



industriales
etsii

**Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Industrial**

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Master en energías renovables

**Dimensionado de instalación fotovoltaica para autoconsumo en una fábrica
de módulos solares**

TRABAJO FIN DE MÁSTER

MÁSTER EN ENERGÍAS RENOVABLES

Autor: Cesar Machado Pereira

Director: Dr. Antonio Urbina Yeregui

Cartagena,.....



**Universidad
Politécnica
de Cartagena**

Contenido

GLOSARIO	4
INDICE DE TABLAS	5
INDICE DE GRAFICOS	6
INTRODUCCIÓN	7
CAPITULO 1: MARCO TEORICO	11
1.1 Tecnologías	11
1.1.1 El silicio.	11
1.1.2 Tecnología de lámina delgada	12
1.1.3 Las células orgánicas y polímeros.....	14
1.2 El rendimiento y fiabilidad	15
1.3 Aspectos ambientales.....	16
1.4 Aspectos de la instalación.....	17
1.5 Aplicación.....	19
1.6 Objetivos	20
CAPITULO 2: METODOLOGÍA	22
2.1 Metodología en SketchUp.....	22
2.2 Metodología en PVsyst.....	22
2.3 Metodología en Excel	23
2.3.1 PVGIS.....	24
2.3.2 Análisis de generación de electricidad.....	24
2.3.3 Análisis ambiental.....	24
2.3.4 Análisis económico.....	25
CAPITULO 3: DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA	26
3.1 Paneles para el sistema	27
3.2 Demanda de energía de la fábrica	27
3.3 Dimensionamiento del sistema con paneles pegados	28
3.3.1 Cara 1.....	30
3.3.2 Cara 2.....	30
3.3.3 Cara 3.....	30
3.3.4 Cara 4.....	30
3.3.5 Resumen.....	31
3.4 Dimensionamiento del sistema con paneles en ángulo óptimo	31
3.4.1 Cara 1	33
3.4.2 Cara 2	33
3.4.3 Cara 3.....	33
3.4.4 Cara 4.....	33
3.4.5 Resumen.....	33
CAPITULO 4: RESULTADOS	35
4.1 Resultados de generación eléctrica	35
4.1.1 Resultados de generación del sistema con paneles pegados	35
4.1.2 Resultados de generación del sistema con paneles en ángulo óptimo.....	38
4.2 Resultados ambientales en excel	40

4.2.1 Resultados ambientales del sistema con paneles pegados	40
4.2.2 Resultados ambientales del sistema con paneles en ángulo óptimo.....	41
4.3 Resultados económicos en excel	41
4.3.1 Resultados económicos del sistema con paneles pegados	42
4.3.2 Resultados económicos del sistema con paneles en ángulo óptimo.....	44
4.4 Comparación de los resultados de los sistemas propuestos	46
4.4.1 Comparación de resultados de cada software con paneles pegados.....	46
4.4.2 Comparación de resultados de cada software con paneles en ángulo óptimo	47
4.4.3 Comparación de los resultados de los sistemas propuestos	48
CAPITULO 5: CONCLUSIONES	54
5.1 Conclusiones generales	54
5.2 Limitaciones del trabajo.....	55
5.3 Sugerencias de trabajos futuros	55
REFERENCIAS	57

GLOSARIO

- ACV: Análisis de ciclo de vida.
- CdTe: Teluro de cadmio.
- CO₂: Dióxido de carbono.
- CO₂eq: Dióxido de carbono equivalente.
- CuInSe₂: Indio diseleniuro.
- GaAs: Arseniuro de galio.
- GEI: Perspectiva del calentamiento y de la vida mundial gases.
- IDH: Índice de Desarrollo Humano.
- kWh: Kilovatios hora.
- kWp: Kilovatios pico.
- NO_x: Óxidos de nitrógeno.
- NPV: Net present value.
- PIB: Análisis de ciclo de vida.
- PNUD: Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo.
- PR: Performance Ratio.
- PV: Fotovoltaicos.
- REE: Red Eléctrica Española.
- SO_x: Óxido de azufre.
- TiO₂: Dióxido de titanio.
- TR: Tasa de retorno.

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Las eficiencias reportadas para los diferentes tipos de célula solar [51].	15
Tabla 2. Parámetros del panel.	27
Tabla 3. Consumo de energía de la fábrica.	28
Tabla 4. Parámetros de las 4 caras del sistema con paneles en ángulo óptimo para PVSyst y Excel.	31
Tabla 5. Parámetros de las 4 caras del sistema con paneles pegados para SketchUp.	31
Tabla 6. Parámetros de las 4 caras del sistema con paneles en ángulo óptimo para PVSyst y Excel.	33
Tabla 7. Parámetros de las 4 caras del sistema con paneles en ángulo óptimo para SketchUp.	33
Tabla 8. Pérdidas del sistema con paneles pegados.	35
Tabla 9. Energía generada mensual con paneles pegados.	35
Tabla 10. Energía generada con paneles pegados.	36
Tabla 11. Pérdidas del sistema con paneles en ángulo óptimo.	38
Tabla 12. Energía generada mensual con paneles en ángulo óptimo.	38
Tabla 13. Energía generada con paneles en ángulo óptimo.	39
Tabla 14. Parámetros ambientales.	40
Tabla 15. Parámetros económicos.	41
Tabla 16. Costes del sistema con paneles pegados.	42
Tabla 17. Amortización y préstamos del sistema con paneles pegados.	42
Tabla 18. Gastos del sistema con paneles pegados.	43
Tabla 19. Costes del sistema con paneles en ángulo óptimo.	44
Tabla 20. Amortización y préstamos del sistema con paneles en ángulo óptimo.	44
Tabla 21. Gastos del sistema con paneles en ángulo óptimo.	45
Tabla 22. Comparación de número de paneles en los sistemas.	50
Tabla 23. Comparación de costes de paneles en los sistemas.	51
Tabla 24. Comparación de inversión en los sistemas.	52

INDICE DE GRAFICOS

Figura 1. GDP vs IDH. Datos del Banco Mundial y del PNUD.	7
Figura 2. PIB vs Huella ecológica. Datos del Banco Mundial y del PNUD.....	8
Figura 3. IDH vs Huella ecológica. Datos del Banco Mundial y del PNUD.	8
Figura 4. Tecnologías fotovoltaicas. Redibujado a partir de Raugei and Frankl [16].....	11
Figura 5. Dimensiones de la fábrica.	26
Figura 6. Dimensiones de la fábrica.	26
Figura 7. Energía demandada de la fábrica.	28
Figura 8. Dibujo de la fábrica con paneles pegados 01.....	29
Figura 9. Dibujo de la fábrica con paneles pegados 02.....	29
Figura 10. Dibujo de la fábrica con paneles pegados 03.....	29
Figura 11. Dibujo de la fábrica con paneles pegados 04.....	30
Figura 12. Dibujo de la fábrica con paneles en ángulo óptimo 01.....	32
Figura 13. Dibujo de la fábrica con paneles en ángulo óptimo 02.....	32
Figura 14. Dibujo de la fábrica con paneles en ángulo óptimo 03.....	32
Figura 15. Dibujo de la fábrica con paneles en ángulo óptimo 04.....	32
Figura 16. Performance Ratio del sistema con paneles pegados.....	36
Figura 17. Energía generada del sistema con paneles pegados.....	37
Figura 18. Performance Ratio del sistema con paneles en ángulo óptimo.....	39
Figura 19. Energía generada del sistema con paneles en ángulo óptimo.....	40
Figura 20. Emisiones evitadas del sistema con paneles pegados.	41
Figura 21. Emisiones evitadas del sistema con paneles en ángulo óptimo.	41
Figura 22. Amortización de préstamos del sistema con paneles pegados.	43
Figura 23. Resultados económico del sistema con paneles en ángulo óptimo.	43
Figura 24. Amortización de préstamos del sistema con paneles en ángulo óptimo.	45
Figura 25. Resultados económico del sistema con paneles en ángulo óptimo.	45
Figura 26. Comparación de energía del sistema con paneles pegados.	46
Figura 27. Energía cubierta del sistema con paneles pegados.	47
Figura 28. Comparación de energía del sistema con paneles en ángulo óptimo.	47
Figura 29. Energía cubierta del sistema con paneles en ángulo óptimo.	48
Figura 30. Comparación de energía generada de los sistemas.....	49
Figura 31. Comparación de emisiones evitadas de kg CO ₂ eq de los sistemas.....	49
Figura 32. Comparación de emisiones evitadas de g SO _x de los sistemas.....	50
Figura 33. Comparación de emisiones evitadas de g NO _x de los sistemas.....	50
Figura 34. Comparación de número de paneles de los sistemas.....	51
Figura 35. Comparación de costes de los sistemas.....	51
Figura 36. Comparación de costes de inversión de los sistemas.....	52
Figura 37. Comparación de costes de mantenimiento de los sistemas.....	53
Figura 38. Comparación de los resultados económicos de los sistemas.....	53

INTRODUCCIÓN

Con el crecimiento de la población y el desarrollo económico, es necesario cada vez más energía para crear un mejor entorno de vida. Muchas de las fuentes de energía utilizadas hoy en día tienen un volumen limitado y puede funcionar en un horizonte de unas pocas décadas [1].

Ha de tener en cuenta que la idea de que mayor crecimiento económico resulta en mayor desarrollo humano no está de toda correcta. Para demostrar esta afirmación, es importante comparar indicadores de crecimiento económico, desarrollo humano e impacto medioambiental extraídos de las Bases de datos del Banco Mundial y del PNUD.

- PNUD: <http://hdrstats.undp.org/es/cuadros/>.
- Banco Mundial: <http://databank.worldbank.org/ddp/home.do>.

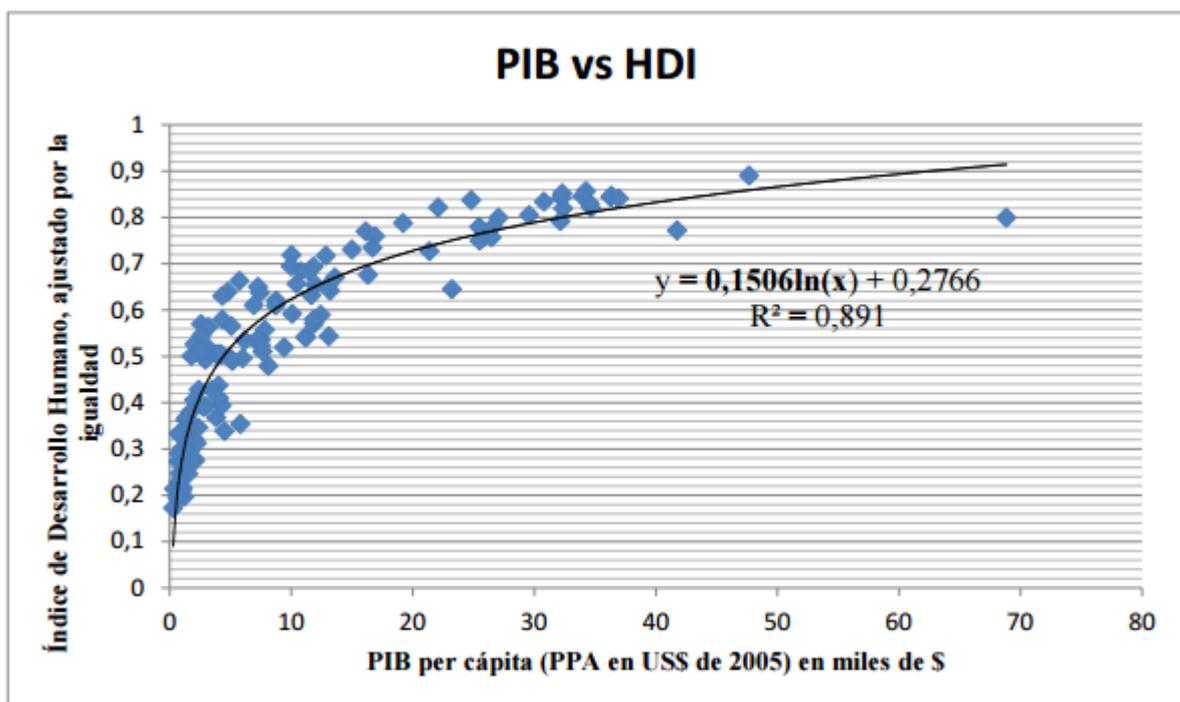


Figura 1. GDP vs IDH. Datos del Banco Mundial y del PNUD.

La curva IDH vs Consumo energía per cápita tiene una característica que satura a partir de cierto valor, lo que indica que se puede alcanzar un nivel óptimo de bienestar con un IDH mayor que 0,8. Además, arriba de este nivel se produce mayores impactos ambientales, que se puede ser medido a través de la huella ecológica.

La relación entre PIB y Huella ecológica se puede aproximar de forma lineal. Según la recta de correlación obtenida, por cada mil dólares en aumento de la renta per cápita de un país, resulta un aumento de 0,135 ha en huella ecológica.

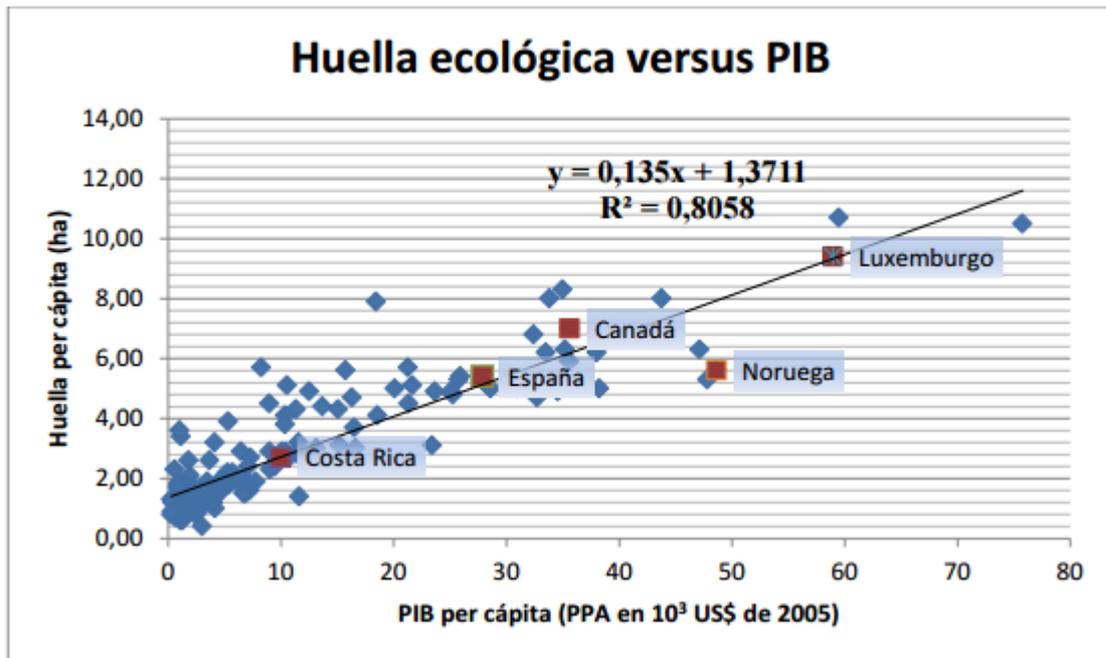


Figura 2. PIB vs Huella ecológica. Datos del Banco Mundial y del PNUD.

La relación entre IDH y Huella ecológica es exponencial, los primeros tramos de mejora en el IDH se consiguen con poco impacto ambiental. A partir de cierto punto, grandes incrementos en la huella ecológica no producen avances significativos en el desarrollo humano. Por ejemplo: Noruega es un país con alta esperanza de vida, buenos niveles de educación y una igualdad también importante, lo cual eleva su IDH sin perjudicar mucho la huella ecológica.

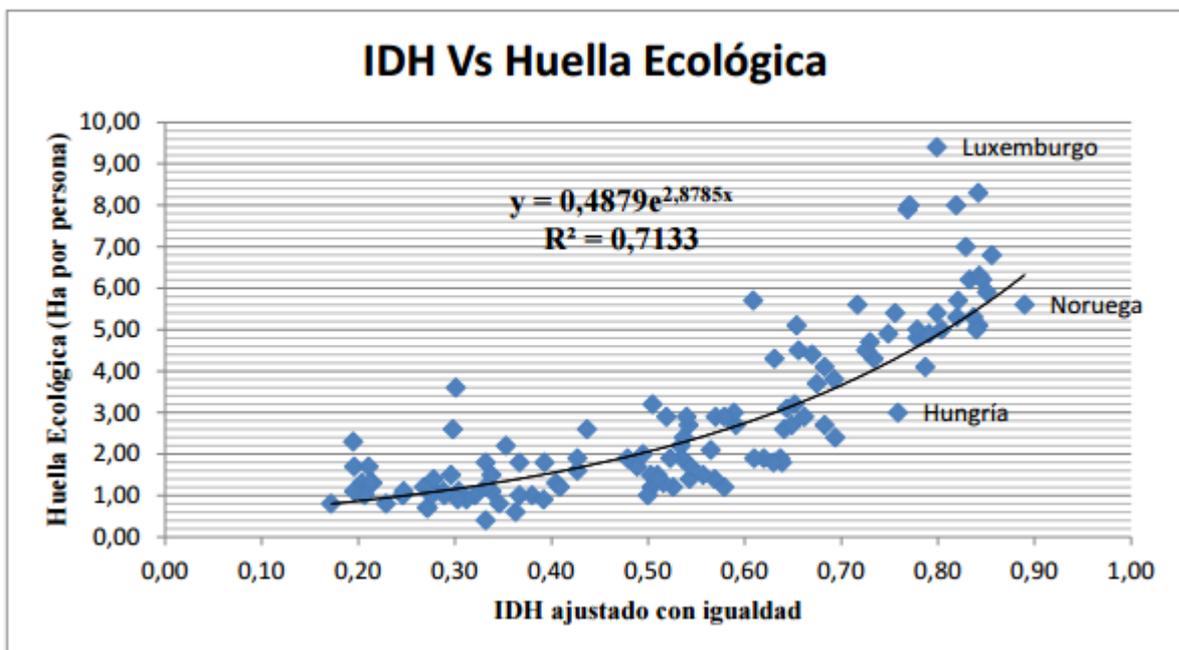


Figura 3. IDH vs Huella ecológica. Datos del Banco Mundial y del PNUD.

Así, como resumen afirmamos lo siguiente: el crecimiento económico no garantiza necesariamente el desarrollo humano y además es insostenible en el largo plazo.

Las economías avanzadas ya están disminuyendo la “intensidad energética del crecimiento”, que es la ratio de los crecimientos del PIB y del consumo energía. Además, la quema de combustibles fósiles tradicionales puede causar una serie de graves problemas ambientales, como el cambio climático y el calentamiento global. Por lo tanto, hay una necesidad para el uso de tecnologías de energía renovable [2].

La radiación solar llega a nuestro planeta en abundancia y puede ser considerado como una fuente inagotable. Así, la conversión de la energía fotovoltaica tiene el potencial de contribuir significativamente a un suministro de energía sostenible y que pueden ayudar a mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero [3].

Parida et al. comentan que la conversión fotovoltaica es la conversión directa de la luz solar en electricidad sin ningún tipo de motor térmico que intervenga en el proceso de conversión de energía. Los dispositivos fotovoltaicos son resistentes y de diseño sencillo que requiere muy poco mantenimiento y su mayor ventaja es su construcción como sistemas independientes para dar salidas de micro vatios hasta megavatios de potencia [4].

El efecto fotovoltaico es la conversión directa de la luz incidente en electricidad mediante un dispositivo semiconductor [5]. Hay días que la radiación del sol sobre la tierra llega a 10.000 veces más energía que el uso diario de la humanidad [6].

