

Diseño y simulación de un sistema fotovoltaico integrado para el alumbrado y protección solar en la entrada de la Universidad Peruana Unión

Cauna Anquise Hazel Braddy ¹, Mamani Colque Renzo Romario ¹,

EP. Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión

Resumen

El objetivo de esta investigación fue evaluar la viabilidad de instalar un sistema fotovoltaico en la entrada de la Universidad Peruana Unión para el alumbrado exterior, aprovechando la irradiación solar de la zona. Se analizaron datos de radiación utilizando herramientas como el Global Solar Atlas, ArcGis, Energy3D y se realizaron simulaciones para determinar la capacidad de generación de energía. El diseño incluyó la instalación de paneles solares en un techo protector, optimizando tanto la captación de energía como el confort de los usuarios. Los resultados indican que, con 6 paneles de 400W, se puede abastecer el consumo de 18 focos LED de 50W, cubriendo eficientemente la demanda energética y con 342 paneles que es el total de paneles que alcanzan, teniendo una producción anual de 222,863.32 kWh. El análisis mensual mostró picos de generación durante los meses de mayor irradiación solar, garantizando un suministro continuo para el alumbrado. La implementación del sistema on-grid permite reducir costos de electricidad y elimina la necesidad de batería. En conclusión, el proyecto es técnicamente viable y contribuye a los objetivos de sostenibilidad del campus, promoviendo el uso de energía limpia y mejorando la infraestructura. La propuesta sienta las bases para futuras expansiones del uso de energía solar en otras áreas de la universidad, demostrando ser una solución eficiente y respetuosa con el medio ambiente.

Palabras clave: energía solar; sistema fotovoltaico; eficiencia energética; radiación solar; simulaciones

The objective of this research was to evaluate the feasibility of installing a photovoltaic system at the entrance of the Universidad Peruana Unión for outdoor lighting, taking advantage of the solar radiation in the area. Radiation data was analyzed using tools such as the Global Solar Atlas, ArcGis, Energy3D and simulations were performed to determine the energy generation capacity. The design included the installation of solar panels on a protective roof, optimizing both energy collection and user comfort. The results indicate that, with 6 400W panels, the consumption of 18 50W LED spotlights can be supplied, efficiently covering the energy demand and with 342 panels, which is the total number of panels that reach an annual production of 222,863.32 kWh. The monthly analysis showed generation peaks during the months of highest solar radiation, guaranteeing a continuous supply for lighting. The implementation of the on-grid system allows reducing electricity costs and eliminates the need for a battery. In conclusion, the project is technically feasible and contributes to the sustainability goals of the campus, promoting the use of clean energy and improving infrastructure. The proposal lays the foundation for future expansions of solar energy use in other areas of the university, proving to be an efficient and environmentally friendly solution.

Keywords: solar energy; photovoltaic system; energy efficiency; solar radiation; simulations

1. Introducción

En la Universidad Peruana Unión, uno de los problemas recurrentes es la alta exposición de estudiantes y personal al sol en la entrada principal del campus, especialmente durante las horas pico, cuando los niveles de radiación ultravioleta (UV) son de 16 siendo este extremadamente alto (SENAMHI,2024). La exposición prolongada al sol sin protección adecuada puede generar riesgos para la salud, como quemaduras solares, daños a la piel y otras complicaciones derivadas de los altos niveles de radiación en esta region (Martínez & López, 2021). La zona de estudio, ubicada en Juliaca, presenta una radiación solar promedio hasta 6,5 kWh/m² en ciertas épocas del año, con valores máximos que pueden superar los 1,600

W/m², especialmente durante el verano, cuando el sol es más intenso y los cielos están despejados, lo que indica un alto potencial de captación de energía solar, pero también implica riesgos significativos para la salud de quienes transitan por esta área sin una protección adecuada. (Huillca Arbieto, J., 2023)

Es importante tener en cuenta los efectos de la radiación ultravioleta (UV) sobre los materiales y la salud humana. La exposición prolongada a la radiación UV puede causar daños en la piel, como quemaduras solares, envejecimiento prematuro y aumentar el riesgo de cáncer de piel. Aunque los sistemas fotovoltaicos están diseñados para minimizar estos efectos sobre las personas, la radiación UV puede afectar la durabilidad de ciertos materiales, como los paneles solares y otros componentes del sistema, reduciendo su eficiencia con el tiempo. (López, J., & González, L., 2021).

En investigaciones previas sobre sistemas fotovoltaicos y alumbrado exterior en instalaciones educativas, se ha demostrado la eficacia del uso de energía solar para reducir el consumo de electricidad y promover la sostenibilidad. Sin embargo, la mayoría de estos estudios se han enfocado únicamente en la generación de energía, sin abordar directamente problemas de confort térmico y protección solar para los usuarios. Este estudio plantea una aproximación diferente, integrando un diseño estructural que no solo sirva para la generación de energía, sino que también proporcione sombra y proteja a los usuarios de la radiación UV, mejorando así las condiciones de tránsito en la entrada del campus.

El enfoque de este trabajo consiste en evaluar la viabilidad de implementar un sistema fotovoltaico on-grid en la entrada de la universidad, utilizando el techo de protección e integrando los paneles solares. La hipótesis central es que el sistema puede cubrir eficientemente las necesidades de alumbrado exterior, aprovechando la alta radiación solar de la zona y reduciendo la exposición directa al sol. Para validar esta hipótesis, se realizaron simulaciones y cálculos de generación energética, considerando diferentes factores como la orientación, inclinación óptima de los paneles y pérdidas del sistema. Esta investigación busca demostrar que la implementación del sistema no solo es viable desde el punto de vista técnico y económico, sino que también aporta beneficios significativos en términos de confort y sostenibilidad para el campus universitario.

