una menor extensión de los espacios abiertos, es difícil desarrollar proyectos renovables en la zona. Por contrario, al norte el recurso eólico es mejor y existen vastas extensiones donde emplazar proyectos eólicos y solares.

El problema se encuentra en la limitada capacidad de las líneas de transmisión, las cuales estás siendo ampliadas, pero no es suficiente para cubrir el aumento de la demanda, así como la reducción de fiabilidad del sistema al introducir las intermitentes energías renovables. Es aquí donde disponer de sistemas de almacenamiento de energía se convierte en una clave para la transición, pudiendo disponer de energía cuando las energías renovables no dispongan de recurso suficiente para suplir la demanda, asegurando el abastecimiento de electricidad en cualquier momento, a la vez que se almacena la energía que no sería aprovechada por saturación de las líneas.

En este proyecto, se aborda la viabilidad de un proyecto híbrido de tecnología solar y de almacenamiento de energía en baterías en el estado de Nueva York, recogiendo el proceso de desarrollo del mismo, desde dónde se decide localizar hasta que se da el visto bueno económico para su construcción.

Palabras clave

Solar, almacenamiento, batería, NYISO, híbrido.

Abstract

This project presents a solution for an economically viable energy transition involving only renewable energy of solar origin. In addition, it introduces energy storage as a solution to the problems of solar energy, lack of management and unavailability in adverse weather conditions. On the other hand, it focuses on the New York region, which is in need of renewable projects to replace the fossil fuels that power the large urban centres in the area.

According to the Sustainable Development Goals (SDGs), all countries must make significant progress by 2030 and reduce emissions from their electricity system to zero by 2050. This translates into a need to develop projects based on renewable sources such as solar and wind in the coming years.

However, for the transition to be achieved with a system based on these clean energies, the shortcomings of a system based solely on renewable energies must first be solved. These are the lack of resource management, i.e. not being able to increase or decrease the energy generated at will, and also the variable availability of the resource, which cannot be foreseen in advance and depends on random variables such as the weather. This is where energy storage comes into play.

These technologies use surplus energy to store energy, either physically, such as pumping stations, or chemically, such as batteries. In this project, batteries will be used to collect solar energy at times when the grid is saturated and cannot absorb all the energy generated, collecting this surplus to be used at times when the resource is less. In addition, it can be stored at will depending on the price of energy, so that more energy is generated at times when it is more profitable to sell it.

On the other hand, the project has been located in the state of New York, an area of large cities with high energy consumption, but with a large difference in terms of electricity generation between the northern and southern areas. It turns out that the largest communities are in the south, and because of this and a smaller area of open space, it is difficult to develop renewable projects in the area. In

contrast, in the north the wind resource is better and there are vast areas where wind and solar projects can be located.

The problem lies in the limited capacity of the transmission lines, which are being extended, but are not sufficient to cover the increased demand, as well as the reduced reliability of the system when introducing intermittent renewables. This is where the availability of energy storage systems becomes a key to the transition, making energy available when renewable energies do not have sufficient resources to meet demand, ensuring the supply of electricity at any time, while storing the energy that would not be used due to line saturation.

This project addresses the feasibility of a hybrid solar and battery energy storage technology project in the state of New York, covering the development process, from where it is decided to locate it until it is given the economic go-ahead for its construction.

Key words

Solar, storage, BESS, NYISO, hybrid.

Acrónimos

NYISO:	New York Independent System Operator
NYSERDA	New York State Energy Research and Development Authority
BESS:	Battery Energy Storage System
CSPV:	Crystalline Silicon Photovoltaic
SET:	Subestación Eléctrica Transformadora
MW:	Mega Watio
USD	United States Dollar
kWh	Kilo Watio por Hora
IRENA	International Renewable Energy Association
LFP	Fosfato de hierro y litio
CO2	Dióxido de Carbono
RtB	Ready to Built
VAN	Valor Actual Neto
TIR	Tasa Interna de Retorno
CAPEX	CAPital EXpenditure
EPC	(Engineering, Procurement, and Construction)

Índice de gráficos

Imagen 1. Funcionamiento de una batería (IRENA, 2017)..... 15
Imagen 2. Mapa recurso solar España (Plasol, 2024) 20
Imagen 3. Mapa recurso solar EEUU (SolarGIS, 2014)..... 20
Imagen 4. Esquema de la tecnología solar fotovoltaica, (COIT, 2007) 23
Imagen 5 Zonas NYISO (Departamento de Servicio Público,2024.) 28
Imagen 6. Mix energético NYISO Verano 2024 (NYISO, 2024)..... 31
Imagen 7. Activations and Deactivations since 2019 (NYISO, 2024)..... 32
Imagen 8. Líneas eléctricas planeadas para 2042. (NYISO, 2024)..... 34
Imagen 9. Curtailment en 2023 (NYISO, 2024) 35
Imagen 10. Potencia instalada vs Energía generada en 2023 (NYISO 1, 2024) 36
Imagen 11. Layout Proyecto Hickling, (elaboración propia,2024)..... 39
Imagen 12: Condado de Broome (Wikipedia, 2024) 43
Imagen 13: Parcela de Hickling (elaboración propia, 2024) 44
Imagen 14. Diseño PVDesign de la planta, (elaboración propia, 2024)..... 47
Imagen 15. Modulo Fotovoltaico JA Solar JAM66D45-615/LB 49
Imagen 16. Características del módulo fotovoltaico JA Solar JAM66D45-615/LB, (base de datos PVDesign 2024) 49
Imagen 17. Inversor Proteus PV4700 (base de datos PVDesign 2024) 50
Imagen 18. Características del inversor Proteus PV4700 y configuración en la planta(base de datos PVDesign 2024)..... 50
Imagen 19. Layout CSPV Hickling con tracker (desestimado)(elaboracion propia,2024)..... 52
Imagen 20. Estructura fija de 3 filas(base de datos PVDesign 2024) 52
Imagen 21. Características de la estructura fija (base de datos PVDesign 2024) 52
Imagen 22. BESS Sun5000 v7.2_50Hz (base de datos PVDesign 2024)..... 53
Imagen 23. Gastos de operación (Abei,2024)..... 58
Imagen 24. Extracto de la cuenta de resultados (Elaboración propia, 2024) ... 60
Imagen 25. Flujos de tesorería (Elaboración propia, 2024)..... 61
Imagen 26. Balance de situación (Elaboración propia, 2024) 62

Indice de tablas

Tabla 1. Periodo medio de cobros y pagos, (Abei, 2024) 56
Tabla 2. Ingresos por MW por la venta de energía (Abei,2024) 57
Tabla 3. Resumen de análisis financiero 63

Contenido

1 Introducción 12
1.1 Objetivos 12
1.2 Metodología utilizada 13
1.3 Estado de la cuestión 14
1.4 Partes del TFG 17
2 Marco Teórico 18
2.1 Principios de la energía solar y su utilización 18
2.2 Tecnología Solar Fotovoltaica 22
2.3 Tecnología de Almacenamiento en Baterías BESS 23
2.4 Beneficios medioambientales. Cumplimiento de ODS 25
2.5 Sistema eléctrico neoyorkino. NYISO 26
2.5.1 Dinámica del mercado energético en NYISO 27
2.5.2 Tendencia del sistema eléctrico Nueva York 30
2.5.3 Cuello de botella. Líneas de transmisión en NYISO 33
2.5.4 Almacenamiento de energía. La solución sostenible 36
2.5.5 Marco político NYISO 37
3 Estudio de Campo. Proyecto Hickling 39
3.1 Proceso de desarrollo de un proyecto solar híbrido 40
3.2 Emplazamiento de la planta 42
3.3 Elección de la tecnología 44
3.4 Desarrollo del Layout. PVDesign 45
3.4.1 Preparación del Layout en Google Earth 45
3.4.2 Elaboración del diseño en PVDesign 48
4 Análisis de Viabilidad Económica 54
4.1 Alcance y consideraciones previas 54
4.2 Metodología 55
4.2.1 Criterios, Parámetros y Valores de Datos empleados. 55
4.2.2 Datos empleados 57
4.2.3 Metodología en detalle 58

4.2.4 Claculos Financieros 60
4.2.5 Conclusión del análisis financiero 63
5 Conclusiones del proyecto 65
6 Declaración sobre el uso de Chat GPT u otras herramientas de inteligencia artificial generativa 68
7 Bibliografía 70
8 ANEXOS 72

1 Introducción

Es de conocimiento general que las energías renovables están cada vez más presentes en el día a día, pudiendo observar los grandes aerogeneradores eólicos viajando a través del país, así como las extensas plantas solares. El desarrollo de un sistema eléctrico basado en su totalidad en ellas es todavía un futuro remoto, al menos hasta que se consigan suplir las carencias de las limpias energías renovables, como lo son la intermitencia del recurso y no poder gestionarlo, es decir, no se dispone del recurso a voluntad, si no que se aprovecha el que la naturaleza ofrece en cada momento.

En este proyecto, se describirá cómo el almacenamiento de energía está destinado a ser la solución que complementará a las energías renovables para suplir dichas desventajas, realizando un análisis para entender la viabilidad actual de un proyecto de esta índole.

Para entender en profundidad las bondades de un proyecto de energía renovable con almacenamiento de electricidad y su relevancia para con la sociedad, se presentan a continuación una serie de objetivos que se pretenden alcanzar y son la motivación del proyecto.

1.1 Objetivos

En este apartado se presentan esquemáticamente los objetivos del proyecto, las cuestiones concretas a las que se busca dar solución.

Analizar la situación actual del sistema energético en Nueva York y su capacidad para incorporar energías renovables y almacenamiento.

En el marco teórico se analizará la red eléctrica de Nueva York para conocer las necesidades energéticas de esta, de manera que se pueda conocer de antemano la necesidad de implementar un proyecto de energía renovable o si ya existen suficientes plantas de generación eléctrica. Se analizará la presencia actual de energías renovables y el mix energético en conjunto, así como la capacidad de conexión del sistema de transmisión eléctrico del Estado de Nueva York, de manera que se comprenda si existe una necesidad y capacidad de proyectos renovables en la zona.

Analizar el impacto de la implantación de almacenamiento en baterías en el sistema eléctrico en el estado de Nueva York.

A su vez, en el marco teórico se estudiará el impacto de las baterías en términos de mejora de la capacidad de la red, así como de la reducción del desperdicio de la energía generada y no vertida a la red por la saturación de las líneas de transmisión.

Entender el proceso para desarrollar un proyecto desde cero de una planta solar con almacenamiento de energía para aumentar al máximo las probabilidades de éxito del proyecto.

Se busca dar a conocer una forma de proceder a la hora de originar proyectos desde el inicio para escoger de entre todas las posibilidades aquellas que tengan mayor probabilidad de éxito, resultando en una mejor utilización de los recursos de una empresa y, por ello, mejora de la viabilidad de los proyectos.

Evaluar la viabilidad técnica y económica de un sistema que incluya generación solar fotovoltaica y almacenamiento en baterías

Se estudiarán las especificaciones técnicas de una planta solar y un sistema de almacenamiento, escogiendo la opción que ofrezca mayor beneficio económico, considerando el gasto inicial, el mantenimiento y el retorno de la inversión.

1.2 Metodología utilizada

La metodología escogida es la deductiva, pues se parte de una técnica ya existente, el desarrollo de proyectos de energía solar con almacenamiento de energía, cuya viabilidad se quiere probar con un nuevo proyecto en un emplazamiento concreto, encontrando nuevas variables que condicionan el desarrollo.

Se realizará un análisis cuantitativo para medir la rentabilidad del proyecto con datos objetivos basados en parámetros de otros proyectos similares, ajustándolos a las características del nuevo emplazamiento. A su vez, los datos se cumplimentarán matices cualitativos en el marco teórico para entender el por

qué se ha decidido colocar en Nueva York la planta renovable, así como la necesidad de incluir almacenamiento de energía.

En cuanto a las fuentes de información, la mayor fuente ha resultado ser la base de datos de la empresa Abei Energy & Infrastructures, S.L., de la que se extraen datos técnicos del proyecto y sobre el proceso de creación de proyectos renovables, así como datos sobre el sistema eléctrico neoyorkino y su operador de red, NYISO o New York Independent System Operator.

Otras fuentes son informes anuales del propio operador NYISO, la agencia IRENA (International Renewable ENergy Association) y otras varias fuentes oficiales y empresas del sector, como Iberdrola.

1.3 Estado de la cuestión

Una vez se tienen claros los objetivos que se desean alcanzar en el estudio, el siguiente paso en esta introducción es dar un marco conceptual para entender el contexto del proyecto y por qué se considera de interés llevarlo a cabo, resaltando el valor que genera.

Para empezar, se va a presentar un proyecto híbrido creado en España por parte de Abei Energy & Infrastructure, S.L. para conocer de primera mano los últimos datos referentes a proyectos reales de plantas solares con almacenamiento de baterías que servirán para entender por qué incluir baterías en un proceso.

La planta se localiza en Benacazón, Sevilla, y se trata de una planta solar de 27,5 MW (Megavatios) pico de potencia , 23,5 MW nominales de capacidad real en los inversores y 20 MW en el punto de conexión a la red, siendo este punto la SET Huévar (Subestación Eléctrica Transformadora). La línea de interconexión hasta la SET Huévar transcurre en su mayor parte de forma soterrada, con algunos tramos aéreos para solventar cruces con carreteras.

Algunos valores importantes de la planta se encuentran a continuación y servirán para tener valores de primera mano sobre costes reales de una planta. El coste de la planta solar, según datos de la empresa, se encuentra entre los 650-750

k€/MWp, es decir, alrededor de los 20M€, con un TIR entre el 5% y 7%. Los valores han sido compartidos de manera estimada por voluntad de la empresa.

Este proyecto se realizó en un principio sin el almacenamiento de energía en baterías, pues la tecnología no estaba lo suficientemente desarrollada. Sin embargo, se ha realizado una actualización del proyecto para incluirlo, puesto que en los últimos años el aumento de las capacidades y rendimientos han crecido año tras año, incluso modelos de los mismos fabricantes que se actualizan de manera vertiginosa, reduciendo mucho los costes.

Como dato, según un informe de IRENA, desde 2010 a 2023, el coste de las baterías se ha reducido en un 89%, pasando de 2.511USD/kWh a 273 USD, ocurriendo de manera exponencial. De hecho, la tecnología usada en la planta, con módulos de baterías de fosfato de hierro y litio (LFP), llegó a tener un coste de 95 USD/kWh en 2023, siendo un 32% más barato que otras tecnologías y resultando en una forma de dar más rentabilidad y solidez al proyecto, dada las ventajas complementarias que dota a la planta solar el almacenamiento de electricidad. (IRENA, World Energy Transitions Outlook 2023: 1.5°C Pathway, 2023)

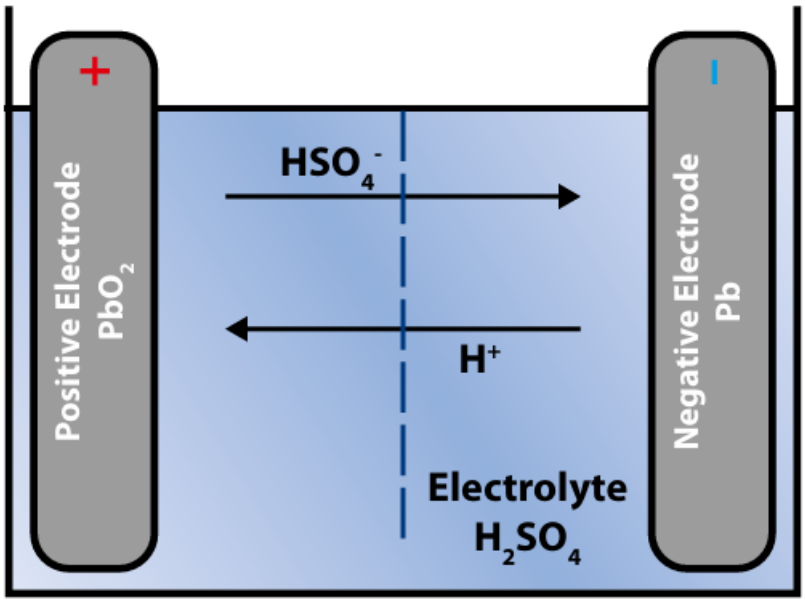


Imagen 1. Funcionamiento de una batería (IRENA, 2017)

En términos de rentabilidad de un proyecto, el almacenamiento de energía proporciona un sustento a la planta solar, vendiendo la electricidad en aquellos momentos que la energía es más necesitada y su precio es más elevado, optimizando el beneficio de la planta, a la vez que reduce las pérdidas por saturaciones en la red, aprovechando la electricidad que de otra forma sería desperdiciada. De este modo, la energía generada que no se vendería pasa a dar beneficio, aumentando la tasa de retorno de la inversión en torno a un 2-6%, según cálculos internos de la empresa basados en información de proveedores y estimaciones de precios de la energía a futuro.

Por otro lado, cabe destacar que el proyecto se ha ubicado en el estado de Nueva York, lugar con unas características complejas dada su vasta extensión y la diferencia orográficas entre zonas, con la necesidad de acelerar la transición hacia las energías renovables.

El estado de Nueva York se ha comprometido a conseguir que el 70% de la electricidad del sistema eléctrico neoyorkino provenga de fuentes renovables para 2030 mediante la Ley de Liderazgo Climático y Protección Comunitaria (CLCPA), además de ser un estado completamente libre de emisiones para 2040. A su vez, existe una necesidad de aumentar la fiabilidad del sistema, puesto que el auge de las energías renovables han hecho perderla en cierta forma, al incluir fuentes que dependen de la disponibilidad variable del recurso.

A su vez, para poder añadir tanta capacidad a la red, hay que realizar esfuerzos para poder aumentar la limitada capacidad de las líneas, las cuales se saturan al aumentar la capacidad de un sistema por encima de lo que fueron diseñadas a transportar. Para poder continuar con la transición, se están reacondicionando las líneas que ya quedaron obsoletas por el crecimiento de la demanda en Nueva York.

Es por todo lo anterior, los beneficios de una energía limpia y su almacenamiento, la necesidad de implementar proyectos que contribuyan a garantizar el suministro eléctrico y los ambiciosos objetivos para la transición energética del país, por lo que los proyectos de energías renovables estás siendo incentivados desde las esferas dirigentes con medidas favorables, especialmente de los

partidos demócratas, que gobiernan el estado de Nueva York, generando una oportunidad para toda aquella empresa que se sepa adaptar a las peculiaridades del sistema eléctrico neoyorkino.

Una vez se ha introducido el proyecto, se recoge a continuación de manera más concreta y directa la razón de llevarlo a cabo, el porqué dedicar tiempo a realizar un estudio de viabilidad para un proyecto de energía renovable con almacenamiento de energía.

1.4 Partes del TFG

El trabajo consta de 4 partes. La primera parte sirve para justificar la existencia del propio estudio, presentando la motivación para llevar a cabo un proyecto de energía solar con almacenamiento en baterías. Además, se describen los objetivos concretos que se pretende abarcar de forma que contribuyan a la consecución del proyecto.

En segundo apartado recoge la literatura sobre la energía renovable, el almacenamiento de energía y el emplazamiento del proyecto, planteando las hipótesis iniciales.

El tercer bloque recoge los resultados del estudio llevado a cabo para realizar un proyecto que consiga abarcar la consecución de los diferentes objetivos. Comienza con la descripción de un proceso optimizado para la creación de proyectos solares, siguiendo con el diseño de la planta híbrida y terminando con un análisis de la viabilidad económica.

Finalmente, se presentan las conclusiones del proyecto.

2 Marco Teórico

Gracias a los esfuerzos de las últimas décadas por parte de los diferentes organismos gubernamentales y científicos, se ha podido difundir el conocimiento en la población sobre la importancia de las energías renovables y el gran puesto que están destinadas a ocupar en la generación de energía eléctrica. Sin embargo, aunque el grueso de la población posee una concepción positiva de las tecnologías de energía renovable, no es habitual que se conozca por qué estas tecnologías se postran como la solución a los problemas de la generación de electricidad sostenible, ni las limitaciones y obstáculos que estas tecnologías necesitan sobrepasar para poder sustituir finalmente a las energías no renovables de combustión fósil.

En este apartado se busca dar al lector una idea clara y directa para entender la tecnología solar, tanto sus beneficios como sus limitaciones y las soluciones que se plantean para conseguir un sistema energético más sostenible y eficaz, presentando un elemento determinante para ello y no tan conocido, el almacenamiento de energía.

A su vez, para entender la necesidad de realizar un proyecto de energía solar incluyendo almacenamiento de energía BESS (Battery Energy Storage System) en la zona de Nueva York, se presentarán las características de la región, así como la situación del sistema energético en el estado y la situación social y política de las energías renovables en la zona. De esta forma, al finalizar el apartado, se pretende que el lector entienda problemas que afronta el sistema eléctrico a la hora de ofrecer energía sostenible a la vez que asegura la fiabilidad del sistema, consiguiendo una visión general del sistema eléctrico del estado de Nueva York y comprenda los beneficios de un proyecto de energía renovable en la zona.

2.1 Principios de la energía solar y su utilización

Para empezar, hay que conocer qué es la energía solar y cómo es que el ser humano es capaz de usar la energía del Sol de forma eficiente para utilizarla en su día a día.

La energía solar parte de aprovechar la radiación que nos llega del sol. Esa radiación solar es la energía que nos llega de las reacciones de fusión ocurridas en el núcleo de la estrella, transportándose mediante ondas electromagnéticas por el espacio. Cuando llega a la Tierra, la atmósfera absorbe gran parte de la radiación, ya sea por las nubes o la absorción de la energía por moléculas gaseosas o pequeñas partículas suspendidas en el aire. A la superficie llega una fracción de la radiación inicial, la cual es en parte absorbida y en parte reflejada de vuelta al espacio. Esa radiación reflejada se denomina albedo (Iberdrola, 2024)

La radiación solar tiene un papel importante en las dinámicas de procesos climatológicos y de la propia atmósfera, además de hacer posible la vida en la Tierra, siendo clave en procesos como la fotosíntesis y el viento. A su vez, esta energía está comenzando a ser importante también a la hora de suplir de forma sostenible las necesidades energéticas del mundo, por ser una fuente renovable e inagotable de energía. De hecho, desde que inicia su operación, la planta solar no genera emisiones gases de efecto invernadero, por lo que es clave para reducir la huella climática y combatir el cambio climático.

El problema yace en la disponibilidad de la energía solar, pues es un recurso que no puede utilizarse en el momento o el lugar que necesites fácilmente, como un combustible fósil al uso. Esta energía es emitida por el sol y depende de la posición de la Tierra con respecto a este, así como de nubes y demás inclemencias temporales, parámetros que no pueden modificarse o incluso prever con demasiada antelación y que imposibilitan la existencia de un sistema eléctrico plenamente operado con energía solar. Además, se necesita una infraestructura grande y una gran superficie para obtener grandes cantidades de energía.

Por otro lado, dependiendo de la zona del planeta, el recurso solar varía. Por la inclinación de la Tierra y su movimiento alrededor del Sol, el recurso difiere según la altitud y latitud del terreno, así como la estación del año.