El efecto fotovoltaico es la conversión directa de la luz incidente en electricidad mediante un dispositivo semiconductor de junta p-n. Aunque el fenómeno se conoce desde hace casi un siglo, el logro de la señal generalmente aceptado haber anunciado la era moderna de la generación de energía fotovoltaica fue la producción en 1954 de una célula solar de silicio cristalino 6% [7].

El descubrimiento del efecto fotovoltaico (PV) es comúnmente atribuida a Becquerel, que descubrió una fotocorriente cuando electrodos de platino, cubiertas con bromuro de plata o cloruro de plata, se iluminan en solución acuosa (estrictamente hablando, esto es un efecto foto electroquímico) [8].

En la última mitad del siglo XX, las células solares fotovoltaicas de silicio comenzaron a ser utilizadas principalmente para generar pequeñas cantidades de electricidad en zonas remotas donde no había una fuente convencional de energía eléctrica. En el siglo 21, la energía fotovoltaica crecerá hasta la madurez [9]. Casi todo el mundo se dará cuenta de

la fotovoltaica ya que las células solares fotovoltaicas estarán en el techo de su casa o la de sus vecinos - ya sea en una de las grandes ciudades en crecimiento en todo el mundo o en una remota aldea rural [10].

La luz del sol en el pulso de una célula fotovoltaica, imparte suficiente energía para algunos electrones (partículas atómicas de carga negativa) para elevar su nivel de energía dentro del material. Una diferencia de potencial interno en la célula, generada por la asimetría en el dopaje de la unión p/n, actúa sobre estos electrones que se mueven por efecto del campo eléctrico interno (proceso de arrastre), lo que junto al movimiento de difusión de los portadores de carga, se utiliza para producir una corriente a través de un circuito externo [11].

Los fotones con energías mayores que el intervalo de banda de energía del semiconductor se absorben, la promoción de electrones desde la banda de valencia a la banda de conducción, dejando un número correspondiente de agujeros en la banda de valencia. Si los pares electrón y hueco se generan dentro de la región de agotamiento de la unión p-n (o dentro de un portador minoritario longitud de difusión desde el borde de cada región de agotamiento) el campo eléctrico presente en la región de agotamiento los separa y los conduce a través de una carga externa. La potencia máxima se entrega a la carga cuando su impedancia coincide con la de dispositivo de iluminación. La eficiencia de conversión de energía solar η viene dada por [12,13]:

$$\eta = \frac{V_{OC} * I_{CS} * FF}{P}$$

Donde V_{OC} es la tensión de circuito abierto (la tensión generada cuando la resistencia de carga es infinita), I_{SC} es la corriente de cortocircuito (generada por la corriente cuando la resistencia de carga es cero) y FF es el factor de llenado (definida como la relación de la potencia máxima generada por la célula dividida por $V_{OC}I_{SC}$) y P es la potencia de radiación solar ("irradiancia") que cae sobre la célula [5].

CAPITULO 1: MARCO TEORICO

La tecnología fotovoltaica es vista como una forma ideal para generar energía a través de una fuente inagotable y no contaminante. Es un método de producción de energía sostenible y respetuoso del medio ambiente, con lo que tanto los beneficios ambientales y de energía. Actualmente, existen en el mercado diferentes tecnologías fotovoltaicas basadas en diferentes elementos [14].

1.1 Tecnologías

Para el efecto fotovoltaico todas las células solares requieren un material absorbente de luz que está presente dentro de la estructura de la célula para absorber los fotones y generar electrones libres a través del efecto fotovoltaico [15].

La imagen abajo ilustra algunos de los diferentes tipos de materiales utilizados en células fotovoltaicas.

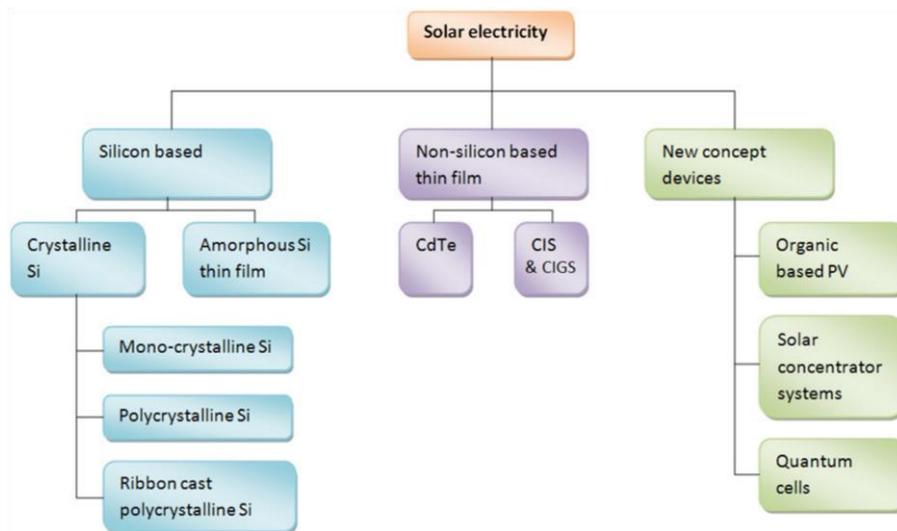


Figura 4. Tecnologías fotovoltaicas. Redibujado a partir de Raugei and Frankl [16].

1.1.1 El silicio.

El silicio es el material más utilizado para los módulos fotovoltaicos. Algunos tipos de materiales de silicio para células solares son: monocristalino, policristalino y silicio amorfo [17].

La única desventaja importante de silicio es que es un semiconductor de banda prohibida indirecta y, por lo tanto, requiere una capa activa relativamente gruesa de hasta 300 micrómetros (μm) para absorber el espectro solar completo. Semiconductores de banda prohibida directa como el silicio amorfo, telurio de cadmio o diseleniuro de cobre e indio requieren sólo 100 μm o menos de material semiconductor para ser eficaz [18].

1.1.1.1 El silicio amorfo

Amorfo (no cristalizado) de silicio de película delgada es la tecnología más popular con la eficiencia de las células de 5-7% y diseños de doble y triple unión elevándolo al 8-10%. Pero es propenso a la degradación.

Yang et al. discutieron los avances realizados en la tecnología amorfa-Si que condujo a una eficiencia estable de 13% y sentó las bases para la estructura de triple unión de división del espectro siendo fabricado por el proceso de deposición continua de rollo a rollo [19].

1.1.1.2 El silicio cristalino

El silicio cristalino ofrece una eficiencia mejorada cuando se compara de silicio amorfo sin dejar de utilizar sólo una pequeña cantidad de material. Las células solares de silicio disponible comercialmente multi-cristalino tienen una eficiencia en torno a 14-19% [20].

Green et al. desarrollaron una tecnología de silicio cristalino de silicio (CSG) en células solares con el objetivo de combinar las ventajas de la tecnología de silicio con la de láminas delgadas, con el menor coste de fabricación y con una eficiencia para los módulos piloto en torno de 8-9%, en el camino hacia el 12-13% [21].

1.1.2 Tecnología de lámina delgada

Las células solares de película delgada son básicamente capas delgadas de materiales semiconductores aplicados a un material de soporte sólido. Las películas delgadas reducen en gran medida la cantidad de material semiconductor necesaria para cada célula en comparación con las obleas de silicio y por lo tanto reduce el coste de la producción de células fotovoltaicas. Arseniuro de galio (GaAs), el cobre, el telurio de cadmio (CdTe) el diseleniuro de indio y cobre (CuInSe₂) y el dióxido de titanio (TiO₂) son materiales que se han utilizado sobre todo para las células fotovoltaicas de película delgada [11].

Sobre el CdTe, en 1956 Loferski mostró que la banda prohibida de energía óptima para la conversión de energía solar fotovoltaica es de 1,5 eV [22]. Esto lo llevó a sugerir que el CdTe, tiene una banda prohibida directa de energía cerca de este valor, y un alto coeficiente de absorción óptica de los fotones con energías mayores que la banda prohibida de energía (un $CM1 > 10^5$) es un material prometedor PV [23,24]. Además, se dio cuenta de que las capas delgadas, unas pocas micras de espesor, eran todo lo que sería necesario para absorber la mayor parte de la luz incidente, minimizando los costes de material. También porque no se requeriría una longitud de difusión de portadores muy grande, debido a que la mayor parte de la luz serían absorbidos en la región de inversión

de la unión p/n semiconductor (o "depletion layer") de las capas policristalinas depositadas usando métodos de procesamiento de bajo coste, que podrían ser adecuados para la producción de células eficientes. Las primeras células fueron desarrolladas son dispositivos de CdTe / Cu₂Te [25]. Estos dispositivos, sin embargo, resultaron ser inestables. A medida que la inestabilidad se identificó con el uso de una estructura Cu₂Te nuevo dispositivo fue desarrollado que evita su uso, la célula solar CdS / CdTe heterounión [26]. CdS tiene una banda prohibida de energía de 2,42 eV, que es suficientemente amplio para absorber la mayor parte del espectro solar en la unión p/n del dispositivo. También es uno de los pocos materiales de banda prohibida de energía que puede ser fuertemente dopado (tipo n), o que permite reducir al mínimo los problemas de resistencia serie.

Sin embargo, a pesar de su potencial para un menor costo, estas tecnologías de película delgada han luchado con los problemas de baja eficiencia. La penetración en el mercado, hasta la fecha, para las tecnologías de película delgada ha sido baja y es muy probable que durante los próximos diez años la tecnología de silicio cristalino seguirá siendo la tecnología fotovoltaica dominante gracias a su constante abaratamiento [18].

Barnett et al. investigaron que las células solares que utilizan de película delgada de silicio policristalino pueden alcanzar eficiencias de conversión de energía fotovoltaica superior a 19% como consecuencia de la retención de la luz y la pasivación de la superficie posterior de silicio con un espesor óptimo [27].

Un esfuerzo considerable se ha hecho en los últimos años para entender el papel del grabado del tratamiento térmico y CdCl₂ superficie posterior [28]. El tratamiento CdCl₂ se conoce recristalice y densificar los granos, promover la interdifusión de los CdS y de CdTe en la interfaz para relajarse de tensiones en la interfaz, para pasivar los límites de grano en un grado sustancial y para eliminar intersticiales vacantes TE y Cd. En un XPS estudiar el perfil de bandas de energía de CdS / CdTe dispositivos ha sido determinada [29]. Cl aparece para dopar las CdS con más fuerza n-tipo y para dopar el tipo n CdTe en la interfaz CdS / CdTe mientras que el ataque químico de la superficie posterior, el recocido de aire y la elección del material de contacto posterior tiende a dopar la parte posterior de contactos de CdTe / metal interfaz de tipo P El papel de Cl como donante también es apoyada por mediciones photocapacitance [30]. Esto significa que los dispositivos de alta eficiencia son probablemente un tipo de dispositivo homounión enterrado.

Buecheler et al. [8] han nominado CdTe y CIGS como las tecnologías más prometedoras para la producción de electricidad solar descentralizada rentable. Las células solares de CdTe se fabrican en un sustrato de vidrio con un óxido conductor transparente (TCO) hace generalmente de óxido de estaño flourinado (FTO) como el contacto frontal. Este se recubre inicialmente con una sulfuro de cadmio (CdS) (con dopaje tipo n) para la capa de ventana, además de la capa de CdTe absorbedor, (con dopaje tipo p). La tecnología de CdTe tiene los costos de producción más bajos entre los módulos de capa fina actuales, y es uno de los más prometedores para la aplicación escala [31].

CIS y células CIGS son actualmente las más eficaces de las células de película delgada con eficiencia de las células típicas de 11 a 18,7%, y el color es gris oscuro a negro [32, 33, 34, 35, 36, 37]. Los módulos CIS / CIGS más eficientes hasta la fecha tienen una eficiencia de aproximadamente el 13% [38]. Los valores para las eficiencias más altas reportados de células solares de CdTe y CIGS [32].

Powalla et al. establecieron que todas las tecnologías fotovoltaicas de película delgada existentes tienen un potencial de reducción alto costo en altos volúmenes de producción que proyecta desafío futurista para combinar altos volúmenes de producción con alto rendimiento, rendimiento suficiente y una calidad superior para lograr eficiencias superiores al 11% y un máximo del 12,7% [39]. Aberle revisó las tecnologías más prometedoras fotovoltaicas de película delgada c-Si que han surgido durante los últimos 10 años y encontró que tres tecnologías de película delgada c-Si PV diferentes (ASTILLA, híbrido, CSG) se pueden transferir a la producción industrial [40].

La tecnología de películas delgadas se ha utilizado cada vez más, especialmente en la integración con el medio construido en aplicaciones de integración arquitectónica, mediante la presentación de una amplia gama de modelos y también debido al bajo costo de producción. Hoy en día, son paneles flexibles disponibles en el mercado, más ligero y resistente, semitransparente, o incluso con superficies curvas, que pueden sustituir elementos de revestimiento del edificio [41].

1.1.3 Las células orgánicas y polímeros

Los materiales orgánicos que son de mayor interés son los semiconductores moleculares y poliméricos incluyendo derivados de fullereno (C60) en la capa activa [42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49]. Los antiguos materiales son bien conocidos por su uso en LEDs orgánicos y para la fabricación de transistores de película delgada para su uso en tarjetas inteligentes [42].

Las ventajas potenciales de la utilización de células orgánicas son la simplicidad de los procesos de deposición de materiales que pueden ser utilizados, por ejemplo, muchos de los materiales son procesables mediante disolución de forma tal que el recubrimiento por rotación de los sustratos es posible; también es ventajoso el hecho de que todos los dispositivos de polímero y deben ser flexibles y por lo tanto fáciles de usar para una amplia gama de aplicaciones. La estructura de célula utilizada para la mayoría de estos dispositivos comienza con un sustrato de vidrio recubierto con óxido de indio y estaño que también actúa como el electrodo superior transparente para el dispositivo. Una capa (o capas) de luz que absorben materia orgánica (o materiales) es depositada sobre óxido de indio y estaño. El dispositivo se completa mediante el depósito de un contacto posterior (generalmente un metal) sobre el material orgánico. Sin embargo, la recolección de portadores es pobre, lo que resulta en una eficiencia del dispositivo baja. Las estrategias más comúnmente adoptadas para superar este problema son depositar dos capas orgánicas tales que están en contacto íntimo, por ejemplo, PPV y C60, derivados de ftalocianina / perileno o CN-PPV / MEH-PPV. La idea es que uno de los materiales es un aceptor de electrones y la otra un aceptor de agujero; estos materiales están en tal contacto íntimo que cuando se generan los portadores se extraen sin la necesidad de difundir demasiado (unos 10 nm). Los valores reportados para eficiencia de estas células son actualmente <10% y hay problemas importantes de la estabilidad de los dispositivos. Jørgensen et al. han presentado un amplio informe sobre la estabilidad y la degradación en los dispositivos de células solares orgánicas y discutido los métodos para estudiar y elucidar los procesos de degradación y mejorar la estabilidad a través de la elección de los materiales activos, mejor encapsulación, aplicación de materiales “gettering” y el uso de filtros UV [50].

1.2 El rendimiento y fiabilidad

Para el uso estos dispositivos en aplicaciones que demandan alta potencia, del orden de los kWp, la tecnología fotovoltaica tiene que cumplir con dos requisitos: generación de energía fotovoltaica debe tener un costo relación aceptable / rendimiento y el rendimiento neto de energía para los sistemas fotovoltaicos debería ser (mucho) mayor que cero [2]. La tabla abajo presenta un resumen de las eficiencias de las células utilizadas en el mercado:

Tabla 1. Las eficiencias reportadas para los diferentes tipos de célula solar [51].

Cell type	Highest reported efficiency for small area cells produced in the laboratory	Highest reported module efficiency
c-Si (crystalline Si)	24.7% (UNSW, PERL)	22.7% (UNSW/Goehermann)
Multi-c-Si	20.3% (FhG-ISE)	15.3% (Sandia/HEM)
aSi:H, amorphous Si	10.1% (Kaneka), N.B. single junction	Triple junction. Stabilized efficiency ¼ 10.4%
mc-Si/aSi:H (micro-morph cell)	11.7% (Kaneka), N.B. minimodule	11.7% (Kaneka), N.B. minimodule
HIT cell	21% (Sanyo)	18.4% (Sanyo)
GaAs cell	25.1% (Kopin)	Not relevant
InP cell	21.9% (Spire)	Not relevant
GaInP/GaAs/Ge multijunction	32% (Spectolab), N.B. 37.3% under concentration	Not relevant
CdTe	16.5% (NREL)	10.7% (BP Solarex)
CIGS	19.5% (NREL)	13.4% (Showa Shell), N.B. for copper gallium indium sulphur selenide
Dye sensitised cell	8.2% (ECN)	4.7% sub-module (INAP)

1.3 Aspectos ambientales

Las emisiones de gases como: dióxido de carbono, dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno son llevados en consideración en instalaciones fotovoltaicas. Estas emisiones son calculadas para la producción, uso y eliminación. También se discuten las sensibilidades a los materiales y entradas de datos, así como para las deficiencias de los componentes electrónicos, tiempos de vida y dimensionamiento [52].

Algunos autores proponen nuevos métodos para estimar la cantidad de reducción de emisiones de CO₂. Tezuka concluyó que aumenta la cantidad de reducción de emisiones de CO₂ por la instalación fotovoltaica con política de subsidios, incluso en la misma vía de tasas y el tiempo de recuperación de CO₂ de la instalación fotovoltaica reduce a la mitad si el PIB se supone que afecte después de la introducción de un impuesto de carbono [53].

Este tema es discutido en varios artículos: Fthenakis y Kima estudiaron la totalidad del ciclo de vida de la producción de energía solar y de la energía-electricidad-generación nuclear de tecnologías; dióxido de carbono y otros gases emitidos durante la extracción, procesamiento y eliminación de materiales asociados y determinado el gas de efecto invernadero (GEI), a saber, CO₂, CH₄, N₂O, y los clorofluorocarbonos debido a los materiales y la energía fluye a través de todas las etapas de la vida de commercialtechnologiesforsolar-electricandnuclear-powergeneration [54]. Kannan et al. Evaluación del ciclo de vida realizado (LCA) y el análisis de coste del ciclo de vida de una instalación fotovoltaica distribuida 2,7 kWp conectada a la red solar monocristalino que opera en Singapur y proporcionado diversos tiempo de retorno energético (EPBT) análisis del sistema de energía solar fotovoltaica con referencia a un combustible de

gasoil turbina de vapor y el gas de efecto invernadero (GEI) y los costos se comparan también revela que las emisiones de GEI de la generación de electricidad a partir del sistema de energía solar fotovoltaica es inferior a una cuarta parte de una planta de turbina de vapor de gasoil y la mitad que a partir de un gas central de ciclo combinado [55].

Tsoutsos et al. presentan una visión general de una Evaluación de Impacto Ambiental para los sistemas solares centrales, para estimar la magnitud de los posibles impactos ambientales y medidas de mitigación apropiadas propuestas, puede desempeñar un papel importante para el diseño del proyecto y adecuada a una aceptación pública ulterior del proyecto [56]. Pacca et al. evaluaron los parámetros de modelización que afectan el rendimiento medioambiental de dos fotovoltaicos (PV) tecnologías de generación de electricidad del estado de la técnica: los PVL136 laminados de película delgada y los módulos multi-cristalinos KC-120 [57]. Hondo presentó los resultados de un análisis de ciclo de vida (ACV) de las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de los sistemas de generación de energía con el fin de entender las características de nueve tipos diferentes de sistemas de generación de energía que incluían solar fotovoltaica (PV) desde la perspectiva del calentamiento y de la vida mundial gases (GEI) de emisión de efecto invernadero del ciclo por kWh de electricidad generada se estimó para los sistemas que utilizan un método combinado de análisis de procesos y análisis de insumo-producto [58].