2. Materiales y Métodos

2.1. Área de estudio

El área de estudio designado será la entrada de la Universidad Peruana Unión filial Juliaca, ubicada en Juliaca, Puno, estaremos abarcando todo el recorrido de la entrada, las coordenadas son 15°30.9915'S 70°10.8254'W hasta 15°31.0370'S 70°11.0013'W, es 220m de largo y 4.5 m de ancho.

Figura 1

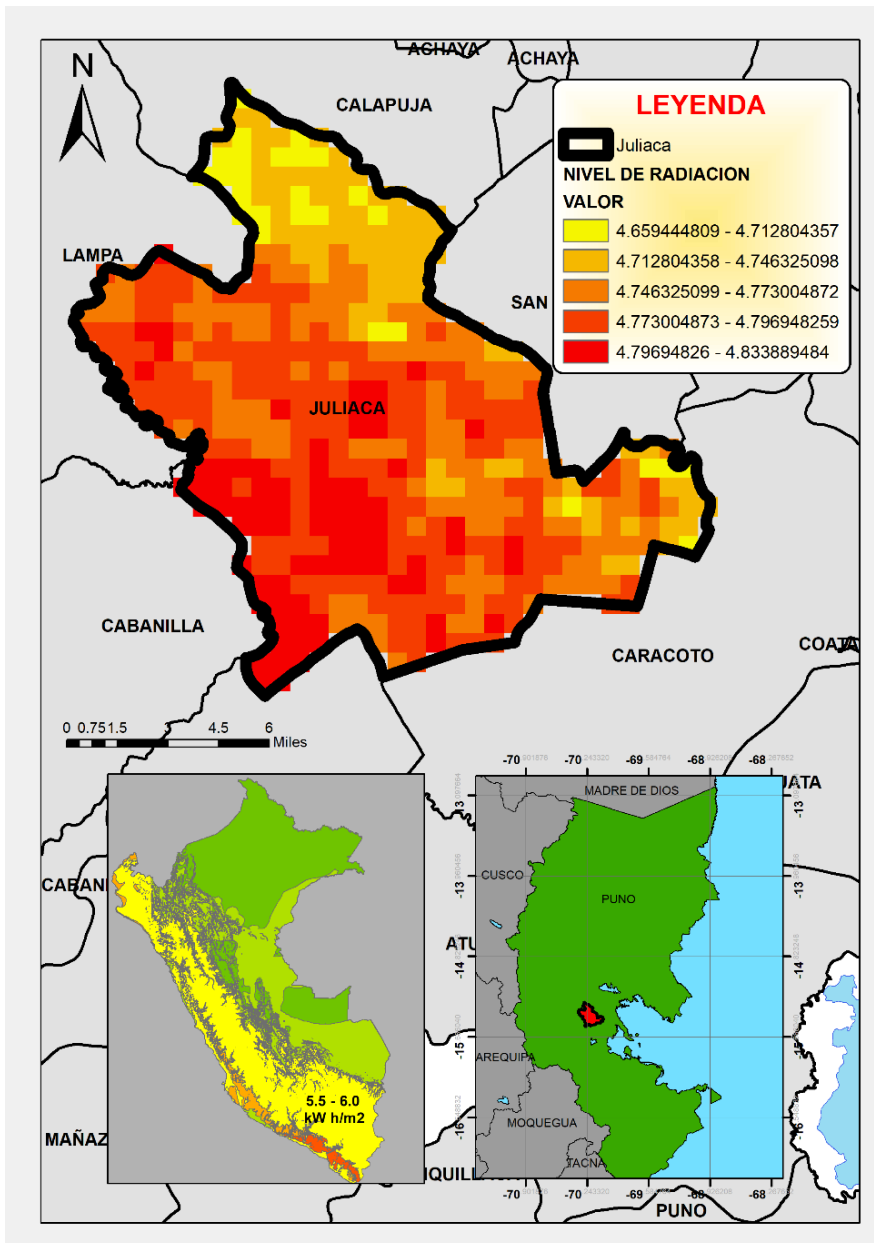
Área donde se realizar el diseño



Fuente. Área donde se realizar el diseño

2.2. Mapa de radiación

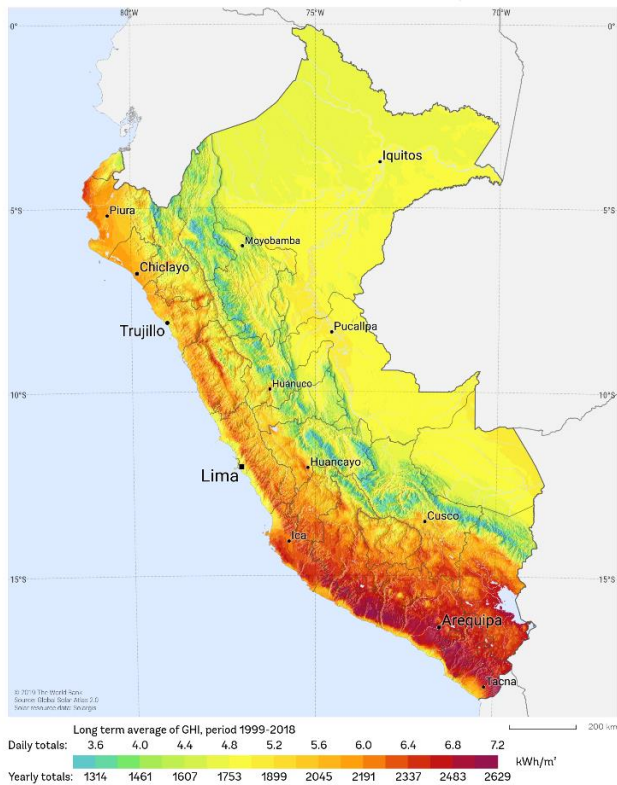
En la Figura 2, se muestra el mapa de radiación solar para la ciudad de Juliaca, destacando la disponibilidad de recurso solar en la zona de estudio. Los datos obtenidos indican que la radiación solar global diaria promedio varía entre 4.6594 kWh/m² y 4.8339 kWh/m². Estos valores son del año 2018 donde se reflejan una buena disponibilidad de radiación solar, ubicándose dentro del rango óptimo para la implementación de sistemas fotovoltaicos. Este nivel de radiación es suficiente para garantizar una producción eficiente de energía eléctrica a partir de paneles solares, incluso durante los meses de menor insolación, este dato ha ido incrementado actualmente, el año 2022 en mapas de SENAMHI nos dice que el valor promedio en la zona es de 5.5 a 6.0 kWh/m².

