

Proyecto Fin de Máster
Máster en Ingeniería Industrial

Modelado matemático y estudio de la producción de
un campo de colectores fotovoltaicos

Autor: Jorge Moreno Delgado

Tutor: Antonio Javier Gallego Len

Dpto. Ingeniería de Sistemas y Automática
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2024



Proyecto Fin de Máster
Máster en Ingeniería Industrial

Modelado matemático y estudio de la producción de un campo de colectores fotovoltaicos

Autor:

Jorge Moreno Delgado

Tutor:

Antonio Javier Gallego Len

Profesor titular

Dpto. de Ingeniería de Sistemas y Automática

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2024

Proyecto Fin de Máster: Modelado matemático y estudio de la producción de un campo de colectores
fotovoltaicos

Autor: Jorge Moreno Delgado

Tutor: Antonio Javier Gallego Len

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

El Secretario del Tribunal

Sevilla, 2024

Agradecimientos

Con este Trabajo de Fin de Máster concluye mi etapa como estudiante en la Universidad de Sevilla y es inevitable no acordarme de las personas que me han acompañado durante este trayecto.

En primer lugar, agradecer a Antonio, el tutor de este Trabajo de Fin de Máster, por involucrarse en la elaboración de este aportando diversas fuentes de información y aconsejándome a medida que iba cumpliendo distintos hitos.

La curiosidad y sabiduría con la que me dotó mi padre junto a la alegría que me caracteriza que heredé de mi madre han estado presentes durante esta etapa universitaria (y estoy seguro de que seguirán estando). Tan presente como ellos, a pesar de haber cientos de kilómetros de distancia. Gracias por todo lo que hacéis por mí. Gracias Ana, por estar a mi lado como la sombra que acompaña a uno mismo durante toda su vida, eres la hermana pequeña que todo hermano mayor hubiese deseado tener.

Gracias a Jaime, Sergio, Javier, Carmen y Virginia, por haber construido recuerdos imborrables de Sevilla. Sin duda, han sido años muy especiales gracias a vosotros. Cada rincón de esta ciudad tiene un recuerdo asociado a cada uno de vosotros.

No concibo no acordarme en estos momentos de Vito, Fer, Laura, Mario, Cris, Javi, María y Marta, siento que la persona que soy hoy en día tiene un rasgo de cada uno de vosotros. Gracias por mirar con orgullo cada paso que doy.

Por último, agradecer a Laura el estar presente día tras día, celebrar mis logros como si fuesen suyos y animarme a seguir dando pasos en mi vida tanto académica como personal. Sobre todo, gracias por tu cariño, escucharme cuando más lo necesito y aconsejarme de la manera tan única y sincera que lo haces.

“Cuanto más trabajo, más suerte tengo.”

- Thomas Jefferson-

Resumen

Con este Trabajo de Fin de Máster se pretende realizar un modelado matemático de un campo fotovoltaico con el objetivo de analizar cómo la distribución de estos paneles y el uso de Seguidores del Punto de Máxima Potencia (MPPT) afectan a la eficiencia del campo fotovoltaico. Un aspecto crítico de este trabajo será la evaluación del impacto de las sombras, un factor que reduce significativamente la producción de energía.

El modelado del campo fotovoltaico permitirá la simulación de diferentes configuraciones y estrategias de unión de paneles fotovoltaicos, analizando el comportamiento bajo distintas condiciones de temperatura y radiación.

Se realizará el análisis de cómo los MPPTs maximizan la producción de energía ajustando de manera continua los valores de voltaje e intensidad con la finalidad de obtener la máxima potencia disponible. Además de analizar las pérdidas de eficiencia generadas por las sombras y se propondrán soluciones para minimizar estos efectos adversos.

Se pretende una comprensión del funcionamiento de los módulos fotovoltaicos en escenarios realistas, buscando contribuir al desarrollo de campos fotovoltaicos capaces de mantener un rendimiento óptimo en condiciones ambientales variables.

Abstract

The objective of this Thesis is to perform a mathematical modelling of a photovoltaic field to analyze how the distribution of these panels and the use of Maximum Power Point Trackers (MPPT) affect the efficiency of the photovoltaic field. A critical aspect of this work will be the evaluation of the impact of shading, a factor that significantly reduces energy production.

The modelling of the PV field will allow the simulation of different PV panel configurations and mounting strategies, analyzing the behavior under different temperature and radiation conditions.

It will be analyzed how MPPTs maximize energy production by continuously adjusting the voltage and current values to obtain the maximum available power. In addition, the efficiency losses generated by shading will be analyzed and solutions to minimize these adverse effects will be proposed.

The aim is to understand the performance of photovoltaic modules in realistic scenarios, trying to contribute to the development of photovoltaic fields capable of maintaining optimal performance under varying environmental conditions.

Índice

Agradecimientos	7
Resumen	9
Abstract	11
Índice	12
Índice de Figuras	14
1 Introducción	1
2 Evolución histórica y Desarrollo de la energía fotovoltaica	3
2.1. Origen y Desarrollo de la energía fotovoltaica	3
2.2. Energía fotovoltaica en España	4
3 El panel fotovoltaico	11
3.1 Teoría de semiconductores	11
3.2 Materiales semiconductores	12
3.3 Características de un panel fotovoltaico	16
3.4 Conexionado en serie y en paralelo	18
3.5 Factores a tener en cuenta en el funcionamiento de un panel fotovoltaico	19
3.6 Punto de trabajo del panel fotovoltaico	21
4 Sistema de seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT)	24
4.1 Método de Perturbación y Observación (P&O)	24
4.2 Método Incremental Conductance (IC)	26
5 El diodo By-Pass	29
5.1 Polarización directa	29
5.2 Polarización inversa	30
5.3 Funcionamiento de un diodo by-pass	30
6 Inversor de corriente	33
6.1 Principio de funcionamiento	33
6.2 Modulación por ancho de pulso	33
6.3 Características técnicas de un inversor	36
6.4 Tipos de inversores	36
7 Modelado Matemático	38
7.1 Modelo basado en un circuito equivalente a un diodo	38
7.2 Cálculo de los valores para el modelado bajo condiciones estándar	39
7.3 Cálculo de los valores para el modelado bajo condiciones reales	42
7.4 Empleo de métodos iterativos para su resolución	43
8 Resultados	45
8.1 Descripción del campo fotovoltaico	45
8.2 Datos del campo fotovoltaico real	47
8.3 Campo fotovoltaico simulado matemáticamente	48
8.4 Comparativa de resultados	48
8.4.1 Día soleado de Verano	48

8.4.2	Día soleado de Invierno	51
8.4.3	Producción fotovoltaica durante un año	53
8.5	<i>Simulación de instalación afectada por sombras generadas por edificios</i>	55
9	Conclusiones	59
	BIBLIOGRAFÍA	60
	ANEXOS	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Evolución de la energía fotovoltaica en Europa	4
Figura 2. Evolución del origen de la energía en España	5
Figura 3. Clasificación de los materiales en función de su banda prohibida	12
Figura 4. Enlaces de un material formado por átomos de silicio	12
Figura 5. Enlaces de un material tipo N dopado	13
Figura 6. Enlaces de un material tipo P dopado	13
Figura 7. Campo eléctrico generado por la unión PN	14
Figura 8. Esquema del campo eléctrico generado por la unión PN	15
Figura 9. Variación del comportamiento de un panel en función del valor de R_s	15
Figura 10. Variación del comportamiento de un panel en función del valor de R_p	16
Figura 11. Esquema del campo eléctrico generado por la unión PN incluyendo las pérdidas	16
Figura 12. Intensidad de cortocircuito, voltaje en circuito abierto y potencia máxima de un módulo	17
Figura 13. Factor de forma de un módulo fotovoltaico	17
Figura 14. Conexión de n módulos en serie	18
Figura 15. Representación gráfica del conexionado de 3 módulos en serie	18
Figura 16. Conexión de n módulos en paralelo	18
Figura 17. Representación gráfica del conexionado de 3 módulos en paralelo	19
Figura 18. Representación gráfica de varias combinaciones de 36 módulos fotovoltaicos	19
Figura 19. Variación de la Gráfica V-I en función de la temperatura	20
Figura 20. Variación de la Gráfica P-V en función de la temperatura	20
Figura 21. Variación de la Gráfica V-I en función de la temperatura	21
Figura 22. Variación de la Gráfica P-V en función de la radiación	21
Figura 23. Intersección entre curva de trabajo y curva V-I	22
Figura 24. Evolución del punto de trabajo ante variaciones de irradiancia	22
Figura 25. Evolución del punto de trabajo para varias cargas resistivas	22
Figura 26. Partes de una planta fotovoltaica	24
Figura 27. Caso 1 donde el incremento de voltaje y potencia son positivos	25
Figura 28. Caso 2 donde el incremento de voltaje es negativo y el de potencia positivo	25
Figura 29. Caso 3 donde el incremento de voltaje es positivo y el de potencia negativo	25
Figura 30. Caso 4 donde el incremento de voltaje y potencia son negativos	25
Figura 31. Diagrama de bloques de las iteraciones del Método de Perturbación y Observación	26
Figura 32. Zonas que delimitan en qué punto se encuentra el algoritmo Incremental Conductance	27
Figura 33. Diagrama de bloques de las iteraciones del Método Incremental Conductance	28
Figura 34. Campos eléctricos generados por las cargas en una unión PN	29

Figura 35. Representación gráfica de la polarización directa	29
Figura 36. Representación gráfica de la polarización inversa	30
Figura 37. Zonas de trabajo de un diodo	30
Figura 38. Ejemplo de funcionamiento de diodo by-pass	31
Figura 39. Curva V-I de string con y sin diodo by-pass	32
Figura 40. Esquema del funcionamiento de un inversor monofásico	33
Figura 41. Conmutación de interruptores y onda generada	34
Figura 42. Señal portadora y de referencia	34
Figura 43. Esquema del funcionamiento de un inversor trifásico	35
Figura 44. Distintas fases del inversor trifásico	35
Figura 45. Conexión de varios microinversores	36
Figura 46. Conexión de un inversor monofásico a una red monofásica	37
Figura 47. Conexión de varios inversores monofásicos conectados a una red trifásica	37
Figura 48. Conexión de un inversor trifásico a una red trifásica	37
Figura 49. Esquema eléctrico de un panel fotovoltaico	38
Figura 50. Conexión de módulos fotovoltaicos en serie y paralelo	39
Figura 51. Curva V-I y puntos de interés (I_{sc} y V_{oc})	44
Figura 52. Características del panel fotovoltaico	45
Figura 53. Características inversor Sungrow SG110CX	46
Figura 54. Voltaje e intensidad producido por cada string el día 15 de julio de 2022.	48
Figura 55. Curva de potencia producida, consumida, comprada y vertida a red el día 15 de julio de 2022	49
Figura 56. Voltaje de la simulación matemática de la planta fotovoltaica 15/07/22	49
Figura 57. Intensidad de la simulación matemática de la planta fotovoltaica 15/07/22	50
Figura 58. Comparativa de potencia generada por la planta fotovoltaica real y teórica 15/07/22	50
Figura 59. Voltaje e intensidad producido por cada string el día 17/01/22	51
Figura 60. Curva de potencia producida, consumida, comprada y vertida a red el día 17/01/22	51
Figura 61. Voltaje de la simulación matemática de la planta fotovoltaica el 17/01/22	52
Figura 62. Intensidad de la simulación matemática de la planta fotovoltaica el 17/01/22	52
Figura 63. Comparativa de potencia generada por la planta fotovoltaica real y teórica el 17/01/22	53
Figura 64. Potencia simulada durante el mes de julio	53
Figura 65. Potencia simulada durante el mes de enero	54
Figura 66. Producción y consumo real de la planta fotovoltaica	54
Figura 67. Edificio de la Calle Brasil (Sevilla)	55
Figura 68. Simulación 3D de la instalación fotovoltaica en la azotea a estudio	56
Figura 69. Conexión de los paneles fotovoltaicos a simular	56
Figura 70. Potencia generada por un string de 8 paneles	57
Figura 71. Potencia generada por 2 strings de 4 paneles cada uno	57
Figura 72. Potencia generada 1 MPPT vs 2 MPPT	58

1 INTRODUCCIÓN

La energía fotovoltaica, que convierte la luz solar en electricidad mediante el uso de células solares, es una de las tecnologías más prometedoras y sostenibles para combatir con el cambio climático, producido por la dependencia eléctrica de los combustibles fósiles. Desde su descubrimiento en el siglo XIX, ha evolucionado significativamente, convirtiéndose en una fuente de energía limpia y sostenible. Con avances tecnológicos que han reducido costos y mejorado la eficiencia, la energía fotovoltaica juega un papel crucial en la transición hacia un futuro energético renovable. Hoy en día, su aplicación se extiende desde pequeñas instalaciones domésticas hasta plantas solares industriales. Estas instalaciones contribuyen al ansiado relevo energético donde se dejen a un lado las energías no renovables que provocan la contaminación de la atmósfera emitiendo gases de efecto invernadero por energía limpia.

España es un país caracterizado, entre varias cosas, por la cantidad de horas de sol. Esto hace que se vuelva un atractivo para la implantación de plantas fotovoltaicas para la generación de energía eléctrica. Hoy en día se aprovecha todo tipo de superficie para la instalación de paneles fotovoltaicos, desde viviendas particulares hasta hectáreas de terreno. Cada una de estas instalaciones llevan asociadas uno o varios inversores de corriente los cuales cuentan con, al menos, un algoritmo que mejora el rendimiento de la instalación fotovoltaica llamado Seguidor de Máxima Potencia o MPPT. Esto consigue un balance entre el voltaje y la corriente en función de las condiciones ambientales a las que se ve expuesto (radiación o temperatura), consiguiendo que todo el sistema trabaje en el punto de máxima potencia.

Sin embargo, uno de los desafíos más complejos en las instalaciones fotovoltaica son las sombras parciales que afectan significativamente en la producción de energía fotovoltaica. Estas sombras pueden estar causadas por elementos del entorno como árboles o edificios.

Tal y como se podrá ver a lo largo de este Trabajo de Fin de Máster, donde se explica la implementación de un programa en Matlab capaz de simular de un sistema fotovoltaico a cualquier escala el permitirá optimizar la conexión de paneles para evitar que las sombras afecten al sistema, el análisis de la producción mensual y anual o el impacto de la temperatura, entre otros aspectos. A su vez, se compararán los resultados arrojados con la producción anual de una instalación de 100 KW.

2 EVOLUCIÓN HISTÓRICA Y DESARROLLO DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA

La energía fotovoltaica, que convierte la luz solar en electricidad mediante el uso de células solares, es una de las tecnologías más prometedoras en la lucha contra el cambio climático. Desde su descubrimiento en el siglo XIX, ha evolucionado significativamente, convirtiéndose en una fuente de energía limpia y sostenible. Con avances tecnológicos que han reducido costos y mejorado la eficiencia, la energía fotovoltaica juega un papel crucial en la transición hacia un futuro energético renovable. Hoy en día, su aplicación se extiende desde pequeñas instalaciones domésticas hasta grandes plantas solares industriales.

2.1. Origen y Desarrollo de la energía fotovoltaica

Los orígenes de la energía fotovoltaica se remontan a 1839, donde el físico francés Alexandre Edmond Becquerel estaba realizando experimentos electroquímicos cuando, por casualidad, observó como la exposición de la luz a dos electrodos metálicos en una solución conductora daban lugar al efecto fotovoltaico [1].

En 1877 fue desarrollado el primer dispositivo para la producción de electricidad fotovoltaica. Consistía en una película de selenio sobre un sustrato de hierro donde una partícula de oro muy fina servía de contacto frontal. La eficiencia que data de dicho dispositivo era del 0,5%. Esto fue desarrollado por Adams y su alumno Richard Day. Un año después, Charles Fritts duplicó esta eficiencia usando también el selenio, pero con un enfoque diferente: dos capas muy delgadas de oro que cubrían otra capa de selenio [2].

En 1904, Albert Einstein publicó un artículo sobre el efecto fotovoltaico, el cual tuvo como recompensa el galardón del Premio Nobel en 1921 [1].

Se produjo un incremento de la eficiencia cuando se reemplazó el silicio por el selenio debido a que, en 1939, Russell Ohl hizo el descubrimiento de regiones tipo n y p en el silicio y el efecto fotoeléctrico en las uniones pn. Un año más tarde, Ohl, desarrolló la primera célula solar de silicio.

En 1954, Calvin Fuller, dopó el silicio para conducir la creación de la primera unión pn. Se trataba de una barra de silicio dopada de litio. Esto conllevó a una eficiencia del 8% [3]. Cinco años más tarde, se alcanzaron rendimientos del 10% debido a la gran inversión que se produjo en la industria americana para la producción de elementos fotovoltaicos para la industria aeroespacial [1] [4].

Hasta el año 1973 se empleaba el silicio monocristalino, posteriormente se empleó el silicio policristalino y el silicio amorfo. El proceso de fabricación de dicho material era mucho más barato. Esto, junto a la aparición de la fotónica o mecánica cuántica permitió mejorar las células fotovoltaicas [5]. A su vez, un sistema fotovoltaico no se categorizó únicamente por el panel fotovoltaico, sino con otros elementos (inversores, baterías, cables que conectan los componentes). La mejora de cualquiera de los distintos elementos conlleva la mejora de la energía fotovoltaica. A partir de este momento, la industria fotovoltaica se convirtió en una tecnología en constante desarrollo con un aumento anual en potencia instalada y producción debido a los esfuerzos en incrementar la eficiencia y reducir el coste de los paneles [4].

En el año 1977, la producción de paneles solares en el planeta era de 500 MWp. En la década de los 2000, la potencia instalada se duplicó, llegando hasta los 1000 MWp. Sólo siete años después, la potencia instalada se multiplica por nueve, llegando hasta los 9 GWp. A finales de 2019, la capacidad fotovoltaica mundial era de 591 GWp. Este crecimiento exponencial es atribuido, en gran medida, a la reducción de costes e implantación de políticas favorables para su implementación [6].

En Europa la energía fotovoltaica ha tenido una evolución desigual. Entre los años 2009 y 2013 se produce un

gran aumento de la potencia instalada debido a el impulso de países como Italia y Alemania. Los años siguientes sufrieron una desaceleración de la instalación de paneles fotovoltaicos, impulsada de nuevo en el año 2018 debido a factores como la reducción de costes y aceleración de la transición energética liderada por España, Alemania y Holanda, entre otros países.

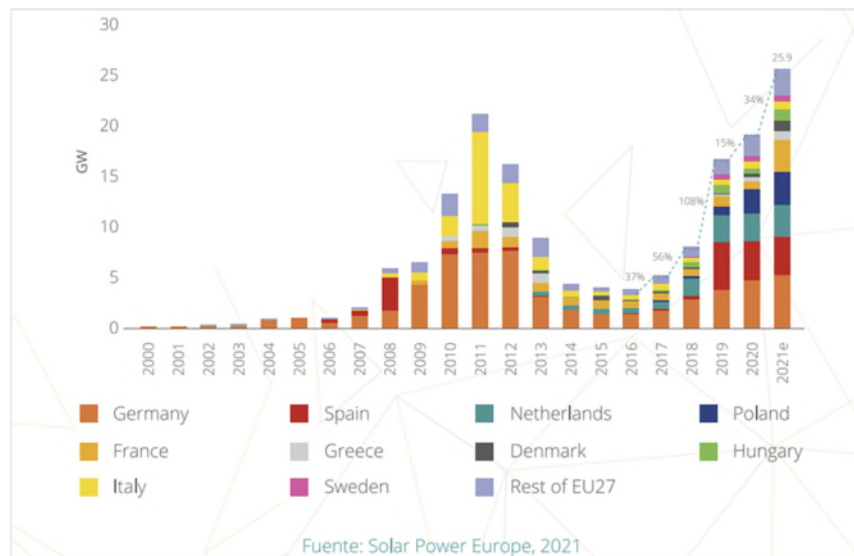


Figura 1. Evolución de la energía fotovoltaica en Europa

En el año 2019 la potencia instalada mundial es de 591 GW, de los cuales 133 GW corresponden a Europa (liderado por Alemania con 49 GW de potencia). Solo un año después, la potencia instalada a nivel mundial se incrementó más de un 20%, llegando a 760 GW y 150,2 GW a nivel europeo [6] [7].

Se han marcado diversos objetivos para el año 2050 donde la energía fotovoltaica constituya la segunda fuente de generación eléctrica más importante a nivel global, solo por detrás de la energía eólica. Esto implicaría que se tendría que alcanzar una potencia instalada de 8519 GW en 2050 [7].

2.2. Energía fotovoltaica en España

Hay que remontarse al año 1986 cuando se aprobó el primer plan energético renovable en el que se instalaron 3 MW de potencia fotovoltaica. A partir de leyes y Reales Decretos entre los años 1997 y 1998 se impulsó la generación eléctrica a través de las energías renovables hasta día de hoy, donde en el año 2022 el 41,3% de la energía generada en España fue renovable [8].

Se llevó a cabo una política de subvenciones muy agresiva, la cual atrae a multitud de inversores. En el año 2007 había una producción fotovoltaica de 152 MWh y tan solo tres años más tarde, en 2010, se alcanzaron los 3842 MWh. Aunque la instalación fotovoltaica cayó debido a la crisis económica que azotó el país, eliminándose las ayudas que se otorgaban por la instalación de esta energía renovable. No fue hasta el año 2014 cuando se volvió a incentivar el fomento de la energía fotovoltaica, consiguiendo una instalación de 5 MW de potencia entre los años 2014 y 2015.

Al igual que ocurrió en Europa, hasta el año 2018 no se produce una aceleración de la energía fotovoltaica debido a la reducción de costes y necesidad de una transición energética hacia un modelo sostenible. En dicho año, España se situaba en 4744 MWh producidos [9].

En el año 2019, España se situaba en la quinta posición a nivel mundial relativa a potencia instalada con 3,5 GW. En el año 2020 se instalaron 2,9 GW en España, liderando junto a Alemania la instalación de energía fotovoltaica en Europa [8].

En España se produjo un impulso a la energía fotovoltaica destinada al autoconsumo puesto que en los últimos años se han instalado 10 GW de potencia en suelo y 2,7 GW de potencia fotovoltaica destinada a autoconsumo. Como consecuencia directa, 2023 ha sido el año con menos emisiones de

CO2 equivalentes (un 28% menos que el año anterior) [8].

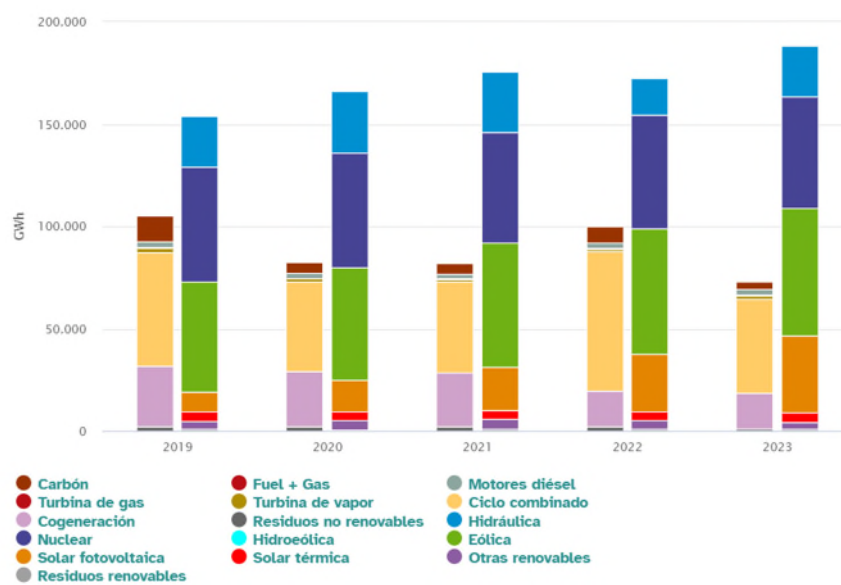


Figura 2. Evolución del origen de la energía en España

3 EL PANEL FOTOVOLTAICO

El principio de funcionamiento de una célula solar se basa en el efecto fotoeléctrico. Dicho efecto se conoce como la generación de una diferencia de potencial entre dos electrodos separados por un electrolito cuando reciben incidencia de la luz. Las células solares están fabricadas con materiales semiconductores, como el silicio. Están formadas por una fina capa semiconductor que genera un campo eléctrico positivo por un lado y negativo por el otro.

Cuando la luz incide sobre la celda solar una parte de los fotones se transmite y, a continuación, se absorbe en el material semiconductor, dando lugar así a pares electrón-hueco y, debido a las fuerzas del campo eléctrico local (campo de unión p-n), los huecos y los electrones se dirigen a lados opuestos. Por este motivo, aparece la diferencia de potencial.

En una unión p-n, un campo eléctrico se orienta desde el lado n hasta el lado p, pero existe una región delgada conocida como banda prohibida que separa los electrones de los huecos, creando la diferencia de potencial positiva desde el lado p hacia el lado n. Esta diferencia de potencial se observa incluso si la unión no está conectada a ningún circuito (no habría corriente eléctrica) y se conoce como Voltaje de circuito abierto. Así mismo, si se cortocircuita entre ambos terminales del semiconductor, los electrones irán desde la región n hasta la p, produciendo la Corriente de cortocircuito.

Un conjunto de celdas solares conectadas entre sí se denomina un módulo fotovoltaico. Los módulos suministran una electricidad a un voltaje determinado pero la corriente producida depende directamente de la cantidad de luz que incide en el módulo. La unión de varios módulos forma un array. Generalmente, cuanto más grande es el área del módulo, más electricidad se producirá.

Los módulos fotovoltaicos producen electricidad en forma continua (CC). Son conectados en serie y paralelo para generar electricidad a un voltaje e intensidad determinados.

El módulo fotovoltaico convierte directamente la luz solar en electricidad. Este proceso consiste en una primera fase donde el material carga el electrón de energía mediante la absorción de luz y una segunda fase donde se extrae el electrón excitado hacia un circuito externo. El material empleado para esta conversión son los materiales semiconductores.

3.1 Teoría de semiconductores

Los átomos están compuestos por un núcleo de carga positiva y partículas que giran alrededor de él, llamadas electrones. Estos electrones únicamente pueden existir en determinados radios alrededor del núcleo del átomo. En función del radio en el que se encuentren (orbital atómico), tienen una energía atómica.

En una estructura sólida, el número de orbitales de valencia (los niveles de energía más altos) son tan grandes y la diferencia de energía entre átomos tan pequeña que se puede considerar como si los niveles de energía conjunta formasen bandas continuas. Algunos intervalos de energía no contienen orbitales, creando brechas entre las bandas.

Por lo tanto, se pueden encontrar bandas de energía (o bandas permitidas) separadas por bandas prohibidas. El ancho de estas bandas dependerá del tipo de átomo y tipo de enlace.

- Banda de Valencia. Banda ocupada por los electrones que se encuentran en el nivel más alto de los átomos.
- Banda de Conducción. Banda ocupada por los electrones desligados del átomo y pueden moverse fácilmente. Son los responsables de la conducción eléctrica.
- Banda Prohibida. Banda que se encuentra entre la Banda de Valencia y la Banda de Conducción. No puede ser ocupada por ningún electrón. También es conocida como GAP.

Los sólidos se pueden clasificar en conductores, semiconductores y aislantes en función de su banda prohibida.

Concretamente, esta clasificación depende de la energía del GAP.

- Materiales conductores. La Banda Prohibida se solapa con la banda de conducción.
- Materiales semiconductores. La Banda Prohibida es pequeña, del orden de 1 eV.
- Materiales aislantes. La Banda Prohibida es amplia, del orden de 10 eV.

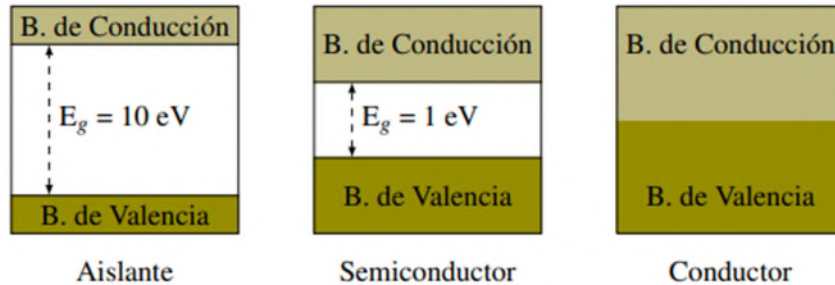


Figura 3. Clasificación de los materiales en función de su banda prohibida

La cantidad de energía necesaria para liberar un electrón del enlace es un valor intrínseco de cada material y es conocido como energía de banda prohibida debido a que entre el valor energético que ocupa el electrón ligado y el electrón libre, no hay ningún valor de energía permitido.