1.4 Aspectos de la instalación

Un sistema de generación de energía fotovoltaica contiene: las células, las conexiones mecánicas y eléctricas y elementos de montaje y medios de regulación y / o modificación de la potencia eléctrica [3].

Estos sistemas se clasifican en kilovatios pico (kWp), que es la potencia pico eléctrica que se espera que un sistema genere en condiciones estándar, establecidas en una irradiancia solar de 1 kW/m² y una temperatura ambiente de 25°C [20].

El coste de inversión para instalaciones fotovoltaicas se conoce comúnmente en coste por vatio pico (€/Wp, por ejemplo), en el que la potencia de pico es la potencia máxima en las condiciones standard arriba mencionadas. El costo incluye tanto los módulos reales como los dispositivos de regulación y entre los colectores y la carga de la red o de la interfaz. Estos son típicamente los siguientes dispositivos: la batería, la carga del

regulador y, finalmente, el inversor en el caso de sistemas aislados y sólo el inversor conectado al sistema de red.

Inicialmente, los sistemas de conexión a la red se han desarrollado sólo para las grandes plantas fotovoltaicas, ya que se pensaba que éstos podrían, en el futuro, ser utilizados para resolver ciertos problemas en la generación y distribución de energía convencional. La medida en que el mercado de electrónica avanzada, comenzó a ser diseñada también para sistemas de menor tamaño, con el fin de cumplir con las pequeñas plantas domésticas, que en la actualidad representan más del 50% del mercado fotovoltaico [59]. Recientemente, los sistemas solares fotovoltaicos se han utilizado de una manera integrada a la red pública. Estas plantas pueden tener dos configuraciones diferentes: instalado de manera integrada con el edificio (techo o fachada) y por lo tanto cerca del punto de consumo, o centralmente como en una planta de energía convencional, en este caso, fuera del punto de consumo [60].

Los paneles fotovoltaicos conectados a la red se pueden integrar en cualquier edificio, siendo el único requisito tener una orientación solar favorable (superficies que miran al norte o sur, según el hemisferio, este u oeste), y la orientación ideales son las superficies que miran hacia el norte (sur) geográfico, en el hemisferio sur (norte) ya que permiten una mayor absorción de la energía generada por el sol [60].

El sistema fotovoltaico tiene un gran potencial para el diseño de edificios, por lo que es, posiblemente, un elemento esencial no sólo para la construcción de sistemas, sino también para la protección del medio ambiente. Cada vez más, los países desarrollados han estado utilizando este sistema, no sólo para uso residencial, sino también en edificios comerciales e industriales, ya que suelen tener grandes áreas planas, que son muy adecuados para la integración de generadores fotovoltaicos [60].

Bhuiyan et al. estudiaron la economía del sistema de energía fotovoltaica autónoma para comprobar su viabilidad en zonas remotas y rurales de Bangladesh y generadores renovables en comparación con los generadores renovables mediante la determinación de su coste de ciclo de vida utilizando el método de análisis del valor actual neto y demostró que el coste del ciclo de vida de PV la energía es menor que el costo de la energía de los generadores diesel o gasolina en Bangladesh y por lo tanto es económicamente factible en zonas remotas y rurales de Bangladesh [61]. Bansal et al. desarrollado una integración de la energía solar fotovoltaica de la capacidad 25 kWp en un edificio existente de la cafetería en el campus del Instituto Indio de Tecnología, Delhi

mediante la creación de un techo solar que cubre el conjunto fotovoltaico inclinado en un ángulo de 15° respecto a la horizontal y caras debido al sur [63]. Ubertini y Desideri estudiaron una planta fotovoltaica 15 kWp y colectores solares de aire junto con una estructura de disyuntor de sol que se instaló en el techo de una escuela secundaria científica [64].

1.5 Aplicación

Los dispositivos fotovoltaicos son resistentes y de diseño sencillo que requiere muy poco mantenimiento y su mayor ventaja es su construcción como sistemas independientes para dar salidas desde micro vatios hasta megavatios. De ahí que se utilizan para la alimentación eléctrica, bombeo de agua, edificios remotos, sistemas de energía solar, las comunicaciones, los satélites y vehículos espaciales, plantas de ósmosis inversa, y aún para las plantas de energía megavatios escala. Con una amplia gama de aplicaciones de este tipo, la demanda de energía fotovoltaica está aumentando cada año [11].

La eficiencia cada vez mayor, el costo y la reducción de la contaminación mínima son los huesos de los sistemas fotovoltaicos que han conducido a una amplia gama de su aplicación. En este trabajo la aplicación va a ser en una fábrica de módulos fotovoltaicos (encapsulado).

La tecnología se ha implementado para una amplia gama de aplicaciones, incluyendo el suministro de energía para productos de consumo por ejemplo calculadoras y las luces del jardín electrónica, y para suministrar energía en los países en desarrollo por ejemplo, para la iluminación de bombeo de agua y la calle [3]. La mayoría de los productos fotovoltaicos actualmente están desplegados en el mercado de generación de energía a gran escala. Las células están conectadas entre sí en los módulos y los módulos se conectan para formar cualquiera de las centrales eléctricas centralizadas o utilizado en estructuras construidas, como fábricas [63].

En las aplicaciones de potencia media, los módulos fotovoltaicos pueden funcionar principalmente en tres formas [60]:

- Conectados a la red de energía eléctrica, a la que suministran toda la energía de la radiación solar que les permite producir; para este fin, es necesario que un inversor sirva como un elemento de la interfaz entre el terminal y la red con el fin de ajustar la forma de onda del panel que es corriente continua DC a las formas de onda de corriente alterna AC requeridos por la red.

- En el sistema aislado, la alimentación de las cargas se produce directamente; en este modo de operación, el criterio de diseño es la radiación disponible en el mes más bajo de luz solar, ya que es necesario para garantizar el suministro durante todo el año; en asociación con los colectores fotovoltaicos todavía es necesario tener:
 - Las baterías, con el fin de garantizar el suministro durante los períodos en que el recurso es insuficiente o no está disponible; las baterías se cargan cuando la función está disponible le permite obtener más energía que la energía de la carga.
 - Regulador de carga que lleva a cabo la gestión de la carga con el fin de obtener perfiles compatibles con la radiación disponible y la capacidad de las baterías.
 - Inversor, si las cargas alimentadas requieren un suministro en AC.
- En el sistema híbrido, la alimentación de cargas aisladas directamente, se realiza en una combinación de sistemas fotovoltaicos junto con otros convertidores de energía renovables, por ejemplo, el viento; En este modo, se mencionan los dispositivos necesarios para el funcionamiento en red aislada, también puede ser un medio de producción convencional, por lo general generador diésel, para apoyar y reserva.

La aplicación para este trabajo de fin de máster va a ser el diseño de una instalación fotovoltaica para suministrar parte de la energía requerida en una fábrica de módulos solares. El capítulo siguiente presenta los objetivos de este trabajo.

1.6 Objetivos

Primeramente, el trabajo se propondrá a calcular la demanda de energía de una fábrica de módulos solares que está ubicada en Lorca, región de Murcia.

La fábrica contiene un área total de 5.363 metros cuadrados (m^2), con un área construida de 3.954 m^2 .

Conocido el dato de la energía demandada se propondrá la instalación de dos sistemas fotovoltaicos con el aprovechamiento de la superficie de paredes y cubierta de tejado y se estimará el porcentaje de la demanda cubierta por la generación de los sistemas fotovoltaicos. Los sistemas se diferencian en relación a la instalación de los paneles. Con eso, se calculará el tamaño de los sistemas fotovoltaicos a instalar, cuánta energía

generaría cada uno y qué porcentaje del consumo total de energía se podría cubrir en cada mes del año.

Además, se calculará el balance de emisiones de CO₂eq, g SO_x y g NO_x en esta ubicación, o sea, las emisiones evitadas con el uso de los paneles solares al reducir el consumo de electricidad proveniente de la red eléctrica (cálculos basados en el mix eléctrico español).

Por fin, se calcularán los resultados económicos del uso de los sistemas fotovoltaicos propuestos.

En resumen, los objetivos son listados abajo:

- Calcular la energía demandada de la fábrica.
- Calcular el tamaño de un sistema fotovoltaico a instalar.
- Calcular cuánta energía generaría.
- Calcular que porcentaje del consumo total de energía se podría cubrir en cada mes del año.
- Calcular el ahorro de emisiones de CO₂eq, g SO_x y g NO_x con el uso de los paneles solares.
- Calcular el balance económico con el uso del sistema.

CAPITULO 2: METODOLOGÍA

Para obtener los objetivos arriba indicados, esta sección describe como se propondrá trabajar. En el primero paso se propondrá el dimensionamiento del sistema. Para su dimensionamiento se va a utilizar los datos cedidos por estudiantes de doctorado de la propia UPCT que han medido in situ la nave de la fábrica en Lorca.

Se aplicara el uso de diferentes herramientas para el dimensionamiento de dos sistemas, uno con todos los paneles pegados a superficie de la fábrica y otro con los paneles en ángulo óptimo. Las herramientas utilizados son: PVGIS, PVSyst, SketchUp y Excel.

En cada sistema se propone una división para su dimensionamiento en 4 caras, siendo 2 en el techo y 2 más en las paredes.

Después de la aplicación de cada software ha de ser presentado la comparación de los resultados con el uso de diferentes métodos.

2.1 Metodología en SketchUp

Los dibujos de los sistemas propuestos van a ser presentados en SketchUp. Así, a partir de este dimensionamiento con la dirección y dimensiones de la fábrica, y, tipo de panel fotovoltaico y cantidad de paneles de paneles para cada sistema se desarrollara el uso de los otros softwares.

SketchUp es un software de modelado 3D. En general sus usuarios son arquitectos, diseñadores, constructores, fabricantes e ingenieros. Es un software desarrollado por Trimble Building. Es posible obtener más información en su propio website, <http://www.sketchup.com/>.

Con el software SketchUp se calculará la energía generada en cada sistema.

2.2 Metodología en PVSyst

El software PVSYST está diseñado para ser utilizado por arquitectos, ingenieros e investigadores. Es un software desarrollado por el grupo Energy, en el Institute of the Sciences of the Enviroment en la Universidad de Geneva. La versión utilizada en este trabajo fue la V6.43.

Algunas de las características indicadas en el propio website, <http://www.pvsyst.com/>, en esta versión del software son:

Meteonorm incluido:

- Búsqueda directa de una ubicación mediante mapas de Google.
- Programa completo de interpolación Meteonorm para cualquier lugar en la tierra.

Las pérdidas eléctricas detalladas de sombreado:

- Define la posición de todos los módulos del sistema en el campo 3D.
- Calcula el circuito eléctrico en la entrada de cada inversor.
- Salidas: "la pérdida de irradiancia sombreado" y "pérdida de sombreado eléctrica".

Cálculos de sombreado mejoradas:

- cálculos de sombreado directo durante la simulación (evita la incertidumbre de interpolación).
- Grandes plantas: cálculo optimizado del factor de sombra.
- Las plantas siguientes del terreno (Helios 3D): análisis y manejo de la orientación.

Nuevo proceso de simulación:

- Mejora de la gestión de proyectos: acceso a los parámetros, copiar, plantillas.
- Nueva organización de las pérdidas.
- Nuevas pérdidas como LID, indisponibilidad, y el aumento de la luz de remojo para el CIS.

Módulos fotovoltaicos y gestión de modelos:

- Implementación del modelo y la comparación con el modelo PVSYST.
- Herramientas para la optimización de parámetros (de poca luz, E / curva V).
- Nuevos parámetros (la tolerancia, el perfil IAM, Vmax UL).

Inversores:

- Nuevos parámetros (Transfo, eficiencia CCA).
- Multi-MPPT con entradas asimétricas.
- Mejora de la elección por el fabricante.

Modelo de proceso por lotes para estudios paramétricos.

Con la cantidad de paneles y todos sus parámetros el software PVSyst se propondrá calcular la energía generada. Para eso, se elegirá inversores para cada una de las caras. Es importante decir que el PVSyst se basa en la irradiancia para sus cálculos.

2.3 Metodología en Excel

Así, como el PVSyst, con el uso de Excel, en el que se implementa, paso a paso, los cálculos de los parámetros fotovoltaicos y de generación de energía, emisiones, etc... a

partir de los datos de irradiación obtenidos en tablas, lo que permitirá calcular la energía generada de cada uno de los sistemas.

Además de la energía generada, con el uso de Excel se propone a hacer cálculos económicos y de emisiones evitadas de CO₂, SO_x y NO_x.

Es importante decir que el Excel se basa en la irradiancia para sus cálculos. Además de la importancia de cual tecnología fotovoltaica se utilizará, hay otros factores que deben ser considerados, como el cálculo y la presentación de los tiempos de retorno de energía y factores de rendimiento energético, con especial atención al cálculo del “performance ratio” analizando cada una de las contribuciones al proceso de pérdidas de potencia del sistema.

2.3.1 PVGIS

Para la energía generada se utilizara los datos de irradiancia e irradiación del PVGIS-JRC, en la parte de la comisión europea. La Comisión Europea mantiene este sitio web para mejorar el acceso público a la información sobre sus iniciativas y políticas de la Unión Europea en general.

El PVGIS es un proyecto europeo de irradiancia y su información es gratis. La información puede ser encontrada por el enlace: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>.

2.3.2 Análisis de generación de electricidad

Para el análisis de generación de electricidad va a ser presentados los datos en kWh/año. Para el inicio del balance económico se pondrá como entrada, en euros, del sistema la energía generada en kWh/año por su precio, que vas a ser ajustado a una inflación anual. Como salidas tendremos los gastos totales en cada año, como: prestamos, comisión y mantenimiento.

Con el balance de cada año se pondrá un cálculo acumulado de lucro o perjuicio que también va a ser ajustado a inflación anual. Por fin, se va a calcular la tasa de retorno, considerando NPV y la inversión inicial.

2.3.3 Análisis ambiental

Para el análisis ambiental va a ser considerada las emisiones evitadas de g SO_x, g NO_x y kg CO₂eq.

Las emisiones evitadas son calculadas sobre un coeficiente de cada gas sobre la energía generada, obtenidos a partir de la composición del mix eléctrico español. Los coeficientes son datos disponibles en la página web de Red Eléctrica Española (www.ree.es).

2.3.4 Análisis económico

Para el análisis económico fue considerada una amortización de préstamo en amortización constante, con periodo de pago anual.

Es importante decir que el valor económico calculado es un ahorro, pues es lo que dejaríamos de pagar caso se utilizase la instalación propuesta. Así, es una sustitución de lo que se debería pagar.

CAPITULO 3: DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA

La fábrica tiene un área de 3.330 metros cuadrados (m^2), siendo un ancho de 90 metros, largura de 37 metros y 7 metros de altura en las extremidades con 9 metros en el centro, en un sistema partido por la mitad en dos aguas. Fue asumido que el ángulo formado en el tejado es de 6 grados.

Abajo es presentada la imagen de ilustración de la planta:



Figura 5. Dimensiones de la fábrica.

Las dimensiones aquí presentadas son de 90 metros por 37 metros, teniendo un área de $3.330 m^2$.

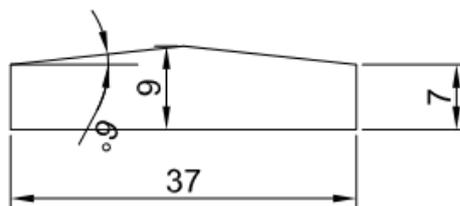


Figura 6. Dimensiones de la fábrica.

Aquí las dimensiones son 37 metros por 7 metros de altura de la pared interna. Es importante decir que la pared externa tiene una altura de 8 metros.

La entrada de la fábrica contiene dos puertas con alto de 6 metros, una con una largura de 3 metros y otra de 5 metros. También se incluyen las ventanas con un ancho total de 14 metros y altura de 1,4 metros.

En una de las paredes hay una ventana con dimensiones de 14 metros de ancho y 1,4 metros de altura.

Se propone dos tipos de dimensionamientos del sistema con paneles fotovoltaicos. El primero sistema contiene los paneles fotovoltaicos pegados a las superficies de la fábrica y el segundo sistema contiene una disposición de ángulo óptimo en el techo de la fábrica. En ambos los sistemas se propone la instalación de paneles en cuatro sitios de la superficie de la fábrica, o sea, cuatro caras. La cara 1 y 2 son en los techos y la cara 3 y 4 son en las paredes de la fábrica.

3.1 Paneles para el sistema

Fue elegido los paneles Isofoton ISF 240/24 con una potencia de 240 W pico. La tabla abajo presenta algunos parámetros de este panel.

Tabla 2. Parámetros del panel.

Parámetro:	Valor:
Pp (W):	240
Isc (A):	7,45
Voc (V):	44,00
Impp (A):	6,86
Vmpp (V):	35,00
NOCT (°C):	47
FF:	0,7325
Tamaño-largo (m):	1,667
Tamaño-ancho (m):	0,994
Peso (Kg):	19,00
Precio (euros):	288,00

Fue elegido este panel por tenerlo en todas las herramientas que fueron empleadas. Además, este panel elegido es utilizado en todas las cuatro caras de los dos sistemas propuestos.

Para un estudio más genérico, fue elegido un precio para el panel fotovoltaico de 1,2 €/Wp.

3.2 Demanda de energía de la fábrica

La energía demandada de la fábrica fue estimada a partir de los parámetros de la línea de montaje, sistema de climatización, de laminación y equipos generales como máquinas expendedoras de bebidas.

La tabla abajo presenta el consumo de energía en kWh/día de la fábrica.

Tabla 3. Consumo de energía de la fábrica.

Cantidad	Elemento	Potencia (kW)	Horas/día	Consumo (kWh/día)
1	Línea de montaje	108	24	2.592,00
1	Chiller 750 (Nave planta baja)	750	6	4.500,00
1	Enfriadora/bomba de calor (I+D)	120	8	960,00
8	Split individual	2,1	8	134,40
10	Equipos informáticos (I+D, planta y oficinas)	0,3	8	24,00
	Luminarias	-	-	0,00
2	Equipos varios (Máquinas expendedoras de bebidas)	0,6	24	28,80
-	Total	-	-	8.239,20

Por la tabla 3 tenemos un total de energía consumida por la fábrica de 8.239,20 kWh/día. Haciendo los cálculos para la fábrica trabajando todos los días y todos los meses del año tenemos:

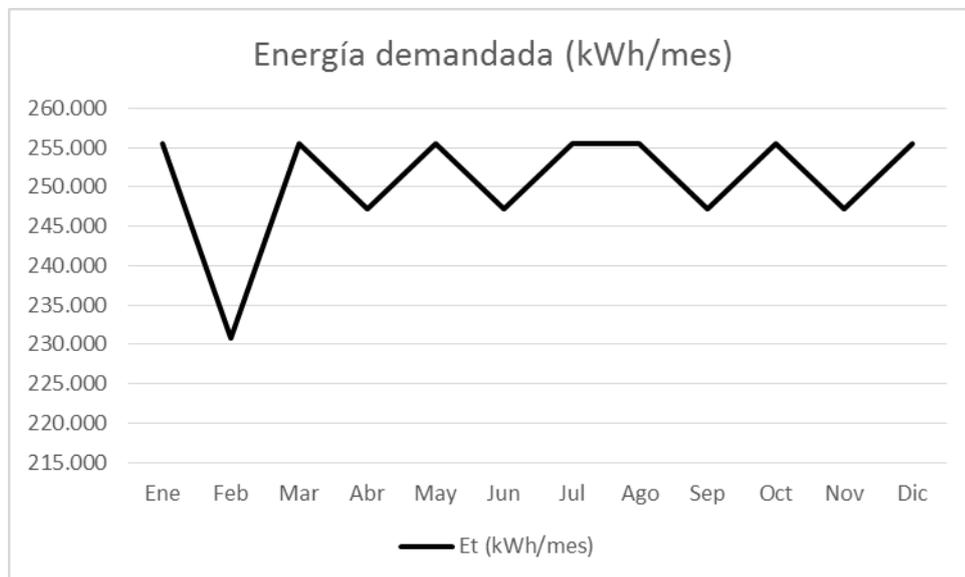


Figura 7. Energía demandada de la fábrica.