Figura 2*Mapa de radiación del distrito de Juliaca**Fuente. Elaboración propia*

Estos valores indican que, en promedio, cada metro cuadrado de superficie expuesta recibe entre 5.5 a 6 kWh de energía solar diariamente. Considerando que Juliaca se encuentra en una región altiplánica con una altitud superior a los 3800 metros sobre el nivel del mar, la radiación solar es significativamente alta debido a la menor atenuación atmosférica y al bajo nivel de nubosidad, lo que representa una ventaja para el aprovechamiento de la energía solar en esta ubicación. Este análisis preliminar permite concluir que la implementación de un sistema fotovoltaico para el alumbrado de la entrada de la Universidad Peruana Unión es factible y puede contribuir de manera significativa al uso de energías renovables en el campus.

Figura 3

Mapa de radiación en el Perú de 1999 a 2018.

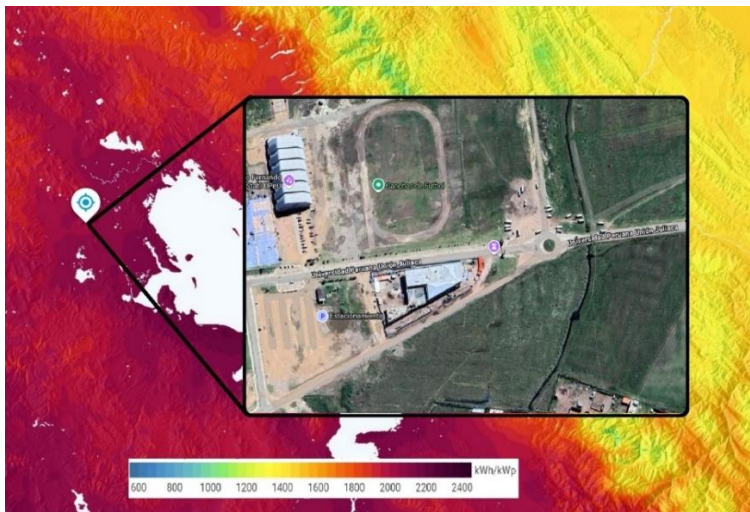


Fuente. Global Solar Atlas

En la figura 3 se aprecia la incidencia solar promedio mensual de 2010 al 2019, Juliaca presenta valores de 6.0 kWh/m²/día a 6.4 kWh/m²/día. Así, mismo los lugares con máxima presencia de energía solar incidente son toda la zona sur del Perú, tanto sierra como costa, entonces el potencial de energía solar incidente en la Región Puno es alto, por lo que se debe de dar un adecuado aprovechamiento de este recurso energético con herramientas y tecnologías en energías renovables adaptadas a cada población o institución de acuerdo a sus usos.

Figura 4

Mapa de potencial energético fotovoltaico del área de diseño



Fuente. Elaboración propia

En la Figura 4, se presenta el mapa de potencial energético fotovoltaico para la zona de estudio, generado con datos del Global Solar Atlas. Los resultados muestran un rango de producción anual de energía fotovoltaica entre 2000 y 2200 kWh/kWp. Estos valores indican el rendimiento estimado de un sistema fotovoltaico instalado en la región, considerando condiciones óptimas y un ángulo de inclinación que sea el más adecuado para maximizar la captación solar.

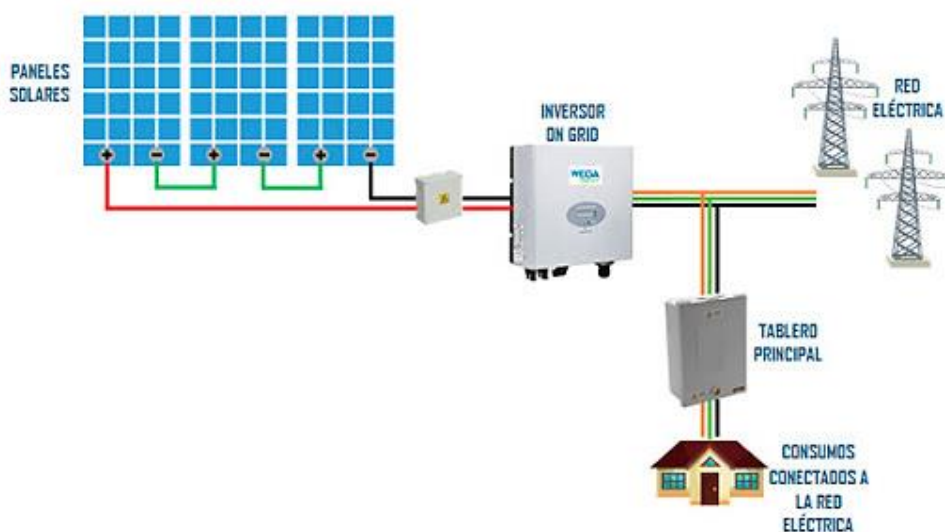
Este rango de producción sugiere que, por cada kilovatio de potencia instalada (kWp), se pueden generar entre 2000 y 2200 kWh de energía eléctrica al año. Esto coloca a Juliaca en una posición favorable para la implementación de proyectos solares, ya que supera el promedio de muchas otras regiones del país que presentan valores menores a 1800 kWh/kWp. **En** Alemania, donde la radiación solar máxima diaria es de 3.4 kWh/m² y el aprovechamiento anual 1241 kWh/kWp, un poco más de la mitad de la existente en Juliaca, están volcados a estas energías renovables desde mucho tiempo atrás. A pesar de que cuenta con mucho menos recurso solar que Italia, España o Portugal, sin embargo, produce con sistemas fotovoltaicos mucha más electricidad que estos países, quintuplicando la producción de electricidad de origen fotovoltaico de España.