En los metales esta energía es nula, lo que quiere decir que todos los electrones están libres para desplazarse mientras que los materiales aislantes la energía requerida es tan grande que el número de electrones libres es despreciable. En el punto intermedio se encuentran los materiales semiconductores, la cantidad de energía necesaria permite controlar el flujo de carga. La energía capaz de liberar al electrón proviene de la energía de los rayos del Sol (fotones) [10].

3.2 Materiales semiconductores

Si a un semiconductor recibe un aporte de energía, los electrones pueden saltar de la banda de valencia a la banda de conducción. Los semiconductores, como el silicio, no ceden ni aceptan electrones en su último orbital, son elementos puros que se comportan como materiales aislantes. Sus átomos forman enlaces covalentes formados por dos átomos compartiendo un solo electrón. Por ende, cada átomo podrá formar cuatro enlaces covalentes con cuatro átomos próximos a ese átomo y ocho electrones son compartidos, formando un aislante perfecto (a temperatura de cero absoluto, es decir, a 0°K).

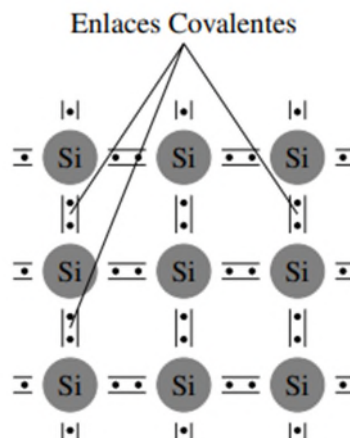


Figura 4. Enlaces de un material formado por átomos de silicio

Con el aumento de la temperatura, los átomos reciben aporte de energía del exterior y algunos electrones tienen la energía suficiente para liberarse del núcleo creando electrones libres (e^-) y alcanzar la banda de conducción dejando el correspondiente hueco (h^+) (mismo número de huecos que electrones). Tanto los electrones en la banda de conducción como los huecos en la banda de valencia son capaces de moverse bajo la

acción de un campo eléctrico puesto que los huecos pueden ser ocupados por otros electrones de valencia de los átomos cercanos, produciéndose el movimiento del hueco. A estos semiconductores se les conoce como semiconductores intrínsecos.

Para aprovechar estos pares electrón-hueco se dopa el elemento, convirtiendo un semiconductor intrínseco en uno extrínseco. Esto se consigue introduciendo impurezas que tienen la capacidad de ceder electrones. Los átomos del material que se introduce como impurezas (generalmente, fósforo) tiene cinco electrones de valencia en su última capa. Por lo tanto, se comparten cuatro de los cinco electrones y queda uno libre. Al semiconductor se le clasifica como tipo N.

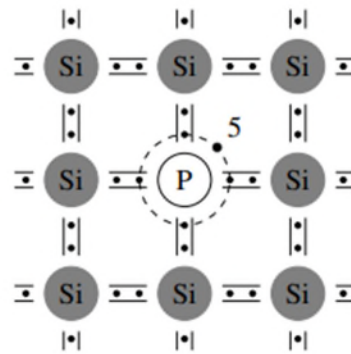


Figura 5. Enlaces de un material tipo N dopado

A su vez, se pueden introducir impurezas que tienen carencia de electrones (generalmente, boro) que tienen tres electrones de valencia en su última capa. Las impurezas se asocian con el silicio, en este caso, quedando un hueco libre en los enlaces. Al semiconductor se le clasifica como tipo P.

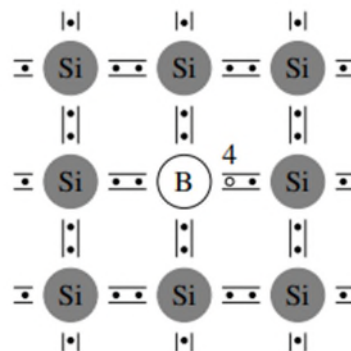


Figura 6. Enlaces de un material tipo P dopado

Por lo tanto, la unión PN se origina cuando se une un semiconductor tipo P y un semiconductor tipo N. Al haber huecos y electrones libres, se produce un movimiento de electrones desde el semiconductor tipo N hasta el semiconductor tipo P.

Las células fotovoltaicas son diodos con una gran superficie expuesta al Sol. Un diodo está formado por una capa tipo n y otra capa tipo p. El espacio donde se unen ambas capas se denomina unión. Cuando se produce dicha unión, se forma el diodo y los electrones libres cerca de la unión en la capa tipo n saltan a la capa tipo p para rellenar sus huecos. De igual manera, los huecos del lado tipo p saltan al lado tipo n. Esto hace que el proceso alcance el equilibrio y el campo eléctrico presenta una barrera que evita que sigan cruzando los electrones y los huecos [11].

La ecuación del diodo, similar al funcionamiento de una célula fotovoltaica viene definida por [12]:

$$I_D = I_0 x \left(e^{\frac{qV}{nKT}} - 1 \right) \quad (1)$$

Donde:

- I_0 es la corriente de saturación del diodo.
- q es la carga del electrón.
- V es la tensión aplicada.
- n es el factor de idealidad del diodo.
- K es la constante de Boltzmann.
- T es la temperatura.

La luz que ilumina la unión PN tiene que contener fotones cuya energía tiene que ser capaz de romper el GAP.

Los electrones de la unión PN se desplazan a la banda de conducción por el aporte energético de los fotones. Puede ocurrir una de las siguientes situaciones:

- La energía del fotón es mucho más grande que el GAP, por lo que el par electrón-hueco se encuentra muy lejos y se pierde en forma de calor.
- La energía del fotón es menor que el GAP, por lo que la luz atraviesa el material y no interactúa con el semiconductor.
- La energía del fotón es similar que el GAP, se aprovecha el fotón y los portadores de la banda de valencia migran a la banda de conducción, generando un par electrón-hueco.

Un fotón choca con un átomo del material tipo p, liberando un electrón y, por consiguiente, generando un hueco. El electrón libre es muy probable que se recombine en alguno de los huecos que hay en el material tipo p. Sin embargo, si este par electrón-hueco es creado cerca de la unión PN, hay una probabilidad de que entre en la unión y sea acelerado por el campo eléctrico. En cambio, el hueco será repelido en la unión. Ahora el electrón se encuentra en el lado n y la probabilidad de que se recombine con algún hueco es baja puesto que en ese lado apenas hay huecos, ya que predominan los electrones libres.

Ocurre la misma situación si el par electrón-hueco es generado en el lado n, solo que el hueco, al estar cerca de la unión, pasaría al lado p donde predominan los huecos y hay pocos electrones libres.

Por lo tanto, la luz únicamente realiza la separación de electrones y huecos en un átomo. Este desequilibrio de carga en una célula que está iluminada por la luz (electrones agrupados en el lado n y huecos en el lado p) crea una diferencia de potencial y, si hay conectada una carga externa, se producirá la circulación de corriente desde el terminal positivo volviendo a la célula por el terminal negativo. La célula solar se comporta como un generador de energía.

El campo eléctrico de la unión PN dirige a los electrones y dificulta la recombinación, generándose una corriente y siendo aprovechada por un circuito externo. Los fotones que inciden sobre la célula con energía igual o mayor que el ancho de la banda prohibida pueden generar pares electrón hueco que ayudan como portadores de corriente. La diferencia de potencial producida por la unión PN es la causa de la separación de los portadores antes de que puedan recombinarse de nuevo y, por tanto, la causa de la circulación de corriente por la diferencia de potencial externa, suministrando energía a la carga [12].

En una unión PN iluminada existen dos corrientes (corriente de iluminación debida a la incidencia de los fotones y la corriente de oscuridad debido a la recombinación) [11].

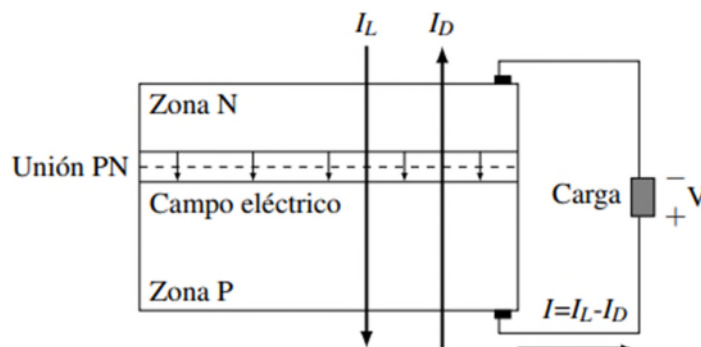


Figura 7. Campo eléctrico generado por la unión PN

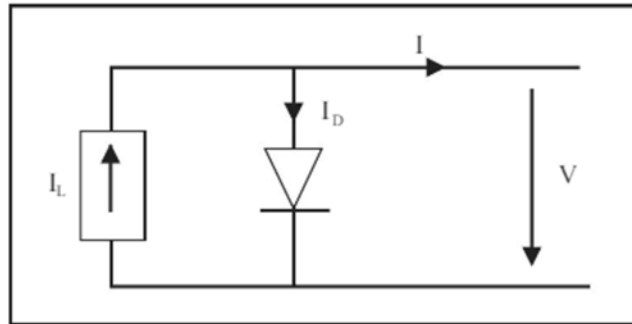


Figura 8. Esquema del campo eléctrico generado por la unión PN

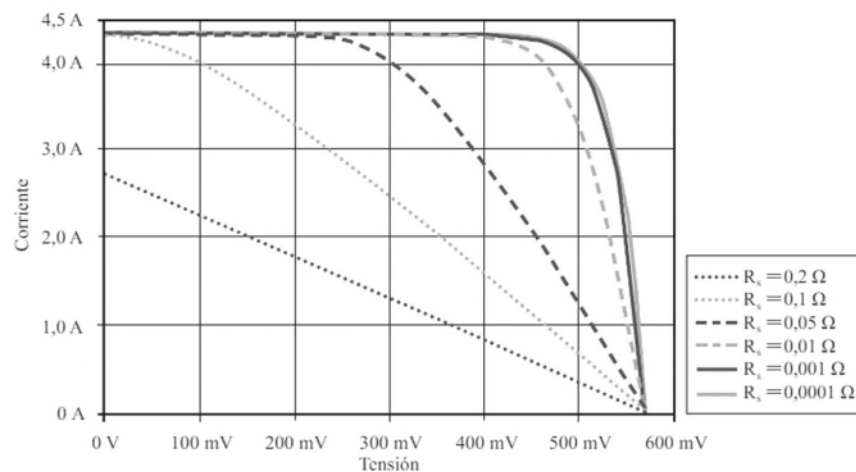
$$I = I_L - I_D = I_L - I_0 \times \left(e^{\frac{qV}{nKT}} - 1 \right) \quad (2)$$

Donde:

- I_L es la corriente generada debido a la generación de portadores que produce la iluminación.
- I_D es la corriente de oscuridad debida a la recombinación de portadores que produce la tensión externa necesaria para poder entregar energía a la carga, que es a su vez función de la tensión.

Para tener un modelo más cercano a la realidad es necesario incluir dos resistencias: una resistencia en serie y una resistencia en paralelo. Esto afectará al funcionamiento de la célula.

- La resistencia en serie (R_s) es una resistencia interna que aparece debido que la corriente generada por una célula circula hacia los contactos a través de material semiconductor resistente. Por lo tanto, esto genera una pérdida de energía, representada por esta resistencia. Cuanto menor es el valor de esta resistencia, más eficiente es la célula fotovoltaica.

Figura 9. Variación del comportamiento de un panel en función del valor de R_s

- La resistencia en paralelo (R_p) aparece debido a las imperfecciones en la calidad de la unión PN. Cuanto mayor es el valor de esta resistencia, más eficiente es la célula fotovoltaica.

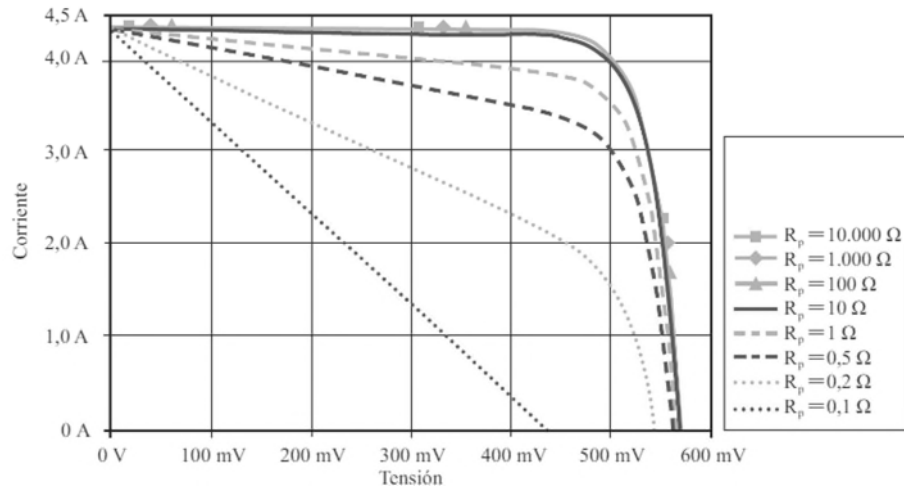


Figura 10. Variación del comportamiento de un panel en función del valor de Rp

Por lo tanto, si se tiene en cuenta ambas resistencias se obtiene el siguiente modelo equivalente:

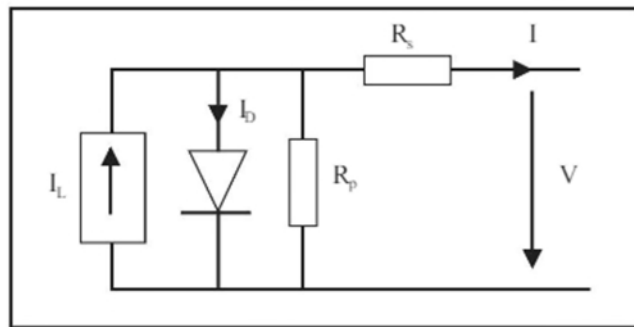


Figura 11. Esquema del campo eléctrico generado por la unión PN incluyendo las pérdidas

Cuyo análisis matemático es [13]:

$$I = I_L - I_D = I_L - I_0 \left\{ \exp \left(\frac{q(U + IxRs)}{nkT} \right) - 1 \right\} - \frac{U + IxRs}{Rp} \tag{3}$$

Este modelo será analizado en profundidad en el *Apartado 7. Modelado matemático*.

3.3 Características de un panel fotovoltaico

Corriente de cortocircuito (I_{sc}). Es la corriente que genera un panel fotovoltaico cuando está cortocircuitada. Esta corriente es la mayor corriente que puede genera un panel fotovoltaico. Por lo tanto, si existiera el panel fotovoltaico ideal, su intensidad generada sería igual a la corriente de cortocircuito.

Tensión en circuito abierto (V_{oc}). Es el voltaje máximo que genera un panel fotovoltaico. Es producido cuando la corriente es cero.

Potencia máxima (P_{max}). Es la potencia máxima que genera un panel fotovoltaico. Es el punto donde confluyen la intensidad de máxima potencia (I_{MPP}) y la tensión de máxima potencia (V_{MPP}).

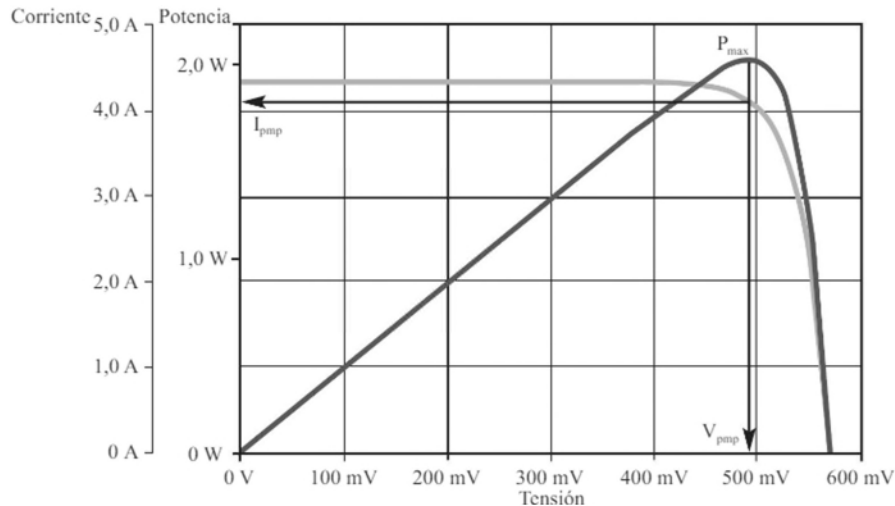


Figura 12. Intensidad de cortocircuito, voltaje en circuito abierto y potencia máxima de un módulo

Factor de forma (FF). Es un coeficiente entre la potencia máxima que genera un panel fotovoltaico y la potencia máxima que puede extraerse de la célula (el producto entre la intensidad de cortocircuito y la tensión en circuito abierto). Viene dado por:

$$FF = \frac{P_{max}}{I_{sc} \times V_{oc}} = \frac{I_{MPP} \times V_{MPP}}{I_{sc} \times V_{oc}} \quad (4)$$

Este parámetro, en los casos reales, es menor que la unidad. Suele emplearse como cuantificador de la curva característica (puesto que depende de cómo de pronunciado sea el codo de la curva).

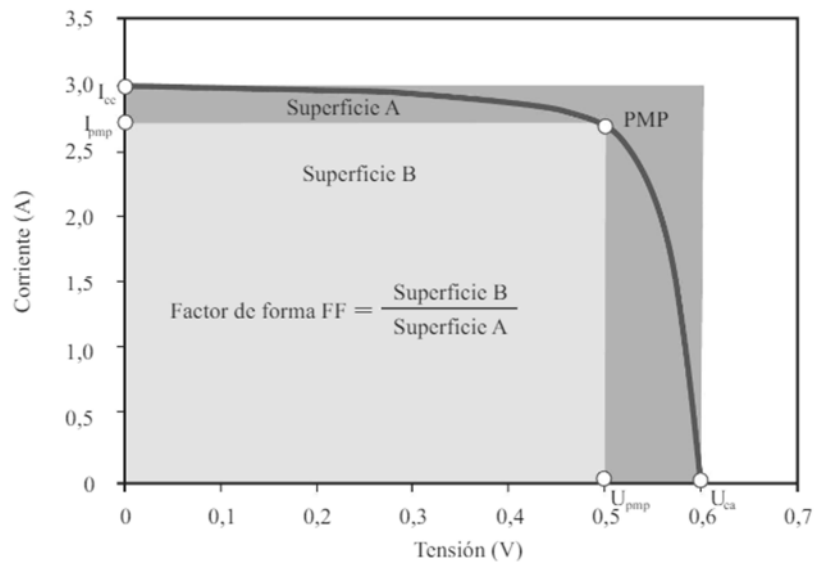


Figura 13. Factor de forma de un módulo fotovoltaico

Eficiencia (η). Es el parámetro empleado para comparar rendimientos entre paneles fotovoltaicos. Se obtiene dividiendo la producción generada por el panel fotovoltaico entre la energía recibida por el sol. Depende de parámetros como la temperatura e irradiación, por ello, si se quiere realizar una comparación real entre paneles fotovoltaicos, las condiciones deben ser idénticas (generalmente a una temperatura de 25°C y 1000 W/m² [11]). Viene dada por:

$$FF = \frac{P_{max}}{P_{inc}} = \frac{V_{oc} \times I_{sc} \times FF}{P_{inc}} \quad (5)$$

3.4 Conexión en serie y en paralelo

Los paneles fotovoltaicos pueden conectar sus células en serie o en paralelo, ofreciendo distintos valores de voltaje e intensidad.

Conexión en serie. Cuando se conectan en serie dos o más paneles fotovoltaicos, el conjunto se comporte como otra curva V-I equivalente. Con este tipo de conexión, todos los paneles son recorridos por la misma intensidad, pero la tensión resultante es la suma de la tensión de los paneles fotovoltaicos conectados entre sí.

$$I_{PV} = I_i \tag{6}$$

$$V_{PV} = \sum_i^n V_i \tag{7}$$

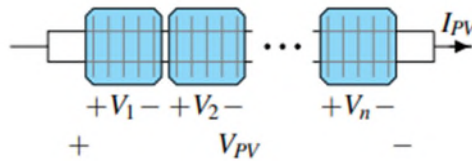


Figura 14. Conexión de n módulos en serie

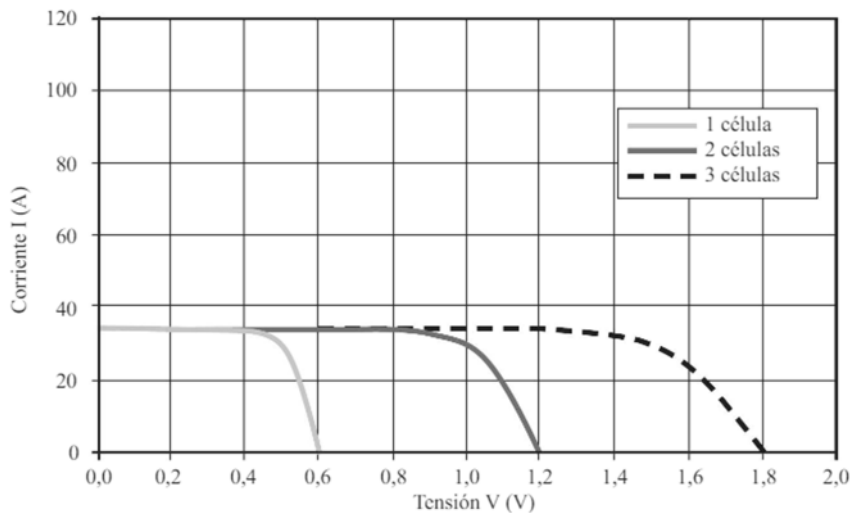


Figura 15. Representación gráfica del conexionado de 3 módulos en serie

Conexión en paralelo. La conexión en paralelo implica unir todos los polos de igual signo a un punto común. Con esta conexión, la corriente generada es la suma de las corrientes generadas por cada panel fotovoltaico, pero manteniendo igual la tensión.

$$I_{PV} = \sum_i^n I_i \tag{8}$$

$$V_{PV} = V_i \tag{9}$$

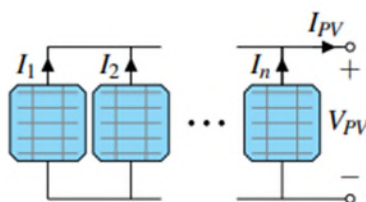


Figura 16. Conexión de n módulos en paralelo

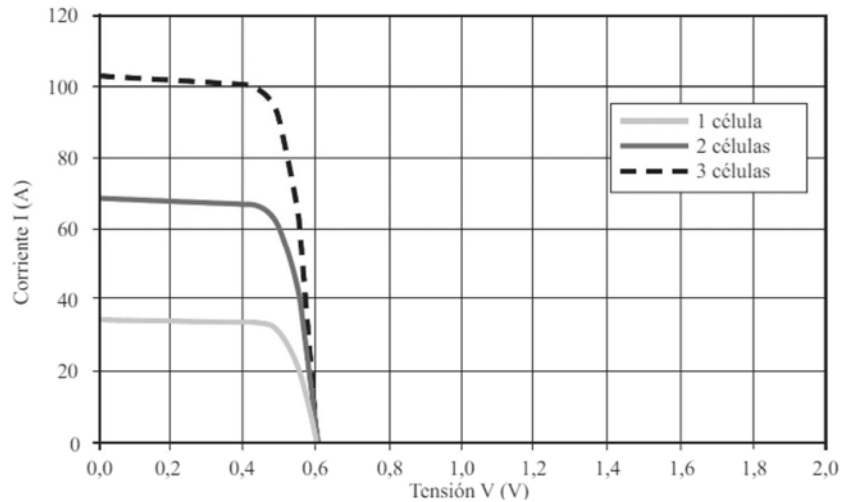


Figura 17. Representación gráfica del conexionado de 3 módulos en paralelo

Teniendo un mismo número de paneles fotovoltaicos y realizando distintas conexiones (ya sea en serie o en paralelo) se obtiene el mismo valor de potencia máxima, cambiando únicamente la tensión de circuito abierto y la corriente de cortocircuito.

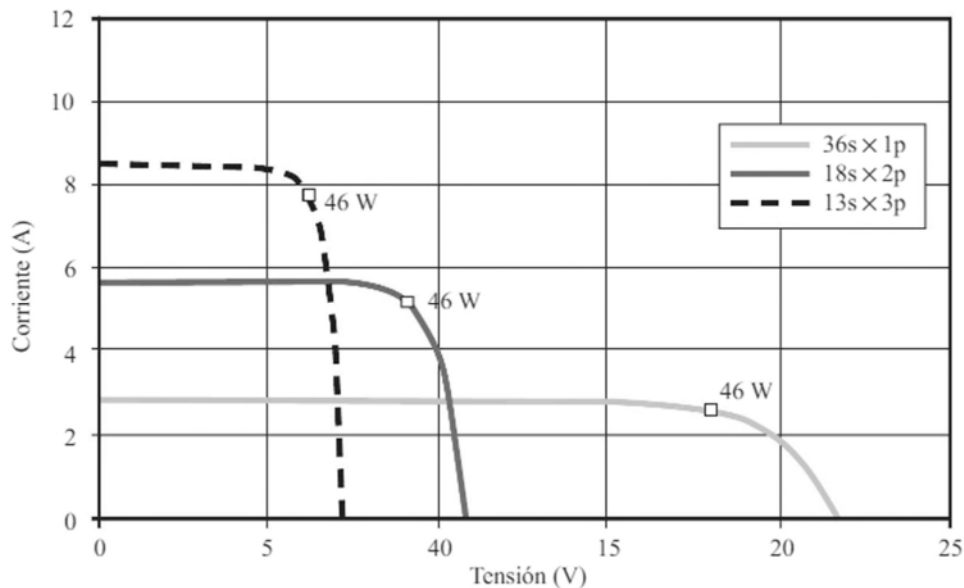


Figura 18. Representación gráfica de varias combinaciones de 36 módulos fotovoltaicos

El tipo de conexión a realizar entre los paneles fotovoltaicos vendrá dado por las necesidades de la planta fotovoltaica y características del inversor [10].

3.5 Factores a tener en cuenta en el funcionamiento de un panel fotovoltaico

Hay varios factores que condicionan el funcionamiento de un panel fotovoltaico, afectando sobre la potencia generada del panel. Estos factores son:

- Temperatura. Un incremento de la temperatura reduce el GAP del material semiconductor por el que está formado el panel, afectando a los parámetros del panel. La tensión en circuito abierto es el parámetro que se ve más afectado, produciéndose una disminución de dicho valor. En cambio, con el aumento de la temperatura se produce un ligero aumento de la corriente de cortocircuito.

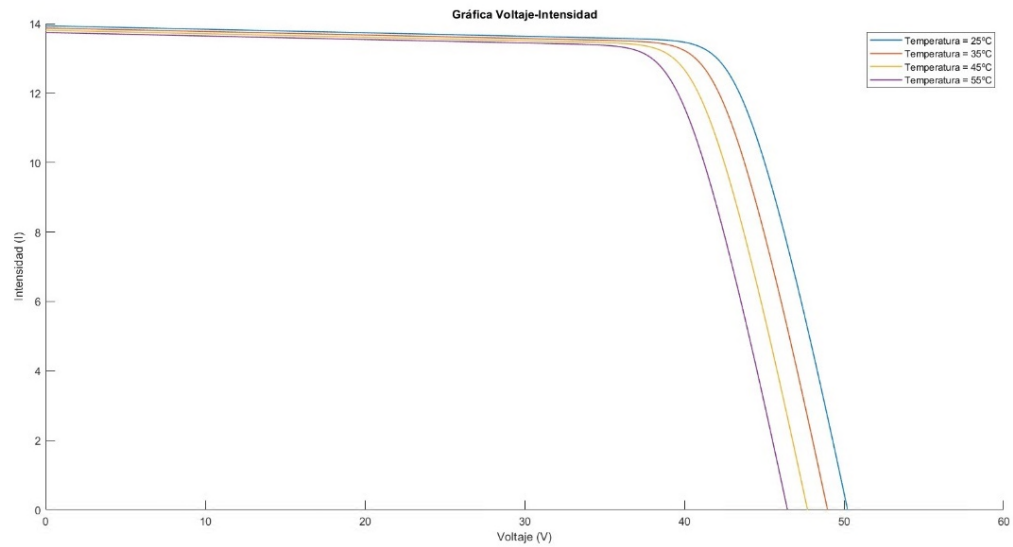


Figura 19. Variación de la Gráfica V-I en función de la temperatura

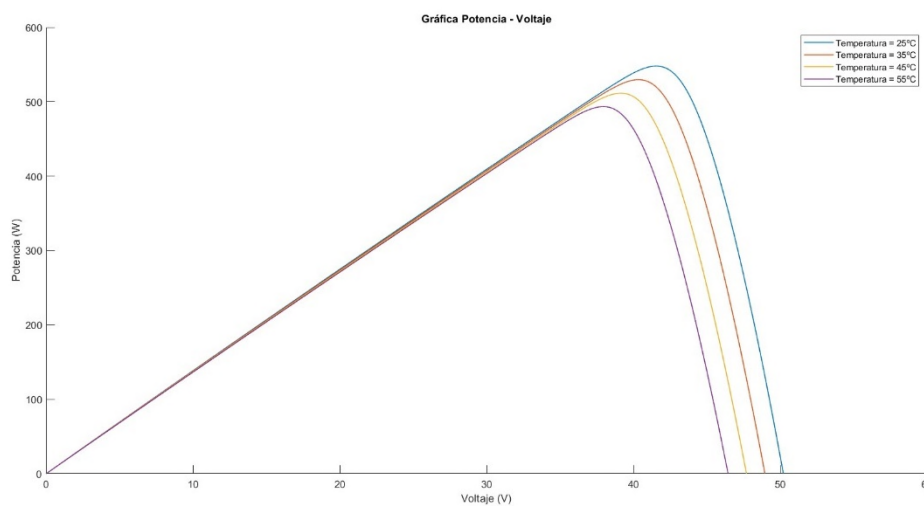


Figura 20. Variación de la Gráfica P-V en función de la temperatura

- Radiación. Una variación en la radiación que incide sobre el panel fotovoltaico conlleva que se modifiquen todos los parámetros. Con una disminución de la radiación, la intensidad de cortocircuito disminuye considerablemente y la tensión en circuito abierto prácticamente no disminuye, pudiendo asimilarse a que, con los cambios de radiación, la tensión en circuito abierto es constante.