A continuación, podemos encontrar un ejemplo de un mapa con la radiación solar que llega a España y a EE. UU. Se aprecia que, en España, el mejor recurso se

encuentra en el sur, además de tener una buena radiación en todo el país, salvo el norte. En el caso de EE. UU., hay mejor recurso cuanto más al oeste, aunque incluso exceptuando la zona más al norte del país, hay un recurso más que aceptable para la implantación de proyectos solares. En concreto en Nueva York, objeto de estudio en este trabajo, el recurso ronda los 1200-1500 kwh/m^2. (Plasol, 2024)

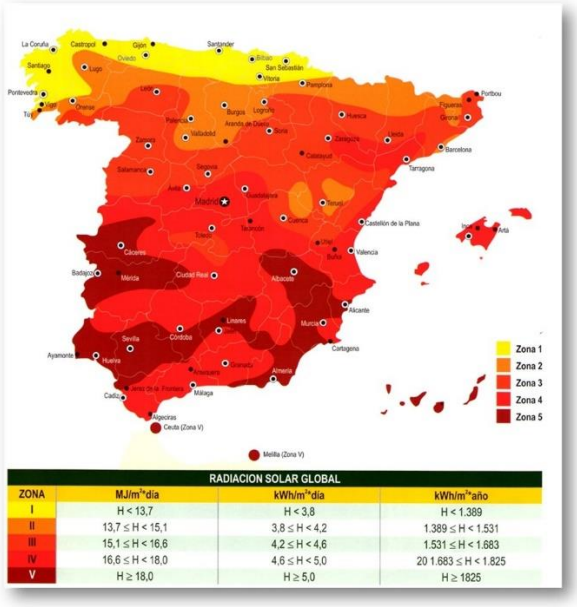


Imagen 2. Mapa recurso solar España (Plasol, 2024)

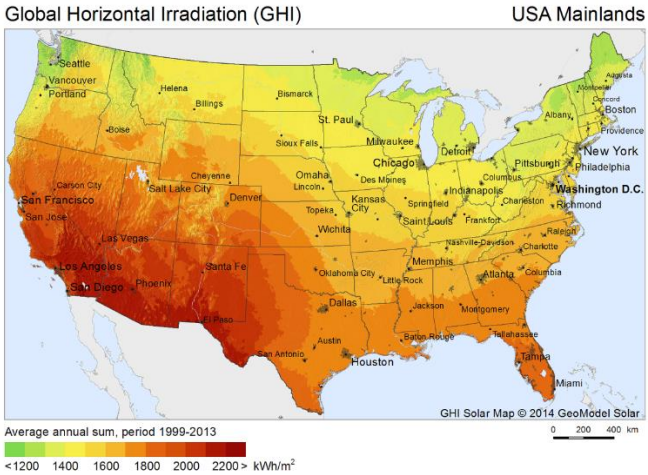


Imagen 3. Mapa recurso solar EEUU (SolarGIS, 2014)

Otro de las características de la energía solar es la necesidad de encontrar una manera de convertir esa energía en electricidad utilizable en nuestra red. Dicha

transformación se realiza desde los paneles solares, que generan corriente continua, la cual es transformada a corriente alterna en unos inversores. El siguiente paso es elevar la tensión para poder transportar la electricidad, ya que de los paneles sale con una tensión limitada, 1,5kV como máximo normalmente, mientras que el transporte de electricidad se debe hacer a mayor tensión para evitar pérdidas excesivas. Para ello, se utilizan elevadores de tensión, transformadores, que se pueden encontrar en subestaciones eléctricas o centros de transformación, donde la tensión se eleva antes de salir de la planta hacia el siguiente punto de distribución o transporte Además se necesita un sistema de control y gestión que garantice el abastecimiento estable y constante de energía, ya que la naturaleza variable de la energía solar hace que su generación sea inestable, cosa por la cual no es posible introducirla directamente a los sistemas de demanda eléctrica

Otro parámetro fundamental a la hora de convertir la energía solar en eléctrica y que sea rentable es la eficiencia energética, el porcentaje de luz solar que se convierte en electricidad. Se han producido grandes avances en los últimos años, pasando de paneles que apenas llegaban al 15% de eficiencia energética, al 20% sólido de los actuales (EnelX, 2023). El reto en cuanto al consumo, a su vez, es maximizar el uso de la energía captada directamente vertiéndola a la red o consumiéndola al momento, dada la naturaleza de la energía, a la vez que se minimizan las pérdidas durante la conversión y al almacenar la energía.

Por otro lado, las energías renovables tienen inconvenientes grandes que les han impedido proclamarse como las principales fuentes de energía a nivel global. Una de las características más desventajosas de la tecnología solar es la indisponibilidad variable e imprevisible al medio-largo plazo. Las nubes reducen la producción solar drásticamente, oscilando su producción entre el 5% y el 70% (SolarReference, 2022). Esto es un problema porque el consumo suele ser constante a lo largo de los días, e incluso se incrementa los días nublados y de temporal, cuando menor es la generación renovable.

Por ello, la energía solar no puede sustentar un sistema energético sin ayuda. Es aquí donde entra el almacenamiento de electricidad, como las baterías. Las

baterías contribuyen a mejorar tanto la viabilidad económica del proyecto, al vender energía cuando está a un mayor precio o cuando la planta solar no está generando todo lo que puede verter a la red, y también consiguen darle a la planta la versatilidad de la que carece la energía solar frente a las tecnologías basadas en combustibles fósiles, pudiendo verter más o menos energía dependiendo de la necesidad del momento.

A pesar de ser una energía intermitente y difícil de gestionar, la cual necesita de grandes extensiones para obtener energía a nivel industrial, la energía solar es un recurso limpio y asequible que sirve como alternativa viable y sostenible a los combustibles fósiles. No produce contaminación del aire ni del agua al operar la planta, y su impacto ambiental es muy reducido en comparación con otras fuentes de energía como la energía nuclear u otras energías basadas en combustibles fósiles, todo ello obteniendo el recurso de forma gratuita. De esta forma, la energía solar es clave en la transición a fuentes de energía renovables y limpias.

2.2 Tecnología Solar Fotovoltaica

Una vez se han entendido las características de la energía solar, sus ventajas e inconvenientes y porqué se postula como una energía crucial en la transición energética, es necesario conocer los procesos de las diferentes tecnologías de generación y almacenamiento de electricidad que se van a utilizar en el proyecto, de manera que se consiga una base científica mínima para entender las decisiones tomadas y el razonamiento del estudio.

De este modo, se ha establecido previamente que la energía solar llega a la Tierra en forma de radiación solar, la cual no es práctica para utilizar directamente en los dispositivos actuales, es decir, se necesita transformar la energía solar en un vector que sea más práctico utilizar en el día a día y cuando se necesite, como la electricidad. De esta forma, la radiación solar se puede aprovechar, principalmente, con dos tecnologías diferentes: la tecnología solar fotovoltaica y la tecnología solar térmica. (Obaideen, 2023)

Por otro lado, con la tecnología solar térmica, se utiliza la energía solar directamente para calentar un líquido caloportador que podrá emplearse para intercambiar calor con un líquido, por ejemplo, logrando para reducir la energía utilizada a la hora de calentar una estancia en instalaciones y edificios habitados o el agua de piscinas.

En cuanto a la tecnología fotovoltaica, la radiación es captada por materiales semiconductores, normalmente formados por Silicio con inclusiones de Fósforo y Boro. La energía solar excita los electrones de dichos paneles, lo que provoca el movimiento de electrones, generando una diferencia de potencial. Al unir varios paneles en serie, se consiguen diferencias de potencial grandes capaces de generar electricidad en grandes cantidades. Es un proceso modular que puede funcionar tanto en pequeñas instalaciones de autoconsumo como en grandes centrales generadoras de electricidad. (COIT, 2007)

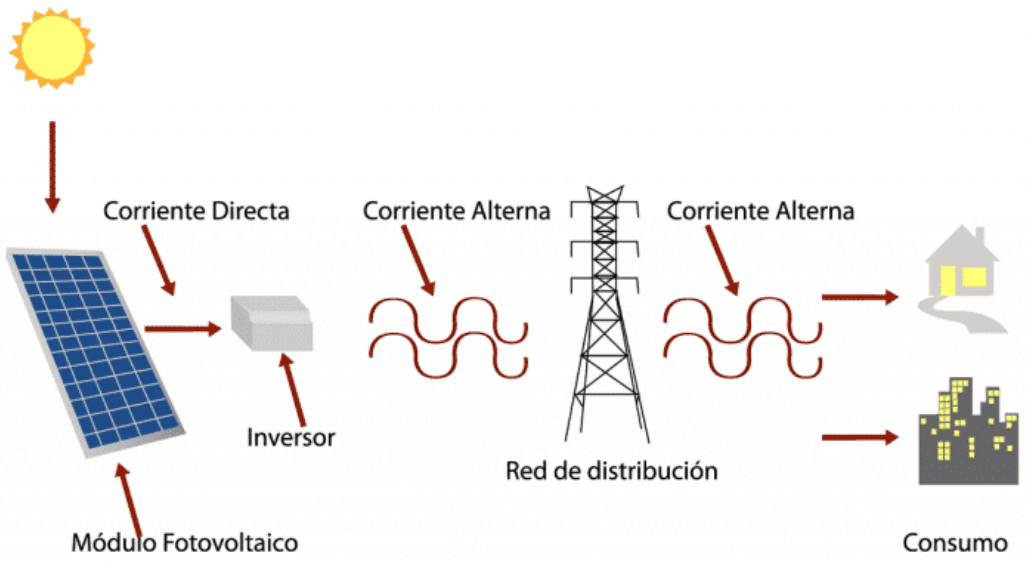


Imagen 4. Esquema de la tecnología solar fotovoltaica, (COIT, 2007)

2.3 Tecnología de Almacenamiento en Baterías BESS

Por otro lado, uno de los grandes objetivos de este trabajo es explicar la gran importancia del almacenamiento de energía para la transición energética desde los combustibles fósiles a las tecnologías renovables. Estas logran suplir una de las mayores limitaciones de las energías renovables, la indisponibilidad intermitente e impredecible de los recursos renovables, como el viento y la

radiación solar, que dependen de las caóticas y cambiantes condiciones climáticas.

Existen diferentes formas de conservar la energía, como las centrales de bombeo, que acumulan la energía físicamente en forma de energía potencial, utilizando una bomba alimentada con la energía sobrante de las plantas de energía renovable que devuelve el agua de aguas abajo de vuelta al embalse para poder ser liberada y generar electricidad cuando se necesite en las plantas de energía hidráulica. También se puede utilizar la electricidad sobrante generada en una planta renovable para generar hidrógeno en electrolizadores, y posteriormente se quemará obteniendo energía sin emitir gases nocivos al medio.

Sin embargo, la tecnología que se presenta como la solución más conveniente para este proyecto es el almacenamiento en baterías. Tras años en desarrollo, la tecnología está llegando a un punto de madurez, continuamente mejorando las capacidades de las baterías y disminuyendo las pérdidas al almacenar la electricidad, consiguiendo almacenar electricidad de manera compacta y fiable. De esta forma, el almacenamiento de energía en baterías, BESS por sus siglas en inglés, se está postulando como una de las opciones más viables para arreglar el problema de la intermitencia en la generación de electricidad mediante energía solar.

Las ventajas de incorporar el uso de baterías en un proyecto de energía solar son dos, principalmente. La primera sería poder almacenar la energía solar sobrante que se genera, pero no puede ser absorbida al momento por la red por la saturación de esta. Esto ayuda a descongestionar zonas con varios parques generadores o en zonas con una gran demanda variante, como cerca de grandes poblaciones. El segundo enfoque es el de maximizar el retorno de la inversión, almacenando la energía en horas que la electricidad esté a un menor precio y venderla en momentos en el que el mercado sitúe la venta en un mejor precio. Esta tecnología ayuda tanto a la viabilidad tecnológica como económica de los proyectos solares, por lo que en los últimos años están proliferando los proyectos híbridos en todo el mundo, Solar/Eólico + BESS.

2.4 Beneficios medioambientales. Cumplimiento de ODS

A continuación, se ha querido dedicar un apartado de este trabajo para entender la importancia de apoyar el desarrollo de energías renovables, y la mejor forma es presentar los Objetivos de Desarrollo Sostenible, o ODS.

Los ODS u objetivos de desarrollo sostenible fueron establecidos por la ONU en 2015 en la Asamblea General de la ONU, como parte de la agenda 2030 para el desarrollo sostenible. Estos 17 objetivos están pensados para ser una guía global para todos los gobiernos, empresas y población civil, para dirigir el planeta hacia un futuro sostenible y justo para todos. Se basan en conceptos como la universalidad, la inclusión y la sostenibilidad, de manera que se acorten cada vez más las desigualdades, sin dejar a nadie atrás al tiempo que el mundo se prepara y desarrolla para los desafíos del futuro.

Este proyecto de energía renovable contribuye a la consecución de tres ODS principalmente, dentro que podría justificarse su beneficio en otros tantos, debido a la cercanía entre algunos ODS, pudiendo entender el vasto y profundo avance que es para la sociedad incluir las energías renovables como la solar fotovoltaica en la red de generación eléctrica.

El primer beneficio de las plantas de energía solar fotovoltaica es la reducción del precio de la electricidad. La energía solar es una energía barata, que hoy en día provoca que la energía sea incluso gratis en algunos tramos del mes, dada las circunstancias del sistema actual, pero que hace ver los bajos costes asociados a la energía solar.

Además, uno de los mayores beneficos al medioambiente y ligado al ODS 7 es la nula huella ecológica de la operación de una planta solar, pues tras la instalación, prácticamente hay emisones de dióxido de carbono (CO_2) nulas derivadas de la planta.

Otro objetivo de desarrollo sostenible directamente abarcado por el proyecto es el número 11 o de ciudades y comunidades sostenibles. El proyecto fomenta las energías renovables, claves a la hora de hacer a las ciudades sostenibles y menos dependientes de los combustibles fósiles y de los países con acceso a estas. La mejora al acceso de fuentes de energía renovables reduce los costes a largo plazo y el impacto ambiental de las grandes ciudades.

Por otro lado, la instalación de fuentes de energías renovables para sustituir las plantas de combustibles fósiles actúa directamente contra uno de los mayores culpables del cambio climático, las emisiones de gases de efecto invernadero, como el CO_2. Además, al usar el almacenamiento en baterías, se consigue una mayor eficiencia a la hora de administrar energía renovable a la red, pudiendo aprovecharla mejor, evitando la necesidad de utilizar plantas de combustibles fósiles para suplir aquellos momentos en que la red no dispone de suficiente energía por parte de las plantas renovables. El almacenamiento es clave para superar aquellos días con extremas condiciones climáticas en las que las fuentes renovables no pueden satisfacer su demanda.

De esta forma, se puede apreciar cómo el proyecto de energía solar fotovoltaica influye positivamente no solo en aspectos técnicos de la sostenibilidad de la generación eléctrica, la cual tenía una fecha límite en el momento que se acaben los recursos fósiles no renovables, si no a la sostenibilidad del propio planeta en términos socioeconómicos y de salud, ayudando a conseguir la igualdad entre países y el bienestar de la población.

A continuación, se presenta en detalle un análisis del sistema eléctrico en el que se ubica la planta, el NYISO o New York Independent System Operator.

2.5 Sistema eléctrico neoyorkino. NYISO

Una vez se ha entendido cómo este proyecto contribuye en el avance de la sociedad a nivel social y ecológico, se continuará analizando el emplazamiento

de este proyecto, ya que como se ha dispuesto anteriormente, los diferentes países y localidades del vasto mundo son muy diferentes entre sí, con unas características, necesidades y posibilidades muy variadas.

Como ya se ha avanzado a lo largo del trabajo, este estudio está dedicado a la viabilidad económica de un proyecto que busca desarrollar las energías renovables en el Estado de Nueva York, en los Estados Unidos. De esta forma, es necesario dar una visión al lector de la situación del sistema de electricidad neoyorkino, para entender la base de este proyecto, que no es otra que suplir las necesidades de la demanda energética de la región a la vez que se cumplen los objetivos de sostenibilidad.

Para ello se definirán los diferentes implicados en el proceso de la generación y distribución energética, analizando el estado y funcionamiento del mercado energético en Nueva York, estudiando las tendencias del mercado energético, cómo se coordina el sistema eléctrico y finalmente, entender la situación política y regulatoria vigente, es decir, si se incentivan las energías renovables en la zona por parte del gobierno y la facilidad de implementar proyectos en el área.

2.5.1 Dinámica del mercado energético en NYISO

Para empezar, hay que conocer cómo se opera el mercado. Dada la complejidad y envergadura de la red en EE. UU., esta se divide en varios operadores del sistema, uno de los cuales es el NYISO o *New York Independent System Operator,* que opera únicamente el Estado de Nueva York. Esta organización es la encargada de gestionar la red eléctrica de Nueva York y su mercado eléctrico mayorista, administrando los mercados de forma transparente para una mayor fiabilidad.

Con una frecuencia de seis segundos, NYISO administra la oferta de todo el Estado de Nueva York para suplir la demanda en cada momento, adecuando las ofertas de los productores de energía a la demanda de los consumidores para suministrar electricidad a la región de forma rentable y eficiente.

No son los dueños de las líneas eléctricas, pero se encargan de su correcto funcionamiento, planificando estudios a uno, cinco y diez años para evitar

saturaciones, mantener la fiabilidad de la red en el largo plazo y satisfacer las políticas y nuevos requerimientos de las energías renovables, como la renovación de las líneas de transmisión.

Los gastos de la NYISO se sufragan mediante un recargo que pagan los participantes en los mercados mayoristas de electricidad de Nueva York, suponiendo una pequeña fracción de la factura mensual de electricidad de los consumidores (Departamento de Servicio Público, 2024).

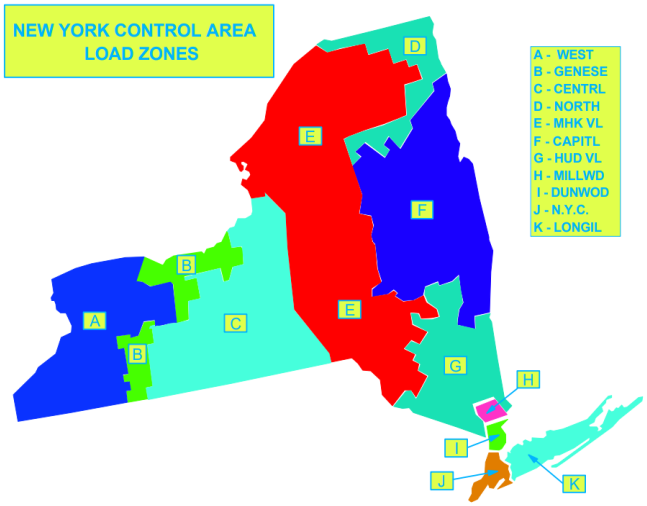


Imagen 5 Zonas NYISO (Departamento de Servicio Público,2024.)

Existen varios objetivos a medio/largo plazo que NYISO se encarga de cumplir, siendo estos mejorar la fiabilidad del sistema, velando por el suministro de electricidad, a la vez que se realiza una transición a las energías renovables y desincentiva las combustibles fósiles.

Con respecto a la transición hacia las energías renovables, para 2030 está planeado que el 70% de la energía generada sea proveniente de fuentes renovables. Otras milestones son llegar al menos 9GW de energía eólica instalada para 2035, 6GW de energía solar para 2025 y 3GW de almacenamiento de energía para 2030. (NYISO, 2019). La operadora está promoviendo pues el

desarrollo de proyectos solares, significando una gran oportunidad para aquellas empresas desarrolladoras, entre las que se encuentra Abei.

En cuanto a la fiabilidad, la NYISO elabora un informe analizando las condiciones meteorológicas esperadas y extremas para conseguir unos valores máximos y mínimos, tanto para la oferta como para la demanda. De esta forma, se intenta conocer de antemano si la capacidad del sistema es suficiente para suplir la demanda en todo momento y bajo las condiciones que se presenten, por duras que sean. Los equipos de planificación y operaciones de la red de NYISO colaboran con las empresas de servicios públicos, los proveedores y los diferentes "stakeholders" para prepararse ante todo tipo de condiciones meteorológicas.

Hablando en datos concretos, en julio de 2013, Nueva York registró un pico récord de demanda de 33.956 megavatios (MW). Para el verano de 2024, la NYISO espera que el suministro de electricidad sea suficiente para satisfacer la demanda estival prevista en condiciones normales, pero en escenarios meteorológicos más extremos, se han identificado posibles problemas en la fiabilidad de la red. En este caso, cuando se simula con las condiciones más favorables, la oferta alcanza los 34.913 MW, mientras que la demanda se queda en 31.541 MW, existiendo margen para suplir dicha demanda. Sin embargo, al incorporar condiciones más extremas, la oferta queda reducida a 34.502 MW, a la vez que la demanda sube hasta los 33.301MW. Al necesitarse 2.620MW de reserva, se aprecia un déficit en el margen para suplir la demanda de 1.419MW, lo que significa que en ciertos momentos no podrían evitarse los cortes de electricidad. (NYISO, 2024).

Para mantener la fiabilidad del sistema, los operadores de NYISO pueden incrementar hasta 3.275 MW la capacidad de la red coordinando el exceso de potencia instalada mediante procedimientos operativos de emergencia. Estos procedimientos operativos de emergencia no se reflejan en los márgenes de fiabilidad previstos descritos anteriormente.

Por otro lado, para desincentivar el desarrollo de proyectos basados en los combustibles fósiles, NYISO está desarrollando un sistema de pagos por

emisiones de CO2. La opción por la que apuesta NYISO es la de *carbon pricing*, es decir, incluir un coste social al carbón para encarecerlo y evitar su uso, en especial en las plantas térmicas, pero también en el resto de sus usos.

Apoyándose en este análisis, se puede ver la necesidad existente de aumentar la potencia instalada en NYISO para aumentar la fiabilidad del sistema, aprovechando a su vez la potencia disponible al máximo, la cual a veces es desperdiciada, debido a uno de los principales problemas de las plantas de energía renovable que no tienen implementado el almacenamiento de electricidad, la imposibilidad de elegir cuando producir la energía. Además, el suplemento a las emisiones de carbono no hace más que favorecer la rentabilidad de los parques renovables frente a aquellos basados en combustibles fósiles contaminantes.

2.5.2 Tendencia del sistema eléctrico Nueva York

Una de las variables más importantes a la hora de entender un sistema eléctrico es conocer la procedencia de las fuentes de energía, así como la variedad y fiabilidad de estas. De esta forma, en este apartado se presentarán los datos de potencia instalada de Nueva York, analizando la diferencia entre las diferentes zonas del Estado.

A su vez, otra de las cuestiones más importantes en un sistema eléctrico y, sobre todo, a la hora de elegir la localización de un proyecto, es la capacidad de la red para añadir potencia en esa zona, lo cual viene limitado por la capacidad de la línea a la que se conecte un proyecto. En aquellas líneas saturadas, no se podrá verter más electricidad, recurriendo en una pérdida de electricidad generada, lo que se denomina con el habla inglesa curtailment.

De este modo, se comenzará hablando de la potencia instalada en el Estado de Nueva York, la cual se presenta en la siguiente figura donde se puede encontrar el mix energético instalado a fecha de verano 2024.

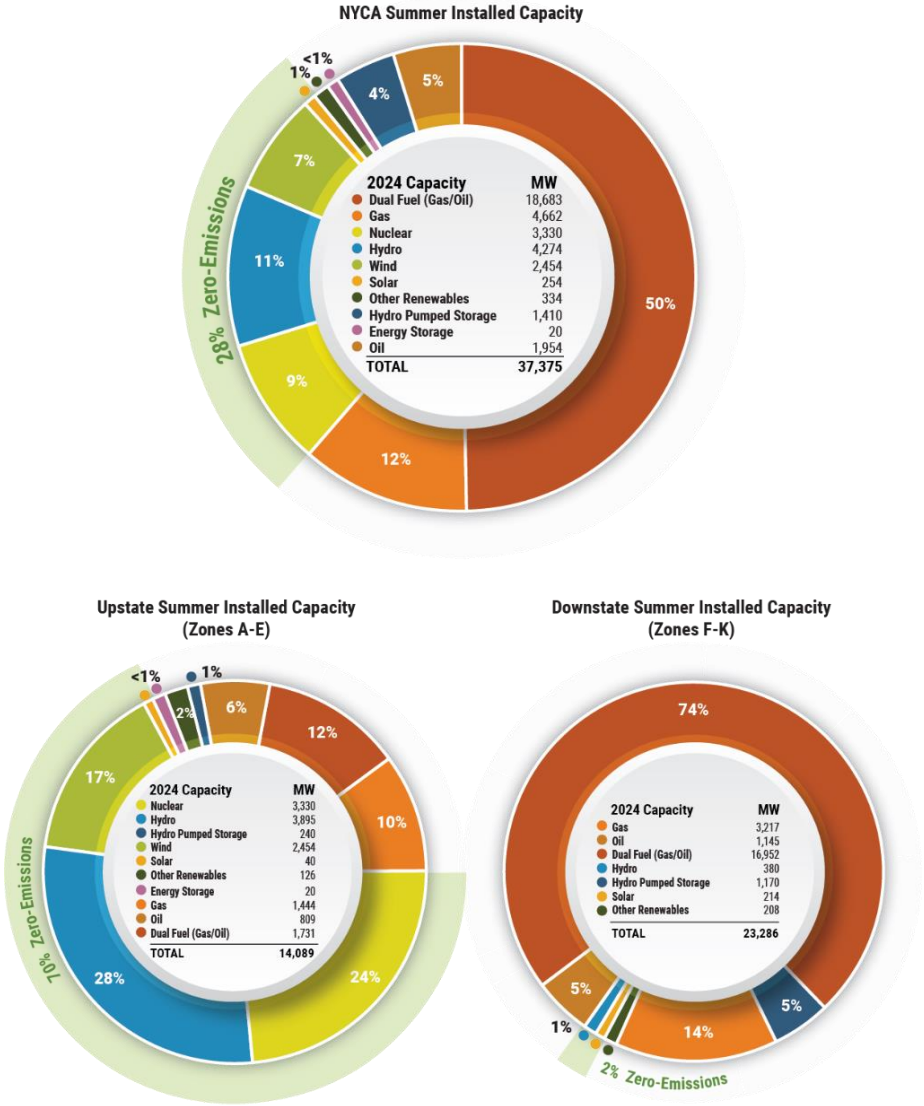


Imagen 6. Mix energético NYISO Verano 2024 (NYISO, 2024)

Además, antes de analizar el mix energético, se desea presentar información relevante sobre la evolución de este. Según informes de NYISO, en cuanto a las tendencias del sistema eléctrico, este año se han añadido a la red 2.256 MW de potencia instalada, entre proyectos solares y eólicos y otras energías renovables de menor relevancia, siguiendo las tendencias de los últimos años. Por otro lado, se están desmantelando plantas de energías no renovables, que llegan al fin de su vida útil. Sin embargo, un gran problema es que ese desmantelamiento se está realizando a un ritmo mayor que la creación de nuevas plantas generadoras. Por ello, el problema de la fiabilidad del sistema se acrecienta, ya que aún hay

menos potencia ofertada, y además es oferta menos fiable, pues depende de las condiciones climáticas. Es necesario implementar proyectos con almacenamiento de energía. (NYISO, 2024)

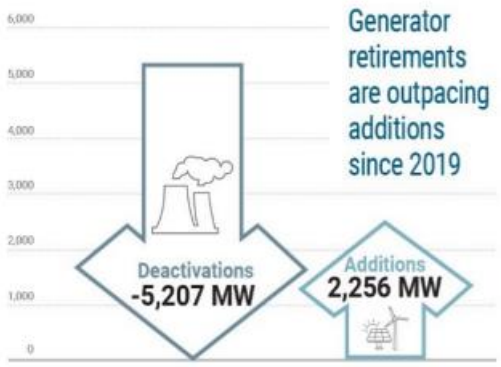


Imagen 7. Activations and Deactivations since 2019 (NYISO, 2024)

Con estos datos, se ha de comprender qué información se puede obtener y que conclusiones derivan de ella.