La variación del gráfico presentado en la figura 7 es solamente por la cantidad de días que contiene cada mes. Así, es posible decir que la variación de la energía demandada por la fábrica solo es dependiente de la cantidad de días del mes.

3.3 Dimensionamiento del sistema con paneles pegados

El dimensionamiento del sistema con paneles pegados es ilustrado en la imagen abajo:

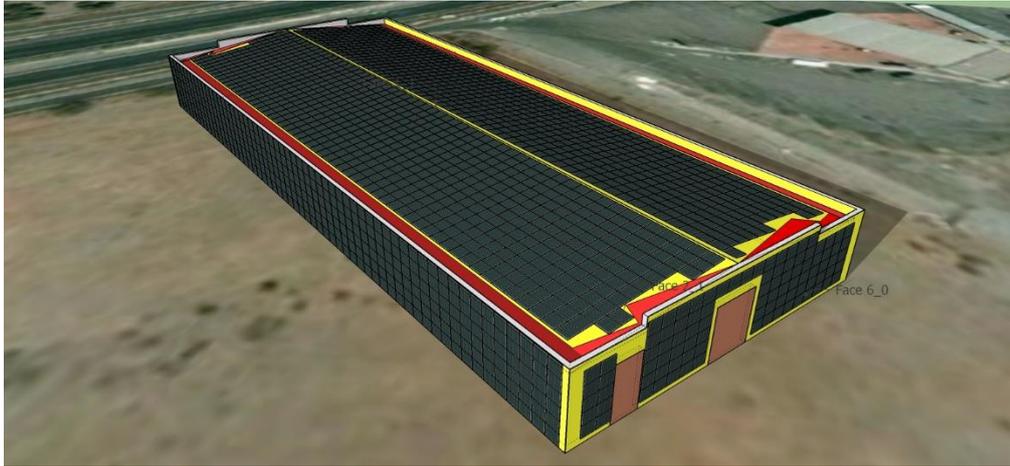


Figura 8. Dibujo de la fábrica con paneles pegados 01.

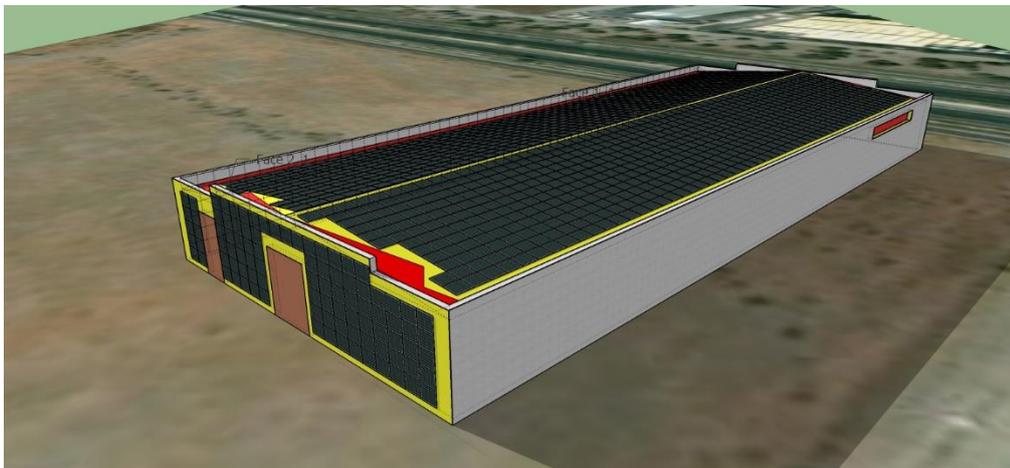


Figura 9. Dibujo de la fábrica con paneles pegados 02.

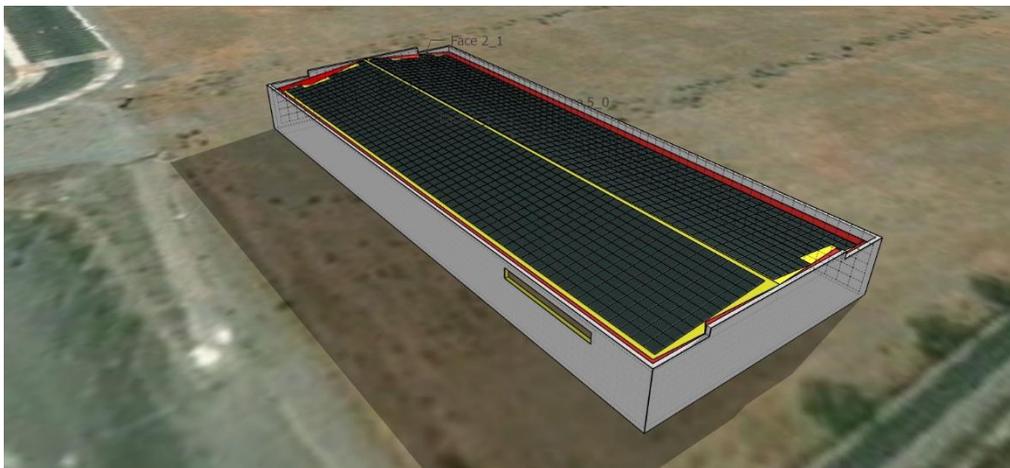


Figura 10. Dibujo de la fábrica con paneles pegados 03.

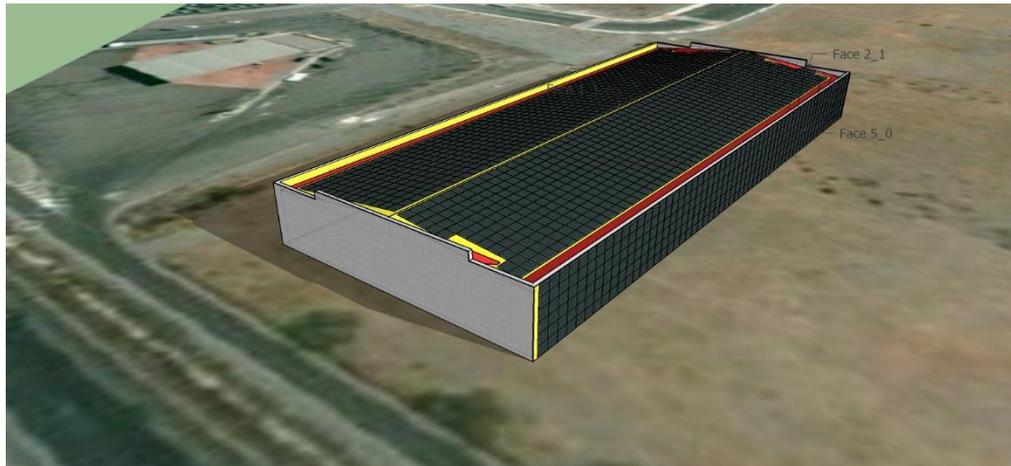


Figura 11. Dibujo de la fábrica con paneles pegados 04.

El área de amarillo representa el área de posible instalación de paneles fotovoltaicos. El área de rojo representa el área de sombras y, por eso, donde no se propone la instalación de paneles fotovoltaicos.

3.3.1 Cara 1

La cara 1 corresponde al techo.

En la cara 1 fueron instalados 611 paneles, 13 en serie y 47 en paralelo, con un total de potencia instalada de 146,64 kW.

Fue elegido el inversor Solargate PV7M180NN - Nidec ASI S.p.A de potencia nominal de 147 kW.

3.3.2 Cara 2

La cara 2 corresponde a otra parte del techo.

En la cara 2 también fueron instalados 611 paneles, 13 en serie y 47 en paralelo, con un total de potencia instalada de 146,64 kW.

Fue elegido el mismo inversor Solargate PV7M180NN - Nidec ASI S.p.A de potencia nominal de 147 kW.

3.3.3 Cara 3

La cara 3 es la pared de mayor tamaño.

En la cara 3 fueron instalados 336 paneles, 14 en serie y 24 en paralelo, con un total de potencia instalada de 80,64 kW.

Fue elegido el inversor PVI 82KW-208 de potencia nominal de 82 kW.

3.3.4 Cara 4

La cara 4 es la pared de menor tamaño.

En la cara 4 fueron instalados 91 paneles, 13 en serie y 7 en paralelo, con un total de potencia instalada de 21,84 kW.

Fue elegido el inversor SKN 404 de potencia nominal de 22 kW.

3.3.5 Resumen

En resumen del dimensionamiento del sistema de paneles pegados con la herramienta PVSyst y también aplicado en Excel tenemos:

Tabla 4. Parámetros de las 4 caras del sistema con paneles en ángulo óptimo para PVSyst y Excel.

Caras:	Total:	Serie:	Paralelo:	Ppt (kW):
Cara 01	611	13	47	146,64
Cara 02	611	13	47	146,64
Cara 03	336	14	24	80,64
Cara 04	91	13	7	21,84

Por la tabla 4, tenemos un total de 1.753 paneles y 420,72 kW de potencia pico en el dimensionamiento de paneles.

Con el uso del SketchUp tenemos las cuatro caras en la tabla abajo:

Tabla 5. Parámetros de las 4 caras del sistema con paneles pegados para SketchUp.

Results for solar arrays in each face									
Face	Model	NºP.	P. power (Wp)	Power (kWp)	Azimuth	Tilt	Relative tilt	Weight (kg)	Shading L. (%)
1_1	Isofoton:ISF_240/24	657	240,00	157,68	39,00	6,34	0,00	17082,00	0,06
2_1	Isofoton:ISF_240/24	660	240,00	158,40	219,00	6,34	0,00	17160,00	0,26
5_0	Isofoton:ISF_240/24	342	240,00	82,08	219,00	90,00	0,00	8892,00	0,00
6_0	Isofoton:ISF_240/24	94	240,00	22,56	129,00	90,00	0,00	2444,00	0,00

Por la tabla 5, tenemos un total de 1.753 paneles y 420,72 kW de potencia pico en el dimensionamiento de paneles pegados con la herramienta SketchUp.

La diferencia presentada en las dos tablas es por limitaciones de la herramienta PVSyst en la hora de su dimensionamiento.

3.4 Dimensionamiento del sistema con paneles en ángulo óptimo

El dimensionamiento del sistema con paneles en ángulo óptimo es ilustrado en la imagen abajo:

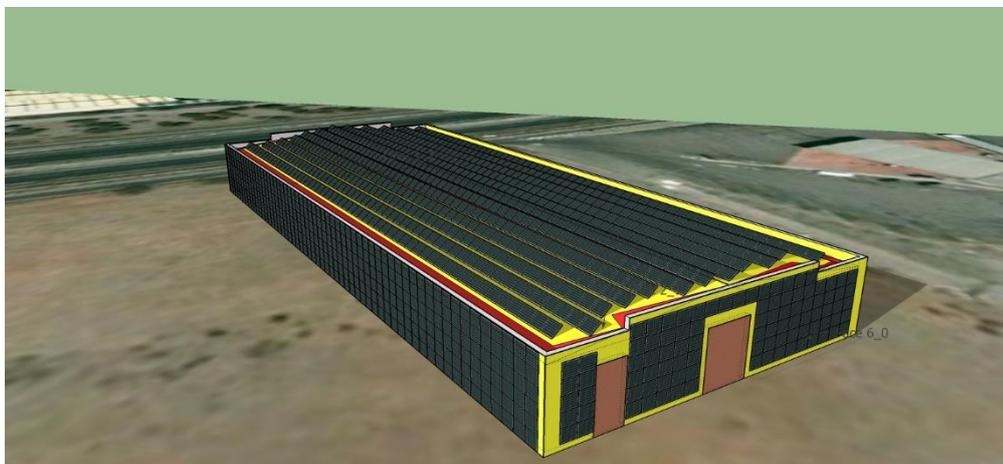


Figura 12. Dibujo de la fábrica con paneles en ángulo óptimo 01.

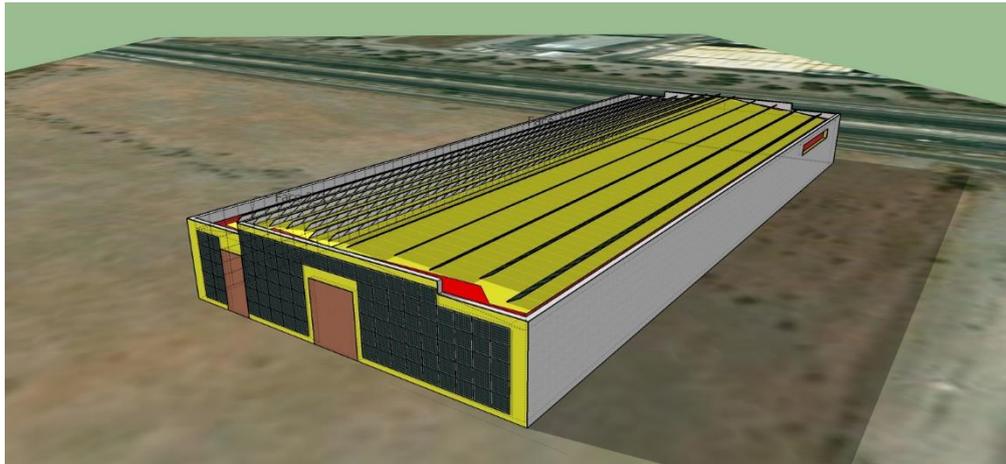


Figura 13. Dibujo de la fábrica con paneles en ángulo óptimo 02.

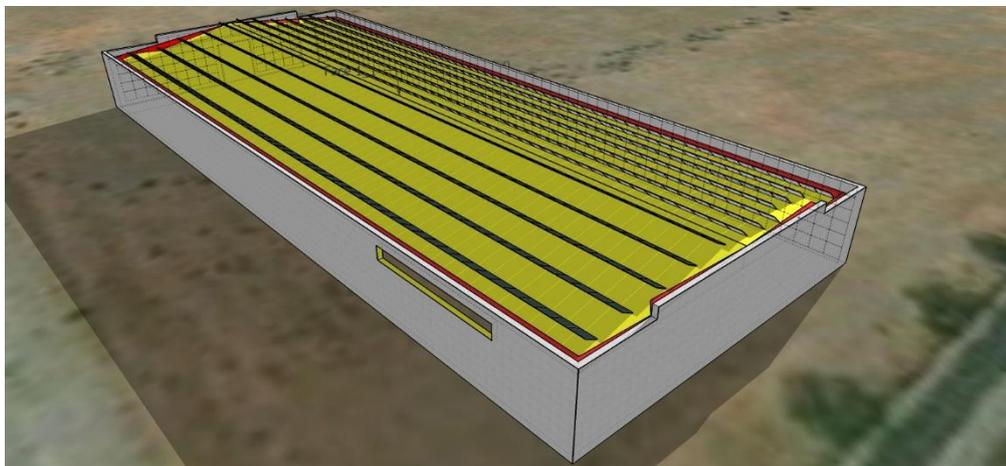


Figura 14. Dibujo de la fábrica con paneles en ángulo óptimo 03.

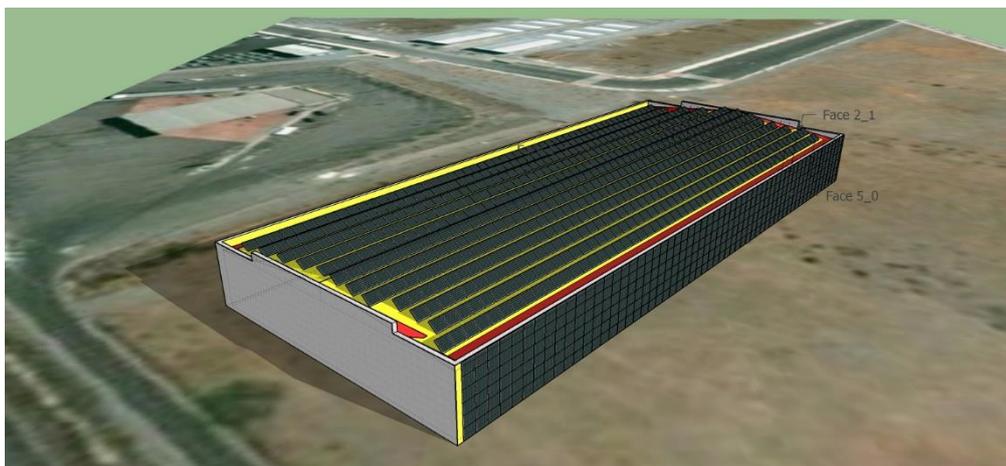


Figura 15. Dibujo de la fábrica con paneles en ángulo óptimo 04.

Así como fue ilustrado en el sistema con paneles pegados a superficie de la fábrica, en este sistema el área de amarillo representa el área de posible instalación de paneles fotovoltaicos. El área de rojo representa el área de sombras y, por eso, donde no se propone la instalación de paneles fotovoltaicos.

3.4.1 Cara 1

La cara 1 corresponde al techo.

En la cara 1 fueron instalados 266 paneles, 14 en serie y 19 en paralelo, con un total de potencia instalada de 63,84 kW.

Fue elegido el inversor HP 64 – Riello de potencia nominal de 65 kW.

3.4.2 Cara 2

La cara 2 corresponde a otra parte del techo.

En la cara 2 fueron instalados 384 paneles, 12 en serie y 32 en paralelo, con un total de potencia instalada de 92,16 kW.

Fue elegido el mismo inversor PVI 95KW-208 de potencia nominal de 96 kW.

3.4.3 Cara 3

La cara 3 es la pared de mayor tamaño.

En la cara 3 fueron instalados 336 paneles, 14 en serie y 24 en paralelo, con un total de potencia instalada de 80,64 kW.

Fue elegido el inversor PVI 82KW-208 de potencia nominal de 82 kW.

3.4.4 Cara 4

La cara 4 es la pared de menor tamaño.

En la cara 4 fueron instalados 91 paneles, 13 en serie y 7 en paralelo, con un total de potencia instalada de 21,84 kW.

Fue elegido el inversor SKN 404 de potencia nominal de 22 kW.

3.4.5 Resumen

En resumen del dimensionamiento del sistema de paneles pegados con la herramienta PVSyst y también aplicado en Excel tenemos:

Tabla 6. Parámetros de las 4 caras del sistema con paneles en ángulo óptimo para PVSyst y Excel.

Caras:	Total:	Serie:	Paralelo:	Ppt (kW):
Cara 01	266	14	19	63,84
Cara 02	384	12	32	92,16
Cara 03	336	14	24	80,64
Cara 04	91	13	7	21,84

Por la tabla 6, tenemos un total de 1.077 paneles y 258,48 kW de potencia pico en el dimensionamiento de paneles.

Con el uso del SketchUp tenemos las cuatro caras en la tabla abajo:

Tabla 7. Parámetros de las 4 caras del sistema con paneles en ángulo óptimo para SketchUp.

Results for solar arrays in each face									
Face	Model	NºP.	P. power (Wp)	Power (kWp)	Azimuth	Tilt	Relative tilt	Weight (kg)	Shading L. (%)
1_1	Isofoton:ISF_240/24	275	240,00	66,00	39,00	28,00	34,34	7150,00	3,39
2_1	Isofoton:ISF_240/24	385	240,00	92,40	39,00	40,00	33,66	10010,00	2,36
5_0	Isofoton:ISF_240/24	342	240,00	82,08	39,00	90,00	0,00	8892,00	0,00
6_0	Isofoton:ISF_240/24	94	240,00	22,56	-51,00	90,00	0,00	2444,00	0,00

Por la tabla 7, tenemos un total de 1.078 paneles y 258,72 kW de potencia pico en el dimensionamiento de paneles pegados con la herramienta SketchUp.