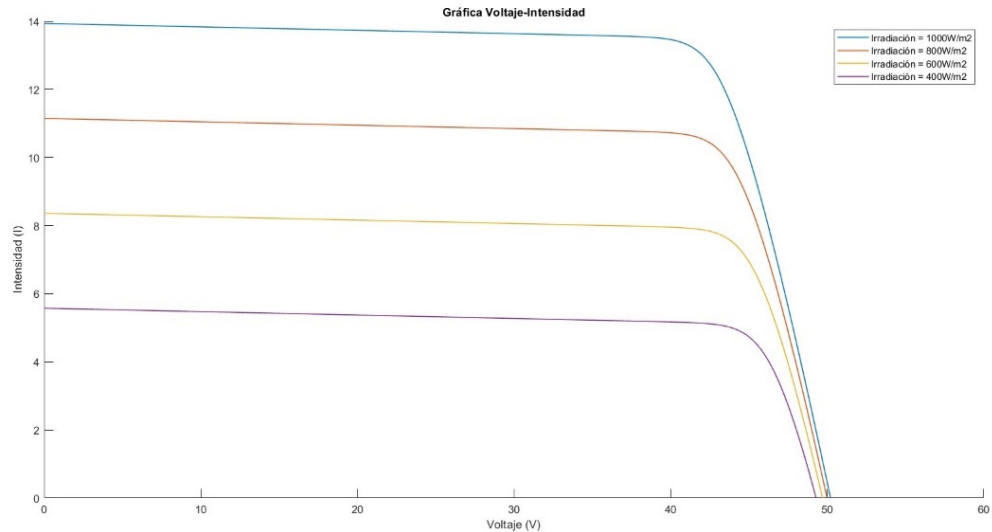


Figura 21. Variación de la Gráfica V-I en función de la temperatura

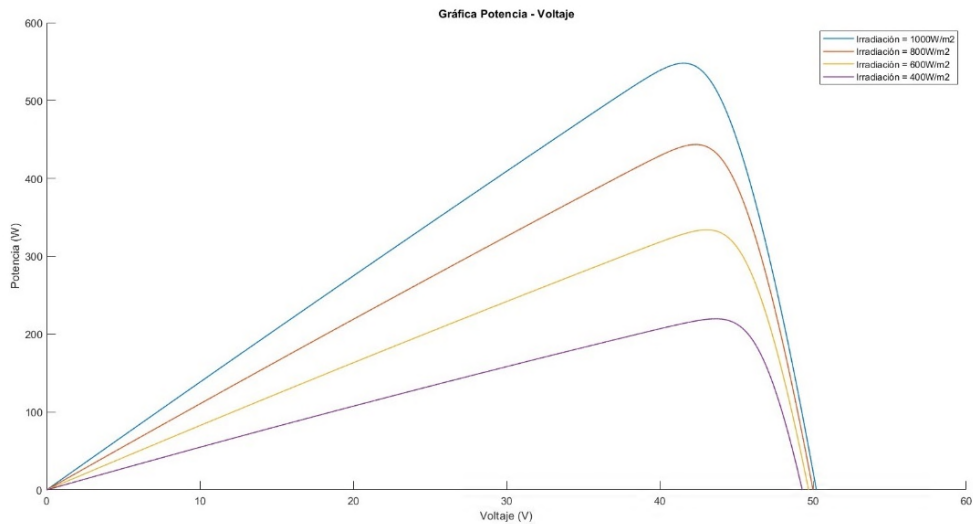


Figura 22. Variación de la Gráfica P-V en función de la radiación

3.6 Punto de trabajo del panel fotovoltaico

A continuación, se realiza el análisis de la tensión y corriente a la que trabaja un panel fotovoltaico o un conjunto de paneles fotovoltaicos conectados a una carga de corriente continua. Dicha carga se simplificará a una resistencia llamada R .

Se tiene la curva V-I del panel fotovoltaico y la ecuación que define R ($V=R \cdot I$). Se puede realizar de manera gráfica, superponiendo la curva generada por la resistencia R y la curva V-I de un panel fotovoltaico a una temperatura e irradiancia determinada.

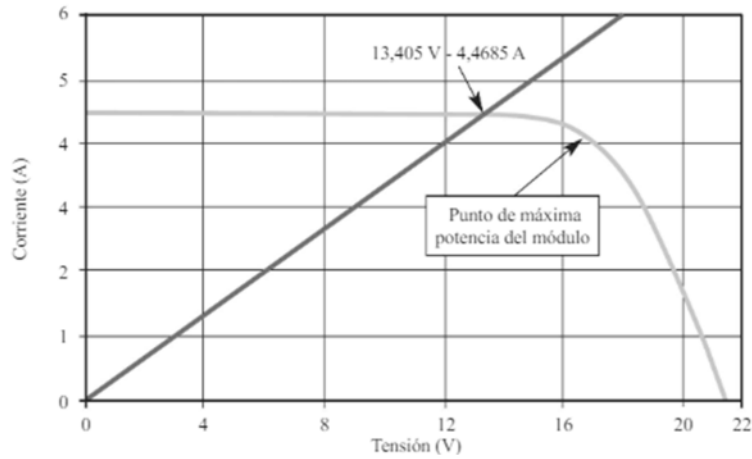


Figura 23. Intersección entre curva de trabajo y curva V-I

A lo largo de un día, las condiciones de irradiancia y temperatura irán cambiando (la temperatura a media mañana no es la misma que cuando el panel recibe los primeros rayos de sol y la irradiancia puede variar si hay nubes). Esto hará que la intersección entre la carga R y la curva V-I entregue una potencia distinta a la carga. También se verá la eficiencia del panel afectada, ya que la intersección estará más o menos cerca del punto de máxima potencia del panel fotovoltaico.

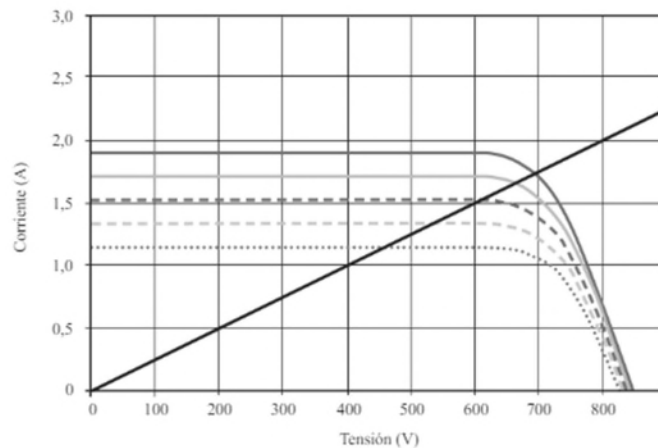


Figura 24. Evolución del punto de trabajo ante variaciones de irradiancia

A su vez, si la carga que está conectada y recibiendo corriente continua del panel fotovoltaico varía, cambiará el punto de trabajo (tensión e intensidad de trabajo y eficiencia) [11].

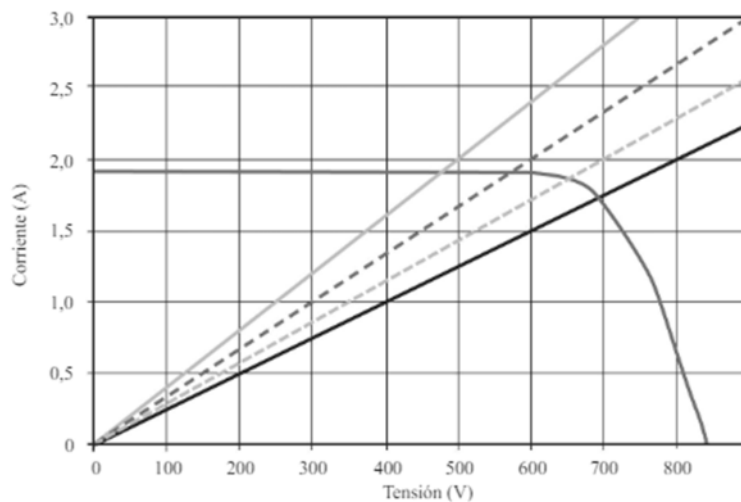


Figura 25. Evolución del punto de trabajo para varias cargas resistivas

Se puede observar que si se conecta un módulo o conjunto de módulos fotovoltaicos directamente a una carga puede no trabajarse en el punto de máxima potencia y, por lo tanto, no se produce la óptima transferencia de potencia del generador fotovoltaico a las cargas que tiene que alimentar. Para evitar esto, aparecen los sistemas de seguimiento del punto de máxima potencia o MPPT.

4 SISTEMA DE SEGUIMIENTO DEL PUNTO DE MÁXIMA POTENCIA (MPPT)

Para obtener la máxima potencia de salida del sistema fotovoltaico, se instala un circuito electrónico denominado sistema de seguimiento del punto de máxima potencia (a partir de ahora MPPT) entre el sistema fotovoltaico y el convertidor de potencia para obtener la máxima potencia en cualquier condición de temperatura, irradiancia y carga.

El MPPT pretende aumentar la eficiencia de energía de los paneles fotovoltaicos, teniendo como objetivo que el panel proporcione la máxima potencia.

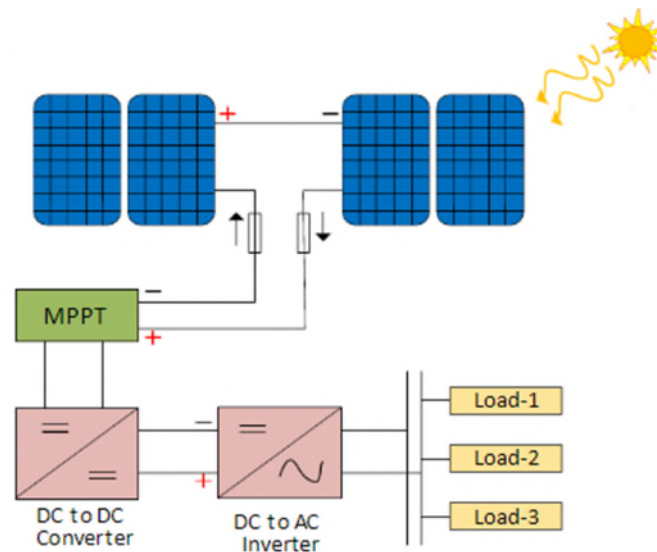


Figura 26. Partes de una planta fotovoltaica

Se han implementado diferentes técnicas de MPPT para optimizar la producción fotovoltaica. Para obtener el máximo rendimiento del método MPPT, los niveles de irradiación solar y temperatura determinan los niveles de intensidad y tensión de un sistema fotovoltaico. El comportamiento no lineal de la irradiación solar, sombreado de los módulos fotovoltaicos y variación de temperatura son factores determinantes que afectan a las características de salida de un sistema fotovoltaico debido a posibles múltiples máximos locales.

4.1 Método de Perturbación y Observación (P&O)

Es el algoritmo más empleado en circuitos MPPT debido a que es fácil de implementar y aporta un punto de máxima potencia que se aproxima mucho al óptimo. Como su nombre indica, consiste en perturbar el punto de funcionamiento del generador fotovoltaico para encontrar la dirección en la que hay que desplazarse en la curva P-V para alcanzar el punto de máxima potencia.

Es decir, sobre la curva P-V si la tensión de funcionamiento del generador fotovoltaico se perturba en una dirección determinada (ya sea aumentando o disminuyendo la tensión) y el incremento de potencia es positivo, la perturbación ha desplazado el punto de funcionamiento del campo hacia el punto MPP. El algoritmo P&O seguirá perturbando el sistema en la misma dirección. Si el incremento de potencia es negativo, el punto de operación se ha alejado del punto MPP y el algoritmo P&O invierte la dirección de la perturbación. Si el incremento de potencia es nulo, significa que el algoritmo ha alcanzado el punto de máxima potencia. Cuando se alcanza este punto, el algoritmo oscila en torno a el MPP [14].

En este algoritmo, hay varios casos posibles:

- $\Delta V > 0$ y $\Delta P > 0$. Se produce un incremento de tensión positivo. Se observa como el incremento de potencia ha sido positivo por lo tanto la perturbación ha de continuar en la misma dirección (aumentando la tensión, acercándose al punto MPP por la izquierda).

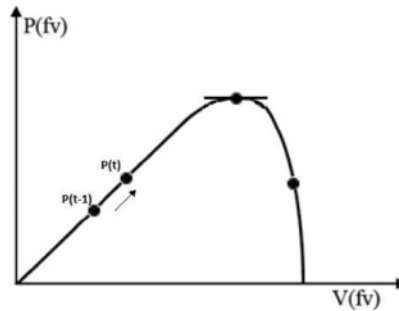


Figura 27. Caso 1 donde el incremento de voltaje y potencia son positivos

- $\Delta V < 0$ y $\Delta P > 0$. Se produce un incremento de tensión negativo. Se observa como el incremento de potencia ha sido positivo por lo tanto la perturbación ha de continuar en la misma dirección (aumentando la tensión, acercándose al punto MPP por la derecha).

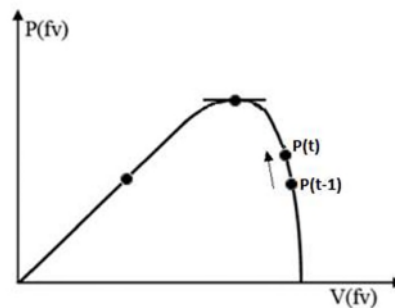


Figura 28. Caso 2 donde el incremento de voltaje es negativo y el de potencia positivo

- $\Delta V > 0$ y $\Delta P < 0$. Se produce un incremento de tensión positivo. Se observa como el incremento de potencia ha sido negativo por lo tanto la perturbación ha de continuar en la dirección opuesta (disminuyendo la tensión, acercándose al punto MPP por la derecha).

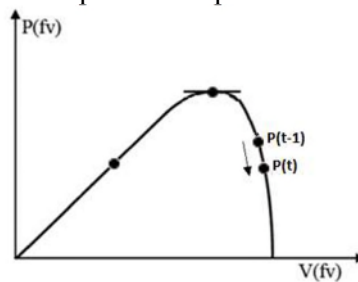


Figura 29. Caso 3 donde el incremento de voltaje es positivo y el de potencia negativo

- $\Delta V < 0$ y $\Delta P < 0$. Se produce un incremento de tensión negativo. Se observa como el incremento de potencia ha sido negativo por lo tanto la perturbación ha de continuar en la dirección opuesta (disminuyendo la tensión, acercándose al punto MPP por la derecha).

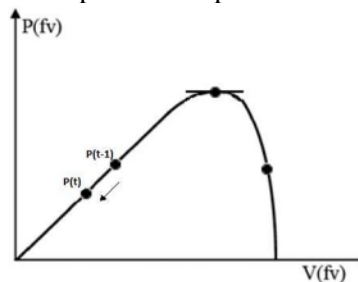


Figura 30. Caso 4 donde el incremento de voltaje y potencia son negativos

- $\Delta P = 0$. Se ha llegado al punto de máxima potencia del sistema fotovoltaico.

Estos casos quedan agrupados en el siguiente diagrama de bloques:

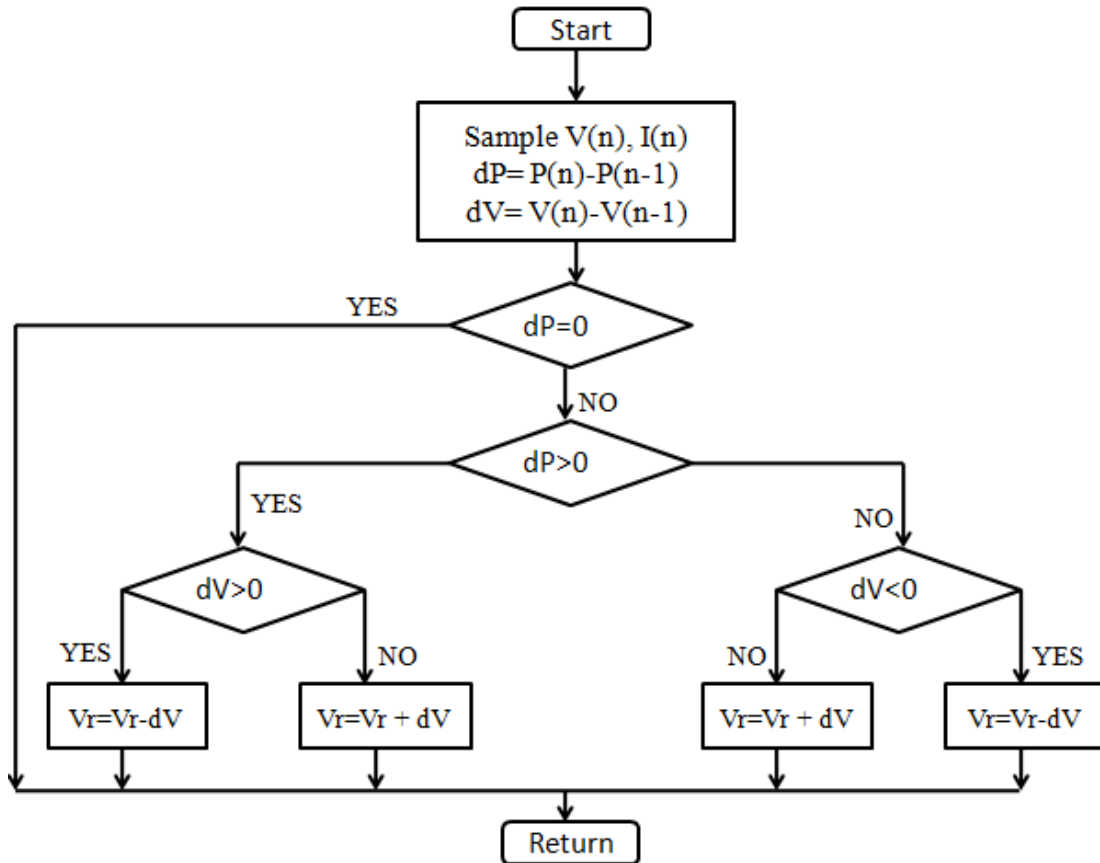


Figura 31. Diagrama de bloques de las iteraciones del Método de Perturbación y Observación

Si se emplea un incremento de voltaje pequeño se producirá una oscilación pequeña en torno al MPP mientras que las condiciones de temperatura e irradiación sean constantes. En cambio, si las condiciones son cambiantes, se tardará en encontrar el punto MPP.

Ocurre lo contrario si se emplea un incremento de voltaje grande ya que, en condiciones cambiantes, se alcanzará rápido el punto MPP. Si se produce un estado estacionario, la oscilación será grande en torno al punto MPP.

Otro inconveniente que presenta este algoritmo son los máximos múltiples: se producen cuando están parcialmente en la sombra y hay varios MPP [14].

4.2 Método Incremental Conductance (IC)

Es un algoritmo más preciso que el Método P&O ya que funciona analizando la pendiente de la curva P-V del generador fotovoltaico para determinar el punto de máxima potencia. Este algoritmo es más preciso debido a que cuando encuentra el punto MPP para de perturbar el punto de operación (mientras que el algoritmo P&O oscilaba en torno a ese punto).

Para encontrar ese punto de operación se emplea la relación entre dI/dV y $-I/V$. Esta relación se deriva del hecho de que dP/dV es negativo cuando el punto de operación está a la derecha del MPP y positiva cuando está a la izquierda del MPP.

Este método monitorea continuamente la tensión y corriente del generador fotovoltaico. Con estos dos valores

se puede obtener la potencia instantánea. Después calcula las derivadas parciales de la potencia respecto a la tensión y de la potencia respecto a la corriente [14].

$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(V \times I)}{dV} = I + V \frac{dI}{dV} \quad (10)$$

$$\frac{dP}{dI} = \frac{d(V \times I)}{dI} = V + I \frac{dV}{dI} \quad (11)$$

$$I + V \frac{dI}{dV} = V + I \frac{dV}{dI} \quad (12)$$

$$\frac{I}{V} = \frac{dI}{dV} = -\frac{\Delta I}{\Delta V} \quad (13)$$

Donde ΔI y ΔV son pequeños incrementos en la tensión y corriente.

Si se observa la curva P-V, se pueden distinguir tres zonas.

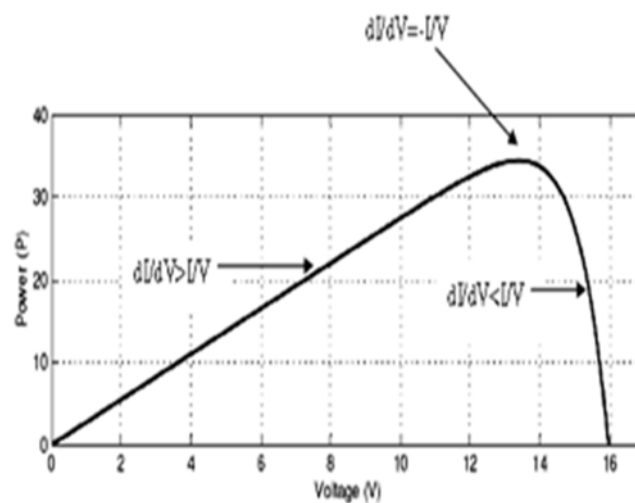


Figura 32. Zonas que delimitan en qué punto se encuentra el algoritmo Incremental Conductance

Donde:

- $\frac{\Delta I}{\Delta V} = -\frac{I}{V}$ significa que el algoritmo ha encontrado el MPP.
- $\frac{\Delta I}{\Delta V} > -\frac{I}{V}$ significa que el algoritmo está a la izquierda del MPP.
- $\frac{\Delta I}{\Delta V} < -\frac{I}{V}$ significa que el algoritmo está a la derecha del MPP.

Estos casos quedan agrupados en el siguiente diagrama de bloques:

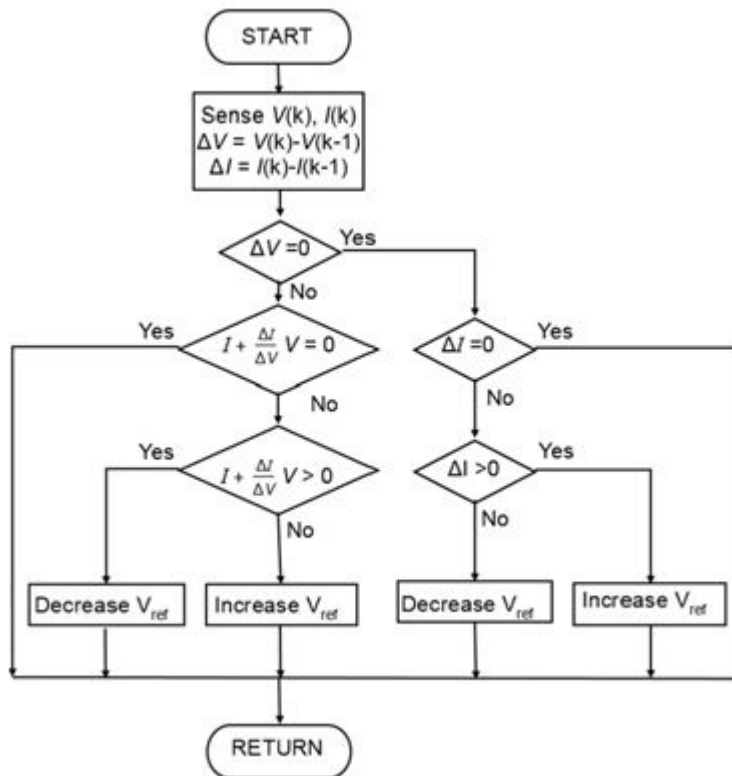


Figura 33. Diagrama de bloques de las iteraciones del Método Incremental Conductance

5 EL DIODO BY-PASS

Un diodo es un elemento electrónico formado por un material semiconductor tipo n y otro tipo p con dos terminales (ánodo y cátodo). El diodo presenta baja resistencia en una dirección (conocido como polarización directa, donde la tensión ánodo-cátodo es positiva) y una muy alta resistencia en la otra dirección (conocido como polarización inversa, donde la tensión ánodo-cátodo es negativa).

Una rápida definición de la unión PN (mencionada en el *Apartado 3.2*) es la unión entre un material semiconductor tipo P (exceso de huecos) y tipo N (exceso de electrones). Al encontrarse estas dos zonas de diferente concentración de portadores, aparece la difusión que tiende a llevar las partículas desde la zona donde se encuentran en mayor medida hasta la zona donde hay menos (los electrones de la zona N pasan a la zona P y los huecos de la zona P pasan a la zona N). Este movimiento genera una zona de carga entre ambos semiconductores, provocando un campo eléctrico desde la zona N hasta la zona P.

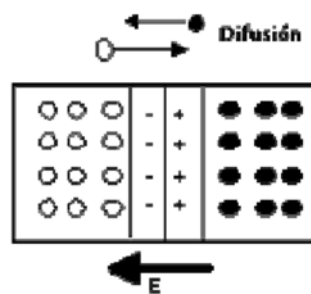


Figura 34. Campos eléctricos generados por las cargas en una unión PN

El campo eléctrico se opone al movimiento de los portadores debido a la difusión y va aumentando hasta que las fuerzas de difusión y la del campo eléctrico se equilibran y cesa el movimiento. Por lo tanto, se encuentran tres zonas: una semiconductor tipo N, una semiconductor tipo P y una zona de agotamiento que no es conductora (ya que no hay portadores de cargas libres) [10] [15].

5.1 Polarización directa

Una unión PN no permite el establecimiento de una corriente eléctrica entre los terminales ya que la zona de agotamiento no es conductora. Para solventar esto, se aplica una tensión positiva en el ánodo. Esto generará un campo eléctrico que desplazará los huecos hacia la unión PN, estrechando esta zona de agotamiento. En el momento que la tensión aplicada hace que esta zona de agotamiento desaparezca, se producirá la recombinación de los electrones-huecos.

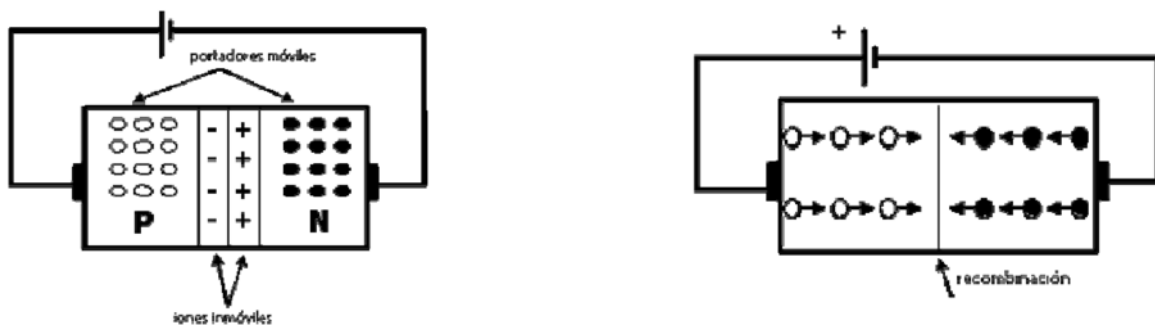


Figura 35. Representación gráfica de la polarización directa

5.2 Polarización inversa

En cambio, si se aplica una tensión positiva en la zona N y negativa en la zona P los portadores próximos a la unión son atraídos hacia los contactos, aumentando la anchura de la zona de agotamiento. Este movimiento crea una corriente de una magnitud muy inferior a la que se obtiene en la polarización directa con los mismos niveles de tensión.