Para empezar, se aprecia una gran diferencia en la composición de los mix energéticos, en el que se ve cómo la presencia de las energías renovables en NYISO han tenido un desarrollo muy diferente entre las llamadas upstate zone y downstate zone. Por ejemplo, desde 2004, la capacidad de energía eólica ha aumentado de 48MW a 2.748MW en 2024, con la práctica totalidad situada en la upstate zone.

El principal motivo de esta diferencia entre zonas es que la región del downstate carece de espacio para instalaciones renovables a gran escala, debido a la densidad urbana, concentrada principalmente en algunos grandes núcleos, como son las ciudades de Nueva York y Washington D.C, y la limitada disponibilidad de terrenos adecuados, a la vez que un uso más intensivo de la electricidad. Por otro lado, la upstate zone tiene grandes ríos como el Niágara y el San lorenzo, ideales para la generación hidroeléctrica, y grandes terrenos con poca densidad urbana donde desarrollar energía solar y eólica.

Esta ventaja hace que la upstate zone sea autosuficiente con las energías renovables que se generan localmente, con una dependencia mucho menor de la obtención de recursos no renovables como el petróleo y el gas natural. Esto es muy importante para zonas como Nueva York que no se caracterizan por poseer grandes fuentes de combustibles fósiles, por lo que se necesita de la compra a otros países.

2.5.3 Cuello de botella. Líneas de transmisión en NYISO

Sin embargo, podría pensarse que con la energía generada en la zona del upstate sería suficiente para satisfacer gran parte de la demanda en la zona del downstate, y así reducir dicha dependencia de los combustibles fósiles, y en parte es cierto. El problema se encuentra en la limitación las líneas de transmisión, cuya capacidad no es suficiente para suplir la cantidad de electricidad demandada en la zona downstate, lo que crea un cuello de botella energético.

Para aprovechar dicho potencial, la NYISO está trabajando en desarrollar las líneas de transmisión, con proyectos de ampliación de capacidad de la línea de transmisión de corriente alterna. Algunos de estos proyectos ya finalizaron en 2023, y han demostrado a día de hoy que han mejorado la capacidad de suministro de energía en los denominados «wind pockets», partes del upstate de Nueva York donde se produce más energía eólica de la que puede suministrarse a los consumidores, aumentando la capacidad total del sistema eléctrico.

Los proyectos, emprendidos a través del NYISO's Public Policy Transmission Planning Process, implican la renovación de las líneas existentes y la construcción de nuevos tramos, para al menos poder transportar 1.000 megavatios (MW) más en los próximos años.

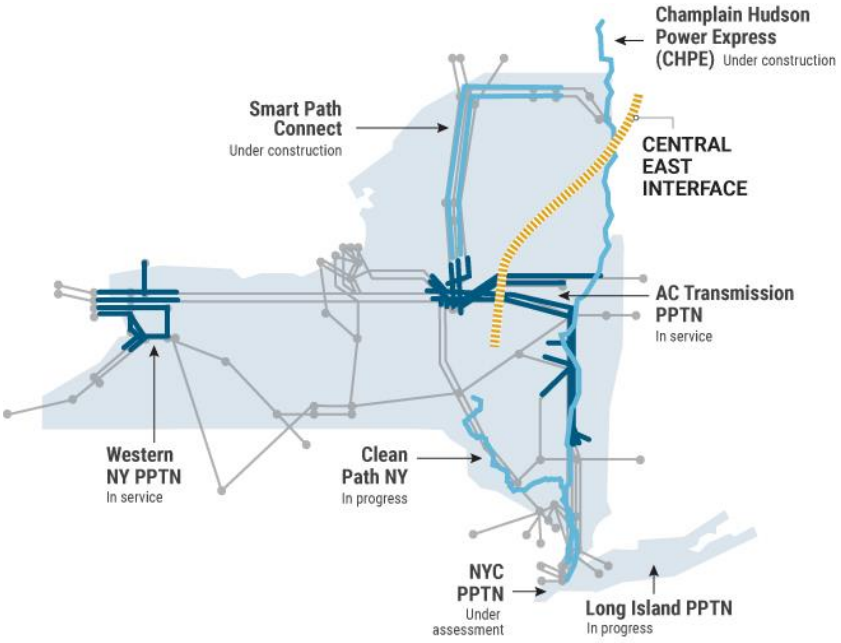


Imagen 8. Líneas eléctricas planeadas para 2042. (NYISO, 2024)

Una de las rutas de transmisión más congestionadas del estado de Nueva York históricamente ha sido el Central East Interface, puesto que hasta ahora ha tenido el papel de principal corredor para la transferencia de energía entre el norte y el sur del Estado, dada la diferencia de generación renovable comentada anteriormente, tomando la zona norte el papel de generador para las grandes urbes de la zona sur. Por ello, aumentar la capacidad de esta infraestructura es fundamental para permitir el suministro de energía de los proyectos de energía renovable en el norte del estado de Nueva York, tal y como se recoje de las palabras de Jason Frasier, Senior Manager de Planificación de Transmisión de NYISO.

Para representar con datos la necesidad de aumentar la capacidad de las líneas, se estudiará el problema que existe con el curtailment, término que hace referencia a la energía que se deshecha al haber producido más de lo que la red puede admitir en ese momento.

Se tiene registrado un curtailment de 162 GWh de energía eólica, 128 GWh en los primeros 4 meses del año, que junto al dato de que en 2023 se generaron 4893 GWh de electricidad eólica, esto refleja una indisponibilidad del 3,3% por la falta de capacidad de la red. (NYISO, 2024).

Sin embargo, y aunque en los pasados años existe el problema, y de ahí la decisión de ampliar la capacidad de las líneas, la elevada cifra de curtailment en 2023 en los 4 primeros meses se debe en parte a los trabajos de renovación en el tramo A de la línea AC de transmisión, que permanecieron parcialmente desacopladas de la red mientras se trabajaba en ellas. De hecho, queda reflejado en los datos de la siguiente imagen una mejora significativa a partir de su renovación, añadiendo además un aumento de capacidad a la red. De hecho, tras los trabajos de mejora de la red, se redujo o eliminó el curteilment de electricidad de fuente eólica en las zonas Oeste, Central, Norte y Mohawk Valley.

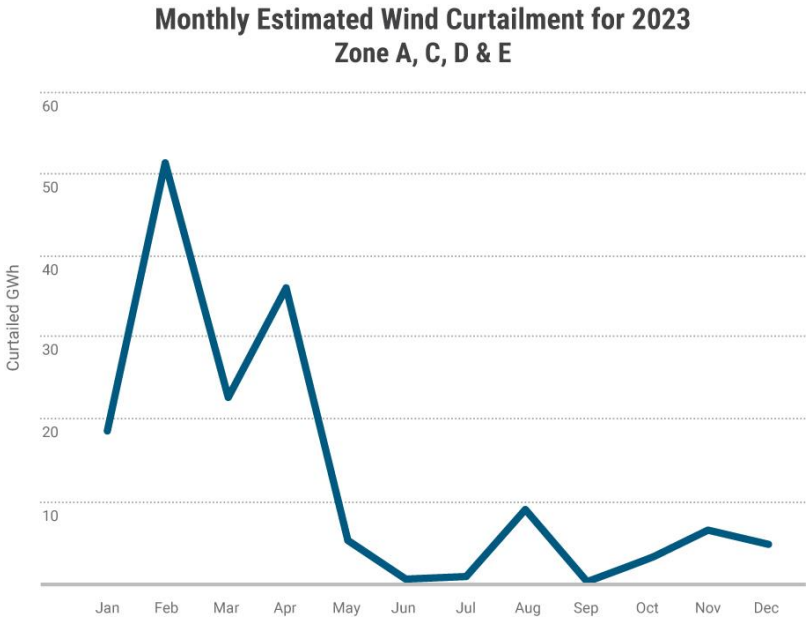


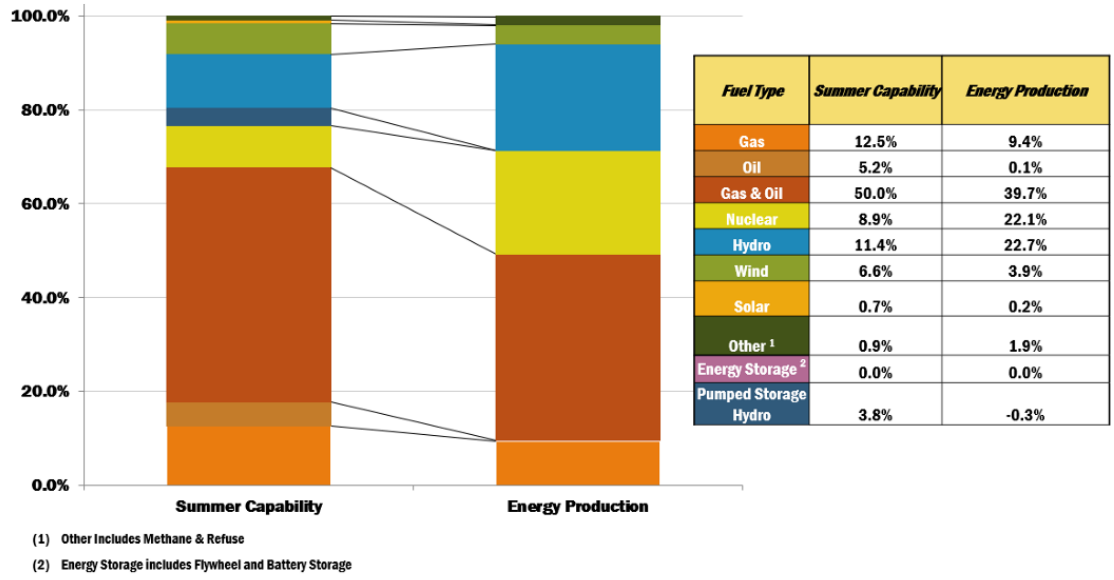
Imagen 9. Curtailment en 2023 (NYISO, 2024)

Esto implica que el cuello de botella dejará de ser la capacidad de la línea, o al menos se reducirá las ocasiones en las que limite la potencia del sistema eléctrico, por lo que más energía podrá ser suministrada ya desde los próximos años. De este modo, junto con la alta demanda prevista y la necesidad de reducir el curtailment a la vez que se mejora la fiabilidad, implica una necesidad de mayor oferta de energía, favoreciendo la creación de nuevos proyectos de energía renovable en NYISO.

2.5.4 Almacenamiento de energía. La solución sostenible

Gracias a estos trabajos de mejora de la red, el curtailment se ha reducido en gran medida. Sin embargo, queda todavía camino, y las líneas siguen siendo el principal cuello de botella. Por esto, otra de las medidas es incentivar el desarrollo de acumulación de energía, especialmente el almacenamiento en baterías o BESS por sus siglas en inglés. De esta forma, se podrá disponer de una capacidad extra en aquellos momentos que la red esté más saturada, y se dispondrá de energía en aquellos momentos que no haya tanta generación renovable pero las líneas admiten electricidad. (Del Valle, 2019)

Además, es la solución para acabar con el gran problema que tienen las energías, la indisponibilidad de estas debido a las condiciones climáticas. Viendo los datos de la siguiente imagen, aunque el 6,6% de la energía eléctrica generada en 2023 provenga de origen eólico, la energía generada solo representa algo más de la mitad, el 3,9%, debido tanto a saturaciones de la red como condiciones adversas para la generación, así como pasa en la energía solar que representando el 0,7% de la potencia instalada, solo llega a suponer el 0,2% de la energía generada.



Fuel Type	Summer Capability	Energy Production
Gas	12.5%	9.4%
Oil	5.2%	0.1%
Gas & Oil	50.0%	39.7%
Nuclear	8.9%	22.1%
Hydro	11.4%	22.7%
Wind	6.6%	3.9%
Solar	0.7%	0.2%
Other [1]	0.9%	1.9%
Energy Storage [2]	0.0%	0.0%
Pumped Storage Hydro	3.8%	-0.3%

Imagen 10. Potencia instalada vs Energía generada en 2023 (NYISO 1, 2024)

Para solventarlo, hay que aumentar la capacidad de almacenamiento de energía, pues significa aumentar la capacidad renovable en aquellos momentos que no se dispone del recurso suficiente y que de momento no es para nada significativa su presencia en el sistema, si bien dada su importancia se refleja en el informe.

Por todo lo mencionado previamente, el desarrollo de proyectos de energía solar y almacenamiento de baterías es una oportunidad a explotar, dada la necesidad de realizar una pronta transición energética hacia la reducción de los combustibles fósiles, a la vez que se garantiza un suministro fiable.

Por último, en el apartado siguiente del marco político, se busca conocer si esa necesidad se ve reflejada en las políticas y una regulación favorable para el desarrollo de proyectos renovables en el estado de Nueva York.

2.5.5 Marco político NYISO

Una vez se ha entendido que el operador de Nueva York está desarrollando las líneas para poder dar cabida a un mayor número de proyectos renovables, dado el beneficio social y económico que supone, es necesario saber cómo se ha dado este impulso desde la parte gubernamental.

Para la consecución de un proyecto de energía renovable, dada su envergadura y la capacidad de afectar a tantas personas, el medioambiente y el paisaje, directa e indirectamente, es necesario llevar una regulación fuerte que asegure la calidad del proyecto y que se han cumplido los criterios de seguridad, de forma que la red y las personas cercanas a la instalación están seguras y se ejercen los derechos de cada parte.

Históricamente, los partidos demócratas han sido los que han impulsado más la energía renovable, a través de iniciativas ambiciosas como la Ley de Liderazgo Climático y Protección Comunitaria (CLCPA), aprobada en 2019, la cual busca que el 70% de la electricidad del estado provenga de fuentes renovables para 2030, y como objetivo a largo plazo, lograr una red eléctrica completamente libre de emisiones para 2040.

Sin embargo, en noviembre de 2024 el republicano Donald Trump ha sido reelegido presidente de los EE. UU., por lo que podría significar un freno a las

renovables, aunque dado el creciente consenso sobre los beneficios no solo ambientales sino también económicos de las energías renovables han logrado convencer a parte del sector más resiliente. Es más, en el Estado de Nueva York ha ganado el partido demócrata, por lo que sus políticas serán más laxas y favorables para las renovables que en otros estados, lo cual es un punto a favor para desarrollar proyectos de energía solar en Nueva York.

Además, instituciones estatales como NYSERDA (New York State Energy Research and Development Authority), agencia pública independiente del estado de Nueva York, creada en 1975, cuya misión principal es abordar los problemas de energía, medio ambiente y desarrollo económico en el estado, ya han invertido en proyectos de energía solar y almacenamiento energético en Nueva York, por lo que sientan una base sólida para confiar en el buen desarrollo del proyecto.

3 Estudio de Campo. Proyecto Hickling

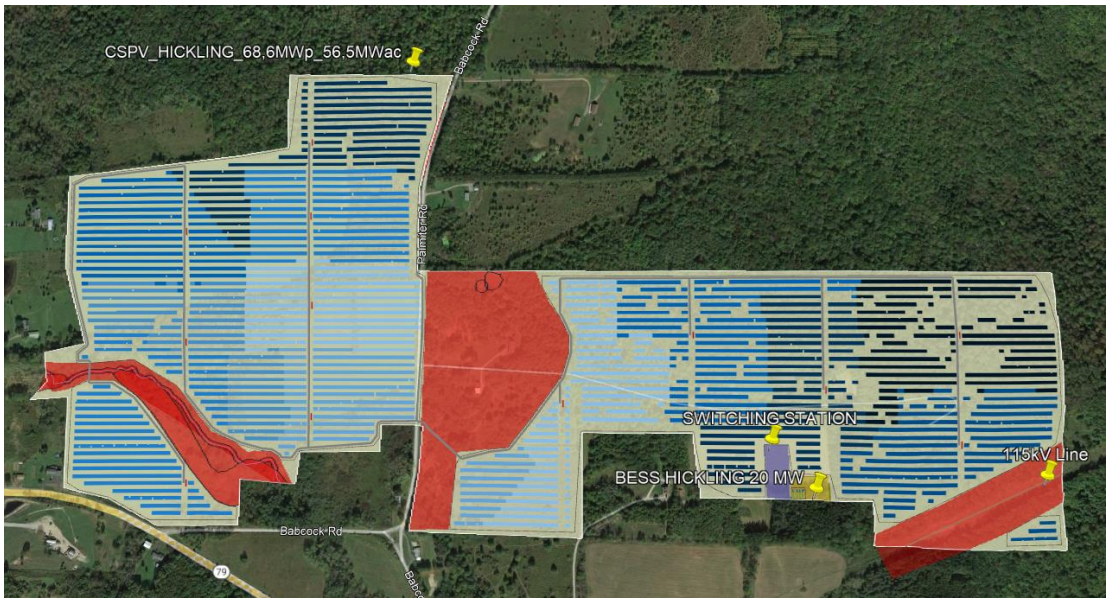


Imagen 11. Layout Proyecto Hickling, (elaboración propia,2024)

Como se ha visto en los apartados anteriores, existe una fuerte demanda de proyectos de energía renovable en NYISO. De aquí que la empresa haya decidido buscar oportunidades invirtiendo recursos en crear y desarrollar proyectos en la zona. En este apartado se explicará cómo se realiza el proceso de creación de un proyecto solar híbrido, el cual es el llevado por la empresa ABEI Energy & Infrastructures.

A continuación, se presentan los objetivos que se van a abarcar al realizar el estudio de la planta solar con almacenamiento de energía en Nueva York:

Entender el proceso para desarrollar un proyecto desde cero de una planta solar con almacenamiento de energía para aumentar al máximo las probabilidades de éxito del proyecto.

Se busca encontrar una forma de proceder a la hora de originar proyectos renovables desde el inicio para escoger de entre todas las posibilidades aquellas que tengan mayor probabilidad de éxito, resultando en una mejor utilización de los recursos de una empresa y, por ello, mejora de la viabilidad de los proyectos.

Evaluar la viabilidad técnica y económica de un sistema que incluya generación solar fotovoltaica y almacenamiento en baterías (BESS).

Se estudiarán las especificaciones técnicas de una planta solar y un sistema de almacenamiento, escogiendo la opción que ofrezca mayor beneficio económico, considerando el gasto inicial, el mantenimiento y el retorno de la inversión.

3.1 Proceso de desarrollo de un proyecto solar híbrido

En este apartado, se presentará la metodología seguida para decidir el emplazamiento de un proyecto de energía solar con almacenamiento de energía en el Estado de Nueva York, explicando desde el comienzo el proceso masterizado por la empresa para encontrar potenciales proyectos viables de energía renovables. Este estudio se apoya en el trabajo de varios departamentos para la consecución del proyecto en la zona más viable posible, por lo que se explicará el funcionamiento de todos ellos y las conclusiones a las que se llega en cada fase del proceso, sin entrar los cálculos técnicos detallados con los que se obtienen los resultados, ya que quedan fuera del alcance de este estudio.

Para abarcar un proyecto tan grande y complejo como la creación de una plata solar, en la que intervienen muchos departamentos y están implicadas muchas variantes externas, se comienza dividiendo el proceso en dos grandes fases: “Origination” y “Permitting”.

El comienzo del proceso se denomina “Origination”, que abarca desde la búsqueda inicial de lugares viables para encontrar oportunidades de negocio, hasta poder entregar un layout preliminar de la planta a la administración oportuna. Es aquí donde entra la fase de “Permitting”, la cual comienza al mandar a las instituciones competentes los documentos para la solicitud de permisos y elaboración de contratos con las diferentes partes y termina cuando el proceso alcanza el estado de Ready to Build (RTB), de forma que solo falta iniciar las obras y conseguir la financiación para que la planta esté operativa, pues tiene todos los permisos en orden.

De esta forma, se empieza el proyecto en la fase de “Origination”, siendo el primer paso el descubrir las zonas de la red en la que es posible incorporar

potencia, ya que hay ciertas zonas más saturadas que otras, admitiendo nuevos proyectos o no. En algunas se necesitará con urgencia la inversión en el desarrollo de nuevos proyectos, y en otras la sobreexplotación de recursos o el mal estado de la red limitará la entrada de nuevos proyectos, pudiendo hacer inviable la conexión de un nuevo parque renovable.

De aquí la importancia del departamento de red de la empresa. Son los primeros en dar el visto bueno a un proyecto. Se encargan de buscar puntos de conexión a la red con capacidad suficiente para emprender el proceso de un nuevo proyecto de forma económicamente viable. Una empresa no se puede permitir malgastar recursos económicos ni de personal en proyectos que no se van a poder conectar a la red. Por eso es el primer paso a seguir a la hora de ubicar un proyecto renovable.

Una vez han ubicado un punto de conexión a red con suficiente capacidad, el equipo *gestión de la energía* se encarga de realizar una serie de análisis para conocer la viabilidad que puede tener un proyecto en la zona, así como la existencia de otros proyectos en la zona. Entre estos análisis está el LMP analysis, que estudia el precio marginal local, una forma de que los precios al por mayor de la electricidad reflejen el valor de la energía eléctrica en diferentes lugares, teniendo en cuenta los patrones de carga, generación y las limitaciones físicas del sistema de transmisión. Otro es el análisis de penetración de renovables, para conocer si otros proyectos ya han reportado ser viables, si ya hay demasiados proyectos en la zona, o si no existen proyectos en la zona y se deben a la falta de explotación o a la mala ubicación del emplazamiento. Por último, es el equipo que decide si la zona es compatible con el desarrollo de un proyecto híbrido o de baterías (BESS), analizando la capacidad de la red y su nivel de saturación, a la vez que la conveniencia de usar las BESS para vender la electricidad en momentos que esté más cara.

El siguiente eslabón del proceso es el de realizar un estudio medioambiental de la zona en la que se ha decidido buscar el emplazamiento, para conocer las zonas en las que no se podrían construir los proyectos por encontrarse en zonas protegidas, tanto por la flora como por la fauna, o la cercanía a aeropuertos,

centros militares, u otras instalaciones de riesgo que estén protegidas por alguna regulaciónEl análisis es entregado a los desarrolladores de proyectos, que se encargan de ir a las tierras viables a contactar con los dueños y presentarles los proyectos. Además, una vez se encuentra una tierra donde el dueño estaría interesado en desarrollar un proyecto de renovables, realizan un análisis en más detalle de las posibles restricciones ambientales de la zona (ríos, zonas inundables, residenciales…).

Esta información se lleva al último paso de la parte de "Origination" del proyecto, el equipo de layouts, que se encargan de elaborar un proyecto que cumpla las limitaciones medioambientales y de capacidad de la red, a la vez que genera todos los datos

En cuanto se tienen los planos preliminares, se decide en el departamento financiero si merece la pena seguir adelante con el proyecto y que avance a la fase de "Permitting".