La diferencia presentada en las dos tablas sigue siendo por limitaciones de la herramienta PVSyst en la hora de su dimensionamiento.

CAPITULO 4: RESULTADOS

Este capítulo se propone a presentar los resultados con el uso de los diferentes métodos. Primeramente se presentan los datos de generación eléctrica, es decir, la energía que cada sistema propuesto va generar, en seguida se presentan los resultados ambientales, con sus emisiones evitadas de gases dañinos al medio ambiente, y finalmente, se presentan los resultados económicos, con las tasas de retorno y capital invertido.

En la última sección de este capítulo se presenta la comparación entre los resultados de los dos sistemas propuestos.

4.1 Resultados de generación eléctrica

Esta sección presenta los datos de generación de energía eléctrica de cada sistema propuesto.

4.1.1 Resultados de generación del sistema con paneles pegados

Esta sección presenta los resultados con los 3 métodos presentados en la metodología en el sistema de paneles pegados.

4.1.1.1 Resultados de generación del sistema con paneles pegados en SketchUp

Esta sección se propone a presentar la energía generada calculada por el software SketchUp. A partir del dimensionamiento presentado en el capítulo 3 del sistema fotovoltaico con paneles fotovoltaicos pegados se tiene las siguientes pérdidas por sombras:

Tabla 8. Pérdidas del sistema con paneles pegados.

Monthly Shading Losses (%)												
Face	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1_1	0,02	0,02	0,03	0,06	0,11	0,09	0,07	0,02	0,12	0,02	0,02	0,02
2_1	0,20	0,73	0,15	0,19	0,04	0,05	0,08	0,13	0,24	0,39	1,07	0,85
5_0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6_0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mean	0,06	0,19	0,05	0,06	0,04	0,04	0,04	0,04	0,09	0,10	0,27	0,22

Con la tabla 8 es posible decir que los meses de invierno son los que tienen mayor porcentaje de sombras. Este comportamiento se explica porque así se obtiene una mayor generación posible en el sistema. Así, es posible obtener la energía generada que es presentada en la tabla abajo:

Tabla 9. Energía generada mensual con paneles pegados.

E_m (kWh/month)												
Face	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1_1	8520,00	11100,00	18200,00	20800,00	25300,00	27800,00	28400,00	24400,00	17800,00	13900,00	9100,00	7420,00
2_1	11400,00	13500,00	20400,00	22000,00	25700,00	27900,00	28800,00	25400,00	19600,00	16300,00	11800,00	10200,00
5_0	7200,00	6950,00	8130,00	6730,00	6240,00	5750,00	6220,00	6870,00	6950,00	7540,00	7050,00	6920,00
6_0	1780,00	1770,00	2160,00	1890,00	1870,00	1800,00	1920,00	1990,00	1870,00	1940,00	1740,00	1660,00
Σ	28900,00	33320,00	48890,00	51420,00	59110,00	63250,00	65340,00	58660,00	46220,00	39680,00	29690,00	26200,00

Con la tabla 9 tenemos el mismo comportamiento descrito para la tabla 8. Ahora es observable con mayor generación en los meses de verano.

4.1.1.2 Resultados de generación del sistema con paneles pegados en PVsyst

Esta sección se propone a presentar la energía generada calculada por el software PVsyst. A partir del dimensionamiento presentado en el capítulo 3 del sistema fotovoltaico con paneles fotovoltaicos pegados se tiene el siguiente PR:

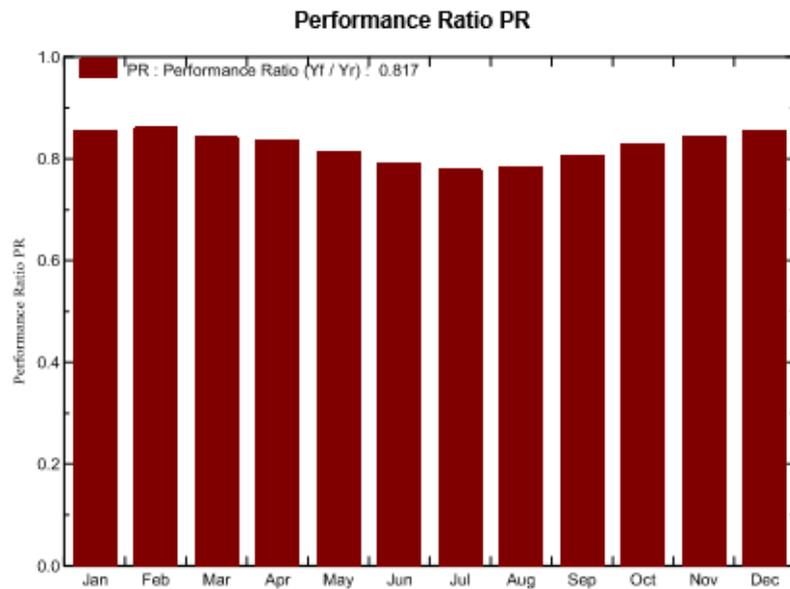


Figura 16. Performance Ratio del sistema con paneles pegados.

Por la figura 16, podemos observar un PR peor en los meses de verano.

Con esto se obtiene la energía generada que es presentada en la tabla abajo:

Tabla 10. Energía generada con paneles pegados.

	E_Grid kWh
January	27983
February	31693
March	44949
April	52734
May	57787
June	59819
July	61477
August	55586
September	44765
October	36852
November	28524
December	24478
Year	526648

Siendo el EGrid la energía inyectada en la red. La tabla 10 presenta una energía generada anual de 526.648 kWh.

4.1.1.3 Resultados de generación del sistema con paneles pegados en excel

Para el sistema de generación fotovoltaico con paneles pegados tenemos una generación de energía de 554.912,41 kWh/año en el año cero. El gráfico abajo presenta la evolución de energía generada durante 50 años.

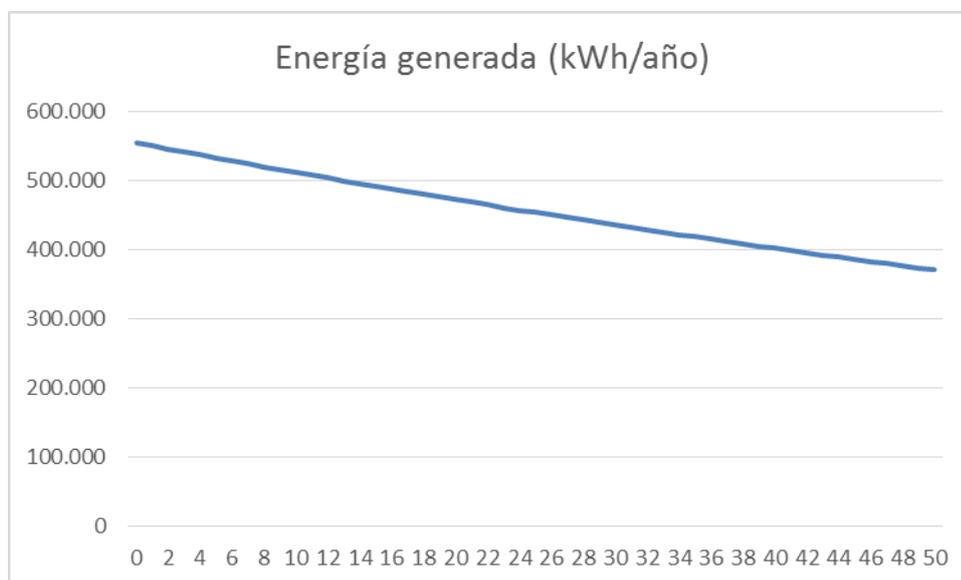


Figura 17. Energía generada del sistema con paneles pegados.

El coeficiente de degradación es de 0,80 %/año. Este valor es asumido por un presupuesto de degradación lineal, a partir de la garantía de 25 años del fabricante, donde el modulo tiene una eficiencia de 80% de su valor inicial.

4.1.2 Resultados de generación del sistema con paneles en ángulo óptimo

Esta sección presenta los resultados con los 3 softwares presentados en la metodología en el sistema de paneles en ángulo óptimo.

4.1.2.1 Resultados de generación del sistema con paneles en ángulo óptimo en SketchUp

Esta sección se propone a presentar la energía generada calculada por el software SketchUp. A partir del dimensionamiento presentado en el capítulo 3 del sistema fotovoltaico con paneles fotovoltaicos pegados se tiene el siguiente PR:

Tabla 11. Pérdidas del sistema con paneles en ángulo óptimo.

Monthly Shading Losses (%)												
Face	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1_1	1,45	7,89	1,41	2,90	0,14	0,59	0,84	2,06	3,38	4,16	12,59	10,81
2_1	1,80	3,35	1,83	0,05	0,14	0,03	0,05	0,09	1,29	5,26	7,12	12,90
5_0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6_0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mean	0,81	2,81	0,81	0,74	0,07	0,15	0,22	0,54	1,17	2,35	4,93	5,93

La tabla 11 no presenta el mismo comportamiento de la tabla 6. En este caso los meses de mayores sombras son noviembre y diciembre. Así, la energía generada que es presentada en la tabla abajo:

Tabla 12. Energía generada mensual con paneles en ángulo óptimo.

E_m (kWh/month)												
Face	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1_1	5980,00	6540,00	8920,00	9010,00	10000,00	10600,00	11000,00	10200,00	8370,00	7510,00	6060,00	5510,00
2_1	9040,00	9600,00	12700,00	12400,00	13400,00	14000,00	14700,00	13900,00	11800,00	11000,00	9090,00	8410,00
5_0	7200,00	6950,00	8130,00	6730,00	6240,00	5750,00	6220,00	6870,00	6950,00	7540,00	7050,00	6920,00
6_0	1780,00	1770,00	2160,00	1890,00	1870,00	1800,00	1920,00	1990,00	1870,00	1940,00	1740,00	1660,00
Σ	24000,00	24860,00	31910,00	30030,00	31510,00	32150,00	33840,00	32960,00	28990,00	27990,00	23940,00	22500,00

En la tabla 12 es observable una mayor generación en los meses de verano.

4.1.2.2 Resultados de generación del sistema con paneles en ángulo óptimo en PVsyst

Esta sección se propone a presentar la energía generada calculada por el software PVsyst. A partir del dimensionamiento presentado en el capítulo 3 del sistema fotovoltaico con paneles fotovoltaicos pegados se tiene el siguiente PR:

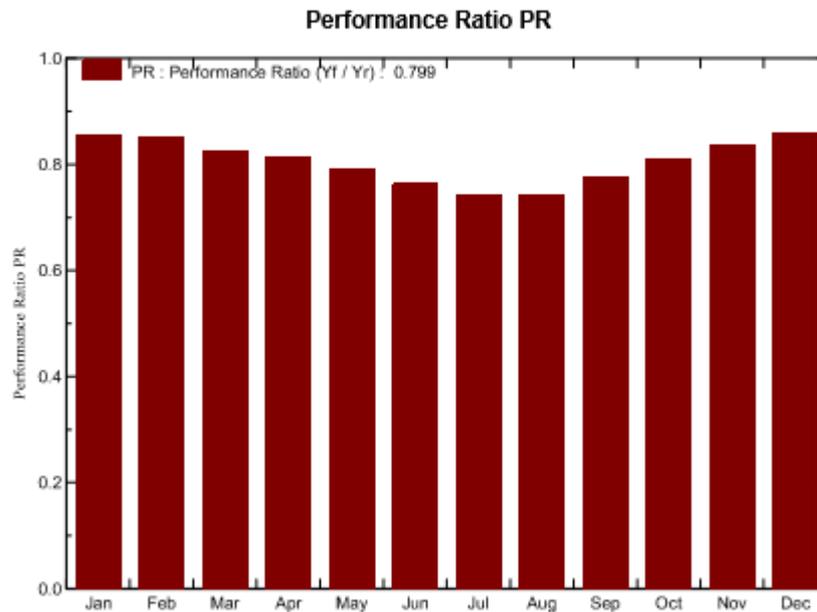


Figura 18. Performance Ratio del sistema con paneles en ángulo óptimo.

Con esto se obtiene la energía generada que es presentada en la tabla abajo:

Tabla 13. Energía generada con paneles en ángulo óptimo.

	E_Grid kWh
January	24112
February	24194
March	31472
April	32632
May	32490
June	32449
July	33800
August	32481
September	29028
October	27282
November	23586
December	21530
Year	345056

Siendo el EGrid la energía insertada en la red. La tabla 13 presenta una energía generada anual de 345.056 kWh.

4.1.2.3 Resultados de generación del sistema con paneles en ángulo óptimo en excel

Para el sistema de generación fotovoltaico con paneles en ángulo óptimo tenemos una generación de energía de 368.426,53 kWh/año en el año cero. El gráfico abajo presenta la evolución de energía generada por 50 años.

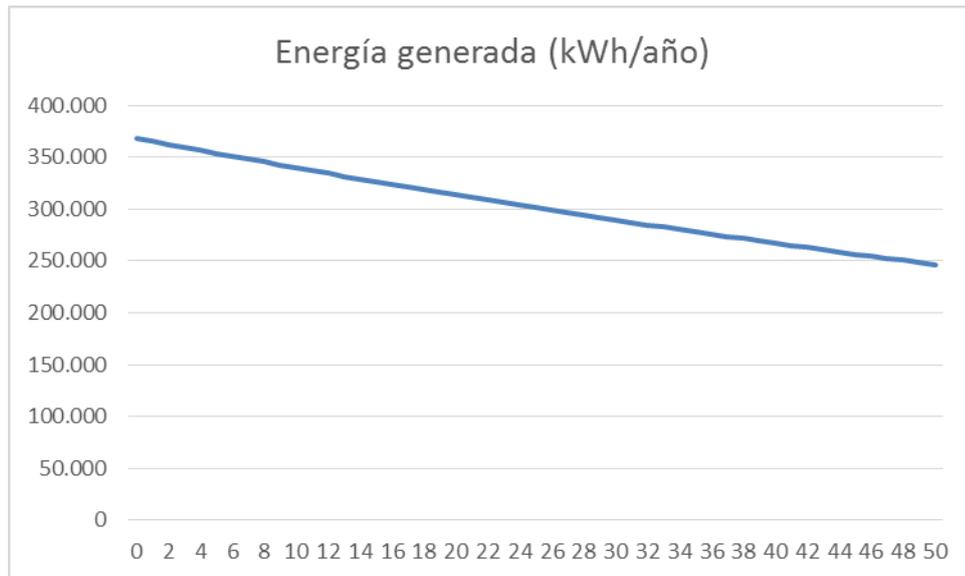


Figura 19. Energía generada del sistema con paneles en ángulo óptimo.

Con el mismo coeficiente de degradación es de 0,80 %/año.

4.2 Resultados ambientales en excel

Esta sección presenta los datos ambientales de cada sistema propuesto. En estos datos se presentará las emisiones evitadas de gases dañosos al medio ambiente.

Para los dos sistemas propuestos se tiene como premisas los datos de la tabla abajo:

Tabla 14. Parámetros ambientales.

Ítem:	Valor:	Unidad:
Emisiones del mix eléctrico:	0,326	Kg CO ₂ eq/kWh
Lluvia ácida:	0,244	g SO _x /kWh
Óxidos de nitrógeno:	0,173	g NO _x /kWh

4.2.1 Resultados ambientales del sistema con paneles pegados

Para el sistema de generación fotovoltaico con paneles pegados tenemos como emisiones evitadas: 180.901,44 Kg CO₂eq, 135.398,62 g SO_x y 95.999,84 g NO_x en el año cero. El gráfico abajo presenta la evolución de emisiones evitadas por 50 años.

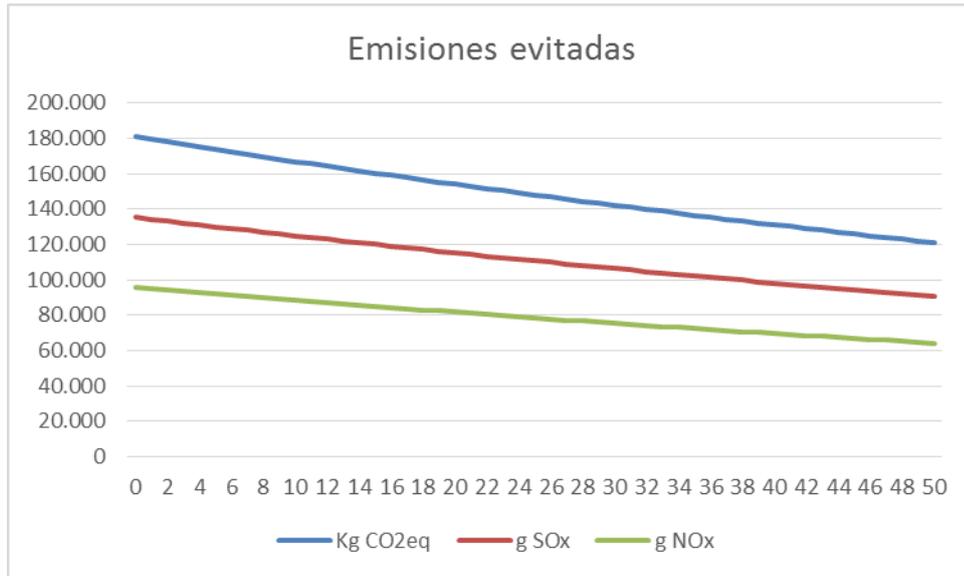


Figura 20. Emisiones evitadas del sistema con paneles pegados.

4.2.2 Resultados ambientales del sistema con paneles en ángulo óptimo

Para el sistema de generación fotovoltaico con paneles en ángulo óptimo tenemos como emisiones evitadas: 120.107,05 Kg CO₂eq, 89.896,07 g SO_x y 63.737,78 g NO_x en el año cero. El grafico abajo presenta la evolución de emisiones evitadas por 50 años.

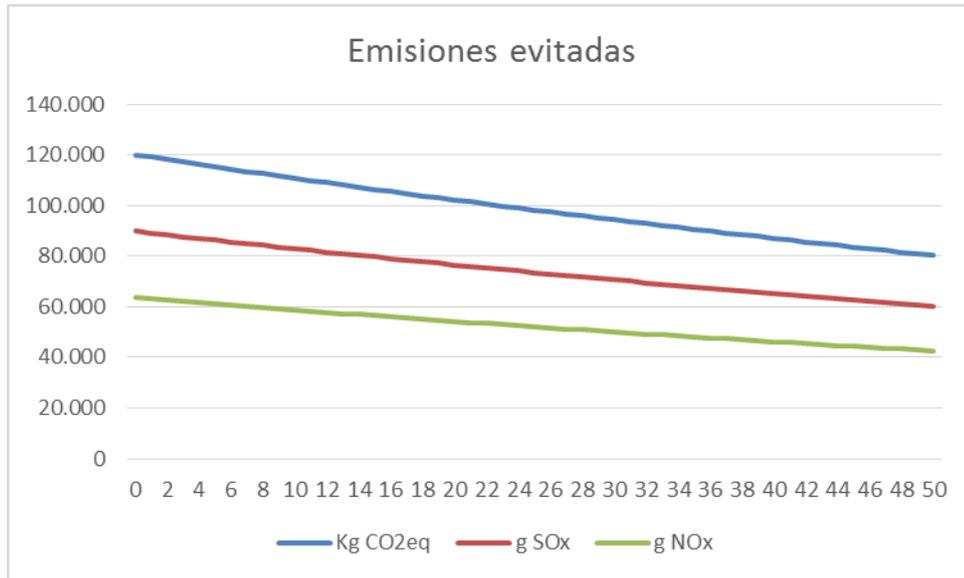


Figura 21. Emisiones evitadas del sistema con paneles en ángulo óptimo.