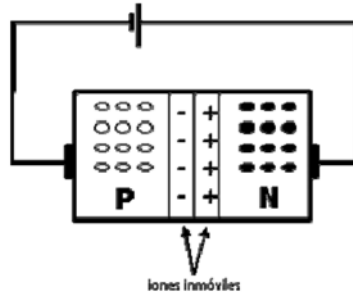


Figura 36. Representación gráfica de la polarización inversa

5.3 Funcionamiento de un diodo by-pass

La relación teórica entre la corriente y la tensión en el diodo viene dada por la ecuación de Shockley [13]:

$$I_D = I_s \left(e^{\frac{V_D}{V_T}} - 1 \right) \tag{14}$$

Donde:

- I_D es la corriente que circula por el dispositivo para una tensión V_D .
- I_s es la corriente de saturación inversa.
- $V_T = \frac{kT}{q} = 26 \text{ mV}$ para una $T=300 \text{ °K}$.

Esta ecuación es una aproximación al comportamiento de un diodo real. Esta ecuación no tiene en cuenta las resistencias de las regiones neutras y las resistencias de contacto, así como la generación y recombinación de portadores en la región de carga espacial de la unión PN.

La ecuación anterior se modifica agregando un factor de idealidad del diodo (n) cuyo valor varía entre 1 y 2.

$$I_D = I_s \left(e^{\frac{V_D}{nV_T}} - 1 \right) \tag{15}$$

El diodo es un componente cuya relación entre la tensión e intensidad es no lineal, representándose de la siguiente manera:

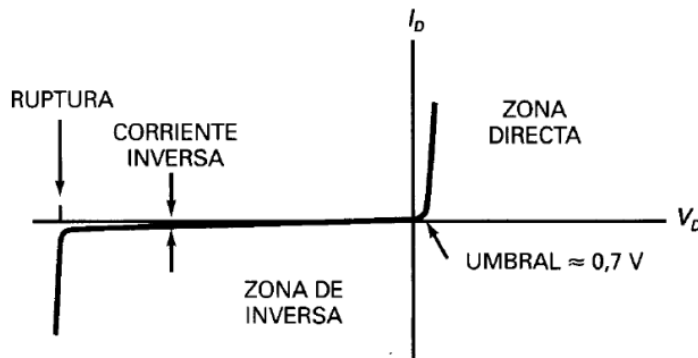


Figura 37. Zonas de trabajo de un diodo

Cuando el diodo está polarizado de manera directa no hay una intensidad significativa hasta que la tensión que atraviesa el diodo es superior a un valor, conocido como voltaje de corte directo. En cambio, si el diodo está polarizado de manera inversa, no hay corriente hasta que la tensión que atraviesa el diodo alcanza un valor, conocido como la tensión de ruptura.

En la gráfica de la Figura 38 se observan varios valores:

- Corriente directa (I_D). Es la corriente que fluye a través del diodo cuando se aplica una tensión directa sobre sus terminales. Viene definida por la resistencia interna del diodo y la tensión aplicada.
- Tensión directa (V_D). Es la diferencia de potencial aplicada entre ánodo y cátodo, es decir, la tensión que atraviesa el diodo.
- Voltaje de corte directo o voltaje umbral. Es el voltaje mínimo para que un diodo comience a conducir.
- Corriente inversa. Si se invierte la polaridad del diodo y pasa tensión a través de este, se genera una pequeña corriente inversa llamada corriente de fuga.
- Tensión inversa. Es la tensión aplicada en la dirección inversa del diodo. La corriente inversa aumenta de forma abrupta si la tensión inversa alcanza el voltaje de ruptura o voltaje de avalancha. Esto conlleva la degradación del diodo.

A la hora de formar un string de varios paneles fotovoltaicos, se tiene que tener en cuenta que todos los paneles no estarán en las mismas condiciones puesto que pueden verse afectados por distinta temperatura e irradiación. La potencia de salida de un string estará limitada por el panel solar de potencia más baja (realmente queda limitado por la intensidad menor que produce el panel solar más afectado por temperatura y radiación).

Por ejemplo, los paneles conectados en serie tienen que ser atravesados por la misma corriente, en el momento que haya un panel sombreado y la corriente que produzca dicho panel sea la mitad de lo que debería producir, la corriente de salida del string vendrá limitada por este panel. La corriente en exceso generada por los demás paneles se disipará en este panel que afecta a todo el string provocando su sobrecalentamiento, apareciendo la posibilidad de que lo dañe (fundición de las soldaduras, degradación de la célula...).

Para evitar estas situaciones, se instalan los diodos de paso o diodo by-pass. Consiste en un diodo conectado en paralelo con uno o más paneles fotovoltaicos para permitir que la corriente tenga un camino alternativo en caso de que el panel esté dañado o sombreado.

La polaridad del diodo es opuesta a la del panel fotovoltaico por lo que cuando el panel se polariza inversamente, el diodo by-pass lo hace positivamente. Esto hace que la corriente tenga un camino de paso fácil y la potencia del string se vería afectada al total de paneles fotovoltaicos menos el sombreado [15].

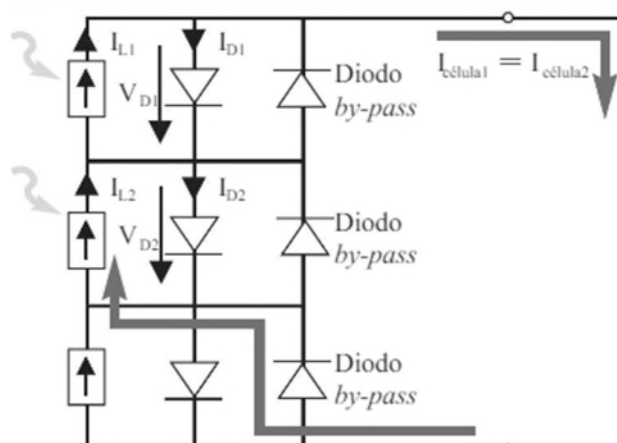


Figura 38. Ejemplo de funcionamiento de diodo by-pass

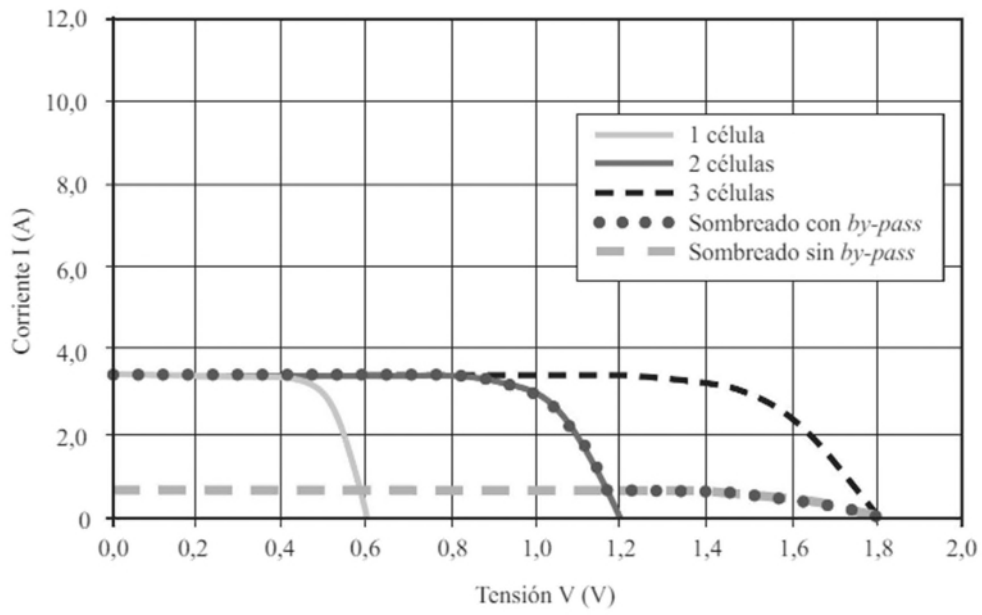


Figura 39. Curva V-I de string con y sin diodo by-pass

6 INVERSOR DE CORRIENTE

El inversor es un elemento principal de un generador fotovoltaico. Consiste en un convertidor la energía en corriente continua a corriente alterna.

Tal y como se ha mencionado anteriormente, la tensión producida por los módulos fotovoltaicos es de corriente continua, pero esta ha de ser convertida a una corriente alterna puesto que el transporte de la energía es en corriente alterna.

6.1 Principio de funcionamiento

El circuito que forma el inversor consiste en un conjunto de interruptores, llamados transistores (normalmente IGBT). La apertura y cierre de los interruptores está controlada por un controlador. Los IGBT se caracterizan por una rápida conmutación que controlan de manera eficiente y precisa la energía eléctrica. Con esta conmutación puede transformarse la energía de corriente continua en energía de corriente alterna, conmutando los interruptores en pares [16].

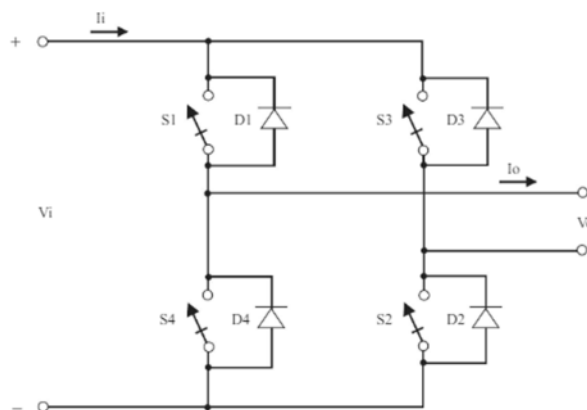


Figura 40. Esquema del funcionamiento de un inversor monofásico

La tensión de corriente continua que entra en un inversor es conocida como V_i y la corriente continua de entrada es conocida como I_i . La tensión de salida (V_o) gracias a los transistores podrá ser $+V_i$, $-V_i$ o cero en función de los interruptores que estén abiertos y cerrados. De tal forma:

- Si S1 y S2 están cerrados, la tensión de salida será $+V_i$.
- Si S3 y S4 están cerrados, la tensión de salida será $-V_i$.
- Si S1 y S3 están cerrados, la tensión de salida será 0.
- Si S2 y S4 están cerrados, la tensión de salida será 0.

Estas conmutaciones generan una curva de tensión en alterna de forma cuadrada, lejos de una onda sinusoidal de corriente alterna. Esto se consigue con la modulación por ancho de pulso.

6.2 Modulación por ancho de pulso

La modulación por anchura de pulso o PWM, es un método que se emplea donde la amplitud del voltaje de salida es controlada mediante las formas de onda moduladoras. Es decir, los transistores pueden ser conmutados a diferentes duraciones para cambiar la forma de la onda usando un controlador.

El ciclo se divide en múltiples segmentos más pequeños y cada segmento tiene una cantidad de corriente que podría fluir pero al conmutar los transistores de manera rápida, se controla la cantidad de voltaje por cada segmento, dando como resultado un voltaje promedio. Este voltaje promedio aumenta y disminuye, formando una onda sinusoidal. Cuantos más segmentos haya, más se conseguirá esa onda [17].

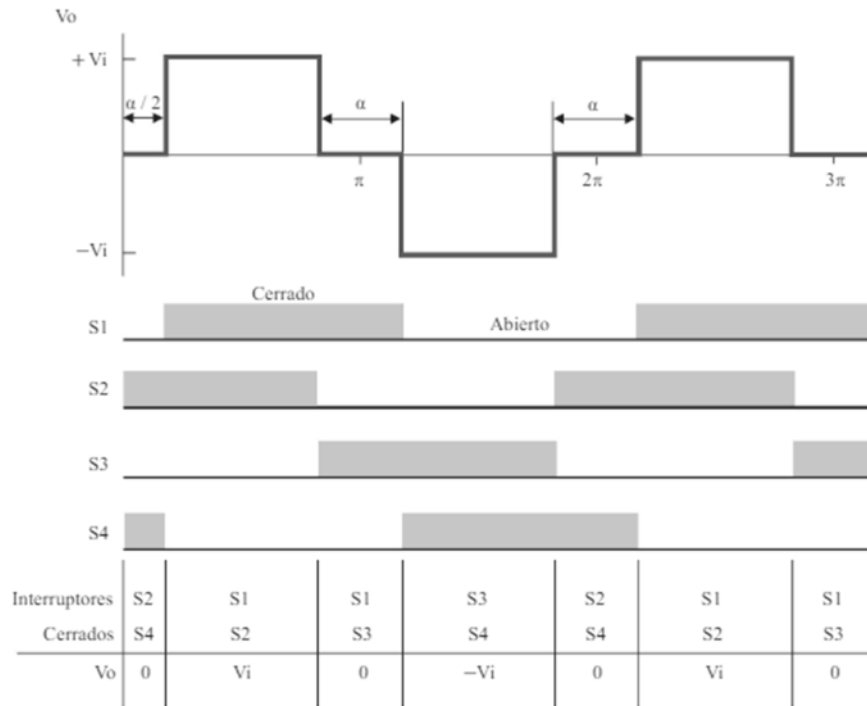


Figura 41. Conmutación de interruptores y onda generada

Para controlar la conmutación de los interruptores con la finalidad de obtener una onda sinusoidal, el controlador PWM necesita una señal de referencia y una señal portadora [11].

- Señal de referencia. Será la senoide que representa la onda deseada en la salida del inversor. Definirá la frecuencia y amplitud de salida de la corriente alterna que el inversor genera.
- Señal portadora. Es una onda triangular de alta frecuencia que se compara con la señal de referencia para determinar el momento preciso donde los IGBT tienen que conmutar.

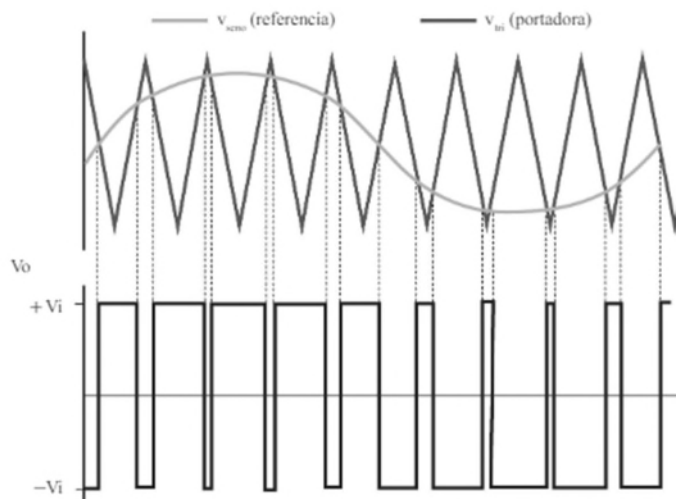


Figura 42. Señal portadora y de referencia

Cuando el valor de la señal de referencia es mayor que la señal de referencia la salida estará en $+V_i$ y cuando ocurre lo contrario estará en $-V_i$. Si esto se traduce en la conmutación de los interruptores [17]:

- S1 y S2 están cerrados cuando $V_{seno} > V_{triangular}$.
- S3 y S4 están cerrados cuando $V_{seno} < V_{triangular}$.

Lo explicado anteriormente sirve para un inversor monofásico, pero en este Trabajo de Fin de Máster se trabajará con inversores trifásicos. Por lo tanto, el esquema del inversor pasa de tener 4 IGBT a 6 IGBT, aumentando su complejidad [17].

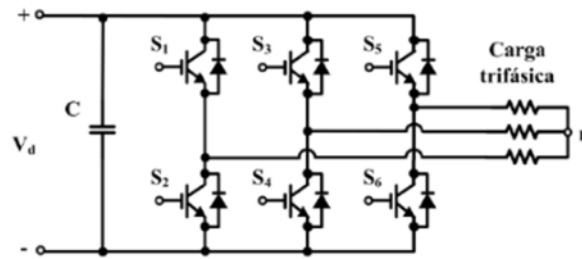


Figura 43. Esquema del funcionamiento de un inversor trifásico

Para simular las tres fases:

- S1 y S4 están cerrados:
 - o La Fase 1 se encontrará en $+V_i$.
 - o La Fase 2 se encontrará en $-V_i$.
 - o La Fase 3 se encontrará en 0.
- S1 y S6 están cerrados:
 - o La Fase 1 se encontrará en $+V_i$.
 - o La Fase 2 se encontrará en 0.
 - o La Fase 3 se encontrará en $-V_i$.
- S3 y S6 están cerrados:
 - o La Fase 1 se encontrará en 0.
 - o La Fase 2 se encontrará en $+V_i$.
 - o La Fase 3 se encontrará en $-V_i$.
- S2 y S3 están cerrados:
 - o La Fase 1 se encontrará en $-V_i$.
 - o La Fase 2 se encontrará en $+V_i$.
 - o La Fase 3 se encontrará en 0.
- S2 y S5 están cerrados:
 - o La Fase 1 se encontrará en $-V_i$.
 - o La Fase 2 se encontrará en 0.
 - o La Fase 3 se encontrará en $+V_i$.
- S4 y S5 están cerrados:
 - o La Fase 1 se encontrará en 0.
 - o La Fase 2 se encontrará en $-V_i$.
 - o La Fase 3 se encontrará en $+V_i$.

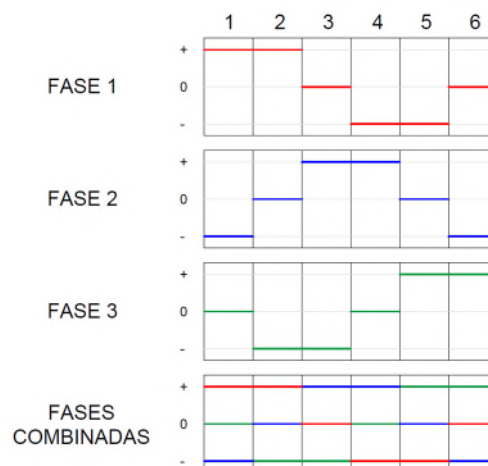


Figura 44. Distintas fases del inversor trifásico

6.3 Características técnicas de un inversor

Los inversores tienen ciertas características que son determinantes a la hora de realizar el modelado de una instalación fotovoltaica.

- Características de entrada:
 - o Tensión de entrada máxima. Es el voltaje máximo que admite un inversor. Es necesario ajustar el string de paneles fotovoltaicos en función de este valor.
 - o Intensidad máxima de corriente. Es la corriente máxima que admite un inversor.
 - o Potencia nominal en CC. Es la potencia máxima que admite un inversor.
 - o Tensión de arranque del inversor. Es el voltaje mínimo que necesita el inversor para arrancar. Si el string de paneles fotovoltaicos no llega a generar este valor, el inversor se encontrará en un estado de stand-by.
 - o Rango de operación del MPPT. Es el rango de valores de tensión donde trabaja el MPPT y los módulos fotovoltaicos trabajen en su punto de trabajo óptimo.
 - o Intensidad máxima de corriente. Es la corriente máxima que admite un inversor.
- Características de salida:
 - o Máxima intensidad de salida. Es la intensidad máxima que puede generar el inversor.
 - o Voltaje de salida. Es el voltaje de salida del inversor, igual al de la red a la que está conectado.
 - o Máxima potencia generada. Es la potencia máxima que pueda generar el inversor.

6.4 Tipos de inversores

Existen varios tipos de inversores fotovoltaicos, cada uno diseñado para aplicaciones y necesidades específicas. Se pueden diferenciar en [11]:

- Micro-inversor. Es un inversor que se conecta de manera individual a cada panel fotovoltaico (por lo tanto, son de baja potencia). Optimiza la producción de energía del panel de manera independiente. Proporciona una monitorización de cada panel, pero eleva el coste de la instalación, ya que habrá tantos como paneles tenga el generador fotovoltaico. Son útiles si los paneles tienen distintas inclinaciones o hay sombras variables.

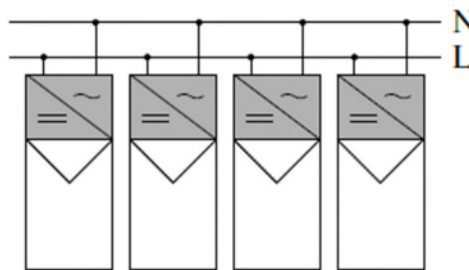


Figura 45. Conexión de varios microinversores

- Inversor monofásico. Es un inversor para un generador fotovoltaico de baja potencia (igual o inferior a 5 kW) que transforma la corriente continua en alterna para una red monofásica. A estos inversores se les puede conectar un máximo de dos string de paneles fotovoltaicos.

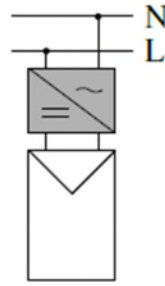


Figura 46. Conexión de un inversor monofásico a una red monofásica

Estos inversores pueden ser conectados a una red trifásica (aumentando la potencia que aportan a la red), conectando cada uno a una Línea de la red trifásica y al Neutro. Es importante que los paneles de cada uno de los tres inversores sean los mismos, para evitar desequilibrios de cargas.

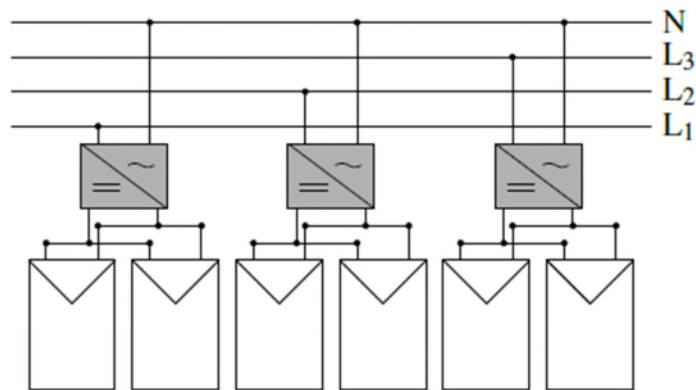


Figura 47. Conexión de varios inversores monofásicos conectados a una red trifásica

- Inversor trifásico. Son capaces de manejar mayores potencias y distribuir la carga de manera equilibrada entre las fases. Se emplean comúnmente en aplicaciones industriales y comerciales.

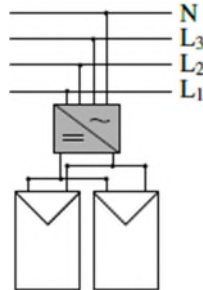


Figura 48. Conexión de un inversor trifásico a una red trifásica

7 MODELADO MATEMÁTICO

El modelado de un panel fotovoltaico tiene como objetivo la representación de la curva I-V de una celda en función de la tipología del panel, la temperatura y la radiación solar.

Para dicho análisis, hay dos modelos que destacan:

- Modelo basado en un circuito equivalente a un diodo.
- Modelo basado en un circuito equivalente a dos diodos.

El primer modelo se caracteriza por su simplicidad y el segundo por su exactitud, aunque no son tan populares debido al mayor número de parámetros necesarios. En la práctica, se prefiere el modelo de un diodo porque concilia complejidad y precisión. Por ende, en este Trabajo de Fin de Máster se empleará el modelo de un diodo.

7.1 Modelo basado en un circuito equivalente a un diodo

El circuito equivalente del modelado de un panel fotovoltaico de un módulo fotovoltaico sigue la *Figura 48*.

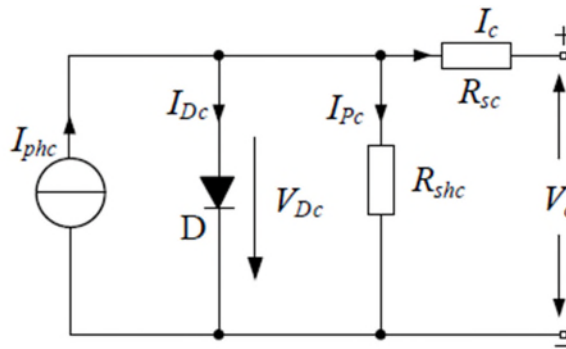


Figura 49. Esquema eléctrico de un panel fotovoltaico

Donde:

- I_{ph} es la corriente fotogenerada por el módulo fotovoltaico.
- I_{Dc} es la corriente que atraviesa el diodo.
- V_{Dc} es el voltaje que genera el diodo.
- R_{sc} es la resistencia en serie que simula el movimiento de la corriente, el contacto entre el metal y el silicio y los contactos superiores y traseros con el metal.
- R_{shc} es la resistencia en paralelo o resistencia *shunt*. Esta resistencia simula las pérdidas por defectos de fabricación.

La corriente del panel fotovoltaico, I , viene dada por la corriente fotogenerada I_{phc} menos las pérdidas ocasionadas por el diodo I_{Dc} y las pérdidas óhmicas que producen las fugas de corriente por las resistencias en serie, I_c , y paralelo I_{Pc} [13].

Se quiere obtener el valor de la intensidad y voltaje de salida del panel fotovoltaico (representado como I y U , respectivamente).

$$I = I_{ph} - I_0 \left\{ \exp \left(\frac{q(U + IxRs)}{nkT} \right) - 1 \right\} - \frac{U + IxRs}{Rsh} \quad (16)$$

Donde:

- I_0 es la intensidad de saturación inversa del diodo.
- q es la constante eléctrica de carga cuyo valor es $1,6022 \times 10^{-19}$ C.
- n es el factor de idealidad del diodo.

- k es la constante de Boltzmann cuyo valor es de $1,38065 \times 10^{-23}$ J/K.
- T es la temperatura.

Para generar un mayor voltaje e intensidad de salida, los módulos fotovoltaicos se agrupan en serie, formando un *string* y, a su vez, varios strings en paralelo.

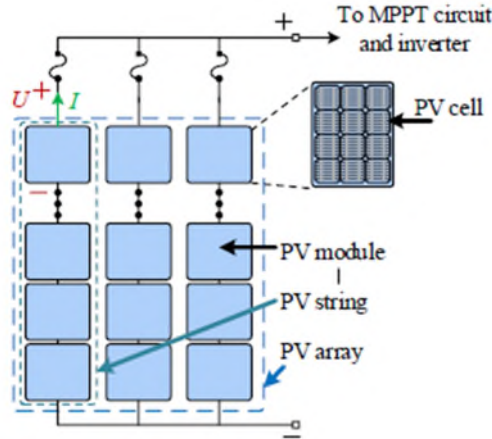


Figura 50. Conexión de módulos fotovoltaicos en serie y paralelo

Por tanto, se reescribe la ecuación anterior:

$$I = I_{ph} \times N_p - I_0 \times N_p \left\{ \exp \left(\frac{q \left(\frac{U}{N_s} + \frac{I x R_s}{N_p} \right)}{n k T} \right) - 1 \right\} - \frac{U x \frac{N_p}{N_s} + I x R_s}{R_{sh}} \quad (17)$$

Donde:

- N_s es el número de paneles fotovoltaicos por cada string.
- N_p es el número de string que forman el la planta fotovoltaica.

Tal y como se puede observar, hay cinco valores desconocidos que determinarán el valor de la intensidad y el voltaje de la planta fotovoltaica: I_{ph} , I_0 , n , R_s y R_{sh} . Estos valores están relacionados con los parámetros de un módulo fotovoltaico [13].

7.2 Cálculo de los valores para el modelado bajo condiciones estándar

Se parte de la ecuación del modelado de un módulo fotovoltaico:

$$I = I_{ph} - I_0 \left\{ \exp \left(\frac{q(U + I x R_s)}{n k T} \right) - 1 \right\} - \frac{U + I x R_s}{R_{sh}} \quad (18)$$

Se analizan dos puntos de interés donde es conocido el valor tanto de U como de I .

Bajo condiciones de cortocircuito, donde $U = 0$ e $I = I_{sc}$, se reescribe de la siguiente manera:

$$I_{sc} = I_{ph} - I_0 \left\{ \exp \left(\frac{I_{sc} x R_s}{n k T} \right) - 1 \right\} - \frac{I_{sc} x R_s}{R_{sh}} \quad (19)$$

Bajo condiciones de circuito abierto, donde $U = U_{oc}$ e $I = 0$, se reescribe de la siguiente manera:

$$I_{ph} = I_0 \left\{ \exp \left(\frac{q U_{oc}}{n k T} \right) - 1 \right\} - \frac{U_{oc}}{R_{sh}} \quad (20)$$

A su vez, se tiene en cuenta el punto de máxima potencia del panel fotovoltaico:

$$I_m = I_{ph} - I_0 \left\{ \exp \left(\frac{q(U_m + I_m x R_s)}{nkT} \right) - 1 \right\} - \frac{U_m + I_m x R_s}{R_{sh}} \quad (21)$$

Se obtienen tres ecuaciones independientes. Al tener 5 incógnitas, es necesario obtener otras dos ecuaciones independientes para resolver el sistema.