En esta segunda fase, el proyecto ha demostrado ser suficientemente sólido como para invertir más recursos en su culminación. La idea es llevar el proyecto hasta el estado de ready to built, es decir, toda documentación necesaria se ha obtenido, todos los contratos de las parcelas y venta de energía se han firmado y el proyecto se encuentra únicamente en espera de financiación para ser construido. En NYISO, se realiza la llamada *pre-application,* para una primera valoración por parte de la eléctrica. Si esta es aceptada, se abre una ventana de tiempo para poder presentar el proyecto oficial, con medidas y especificaciones de la planta para su inminente construcción.

3.2 Emplazamiento de la planta

Como se ha comentado previamente, este proyecto se basa en las decisiones tomadas por los diferentes departamentos de la empresa, siguiendo el proceso anteriormente explicado.

El proyecto ha pasado por los diferentes pasos de "Origination", concluyendo en la elección de una zona para el emplazamiento ubicada en el Estado de Nueva York, concretamente un tramo de línea de transmisión de 115kV en el condado

de Broome. Esta decisión vino dada por el departamento de estrategia de la empresa, cuyos estudios reflejan la oportunidad de realizar una incursión en el mercado neoyorkino, dada las necesidades analizadas sobre proyectos renovables para la transición energética. El departamento de redes encontró dicha línea, con capacidad para conectar 100MW de potencia y a menos de 100 km de dos puntos de consumo medianamente grandes, más que suficiente según el departamento de gestión de la energía, para avanzar con el proyecto.

Entonces, el desarrollador que se dedica a contactar con los propietarios de las parcelas comenzó a buscar por la zona, encontrando, entre otras, la parcela que incumbe a este proyecto, llamada internamente “Hickling”, denominada así por el nombre de su propietario.

Esta parcela se encuentra en el condado de Broome, en un pueblo llamado Colesville, de tan solo 4,877 habitantes según el censo de 2020. A su vez, el condado de Broome tiene una extensión de 1,850 km^2 y consta de 198.683 habitantes, encontrándose cerca de dos ciudades de cerca de 50.000 habitantes, Binghamton e Ithaca (CensusBureauUS, 2020).

La parcela se encuentra en su mayoría cubierta de árboles, como es el caso de la mayoría del territorio. La estrategia de la empresa es pagar al dueño para que él despeje la zona de árboles, ya que en EEUU son bastante laxos con lo que se puede hacer en la propiedad privada, y sin embargo a una empresa le sería más complicado, aunque dada la necesidad de energía renovable en la zona se pueden realizar estos proyectos.

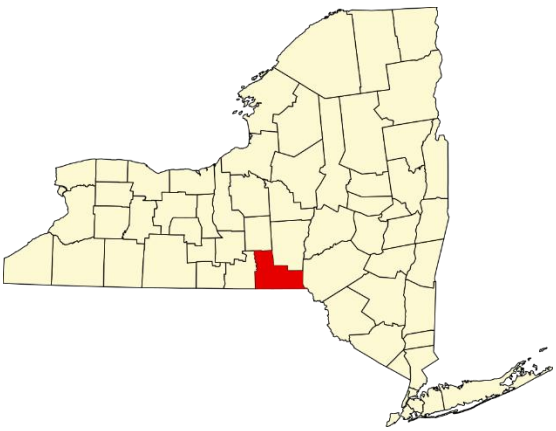


Imagen 12: Condado de Broome (Wikipedia, 2024)

La parcela abarca 223 acres (90,55 ha) y en ella se encuentra la casa del propietario, la cual será respetada a la hora de hacer el proyecto. Esta es a su vez atravesada por la propia línea de 115 kV a la que se pretende conectar el proyecto, así como por una carretera que divide en dos la parcela, la cual habrá que pedir un permiso para atravesarla.

Imagen 13: Parcela de Hickling (elaboración propia, 2024)

3.3 Elección de la tecnología

En cuanto a la tecnología, es importante tener en cuenta tanto las condiciones del terreno como la regulación o tendencias políticas de la zona. En este caso, el equipo de gestión de la energía había sugerido el desarrollo de un proyecto eólico en la línea, para aumentar el portfolio de proyectos eólicos y además tener diversidad, ya que es la empresa posee más proyectos de energía solar que eólica, y además en la zona ya hay proyectos de energía solar que pueden competir entre sí. Sin embargo, un estudio más exhaustivo por parte de medioambiente encontró que en el pueblo de Colesville no se permite realizar proyectos eólicos para la comercialización de energía, principalmente por el impacto visual de este. Por ello se desestimó dicha tecnología.

Por otro lado, la energía solar está permitida y se incentiva para cubrir las pérdidas de potencia por el desmantelamiento de plantas térmicas de energía no renovables en búsqueda de la transición energética para la evolución hacia un sistema eléctrico sostenible y limpio, tal y como se ha presentado en el marco teórico.

Además, la implementación de baterías para el almacenamiento de energía será clave para poder aprovechar al máximo la energía generada en los paneles, en el caso de saturación de la red o para verter energía aquellos días en los que las condiciones ambientales no sean favorables y la generación eléctrica sea insuficiente.

Por todo ello, la elección fue trivial y el equipo de gestión de la energía decidió apostar por un proyecto de energía solar fotovoltaica con almacenamiento de energía en baterías.

El siguiente paso es obtener un layout para poder conocer la capacidad de potencia que se puede alcanzar con el espacio disponible y así estudiar la viabilidad del proyecto y decidir si llevarlo a la fase de "Permitting" y presentarlo oficialmente como un proyecto a las instituciones.

3.4 Desarrollo del Layout. PVDesign

3.4.1 Preparación del Layout en Google Earth

Aquí querría hacer un paréntesis, y es que yo, Rafael Bravo Martín, autor de este trabajo, me encuentro en el departamento de Layouts de Abei Energy & Infrastructures S.L., por lo que mi aportación más personal, única y más dedicada ha sido esta. Por ello, a continuación, detallaré el proceso que he llevado para elaborar el layout de la CSPV Hickling (Crystalline Silicon Photovoltaic), de forma que se pueda entender verdaderamente cómo se llega al layout preliminar, teniendo en cuenta las diferentes restricciones y obstáculos dadas por la regulación o la orografía del terreno.

Para realizar dicho layout, se ha utilizado la herramienta PVDesign. Esta herramienta sirve para configurar una zona con paneles solares de forma automática, respetando una serie de distancias y normas que se le dictan. La herramienta permite modificar los parámetros de la planta para cumplir con las pautas de construcción y diseño preestablecidas por el conocimiento de la empresa (modelo de paneles e inversores, ratio AC/DC, estructura utilizada…).

El proceso a seguir es el siguiente.

De parte del departamento de medioambiente, se entregan al departamento de layouts las parcelas en las que se ha decidido establecer la planta, habiendo pasado todo el proceso detallado anteriormente, tanto por su viabilidad de conexión a red como medioambiental. Las parcelas incluyen las limitaciones medioambientales que afecten parcialmente a la parcela, para que se eviten en el layout, y algunas restricciones específicas de la regulación de la zona, como distancia a los linderos.

A continuación, se incluyen varios elementos necesarios a la hora de realizar un layout en PVDesign. Todo se realiza en archivos kml, los cuales se trabajan en Google Earth Pro.

En la imagen se puede apreciar una gran zona marcada en blanco, que se trata de la zona disponible para construir la planta solar, la cual se conforma por uno o varios polígonos denominados AA, para que el software detecte que es un área de ese tipo.

Otro elemento necesario es la subestación eléctrica de transformación (SET), o switching station, dependiendo de las características del proyecto, necesaria para elevar la tensión de la línea de la planta a la necesaria para conectar con la red. La diferencia entre las dos tecnologías es que la subestación eléctrica posee transformadores propios para elevar la tensión, mientras que la switching station solamente unifica los cables sin elevarlos a más tensión. En la imagen, se puede encontrar como un rectángulo verde. Este tiene unas dimensiones concretas, de 1 acre de superficie. Las medidas de la SET en EEUU en esta parte del diseño no son demasiado concretas, la única norma es que debe dejarse un área de 1 acre de forma rectangular para poder realizar la construcción de la SET. Esto es debido a que no depende de la empresa la elaboración del proyecto de la subestación, si no que la propia NYISO se encarga de realizar el proyecto constructivo y llevarlo a cabo, mientras que la empresa promotora únicamente paga la obra. Esto lo hace NYISO para tener una garantía de calidad en su red, de forma que un nodo mal construido no haga que la red se vea afectada.

Otro elemento importante para el diseño son las zonas de restricción o RA. En las parcelas que llegan a layout, se incluyen muchas restricciones ambientales o residenciales, pero en ocasiones, hay obstáculos que en un análisis previo no se han detectado y que impiden la instalación de paneles fotovoltaicos, véase una gran roca que no puede apartarse o algún camino dentro de la parcela que deba respetarse. Todas las restricciones se agrupan en polígonos denominados RA, que el programa detecta como zonas en las que no puede poner paneles.

En cuanto al almacenamiento BESS, se define un área de nombre BA, en azul en la imagen, la cual el programa reservará para introducir los racks de baterías. Al programa se le introducirán los datos de baterías, la capacidad que se busca, el diseño de estas y la localización de los inversores.

Los últimos elementos necesarios son las chinchetas que indican el acceso a la planta, AC, desde donde iniciarán todos los caminos de la planta, y los puntos de conexión, MV, que sirven al programa para saber donde unir los cables de baja/media tensión. Se necesita un MV para el SET y otro para las baterías.

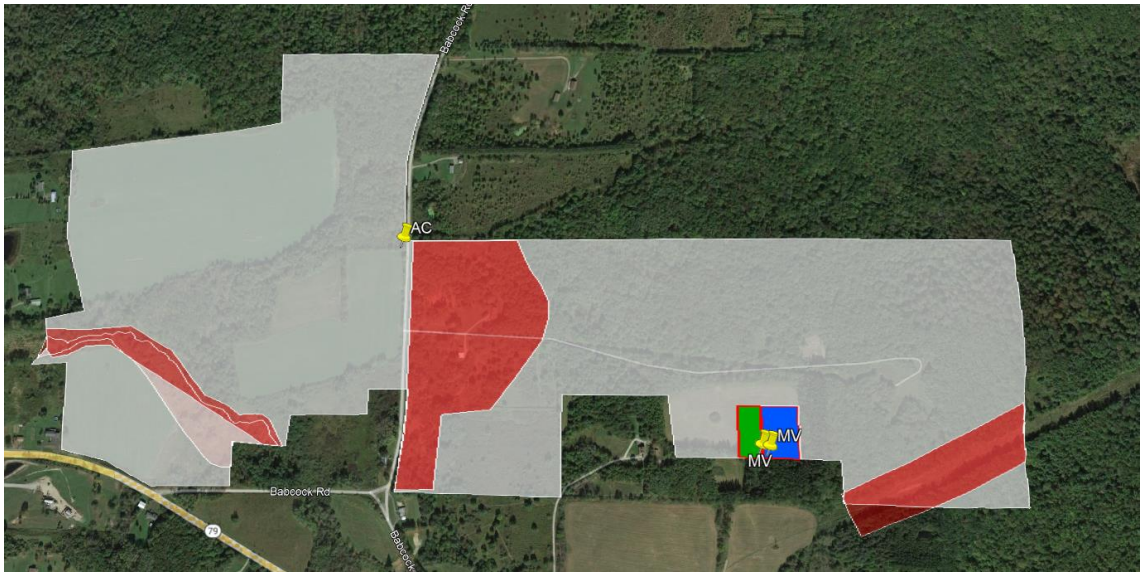


Imagen 14. Diseño PVDesign de la planta, (elaboración propia, 2024)

Con todo los polígonos correctamente definidos y delimitados, solo queda importarlo en el software PVDesign y escoger los equipos que se van a utilizar, véase módulos solares, tipo de inversores, estructura a utilizar, y demás parámetros.

3.4.2 Elaboración del diseño en PVDesign

Una vez se tienen los polígonos definidos, se importan a la herramienta PVDesign. Si todo ha ido correctamente, se puede comenzar a definir los modelos que se desean usar.

A la hora de escoger la potencia a implementar, podemos elegir entre instalar una potencia específica o la máxima que quepa en la planta. El proceso de inscripción de un proyecto de energía renovable tiene un pago inicial por un estudio preliminar de la NYISO que depende de la potencia. De esta forma, si es menor de 80 MW, se pagan 100K dólares, mientras que, si es mayor, se han de abonar 150k dólares. Por ello, la estrategia elegida por la empresa es conseguir un proyecto lo más grande posible pero que no supere los 80MW nominales, para no gastar de más en proyectos en un estado tan inicial pero que den la mayor rentabilidad posible. Además, en ocasiones las líneas no admiten tanta potencia porque ya hay otros generadores cerca y están más saturadas.

En este caso, se busca acercarse al máximo a los 80MW porque la línea no tiene problemas de capacidad. Puesto que es un proyecto que se quiere hibridar, es decir, incluir almacenamiento en baterías, se debe tener en cuenta que el total de potencia nominal no debe superar los 80MW. En este caso, por experiencia de la empresa, se ha decidido instalar 20MW de BESS y lo más cerca posible a 60MW de energía solar.

En primer lugar, se elige el módulo solar más conveniente, el cual por experiencia de la empresa es el JA Solar JAM66D45-615/LB. Es un módulo de la mayor potencia disponible por JA Solar (615Wp), el cual ha demostrado ser confiable y rendir a un buen nivel en los proyectos que ha llevado a cabo la empresa.

Imagen 15. Modulo Fotovoltaico JA Solar JAM66D45-615/LB

Photovoltaic module characteristics	
Main characteristics	
Module model	JAM66D45-615/LB
Manufacturer	JA Solar
Technology	Si-mono
Type of module	Bifacial
Maximum voltage	1500 V
Standard test conditions (STC)	
Peak power	615.0 W
Efficiency	22.77 %
MPP voltage	40.0 V
MPP current	15.39 A
Open circuit voltage	48.3 V
Short circuit current	16.10 A
Temperature coefficients	
Power coefficient	-0.290 %/°C
Voltage coefficient	-0.250 %/°C
Current coefficient	0.044 %/°C
Mechanical characteristics	
Length	2382.0 mm
Width	1134.0 mm
Thickness	30.0 mm
Weight	33.1 kg

Imagen 16. Características del módulo fotovoltaico JA Solar JAM66D45-615/LB, (base de datos PVDesign 2024)

El siguiente elemento es el inversor, el cual transforma la corriente de continua a alterna. Puede ser de configuración central o en string. El central es un gran inversor que agrupa la electricidad de muchos paneles a la vez, perfecto para las grandes plantas, mientras que los strings son de una capacidad mucho menor y permiten mayor flexibilidad en la capacidad nominal de la planta, ideal para las

plantas pequeñas. En este caso, al ser una planta grande, se ha optado por un inversor central de Siemens Gamesa, Proteus PV4700, de 4709 kVA.

Imagen 17. Inversor Proteus PV4700 (base de datos PVDesign 2024)

Inverter characteristics	
Main characteristics	
Inverter model	Proteus PV4700
Inverter type	CENTRAL
Manufacturer	Gamesa Electric
Maximum DC to AC conversion efficiency	99.45 %
Input side (DC)	
MPPT search range	955 - 1300 V
Maximum input voltage	1500 V
Output side (AC)	
Rated power	4709.0 kVA
Maximum Power (datasheet)	4709.0 kVA
Nominal Power (datasheet)	4709.0 kVA
Output voltage	690 V
Output frequency	60 Hz

Table 12. Inverters

Inverter	Quantity	DC inputs	Power DC	DC/AC ratio
Proteus PV4700 (4709 kWac)	11	1 String Box of 8 string 21 String Box of 16 string	5712 kW	1.213
Proteus PV4700 (4709 kWac)	1	1 String Box of 9 string 21 String Box of 16 string	5729 kW	1.217

Power stations	Quantity	Num Inverters	Power AC	Power DC	DC/AC ratio
1	11	1	4.709 MW	5.712 MW	1.213
2	1	1	4.709 MW	5.729 MW	1.217

Imagen 18. Características del inversor Proteus PV4700 y configuración en la planta(base de datos PVDesign 2024)

Se tienen 12 inversores, que consiguen una potencia nominal de 56.508 kW al transformar en la power station los 68.561kW de potencia en corriente continua que se obtienen de los módulos solares. En esta transformación se han tenido en cuenta las pérdidas al transformar la electricidad, ademas de un margen de seguridad en caso de necesitar más energía.

Una decisión clave es la de elegir entre estructura fija o tracker, es decir, aquella que sigue el recorrido del sol por el cielo. En la estructura fija, se tiene una instalación menos compleja, de ahí su menor coste tanto de instalación como de mantenimiento, y que puede ser de mayor tamaño que los trackers. Lo malo es que solo tienen una inclinación y dirección, la cual debe servir para todas las horas del día. A veces el sol está tan bajo que incluso los paneles se dan sombras los unos a los otros y no aprovechan la luz.

El seguidor o tracker, en cambio, es una estructura más compleja y costosa que se mueve para recibir la mayor radiación del sol, optimizando las horas de generación energética. De esta forma, se obtiene mayor energía con la misma potencia si se instalan trackers, pero al ocupar más, en un área cabe el doble de potencia fija instalada que de trackers. Por otro lado, las estructuras fijas se pueden instalar en pendientes elevadas, mientras que la máxima recomendada para un tracker es de 14%.

Por todo ello, para cada proyecto hay que estudiar cuál de las dos conviene más implementar, teniendo en cuenta la potencia disponible en la red junto con la energía que se puede obtener de los paneles, además de todos los parámetros técnicos. En este caso, se ha elegido la estructura fija, debido a las pronunciadas pendientes en las parcelas más al este que impiden instalar una gran cantidad de trackers. En concreto, la estructura es una estructura 3P, es decir, conformada por tres líneas de módulos cada una, y cuyos paneles tienen un ángulo de 20º con respecto al suelo.

Imagen 19. Layout CSPV Hickling con tracker (desestimado)(elaboracion propia,2024)

Imagen 20. Estructura fija de 3 filas(base de datos PVDesign 2024)

Fixed structure characteristics	
Structure type	3P (Portrait)
Poles type	Mono pole
Designed for	MONOFACIAL modules
Minimum ground clearance	0.5 m
Gap between modules in the axis direction	20.0 mm

Strings per structure	Modules per structure	Length	Quantity
1	27	10.37 m	4129

Imagen 21. Características de la estructura fija (base de datos PVDesign 2024)

Los 27 módulos por estructura implican que cada estructura está conformada por 3 líneas de 9 módulos, ocupando 10,37m de largo, necesitando 4129 estructuras para alcanzar la potencia de 68.561kW instalados.

En cuanto a las baterías, se necesita un terreno muy plano, con una pendiente máxima del 1%, por lo que se ha de elegir un terreno plano que posteriormente se acondicionará con trabajos de tierra para cumplir con la limitación.

Las baterías elegidas son Sun5000 v7.2_50Hz, de Sungrow Power Supply Co., de 5000kW de capacidad, por lo que se necesitan 4 de ellas para alcanzar los 20MW de almacenamiento que se buscan. Además, hay que elegir el ciclo de carga y descarga de la batería. Este ciclo establece el tiempo que una batería tiene para cargarse y descargarse, realizando ciclos en los que almacena y luego vierte a la red la electricidad. Con ciclos de 4 horas, las baterías funcionan sin demasiado estrés, pero de forma eficiente (PebblexEnergy, 2024). De esta forma, tenemos una instalación con 80MWh de energía eléctrica generada.

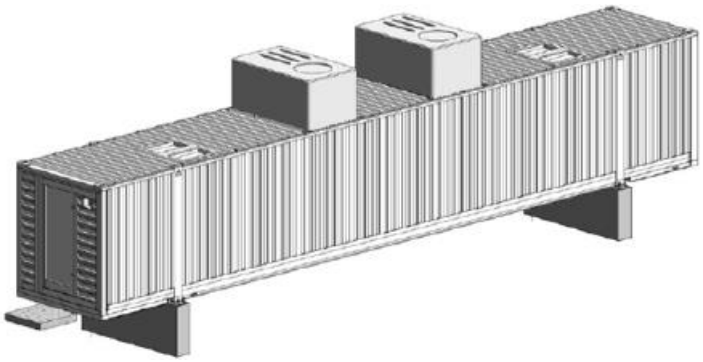


Imagen 22. BESS Sun5000 v7.2_50Hz (base de datos PVDesign 2024)

4 Análisis de Viabilidad Económica

Una vez se ha descrito el proyecto y se ha confirmado la razón de su existencia en el ámbito técnico y social, es necesario pasar por un análisis económico antes de emprenderse en la consecución del proyecto, debido a que una gran cantidad de recursos económicos y personales será invertida y debe reducirse el riesgo de malgastarlos en un proyecto que no es rentable. Si el proyecto da pérdidas en el papel, por seguro las dará en la práctica.

Para este análisis, se utilizan diferentes herramientas como el cálculo del CAPEX (CAPital EXpenditure) y el TIR (tasa interna de retorno) del proyecto, el VAN (valor actual neto) y el "date of payback", obteniendo valores cuyo análisis conjunto puede dar una base sólida para confirmar que un proyecto va a ser rentable o no.

Para el cálculo de dichos parámetros, la empresa tiene unos modelos con los que poder obtener dichos parámetros, incluyendo curvas de precios futuros actualizadas de los mercados, presupuesto inicial de la construcción realizada por la propia empresa y estimaciones de los gastos de operación, entre otros.

4.1 Alcance y consideraciones previas

Este análisis busca evaluar la viabilidad técnica y financiera del proyecto CSPV + BESS Hickling 68,6 MWp, ubicado en el condado de Broome, en el Estado de Nueva York.

Este análisis de viabilidad determinará que el proyecto será **económicamente viable** cuando los ingresos previstos excedan los costes e inversiones requeridos para conseguirlos; será **rentable** cuando ese excedente sea al menos equivalente al que se podría conseguir al invertir los mismos recursos en otro proyecto alternativo y será **financieramente viable** cuando los flujos de efectivo positivos obtenidos (más la financiación a la que se pueda acceder y su coste) permitan cumplir puntualmente con los compromisos de pagos que habrán de adquirirse para el desarrollo del proyecto.

El objeto de este análisis radica principalmente en determinar si, en un contexto conservador con objetivos razonables, el negocio propuesto es económicamente viable y financieramente viable, logrando una rentabilidad atractiva para el inversor.

Finalmente, es importante resaltar que, en términos generales, se ha establecido un panorama conservador y prudente respecto a la capacidad de producción de recursos y los plazos para su adquisición. Por lo tanto, si el proyecto es factible bajo dichas condiciones, el criterio de prudencia empleado en su evaluación fortalecerá la confianza de los resultados y disminuirá el peligro de su interpretación.

4.2 Metodología

4.2.1 Criterios, Parámetros y Valores de Datos empleados.

- HORIZONTE TEMPORAL: El análisis se ha basado en un período de explotación de 40 años, conforme a los datos técnicos del proyecto, junto con un período adicional de 12 meses destinado a la ejecución de obras, instalaciones y puesta en marcha, con inicio previsto en 2029. Es importante señalar que el horizonte temporal se interpreta en términos de años naturales, no necesariamente de calendario. Esto significa que el período inicial de 12 meses puede comenzar en cualquier momento y será seguido por la explotación durante los 40 años posteriores.

- INGRESOS: En este sector, los ingresos se determinan en función de la capacidad instalada y la suposición de que toda la producción se comercializa a los precios establecidos por el mercado de energía. No se ha considerado una estacionalidad específica en las ventas, ya que no se detecta un impacto significativo que pudiera alterar las conclusiones del análisis, especialmente en lo referente al comportamiento interanual de las tensiones de tesorería. Esto evita añadir complejidad innecesaria al modelo.

  Para representar el efecto añadido de las baterías, está incluido en el modelo como un aumento en la energía generada por la planta solar de

200 horas al año, simulando que cuando no haya producción solar, la batería es capaz de vender la que tiene almacenada, lo que la red ve como un aumento de la energía producida por la planta.