2.3. Sistema on-grid

Un sistema fotovoltaico on-grid convierte la energía solar en electricidad utilizando paneles solares que capturan la radiación solar y la transforman en corriente continua (CC). Esta corriente es enviada al inversor, que la convierte en corriente alterna (CA), compatible con la red eléctrica. La electricidad generada se utiliza para abastecer los consumos eléctricos inmediatos y, si hay excedentes, estos se inyectan a la red pública, reduciendo la factura de electricidad. Al estar conectado a la red, el sistema no requiere baterías, ya que utiliza la red como respaldo en caso de baja producción solar, por eso para este proyecto es mejor optar por este sistema que es más económico y sencillo. (Díaz, M., & Paredes, C., 2020)

Figura 5

Sistema on-grid



Fuente. Energía Solar Siryu

3. Resultados y Discusión

Los resultados obtenidos son de los software como Solargis, Energydata y Energy3D, con los datos obtenidos de geo servidores como Senamhi, NASA, WorldClim y Global Solar Atlas, tanto los cálculos, gráficos, diseño y simulaciones fueron por elaboración propia.

3.1. Resultados 1

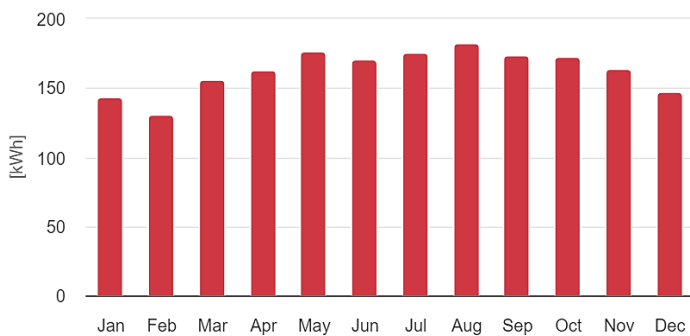
En el siguiente grafico (Figura 6), se presenta el gráfico de barras que muestra la variación del poder fotovoltaico total durante los 12 meses del año para la zona de estudio (Juliaca). Los datos reflejan un comportamiento estacional típico, con valores más altos durante los meses de invierno, destacándose el mes de agosto como el de mayor poder fotovoltaico. En agosto, se observa el valor más alto registrado, alcanzando aproximadamente 182 kWh, lo que se alinea con el periodo de menor nubosidad y cielos despejados característicos de esta época del año.

Figura 6

Gráfico de variación del poder fotovoltaico en los 12 meses de 2023 (Solargis)

Monthly averages

Total photovoltaic power output



Fuente. Elaboración propia

Figura 7

Gráfico de producción total de energía fotovoltaica (Solargis)

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0 - 1												
1 - 2												
2 - 3												
3 - 4												
4 - 5												
5 - 6	7	2							2	17	22	16
6 - 7	86	70	80	108	115	88	75	100	147	176	170	121
7 - 8	246	236	270	339	366	347	329	354	386	399	386	301
8 - 9	398	390	443	529	566	547	535	563	580	580	559	458
9 - 10	498	491	546	644	698	683	676	707	716	698	669	564
10 - 11	583	572	624	717	771	761	760	789	787	760	732	629
11 - 12	650	644	681	745	785	782	783	804	781	761	748	679
12 - 13	642	646	687	715	741	751	755	765	729	708	695	633
13 - 14	559	587	629	629	649	673	676	678	645	604	599	532
14 - 15	441	473	512	505	521	546	555	553	514	455	457	403
15 - 16	305	335	357	346	354	381	390	387	347	295	290	261
16 - 17	169	186	187	144	113	121	131	167	155	119	117	129
17 - 18	46	48	32	4			2	4	6	10	13	29
18 - 19												
19 - 20												
20 - 21												
21 - 22												
22 - 23												
23 - 24												
Sum	4,629	4,681	5,046	5,424	5,681	5,681	5,665	5,871	5,795	5,582	5,459	4,755

Fuente. Elaboración propia

Los datos de la figura 6 muestran que la producción de energía tiene un comportamiento típico diario, alcanzando su pico máximo entre las 10:00 a.m. y la 1:00 p.m. Este rango horario concentra los valores más altos de generación, lo que corresponde al periodo de máxima radiación solar.

El análisis revela que la potencia fotovoltaica generada durante este intervalo horario es considerablemente superior al promedio del resto del día, lo que indica que en estas horas se produce la mayor parte de la energía eléctrica diaria. Esto se debe a la mayor intensidad de la radiación solar en estas horas, combinada con el ángulo óptimo de incidencia de los rayos solares, especialmente durante los meses de mayor radiación (Mayo a Septiembre).

Tabla 1

Datos de radiación del área designada por día.