Para ello, en la ecuación principal, se deriva el voltaje en función de la intensidad:

$$\frac{dU}{dI} = -R_s - \frac{nV_{th}R_{sh}}{nV_{th} + I_0R_{sh}\exp\left(\frac{U + IxR_s}{nV_{th}}\right)} \quad (22)$$

Donde:

$$- V_{th} = \frac{kT}{q}$$

Dicha ecuación, bajo las condiciones de cortocircuito ($U = 0$ e $I = I_{sc}$) se define $\left. \frac{dU}{dI} \right|_{U=0} = -R_{sho}$, por lo tanto, se obtiene:

$$R_{sho} = R_s + \frac{nV_{th}R_{sh}}{nV_{th} + I_0R_{sh}\exp\left(\frac{I_{sc}xR_s}{nV_{th}}\right)} \quad (23)$$

De igual forma, pero bajo las condiciones de circuito abierto ($U = U_{oc}$ e $I = 0$) se define $\left. \frac{dU}{dI} \right|_{I=0} = -R_{so}$, por lo tanto, se obtiene:

$$R_{so} = R_s + \frac{nV_{th}R_{sh}}{nV_{th} + I_0R_{sh}\exp\left(\frac{U_{oc}}{nV_{th}}\right)} \quad (24)$$

Se puede obtener una sexta ecuación independiente a partir de la formulación de la potencia $P = VxI$

$$dP = IdU + UdI \quad (25)$$

En el punto de máxima potencia:

$$\left. \frac{dP}{dU} \right|_{P=P_m} = I_m + U_m \left. \frac{dI}{dU} \right|_{P=P_m} = 0 \quad (26)$$

Acorde a la ecuación anterior, $\left. \frac{dU}{dI} \right|_{P=P_m} = \frac{V_m}{I_m}$ por lo que la ecuación (6) puede ser rescrita como:

$$\frac{V_m}{I_m} = R_s + \frac{nV_{th}R_{sh}}{nV_{th} + I_0R_{sh}\exp\left(\frac{U_m + I_m x R_s}{nV_{th}}\right)} \quad (27)$$

Se obtienen 6 ecuaciones independientes para obtener 5 incógnitas.

$$I_{sc} = I_{ph} - I_0 \left\{ \exp \left(\frac{I_{sc}xR_s}{nkT} \right) - 1 \right\} - \frac{I_{sc}xR_s}{R_{sh}} \quad (28)$$

$$I_{ph} = I_0 \left\{ \exp \left(\frac{qU_{oc}}{nkT} \right) - 1 \right\} - \frac{U_{oc}}{R_{sh}} \quad (29)$$

$$I_m = I_{ph} - I_0 \left\{ \exp \left(\frac{q(U_m + I_m x R_s)}{nkT} \right) - 1 \right\} - \frac{U_m + I_m x R_s}{R_{sh}} \quad (30)$$

$$R_{sho} = R_s + \frac{nV_{th}R_{sh}}{nV_{th} + I_0R_{sh}\exp\left(\frac{I_{sc}xR_s}{nV_{th}}\right)} \quad (31)$$

$$R_{so} = R_s + \frac{nV_{th}R_{sh}}{nV_{th} + I_0R_{sh}\exp\left(\frac{U_{oc}}{nV_{th}}\right)} \quad (32)$$

$$\frac{V_m}{I_m} = R_s + \frac{nV_{th}R_{sh}}{nV_{th} + I_0R_{sh}\exp\left(\frac{U_m + I_m x R_s}{nV_{th}}\right)} \quad (33)$$

Si el valor de R_{so} y R_{sho} es conocido, dichas incógnitas pueden ser obtenidas con un sistema formado por cualquiera de las ecuaciones [13].

Tal y como se puede observar, hay ecuaciones exponenciales, lo que dificulta su resolución. Para ello, se realizan una serie de simplificaciones.

La ecuación (1) es dividida entre la corriente fotogenerada (I_{ph}):

$$\frac{I}{I_{ph}} = 1 - \frac{I_0 \left\{ \exp \left[\left(\frac{q(U + IxRs)}{nkT} \right) - 1 \right] \right\}}{I_{ph}} - \frac{U + IxRs}{R_{sh} I_{ph}} \quad (34)$$

Donde:

$$\begin{aligned} \frac{I}{I_{ph}} &\approx 1 \\ \frac{I_0 \left\{ \exp \left[\left(\frac{q(U + IxRs)}{nkT} \right) - 1 \right] \right\}}{I_{ph}} &\ll 1 \\ \frac{U + IxRs}{R_{sh} I_{ph}} &\approx \frac{R_s}{R_{sh}} \end{aligned}$$

Por lo tanto, puede ser reescrita como:

$$I = I_{ph} - \frac{U + IxRs}{R_{sh}} \quad (35)$$

En el punto de cortocircuito:

$$\frac{I_{ph}}{I_{sc}} = 1 + \frac{R_s}{R_{sh}} \quad (36)$$

La ecuación (6) es una función exponencial, compleja de resolver. Combinando (1) y (6), se obtiene:

$$\frac{dU}{dI} = -R_s - \frac{nV_{th}R_{sh}}{nV_{th} + (R_{sh} + R_s)(I_{sc} - I) - U} \quad (37)$$

En el punto de cortocircuito:

$$R_{sho} = R_s + R_{sh} \quad (38)$$

En el punto de circuito abierto:

$$R_{sho} = R_s + \frac{nV_{th}R_{sh}}{nV_{th} + (R_{sh} + R_s)I_{sc} - U_{oc}} \quad (39)$$

En el punto de máxima potencia:

$$\frac{V_m}{I_m} = R_s + \frac{nV_{th}R_{sh}}{nV_{th} + (R_{sh} + R_s)(I_{sc} - I_m) - U_m} \quad (40)$$

Por lo tanto, se obtienen cuatro ecuaciones algebraicas (14), (17), (18) y (19) con las que se obtienen los valores de I_{ph} , R_s , R_{sh} y n . Conocidos sus valores, se puede obtener el valor de I_0 . Se asume como conocido

el valor de R_{so} y R_{sho} .

$$R_s = \frac{V_m(R_{sho} - R_{so})[V_m - R_{sho}(I_{sc} - I_m)] + R_{so}(V_m - R_{sho}I_m)(V_{oc} - R_{sho}I_{sc})}{I_m(R_{sho} - R_{so})[V_m - R_{sho}(I_{sc} - I_m)] + (V_m - R_{sho}I_m)(V_{oc} - R_{sho}I_{sc})} \quad (41)$$

$$R_{sh} = R_{sho} + R_s \quad (42)$$

$$I_{ph} = I_{sc} \left(1 + \frac{R_s}{R_{sh}} \right) \quad (43)$$

$$n = \frac{(R_s - R_{so})(U_{oc} - R_{sho}I_{sc})}{V_{th}(R_{sho} - R_{so})} \quad (44)$$

$$I_o = \frac{I_{ph} - \frac{U_{oc}}{R_{sh}}}{\exp\left(\frac{U_{oc}}{nV_{th}}\right) - 1} \quad (45)$$

7.3 Cálculo de los valores para el modelado bajo condiciones reales

Con el objetivo de modelar el comportamiento de un módulo fotovoltaico bajo condiciones reales los valores de U_{oc} , I_{sc} , I_{ph} , I_o e I_m son modificados debido a la temperatura y radiación solar [13].

La tensión en circuito abierto se ve modificada por la temperatura ambiente.

$$U_{oc} = U_{oc} \times \left(1 + \frac{\beta \times (T - T_{ref})}{100} \right) \quad (46)$$

Donde:

- β es un coeficiente de temperatura en un panel fotovoltaico. Indica la variación de la tensión en circuito abierto en función de la temperatura. Es un valor característico del panel fotovoltaico.
- T_{ref} es la temperatura de referencia. Toma el valor de 25 °C.

La intensidad de cortocircuito también se ve modificada por la temperatura ambiente.

$$I_{sc} = I_{sc} \times \left(1 + \frac{\alpha \times (T - T_{ref})}{100} \right) \quad (47)$$

Donde:

- α es otro coeficiente de temperatura en un panel fotovoltaico. Indica la variación de la tensión en circuito abierto en función de la temperatura. Es un valor característico del panel fotovoltaico.

La corriente fotogenerada por un módulo fotovoltaico se ve afectada por la radiación que incide sobre el panel, según la siguiente formulación:

$$I_{ph} = \frac{G}{G_{ref}} \times I_{sc} \quad (48)$$

Donde:

- G_{ref} es la radiación solar de referencia. Toma el valor de 1000 $\frac{W}{m^2}$.
- G es la radiación solar.

Debido a que el valor de U_{oc} e I_{sc} cambia por la temperatura, el valor de la intensidad de saturación inversa

del diodo, I_0 , cambia según la siguiente formulación:

$$I_0 = \frac{I_{sc}}{\exp\left(\frac{U_{oc}}{nV_{th}}\right) - 1} \quad (49)$$

Por último, la I_m también se ve afectada debido a la temperatura y radiación de la siguiente forma:

$$I_m = I_m \left(\frac{G}{G_{ref}}\right) \times \left(1 + \frac{\beta \times (T - T_{ref})}{100}\right) \quad (50)$$

7.4 Empleo de métodos iterativos para su resolución

Una vez se han realizado estas reformulaciones de variables, se obtienen los valores reales que modelan el comportamiento de un módulo fotovoltaico en función de la temperatura y la radiación. Es posible la resolución de la ecuación principal (Ecuación 16).

Dicha ecuación es no lineal y puede ser resuelta por varios métodos como Newton-Raphson, Método de Steffensen, Método de Halley...

Para este caso, se emplea el método más usado para resolver ecuaciones, el Método de Newton-Raphson. Este método solo requiere un valor inicial, cercano a la raíz, para obtener un valor más aproximado a la raíz de la ecuación $f(x) = 0$. Para ello, se sigue la siguiente formulación:

$$x_{n+1} = x_n - \frac{f(x_n)}{f'(x_n)} \quad (51)$$

Adaptándolo al problema presente, se obtiene:

$$I_{n+1} = I_n - \frac{f(I_n)}{f'(I_n)} \quad (52)$$

Donde:

$$f(I) = I_{ph} - I_0 \left\{ \exp\left(\frac{U + I_n x R_s}{nV_{th}}\right) - 1 \right\} - \frac{U + I_n x R_s}{R_{sh}} - I_n$$

$$f'(I) = -I_0 x \frac{R_s}{nV_{th}} \times \exp\left(\frac{U + I_n x R_s}{nV_{th}}\right) - \frac{R_s}{R_{sh}} - 1$$

Sustituyendo los valores correspondientes en la Ecuación 53:

$$I_{n+1} = I_n - \frac{I_{ph} - I_0 \left\{ \exp\left(\frac{U + I_n x R_s}{nV_{th}}\right) - 1 \right\} - \frac{U + I_n x R_s}{R_{sh}} - I_n}{-I_0 x \frac{R_s}{nV_{th}} \times \exp\left(\frac{U + I_n x R_s}{nV_{th}}\right) - \frac{R_s}{R_{sh}} - 1} \quad (53)$$

Como valor inicial para comenzar las interacciones, se toma el valor de la intensidad de cortocircuito I_{sc} .

Mediante el método de Newton-Raphson se obtiene el valor de I por cada valor de U . La gráfica que se busca comienza con un valor de $I = I_{sc}$ $U = 0$ y acaba con un valor de $I = 0$ $U = U_{oc}$ tal y como se observa en la Figura 50. De ahí, la corriente de cortocircuito, I_{sc} , es un buen valor inicial para dar comienzo al método de interacción.

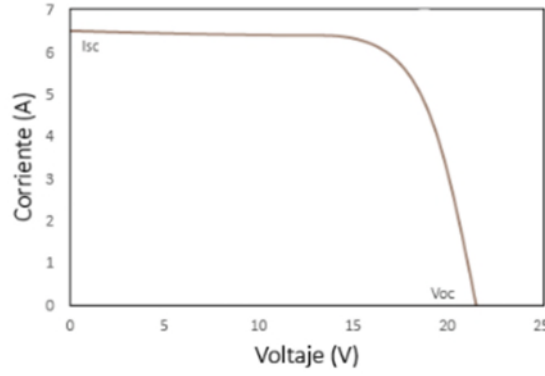


Figura 51. Curva V-I y puntos de interés (Isc y Voc)

Así mismo, se presenta la formulación del modelado de N_s strings con N_p paneles por cada string.

$$f(I) = N_p x I_{ph} - N_p x I_0 \left\{ \exp \left(\frac{\frac{U}{N_s} + \frac{I_n x R_s}{N_p}}{nV_{th}} \right) - 1 \right\} - \frac{U x \frac{N_p}{N_s} + I x R_s}{R_{sh}} - I_n \quad (54)$$

$$f'(I) = -I_0 x \frac{R_s}{nV_{th}} x \exp \left(\frac{\frac{U}{N_s} + \frac{I_n x R_s}{N_p}}{nV_{th}} \right) - \frac{R_s}{R_{sh}} - 1 \quad (55)$$

$$I_{n+1} = I_n - \frac{N_p x I_{ph} - N_p x I_0 \left\{ \exp \left(\frac{\frac{U}{N_s} + \frac{I_n x R_s}{N_p}}{nV_{th}} \right) - 1 \right\} - \frac{U x \frac{N_p}{N_s} + I x R_s}{R_{sh}} - I_n}{-I_0 x \frac{R_s}{nV_{th}} x \exp \left(\frac{\frac{U}{N_s} + \frac{I_n x R_s}{N_p}}{nV_{th}} \right) - \frac{R_s}{R_{sh}} - 1} \quad (56)$$

Aplicando el método de Newton-Raphson sobre la Ecuación 56 se obtiene el comportamiento de $N_p x N_s$ módulos fotovoltaicos con las mismas condiciones de Temperatura e Irradiación.

8 RESULTADOS

Se verificará el modelo matemático que simula un campo fotovoltaico expuesto anteriormente con un campo fotovoltaico real. Se realiza un análisis del comportamiento de los strings por separado y en conjunto empleando la aplicación de monitorización con la que cuenta el inversor. A su vez, se comprueba los resultados que vierte el modelado matemático realizado en Matlab.

8.1 Descripción del campo fotovoltaico

En la población de Sevilla, está ubicado un campo fotovoltaico de una potencia instalada de 100,8 KWp. Este campo fotovoltaico, situado en el tejado de una nave industrial de la empresa propietaria de dicha instalación, da servicio a las actividades industriales que tiene la empresa y el remanente eléctrico es vendido a la red eléctrica.

Se compone por 252 paneles fotovoltaicos *Exiom EX 400M – 144* orientados 75° respecto al Sur y 10,9° de inclinación respecto a la horizontal con las siguientes características:

TIPO TYPE	EX400M-144
STC 1000 W/M2. Module Temperature 25°C A.M.1,5	
Potencia de salida Power output	400
Max. potencia tolerada Max. power tolerance (%)	
Eficiencia módulo Module efficiency (%)	19.7
Voltage Máximo voltage, VMP (V)	41.1
Intensidad máxima potencia Current, IMP (A)	9.74
Tensión circ. abierto Voltage open circuit, VOC (V)	50.4
Corriente de cortocircuito Short circuit current, ISC (A)	10.18
NOCT 800W/M2 Environment. Temperature 20°C A.M. 1,5	
Potencia de salida Power output	302
Voltage Máximo voltage, VMP (V)	38.9
Intensidad máxima potencia Current, IMP (A)	7.76
Tensión circ. abierto Voltage open circuit, VOC (V)	47.4
Corriente de cortocircuito Short circuit current, ISC (A)	8.21

COEFICIENTES DE TEMPERATURA TEMPERATURE COEFFICIENTS

Coefficiente de temp. Temp. Coefficient (P _{MAX})	-0.37%/°C
Coefficiente de temp. Temp. Coefficient (ISC)	0.050%/°C
Coefficiente de temp. Temp. Coefficient (VOC)	-0.29%/°C

Figura 52. Características del panel fotovoltaico

El inversor trifásico que convierte la energía de corriente continua a corriente alterna se trata del inversor *Sungrow SG110CX* con una capacidad de convertir una potencia de hasta 110 KW con las siguientes características:

Type designation	SG110CX
Input (DC)	
Max. PV input voltage	1100 V
Min. PV input voltage / Startup input voltage	200 V / 250 V
Nominal PV input voltage	585 V
MPP voltage range	200 – 1000 V
MPP voltage range for nominal power	550V – 850 V
No. of independent MPP inputs	9
Max. number of PV strings per MPPT	2
Max. PV input current	26 A * 9
Max. DC short-circuit current	40 A * 9
Output (AC)	
AC output power	110 kVA @ 45 °C / 100 kVA @ 50 °C
Max. AC output current	158.8 A
Nominal AC voltage	3 / N / PE, 400 V
AC voltage range	320 – 460 V
Nominal grid frequency / Grid frequency range	50 Hz / 45 – 55 Hz, 60 Hz / 55 – 65 Hz
THD	< 3 % (at nominal power)
DC current injection	< 0.5 % In
Power factor at nominal power / Adjustable power factor	> 0.99 / 0.8 leading – 0.8 lagging
Feed-in phases / connection phases	3 / 3
Efficiency	
Max. efficiency	98.7 %
Euro. efficiency	98.5 %

Figura 53. Características inversor Sungrow SG110CX

A la hora de conectar los módulos es necesario acudir a las características del inversor donde se obtienen varias notas:

- El voltaje mínimo que requiere el inversor para arrancar es de 200 V. Si los paneles produjeran menos de dicho voltaje, el inversor permanecerá apagado.
- El inversor tiene 18 puertos de conexión que están divididos en 9 MPPTs independientes. A cada MPPT independiente se pueden conectar 2 strings. Es necesario que los strings conectados a un mismo puerto MPPT tenga el mismo número de paneles, misma orientación y misma inclinación para evitar desajustes del MPPT.
- El rango de tensiones que permite cada MPPT es entre 200 y 1000 V. Si estuviera por debajo de 200 V, el MPPT no arrancaría y si está por encima de 1000 V no se comportaría de manera correcta. El voltaje máximo del inversor es de 1100 V.
- El rango de intensidades que permite cada MPPT es de 26 A por cada MPPT independiente, haciendo que cada MPPT soporte una intensidad máxima de 13 A por string.

Con esta serie de anotaciones se puede hacer una primera estimación de cómo quedaría el conexionado.

En primer lugar, es necesario conocer el número mínimo y máximo de paneles que soporta cada string.

$$N^{\circ} \text{ mínimo de paneles de un string} = \frac{\text{Tensión mínima que soporta un MPPT}}{\text{Voltaje máximo de un panel}} \quad (57)$$

$$N^{\circ} \text{ mínimo de paneles de un string} = \frac{200 \text{ V}}{41,1 \text{ V}} = 4,86 \approx 5 \text{ paneles}$$

$$N^{\circ} \text{ máximo de paneles de un string} = \frac{\text{Tensión máxima que soporta un MPPT}}{\text{Voltaje máximo de un panel}} \quad (58)$$

$$N^{\circ} \text{ máximo de paneles de un string} = \frac{1100 \text{ V}}{50,4 \text{ V}} = 21,82 \approx 21 \text{ paneles}$$

Por ende, el mínimo número de paneles que se pueden conectar en serie es 5 (con 4 paneles el MPPT no arrancaría) y el máximo número de paneles es 21 (con 22 paneles se superaría el rango de funcionamiento óptimo del MPPT).

En particular, esta instalación fotovoltaica está repartida en 17 strings de los cuales:

- 16 strings están formados por 15 paneles fotovoltaicos.
- 1 string está formado por 12 paneles fotovoltaicos.

La forma en la que están conectados a los MPPT independientes del inversor fotovoltaico es la siguiente:

- MPPT 1. String 1 y 2.
- MPPT 2. String 3 y 4.
- MPPT 3. String 5 y 6.
- MPPT 4. String 7 y 8.
- MPPT 5. String 9 y 10.
- MPPT 6. String 11 y 12.
- MPPT 7. String 13 y 14.
- MPPT 8. String 15 y 16
- MPPT 9. String 17.

Con ello, cada MPPT independiente está conectado a un par de strings de mismas características (número de paneles, orientación e inclinación). Cada MPPT independiente cuenta con dos MPPT iguales, que buscan el punto de máxima potencia de cada string.

El campo fotovoltaico cuenta con las protecciones de corriente alterna y corriente continua correspondientes que dan seguridad a la instalación, al igual que los cables apropiados con sus respectivas dimensiones. Esto no será objeto de estudio del Trabajo de Fin de Máster.

8.2 Datos del campo fotovoltaico real

El inversor *Sungrow SG110CX* tiene instalado un sistema de monitorización en tiempo real que vuelca los datos de producción del campo fotovoltaico a una aplicación llamada *iSolarCloud*. En esta aplicación se pueden obtener los siguientes datos en tiempo real:

- Intensidad en CC de cada string conectado al inversor.
- Voltaje en CC de cada string conectado al inversor.
- Intensidad en CA a la salida del inversor.
- Voltaje en CA a la salida del inversor.
- Potencia y energía producida a la salida del inversor.

El inversor monitorea el consumo en tiempo real de la fábrica, en este caso, dividiendo la energía producida en:

- Energía autoconsumida. Cantidad de energía requerida por la fábrica es suministrada directamente por los paneles fotovoltaicos.
- Energía vertida. Cantidad de energía que sobra de la producción de los paneles fotovoltaicos y es vertida a la red eléctrica.

A su vez, se guarda un registro en un histórico donde se pueden comprobar datos horarios, semanales, diarios, mensuales y anuales. Estos datos pueden ser exportados en formato csv. Se empleará el csv generado para comparar los datos de la instalación real con el modelo matemático.

Se realizan varios ejemplos para comprobar la precisión del modelado matemático del campo fotovoltaico. Se seleccionan días soleados a la hora de comparar entre el modelo real y el modelo matemático, puesto que es complicado registrar el patrón de nubes que ha habido durante un día.

8.3 Campo fotovoltaico simulado matemáticamente

Se ha implementado en Matlab un modelo matemático capaz de simular un campo fotovoltaico. El funcionamiento de este modelo se ha explicado en apartados anteriores y ahora se realizará la simulación del campo fotovoltaico que se ha tratado en el apartado anterior: una planta fotovoltaica de 252 paneles.

Para ello, es necesario volcar en el programa las características de los paneles fotovoltaicos, la forma en la que están conexonados su inclinación y orientación. También es necesario verter la radiación y la temperatura en cada momento (a la hora de la simulación, para que los datos sean parejos con los datos proporcionados por la monitorización del inversor, se emplearán datos de radiación y temperatura tomados cada 5 minutos).

Estos datos serán obtenidos de la página web de la Unión Europea PVGIS que proporciona los datos de radiación y temperatura en función de las coordenadas geográficas, inclinación y orientación de los paneles. Los datos son horarios, por lo que se realiza una interpolación lineal a la temperatura y una interpolación con ruido a la radiación, puesto que esta evoluciona de manera irregular.

8.4 Comparativa de resultados

Se realizan varios ejemplos para comprobar la precisión del modelado matemático del campo fotovoltaico. Se seleccionan días soleados a la hora de comparar entre el modelo real y el modelo matemático, puesto que es complicado registrar el patrón de nubes que ha habido durante un día.

8.4.1 Día soleado de Verano

Se selecciona un día soleado de verano, en este caso el 15 de julio.

En la aplicación de *iSolarCloud* se acude al registro de dicho día para observar las gráficas de voltaje e intensidad, así como la energía producida durante dicho día.

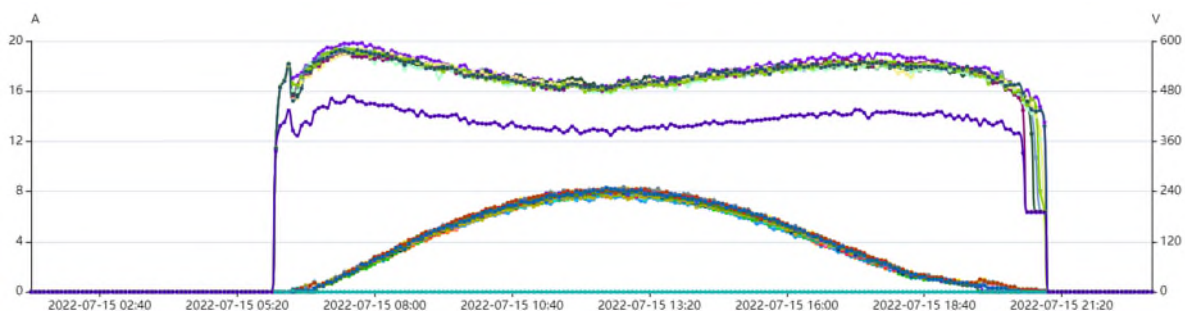


Figura 54. Voltaje e intensidad producido por cada string el día 15 de julio de 2022.

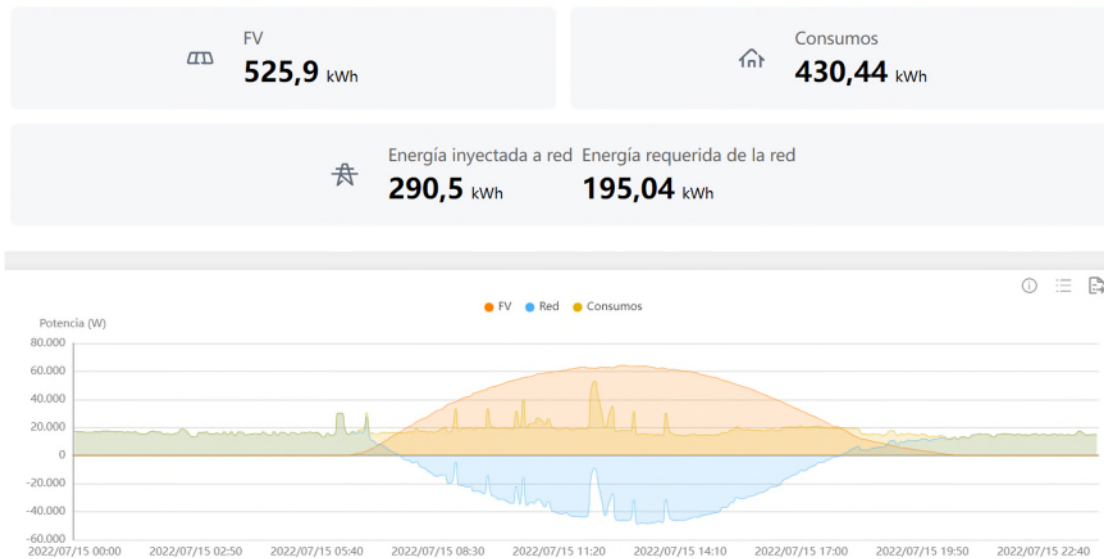


Figura 55. Curva de potencia producida, consumida, comprada y vertida a red el día 15 de julio de 2022

Se realiza la simulación de la planta mencionada al comienzo de este apartado para obtener los datos mostrados en las Figuras 54 y 55 para su comparación.