- COSTES DE MANTENIMIENTO Y REPARACIONES: El presupuesto destinado a este tipo de gastos considera que no serán necesarias inversiones adicionales de reposición, o que estas ya están incluidas, para garantizar la productividad en los términos previstos durante los 40 años de operación.
- COSTE DE PERSONAL: En un pre-estudio se ha realizado un análisis interno de costes basado en parámetros estándar del sector, considerando en el estudio que dichos costes serán cubiertos mediante la subcontratación de servicios.
- PERIODICIDAD RESTO DE GASTOS: Para facilitar la comprensión del modelo, se ha decidido distribuir a lo largo del año, incluso en términos de flujos, aquellos pagos que en la práctica se realizan únicamente una o dos veces al año (como las primas de seguros, entre otros).
- PERIODOS MEDIOS DE COBROS Y PAGOS: Los pagos y cobros se han distribuido a lo largo del año de la siguiente forma:

Tabla 1. Periodo medio de cobros y pagos, (Abei, 2024)

Periodo medio de cobro	30 días
Periodo medio de pago	60 días
Período medio de pago de IS	60 días
Periodo medio de cobro IVA	30 días
Periodo medio de pago IVA	60 días

- INVERSIONES: Se asume que las inversiones se realizan y desembolsan de manera lineal a lo largo de los 18 meses del plan de ejecución. Los intereses generados durante este período no se consideran activables,

por lo que se incluirán en los resultados del ejercicio en el que se produzcan.

- VALOR RESIDUAL DE LA INVERSIÓN (V.R.): Debido a la dificultad de realizar una desinversión y considerando la vida útil de la inversión, se asume que su estado final será únicamente apto para achatarramiento, con un valor económico insignificante. Por lo tanto, se considera un **V.R. = 0** al final del año 40.
- SUBVENCIONES: No se consideran subvenciones.
- INFLACIÓN: Para el cálculo del IPC previsto en el análisis, se ha decidido proyectar un IPC constante y lineal del 1,2% anual.
- IMPUESTOS: Se ha considerado un IVA general del 21% tanto para ingresos como para gastos (excepto seguros e intereses), y un tipo impositivo sobre sociedades del 25%, según la tasa vigente.

4.2.2 Datos empleados

Los datos y consideraciones utilizados para la elaboración de los distintos estados financieros y su análisis de viabilidad son los siguientes:

- INGRESOS: Tras realizar un estudio de mercado, se proporcionan los siguientes datos de precios:

Tabla 2. Ingresos por MW por la venta de energía (Abei,2024)

	2029	**2030**	**2031**	**2032**	**2033**	**2034**	**2035**	**2036**	**2037**	**2038**
Solar (€/MWh)	100,97	92,90	81,45	70,2	69,5	67,3	65,7	62,9	60,4	59,8

- PRESUPUESTO: Según el departamento de EPC (Engineering, Procurement, and Construction), la planta solar cuesta 550.000€ por cada MW instalado, y las baterías aumentan el presupuesto en 180.000€ por

MW instalado. Además, la tierra será comprada, suponiendo un importe de unos 2.500$/Acre, según datos del mercado.

- ESTRUCTURA DE GASTOS: Según los datos más recientes proporcionados por el departamento de EPC, los gastos estimados de explotación y gestión se distribuyen de la siguiente manera:

Operating Expenditures	k€/MW	
Land lease	k€	0,00
O&M	k€/MW	5,00
AMA	k€/MW	2,00
Insurance	k€/MW	0,80
Communication cost	k€	1,44
Software/SCADA	k€	4,80
Audits & corporate services	k€	2,91
Technical advisor	k€	2,91
Security cost	k€	4,00
Safety & Health technician	k€	1,44
Control center	k€	1,80
Environmental supervision	k€	16,20
Land compensatory measures amount	ha	4,88
Land compensatory measures price	k€/ha	0,50
Land compensatory measures cost	k€	2,44
Others	k€	
Energy consumption	% of production	0,50%
OMIE	€/MWn/month	1,45
OMIE cost	k€	0,08
Fixed fee REE	k€	0,00
Variable REE	°	0,16
Market rep. & deviation	€/MWh	0,55
IBICE	k€	11,51
IAE	k€	22,48
Wind canon	k€	
IVPEE	%	7,00%
IVPEE end	date	31-dic-27
Contingencies %		
Total contingencies	k€	
TOTAL OPEX - year 1	**k€**	87,33

Imagen 23. Gastos de operación (Abei,2024)

- IMPUESTO SOBRE BENEFICIOS: Se mantiene como tipo único y constante el actual del 25%.

4.2.3 Metodología en detalle

A partir de los parámetros anteriores y de los criterios adoptados, se ha seguido el siguiente proceso metodológico.

Cálculo de:

- Cuenta de Resultados. Cálculo de las Pérdidas y Ganancias de cada período.
- Flujos de Tesorería. En función de esas Pérdidas y Ganancias y del Plan de Inversiones se han calculado los movimientos de Tesorería y las necesidades financieras que arroja el proyecto.

- Balances de situación. La conjunción de ambos determina la previsión en la situación patrimonial en cada período contemplado.
- Rentabilidad del Proyecto. En base a los flujos de tesorería obtenido se calcula la Tasa Interna de Rentabilidad del Proyecto.

Siguiendo esta metodología, se obtendrán datos suficientes para realizar conclusiones con respaldo estadístico, las cuales se recogen en el apartado de conclusiones.

4.2.4 Claculos Financieros

- **CUENTA DE RESULTADOS**

En la cuenta de resultados se recogen los ingresos y gastos del ejercicio durante el período de vida útil del proceso. En ella se incluyen gastos financieros de los intereses y los impuestos devengados. De esta forma se obtiene el beneficio neto de cada período, clave para el posterior análisis de flujos de tesorería.

En la siguiente imagen se aprecia un extracto de los primeros años del proyecto:

Beginning of Period End of Period	Check	Units	Sum	01/01/2029 30/06/2029	01/07/2029 31/12/2029	01/01/2030 30/06/2030	01/07/2030 31/12/2030	01/01/2031 30/06/2031	01/07/2031 31/12/2031	01/01/2032 30/06/2032	01/07/2032 31/12/2032	01/01/2033 30/06/2033	01/07/2033 31/12/2033	01/01/2034 30/06/2034	01/07/2034 31/12/2034	01/01/2035 30/06/2035	01/07/2035 31/12/2035
Profit & loss																	
Revenues (+)		k€	291.754,88			534,19	3.276,35	3.059,60	3.110,31	2.907,14	2.939,09	2.889,10	2.936,99	2.857,72	2.905,08	2.834,89	2.881,88
Operating expenses (-)		k€	-67.897,25			-93,03	-570,59	-569,35	-578,79	-579,28	-585,65	-588,87	-598,63	-600,25	-610,20	-611,66	-621,80
EBITDA		k€	**223.857,63**			**441,16**	**2.705,75**	**2.490,24**	**2.531,52**	**2.327,86**	**2.353,44**	**2.300,23**	**2.338,36**	**2.257,47**	**2.294,89**	**2.223,23**	**2.260,08**
Depreciation (-)		k€	-46.007,50			-108,04	-662,65	-651,85	-662,65	-653,66	-660,84	-651,85	-662,65	-651,85	-662,65	-651,85	-662,65
EBIT		k€	**177.850,13**			**333,11**	**2.043,10**	**1.838,40**	**1.868,87**	**1.674,20**	**1.692,60**	**1.648,38**	**1.675,70**	**1.605,62**	**1.632,23**	**1.571,38**	**1.597,43**
Interest expenses (-)		k€	-12.908,73				-733,18	-698,79	-682,82	-658,01	-641,48	-617,93	-600,80	-575,44	-557,74	-543,33	-524,78
Financing costs depreciation (-)		k€	-1.469,43				-46,30	-45,54	-46,30	-45,67	-46,17	-45,54	-46,30	-45,54	-46,30	-45,54	-46,30
EBT		k€	**163.471,97**			**333,11**	**1.263,62**	**1.094,06**	**1.139,75**	**970,52**	**1.004,96**	**984,91**	**1.028,61**	**984,64**	**1.028,20**	**982,51**	**1.026,35**
Corporate tax (-)	28,00%	k€	-45.772,15			-93,27	-353,81	-306,34	-319,13	-271,75	-281,39	-275,77	-288,01	-275,70	-287,90	-275,10	-287,38
Net income		k€	**117.699,82**			**239,84**	**909,81**	**787,72**	**820,62**	**698,78**	**723,57**	**709,14**	**740,60**	**708,94**	**740,31**	**707,41**	**738,97**

Imagen 24. Extracto de la cuenta de resultados (Elaboración propia, 2024)

- **FLUJOS DE TESORERÍA**

El flujo de tesorería sirve para conocer la liquidez de un proyecto, analizando las entradas y salidas de dinero en la tesorería a lo largo del proyecto. Además, es necesario para calcular parámetros que servirán para entender la rentabilidad de la inversión, como el TIR y el VAN.

Se utiliza el beneficio neto calculado en la cuenta de resultados, incluyendo la depreciación de los activos y la variación de capital por gastos de operación y mantenimiento e ingresos del proyecto, así como el repago de la deuda y otros gastos financieros como los intereses de la deuda y el reparto de dividendos.

En este caso, se realiza una gran inversión en los primeros años por la construcción de la planta que será recuperada durante los años de operación de la planta por la venta de energía.

A continuación, se muestra una captura del flujo de tesorería:

Beginning of Period / End of Period	Check	Units	Sum	01/01/2029 30/06/2029	01/07/2029 31/12/2029	01/01/2030 30/06/2030	01/07/2030 31/12/2030	01/01/2031 30/06/2031	01/07/2031 31/12/2031	01/01/2032 30/06/2032	01/07/2032 31/12/2032	01/01/2033 30/06/2033	01/07/2033 31/12/2033	01/01/2034 30/06/2034	01/07/2034 31/12/2034	01/01/2035 30/06/2035	01/07/2035 31/12/2035
Cash flows																	
Net income		k€				239,84	909,81	787,72	820,62	698,78	723,57	709,14	740,60	708,94	740,31	707,41	738,97
Depreciation		k€				108,04	708,95	697,39	708,95	699,33	707,01	697,39	708,95	697,39	708,95	697,39	708,95
Working capital variation (-)		k€				-441,16	-1.006,82	107,96	-22,21	101,75	-13,85	26,07	-20,69	40,17	-20,37	35,58	-20,11
Operating cash flow		**k€**				**-93,27**	**611,94**	**1.593,07**	**1.507,36**	**1.499,85**	**1.416,73**	**1.432,59**	**1.428,86**	**1.446,51**	**1.428,89**	**1.440,38**	**1.427,81**
Purchase and sale of PP&E		k€		-7.225,00	-30.594,94	-7.187,57											
Investment cash flow		**k€**		**-7.225,00**	**-30.594,94**	**-7.187,57**											
Equity injection		k€		7.706,59	6.336,49												
Debt placement		k€			24.658,88	7.874,98											
Debt repayment		k€					-704,71	-727,49	-743,46	-763,01	-779,55	-799,02	-816,16	-836,75	-854,45	-871,06	-889,62
Financing costs		k€		-381,59	-400,43	-687,41											
Dividend payment		k€						-6,67	-1.088,28	-1.008,58	-922,64	-909,35	-905,48	-885,46	-860,12	-844,42	-825,56
Financing cash flow		**k€**		**7.325,00**	**30.594,93**	**7.187,56**	**-704,71**	**-734,16**	**-1.831,74**	**-1.771,59**	**-1.702,19**	**-1.708,37**	**-1.721,64**	**-1.722,21**	**-1.714,58**	**-1.715,48**	**-1.715,18**
Net change in cash		**k€**		**100,00**	**-0,00**	**-93,27**	**-92,78**	**858,91**	**-324,39**	**-271,75**	**-285,46**	**-275,77**	**-292,78**	**-275,70**	**-285,69**	**-275,10**	**-287,37**

Imagen 25. Flujos de tesorería (Elaboración propia, 2024)

- **BALANCE DE SITUACIÓN**

El balance de situación muestra la posición económica y financiera del proyecto en un momento concreto, siendo un complemento del flujo de tesorería y la cuenta de resultados. Proporciona una visión clara de los activos, pasivos y patrimonio neto, de forma que se puede analizar la solvencia del proyecto y planificar el uso de los recursos.

Es necesario para presentar a los inversores y posibles compradores del proyecto la capacidad de generar retornos del proyecto.

A continuación, se encuentra una captura del balance de situación de los primeros años del proyecto:

Beginning of Period / End of Period	Check	Units	Sum	01/01/2029 30/06/2029	01/07/2029 31/12/2029	01/01/2030 30/06/2030	01/07/2030 31/12/2030	01/01/2031 30/06/2031	01/07/2031 31/12/2031	01/01/2032 30/06/2032	01/07/2032 31/12/2032	01/01/2033 30/06/2033	01/07/2033 31/12/2033	01/01/2034 30/06/2034	01/07/2034 31/12/2034	01/01/2035 30/06/2035	01/07/2035 31/12/2035
Balance sheet																	
Property, plant & equipment		k€		8.225,00	38.819,94	45.899,46	45.236,81	44.584,96	43.922,31	43.268,65	42.607,81	41.955,96	41.293,31	40.641,46	39.978,81	39.326,96	38.664,31
Non-current assets		k€		**8.225,00**	**38.819,94**	**45.899,46**	**45.236,81**	**44.584,96**	**43.922,31**	**43.268,65**	**42.607,81**	**41.955,96**	**41.293,31**	**40.641,46**	**39.978,81**	**39.326,96**	**38.664,31**
Accounts recievable		k€				534,19	1.638,17	1.529,80	1.555,15	1.453,57	1.469,55	1.444,55	1.468,50	1.428,86	1.452,54	1.417,44	1.440,94
Cash and cash equivalents		k€		100,00	100,00	100,00	361,04	1.526,28	1.521,03	1.521,03	1.516,95	1.516,95	1.512,19	1.512,19	1.514,40	1.514,40	1.514,41
Current assets		k€		**100,00**	**100,00**	**634,19**	**1.999,21**	**3.056,08**	**3.076,18**	**2.974,60**	**2.986,50**	**2.961,51**	**2.980,68**	**2.941,05**	**2.966,94**	**2.931,84**	**2.955,34**
TOTAL assets		k€		**8.325,00**	**38.919,93**	**46.533,65**	**47.236,02**	**47.641,04**	**46.998,49**	**46.243,25**	**45.594,31**	**44.917,46**	**44.273,99**	**43.582,51**	**42.945,74**	**42.258,80**	**41.619,65**
Share capital		k€		8.325,00	14.261,06	13.465,60	13.507,67	13.583,31	13.664,12	13.773,47	13.892,18	14.039,36	14.192,86	14.377,77	14.569,57	14.788,78	15.015,75
Retained earnings		k€				441,16	1.447,98	1.340,01	1.362,22	1.260,48	1.274,33	1.248,26	1.268,95	1.228,78	1.249,14	1.213,56	1.233,67
Reserve accounts		k€					261,04	1.426,28	1.421,03	1.421,03	1.416,95	1.416,95	1.412,19	1.412,19	1.414,40	1.414,40	1.414,41
Equity		k€		**8.325,00**	**14.261,06**	**13.906,76**	**15.216,68**	**16.349,61**	**16.447,37**	**16.454,98**	**16.583,47**	**16.704,57**	**16.874,00**	**17.018,73**	**17.233,10**	**17.416,74**	**17.663,83**
Long-term debt		k€			24.658,88	32.533,85	31.829,14	31.101,65	30.358,19	29.595,18	28.815,62	28.016,60	27.200,44	26.363,69	25.509,24	24.638,18	23.748,56
Non-current liabilities		k€			**24.658,88**	**32.533,85**	**31.829,14**	**31.101,65**	**30.358,19**	**29.595,18**	**28.815,62**	**28.016,60**	**27.200,44**	**26.363,69**	**25.509,24**	**24.638,18**	**23.748,56**
Accounts payable		k€				93,03	190,20	189,78	192,93	193,09	195,22	196,29	199,54	200,08	203,40	203,89	207,27
Current liabilities		k€				**93,03**	**190,20**	**189,78**	**192,93**	**193,09**	**195,22**	**196,29**	**199,54**	**200,08**	**203,40**	**203,89**	**207,27**
Liabilities		k€			**24.658,88**	**32.626,89**	**32.019,34**	**31.291,44**	**30.551,12**	**29.788,27**	**29.010,84**	**28.212,89**	**27.399,99**	**26.563,78**	**25.712,64**	**24.842,06**	**23.955,82**
TOTAL equity & liabilities		k€		**8.325,00**	**38.919,93**	**46.533,65**	**47.236,02**	**47.641,04**	**46.998,49**	**46.243,25**	**45.594,31**	**44.917,46**	**44.273,99**	**43.582,51**	**42.945,74**	**42.258,80**	**41.619,65**

Imagen 26. Balance de situación (Elaboración propia, 2024)

4.2.5 Conclusión del análisis financiero

Implementando en el modelo financiero las hipótesis enunciadas anteriormente, el análisis económico proporciona una rentabilidad suficiente para acometer el proyecto, lo cual se explicará en este apartado. A continuación, se puede encontrar una tabla con los resultados más relevantes del análisis.

Tabla 3. Resumen de análisis financiero

Proyecto	PSFV + BESS Hickling
Potencia pico instalada [MWp]	68,6 Solar + 20 BESS
Potencia instalada en inversores [MWac]	56,5 Solar + 20 BESS
Horas equivalentes [h]	1398(SOLAR) + 200(BESS)
Inicio construcción	2029
Fin construcción	2030
Vida útil de la inversión	40 años
Inversión (CAPEX) [Eur]	57.107.500,0 €
OPEX 1er Año [Eur]	1.279.590,0 €
OPEX 1er Año/kWh [Eur]	0,01 €
VAN [Eur]	72.990.022 €
TIR	10,68%
Payback [Años]	11,5

Lo primero que se va a tratar es el dato del capex, el cual equivale a 644k€/MW instalado, teniendo en cuenta la diferencia en la instalación de las diferentes tecnologías de 550k€/MWp la solar y 180k€/MW de BESS. La implementación de baterías equivale al aumento de capacidad del proyecto de forma asequible, reduciendo el coste por unidad de potencia.

Para cuantificar la rentabilidad del proyecto se calcula el TIR y el VAN. El TIR es la tasa de retorno y mide la rentabilidad del proyecto en términos porcentuales, y se calcula como la tasa de retorno que hace que el VAN sea igual a “0”. El VAN es el valor neto de la inversión en el presente, acumulando al día 0 los flujos de tesorería. En este caso, el valor es de 72.990.022€, el cual es un valor muy elevado, y se explica por la elevada tasa de venta de la energía, que gracias al almacenamiento de energía garantiza unos flujos constantes de ingresos durante toda la vida del proyecto. Esto se traduce en un aumento de la rentabilidad del proyecto, que se aprecia en el TIR, el cuál pasa del 6,98% obtenido calculado solo con la planta solar, al 10,68%

Se puede decir que es un proyecto económicamente viable y rentable, puesto que con un coste de capital del 5%, es decir, lo que obtendrías de retorno en cualquier otro tipo de inversión, el TIR es positivo y del 10,98%, lo que está considerado un valor alto comparado con otras plantas renovables, que alcanzan el 5-7% de TIR, tal y como se conseguía en el análisis sin hibridación con baterías. (IRENA, Renewable power generation costs in 2023, 2024)

De este modo, se consigue aumentar el retorno del proyecto en gran medida, que junto al balance de situación que refleja la solidez del proyecto y su capacidad de generar beneficios elevados con bajo riesgo, recuperando la inversión a los 11,5 años de su inicio, resulta en un proyecto muy interesante para los inversores para el que será sencillo encontrar financiación.

5 Conclusiones del proyecto

Así, se tiene un análisis económico que demuestra la viabilidad del proyecto en términos financieros, además del análisis técnico preliminar realizado en el apartado 4 del proyecto. Pero, además, tal y como se ha reflejado en el marco teórico, la fuerza de este proyecto radica del beneficio que aporta a la sociedad.

Medioambientalmente, el proyecto contribuye a generar un impacto brutal en las emisiones de CO2 y otros gases contaminantes y de efecto invernadero, pues de consumir combustibles fósiles en centrales de ciclo combinado o carbón, en las que se emiten anualmente 20 millones de toneladas de CO2 al año solo en el estado de Nueva York (NYISO, 2024), se pasa a una emisión nula de estos gases. Incentivando el desarrollo de proyectos de energía renovable para aumentar la presencia en el mix energético se consigue aliviar en gran medida una de las fuentes más contaminantes del país actualmente, cuyas emisiones por generación representan el 12% de las emisiones anuales totales (DEC, 2023).

Esto resulta en un beneficio directo para la sociedad, por dos motivos principales.

En primer lugar, la reducción del coste de la energía, pues se parte de un recurso de disponibilidad gratuita para todo el mundo e inagotable en términos naturales. Tal y como se ha presentado en el trabajo, la energía solar tiene un coste de generación casi nulo y, por tanto, muy inferior a las otras tecnologías de combustión fósil, de manera que al relegarlas de su función, se reduce en consonancia el coste y por ello el precio final de la energía. De esta manera, se consigue avanzar hacia el futuro cumpliendo con los ODS, consiguiendo abaratar la energía de forma que no sea una barrera social, reduciendo la pobreza energética hasta poder erradicarla para 2030, la cual ahora mismo sufren 685 millones de personas a nivel global (IRENA, 2024).

En segundo lugar, reduciendo la contaminación atmosférica, que mejora la salud y la calidad de vida de la población que en las grandes urbes alcanza el punto de ser visible a kilómetros de distancia como una nube ocre que cubre la ciudad. Esta es debida a la gran aglomeración de vehículos especialmente, pero el

implemento de energía solar reduce la componente referida a la contaminación de la atmósfera a nivel global. No obstante, el mayor efecto tiene que ver con la tendencia que se genera al reducir el coste de la energía. De esta forma, se reducen los costes de recarga de los vehículos eléctricos, resultando más atractivos para la población. De esta manera, se logra acelerar la electrificación del parque de vehículos, reduciendo todas esas emisiones de los vehículos motorizados a base de combustibles fósiles.

De hecho, se puede apreciar una fuerte sinergia entre los dos efectos, pues no solo al abaratar la electricidad se fomentan los vehículos eléctricos, si no que una de las mayores barreras actualmente es el elevado precio de estos, y al reducir el coste de la electricidad, se consigue aumentar el poder adquisitivo de las familias, que ven reducidos sus gastos mensuales en la factura de la luz, de forma que pueden dedicar esos recursos a renovar sus vehículos contaminantes por eléctricos.

Otra de las conclusiones que pueden obtenerse, esta vez referente al estado de Nueva York, es que no solo su población se beneficia de las anteriores consecuencias en términos de salud y de desarrollo de sectores clave, si no que, además, logran ser una comunidad más independiente del resto del mundo. Esto es así dado que los combustibles fósiles que obtiene Nueva York no son generados en el propio Estado, si no que vienen de estados vecinos o de países extranjeros por vía portuaria (NYSERDA, 2023).

Además, tal y como se ha explicado, las plantas solares favorecen la reducción del precio de la electricidad, mejorando la economía al reducir en todo el proceso los costes relativos a la energía y pudiendo ofrecer productos y servicios a menor coste sin implicar en una reducción del beneficio. Además, al aumentar el poder adquisitivo, la economía crece y se revitaliza, generando riqueza y sinergias positivas entre sectores.

De este modo, el desarrollo de energías renovables concederá a Nueva York una independencia que le favorecerá en su posición frente a otros estados y países, adquiriendo mayor poder en las negociaciones diplomáticas y, a su vez, mejorando la economía al abaratar los costes de la electricidad frente a otros

estados y países tras sustituir las fuentes de energía importadas por aquellas de gratuita explotación, significando una ventaja competitiva en el mercado global.

Para finalizar este trabajo, es de interés resumir en pocas palabras las claves del proyecto para poder afianzar las ideas principales.

De este modo, se pretende concienciar sobre las bondades de la energía solar y el papel que tiene esta en la transición energética, generando energía limpia y de una fuente de gratuita explotación. A su vez, entender las limitaciones que supone su introducción a gran escala en la red, y la necesidad de incluir el almacenamiento de energía para suplir las carencias de la energía solar: la poca capacidad de gestión y la indisponibilidad los días de mala previsión climatológica.

Todo ello contribuye a la sostenibilidad de los sistemas eléctricos de los diferentes países, los cuales deben mejorar sus infraestructuras de transmisión de energía para poder dar capacidad en los momentos de mayor producción energética, mientras se realiza la transición desde los combustibles fósiles a las energías renovables.

Para lograr un mundo sostenible y justo, el desarrollo de la energía renovable ha sido la base y el almacenamiento de energía será su sustento.