4.3 Resultados económicos en excel

Esta sección presenta los datos económicos de cada sistema propuesto.

Para los dos sistemas propuestos se tiene como premisas los datos de la tabla abajo:

Tabla 15. Parámetros económicos.

Iten:	Valor:	Unidad:
Tasa de inflación:	-0,2 %	
Tasa de inflación (eléctrica):	17 %	
Tasa de interés:	5 %	
Tasa de comisión:	1 %	
Precio kWh en red:	0,14 €/kWh	
Coste Tm CO2:	8 €/Tm CO2	
Impuestos a la generación:	0,06 €/kWh	

La tabla 15 presenta datos de deflación para la economía de -0,2%, pero de inflación para el sector eléctrico de 17%. Para los préstamos tenemos la comisión de 1% y 5% como tasa de interés. El precio de la energía de 0,14 €/kWh.

4.3.1 Resultados económicos del sistema con paneles pegados

Para el sistema con paneles instalados en serie tenemos los siguientes costes de la instalación:

Tabla 16. Costes del sistema con paneles pegados.

Iten:	Precio (€):
Paneles:	474.912
Precio BOS (Inversor):	31.593
Precio resto BOS:	10.000
Total	516.505

Para esta inversión de 516.505 € fue elegido un periodo de pago anual en 10 años. Con una comisión de apertura de 1,00%, tenemos 5.165,05 € de comisión, y un interés nominal de 5,00%, tenemos un pago total de interés 142.038,88 €. La tabla abajo presenta un resumen del pago de la cuota en estos 10 días.

Tabla 17. Amortización y préstamos del sistema con paneles pegados.

Años	Cuota
0	5.165,05
1	77.475,75
2	74.893,23
3	72.310,70
4	69.728,18
5	67.145,65
6	64.563,13
7	61.980,60
8	59.398,08
9	56.815,55
10	54.233,03
Total	663.708,95

La tabla arriba presenta en el año cero el valor de la comisión y en los demás años, los valores las cuotas divididas en 10 años.

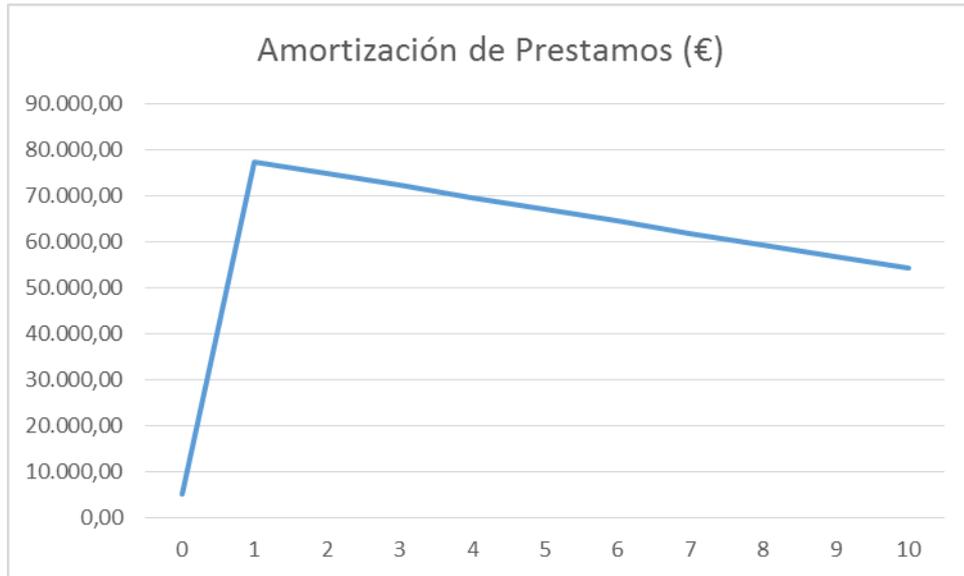


Figura 22. Amortización de préstamos del sistema con paneles pegados.

Utilizando un gasto anual de 10% sobre el coste de la instalación tenemos los siguientes costes de mantenimiento:

Tabla 18. Gastos del sistema con paneles pegados.

Item:	Precio (€):
Gasto anual:	51.651
Reparaciones puntuales:	2.000
Desinstalación y reciclado:	4.000
Otros:	2.000
Total	59.651

Como retorno tenemos la energía generada presentada en la sección anterior con el precio de la energía presentado en la tabla 15.

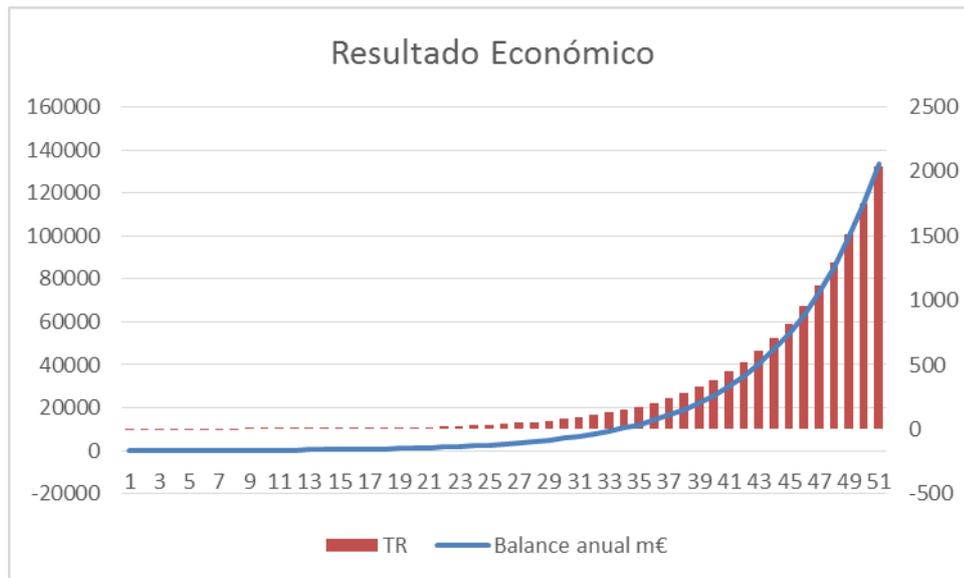


Figura 23. Resultados económico del sistema con paneles en ángulo óptimo.

Tenemos un retorno de la inversión a partir del 8º año.

4.3.2 Resultados económicos del sistema con paneles en ángulo óptimo

Para el sistema con paneles instalados en serie tenemos los siguientes costes de la instalación:

Tabla 19. Costes del sistema con paneles en ángulo óptimo.

Ítem:	Precio (€):
Paneles:	310.176
Precio BOS (Inversor):	31.343
Precio resto BOS:	10.000
Total	351.519

Para esta inversión de 351.519 € fue elegido un periodo de pago anual en 10 años. Con una comisión de apertura de 1,00%, tenemos 3.515,19 € de comisión, y un interés nominal de 5,00%, tenemos un pago total de interés de 96.667,73 €. La tabla abajo presenta un resumen del pago de la cuota en estos 10 días.

Tabla 20. Amortización y préstamos del sistema con paneles en ángulo óptimo.

Años	Cuota
0	3.515,19
1	52.727,85
2	50.970,26
3	49.212,66
4	47.455,07
5	45.697,47
6	43.939,88
7	42.182,28
8	40.424,69
9	38.667,09
10	36.909,50
Total	451.701,94

La tabla arriba presenta en el año cero el valor de la comisión y en los demás años, los valores las cuotas divididas en 10 años.

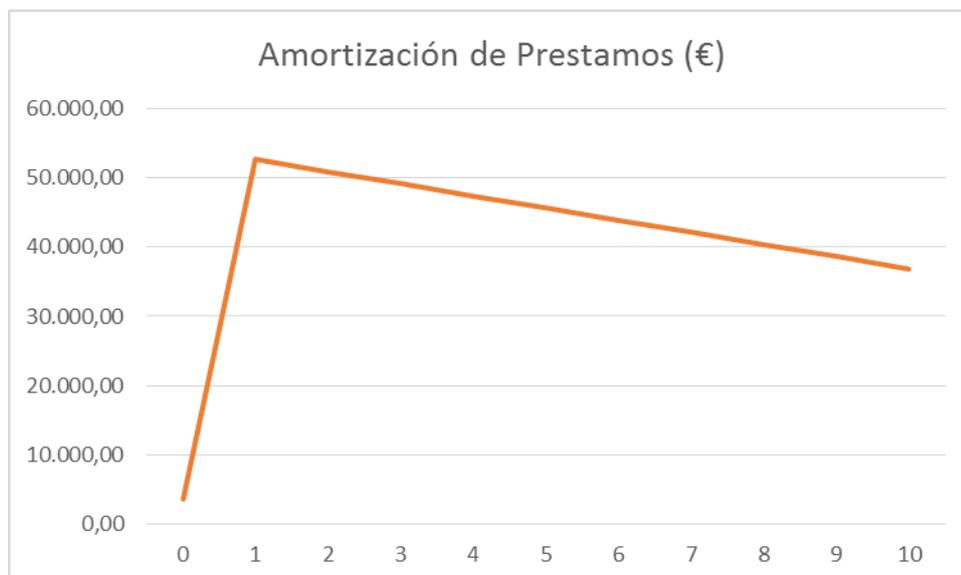


Figura 24. Amortización de préstamos del sistema con paneles en ángulo óptimo.

Utilizando un gasto anual de 10% sobre el coste de la instalación tenemos los siguientes costes de mantenimiento:

Tabla 21. Gastos del sistema con paneles en ángulo óptimo.

Ítem:	Precio (€):
Gasto anual:	35.152
Reparaciones puntuales:	2.000
Desinstalación y reciclado:	4.000
Otros:	2.000
Total	43.152

Como retorno tenemos la energía generada presentada en la sección anterior con el precio de la energía presentado en la tabla 15.

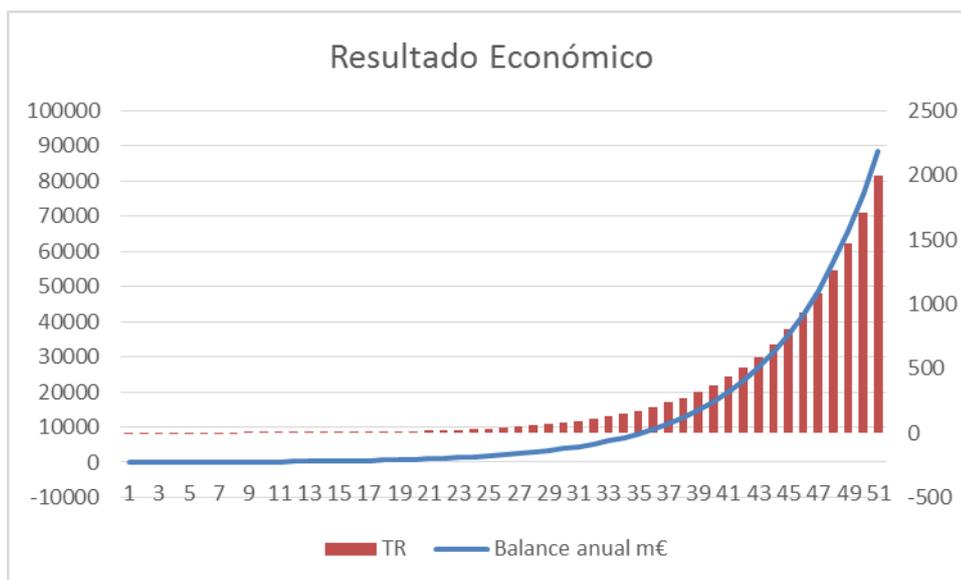


Figura 25. Resultados económico del sistema con paneles en ángulo óptimo.

Así como el sistema compuesto por paneles pegados, aquí tenemos un retorno de la inversión a partir del 8º año.

4.4 Comparación de los resultados de los sistemas propuestos

Por fin, esta sección presenta la comparación de los resultados presentados en cada uno de los sistemas propuestos.

4.4.1 Comparación de resultados de cada software con paneles pegados

El gráfico abajo presenta la diferencia de los resultados con cada software, además presenta la demanda de energía de la fábrica en línea roja. En barra verde el resultado con o uso de Excel, en barra roja con o uso de SketchUp y en amarillo con o uso de PVSyst.

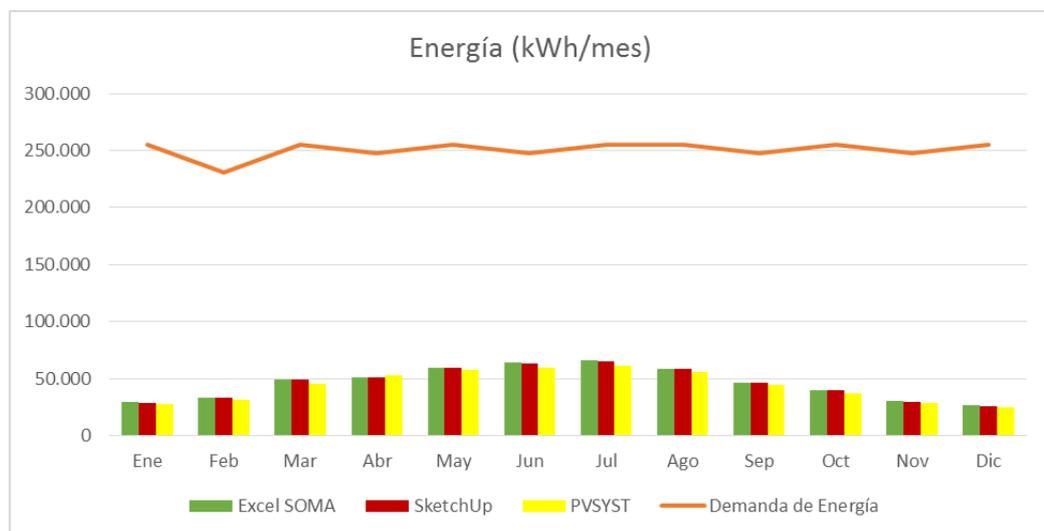


Figura 26. Comparación de energía del sistema con paneles pegados.

En la columna verde se observa los datos obtenidos con el uso del Excel, en la columna roja con SketchUp y con color amarilla del PVSyst. El gráfico también contiene una línea que representa la energía demandada por la fábrica.

Es posible decir que los valores calculados de energía generada en Excel son mayores que con los otros métodos. Su mayor valor es por los datos de PR presentados anteriormente.

Fue obtenido una diferencia promedio entre la energía generada calculada en cada herramienta de 6,52% con una variación máxima de 10,05%. Como todos los datos están próximo es posible decir que los datos están de acuerdo.

La tabla abajo presenta la cantidad de energía demandada por el sistema que es cubierta por la instalación de los paneles fotovoltaicos pegados en las cuatro caras del sistema.

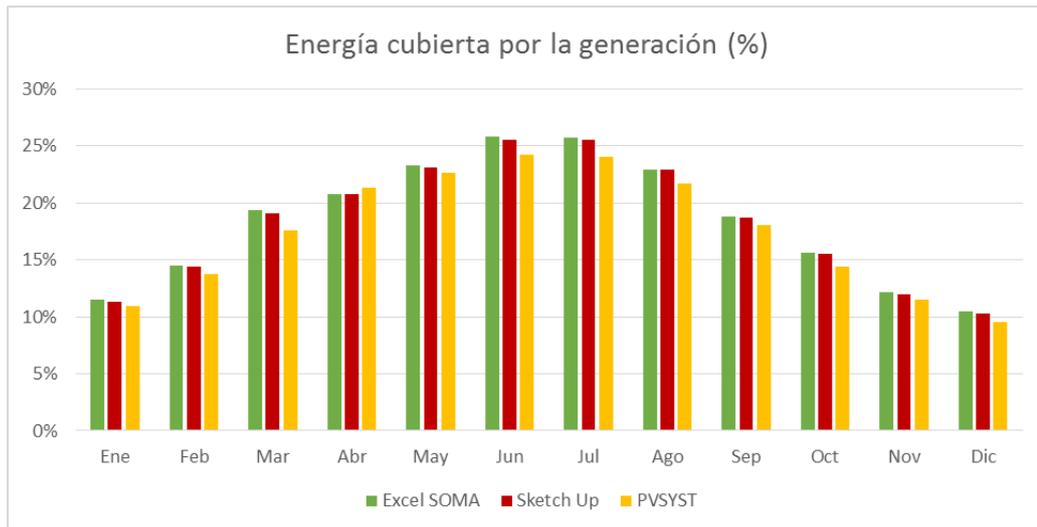


Figura 27. Energía cubierta del sistema con paneles pegados.

En la columna verde se observa los datos de energía cubierta de la demanda con el uso de los datos de energía generada en el Excel, en la columna roja con SketchUp y con color amarilla del PVSyst.

Así como presentado en grafico anterior, en este se nota un mayor porcentaje de energía cubierta con el uso del Excel. Con el SketchUp tenemos un promedio de energía cubierta a lo largo del año de 18,29%, con PVSyst, 17,50% y con Excel de 18,43%.

4.4.2 Comparación de resultados de cada software con paneles en ángulo óptimo

El gráfico abajo presenta la diferencia de los resultados con cada software, además presenta la demanda de energía de la fábrica en línea roja. En barra verde el resultado con o uso de Excel, en barra roja con o uso de SketchUp y en amarillo con o uso de PVSyst.

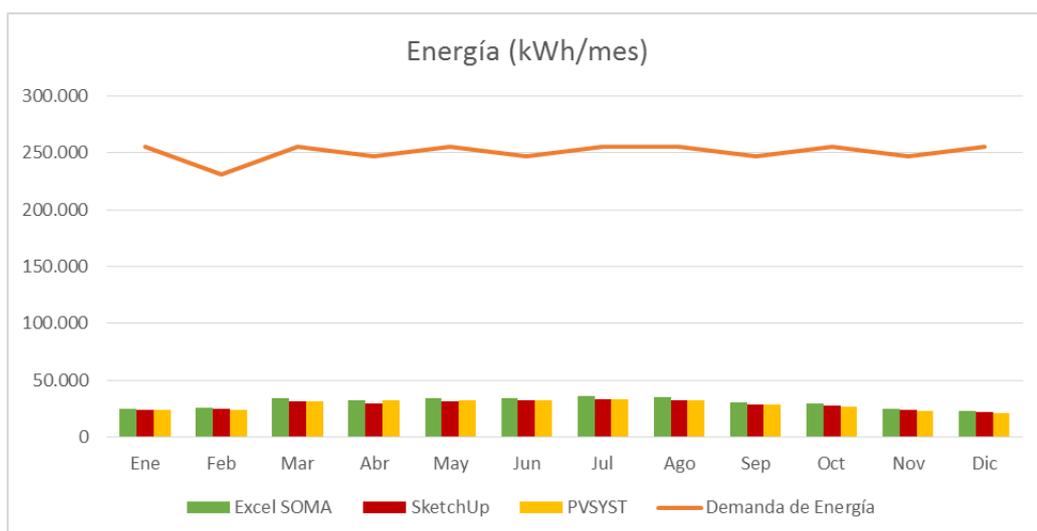


Figura 28. Comparación de energía del sistema con paneles en ángulo óptimo.

En la columna verde se observa los datos obtenidos con el uso del Excel, en la columna roja con SketchUp y con color amarilla del PVSyst. El gráfico también contiene una línea que representa la energía demandada por la fábrica.

Se observa un valor mayor de los resultados con el uso del Excel. Su mayor valor es por los datos de PR presentados anteriormente.

Fue obtenido una diferencia promedia entre la energía generada calculada en cada herramienta de 7,80% con una variación máxima de 9,83%. Como todos los datos están próximo es posible decir que los datos están de acuerdo.