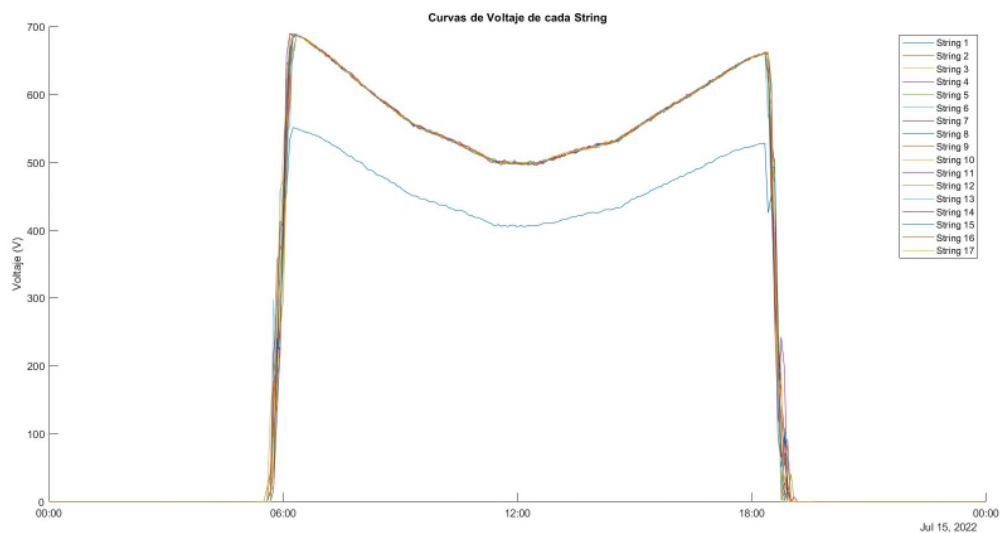


Figura 56. Voltaje de la simulación matemática de la planta fotovoltaica 15/07/22

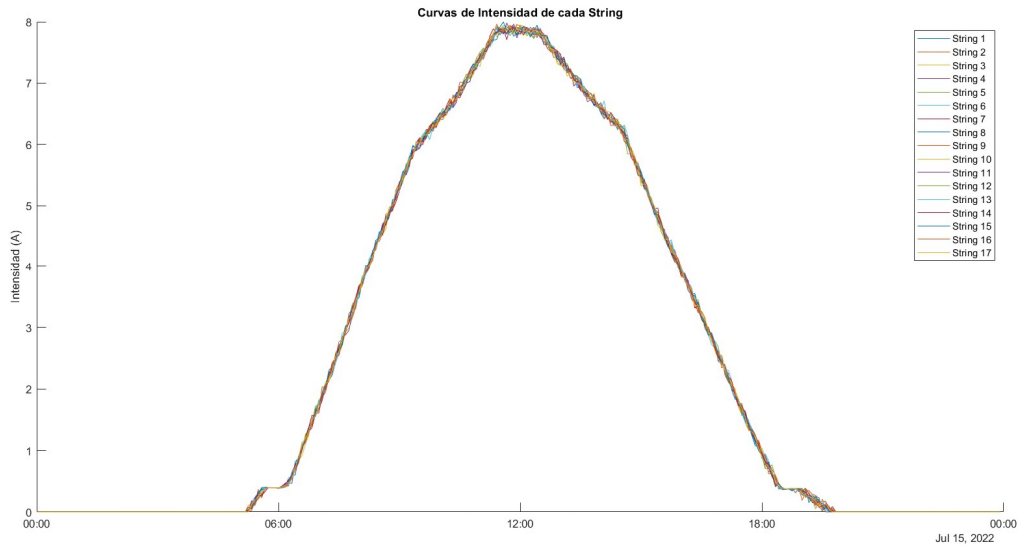


Figura 57. Intensidad de la simulación matemática de la planta fotovoltaica 15/07/22

Una vez obtenidas las curvas de intensidad y voltaje, se grafica la curva de potencia generada a lo largo del día y se compara con la que aporta la aplicación de *iSolarCloud*.

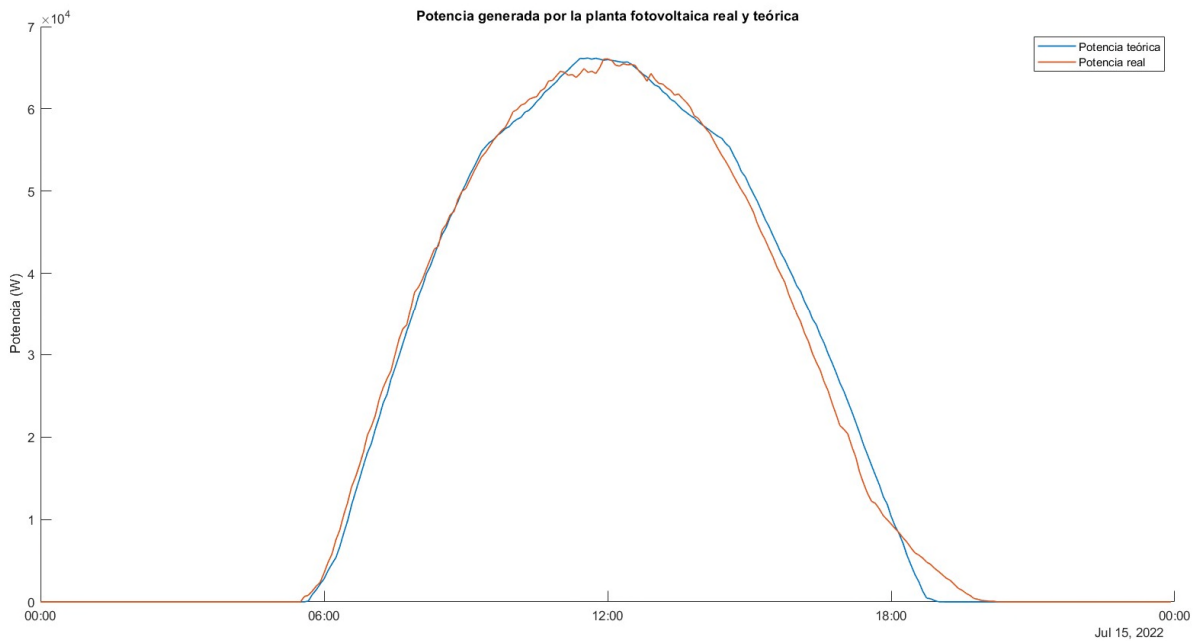


Figura 58. Comparativa de potencia generada por la planta fotovoltaica real y teórica 15/07/22

Según la aplicación de *iSolarCloud* durante el día 15 de julio de 2022 se generaron 525,9 KWh de energía mientras que según el modelado matemático se generaron 545,02 KWh durante el mismo día. Esto equivale a una diferencia del 3,5%.

8.4.2 Día soleado de Invierno

Se selecciona un día soleado de invierno por lo mencionado anteriormente: es complejo determinar el patrón de nubes que hubo en la localización de la planta fotovoltaica dicho día. Para esta simulación se selecciona el día 17 de enero.

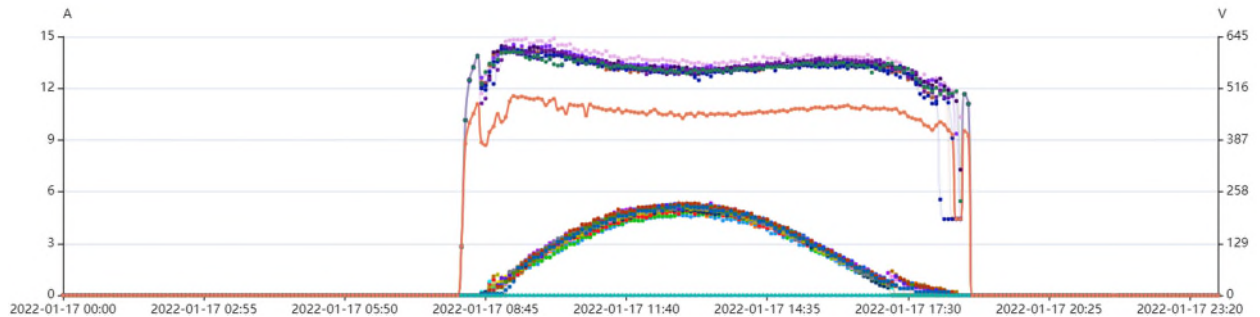


Figura 59. Voltaje e intensidad producido por cada string el día 17/01/22

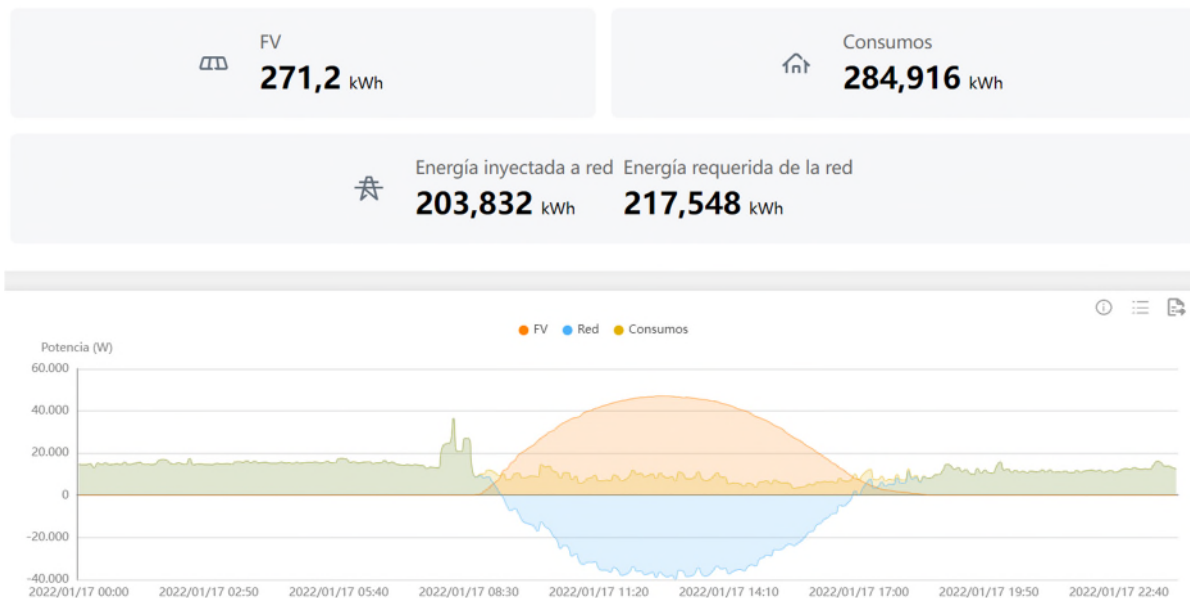


Figura 60. Curva de potencia producida, consumida, comprada y vertida a red el día 17/01/22

Se realiza la simulación de la planta mencionada al comienzo de este apartado para obtener los datos mostrados en las Figuras 59 y 60 para su comparación.

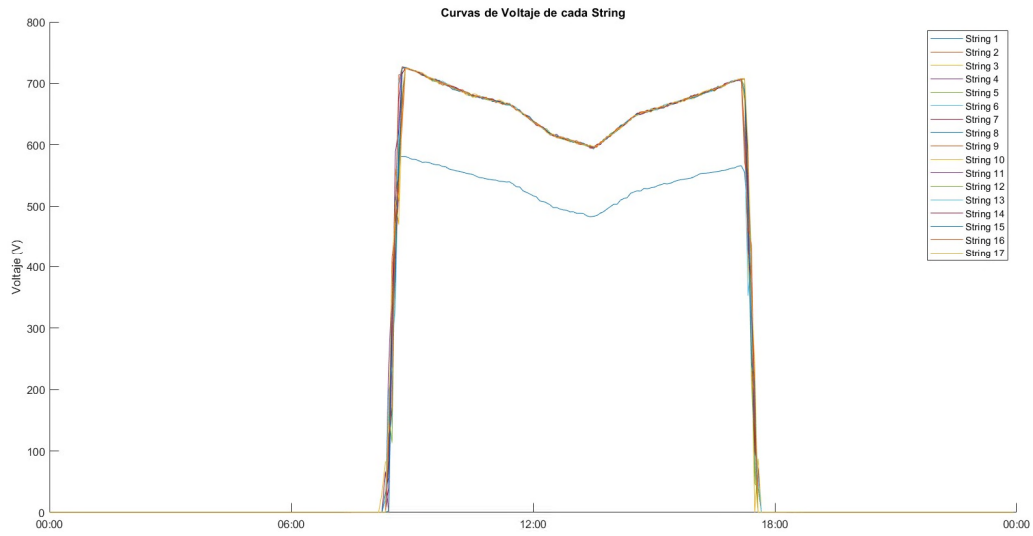


Figura 61. Voltaje de la simulación matemática de la planta fotovoltaica el 17/01/22

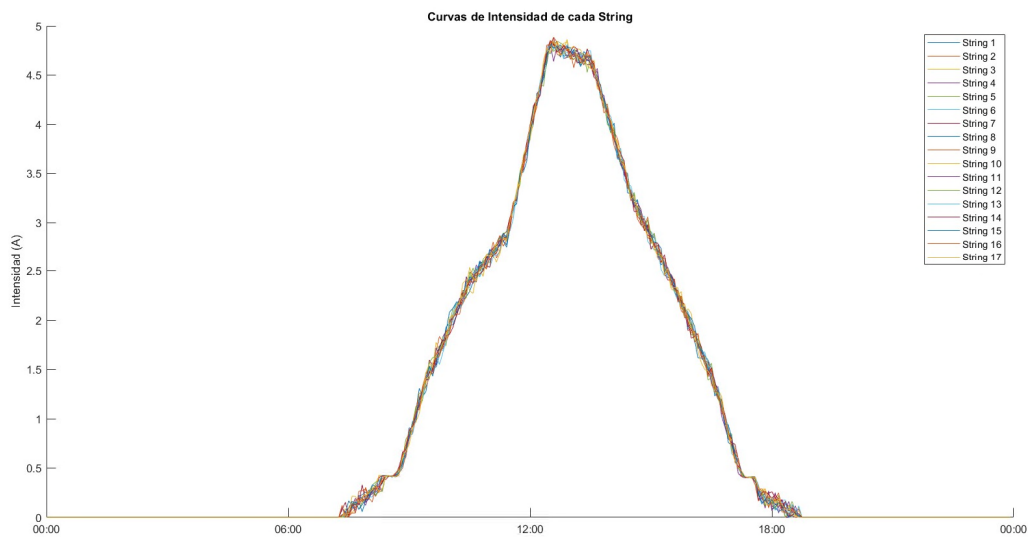


Figura 62. Intensidad de la simulación matemática de la planta fotovoltaica el 17/01/22

Una vez obtenidas las curvas de intensidad y voltaje, se grafica la curva de potencia generada a lo largo del día y se compara con la que aporta la aplicación de *iSolarCloud*.

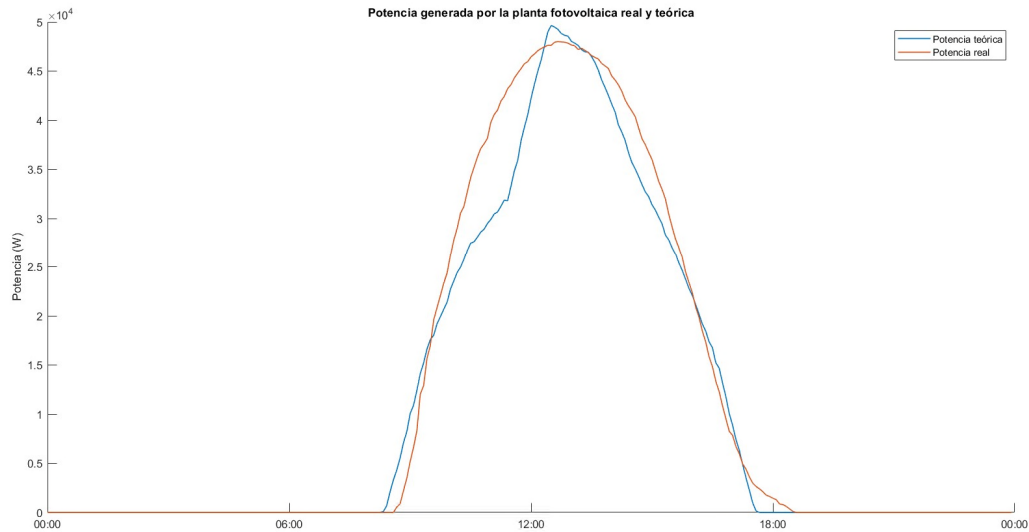


Figura 63. Comparativa de potencia generada por la planta fotovoltaica real y teórica el 17/01/22

Según la aplicación de *iSolarCloud* durante el día 17 de enero de 2022 se generaron 271,2 KWh de energía mientras que según el modelado matemático se generaron 256,23 KWh durante el mismo día. Esto equivale a una diferencia del 5,5%.

8.4.3 Producción fotovoltaica durante un año

Se procede a realizar una comparativa de la producción fotovoltaica proporcionada por la aplicación de la planta fotovoltaica y la simulada.

Tal y como se muestra en la Figura 64, la potencia generada durante el mes de julio por la planta fotovoltaica. Se puede observar como julio fue un mes soleado a excepción del día 3 de julio, donde hubo nubes y esto hizo que se viera la potencia generada afectada. En los días 7 y 24 del mes también se observa una curva de potencia anormal debido a la nubosidad de dicha jornada.

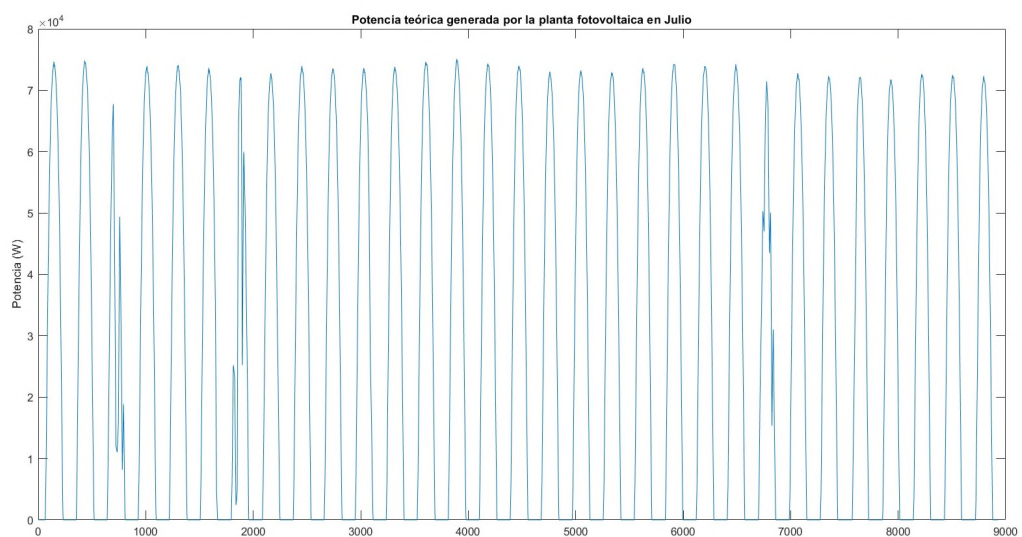


Figura 64. Potencia simulada durante el mes de julio

En cambio, si se observan los datos del mes de enero, se puede ver cómo hay varios días nublados que

repercuten sobre la producción, tal y como se puede observar en la gráfica.

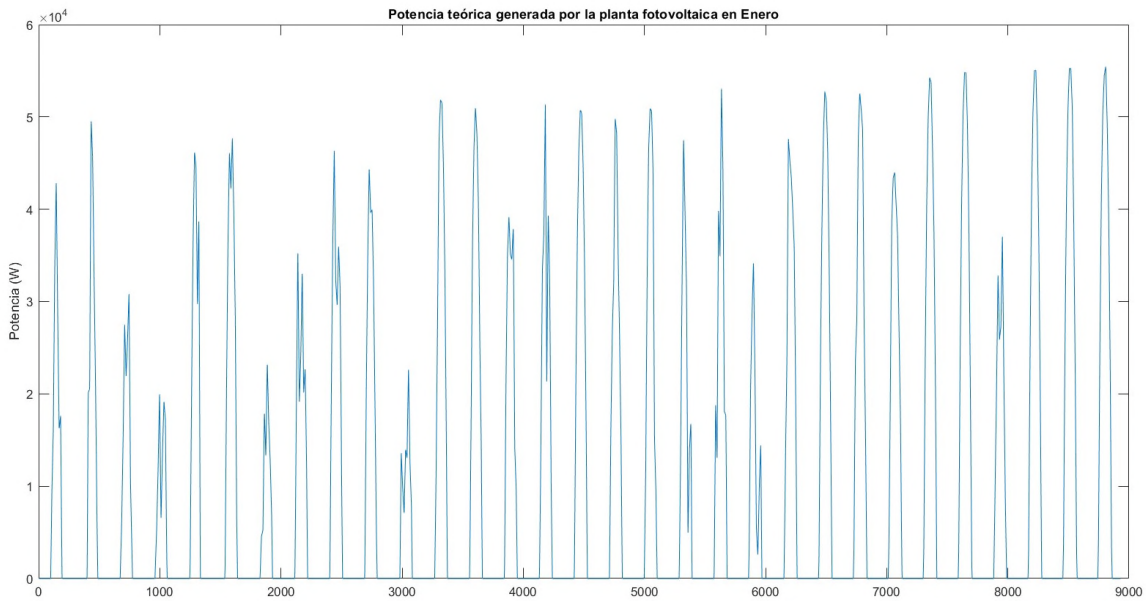


Figura 65. Potencia simulada durante el mes de enero

A su vez, el rango de potencias del mes de enero oscila hasta los 55 KWp, considerablemente menor que los 85 KWp que alcanza la planta fotovoltaica los meses de verano (tal y como se puede observar en la *Figura 64*). Esto es causa de la radiación con la que el sol impacta sobre los paneles solares, siendo en los meses fríos mucho menor debido a que este está considerablemente más bajo que en los meses cálidos, donde choca de manera perpendicular.

Obteniendo del histórico de la aplicación de iSolarCloud la producción de la planta fotovoltaica durante un año, se obtienen estos datos:

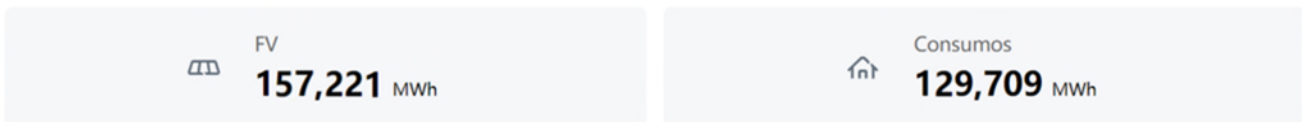


Figura 66. Producción y consumo real de la planta fotovoltaica

Como este Trabajo de Fin de Máster se centra en la producción de energía fotovoltaica, se hará hincapié en la producción y no en el consumo. Se procede a realizar la comparación mes a mes de la producción fotovoltaica para su comparación con el modelado matemático de la misma.

Mes	Energía producida real (MWh)	Energía producida simulada (MWh)
Enero	7,34	7,39
Febrero	10,38	10,85
Marzo	12,42	12,88
Abril	15,65	16,08
Mayo	19,03	19,58
Junio	18,34	18,56
Julio	18,93	19,86
Agosto	17,24	18,66
Septiembre	15,33	15,94
Octubre	10,24	10,46
Noviembre	6,27	6,15

Diciembre	6,05	5,86
Total	157,22	162,29

Se obtiene una producción simulada un 3,12% mayor que la producida por la planta fotovoltaica. Cabe mencionar que no se conoce con precisión los días nublados y soleados y, por ende, la radiación a lo largo de cada una de las horas de los días simulados. A su vez, dicha nota es aplicable para la temperatura, pero esta tiene un impacto considerablemente menor que la radiación sobre la producción de energía.

8.5 Simulación de instalación afectada por sombras generadas por edificios

Un factor importante a la hora de la producción de energía por los paneles fotovoltaicos, tal y como se ha mencionado en este trabajo, es la sombra que afecta a dichos paneles. Que un panel en un string esté sombreado influye directamente sobre la producción del conjunto de paneles. Esto significa que es muy importante el estudio de las sombras y el posterior conexionado de los paneles para que el sombreado de los mismos afecte de la menor manera posible al sistema.

Este punto se ejemplifica simulando distintas conexiones entre los paneles solares de una vivienda en el centro de Sevilla (concretamente en la Calle Brasil) que desea instalar paneles fotovoltaicos en su vivienda. La vivienda, señalada en azul, colinda a su derecha con otra vivienda cuya altura es un piso adicional, lo que hará que la azotea interesada en la instalación se vea sombreada en determinados momentos del día.

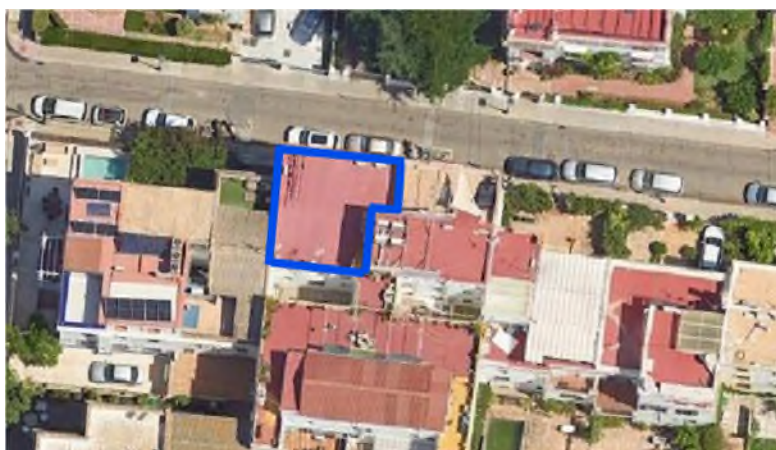


Figura 67. Edificio de la Calle Brasil (Sevilla)

Esta azotea cuenta con una superficie de 86,06 m². El lado este de dicha azotea cuenta con un bloque de 4 metros más alto, el cual impactará significativamente con sombra sobre la azotea. Si este bloque se encontrara en el lado norte, no se vería perjudicada, puesto que la sombra traza un semicírculo desde el lado oeste hasta el lado este, nunca pasando por el sur. A su vez, influirá la sombra generada por la barandilla de dicha azotea cuando atardezca. Por lo tanto, dos sombras significativas afectarían a una instalación de paneles fotovoltaicos: una a primeras horas de la mañana y otra a última hora de la tarde.

El vecino en cuestión desea instalar 8 paneles fotovoltaicos, puesto que con esta cantidad sería suficiente para abastecer el consumo de su vivienda, pero cuenta con la problemática del bloque que, debido a la sombra producida, afecta a la producción de los paneles.

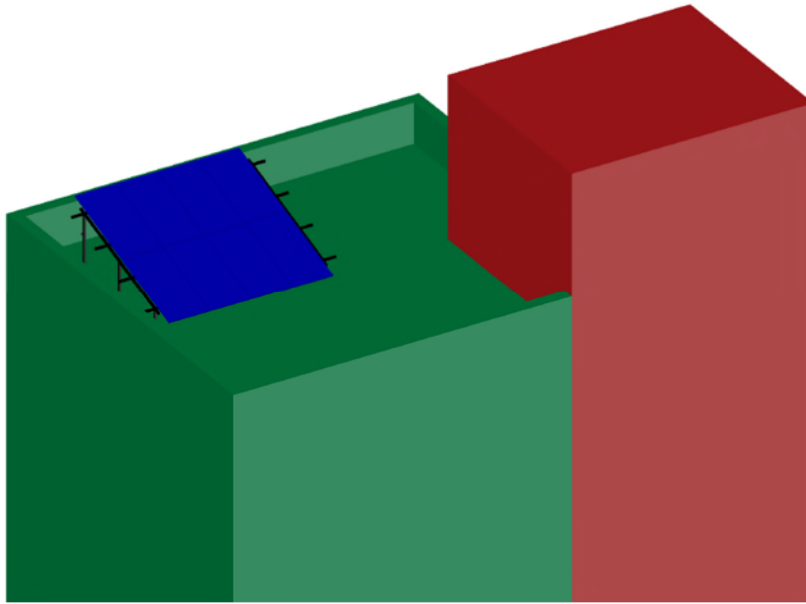


Figura 68. Simulación 3D de la instalación fotovoltaica en la azotea a estudio

Se realizan dos simulaciones aplicando el mismo sombreado a ambas para observar la respuesta de la instalación fotovoltaica: una primera simulación con un único string de 8 paneles y una segunda simulación con dos strings de 4 paneles cada uno.