MAP DATA PER DAY			
Date	Abbrv		Result
Direct normal irradiation	DNI	7.133	kWh/m ² per day
Global horizontal irradiation	GHI	6.545	kWh/m ² per day
Diffuse horizontal irradiation	DIF	1.772	kWh/m ² per day
Global tilted irradiation at optimum angle	GTI opta	6.89	kWh/m ² per day
Optimum tilt of PV modules	OPTA	20 / 0	°
Air temperature	TEMP	8.4	°C
Terrain elevation	ELE	N/A	

Tabla 2

Datos de radiación del área designada por año.

MAP DATA PER YEAR			
Date	Abbrv		Result
Direct normal irradiation	DNI	2603.7	kWh/m ² per year
Global horizontal irradiation	GHI	2388.8	kWh/m ² per year
Diffuse horizontal irradiation	DIF	646.7	kWh/m ² per year
Global tilted irradiation at optimum angle	GTI opta	2514.8	kWh/m ² per year
Optimum tilt of PV modules	OPTA	20 / 0	°
Air temperature	TEMP	8.4	°C
Terrain elevation	ELE	N/A	

Los datos de irradiación solar para la zona de estudio en Juliaca muestran un excelente potencial para el aprovechamiento de energía solar, con un valor diario promedio de irradiación directa normal (DNI) de **7.133 kWh/m²/día** y global horizontal (GHI) de **6.545 kWh/m²/día**, lo que indica una alta disponibilidad de radiación solar. Anualmente, se registra un DNI de **2603.7 kWh/m²/año** y un GHI de **2388.8 kWh/m²/año**, mientras que la irradiación global inclinada a un ángulo óptimo de **20°** alcanza **2514.8 kWh/m²/año**, maximizando la captación de energía. Con una temperatura promedio de **8.4°C**, el rendimiento fotovoltaico se ve favorecido, lo que refuerza la viabilidad del proyecto para alumbrado en la entrada de la Universidad Peruana Unión.

3.2. Resultados 2

Generalmente, para áreas peatonales y de tránsito (como la entrada de la universidad), se recomienda instalar focos cada **10 a 15 metros** para garantizar una iluminación adecuada y uniforme.

Optando por un espaciamiento promedio de **12 metros**, tendríamos:

$$\text{Número de focos} = \frac{220m}{12m/\text{foco}} \approx 18$$

Para calcular la cantidad de paneles solares necesarios para alimentar 18 focos LED de 50W durante 12 horas al día (6:00 pm a 6 am), se comienza determinando el consumo energético total. Cada foco de 50W consume **600 Wh (0.6 kWh)** por día, por lo que el consumo total de los 18 focos es de **10.8 kWh/día**.

Luego, se calcula la producción energética diaria de un panel solar de **400W**. Considerando una irradiación solar promedio de **6.89 kWh/m²/día** en Juliaca y un rendimiento del sistema solar del **80%**, cada panel puede generar **2.2 kWh/día**.

Para cubrir el consumo total de 10.8 kWh/día, se divide este valor por la producción diaria de un panel (2.2kWh/panel/día), lo que resulta en aproximadamente **4.91 paneles**. Al redondear hacia arriba para asegurar el suministro, se concluye que son necesarios **5 paneles solares de 400W** para cubrir el consumo de los focos.

Sin embargo, al tratarse de un sistema fotovoltaico **on-grid** que es el que se quiere implementar, es necesario considerar las pérdidas asociadas a los diferentes componentes del sistema, como el inversor, cableado, y otros equipos de protección. Estas pérdidas pueden oscilar entre el **15% y 20%** del rendimiento total. En un sistema **on-grid**, las pérdidas típicas incluyen:

- *Inversor: Entre el 5% y 7% de pérdidas debido a la conversión de corriente continua (CC) a corriente alterna (CA).*
- *Cableado y conexiones: Entre el 3% y 5%, afectadas por la resistencia y la calidad del cableado.*
- *Suciedad y sombras: Aproximadamente un 2% a 3% debido al polvo, suciedad acumulada en los paneles, o sombreados parciales.*
- *Desempeño del sistema: Se considera una eficiencia del sistema del 80%, lo que incluye pérdidas por temperatura y otros factores ambientales.*

En conjunto, las pérdidas pueden totalizar hasta el **20%** del rendimiento del sistema, para cubrir estas pérdidas, el consumo total efectivo debe incrementarse en un **20%**:

Este cálculo garantiza que el sistema fotovoltaico será capaz de generar suficiente energía para alimentar los 18 focos LED durante las 12 horas diarias de funcionamiento, considerando las condiciones solares en Juliaca.

$$\text{Consumo ajustado} = 10.8 \text{ kWh/día} \times 1.20 = 12.96 \text{ kWh/día}$$

$$\text{Número de paneles} = \frac{2.2 \text{ kWh/panel/día}}{12.96 \text{ kWh/día}} \approx 5.89$$

Utilizando paneles solares de **400W** con una producción diaria promedio de **2.2 kWh/panel**, el número de paneles necesarios se recalcula y redondeando hacia arriba para asegurar el suministro y cubrir imprevistos, se necesitarían **6 paneles de 400W**.