La tabla abajo presenta la cantidad de energía demandada por el sistema que es cubierta por la instalación de los paneles fotovoltaicos en ángulo óptimo en los techos y pegados en las paredes de la fábrica.

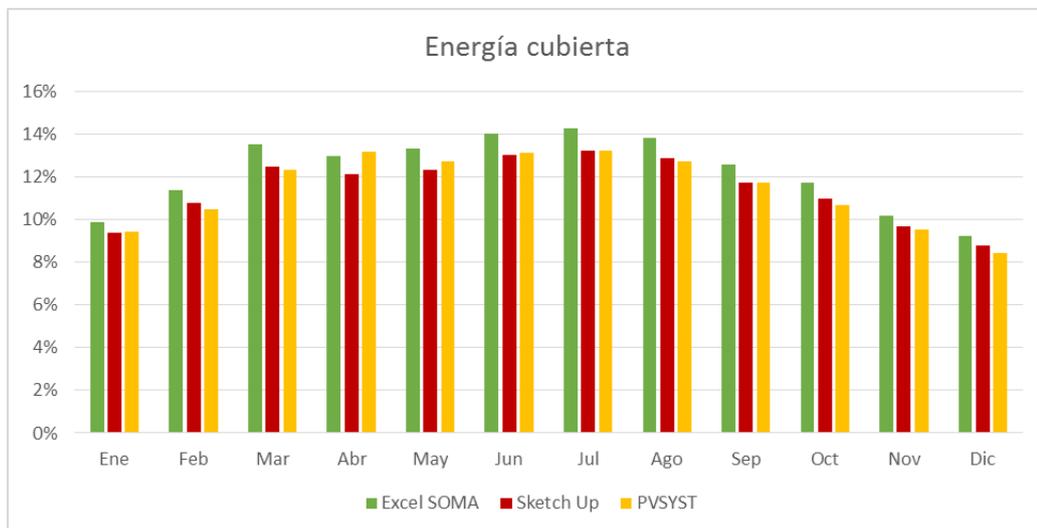


Figura 29. Energía cubierta del sistema con paneles en ángulo óptimo.

En la columna verde se observa los datos de energía cubierta de la demanda con el uso de los datos de energía generada en el Excel, en la columna roja con SketchUp y con color amarilla del PVSyst.

Así como presentado en gráfico anterior, en este se nota un mayor porcentaje de energía cubierta con el uso del Excel. Con el SketchUp tenemos un promedio de energía cubierta a lo largo del año de 11,46%, con PVSyst, 11,47% y con Excel de 12,25%.

4.4.3 Comparación de los resultados de los sistemas propuestos

Esta sección se propone a presentar la comparación de los resultados presentados en el capítulo anterior de los dos sistemas propuestos.

4.4.3.1. Comparación de resultados de energía generada

Fue observado que el sistema con la instalación de paneles pegados produce más energía, y por consiguiente, cobre una mayor demanda de energía de la fábrica. El grafico abajo compara los dos sistemas propuesto por 50 años.

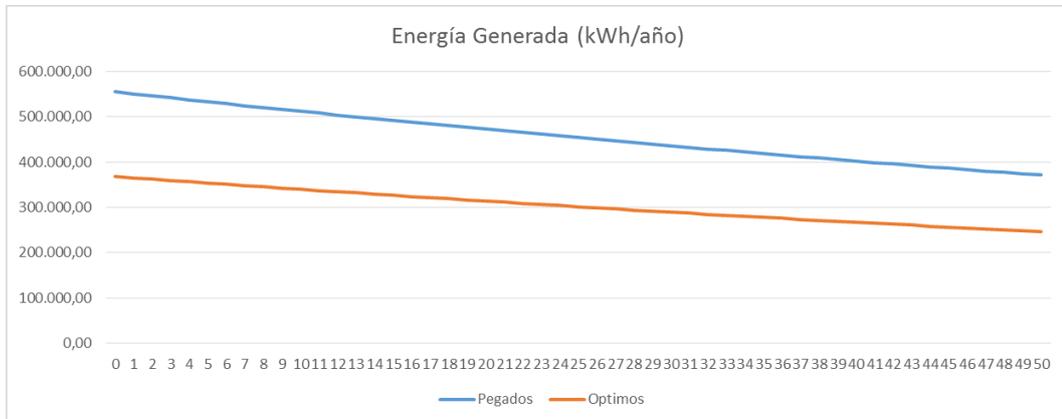


Figura 30. Comparación de energía generada de los sistemas.

Es observable una tendencia de baja en ambas las curvas porque hay una degradación de ambas las instalaciones al longo de los años. El coeficiente de degradación en ambos los casos es de 0,80 %/año.

4.4.3.2. Comparación de resultados ambientales

Así como fue presentada la comparación de los resultados de energía generada en cada sistema, el mismo grafico es aplicado para las emisiones evitadas de kg CO₂eq, g SO_x y g NO_x. Los gráficos abajo presentan esas emisiones evitadas.

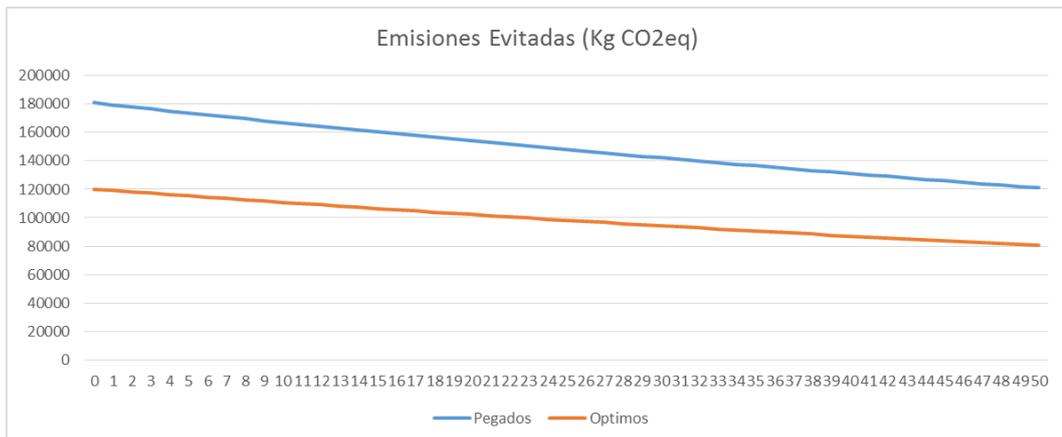


Figura 31. Comparación de emisiones evitadas de kg CO₂ eq de los sistemas.

Los sistemas de paneles pegados y en posición óptima empiezan evitando 180.901,44 kg CO₂eq y 120.107,05 kg CO₂eq, respectivamente.

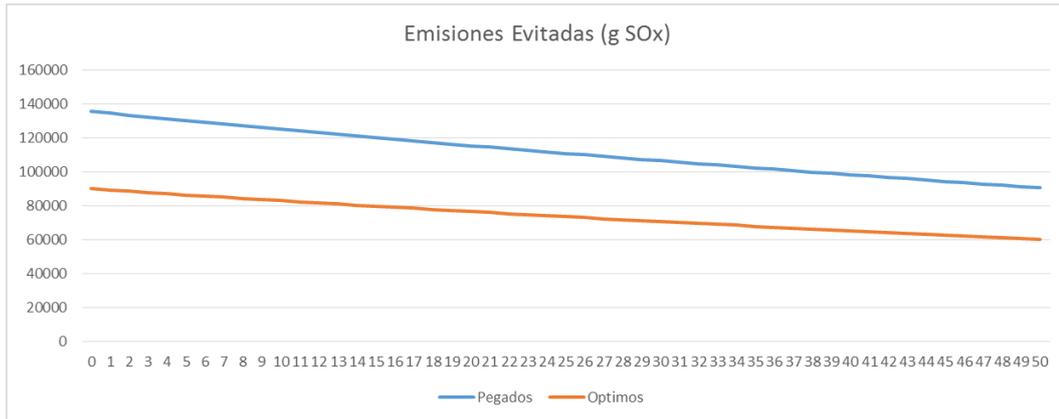


Figura 32. Comparación de emisiones evitadas de g SOx de los sistemas.

Los sistemas de paneles pegados y en posición óptima empiezan evitando 135.398,62 g SOx y 89.896,07 g SOx, respectivamente.

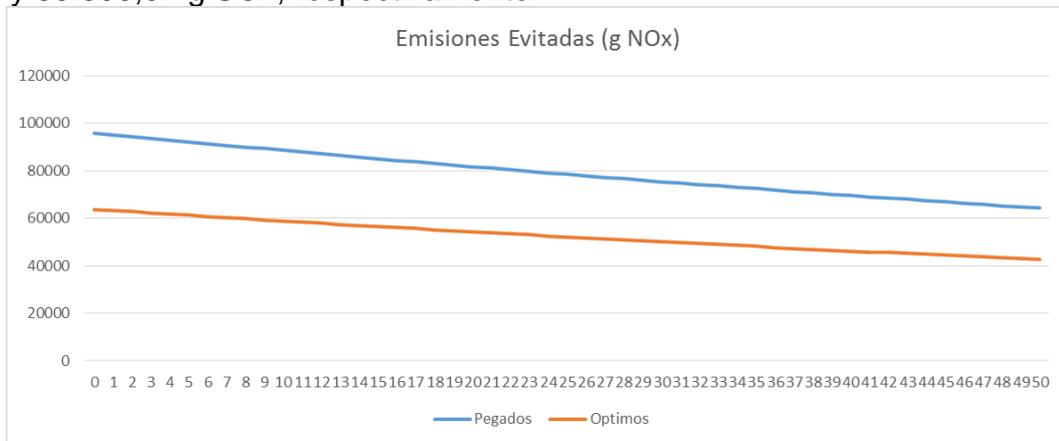


Figura 33. Comparación de emisiones evitadas de g NOx de los sistemas.

Los sistemas de paneles pegados y en posición óptima empiezan evitando 95.999,84 g SOx y 63.737,78 g SOx, respectivamente.

Es observable la misma tendencia de baja que fue observada en el gráfico de generación de energía eléctrica en todas las curvas de emisiones evitadas. La tendencia es por la misma degradación de los sistemas.

4.4.3.3. Comparación de resultados económico

Para presentar la comparación de los resultados económicos es necesario presentar primero la diferencia en los dos dimensionamientos. En relación al número de paneles tenemos:

Tabla 22. Comparación de número de paneles en los sistemas.

Paneles	Total	Techo 01	Techo 02	Pared 01	Pared 02
Pegados	1649	611	611	336	91
Optimos	1077	266	384	336	91

Tenemos un total de 572 más paneles en el sistema pegado que en ángulo óptimo, siendo 345 en el techo 01 y 227 en el techo 02. Es observable que las caras pared 01 y

pared 02 son iguales, pues los paneles están pegados en la pared de la fábrica. Esta diferencia es ilustrada en el gráfico abajo.

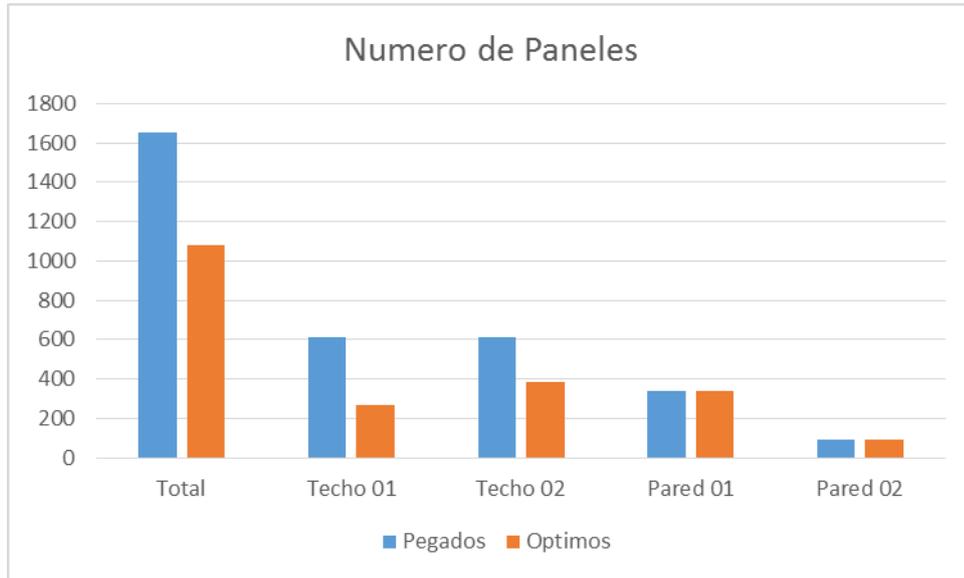


Figura 34. Comparación de número de paneles de los sistemas.

Siendo las columnas en color azul presentando el sistema con paneles pegados y naranja el sistema con paneles en ángulo óptimo.

A partir de estos dimensionamientos tenemos los costes que incluyen los precios de los paneles, de los inversores, del BOS y del mantenimiento:

Tabla 23. Comparación de costes de paneles en los sistemas.

Coste	Total	Techo 01	Techo 02	Pared 01	Pared 02
Pegados	576.156	206.565	206.565	127.695	35.331
Optimos	394.671	101.119	130.526	127.695	35.331

De forma gráfica:

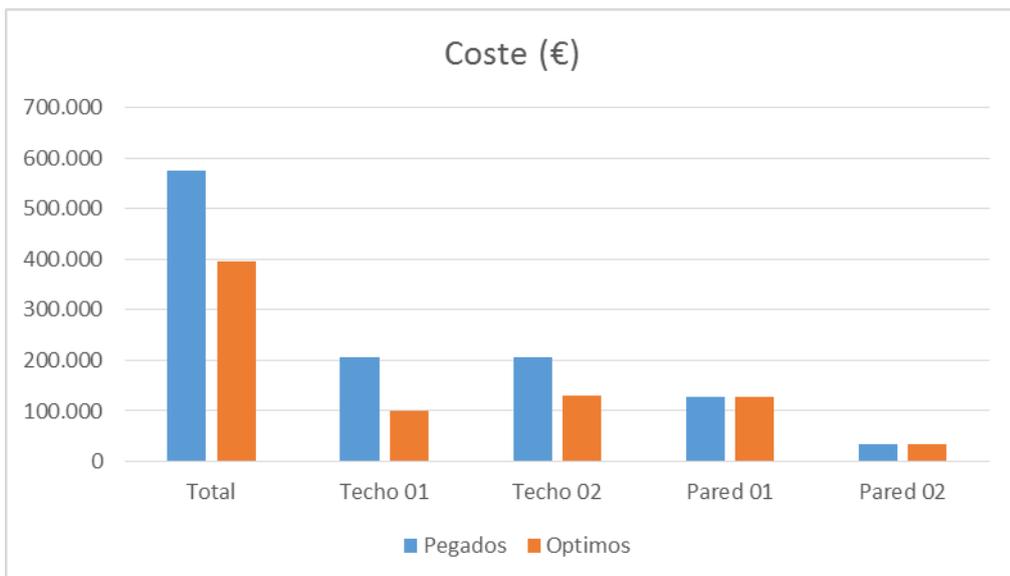


Figura 35. Comparación de costes de los sistemas.

Siendo las columnas en color azul presentando el sistema con paneles pegados y naranja el sistema con paneles en ángulo óptimo.

Tabla 24. Comparación de inversión en los sistemas.

Inversión	Total	Techo 01	Techo 02	Pared 01	Pared 02
Pegados	516.505	185.968	185.968	114.268	30.301
Optimos	351.519	90.108	116.842	114.268	30.301

De forma gráfica:

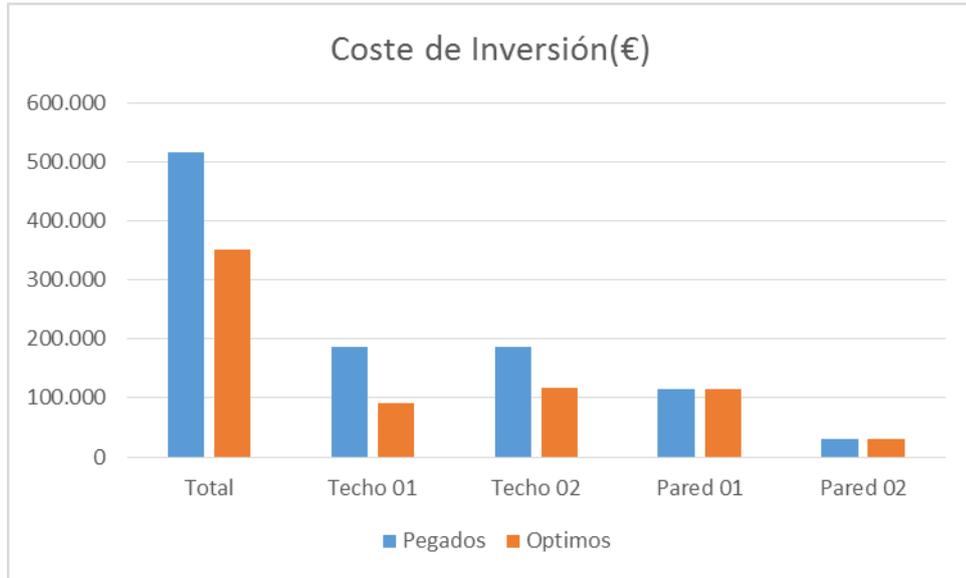


Figura 36. Comparación de costes de inversión de los sistemas.

Siendo las columnas en color azul presentando el sistema con paneles pegados y naranja el sistema con paneles en ángulo óptimo.

Mantenimiento	Total	Techo 01	Techo 02	Pared 01	Pared 02
Pegados	59.651	20.597	20.597	13.427	5.030
Optimos	43.152	11.011	13.684	13.427	5.030

De forma gráfica:

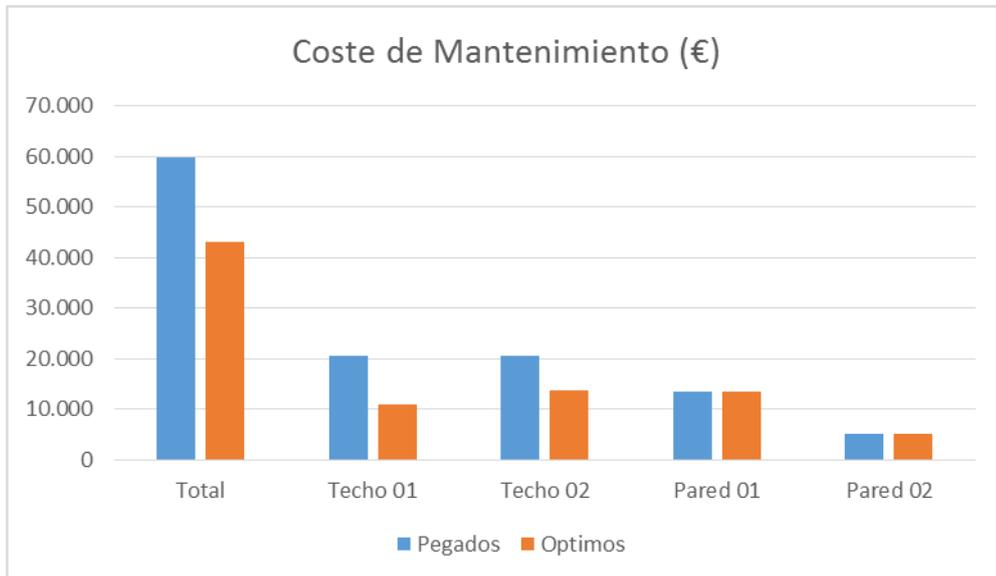


Figura 37. Comparación de costes de mantenimiento de los sistemas.