6 Declaración sobre el uso de Chat GPT u otras herramientas de inteligencia artificial generativa

Declaración de Uso de Herramientas de Inteligencia Artificial Generativa en Trabajos Fin de Grado

ADVERTENCIA: Desde la Universidad consideramos que ChatGPT u otras herramientas similares son herramientas muy útiles en la vida académica, aunque su uso queda siempre bajo la responsabilidad del alumno, puesto que las respuestas que proporciona pueden no ser veraces. En este sentido, NO está permitido su uso en la elaboración del Trabajo fin de Grado para generar código porque estas herramientas no son fiables en esa tarea. Aunque el código funcione, no hay garantías de que metodológicamente sea correcto, y es altamente probable que no lo sea.

Por la presente, yo, Rafael Bravo Martín, estudiante de MII+ADE de la Universidad Pontificia Comillas al presentar mi Trabajo Fin de Grado titulado "Estudio de viabilidad de una Planta Solar Fotovoltaica con Almacenamiento de Energía en Nueva York", declaro que he utilizado la herramienta de Inteligencia Artificial Generativa ChatGPT u otras similares de IAG de código sólo en el contexto de las actividades descritas a continuación:

1. Crítico: Para encontrar contra-argumentos a una tesis específica que pretendo defender.

2. Referencias: Usado conjuntamente con otras herramientas, como Science, para identificar referencias preliminares que luego he contrastado y validado.

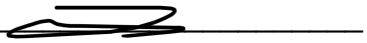
3. Revisor: Para recibir sugerencias sobre cómo mejorar y perfeccionar el trabajo con diferentes niveles de exigencia.

4. Traductor: Para traducir textos de un lenguaje a otro.

UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
GRADO EN ADMINISTRACIÓN Y DIRECCIÓN DE EMPRESAS

Afirmo que toda la información y contenido presentados en este trabajo son producto de mi investigación y esfuerzo individual, excepto donde se ha indicado lo contrario y se han dado los créditos correspondientes (he incluido las referencias adecuadas en el TFG y he explicitado para que se ha usado ChatGPT u otras herramientas similares). Soy consciente de las implicaciones académicas y éticas de presentar un trabajo no original y acepto las consecuencias de cualquier violación a esta declaración.

Fecha: 3/12/24

Firma: 

7 Bibliografía

1, N. (2024). *Gold Book: Load & Capacity Data Report*.

Abei Energy & Structures, S. (2024).

CensusBureauUS. (2020). Obtenido de https://www.census.gov/data/tables/time-series/demo/popest/2020s-total-cities-and-towns.html

COIT. (2007). *COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS DE TELECOMUNICACIÓN*. Obtenido de https://www.coit.es/sites/default/files/informes/pdf/energia_solar_fotovoltaica.pdf

DEC, (. o. (2023). *Statewide Greenhouse Gas Emissions Report*.

Del Valle, J. A. (2019). Sistemas de almacenamiento masivo de energía con baterías (BESS): Estado actual y tendencias de futuro.

Departamento de Servicio Público. (2024). Obtenido de https://dps.ny.gov/new-york-independent-system-operator-nyiso

EnelX. (2023). Obtenido de https://corporate.enelx.com/es/question-and-answers/are-solar-panels-energy-efficient#:~:text=Un%20panel%20solar%20eficiente%20es,energ%C3%ADa%20solar%20en%20electricidad%20utilizable.

Iberdrola. (2024). Obtenido de https://www.iberdrola.com/compromiso-social/radiacion-solar

IRENA. (2017). *ELECTRICITY STORAGE AND RENEWABLES: COSTS AND MARKETS TO 2030*.

IRENA. (2023). *World Energy Transitions Outlook 2023: 1.5°C Pathway*.

IRENA. (2024). *Renewable power generation costs in 2023*.

IRENA. (2024). *Tracking SDG 7: The Energy Progress Report 2024*.

NYISO. (2019). *NYISO Strategic Plan 2020-2024*.

NYISO. (2024). *2024 Power Trends*.

NYSERDA. (2023). *Energy Patterns and Trends - New York State Energy Profiles*.

Obaideen, K. (2023). *Solar Energy: Applications, Trends Analysis, Bibliometric Analysis and Research Contribution to Sustainable Development Goals (SDGs)*.

PebblexEnergy. (2024). Obtenido de https://bepebblex.com/ciclos-carga-vida-util-bess/

Plasol. (2024). Obtenido de https://plasol.com/radiacion-solar-en-espana/

SolarGIS. (2014).

SolarReference, T. M. (2022). Obtenido de https://www.mpvsolarreference.com/post/c%C3%B3mo-afecta-la-lluvia-a-la-producci%C3%B3n-energ%C3%A9tica-de-los-paneles-solares

8 ANEXOS

Indice de planos

- Informe de elaboración propia con PVSyst
- Informe de elaboraci´´on propia con PVDesign

Version 7.4.8

PVsyst - Simulation report

Grid-Connected System

Project: Hickling_TFG

Variant: Nueva variante de simulación

Ground system (tables) on a hill

System power: 68.56 MWp

North Colesville - United States

Author

ENEASOL S. COOP. AND. (Spain)

PVsyst student

PVsyst V7.4.8
VC0, Simulation date:
04/10/24 13:35
with V7.4.8

Project summary

Geographical Site
North Colesville
United States

Situation

Latitude	42.24 °N
Longitude	-75.71 °W
Altitude	487 m
Time zone	UTC-5

Project settings
Albedo 0.20

Weather data
North Colesville
Meteonorm 8.1 (1991-2005) - Sintético

System summary

Grid-Connected System
Simulation for year no 10

Ground system (tables) on a hill

PV Field Orientation
Fixed plane
Tilt/Azimuth 20 / 0 °

Near Shadings
Linear shadings : Fast (table)

User's needs
Unlimited load (grid)

System information

PV Array

Nb. of modules	111483 units
Pnom total	68.56 MWp

Inverters

Nb. of units	12 units
Pnom total	56.51 MWac
Pnom ratio	1.213

Results summary

Produced Energy	88214125 kWh/year	Specific production	1287 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR	85.50 %

Table of contents

Project and results summary 2
General parameters, PV Array Characteristics, System losses 3
Horizon definition 6
Near shading definition - Iso-shadings diagram 7
Main results 8
Loss diagram 9
Predef. graphs 10
Single-line diagram 11

PVsyst student

PVsyst V7.4.8
VC0, Simulation date:
04/10/24 13:35
with V7.4.8

General parameters

Grid-Connected System — **Ground system (tables) on a hill**

PV Field Orientation

Orientation
Fixed plane
Tilt/Azimuth 20 / 0 °

Sheds configuration
Nb. of sheds 4142 units
Sizes
Sheds spacing 13.5 m
Collector width 7.19 m
Ground Cov. Ratio (GCR) 53.2 %
Shading limit angle
Limit profile angle 20.0 °

Models used
Transposition Perez
Diffuse Perez, Meteonorm
Circumsolar separate

Horizon
Average Height 3.2 °

Near Shadings
Linear shadings : Fast (table)

User's needs
Unlimited load (grid)

Bifacial system
Model 2D Calculation
unlimited sheds

Bifacial model geometry		Bifacial model definitions	
Sheds spacing	13.50 m	Ground albedo	0.30
Sheds width	7.19 m	Bifaciality factor	78 %
Limit profile angle	20.0 °	Rear shading factor	10.0 %
GCR	53.2 %	Rear mismatch loss	5.0 %
Height above ground	1.50 m	Shed transparent fraction	0.0 %

PV Array Characteristics

PV module
Manufacturer Generic
Model JAM66D45-615/LB
(Custom parameters definition)
Unit Nom. Power 615 Wp
Number of PV modules 111483 units
Nominal (STC) 68.56 MWp
Modules 4129 string x 27 In series
At operating cond. (50°C)
Pmpp 63.48 MWp
U mpp 997 V
I mpp 63694 A

Inverter
Manufacturer Generic
Model PV4700 v7.2_50Hz
(Custom parameters definition)
Unit Nom. Power 4709 kWac
Number of inverters 12 units
Total power 56508 kWac
Operating voltage 955-1300 V
Pnom ratio (DC:AC) 1.21

Total PV power
Nominal (STC) 68562 kWp
Total 111483 modules
Module area 301137 m²

Total inverter power
Total power 56508 kWac
Number of inverters 12 units
Pnom ratio 1.21

Array losses

Array Soiling Losses
Loss Fraction 2.0 %

Thermal Loss factor
Module temperature according to irradiance
Uc (const) 29.0 W/m²K
Uv (wind) 0.0 W/m²K/m/s

DC wiring losses
Global array res. 0.26 mΩ
Loss Fraction 1.5 % at STC

LID - Light Induced Degradation
Loss Fraction 1.0 %

Module Quality Loss
Loss Fraction -0.7 %

Module mismatch losses
Loss Fraction 1.0 % at MPP

PVsyst V7.4.8
VC0, Simulation date:
04/10/24 13:35
with V7.4.8

Array losses

Strings Mismatch loss
Loss Fraction 0.1 %

Module average degradation
Year no 10
Loss factor 0.4 %/year

Mismatch due to degradation
Imp RMS dispersion 0.4 %/year
Vmp RMS dispersion 0.4 %/year

IAM loss factor
Incidence effect (IAM): User defined profile

0°	60°	65°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	1.000	0.988	0.965	0.942	0.874	0.744	0.000

System losses

Unavailability of the system
Time fraction 1.2 %
4.4 days,
3 periods

Auxiliaries loss
Proportional to Power 4.0 W/kW
0.0 kW from Power thresh.

AC wiring losses

Inv. output line up to MV transfo
Inverter voltage 690 Vac tri
Loss Fraction 0.00 % at STC

Inverter: PV4700 v7.2_50Hz
Wire section (12 Inv.) Copper 12 x 3 x 3000 mm²
Average wires length 0 m

MV line up to HV Transfo
MV Voltage 34.5 kV
Average each inverter
Wires Copper 3 x 1500 mm²
Length 14110 m
Loss Fraction 0.08 % at STC

AC losses in transformers

MV transfo
Medium voltage 34.5 kV

Transformer from Datasheets
Nominal power 4709 kVA
Iron Loss 4.70 kVA
Iron loss fraction 0.10 % of PNom
Copper loss 18.80 kVA
Copper loss fraction 0.40 % at PNom
Coils equivalent resistance 3 x 0.40 mΩ

Operating losses at STC (full system)
Nb. identical MV transfos 12
Nominal power at STC 67.36 MVA
Iron loss 56.40 kVA
Iron loss fraction 0.08 % at STC
Copper loss 320.54 kVA
Copper loss fraction 0.48 % at STC

AC losses in transformers

HV transfo		
Grid voltage	115	kV
Transformer from Datasheets		
Nominal power	56500	kVA
Iron Loss (night disconnect)	56.50	kVA
Iron loss fraction	0.10	% of PNom
Copper loss	226.00	kVA
Copper loss fraction	0.40	% at PNom
Coils equivalent resistance	3 x 84.27	mΩ

PVsyst student

PVsyst V7.4.8
VC0, Simulation date:
04/10/24 13:35
with V7.4.8

Horizon definition

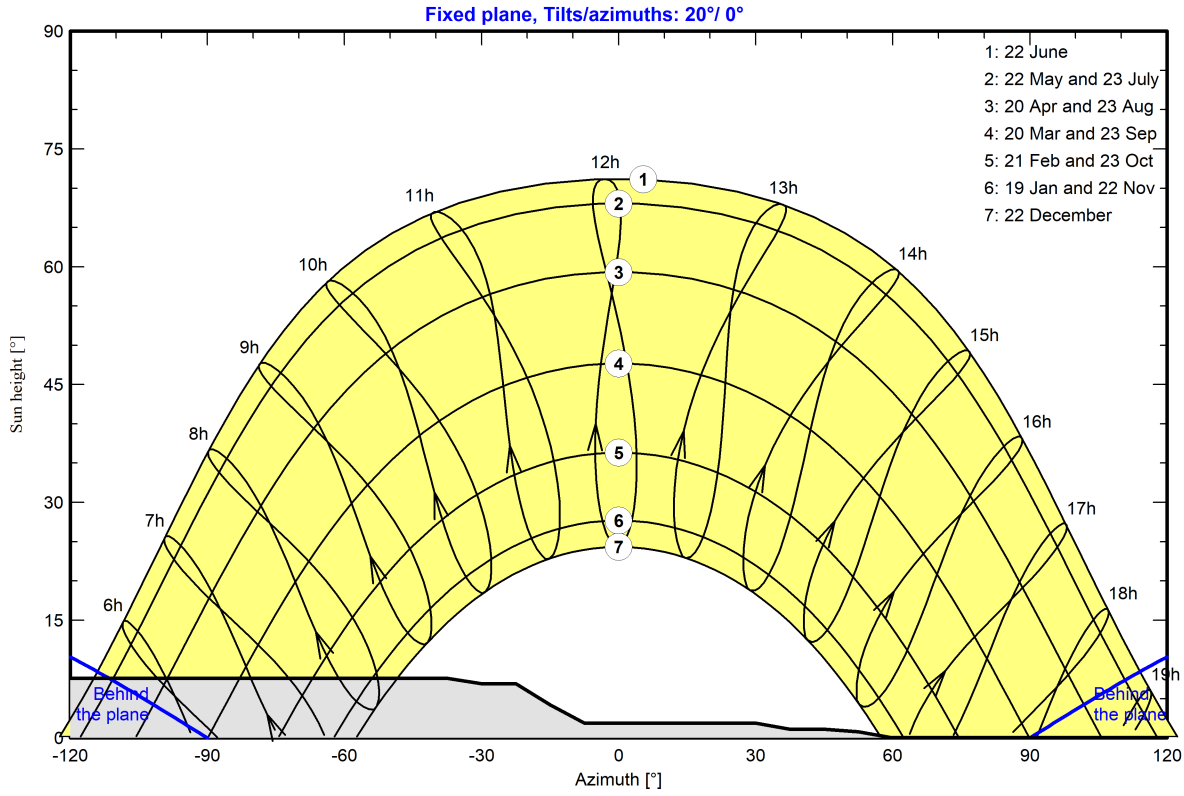
Horizon from PVGIS website API, Lat=42°14'35", Long=-75°42'19", Alt=487m

Average Height	3.2 °	Albedo Factor	0.82
Diffuse Factor	0.98	Albedo Fraction	100 %

Horizon profile

Azimuth [°]	-180	-173	-165	-158	-150	-143	-38	-30	-23
Height [°]	0.0	0.4	1.1	1.5	1.9	7.6	7.6	6.9	6.9
Azimuth [°]	-15	-8	30	38	45	53	60	180	
Height [°]	4.2	1.9	1.9	1.1	1.1	0.8	0.0	0.0	

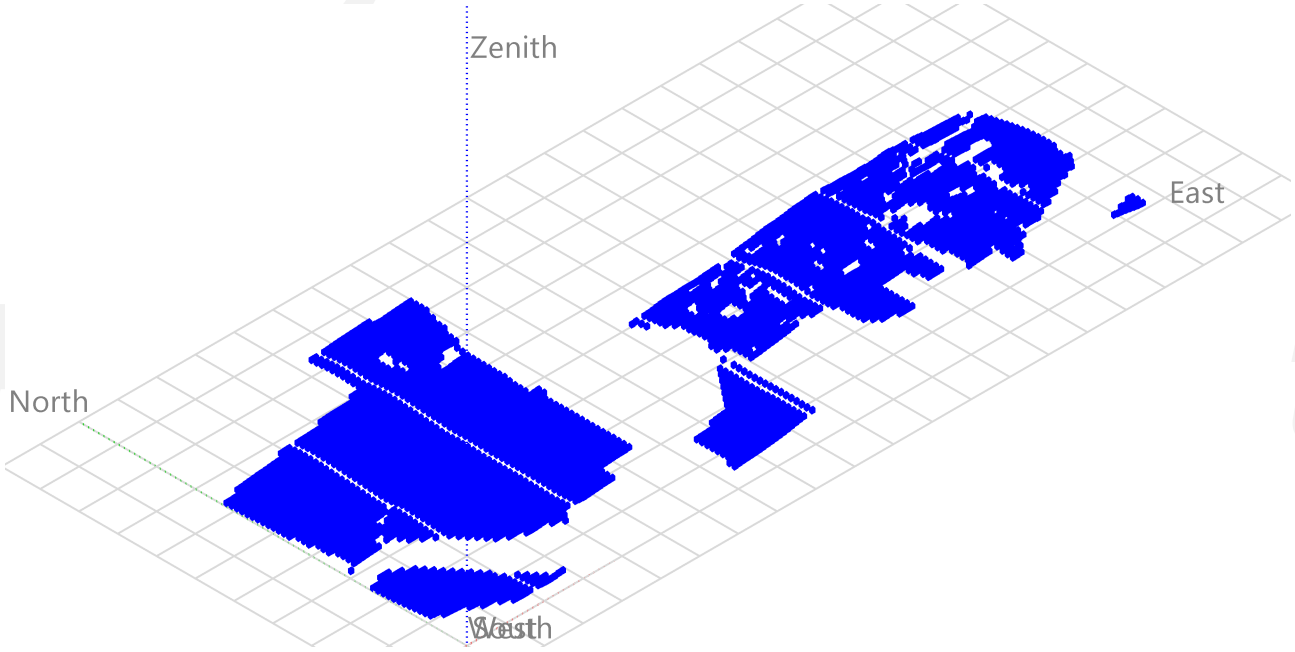
Sun Paths (Height / Azimuth diagram)



PVsyst V7.4.8
VC0, Simulation date:
04/10/24 13:35
with V7.4.8

Near shadings parameter

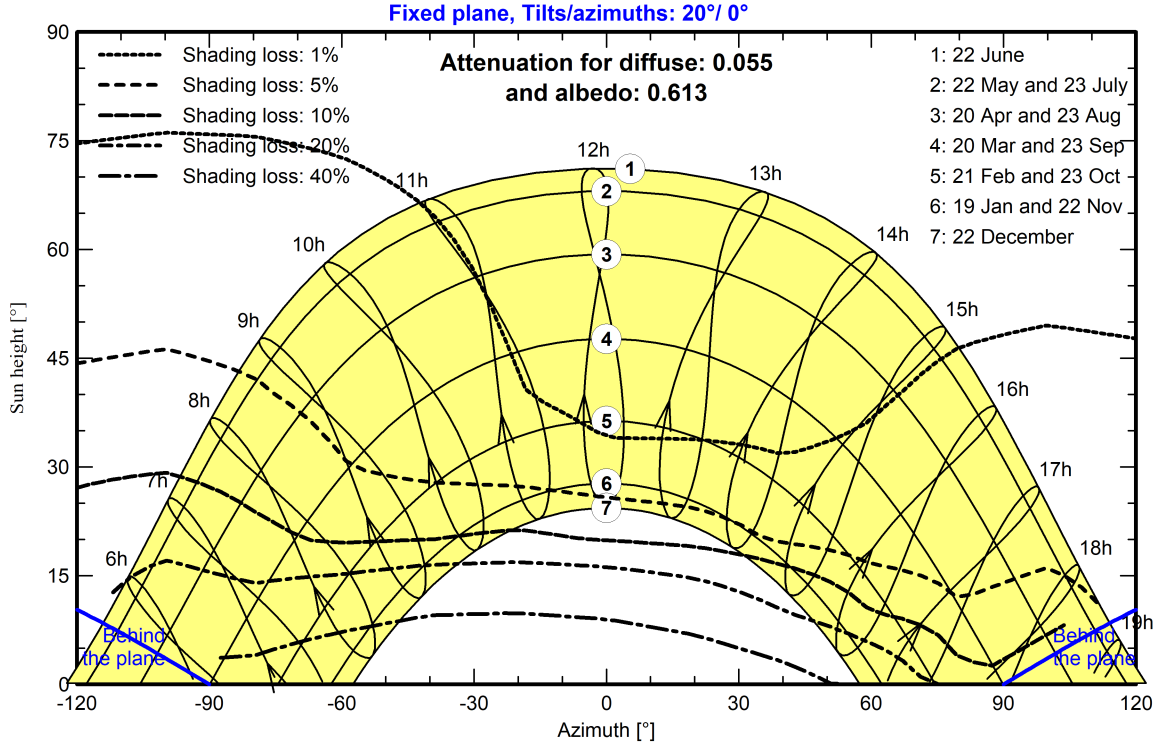
Perspective of the PV-field and surrounding shading scene



Iso-shadings diagram

Orientation #1

Fixed plane, Tilts/azimuths: 20°/ 0°



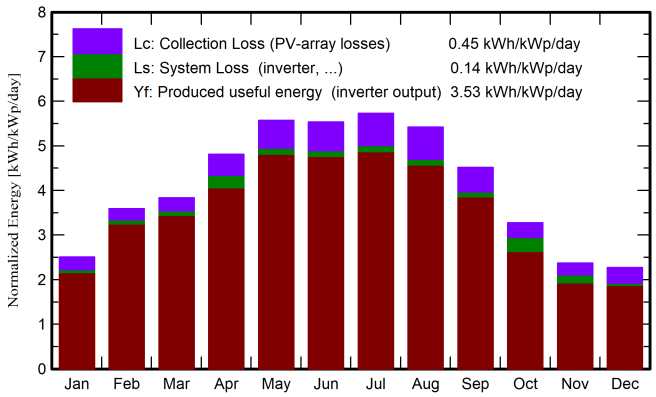
PVsyst V7.4.8
VC0, Simulation date:
04/10/24 13:35
with V7.4.8

Main results

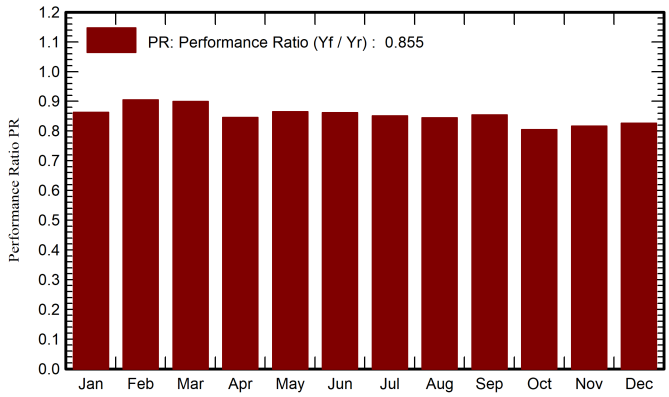
System Production

Produced Energy	88214125 kWh/year	Specific production	1287 kWh/kWp/year
		Perf. Ratio PR	85.50 %