Tabla 3

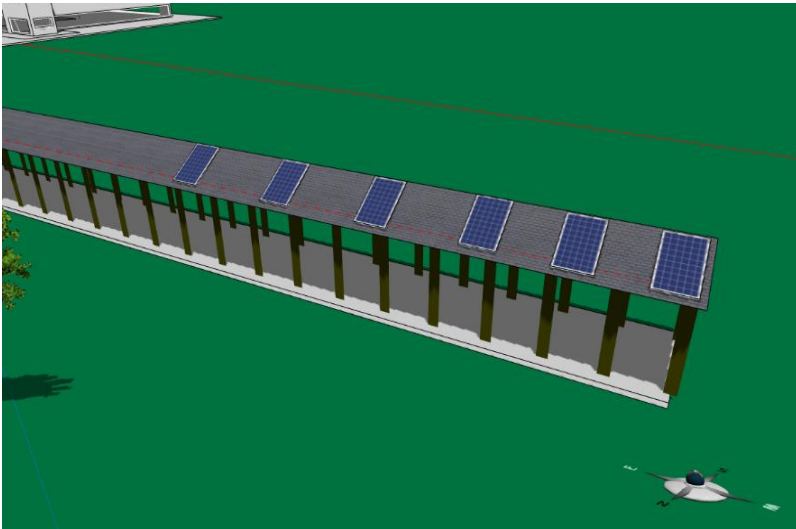
Cuadro del costo promedio del diseño del sistema fotovoltaico.

Material	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Costo Total (USD)
Paneles solares de 400W	6	217	1,302
Inversor On-Grid (3 kW)	1	700	700
Estructura de soporte	6	80	480
Cableado eléctrico (CA y CC)	100 m	1.5	150
Caja de protección AC/DC	1	100	100
Focos LED de 50W	18	15	270
Instalación y mano de obra	-	-	200
Misc. (conexiones, fusibles)	-	-	50
Total estimado	-	-	3,252

El coste promedio de este sistema con 6 paneles que son los necesarios para abastecer el alumbrado es de 3252 USD (12266.53 soles peruanos), este solo ocuparía una pequeña parte en el diseño de la construcción la cual es un modelo básico pero eficiente para la protección del sol, el largo de la entrada es 220 metros y 4.5 metros de ancho.

Figura 8

Diseño del sistema y la protección solar en la entrada de la UPeU con 6 paneles de 400W (Energy3D)

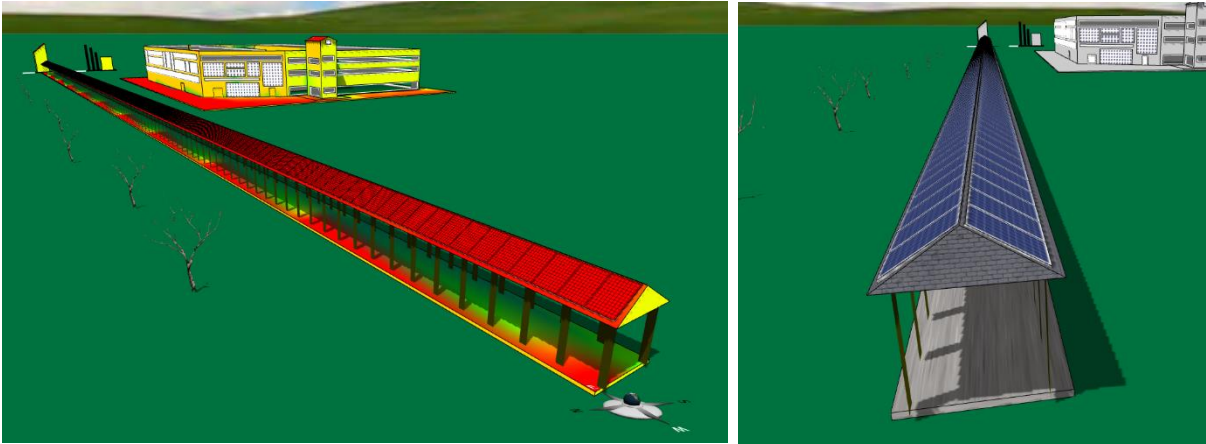


Fuente. Elaboración propia

El diseño es óptimo para la instalación de paneles a lo largo de toda la construcción por ambos lados, entrando así 171 paneles en cada lado, 342 en total, esta cantidad de paneles aumentaría el costo a 76.164 USD aumentando el potencial energético a 715.59 kwh/día, pudiendo abastecer al centro de simulación clínica y en parte al edificio central en el gasto energético.

Figura 9

Diseño del sistema y la simulación de energía solar con 342 paneles de 400W (Energy3D)