Siendo las columnas en color azul presentando el sistema con paneles pegados y naranja el sistema con paneles en ángulo óptimo.

Por fin, podemos presentar el comportamiento del TR, o sea, de la tasa de retorno, considerando NPV y la inversión inicial, con el precio de la energía en kWh en la red:

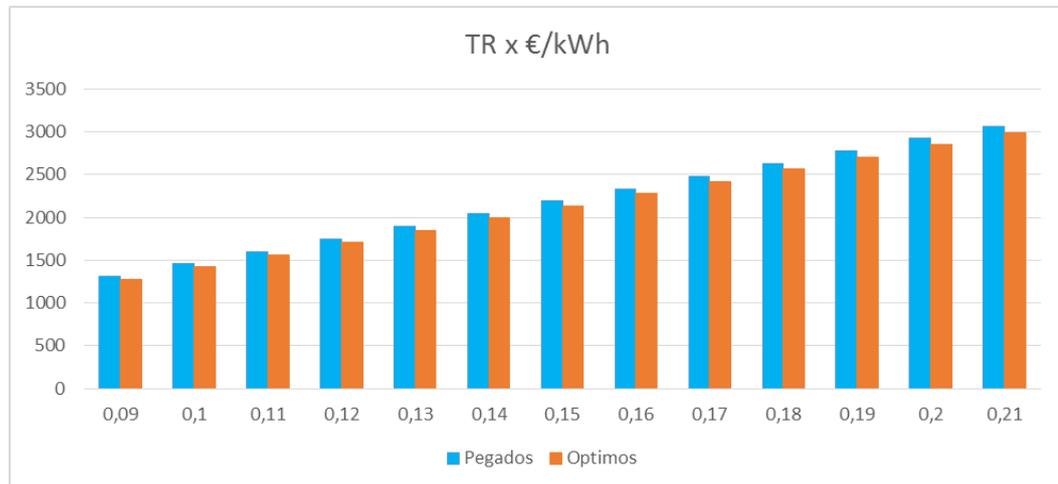


Figura 38. Comparación de los resultados económicos de los sistemas.

Siendo las columnas en color azul presentando el sistema con paneles pegados y naranja el sistema con paneles en ángulo óptimo. En la figura 38 obtenemos una relación lineal entre los dos sistemas que se mantiene conforme se varia el precio de la energía.

CAPITULO 5: CONCLUSIONES

En este capítulo se propone a presentar las conclusiones a respecto de todos los datos presentados en este trabajo. Además, es importante decir algunas limitaciones del trabajo junto a sugerencias de trabajos futuros.

5.1 Conclusiones generales

En un primero momento fue propuesto la instalación de paneles fotovoltaicos en cuatro caras de una fábrica, en esta propuesta todos los paneles están pegados a superficie de contacto, techo y pared. Este sistema contiene un total de 1.649 paneles y una inversión inicial de 516.505 €. Empieza a generar 554.912,41 kWh/año cubriendo un promedio de este año de 18,29%.

En un segundo sistema propuesto la instalación contiene paneles fotovoltaicos en ángulo óptimo para el techo de la fábrica y pegados a las dos paredes. Este sistema contiene un total de 1.077 paneles y una inversión inicial de 315.519 €. Empieza a generar 368.426,53 kWh/año cubriendo un promedio de este año de 11,46%.

La energía generada calculada con las tres diferentes herramientas presentaron resultados similares como fue descrito en el capítulo 4. Este resultado es importante porque el método de cálculo de la energía generada en cada una de la herramienta es totalmente independiente un del otro.

Para el sistema fotovoltaico con paneles pegados tenemos un retorno acumulado corregido a inflación interanual a lo largo de 50 años de 1.054.832.279,06 €. Para el sistema fotovoltaico con paneles en ángulo óptimo tenemos 700.282.087,35 €. O sea, una diferencia de 33,61%. Así, si dispongo del capital de la inversión la propuesta seria de invertir en el sistema de paneles pegados, con una inversión total de 516.505 €, al revés de invertir en el sistema de paneles en ángulo óptimo con una inversión total de 351.519 €.

Cuando hacemos una comparación de la tasa de retorno, considerando NPV y la inversión inicial, tenemos una diferencia de solamente 2,5 %, siendo el sistema con paneles pegados 2.042,250 y el sistema con paneles en ángulo óptimo 1.992,160. Así, es posible decir que el retorno económico por dinero invertido es el mismo. No pierdo dinero por no usarlo de manera óptima.

Hay una cuestión a respecto de eficiencia y de impactos ambientales cuando comparamos los dos sistemas, de paneles pegados y de paneles en ángulo óptimo. El sistema con paneles pegados es menos eficiente pero tiene un menor impacto ambiental,

al revés del sistema en ángulo óptimo que es más eficiente pero tiene más impacto ambiental.

Cuando comparado el criterio económico de los dos sistemas no obtenemos diferencias significativas, pero se compara los criterios ambientales sí. Así, es importante considerar este criterio en la hora de elegir un sistema.

Un punto de importante discusión es en el corte de 25 años, pues es cuando la garantía de los módulos cierra.

Se ha puesto un precio de energía de 0,14 €, pues este es el precio que se pagaría por la electricidad. Como ya fue comentado en la sección de metodología, los valores económicos calculados son ahorros a respecto con los costes de energía que hubiéramos tenido que pagar en caso de consumir la electricidad de la red.

Si la energía producida fuera inyectada a la red teníamos que poner un precio de venta en torno de 0,08 €. Así, los cálculos económicos representarían una entrada de capital real. Sin embargo, dada la diferencia de precio, la manera óptima desde el punto de vista económico es no inyectar nada a la red, sino consumir en tiempo real toda la energía generada por el sistema fotovoltaico.

5.2 Limitaciones del trabajo

Esta sección se propone a presentar las limitaciones del trabajo presentado con sus resultados.

Se podrían analizar otros impactos "no eléctricos", tales como ocupación de suelo, modificación del albedo local, impacto paisajístico, etc... Esto quedo fuera del alcance del trabajo.

Además se podría añadir más costes a la instalación, por ejemplo, añadir en un año concreto alguna salida excepcional debida a reparaciones, imprevistos, etc...

5.3 Sugerencias de trabajos futuros

Esta sección se propone a presentar las sugerencias para futuros trabajos.

Una primera sugerencia seria valorar con el uso de un modelo, cual la mejor solución de dimensionamiento sería mejor para emplear. Se tiene en cuenta las emisiones, la inversión y retorno.

Hay una gama de diferentes tecnologías de energía solar fotovoltaica que no fueron propuestas en la comparación de los sistemas. Sería importante abordar con las diferentes tecnologías presentadas en el capítulo dos.

Además de las tecnologías, hay una gama de diferentes aplicaciones del sistema de energía solar fotovoltaica como la construcción del sistema integrado, planta desalinizadora, espacio, también se presentan sistemas de energía solar y bombas. En este trabajo sería útil proponer diferentes esquemas para una mejor tomada de decisión. Otra sugerencia de trabajo futuro sería formular un modelo dinámico en el tiempo donde la fábrica de módulos solares produce su propio modulo fotovoltaico que será utilizado para autoconsumo. Así, conforme se fabrica el módulo fotovoltaico se va “limpiando” el mix de energía. Sería posible calcular un ritmo óptimo de fabricación.

REFERENCIAS

- [1] Knijnik, R. Energia e meio ambiente em Porto Alegre: bases para o desenvolvimento. Porto Alegre, CPEA, 1994.
- [2] J. Peng, L. Lu, H. Yang. "Review on life cycle assessment of energy payback and greenhouse gas emission of solar photovoltaic systems". *Renew. Sustain. Energy. Rev*, 19 (2013), pp. 255–274.
- [3] E. A. Alsema, E. Nieuwlaar. "Energy viability of photovoltaic systems". *Energy Policy*, 28 (2000), pp. 999–1010.
- [4] B. Parida, S. Iniyar, R. Goic. "A review of solar photovoltaic Technologies". *Renew Sustain Energy Rev*, 15 (2011), pp. 1625–1636.
- [5] R.W. Miles, K.M. Hynes, I. Forbes. "Photovoltaic solar cells: an overview of state-of-the-art cell development and environmental issues". *Prog. Cryst. Growth Charact. Mater.* 51 (2005), pp. 1–42.
- [6] Swiss BiPV Competence Centre, Energy from the Sun, <http://www.bipv.ch/index.php?option=com_content&view=article&id=213&Itemid=3&lang=enS>, 2010a (accessed November 18, 2011).
- [7] D.M. Chapin, C.S. Fuller, G.L. Pearson, *Journal of Applied Physics* 25 (1954) 676.
- [8] A.E. Becquerel. *Compt. Rend. Acad. Sci.*, 9 (1839), p. 145. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927024804000923>
- [9] M.A. Green. "Photovoltaics: technology overview". *Energy Policy*, Special issue: the viability of solar photovoltaics, 28 (2000), pp. 989–998.
- 20e22.
- [10] M. A. Green. "Power to the People". UNSW Press, Sydney (2000).
- [11] B. Parida, S. Iniyar, R. Goic. "A review of solar photovoltaic Technologies". *Renew Sustain Energy Rev*, 15 (2011), pp. 1625–1636.
- [12] L. D. Partain (Ed.), *Solar Cells and Their Applications*, Wiley, 1995.
- [13] M.A. Green, *Solar Cells: Operating Principles, Technology and Systems Applications*, Prentice-Hall, 1992.
- [14] Devis Luis Marinoski; Isabel Tourinho Salamoni; Ricardo Rüter. *Pré-Dimensionamento de Sistema Solar Fotovoltaico: Estudo de Caso do Edifício Sede do CREA-SC. I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável. X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. 18-21 julho 2004, São Paulo. ISBN 85-89478-08-4.*

- [15] Bhubaneswari Paridaa, S. Iniyamb, Ranko Goicc. "A review of solar photovoltaic Technologies". 12 January 2011 (MELHORAR)
- [16] M. Raugei, P. Frankl, Life cycle impacts and costs of photovoltaic systems: current state of the art and future outlooks, *Energy* 34 (3) (2009) 392–399.
- [17] B. Petter Jelle, C. Breivik, H. Drolsum Røkenes. "Building integrated photovoltaic products: a state-of-the-art review and future research opportunities". *Solar Energy Mater Sol Cells*, 100 (2012), pp. 69–96
- [18] T.M. Bruton. "General trends about photovoltaics based on crystalline silicon". *Solar Energy Mater Sol Cells*, 72 (2002), pp. 3–10.
- [19] Yang J, Banerjee A, Guha S. Amorphous silicon based photovoltaics—from earth to the "final frontier". *Solar Energy Materials & Solar Cells* 2003;78:597–612.
- [20] Bhubaneswari Paridaa, S. Iniyamb, Ranko Goicc. "A review of solar photovoltaic Technologies". 12 January 2011 (MELHORAR)
- [21] Green MA, Basore PA, Chang N, Clugston D, Egan R, Evans R, Hogg D, Jarnason S, Keevers M, Lasswell P, Sullivan JO, Schubert U, Turner A, Wenham SR, Young T. Crystalline silicon on glass (CSG) thin-film solar cell modules. *Solar Energy* 2004;77:857–63.
- [22] J.J. Loferski, *Journal of Applied Physics* 27 (1956) 777.
- [23] J.J. Loferski, *Proceedings of the 12th IEEE Photovoltaics Specialists Conference*, 1976, p. 853.
- [24] N. A. Gokcen, J.J. Loferski, *Solar Energy Materials* 1 (24) (1979) 271.
- [25] D. A. Cusano, *Solid State Electronics* 6 (1963) 217.
- [26] E. I. Adriorovich, Y.M. Yuanov, G.R. Yadudaev, *Soviet Physics e Semiconductors* 3 (1969) 61.
- [27] Barnett AM, Rand JA, Hall RB, Bisailon JC, DelleDonne EJ, Feyock BW, Ford DH, Ingram AE, Mauk MG, Yasko JP, Sims PE. High current, thin silicon-on-ceramic solar cell. *Solar Energy Materials & Solar Cells* 2001;66:45–50.
- [28] G. P. Willeke, *Proceedings of 19th European Solar Energy Conference*, Paris, June 2004, pp. 383e386.
- [29] Fritsche, et al., *Thin Solid Films* 403e404 (2002) 252e257.
- [30] R.W. Miles, et al., in: V. Stefan, E.V. Zharikov (Eds.), *Frontiers in Science and Technology*, vol. 2, Stefan University Press, La Jolla, California, 2002, pp. 107e140.

- [31] Franklin E, Everett V, Blakers A, Weber K. Sliver solar cells: high-efficiency low-cost PV technology. *Advances in Opto Electronics* 2007;2007.
- [32] S. Buecheler, A. Chirila, J. Perrenoud, L. Kranz, C. Gretener, P. Blosch, F. Pianezzi, S. Seyrling, A.N. Tiwari, Flexible and lightweight solar modules for new concepts in building integrated photovoltaics, in: *Proceedings of the CISBAT*, Lausanne, Switzerland, September 14–16, 2011.
- [33] Green World Investor, Efficiency of Solar Cells Made of Silicon (monocrystalline, multicrystalline), Thin Film (CIGS, CIS, aSi, CdTe, CZTS), Multijunction, [/http://www.greenworldinvestor.com/2011/04/17/efficiency-of-solar-cells-made-of-silicon-monocrystalline-multicrystalline-thin-film-cigscisasicdteczts-multijunction/S](http://www.greenworldinvestor.com/2011/04/17/efficiency-of-solar-cells-made-of-silicon-monocrystalline-multicrystalline-thin-film-cigscisasicdteczts-multijunction/S), April 17, 2011 (accessed December 11, 2011).
- [34] S. Ishizuka, A. Yamada, K. Matsubara, P. Fons, K. Sakurai, S. Niki, Development of high-efficiency flexible Cu(In,Ga)Se₂ solar cells: a study of alkali doping effects on CIS, CIGS, and CGS using alkali-silicate glass thin layers, *Current Applied Physics* 10 (2010) 154–156.
- [35] I. Repins, S. Glynn, J. Duenow, T.J. Coutts, W.K. Metzger, M.A. Contreras, Required material properties for high-efficiency CIGS modules, in: *Proceedings of SPIE—The International Society for Optical Engineering*, vol. 7409, art. no. 74090M, 2009.
- [36] The German Energy Society (DGS), *Planning and Installing Photovoltaic Systems—A guide for Installers, Architects and Engineers*, Earthscan, 2008.
- [37] National Renewable Energy Laboratory (NREL), *Best Research-Cell Efficiencies*, Rev. 12-2011, [/http://www.nrel.gov/ncpv/images/efficiency_chart.jpg](http://www.nrel.gov/ncpv/images/efficiency_chart.jpg), 2011 (accessed January 15, 2012).
- [38] Solar Plaza, *Top 10 World’s Most Efficient Solar PV Modules (mono-crystalline)*, [/http://www.solarplaza.com/top10-crystalline-module-efficiency/S](http://www.solarplaza.com/top10-crystalline-module-efficiency/S), July 8, 2011 (accessed December 11, 2011).
- [39] M. Powalla M, Dimmler B. CIGS solar cells on the way to mass production: Process statistics of a 30 cm × 30 cm module line. *Solar Energy Materials & Solar Cells* 2001;67:337–44.
- [40] Aberle Armin G. Fabrication and characterisation of crystalline silicon thinfilm materials for solar cells. *Thin Solid Films* 2006;511–512:26–34.

- [42] J. M. H. Halls, R. Friend, in: M. D. Archer, R. Hill (Eds.), *Clean Electricity from Photovoltaics*, Imperial College Press, 2001, pp. 377e445.
- [43] R. A. J. Janssen, J.C. Hummelen, N.S. Sariciftci, *MRS Bulletin* 30 (1) (Jan 2005) 33e36.
- [44] S. R. Forrest, *MRS Bulletin* 30 (1) (Jan 2005) 28e32.
- [45] S. E. Shaheen, D.S. Girley, G. E. Jabbour, *MRS Bulletin* 30 (1) (Jan 2005) 10e19; *MRS Bulletin* 30 (1) (Jan 2005)
- [46] K. M. Coakley, Y. Lii, G. Chiatzun, M. D. McGehee, *MRS Bulletin* 30 (1) (Jan 2005) 37e40. [60] D.J. Million, I. Gur, P. Alivisatos, *MRS Bulletin* 30 (1) (Jan 2005) 41e44.
- [47] D. J. Million, I. Gur, P. Alivisatos, *MRS Bulletin* 30 (1) (Jan 2005) 41e44.
- [48] G. G. Wallace, C. O. Too, D. L. Officer, P. C. Dastoor, *MRS Bulletin* 30 (1) (Jan 2005) 46e49.
- [49] C. J. Brabec, J. A. Hauch, P. Schilinsky, C. Waldauf, *MRS Bulletin* 30 (1) (Jan 2005) 50e52.
- [50] Jørgensen M., Norrman K., Krebs FC. Stability/degradation of polymer solar cells. *Solar Energy Materials & Solar Cells* 2008;92:686–714.
- [51] M. Green, K. Emery, D.L. King, S. Igari, W. Warta, *Progress in Photovoltaics, Research and Applications* (2005), 1349e1354.
- [52] M. Watt, A. Jhonson, M. Ellis, N. Quthred. “Life cycle air emission from PV power systems”. *Progr. Photovoltaic Res. Appl.*, 6 (2) (1998), pp. 127–136.
- [53] Tezuka T, Okushima K, Sawa T. Carbon tax for subsidizing photovoltaic power generation systems and its effect on carbon dioxide emissions. *Applied Energy* 2002;72:677–88.
- [54] Fthenakisa VM, Kima HC. Greenhouse-gas emissions from solar electric- and nuclear power: A life-cycle study. *Energy Policy* 2007;35:2549–57.
- [55] Kannan R, Leong KC, Osman R, Ho HK, Tso CP. Life cycle assessment study of solar PV systems: An example of a 2.7 kWp distributed solar PV system in Singapore. *Solar Energy* 2006;80:555–63.
- [56] Tsoutsos T, Frantzeskaki N, Gekas V. Environmental impacts from the solar energy technologies. *Energy Policy* 2005;33:289–96.
- [57] Sergio P, Deepak S, Keoleian GA. Parameters affecting the life cycle performance of PV technologies and systems. *Energy Policy* 2007;35:3316–26.

- [58] Hondo H. Life cycle GHG emission analysis of power generation systems: Japanese case. *Energy* 2005;30:2042–56.
- [59] ATHANASIA, A. L. The economics of photovoltaic stand-alone residential households: a case study for various European and Mediterranean locations. *Solar Energy & Solar Cells*, n.62, p.411-427, 2000.
- [60] Devis Luis Marinoski; Isabel Tourinho Salamoni; Ricardo Rütther. Pré-Dimensionamento de Sistema Solar Fotovoltaico: Estudo de Caso do Edifício Sede do CREA-SC. I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável. X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. 18-21 julho 2004, São Paulo. ISBN 85-89478-08-4.
- [61] Bhuiyan MMH, Ali Asgar M, Mazumder RK, Hussain M. Economic evaluation of a stand-alone residential photovoltaic power system in Bangladesh. *Renewable Energy* 2000;21:403–10.
- [62] Kivaisi RT. Installation and use of a 3 kWp PV plant at Umbuji village in Zanzibar. *Renewable Energy* 2000;19:457–72.
- [63] Bansal N. K., Sandeep G. Integration of photovoltaic technology in cafeteria building, at Indian Institute of Technology, New Delhi. *Renewable Energy* 2000;19:65–70.
- [64] R.W. Miles, K.M. Hynes, I. Forbes. “Photovoltaic solar cells: An overview of state-of-the-art cell development and environmental issues”. *Prog. Cryst. Growth Charact. Mater*, 51 (2005), p. 1.