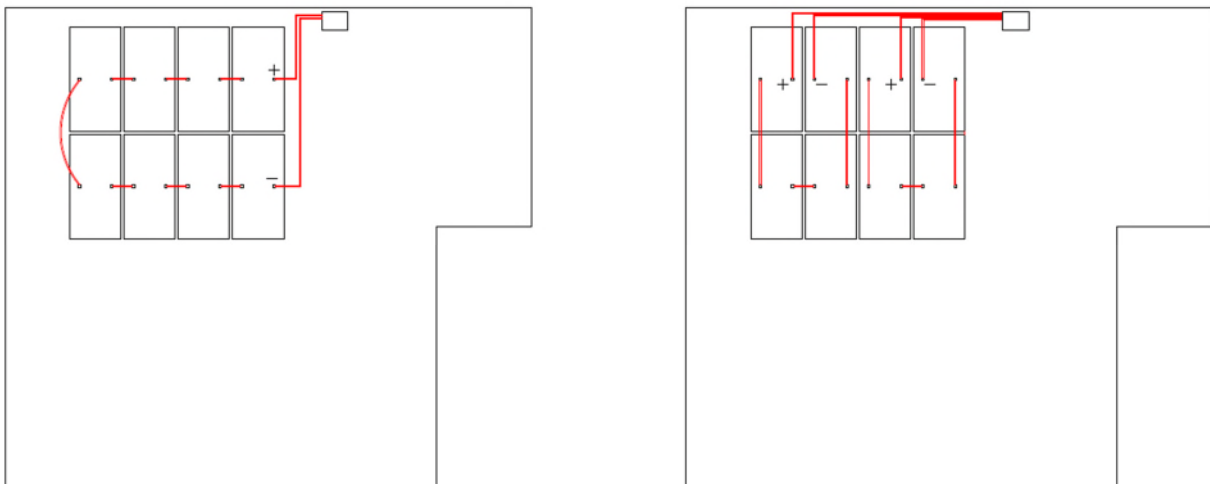


Figura 69. Conexión de los paneles fotovoltaicos a simular

La gráfica de potencia que genera la instalación fotovoltaica de 8 paneles conectados en serie, afectado por las sombras a primera hora de la mañana y a última hora de la tarde es la siguiente:

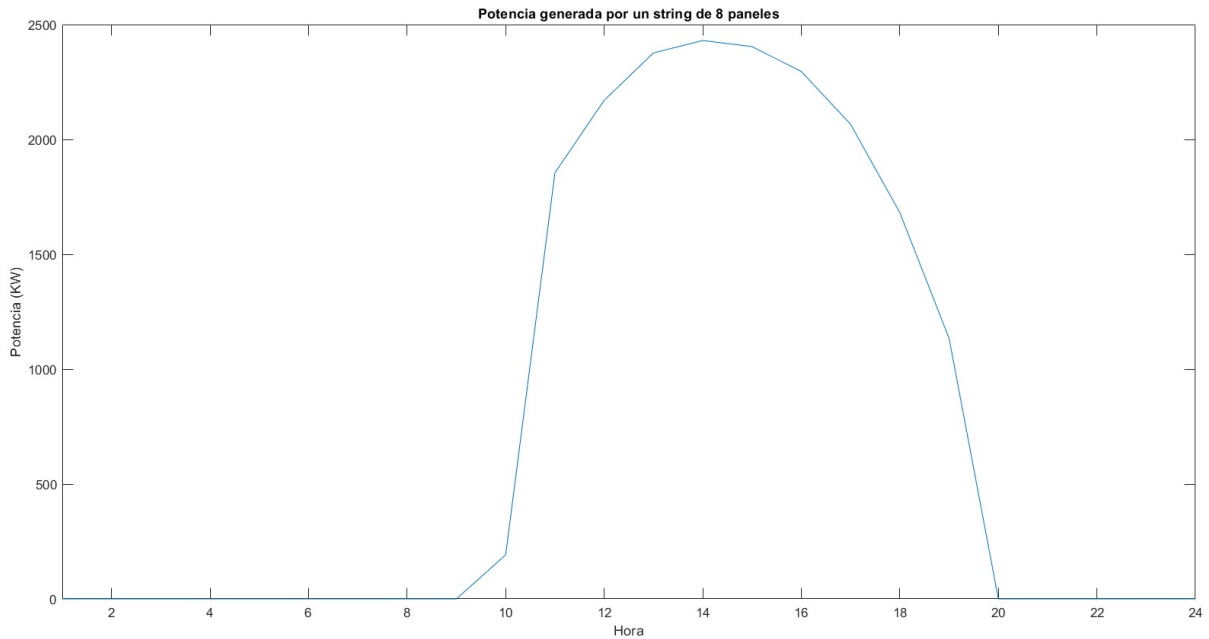


Figura 70. Potencia generada por un string de 8 paneles

A continuación, se representa la potencia generada por dos strings de 4 paneles cada uno.

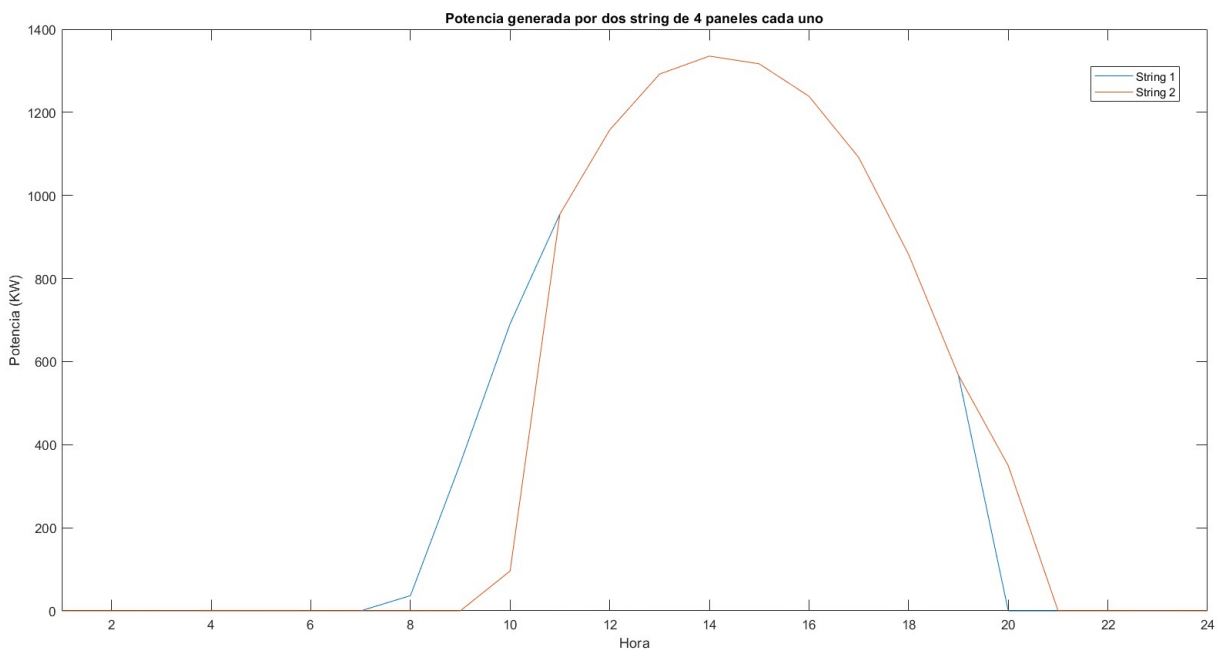


Figura 71. Potencia generada por 2 strings de 4 paneles cada uno

En la Figura 71 se puede observar la influencia de las sombras en cada string. En el String 1 se ve afectado a última hora de la tarde, puesto que la sombra de la barandilla de la azotea influye directamente sobre los cuatro paneles que componen esa rama. En cambio, en el String 2 la forma en la que afecta la sombra generada por el edificio contiguo aparece en las primeras horas de la mañana.

En la Figura 72 se compara la gráfica de la potencia generada por un string de 8 paneles y la potencia generada por los dos string de 4 paneles cada uno, pero con dos MPPT independientes. Si se combinan todos los paneles en un solo string, se obtiene una producción diaria de 19,81 KWh. En cambio, si se dividen en dos strings con un MPPT distinto para cada uno, se obtiene una producción de 21,15 KWh. Esto implica una mejora del 6,67%.

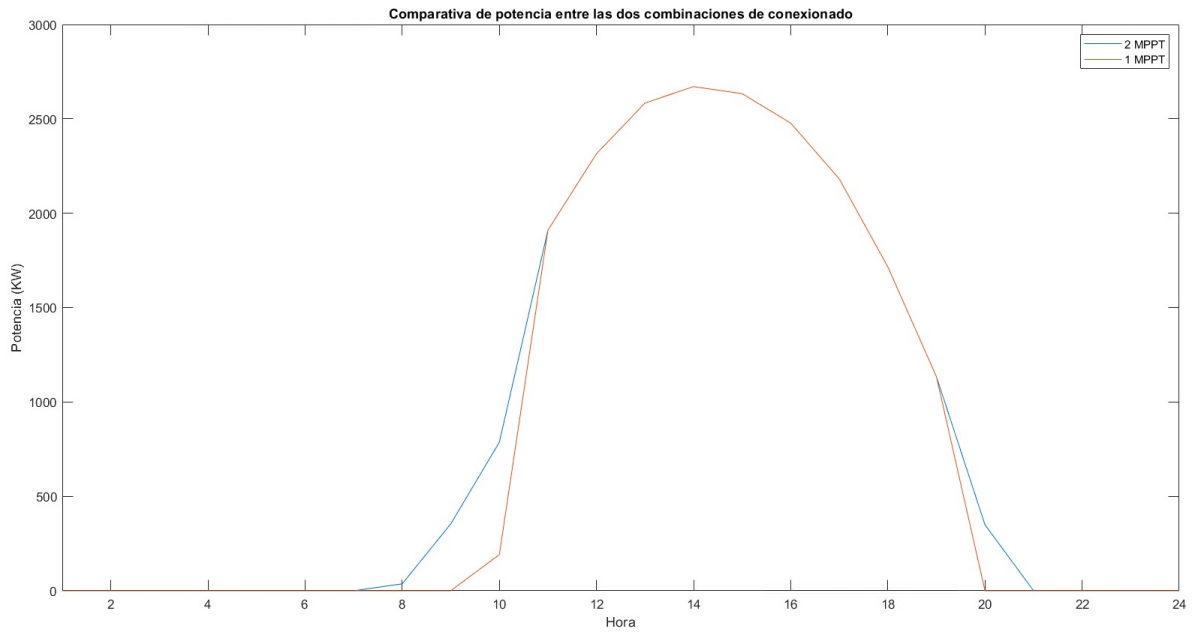


Figura 72. Potencia generada 1 MPPT vs 2 MPPT

9 CONCLUSIONES

A lo largo de este Trabajo de Fin de Máster se ha modelado un campo fotovoltaico donde se ha implementado el funcionamiento de controladores MPPT para la optimización de la producción de energía. El modelado arroja resultados considerablemente realistas, puesto que difiere en un porcentaje pequeño frente a datos obtenidos de una planta fotovoltaica real.

Los objetivos planteados al inicio de este trabajo han sido alcanzados satisfactoriamente debido a que el modelo desarrollado se ajusta a la realidad. Se ha corroborado la importancia de una optimización del conexionado de los distintos paneles fotovoltaicos de cualquier instalación para incrementar la producción de energía. A su vez, se ha observado la influencia de factores ambientales como temperatura y radiación sobre el funcionamiento de una instalación.

No obstante, el modelo presenta limitaciones puesto que depende de factores los cuales no se pueden controlar de manera precisa, como la radiación solar. Se puede realizar una estimación probabilística, pero esta no nos asegura que las condiciones meteorológicas se cumplan. La influencia de sombras en los días nublados afecta significativamente con la producción de energía fotovoltaica. Tampoco se ha considerado la degradación de los paneles y pérdidas de rendimiento del inversor a lo largo del tiempo.

Para futuras ampliaciones es interesante considerar los dos aspectos mencionados anteriormente analizando la desviación de la instalación fotovoltaica frente al modelado matemático. Así como añadir inteligencia artificial para optimizar el conexionado de los distintos MPPTs con los que cuentan los inversores.

Se contribuye al análisis de distintas instalaciones, de pequeña y gran escala, obteniendo la producción energética diaria, semanal y anual. A su vez permite realizar ensayos de distintas combinaciones de strings para que las posibles sombras que afecten a la instalación impacten de la menor manera posible sobre la misma.

En un mundo donde la transición energética se ha vuelto un deber, la necesidad de maximizar la eficiencia de las instalaciones fotovoltaica se convierte en un desafío crucial. Al optimizar cada panel, cada conexión, analizar el impacto de cualquier tipo de sombra y cómo minimizarla, se construye un sendero hacia un objetivo común. Este proyecto es, por tanto, una contribución a un cambio dejó de ser una opción hace varios años y se convirtió en una necesidad urgente para el futuro de nuestro planeta.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] "50 Years of Photovoltaic Research: Historical Perspective and Future Trends." (2020). *IEEE Journal of Photovoltaics*, 10(5), 1526-1534. <https://doi.org/10.1109/JPHOTOV.2020.2992671>
- [2] Andreev, V.M.; McEvoy, A.; Markvart, T.; Castañer, L. GaAs and High-Efficiency Space Cells. In *Practical Handbook of Photovoltaics*, 2nd ed.; Academic Press: Cambridge, MA, USA, 2012; pp. 399–416.
- [3] Fraas, L. (Ed.). (2024). *Low cost solar electric power* (1st ed.). Springer. Chapter 1: History of Solar Cell Development, p. 2.
- [4] Lameirinhas, R. A. M., Torres, J. P. N., & de Melo Cunha, J. P. (2022). A photovoltaic technology review: History, fundamentals and applications. *Energies*, 15(5), 1823. <https://doi.org/10.3390/en15051823>
- [5] Photovoltaic cell – the history of invention. (2023). *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal*, 26(1), 169-180. <https://doi.org/10.33223/epj/161290>
- [6] Wilson, G. M., Al-Jassim, M., Metzger, W. K., Glunz, S. W., Verlinden, P., Xiong, G., ... & Sulas-Kern, D. B. (2020). The 2020 photovoltaic technologies roadmap. *Journal of Physics. D, Applied Physics*, 53(49). <https://doi.org/10.1088/1361-6463/ab9c6a>
- [7] Wolniak, R., & Skotnicka-Zasadzień, B. (2022). Development of Photovoltaic Energy in EU Countries as an Alternative to Fossil Fuels. *Energies*, 15(2), 662. <https://doi.org/10.3390/en15020662>
- [8] González-Urango, H., Ortega-Arjona, J. L., García-Cascales, M. S., & Lamata, M. T. (2023). A Strategic Analysis of Photovoltaic Energy Projects: The Case Study of Spain. *Sustainability*, 15(16), 12316. <https://doi.org/10.3390/su151612316>
- [9] Fernández-González, R., Suárez-García, A., Álvarez Feijoo, M. Á., Arce, E., & Díez-Mediavilla, M. (2020). Spanish Photovoltaic Solar Energy: Institutional Change, Financial Effects, and the Business Sector. *Sustainability*, 12(5), 1892. <https://doi.org/10.3390/su12051892>
- [10] Rodríguez Mas, F., Ruiz Gómez, A., & Valiente García, D. (2022). Apuntes sobre la energía fotovoltaica. Universidad Miguel Hernández.
- [11] Bayod Rújula, A. A. (2009). *Energías renovables: Sistemas fotovoltaicos*. Prensas de la Universidad de Zaragoza.
- [12] Fahim, S. R., Hasanien, H. M., Turky, R. A., Abdel Aleem, S. H. E., & Calasan, M. (2022). A Comprehensive Review of Photovoltaic Modules Models and Algorithms Used in Parameter Extraction. *Energies*. <https://doi.org/10.3390/en15238941>
- [13] Lodhi, E., Yang, P., Wang, L., Lodhi, Z., Khan, M. A., Muhammad, S., & Tamir, T. S. (2021). *Modelling and experimental characteristics of photovoltaic modules in typical days at an actual photovoltaic power station*. In *Proceedings of the 2021 IEEE 4th International Conference on Automation, Electronics and Electrical Engineering (AUTEEE)* (pp. 28-33). IEEE. <https://doi.org/10.1109/AUTEEE52864.2021.9668658>
- [14] Joudeh, A. S. R., & El-Keib, R. M. (2017). A review of maximum power point tracking algorithms for photovoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 122-144. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.135>
- [15] Vieira, R. G., de Araújo, F. M. U., Dhimish, M., & Guerra, M. I. S. (2020). A comprehensive review on bypass diode application on photovoltaic modules. *Energies*. <https://doi.org/10.3390/en13102472>
- [16] Rodríguez-Benítez, O. M., Aquí-Tapia, J. A., Ortega-Velázquez, I., & Espinosa-Pérez, G. (2022). Current source topologies for photovoltaic applications: An overview. *Electronic*. <https://doi.org/10.3390/electronics11182953>

- [17] R. M. Jalnekar Miete, K. S. JOG Fiete (2000). *Pulse-Width-Modulation Techniques: A Review*, 175-183.
<https://doi.org/10.1080/03772063.2000.11416153>

ANEXOS

CÓDIGO DE MATLAB

```

%PLANTA FOTOVOLTAICA DE 252 PANELES, DISTRIBUIDOS EN 16 STRINGS DE 15
%PANELES Y UN STRING DE 12 PANELES.

clear all
clc

%CARACTERÍSTICAS EMPLAZAMIENTO:
% COORDENADAS: 36.977189 -5.897164
% INCLINACIÓN RESPECTO A LA HORIZONTAL 10,9º
% ORIENTACIÓN RESPECTO AL SUR 15º

Np=17; %Número de strings (serán las filas)
Ns=15; %Número de paneles en serie (serán las columnas)

%Valores de referencia
Tref = 0;
Gref = 1000;

%Constantes
q = 1.6022e-19;
k = 1.38065e-23;

% Características panel fotovoltaico EXIOM 400W
Isc = 10.18;
Im = 9.74;
Voc = 50.4;
Vm = 41.1;
alfa = 0.05;
beta = -0.29;
Rso = 0.875;
Rsho = 100;

% Almacenamiento de datos de temperatura y radiación
A = readtable("datos2022.xlsx");
T = str2double(A{:,1})';
Rd = A{:,2}';

horas = length(Rd); %Número de horas a estudiar
intervalos = length(Rd)*12; %Número de intervalos (cada 5 minutos)

%Inicializo variables
Ustring=cell(Ns,intervalos);
Istring=cell(Ns,intervalos);
Pstring=cell(Ns,intervalos);
V_max=zeros(Ns,intervalos);
I_max=zeros(Ns,intervalos);
P_max=zeros(Ns,intervalos);

% Se produce una interpolación para obtener datos cada cinco minutos
Grd = interp1(1:horas, Rd(1:horas), linspace(1, horas, intervalos), 'linear');

```

```

T = interp1(1:horas, T(1:horas), linspace(1, horas, intervalos), 'linear');

for w=1:length(Grd)
    for p=1:Np
        if p<2 % String de 12 paneles
            Ns=12;
            vector_G=Grd(w)*ones(1,Ns);
        else % Strings de 15 paneles
            Ns=15;
            vector_G=Grd(w)*ones(1,Ns);
        end

        Vth = k*(273+T(w))/q;
        G=min(vector_G); %Almacena la radiación mínima de cada string, la cual
        marcará el funcionamiento del mismo

        if G==0 % Marca si la planta fotovoltaica opera de noche
            Ustring{p,w}=0; %Almacena los vectores U de cada string
            Istring{p,w}=0; %Almacena los vectores I de cada string
            Pstring{p,w}=0; %Almacena los vectores P de cada string
            V_max(p,w)=0; %Almacena el valor máximo del voltaje de la curva U-I
            I_max(p,w)=0; %Almacena el valor máximo de la intensidad de la curva U-I
            P_max(p,w)=0; %Almacena el valor máximo de la potencia de la curva U-I
        else

            %Función que obtiene los valores Rs, Rsh, Iph, n e I0 simplificados
            [Rs, Rsh, Iph, n, I0] = Valores_aprox(Isc, Im, Voc, Vm, Rso, Rsho, Vth);

            %Función que obtiene los valores en las condiciones de Temperatura y
            Radiación de cada iteración
            [Voc_real, Isc_real, Iph_real, I0_real, Im_real] = Valores_real(Voc, Isc,
            T(w), Tref, G, Gref, beta, alfa, Vth, Im, n);

            %Función que genera la curva U-I del string de paneles
            [U, I_graf, posicion] = Newton_Raphson(Ns, 1, Rs, Rsh, Iph_real, n,
            I0_real, Isc_real, Voc_real, Vth, p);

            Ustring{p,w}=U; %Almacena los vectores U de cada string
            Istring{p,w}=I_graf; %Almacena los vectores U de cada string
            Pstring{p,w}=U.*I_graf; %Almacena los vectores U de cada string

            V_max(p,w)=Ustring{p,w}(posicion); %Almacena el valor máximo del voltaje
            de la curva U-I
            I_max(p,w)=Istring{p,w}(posicion); %Almacena el valor máximo de la
            intensidad de la curva U-I
            P_max(p,w)=V_max(p,w)*I_max(p,w); %Almacena el valor máximo de la
            potencia de la curva U-I
        end
    end
end
end

```

FUNCIONES EMPLEADAS EN CÓDIGO MATLAB

```
function [Rs, Rsh, Iph, n, I0] = Valores_aprox(Isc, Im, Voc, Vm, Rso, Rsho, Vth)
```

```
Rs = (Vm*(Rsho-Rso)*(Vm-Rsho*(Isc-Im))+Rso*(Vm-Rsho*Im)*(Voc-Rsho*Isc))/...
      (Im*(Rsho-Rso)*(Vm-Rsho*(Isc-Im))+(Vm-Rsho*Im)*(Voc-Rsho*Isc));
Rsh = Rsho - Rs;
Iph = Isc*(1+Rs/Rsh);
n = ((Rs-Rso)*(Voc-Rsho*Isc))/(Vth*(Rsho-Rso));
I0 = (Iph-Voc/Rsh)/(exp(Voc/(n*Vth))-1);
```

```
end
```

```
function [Voc, Isc, Iph, I0, Im] = Valores_real(Voc, Isc, T, Tref, G, Gref, beta,
alfa, Vth, Im, n)
```

```
Voc = Voc*(1+beta*(T-Tref)/100);
Isc = Isc*(1-alfa*(T-Tref)/100);

Iph = G/Gref*Isc;
I0 = Isc/(exp(Voc/(n*Vth))-1);
Im = Im*(G/Gref)*(1+beta*(T-Tref)/100);
```

```
end
```

```
function [U, I_graf, posicion] = Newton_Raphson(Ns, Np, Rs, Rsh, Iph, n, I0, Isc,
Voc, Vth, p)
```

```
U=0:0.1:Voc*Ns;
I_graf=zeros(1,length(U));
tol=1e-2; %Tolerancia
```

```
for j=1:length(U)
```

```
    I=Isc;
    f = Np*Iph - Np*I0*(exp((U(j)/Ns+(I*Rs)/Np)/(Vth*n))-1) -
(U(j)*(Np/Ns)+I*Rs)/Rsh - I;
    df = -I0*(Rs/(Vth*n))*exp((U(j)/Ns+(I*Rs)/Np)/(Vth*n)) - Rs/Rsh - 1;
```

```
    while abs(f/df) > tol
        I = I - f/df;
        f = Np*Iph - Np*I0*(exp((U(j)/Ns+(I*Rs)/Np)/(Vth*n))-1) -
(U(j)*(Np/Ns)+I*Rs)/Rsh - I;
        df = -I0*(Rs/(Vth*n))*exp((U(j)/Ns+(I*Rs)/Np)/(Vth*n)) - Rs/Rsh - 1;
```

```
    end
```

```
    I_graf(j) = I;
```

```
    %FUNCIÓN MPPT
```

```
    VrefMPPT = MPPT(U(j), I_graf(j), Voc, Ns, p); %Variable donde se almacena la
V que da Pmax
```

```
end
```

```
mask = I_graf >= 0;
U = U(mask);
```

```
I_graf = I_graf(mask);  
posicion=find(abs(U-VrefMPPT) < tol); %Devuelve el punto de trabajo máximo  
end
```

TABLA DE TEMPERATURA HORARIA EMPLEADA EN LAS SIMULACIONES

Día	Hora	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	0:00	13.95	14.15	13.67	13.53	17.42	20.2	24.65	26.02	24.13	21.93	15.15	8.86
	1:00	14.17	14	12.86	13.36	16.19	19.46	24.02	24.97	23.29	21.09	14.26	8.42
	2:00	14.39	13.86	12.05	13.19	14.96	18.71	23.4	23.91	22.44	20.26	13.37	7.99
	3:00	14.61	13.72	11.24	13.03	13.72	17.96	22.77	22.86	21.59	19.43	12.48	7.55
	4:00	14.84	13.58	10.43	12.86	12.49	17.22	22.14	21.81	20.75	18.6	11.59	7.12
	5:00	15.06	13.43	9.62	12.7	11.26	16.47	21.52	20.75	19.9	17.76	10.69	6.69
	6:00	15.28	13.29	8.8	12.53	10.02	15.72	20.89	19.7	19.06	16.93	9.8	6.25
	7:00	15.5	13.15	7.99	12.37	8.79	14.97	20.27	18.65	18.21	16.1	8.91	5.82
	8:00	15.29	11.96	11.74	14.11	16.29	21.25	26.94	25.75	24.61	20.88	11.6	6.84
	9:00	15.81	12.53	12.79	15.08	18.14	23.96	29.29	28.57	27.27	23.82	14.09	8.26
	10:00	16.59	13.46	13.79	16.45	19.77	26.73	31.32	31.11	29.43	25.95	15.53	10.98
	11:00	17.03	13.88	14.67	17.52	20.93	29.33	33.11	33.39	31.37	27.7	16.89	12.73
	12:00	17.3	14.6	15.71	18.67	22.07	31.45	34.55	35.11	32.98	29.02	18.54	14.09
	13:00	18.1	14.8	15.7	18.85	23.4	32.71	35.6	36.29	33.85	29.88	19.54	15.1
	14:00	17.92	14.58	15.66	19.07	24.43	33.13	36.37	37	34.22	30.24	20.25	15.63
	15:00	17.45	14.81	14.92	19.02	25.2	33.01	36.7	37.32	34.58	30.05	20.74	15.69
	16:00	16.93	13.94	15.03	19.08	25.03	32.44	36.39	36.95	34.55	29.3	20.77	15.41
	17:00	16.41	13.68	14.55	18.44	24.25	31.16	35.67	35.63	33.92	27.94	19.75	14.74
	18:00	15.66	12.56	13.81	17.44	23.02	29.24	34.27	33.41	32.73	26.07	18.44	14.09
	19:00	15.48	12.03	12.72	16.27	21.27	25.77	31.69	30.93	30.31	23.82	16.76	13.96
	20:00	15.5	11.48	12.3	15.08	19.8	23.57	29.44	28.43	28.44	22.88	15.45	13.78
	21:00	15.47	10.82	11.81	14.15	18.38	22.1	27.9	26.84	27.24	22.05	14.4	13.71
	22:00	15.46	10.28	11.2	13.3	17.19	20.96	26.77	25.64	26.41	21.23	13.58	13.68
23:00	15.53	9.98	11.06	12.5	15.84	20.04	25.89	24.66	25.54	20.49	13.05	13.71	
2	0:00	15.49	9.71	10.73	12.01	15.13	19.19	24.93	23.67	25.16	19.78	12.7	13.74
	1:00	15.32	9.3	10.37	11.57	14.52	18.57	24.05	23.8	24.76	19.07	12.25	13.74
	2:00	15.38	9.04	10.37	10.99	13.97	18.17	24.61	24.25	24.19	18.57	11.76	13.49
	3:00	15.36	8.92	10.09	10.37	13.2	17.86	24.33	22.69	22.96	18.22	11.27	13.15
	4:00	15.05	8.75	10.11	9.82	12.35	17.55	23.32	21.56	22.42	17.95	10.94	12.87
	5:00	14.54	8.51	10.2	9.36	11.73	17.55	21.09	20.59	22.17	17.69	10.83	12.65
	6:00	13.82	8.36	10.14	9.28	11.55	17.76	21.28	20.27	22.2	17.5	10.89	12.44
	7:00	13.04	8.3	9.92	10.25	13.94	18.62	24.38	22.84	23.6	17.53	10.49	12.51
	8:00	12.41	8.32	10.59	12.32	16.88	20.48	26.89	26.21	26.78	19.76	12.12	12.85
	9:00	12.87	9.01	11.52	15.56	19.25	22.42	28.97	29.09	29.3	22.07	15.75	14.42
	10:00	13.71	10.08	12.02	17.77	20.89	24.24	30.6	32	31.4	24.19	18.2	15.8
	11:00	14.61	11.12	12.92	19.63	21.97	25.63	32.09	34.44	33.18	26.09	19.99	16.97
	12:00	15.36	11.97	13.71	20.97	22.68	26.5	33.48	36.23	34.58	27.61	21.17	17.83
	13:00	16.03	12.77	14.37	22	23.11	26.98	34.5	37.54	35.66	28.61	21.96	18
	14:00	16.11	13.23	14.95	22.62	23.24	26.97	35	38.49	36.24	29.14	22.38	18.03
	15:00	16.02	13.44	14.67	22.93	23.17	26.48	35.03	38.92	36.49	29.13	22.42	17.88
	16:00	15.9	13.28	14.02	22.86	22.77	25.71	34.66	38.61	36.11	28.66	22.06	17.12
	17:00	15.6	12.57	13.05	22.44	21.94	24.86	33.85	37.18	35.24	27.54	20.78	16.36
18:00	15.17	11.14	12.21	21.16	20.81	23.79	32.41	34.82	33.46	25.64	19.02	15.32	