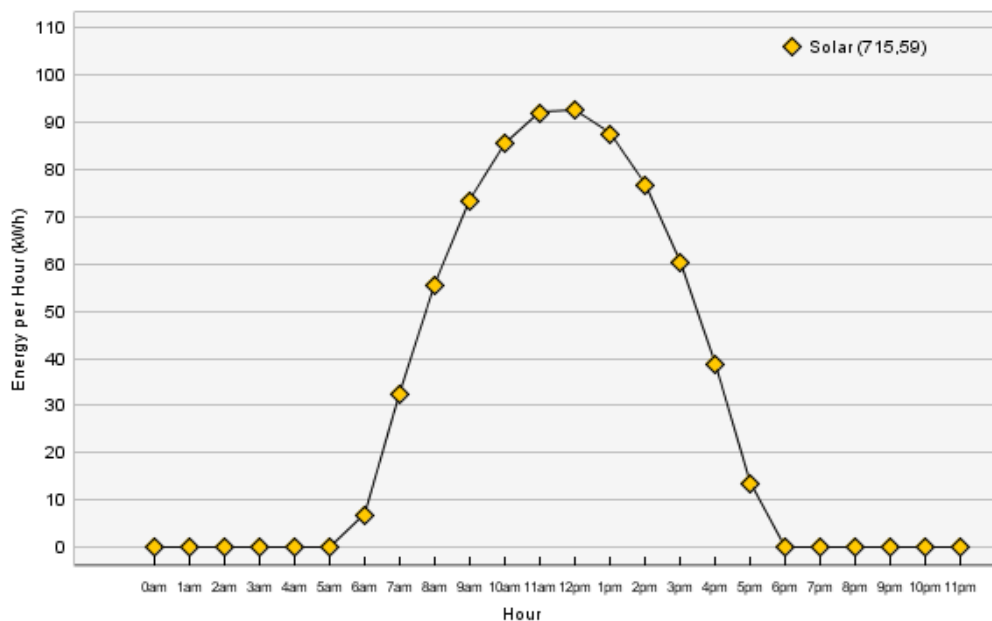
Fuente. Elaboración propia

Las imágenes presentadas muestran la eficiencia energética del diseño propuesto, donde el techo instalado en la entrada de la universidad no solo proporciona protección solar, sino que también optimiza la captación de energía fotovoltaica al aprovechar la orientación e inclinación adecuadas de los paneles solares. La disposición de los paneles en el techo maximiza la irradiación recibida durante las horas pico, lo que permite una generación eficiente y constante de energía. Este diseño demuestra ser óptimo para las condiciones del sitio, garantizando un suministro suficiente para el sistema de alumbrado, especialmente durante los meses de mayor radiación solar.

Figura 10

Gráfico de energía por hora con los 342 paneles (Energy3D)

Weather data from Juliaca, Perú



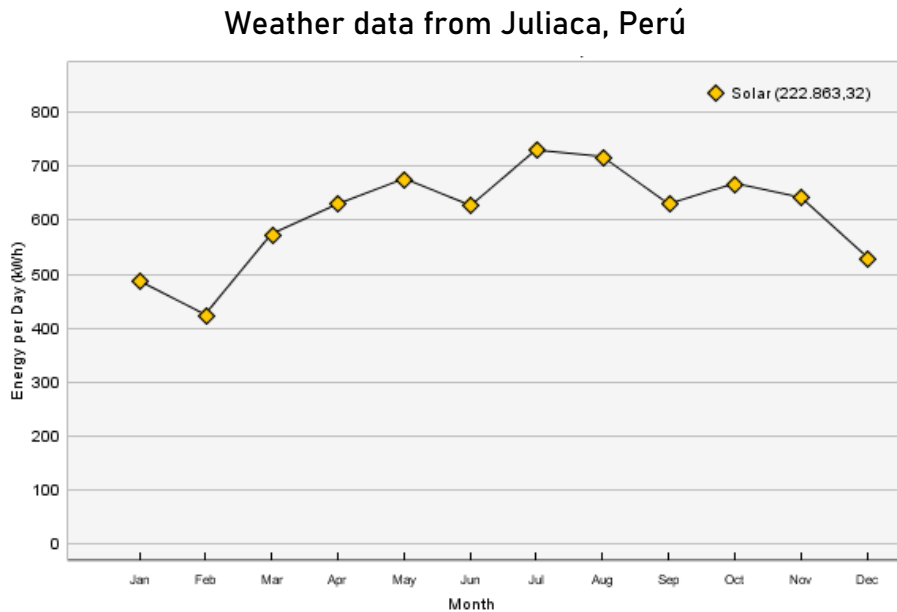
Fuente. Elaboración propia

En el grafico 8 podemos ver el pico de hora en la son más eficiente los paneles, siendo de 11:00 am a 1:00 pm con el valor de 92.68 kWh entre todos los paneles.

El gráfico 9 muestra la energía anual total generada, alcanzando un valor de 222,863.32 kWh, distribuida a lo largo de los 12 meses del año. Se observa una variabilidad en la producción de energía solar, con picos significativos durante los meses de mayor radiación solar, como junio, julio y agosto.

Figura 11

Gráfico de energía por hora anual con los 342 paneles (Energy3D)

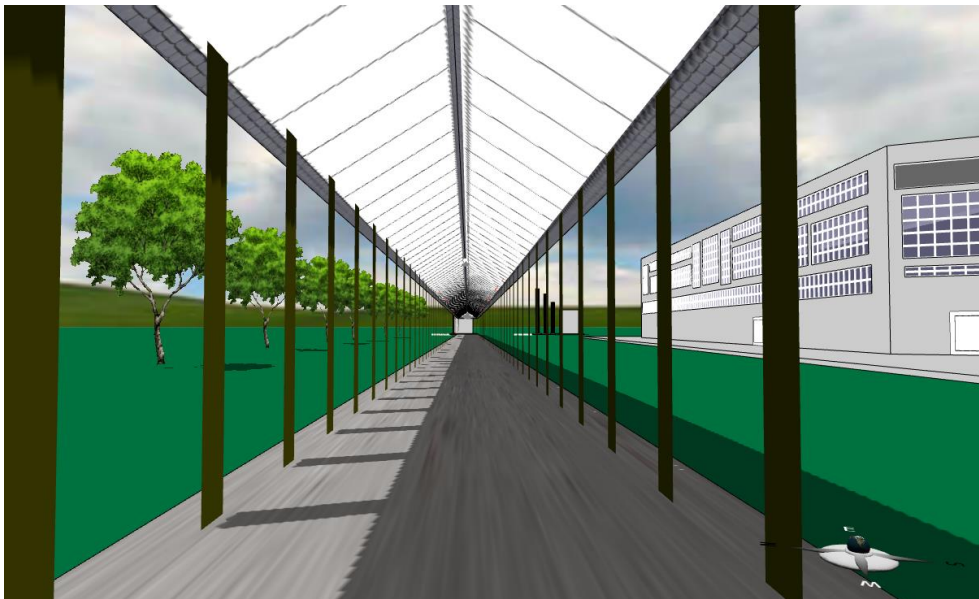


Fuente. Elaboración propia

3.3. Resultados 3

Figura 12

Diseño interior (Energy3D)



Fuente. Elaboración propia

Se muestra el diseño interior del proyecto, donde se aprecia la estructura del techo de protección solar que cubre toda la entrada de la universidad. Debajo del techo se pueden observar los puntos estratégicos para la instalación de los focos LED, los cuales proporcionarán iluminación adecuada durante la noche. Además, el diseño garantiza una protección efectiva contra el sol, creando un espacio sombreado para el tránsito de personas, lo que mejora el confort y seguridad de los usuarios, especialmente durante los días de alta radiación solar.