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



Balances and main results

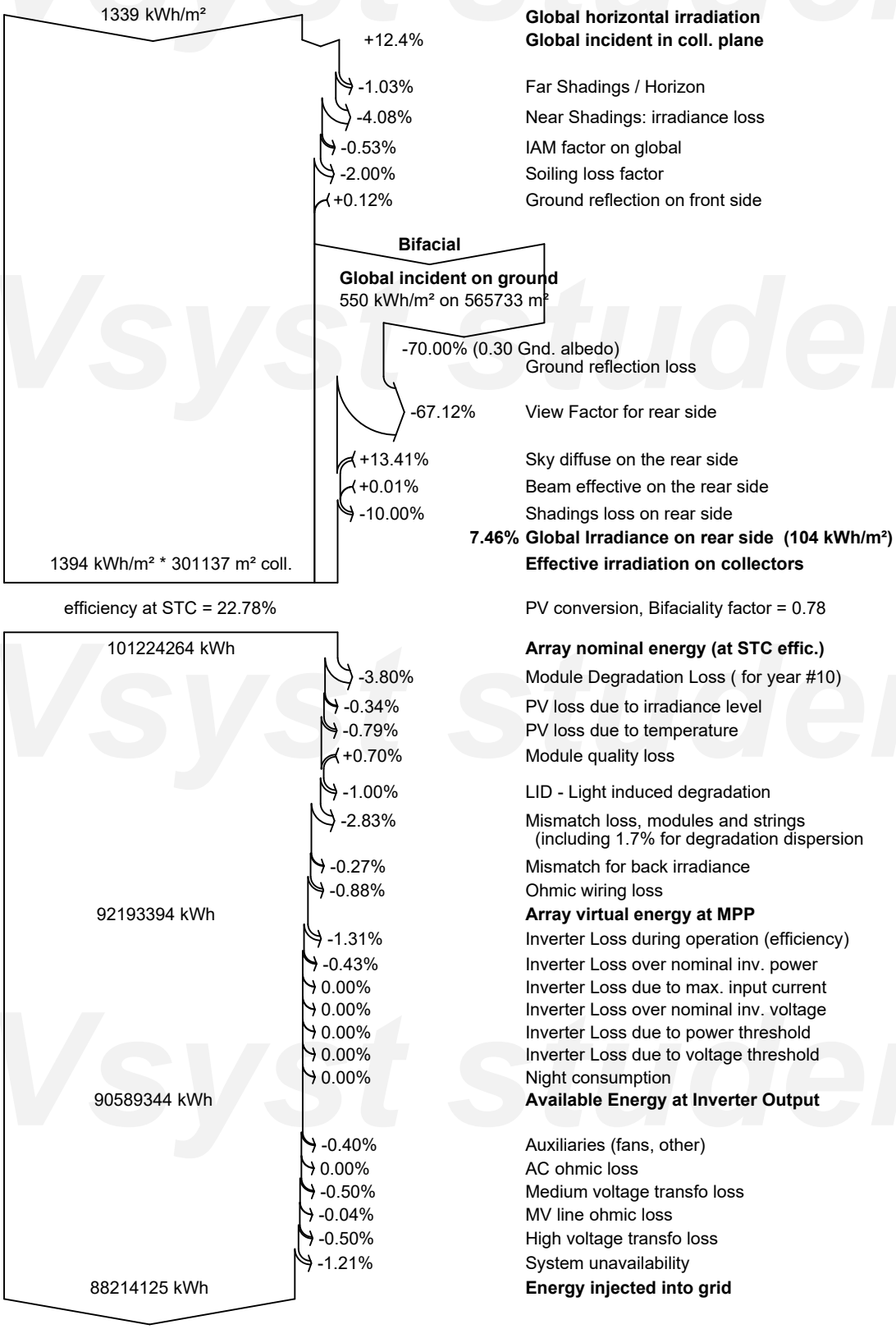
	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray kWh	E_Grid kWh	PR ratio
January	54.2	27.35	-5.75	77.8	68.3	4737631	4606721	0.863
February	74.2	29.58	-4.57	100.6	93.0	6423362	6243641	0.905
March	101.7	50.85	-0.05	118.8	111.1	7538137	7324210	0.899
April	135.3	74.43	7.15	144.4	134.8	8938787	8368426	0.845
May	169.8	77.72	14.05	172.8	162.1	10536548	10247024	0.865
June	167.7	83.25	18.27	166.1	155.4	10082127	9811406	0.862
July	176.9	81.79	21.41	177.8	166.7	10654151	10368996	0.851
August	159.3	67.38	20.38	168.0	157.5	10001988	9730338	0.845
September	118.8	49.63	16.07	135.6	126.8	8168112	7944472	0.855
October	82.5	42.79	9.60	101.6	94.5	6273083	5606528	0.805
November	52.5	28.58	3.51	71.1	64.0	4345189	3978696	0.817
December	45.5	20.21	-2.22	70.3	60.3	4099458	3983667	0.826
Year	1338.5	633.58	8.23	1504.9	1394.4	91798573	88214125	0.855

Legends

GlobHor	Global horizontal irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
DiffHor	Horizontal diffuse irradiation	E_Grid	Energy injected into grid
T_Amb	Ambient Temperature	PR	Performance Ratio
GlobInc	Global incident in coll. plane		
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings		

PVsyst V7.4.8
VC0, Simulation date:
04/10/24 13:35
with V7.4.8

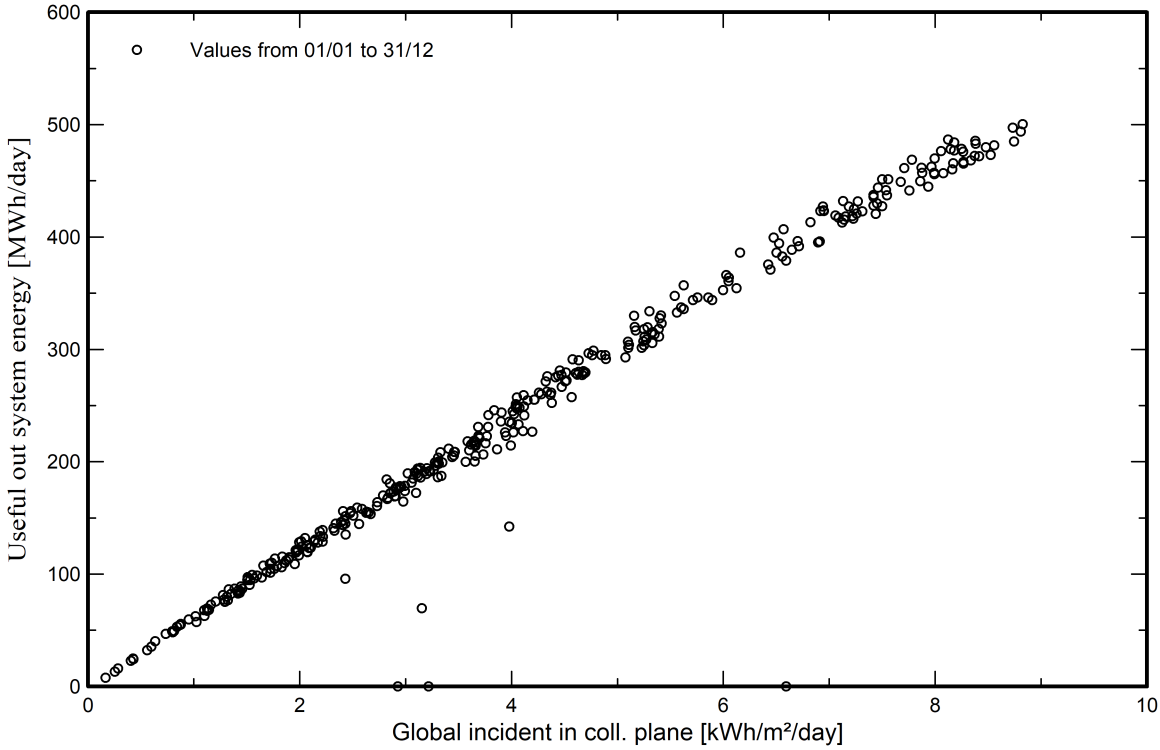
Loss diagram



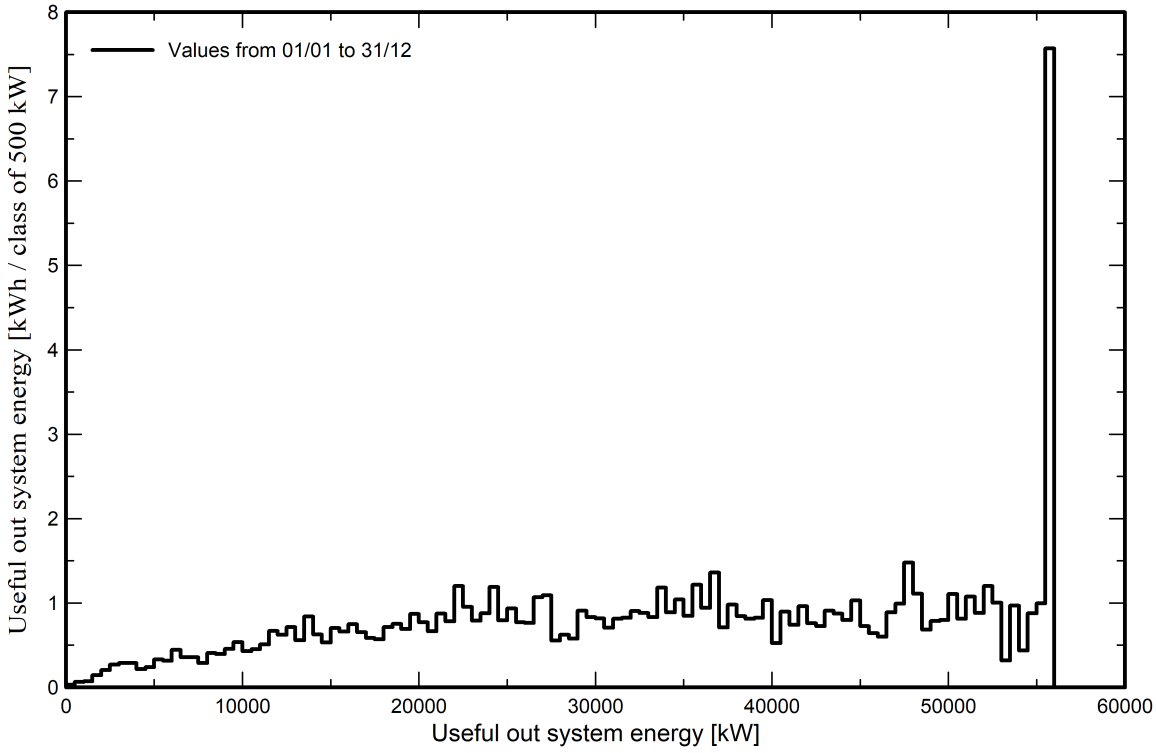
PVsyst V7.4.8
VC0, Simulation date:
04/10/24 13:35
with V7.4.8

Predef. graphs

Diagrama entrada/salida diaria

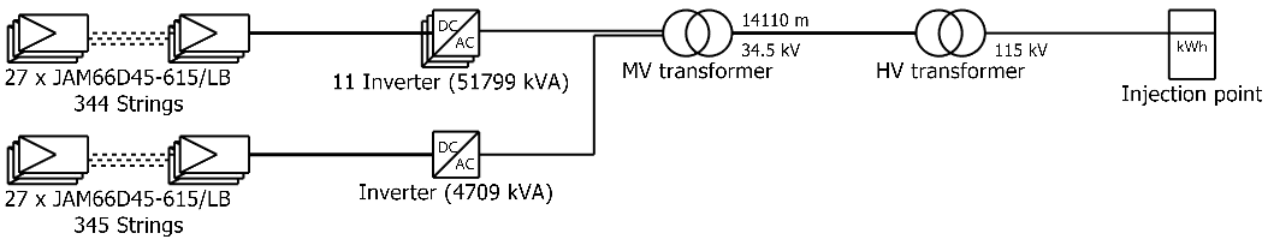


Distribución de potencia de salida del sistema



Single-line diagram

PVsyst V7.4.8
VC0, Simulation date:
04/10/24 13:35
with V7.4.8



PV module	JAM66D45-615/LB
Inverter	PV4700 v7.2_50Hz
String	27 x JAM66D45-615/LB

Hickling_TFG	ENEASOL S. COOP. AND. (Spain)
VC0 : Nueva variante de simulación	04/10/24

DESIGN REPORT

PV Plant PSFV BESS Hickling
2024/10/04

DISCLAIMER

This report ("Report") is provided by Rated Power S.L. ("RatedPower") for the use of the Client, which has entered into a separate written agreement with RatedPower. However, RatedPower makes no representations or warranties of any kind, expressed or implied, as to the accuracy, completeness, suitability or reliability of the Report, and shall not be liable or responsible for any damages of any kind arising out of or in connection with the Client's use of the Report.Client may provide RatedPower with its logo for its placement in the Report. The Client represents and warrants that it has all necessary rights and permissions to use and include the logo in the Report, and shall hold RatedPower harmless from any claim deriving from the use of any such logo in the Report.

TABLE OF CONTENTS

1. INTRODUCTION

2. SITE
   2.1. Location
   2.2. Plot Areas
   2.3. Topography
   2.4. Horizon profile

3. SOLAR RESOURCE

4. MAIN EQUIPMENT
   4.1. Photovoltaic module
   4.2. Fixed structure
   4.3. String combiner box
   4.4. Central inverter
   4.5. Power transformer
   4.6. Power Station

5. PV PLANT SIZING
   5.1. Electrical configuration
   5.2. Electrical Cabling Design
   5.3. Civil works
   5.4. Battery Energy Storage System

1. INTRODUCTION

The objective of this report, produced by RatedPower, is to describe the specifications and design of the solar photovoltaic plant PSFV BESS Hickling. The current description of the project could be subject to changes in the next stages of the project development.

The rated power of the PV Plant is 56.5 MWac and the peak power is 68.8 MWdc resulting in a DC/AC ratio of 1.22. The main characteristics of the project are shown in Table 1, Table 2 and Table 3.

Table 1. Project Characteristics

PSFV BESS Hickling Project	
Main characteristics	
Location	United States, New York
Rated power (AC)	56.5 MWac
Peak power (DC)	68.8 MWdc
Ratio DC/AC	1.22
General Equipment	
Fixed structure	4142
PV Modules (615.0 Wp)	111834
Power station (up to 4709.0 kW)	12
Number of inverters (up to 4709.0 kVA)	12

Table 2. Civil Characteristics

Area Name	Pitch	Clearance	GCR	Distance between consecutive rows	Azimuth angle	Tilt angle
Area 1	13.5 m	6.75 m	50.02%	0.08 m	0.0 °	20.0 °

Table 3. Areas

Area Name	Area	Suitable Area	Fence Area
Area 1	90.55 ha	75.9 ha	72.17 ha
Total	**90.55 ha**	**75.9 ha**	**72.17 ha**

The general layout of the PV plant is shown in Figure 1.

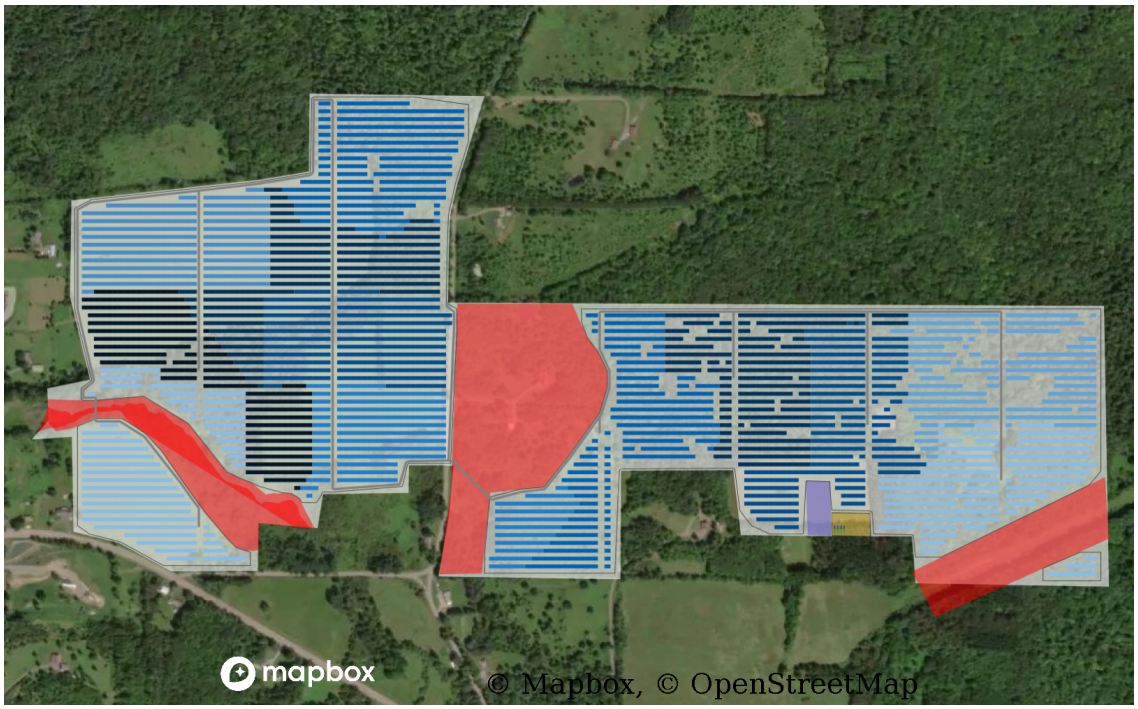


Figure 1. General layout

2. SITE

2.1. Location

The PV Plant location has the characteristics shown in Table 4

Table 4. Location characteristics

PV Plant location characteristics	
City / Town	Harpursville
Region	New York
Country	United States
Latitude	+42.24 °
Longitude	-75.71 °
Altitude	461.92 m a.m.s.l.
Timezone	UTC -5

The project location is shown in Figure 2. A closer view of the region is shown in Figure 3.

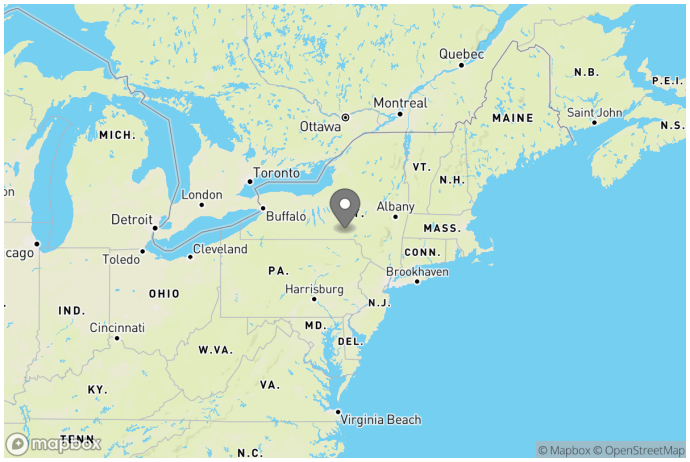


Figure 2. Location of PV Plant in the region of New York, in United States

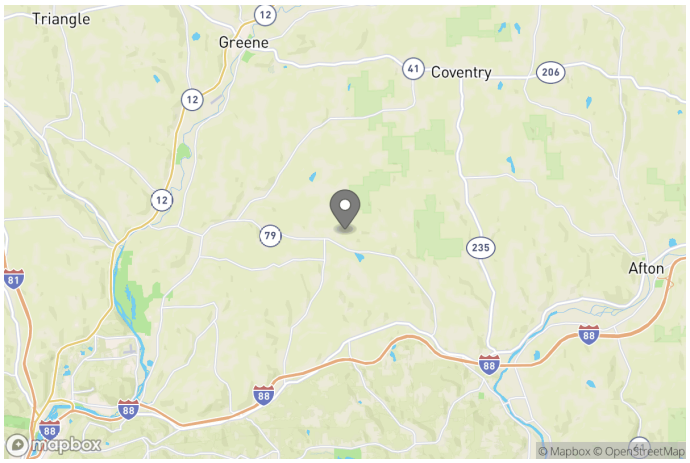


Figure 3. Closer view of the PV plant in the region of New York

2.2. Plot Areas

The area where the PV plant is to be built consists of 1 available areas, with a total surface area of 90.55 ha. A total of 4 restricted areas are not suitable for the installation of PV modules. The final available area covers a surface of 75.9 ha.

The size of each area and the total suitable area for installation purposes is shown in Table 5.

Table 5. Size of plot areas of the project.

Area name	Surface
Available areas	
Area 1	90.55 ha
Restricted areas	
RA	
Area 1	2.39 ha
Area 2	8.26 ha
Area 3	3.26 ha
Area 4	1.94 ha
Interconnection facility areas	
ST	
Area 1	0.38 ha
Total available area	**75.9 ha**

The substation(s) (blue), the plot area(s) (white) and, if any, the restricted area(s) (red) are shown in Figure 4.

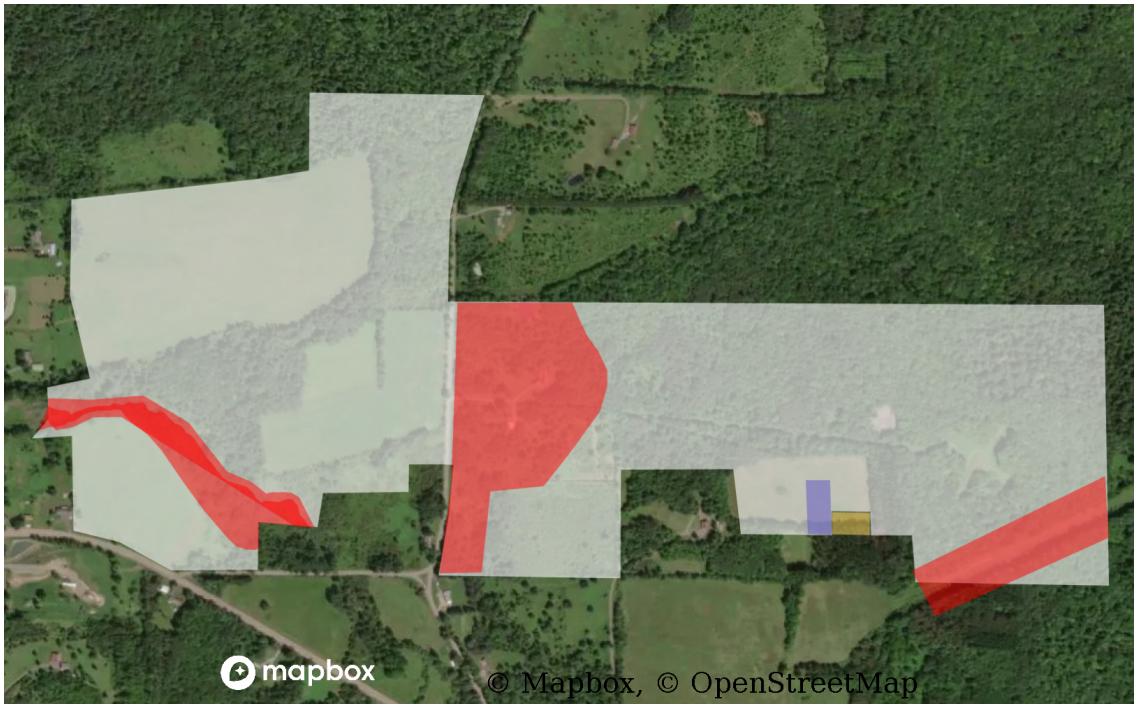


Figure 4. Plot Areas of the PSFV BESS Hickling PV Plant

2.3. Topography

A preliminary terrain topography analysis was performed to study the suitability of the terrain for the construction of a photovoltaic plant. The North-South and East-West slopes were calculated and are shown in Figure 5.

The grid resolution of the elevation data is 30.0 m (North-South and East-West directions). This data was provided by Google Earth (SRTM-30).

The analysis of the terrain slopes results in three differentiated areas:

- Zones where the slope is lower than 5.00 %.
- Zones where the slope is between 5.00 % and 10.00 %.
- Zones where the slope is greater than 15.00 %.

NOTE: The slopes measured on site when performing a detailed topographical analysis could be greater than the slopes obtained using this analysis.

The map shown in the Figure 5 represents the slopes of the terrain, with the following colors representing:

- Slopes <5.00 %
- Slopes >5.00 % and <10.00 %
- Slopes >10.00 % and <15.00 %
- Slopes >15.00 %

Using the previously mentioned elevation data, the position of the mounting structures in the terrain was calculated. The slope of the terrain in the North-South and East-West directions under the structures was calculated. The position of the structure posts was also calculated, including ground elevation and post height.

For some structures, earthworks were performed to adequate the terrain to the limits set by the mounting structure manufacturer. The conditions required to perform earthworks were as follows:

- The slope in the North-South direction is between 20.00 % and 25.00 %.
- The slope in the East-West direction is between 20.00 % and 25.00 %.

The earthworks analysis resulted in a total fill volume of 11898.5 m3 and cut volume of 12411.71 m3.

The structures which did not meet the following requirements were removed from the layout:

- The structure must be within the bounds of the Digital Elevation Model (DEM).
- The slope of the structure in the North-South direction must be lower than 20.00 %.
- The slope of the structure in the East-West direction must be lower than 20.00 %.