4. Conclusiones

La implementación del sistema fotovoltaico en la entrada de la Universidad Peruana Unión ha demostrado ser una alternativa eficiente para el alumbrado exterior, aprovechando el alto potencial de irradiación solar de la zona, con promedios de hasta 6.89 kWh/m² al día. El diseño del techo, que integra la instalación de los paneles solares, permite una captación óptima de energía y, al mismo tiempo, proporciona sombra y protección a los usuarios, mejorando así la infraestructura del campus. Los resultados obtenidos muestran que con 6 paneles de 400W se logra satisfacer la demanda de energía para los 18 focos LED de 50W, incluso contemplando las pérdidas del sistema, lo que garantiza un funcionamiento continuo y eficiente. También el Sistema on-grid es más factible al momento de reducir costos en baterías que para este Proyecto se harían uso de unas 3 de 4.5kw que supondrían un costo adicional aproximado de 24 000 soles, solo para los 6 paneles, para los 342 paneles sería muchísimo mayor superando el millón de soles.

Este proyecto no solo contribuye a reducir los costos de electricidad al utilizar energía renovable, sino que también se alinea con los objetivos de sostenibilidad de la universidad, promoviendo prácticas ecológicas y la disminución de la huella de carbono. La experiencia adquirida con esta implementación sienta las bases para futuros proyectos de energía solar en otras áreas del campus, impulsando una transición hacia un modelo energético más sostenible y responsable con el medio ambiente.

Recomendaciones

Es muy factible realizar el proyecto con los paneles que se puedan e ir aumentándolos con el paso del tiempo, así mismo se recomienda que se empiece la instalación de los paneles por el lado norte del techo, luego si no queda más espacio usar el lado sur, ya que hay una diferencia de radiación que aunque sea mínima se puede aprovechar más del lado norte.

Referencias

- SENAMHI. (2022). *Estudio sobre la radiación UV en zonas altoandinas: El caso de Juliaca y otras ciudades de la región sur*. Recuperado de <https://www.senamhi.gob.pe>
- SENAMHI. (2023). *Informe técnico sobre las condiciones meteorológicas y la irradiación solar en el altiplano peruano*. *Boletín de Climatología*, 45(6), 25-34. Recuperado de <https://www.senamhi.gob.pe>
- García, L., & Martínez, J. (2019). *Energía solar fotovoltaica: Potencial y aplicaciones en la región andina*. *Revista de Energías Renovables y Sostenibles*, 10(2), 123-139. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.06.001>
- Ramírez, M., & Fernández, A. (2021). *Aplicación de sistemas fotovoltaicos en comunidades rurales del Perú: Un estudio de caso en Puno*. *Journal of Renewable Energy*, 24(5), 211-225. <https://doi.org/10.1016/j.jre.2021.01.007>
- Zhou, Y., & Zhang, W. (2018). *Solar photovoltaic systems and their role in sustainable energy development*. *Renewable Energy*, 128, 119-131. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.03.074>

Jürgens, B., & Bordes, C. (2020). *Efectos de la radiación ultravioleta en la degradación de materiales fotovoltaicos: Implicaciones para el diseño de sistemas solares*. *Energy and Environmental Science*, 13(4), 1256-1264. <https://doi.org/10.1039/C9EE04050D>

Bai, X., & Wei, S. (2020). *Impact of UV radiation on photovoltaic materials: Degradation mechanisms and protection strategies*. *Journal of Materials Science*, 55(10), 4087-4102. <https://doi.org/10.1007/s10853-020-04102-1>

Torres, R., & Medina, E. (2021). *Análisis del rendimiento de paneles solares fotovoltaicos en condiciones extremas de radiación UV en el desierto de Atacama*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 607-619. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.086>

Nguyen, T. H., & Pham, H. T. (2017). *Effect of UV radiation on the efficiency of photovoltaic modules: A review*. *Solar Energy*, 149, 317-327. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.03.028>

Pérez, L. A., & Castro, F. (2022). *Revisión sobre los avances tecnológicos en la protección de paneles solares frente a la radiación UV*. *Revista Internacional de Energía Solar*, 18(4), 88-101. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2022.04.019>

Martínez, V., & Gómez, C. (2018). *Evaluación de la eficiencia energética en sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica: Un estudio en climas cálidos y soleados*. *Energy Reports*, 4, 97-105. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2018.03.013>

World Bank Group. (2019). *Solar photovoltaic energy in developing countries: Potential and applications*. World Bank. Recuperado de <https://www.worldbank.org>

Díaz, M., & Paredes, C. (2020). *El uso de energías renovables en universidades peruanas: el caso de la energía solar fotovoltaica*. *Revista de Energías Renovables*, 15(3), 45-59.

López, J., & González, L. (2021). *Integración de sistemas fotovoltaicos en instituciones educativas: Estudio de caso en universidades de Lima*. *Revista de Energía y Educación*, 22(4), 118-134.

World Health Organization (WHO). (2022). *Ultraviolet (UV) radiation*. Recuperado de <https://www.who.int/uv>.

Fitzpatrick, T. B., & Brannon, J. (2006). *Radiation-induced skin damage: A review of photobiology and the effects of UV exposure*. *Journal of Dermatology*, 32(3), 250-265. <https://doi.org/10.1111/j.1346-8138.2006.00021.x>