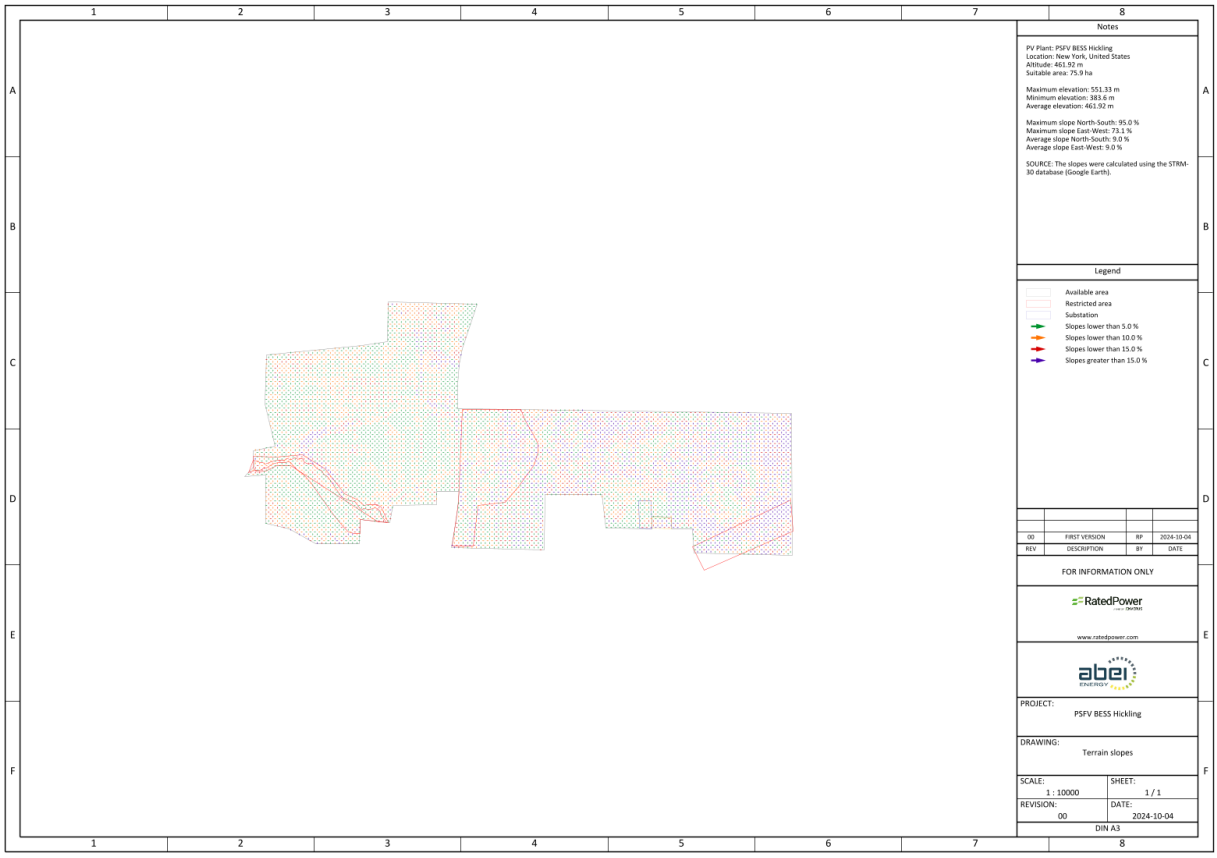


Figure 5. Slopes of the plot areas

The north-south direction is considered to be the direction perpendicular to the axis of the structure (pitch slope). The east-west direction is considered to be the direction parallel to the axis of the structure (row slope). Rotating the layout may have an impact in the topography analysis, due to the rotation of the axis of the structure.

2.4. Horizon profile

The solar irradiance reaching the photovoltaic modules will change if there are hills or mountains on the horizon. These physical obstructions will block the beam component of the irradiance during some periods of the day and will have an impact on the diffuse component as well. Therefore, the horizon profile directly impacts the energy yield of the photovoltaic plant.

The horizon line has an average elevation of 3.3° and a maximum elevation of 7.6°. Throughout the year, the Sun will be blocked by the horizon line for a total of 164 hours. The data source for the horizon line was PVGIS 5.2.

The blocked elevations over the complete azimuth range are shown in Figure 6.

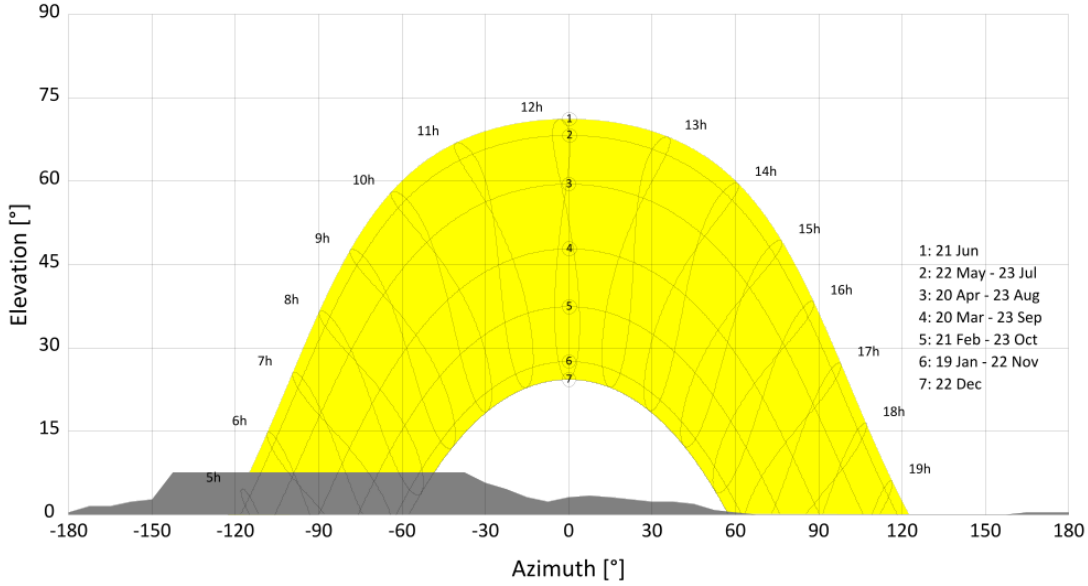


Figure 6. Horizon profile (data source: PVGIS 5.2)

3. SOLAR RESOURCE

The aim of the solar resource analysis is to provide an estimation of the solar energy the photovoltaic plant would receive throughout a typical year.

The solar resource is usually given as a series of hourly values for the irradiance and temperature, for a period of one year. This series is called the Typical Meteorological Year (TMY).

The source used to generate the TMY was the PVGIS database. It includes meteorological data ranging from 2005 to the present (the actual period used may vary depending on the location) and has a spatial resolution of 4 km by 4km. The uncertainty of the PVGIS data varies between ±3% to ±10%, depending on the location.

The hourly temperature values found in the TMY yield the following aggregates:

- Minimum temperature: -22.76 °C.
- Maximum temperature: 35.83 °C.
- Average temperature: 8.36 °C.

The results of the solar resource analysis are shown in Table 6. A chart representing these results is shown in Figure 7.

Table 6. Solar resource monthly values

Month	GHI [kWh/m2]	DHI [kWh/m2]	Temperature
1	52.6	23.5	-2.81 °C
2	43.4	26.7	-3.66 °C
3	103.3	47.9	-0.83 °C
4	161.2	57.7	9.31 °C
5	173.2	80.3	13.73 °C
6	189.6	76.4	18.22 °C
7	208.4	69.8	22.47 °C
8	169.4	68.0	19.25 °C
9	133.4	43.8	15.14 °C
10	92.2	34.0	8.33 °C
11	54.9	26.6	2.97 °C
12	36.1	20.9	-2.59 °C
Year	**1417.6**	**575.8**	**8.29 °C**

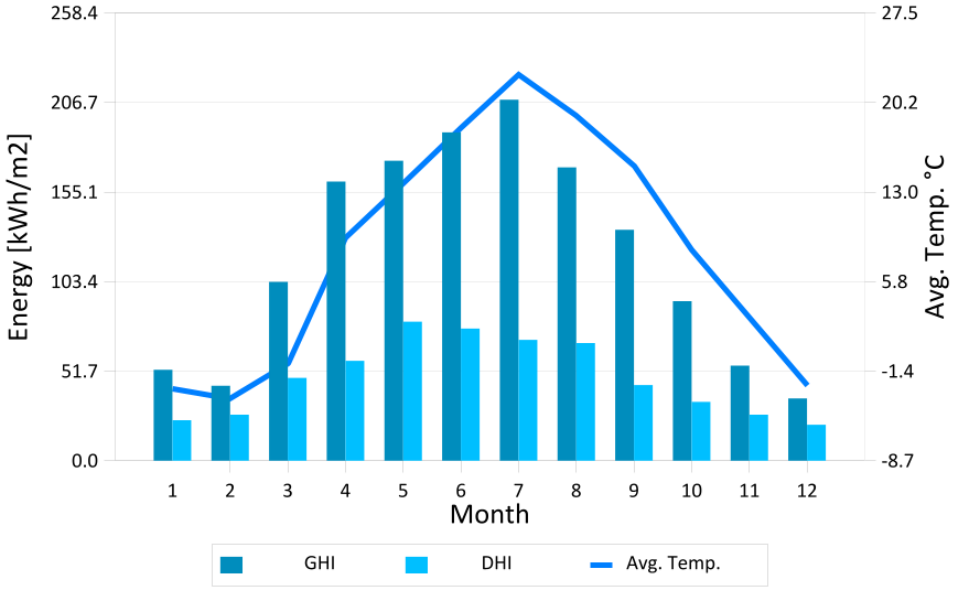


Figure 7. Solar resource chart

4. MAIN EQUIPMENT

The main equipment used to convert the solar energy to electricity is:

- Photovoltaic modules, which convert the solar radiation into direct current.
- The fixed mounting structure, which supports the PV modules.
- The string combiner boxes, which consolidate the output of the strings of photovoltaic modules before reaching the inverter.
- Central inverters, which convert DC from solar field to AC.
- Power Transformers, which raise the voltage level from low to medium.
- Power Stations, which hold the necessary equipment to convert the DC power to AC.

The electrical configuration of the PV plant can be seen in Figure 8.

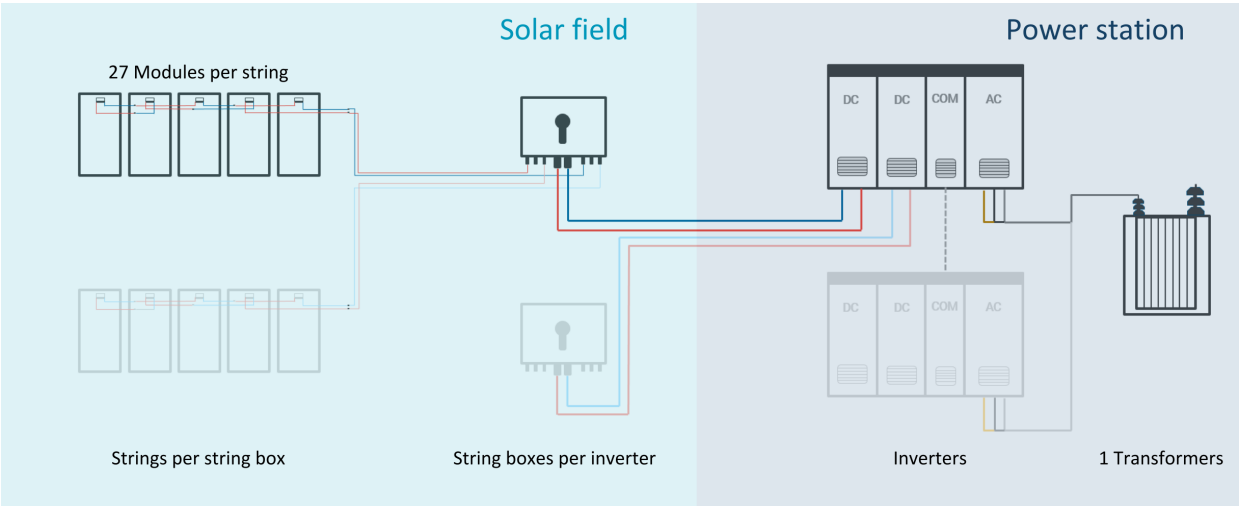


Figure 8. Simplified electrical configuration diagram

4.1. Photovoltaic module

The selected photovoltaic module is the JAM66D45-615/LB Bifacial model, manufactured by JA

Solar. It has a peak power of 615.0 W, and the technology of the cells is Si-mono.

The features of the photovoltaic module are shown in Table 7.

The module has a bifaciality factor of 80.70 %.

Table 7. Photovoltaic module characteristics

Photovoltaic module characteristics	
Main characteristics	
Module model	JAM66D45-615/LB
Manufacturer	JA Solar
Technology	Si-mono
Type of module	Bifacial
Maximum voltage	1500 V
Standard test conditions (STC)	
Peak power	615.0 W
Efficiency	22.77 %
MPP voltage	40.0 V
MPP current	15.39 A
Open circuit voltage	48.3 V
Short circuit current	16.10 A
Temperature coefficients	
Power coefficient	-0.290 %/°C
Voltage coefficient	-0.250 %/°C
Current coefficient	0.044 %/°C
Mechanical characteristics	
Length	2382.0 mm
Width	1134.0 mm
Thickness	30.0 mm
Weight	33.1 kg

An example picture of a Bifacial Si-mono module is shown in Figure 9.

Figure 9. Example of a Bifacial Si-mono photovoltaic module

4.2. Fixed structure

The modules will be mounted on a fixed structure. The structure will establish the orientation and inclination of the modules, as well as the separation between the rows.

The structure will be composed of the following elements:

- A mounting structure formed by different types of metallic profiles.
- Foundation elements for anchoring the structure to the ground.
- Clamping elements and screws to assemble the structure and for mounting the modules on the structure.
- Structural reinforcement elements.

An example of a fixed mounting structure is shown in Figure 10.

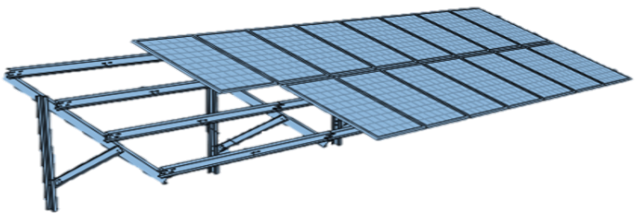


Figure 10. Example of a fixed mounting structure (2P (Portrait))

The main features of the fixed mounting structure are shown in Table 8.

Table 8. Main characteristics of the fixed mounting structure

Fixed structure characteristics	
Structure type	3P (Portrait)
Poles type	Mono pole
Designed for	MONOFACIAL modules
Minimum ground clearance	0.5 m
Gap between modules in the axis direction	20.0 mm

Gap between modules in the pitch direction	20.0 mm

The number of fixed structures installed are summarized in Table 9.

Table 9. Number of fixed structures installed

Strings per structure	Modules per structure	Length	Quantity
1	27	10.37 m	4142

4.3. String combiner box

The string boxes collect the power generated by the DC array, connect the strings in parallel to the inverter, and provide electrical protection to the PV field. To match the number of inputs of the inverters, several parallel strings will be concentrated to function as a single circuit. Junction boxes shall be installed with a fuse per string to protect each array. Overvoltage DC dischargers will be installed, and one DC switch will be situated in the output line. Additionally, a communication system may be installed to monitor the string current and voltage.

An example of a string box is shown in Figure 11.

Figure 11. Example string box (Schneider Electric)

The string boxes will be installed in a shaded area and shall be easily accessible to facilitate maintenance. They will be placed behind the PV modules and use existing structure poles if possible, so that they remain shaded and to prevent damage caused by rainwater or other meteorological phenomena.

The main features of the string box are shown in Table 10.

Table 10. Main string box characteristics

String box	Quantity	Inputs	Power	Fuse Current	Switch current	Overvoltage Arrester
1	252	16 string	265.7 kW	30 A	400 A	Yes
2	10	9 string	149.4 kW	30 A	400 A	Yes

3	2	10 string	166.1 kW	30 A	400 A	Yes

4.4. Central inverter

The inverter converts the direct current produced by the photovoltaic modules to alternating current. It is composed of the following elements:

- One or several DC-to-AC power conversion stages, each equipped with a maximum power point tracking system (MPPT). The MPPT will vary the voltage of the DC array to maximize the production depending on the operating conditions.
- Protection components against high working temperatures, over or under voltage, over or under-frequencies, minimum operating current, mains failure of transformer, anti-islanding protection, protection against voltage gaps, etc. In addition to the protections for the safety of the staff personnel.
- A monitoring system, which has the function of relaying data regarding the inverter operation to the owner (current, voltage, power, etc.) and external data from monitoring of the strings in the DC array (if a string monitoring system is present).

In Figure 12 a commonly used photovoltaic inverter for utility-scale PV plants is shown.

Figure 12. Example of central photovoltaic inverter

The main characteristics of the selected inverter are shown in Table 11.

Table 11. Inverter characteristics

Inverter characteristics	
Main characteristics	
Inverter model	Proteus PV4700
Inverter type	CENTRAL
Manufacturer	Gamesa Electric
Maximum DC to AC conversion efficiency	99.45 %
Input side (DC)	
MPPT search range	955 - 1300 V
Maximum input voltage	1500 V

Output side (AC)	
Rated power	4709.0 kVA
Maximum Power (datasheet)	4709.0 kVA
Nominal Power (datasheet)	4709.0 kVA
Output voltage	690 V
Output frequency	60 Hz

Table 12. Inverters

Inverter	Quantity	DC inputs	Power DC	DC/AC ratio
Proteus PV4700 (4709 kWac)	10	1 String Box of 9 string 21 String Box of 16 string	5729 kW	1.217
Proteus PV4700 (4709 kWac)	2	1 String Box of 10 string 21 String Box of 16 string	5745 kW	1.220

4.5. Power transformer

The power transformer raises the voltage of the inverter AC output to achieve a higher efficiency transmission in the power lines of the photovoltaic plant. An example of a power transformer is shown in Figure 13.

Figure 13. Example of power transformer

4.6. Power Station

The power stations or transformer stations are indoor buildings or containers. The voltage of the energy collected from the solar field is increased to a higher level to facilitate the evacuation of the generated energy.

The inverters and power transformers will be housed in the power station.

An example of an Indoors power station is shown in Figure 14.

Figure 14. Example of an Indoors power station

The power station shall be supplied with medium voltage switchgears that include one transformer protection unit, one direct incoming feeder unit, one direct outcoming feeder unit and electrical boards. Particularly, for the first power station of each MV line, a direct incoming unit will not be installed.

The common features of the power stations are shown in Table 13.

Table 13. Power station common characteristics

Power station characteristics	
Voltage ratio	0.69/20.0kV
Transformers cooling system	ONAN
Transformers tap changer	2.5%, 5%, 7.5%, 10%
Service	Indoors

The characteristics of the different power stations according to their AC configuration are shown in Table 14.

Table 14. Power stations according to the AC configuration

Power stations	Quantity	Num Inverters	Transformers configuration	Short circuit (Zcc)
1	12	1(4.709 MVA)	1 two-winding transformer of 4.709 MVA	0.080

The different types of power stations according to the DC field associated to them are shown in Table 15.

Table 15. Power stations according to the DC field

Power stations	Quantity	Num Inverters	Power AC	Power DC	DC/AC ratio
1	10	1	4.709 MW	5.729 MW	1.217
2	2	1	4.709 MW	5.745 MW	1.220

5. PV PLANT SIZING

5.1. Electrical configuration

The photovoltaic generator array consists of photovoltaic modules connected in serial and parallel associations. This configuration is defined by the module and inverter technical features, the power system requirements, and the meteorological conditions of the specific location in United States.

The methodology used to define the electrical configuration consists of sizing the strings of modules, electrical junction boxes (if present), wiring and inverters to find an electrical configuration that satisfies the DC/AC ratio goal. Some of the design criteria considered were:

- Reaching the maximum DC voltage possible, staying below the maximum rated voltage of the photovoltaic modules, 1500 V. This is done to minimize the DC power transmission losses.
- The photovoltaic generator array (DC field) is oversized with respect to the rated power of the AC system, to maximize the energy yield.

The main features of the electrical configuration globally and by areas are shown in Table 16 and Table 17 respectively.

Table 16. Electrical configuration global characteristics

Electrical configuration global characteristics	
Plant rated power	56.5 MWac
Plant peak power	68.8 MWdc
DC/AC Ratio	1.22
Modules per string	27

Table 17. Electrical configuration characteristics per group of areas

Group of Areas	Rated Power	Peak Power	DC/AC Ratio
Area1	56.5 MWac	68.8 MWdc	1.22

The medium voltage network connecting the power stations to the substation operates at 20.0 kV. It is composed of 5 medium voltage branches.

5.2. Electrical Cabling Design

The goal when calculating the characteristics of the electrical wiring is to minimize the cable lengths and sections. The sections are selected according to the IEC 60364-5-52 and IEC 60502-2 standards.

When selecting a cable cross section, the current carrying capacity, the voltage drop, and the short circuit current were considered. The maximum allowed voltage drop was 1.5% for the DC

side, and 0.5% for the AC cables of the MV network.

A 35 mm2 earthing cable is used for the low voltage and medium voltage trenches, while a 50 mm2 earthing cable is used in the case of the power stations.

A summary of the selected cable sections and their installation method is shown in Table 18.

Table 18. Summary of the selected cable sections

Section	Conducting material	Insulating material	Installation type
Strings to string box			
6 mm2	Cu	XLPE	Fastened to structure
10 mm2	Cu	XLPE	Fastened to structure
String box to Inv.			
500 mm2	Al	XLPE	Buried in trench
630 mm2	Al	XLPE	Buried in trench
PS to MV switchgears			
400 mm2	Al	XLPE	Buried in trench

5.3. Civil works

Some of the parameters considered for the civil works required to build the photovoltaic plant are shown in Table 19 and Table 20.

Table 19. Civil works

Civil works	
Pitch distance	13.5 m
Distance between consecutive rows	0.08 m
Road width	4.0 m
LV trench maximum section	0.8 m2
MV trench maximum section	1.2 m2

Table 20. Roads by area

Area name	Layout	Width	Length
Area 1	Vertical	4.0 m	4601.43 m
Total			**4601.43 m**

For the design of the PV plant under study, roads of 4.0 m have been used. These roads run a total distance of 4601.43 m.

Road ditches used for drainage and for channeling water are placed on one side of the roads.

A total perimeter of 7035.31 m of chain link fence surrounds the different areas of the PV plant. The fence has at least 2.0 m of height and 3.0 m between posts. For every 50.0 m of fence, a light post of 4.0 m of height and a microwave barrier system are installed. For every 100.0 m of fence, a video camera post of 6.0 m of height is installed.

Low voltage cables from string boxes to the Power Stations have been directly buried in trenches. Various rows of cables may be included inside the same trench. Low voltage and medium voltage trenches are separated.

The minimum depth at which the low voltage cables are placed is 600.0 mm. These cables are horizontally in touch. The vertical separation between the low voltage cables is 50.0 mm.

A simplified trench cross section of the LV trenches is shown in Figure 15.

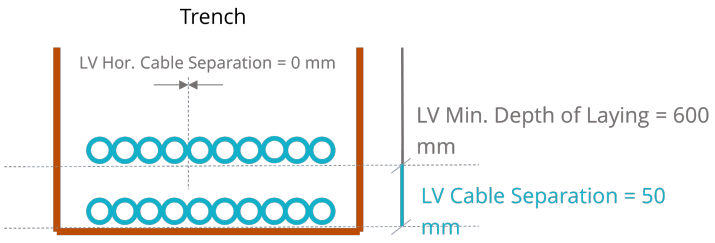


Figure 15. Simplified LV trench cross section

The minimum depth at which medium voltage cables are placed is 700.0 mm. These cables are separated horizontally by 200.0 mm. The vertical separation between them is 200.0 mm.

A simplified trench cross section of the MV trenches is shown in Figure 16.

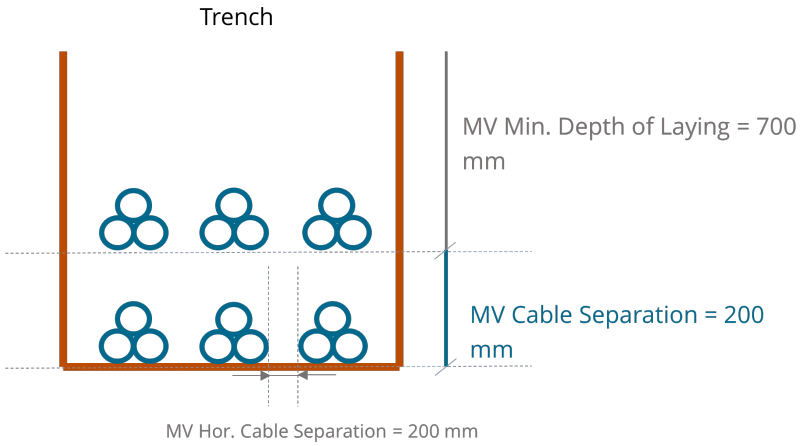


Figure 16. Simplified MV trench cross section

The offset horizontal space between the cable rows and the trench boundaries is 50.0 mm.

The section of the trenches used in the design are shown in Table 21, along with the total trench length and volume for each type.

Table 21. Trench cross sections

Trench type	Cross section	Length	Volume
Low voltage trench	400.0 x 1000.0 mm	15026.97 m	6010.79 m3

Low voltage trench	800.0 x 1000.0 mm	65.21 m	52.17 m3
Medium voltage trench	800.0 x 1500.0 mm	1254.08 m	1504.89 m3
Medium voltage trench	400.0 x 1000.0 mm	2177.38 m	870.95 m3
Medium voltage trench	800.0 x 1000.0 mm	661.16 m	528.93 m3

5.4. Battery Energy Storage System

In addition to the PV Plant, an AC coupling BESS has been defined, for which an area in the plant has been defined. This battery system includes a set of 4 battery containers and 4 power conversion systems with a total apparent power of 20.0 MVA and a total rated power of 20.0 MW at a power factor of 1.000 and an energy capacity of 80.0 MWh, resulting in a storage capacity of 4.0 hours of discharge.