	19:00	14.82	10.38	11.59	18.95	18.92	21.94	30.73	32.77	31.09	23.34	17.23	15.63
	20:00	14.61	9.57	11.6	17.92	17.81	20.34	28.94	30.16	29.22	22.08	15.59	15.48
	21:00	14.41	8.74	11.48	17.06	17.32	19.05	27.55	28.72	28.06	21.12	14.3	15.5
	22:00	14.33	7.95	11.55	16.28	17.09	18.22	26.6	27.71	27.12	20.02	13.46	15.29
	23:00	14.25	7.22	11.29	15.27	16.82	17.64	25.8	26.42	26.58	19.02	13.03	14.73
3	0:00	14.11	6.55	11.07	14.01	16.48	17.15	24.87	24.96	25.57	17.94	12.95	13.52
	1:00	14.02	5.8	10.96	12.87	15.99	16.97	24.4	23.85	23.93	17.22	12.98	12.64
	2:00	14	4.93	10.88	12.21	15.22	16.81	23.74	23.21	23.25	17.07	12.97	12.13
	3:00	13.79	4.13	10.68	12.27	14.77	16.83	23.23	22.87	22.98	17.28	12.9	12.19
	4:00	13.52	3.56	10.54	12.8	14.45	17.32	22.9	22.79	22.92	17.29	12.77	12.48
	5:00	13.27	3.07	10.23	12.75	14.17	17.71	22.45	22.16	22.9	16.19	12.62	12.77
	6:00	13.07	2.63	10.1	11.49	14.08	17.98	21.35	21.67	22.85	15.46	12.42	12.81
	7:00	12.89	2.43	9.17	10.44	15.91	18.56	22.98	21.98	23.79	15.11	11.99	12.65
	8:00	13.19	2.22	9.43	14.6	18.37	19.89	24.52	25.43	27.27	19.39	13.16	12.85
	9:00	13.75	5.83	11.37	17.36	20.71	21.34	26.86	28.06	30.04	23.64	16.44	13.82
	10:00	14.83	8.32	12.55	19.51	22.77	23.2	28.44	30.71	32.52	26.28	19.32	15.16
	11:00	16.36	9.76	13.74	21.05	24.17	24.53	29.73	33.01	34.58	28.35	21.42	16.05
	12:00	17.49	11	14.52	22	25.07	25.43	30.88	34.73	36.32	30.15	22.87	16.7
	13:00	17.38	12.02	14.71	22.67	25.6	25.7	31.71	36.01	37.65	31.48	23.8	17.52
	14:00	18.21	12.69	14.73	22.93	25.85	25.35	32.35	36.87	38.53	32.17	24.28	17.8
	15:00	18.02	12.99	14.63	22.59	25.8	24.7	32.94	37.29	38.94	32.32	24.36	17.68
	16:00	17.74	12.93	14.71	21.85	25.45	23.99	33.28	36.94	38.92	31.8	23.92	17.07
	17:00	17.21	12.38	14.21	20.8	24.75	23.25	32.75	35.69	38.32	30.52	22.31	15.68
	18:00	16.88	11.06	13.31	19.49	23.5	22.15	31.67	33.54	36.84	28.17	20.25	14.32
	19:00	16.95	9.32	11.78	17.84	21.14	20.53	31.25	29.87	33.71	25.9	18.68	13.26
	20:00	16.82	7.57	10.53	16.48	19.34	19.07	28.77	27.45	31.64	24.22	16.89	12.48
	21:00	16.57	7.07	10.63	15.57	17.55	18.04	26.99	25.77	30.45	23	15.29	11.45
	22:00	16.4	5.7	9.3	14.76	15.86	17.35	25.98	24.54	28.88	22.29	13.93	10.42
23:00	16.3	4.79	7.83	13.99	14.92	16.87	25.54	23.63	27.86	21.13	12.96	9.75	
4	0:00	16.22	4.89	8.06	13.25	15	16.51	25.34	22.93	27.31	20.08	12.37	9.05
	1:00	16.05	5.28	8.74	12.52	12.95	16.03	24.71	22.29	27	19.22	11.77	8.53
	2:00	16.04	5.6	8.67	11.77	11.89	15.87	24.16	21.67	25.08	18.65	11.26	8.1
	3:00	16.13	5.65	7.93	11.05	11.25	15.81	23.72	21.06	24.75	18.25	10.67	7.77
	4:00	16.32	5.49	7.93	10.36	10.76	16.16	23.39	21.2	24.63	17.92	10.08	7.68
	5:00	16.42	5.24	7.74	9.65	10.28	16.42	22.87	21.42	24.27	17.64	9.62	8
	6:00	16.4	4.91	7.66	8.89	10.06	17.05	22.84	21.49	24.21	17.46	9.36	8.75
	7:00	16.45	4.43	7.18	8.87	13.1	18.25	24.2	21.96	24.75	17.45	9.36	7.12
	8:00	16.48	4.4	8.34	11.7	17.68	19.88	26.88	25.53	28.29	21.02	11.17	6.86
	9:00	16.6	6.52	10.42	13.45	20.55	22.09	29.4	28.28	31.34	24.62	16.28	9.33
	10:00	17	9.65	12.19	15.09	22.82	24.27	31.61	30.68	33.85	27.17	19.4	11.79
	11:00	17.34	12.17	12.93	16.55	24.64	25.69	33.55	32.77	35.93	29.05	21.82	13.31
	12:00	17.58	14.05	12.77	17.77	25.92	26.22	35.35	34.38	37.69	30.51	23.55	14.46
	13:00	18	15.32	12.76	18.7	26.77	26.54	36.87	35.5	39.09	31.57	24.63	15.27
	14:00	18.52	16.13	13.82	19.31	27.28	26.97	37.81	36.2	39.98	32.28	25.2	15.69
15:00	18.11	16.45	14.03	19.33	27.42	26.89	37.91	36.25	40.36	32.59	25.31	15.66	
16:00	17.6	16.24	13.86	18.52	27.21	26.3	37.13	35.38	40.09	32.45	24.73	15.28	

	17:00	16.93	15.05	13.42	17.07	26.64	25.17	35.25	33.71	39.1	31.77	22.99	14.29
	18:00	16.25	12.8	12.98	15.47	25.25	23.51	32.85	31.47	36.98	29.84	20.15	12.86
	19:00	16.29	11.47	12.75	14.12	22.17	21.83	30.67	28.15	34.25	26.87	18.24	11.42
	20:00	16.15	10.34	12.22	13.45	19.84	20.22	28.56	26.03	32	25.28	16.48	10.29
	21:00	16.09	9.59	11.85	13.15	18.44	19.24	27.14	24.67	30.53	24.09	14.82	9.55
	22:00	16.05	8.71	11.55	12.97	17.56	18.55	26.26	23.79	29.38	23.13	13.4	8.92
	23:00	16.42	7.98	11.48	12.8	16.92	18.43	25.47	23.21	28.3	22.35	12.32	8.34
5	0:00	16.25	7.46	11.14	12.72	16.11	18.19	24.21	22.65	27.47	21.58	11.6	7.77
	1:00	15.66	7.11	10.91	12.85	14.46	17.82	24.34	22.03	26.93	20.69	11.05	7.25
	2:00	15.44	6.83	10.9	12.37	13.24	17.32	24.2	21.5	26.64	21.26	10.65	6.77
	3:00	14.35	6.52	11.08	11.95	12.45	16.7	22.14	21.02	26.32	20.35	10.36	6.32
	4:00	13.06	6.09	11.62	11.15	11.79	16.23	21.4	20.59	25.49	18.77	10.17	5.97
	5:00	12.09	5.51	12	11.31	11.27	15.6	21.09	20.18	23.98	18.38	10.02	5.56
	6:00	11.6	4.81	12.28	11.42	11.07	15.67	21.13	19.93	23.3	18.16	9.92	5.09
	7:00	11.4	3.69	12.73	11.54	14.24	17.46	24.02	21.54	24.18	18.43	10.07	5.09
	8:00	10.77	3.38	12.77	11.05	19.05	19.06	27.12	23.17	29.01	21.24	11.8	5.15
	9:00	11.23	7.3	13.36	10.98	21.89	20.72	29.53	24.69	33.09	24.2	17.09	8.32
	10:00	12.23	11.2	14.05	11.95	23.95	22.15	31.65	26.28	36.35	26.72	19.99	11.15
	11:00	12.97	13.78	15.05	13.62	25.59	23.23	33.46	27.82	39.03	28.65	21.92	12.79
	12:00	13.93	15.65	15.24	14.43	26.92	22.88	34.84	28.92	41.08	30.22	23.24	13.99
	13:00	14.41	16.98	15.13	15.04	27.93	22.72	35.83	29.54	42.39	31.37	24.02	14.81
	14:00	13.98	17.8	15.47	15.68	28.68	22.63	36.4	29.54	43.22	32.1	24.31	15.32
	15:00	13.35	18.17	15.28	15.82	29.12	22.4	36.44	29	43.38	32.25	24.19	15.43
	16:00	12.5	18.15	15.15	15.13	29.16	22.17	36.03	27.89	42.75	31.83	23.62	15.08
	17:00	12.44	17.46	14.71	14.59	28.79	21.73	35.05	26.96	41.06	30.71	21.85	13.95
	18:00	11.53	15.58	13.86	13.6	27.32	20.58	33.44	26.04	38.3	28.43	19.56	12.28
	19:00	10.69	13.48	13.14	13	24.23	19.45	31.21	25.16	34.96	26.21	18.15	11.47
	20:00	10.13	12.79	12.19	12.53	21.64	18.73	28.9	24.13	32.75	24.68	17.1	11.48
	21:00	9.65	11.55	11.37	12.13	19.99	18.3	27.33	23.79	31.34	23.31	16.38	10.75
	22:00	8.98	9.28	10.75	11.75	18.86	17.82	26.39	23.63	29.75	22.39	15.89	9.98
23:00	8.23	7.57	10.19	11.38	17.99	17.15	25.67	23.1	28.18	21.98	15.44	9.37	
6	0:00	7.41	6.33	9.71	10.94	17.34	16.74	24.99	22.42	27.05	21.32	14.78	8.62
	1:00	6.69	5.65	9.31	10.42	18.11	16.5	24.36	21.7	26.28	19.73	13.83	8
	2:00	6.12	5.16	9	10.14	16.99	16.31	23.84	20.99	25.99	19	12.77	7.35
	3:00	5.71	4.71	8.73	9.77	13.94	16.31	22.82	20.27	26.82	18.8	12.1	6.65
	4:00	5.75	4.33	8.4	9.48	13.32	16.13	22.29	19.59	27.36	18.5	11.6	5.93
	5:00	5.61	4.03	8.12	9.44	12.9	16.04	21.86	18.92	27.11	18.44	11.19	5.39
	6:00	5.64	3.7	7.96	9.25	12.86	16.25	21.88	18.38	24.36	18.45	10.77	5.13
	7:00	8.59	3.16	8.23	9.69	16.2	17.33	24.9	19.37	24.94	17.95	10.67	4.88
	8:00	8.52	3.47	9.15	11.77	20.11	18.24	27.7	20.96	30.22	20.85	12	5.11
	9:00	9.2	7.62	11.3	12.72	22.56	19.69	30.29	22.55	34.55	23.59	15.92	8.33
	10:00	11.15	12.23	13.07	14.09	24.58	20.75	32.64	24.32	37.21	25.72	18.6	11.99
	11:00	13.03	15	14.27	14.97	26.13	21.47	34.54	26.03	39.02	27.58	20.59	14.15
	12:00	14.53	16.92	15.15	15.35	27.29	22.95	35.98	27.61	40.29	29.03	21.92	15.36
13:00	15.04	18.23	16.1	15.69	28.04	23.44	36.83	28.92	41.02	30.15	22.62	16.21	

	14:00	15.42	18.96	16.69	15.21	28.45	23.09	37.34	29.94	41.14	30.82	23	16.63
	15:00	15.28	19.19	16.83	15.3	28.57	22.95	37.58	30.59	40.74	30.96	23.07	16.67
	16:00	15.19	18.89	17.08	15.32	28.36	22.4	37.42	30.88	39.92	30.39	22.82	16.31
	17:00	14.6	17.91	17.03	14.71	27.6	21.8	36.65	30.62	38.55	29	21.82	15.42
	18:00	13.63	16.06	16.41	13.98	26.19	20.84	34.92	29.59	36.3	26.64	19.64	14.33
	19:00	13.3	13.87	15.38	13.65	24.06	19.56	30.99	27.48	33.33	24.28	18.55	13.02
	20:00	12.98	12.4	14.67	13.27	21.95	18.49	28.91	25.18	31.79	22.8	17.52	11.07
	21:00	12.5	10.79	14.03	12.88	20.54	17.98	27.84	23.85	30.34	21.83	14.76	9.78
	22:00	12.32	10.4	13.39	12.38	19.52	17.51	27.49	22.78	28.91	21.03	13.53	9.09
	23:00	12.55	10.14	12.68	11.9	18.59	16.98	27.23	22.65	27.67	20.16	12.75	8.53
7	0:00	12.28	9.93	12.09	11.35	17.81	16.43	26.63	20.39	26.67	19.35	12.27	8.35
	1:00	12.15	9.49	11.48	10.98	15.88	15.83	26.27	19.41	25.85	18.65	12	7.97
	2:00	12.23	9.09	10.8	10.86	14.91	15.06	26.19	18.82	25.19	18.07	11.93	7.57
	3:00	11.76	8.95	9.88	10.71	14.53	14.19	26.27	18.4	24.73	17.56	11.82	7.55
	4:00	11.69	8.64	9.16	10.58	14.28	13.8	26.33	18.35	24.36	17.3	11.68	7.45
	5:00	11.45	8.01	8.33	10.45	13.96	13.45	25.72	17.59	24.09	17.05	11.38	7.43
	6:00	11.77	6.93	7.75	10.1	13.67	13.75	24.86	17.07	23.87	16.66	11.42	7.58
	7:00	13.2	5.63	7.99	10.96	16.36	16.11	25.62	19.48	24.21	17.48	11.56	8.1
	8:00	13.61	5.63	9.49	13.58	21.12	17.89	27.52	23.55	26.25	18.71	12.92	8.49
	9:00	14.38	9.07	12.73	15.32	23.89	19.61	29.8	26.83	28.82	20.47	14.5	10.96
	10:00	15.63	12.48	14.38	15.71	25.79	21.14	32.6	29.37	31.23	22.9	16.18	14.41
	11:00	16.78	15.01	15.78	15.93	27.33	22.38	35.04	31.16	33.24	25.63	17.6	16.19
	12:00	17.62	17.01	16.95	16.25	28.59	23.52	36.29	32.77	34.93	27.84	18.65	17.52
	13:00	17.36	18.25	18.25	16.69	29.53	24.18	38.23	33.78	36.06	29.42	19.53	18.15
	14:00	17.37	18.98	18.78	16.96	30.07	24.43	39.11	34.26	36.35	30.47	19.9	18.11
	15:00	17.04	19.19	19.19	16.81	30.2	24.07	38.97	34.21	35.88	30.78	20.11	17.94
	16:00	16.69	18.93	19.35	16.38	29.74	23.36	37.98	33.68	34.86	30.38	19.92	17.46
	17:00	16.21	17.94	19.09	15.35	28.65	22.39	36.16	32.81	33.14	29.07	18.98	16.56
	18:00	15.61	15.95	17.82	14.6	26.92	21.28	33.66	31.45	30.89	26.7	17.37	15.37
	19:00	14.85	13.64	16.17	14.6	24.66	20.09	31.64	29.71	27.87	23.47	16.65	15.08
20:00	14.28	11.75	14.56	14.36	22.35	18.52	29.62	27.93	26.22	22.06	16.25	14.45	
21:00	13.88	10.57	13.35	14.15	20.74	17.47	28.46	26.8	25	21.16	15.85	13.92	
22:00	13.18	11.46	12.2	14.02	19.6	16.75	27.43	25.63	24.04	20.37	15.27	13.54	
23:00	12.72	11.09	11.19	13.89	18.53	16.16	26.63	24.87	23.27	19.5	14.57	13.67	
8	0:00	12.53	9.98	10.48	13.38	19.09	15.74	25.63	24.13	22.72	18.6	13.78	13.66
	1:00	12.62	8.63	10.11	13.26	17.67	15.49	25.56	23.6	22.19	17.83	13	13.31
	2:00	12.92	7.98	10.06	13.14	15.53	15.33	25.19	23.22	21.88	17.48	12.22	13.41
	3:00	12.97	7.23	10.24	13.05	14.21	15.28	24.66	21.97	21.47	17.96	11.5	13.8
	4:00	12.65	6.42	10.38	12.83	13.31	15.37	24.37	21.47	21.19	18.16	10.91	14.01
	5:00	12.34	6.24	10.21	12.55	12.98	15.78	23.89	21.21	20.92	17.43	10.43	13.97
	6:00	12	5.99	9.66	12.32	13.09	16.46	23.63	21.24	20.63	17.44	10.23	14.01
	7:00	12.36	3.85	9.43	13.42	15.87	17.4	24.5	23.36	20.86	16.55	10.35	13.28
	8:00	12.52	3.95	10.55	14.43	20.29	18.71	26.28	26.12	23.03	18.88	11.26	13.33
	9:00	13.73	7.53	14.42	16.1	22.92	19.87	28.11	28.32	25.06	21.83	12.79	14.24
	10:00	15.51	11.84	17	16.19	24.68	21.21	30.23	30.3	27.32	24.52	14.55	15.34
11:00	17	14.49	18.93	16.42	26.32	22.19	32.59	32.09	29.51	26.62	16.16	16.47	

	12:00	18.1	16.36	20.35	15.34	27.77	22.8	34.67	33.7	31.57	28.35	17.17	17.17
	13:00	18.23	17.6	21.35	15.66	28.75	23.01	35.78	35	33.14	29.5	16.82	17.93
	14:00	18.24	18.32	21.98	15.47	29.31	22.89	36.07	36.17	33.88	30.07	16.42	18.27
	15:00	18.13	18.52	22.31	15.73	29.49	22.94	35.26	36.7	33.84	30.03	16.77	18.46
	16:00	17.49	18.22	22.36	16.48	29.32	22.25	34.01	36.71	32.96	29.24	16.79	18.11
	17:00	16.68	17.13	22	16.52	28.62	21.32	32.63	36.4	31.42	27.88	16.46	16.98
	18:00	15.72	14.69	20.77	15.75	27.44	20.32	31.02	35.53	29.58	25.77	16	15.86
	19:00	15.35	12.71	17.99	14.32	24.96	19.73	27.91	32.45	27.1	23.52	16.3	14.93
	20:00	15.32	11.29	16.17	13.75	23.24	19.17	26	29.86	26.05	21.97	16.48	14.36
	21:00	15.21	9.73	14.87	13.25	21.94	18.82	24.63	28.06	25.41	20.79	16.52	13.94
	22:00	15.19	8.65	14.06	12.83	20.74	18.52	23.69	26.83	24.91	19.85	16.25	13.33
	23:00	15.1	8.34	13.21	12.36	19.34	18.13	23.03	25.82	24.45	19.1	16.13	11.68
9	0:00	14.76	7.21	12.37	11.69	19.53	17.5	22.36	24.97	23.98	18.45	16.11	10.78
	1:00	14.42	6.38	12.18	10.99	18.82	16.87	21.57	24.33	23.43	17.99	15.83	10.6
	2:00	14.34	6.36	12.63	10.07	17.11	16.36	21.35	23.66	22.94	17.69	15.96	10.45
	3:00	14.52	6.54	12.62	9.06	15.94	15.98	22.04	23.29	22.43	17.47	15.88	10.48
	4:00	14.56	5.5	10.78	8.56	15.42	15.47	21.83	22.98	21.71	17.31	15.69	10.56
	5:00	14.34	4.97	10.19	8.93	15.24	14.65	21.53	22.67	20.96	17.2	15.42	10.64
	6:00	14.19	4.84	10.17	8.78	15.59	14.67	21.36	22.41	20.32	17.14	15.27	10.66
	7:00	14.05	3.57	10.54	10.75	18.06	16.74	22.87	24.38	20.58	17.05	15.56	11.02
	8:00	13.48	4.69	11.84	12.98	21.3	18.29	25.35	27.38	22.17	18.83	16.21	11.08
	9:00	13.4	6.36	13.61	14.59	23.79	19.75	27.87	29.96	23.71	21.28	16.77	12.28
	10:00	13.74	9.15	15.75	15.69	25.39	21.29	30.26	32.36	25.47	23.32	17	13.96
	11:00	14.32	11.89	17.61	16.76	25.8	22.85	32.36	34.78	27.34	25.17	17.1	15.81
	12:00	14.92	14	19.25	17.12	26.25	24.25	34.04	37.18	29.02	26.46	17.03	17.25
	13:00	15.45	15.48	19.81	17.3	25.64	25.37	35.35	39.17	30.11	27.06	16.58	18.19
	14:00	15.78	16.36	20.85	17.56	24.23	26.08	36.34	40.5	30.48	27	16.25	18.52
	15:00	15.82	16.72	21.07	17.48	24.83	26.25	36.98	41.04	30.25	26.39	15.93	18.39
	16:00	15.77	16.52	20.82	17.05	25.49	25.85	37.17	40.88	29.61	25.43	15.9	17.79
	17:00	15.42	15.77	20.17	16.32	25.94	24.98	36.54	40.06	28.55	23.99	15.83	16.19
18:00	14.63	14.11	18.44	15.73	25.45	23.54	35.04	38.51	27.01	22.21	15.46	14.66	
19:00	14.44	12.51	16.02	14.83	23.91	21.28	31.53	35.13	25.27	20.23	15.03	13.8	
20:00	13.82	11.05	14.48	14.01	21.15	19.56	29.3	32.46	23.95	19.38	14.53	12.88	
21:00	13.42	9.48	12.74	13.55	19.66	18.43	27.84	30.5	23.06	18.71	13.77	12.05	
22:00	13.23	8.89	12.11	13.09	19.49	17.75	26.75	28.9	22.41	18.05	13.08	11.29	
23:00	12.96	9.68	11.31	12.57	19.69	17.09	25.78	27.63	21.81	17.4	12.45	10.6	
10	0:00	12.95	9.03	10.22	11.84	19.34	16.53	24.94	26.88	21.36	16.82	11.91	9.99
	1:00	12.94	7.67	9.59	11.03	18.56	15.76	24.19	27.04	20.92	16.34	11.43	9.45
	2:00	13.07	6.51	9.15	10.34	17.68	15.14	23.49	24.88	20.36	15.89	10.97	8.96
	3:00	13.64	6.06	8.67	9.65	17.07	14.71	22.89	23.79	19.8	15.57	10.44	8.44
	4:00	13.73	5.88	8.28	8.83	16.57	14.53	22.35	23.28	19.46	15.31	9.96	7.87
	5:00	13.84	5.39	8.18	8	16.2	14.73	21.86	22.96	19.17	15.1	9.55	7.32
	6:00	14.02	5.77	8.58	7.39	16.33	14.64	21.72	22.85	18.83	14.79	9.13	6.75
	7:00	14.28	6.91	8.47	8.38	16.73	18.59	23.7	24.99	19.88	14.48	8.65	6.16
8:00	14.43	7.36	9.9	11.9	17.58	21.61	26.52	29.4	22.54	17.22	10.13	6.24	

	9:00	15	8.99	13.81	13.58	18.77	24.21	29.11	32.76	25.09	19.76	13.84	9.16
	10:00	15.68	10.82	15.82	15.19	20.12	26.64	31.35	35.36	27.35	21.73	15.77	12.52
	11:00	16.47	12.74	17.5	16.78	21.31	28.45	33.32	37.65	29.3	23.41	16.93	15.15
	12:00	16.97	14.13	18.87	17.94	22.17	29.86	35.04	39.74	30.86	24.75	17.71	16.82
	13:00	17.25	15.41	19.86	18.69	23.03	30.99	36.3	41.33	31.88	25.58	18.21	17.88
	14:00	17.42	16.09	20.48	19.42	23.47	31.8	37.08	42	32.5	25.83	18.51	18.52
	15:00	17.37	16.6	20.7	19.52	23.42	32.33	37.32	41.64	32.61	25.44	18.53	18.68
	16:00	16.9	16.66	20.52	19.18	22.98	32.57	37.06	40.7	32.21	24.46	18.2	18.25
	17:00	16.33	16.2	20.04	18.26	22.17	32.33	36.09	39.38	31.23	23	17.15	17
	18:00	15.73	14.92	18.81	17.25	21.01	31.4	34.5	37.62	29.38	21.16	15.78	15.05
	19:00	15.57	13.39	16	16.04	19.43	29.18	31.63	35.46	26.56	19.46	15.13	14.69
	20:00	15.38	12.16	14.04	15.45	17.79	26.7	29.44	32.73	25.05	18.45	13.81	13.88
	21:00	15.22	11.03	12.42	15.11	16.66	25.08	27.87	30.68	24.02	17.72	12.37	11.04
	22:00	15.2	10.22	11.06	14.42	15.85	23.97	26.67	29.32	23.18	17	11.53	10.07
23:00	15.4	9.79	10.61	13.67	15.04	23.5	25.71	28.1	22.38	16.28	11.68	10.65	
11	0:00	15.39	10.21	10.12	12.67	14.19	23.26	24.93	28.32	21.67	15.58	12.09	10.71
	1:00	15.58	10.84	9.21	11.81	13.34	21.69	24.2	26.66	21.08	15.11	12.1	8.4
	2:00	15.54	11.17	8.48	10.84	12.78	21.73	23.45	25.44	20.55	14.87	11.51	7.4
	3:00	15.48	11.28	8.09	9.88	12.3	20.89	22.66	25.08	20.14	14.65	10.92	6.78
	4:00	15.37	11.15	7.53	9.02	11.75	18.78	22.34	24.32	19.8	14.61	10.11	6.53
	5:00	15.2	11.3	7.05	8.34	11.48	18.2	22.61	24.1	19.44	14.55	9.71	6.6
	6:00	15.17	11.55	6.89	7.77	11.87	18.51	22.82	24	18.98	14.49	8.29	6.34
	7:00	15.84	11.65	7.06	9.19	15.05	22.52	24.25	25.45	19.29	14.17	7.03	6.31
	8:00	16.27	11.24	9.48	12.52	17.25	25.92	26.59	30.01	22.29	16.02	8.3	6.7
	9:00	16.66	13.08	14	14.43	19.1	28.67	28.94	33.3	25.13	19.15	12.22	9.78
	10:00	16.3	14.95	16.73	16.23	20.58	31.05	31.17	35.93	27.63	21.35	14.85	13.21
	11:00	15.63	16.15	19	17.84	21.25	33.09	33.11	38.25	29.67	23	16.68	15.3
	12:00	15.24	17.34	20.86	19.11	21.92	34.63	34.59	40.07	31.32	24.2	17.92	16.7
	13:00	15.03	18.22	22.21	19.96	21.9	35.74	35.68	41.46	32.52	24.82	18.63	17.74
	14:00	14.99	18.77	23.14	20.7	21.85	36.53	36.35	42.42	33.13	24.72	18.99	18.42
	15:00	14.92	19.01	23.66	21.02	21.89	37	36.5	42.73	33.27	23.79	19.01	18.61
	16:00	15.02	18.88	23.78	20.97	21.66	37.05	36.01	42.51	32.75	22.51	18.62	18.21
17:00	14.58	18.2	23.21	19.93	21.37	36.57	34.93	41.34	31.55	20.94	17.57	16.92	
18:00	14.07	16.58	21.8	18.39	20.66	34.95	33.34	38.95	29.86	19.52	15.64	14.72	
19:00	13.31	14.85	17.21	16.41	18.98	31.97	30.9	35.52	27.76	18.71	14.18	13.26	
20:00	12.83	13.13	14.71	14.99	17.63	29.22	28.95	33.37	26.43	18.34	12.88	11.02	
21:00	12.36	13.31	12.94	14.16	16.71	27.5	27.51	32.3	25.46	18	12.2	9.69	
22:00	11.63	13.15	12.83	13.11	16.04	26.3	26.4	31.3	24.76	17.97	12.37	8.71	
23:00	11.38	10.4	13.27	12.55	15.51	25.16	25.51	30.15	24	17.88	12.19	7.98	
12	0:00	11.94	8.39	10.73	11.74	14.9	23.8	24.78	28.98	23.58	17.84	11.01	7.64
	1:00	9.98	7.86	9.37	11.48	15.05	23.62	24.13	27.86	22.4	17.35	9.73	7.65
	2:00	9.23	7.62	8.54	11.33	15.01	22.4	23.56	26.79	22.03	17.52	9.33	6.41
	3:00	8.61	7.37	7.96	10.8	15	20.57	22.95	25.8	21.7	17.81	9.26	5.59
	4:00	7.77	7.02	7.43	8.64	14.74	19.89	22.35	24.81	21.45	18.19	9.27	5.39
	5:00	7.12	6.62	6.94	7.81	14.86	19.64	21.8	23.88	21.16	18.07	9.22	5.19
	6:00	6.63	6.5	6.65	7.3	14.99	19.85	21.74	23.09	20.7	17.9	9.13	5.09

	7:00	6.36	6.43	6.61	8.82	15.92	23.23	23.83	24.07	21.57	18.43	8.98	5.74
	8:00	6.29	7.25	9.62	13.25	17.14	26.88	25.83	25.83	24.46	18.57	10	5.65
	9:00	7.93	11.05	14.31	16.4	18.31	29.65	27.96	27.39	26.88	18.73	13.36	8.46
	10:00	10.34	14.5	17.18	18.8	19.7	32.04	30.05	29.42	28.87	18.86	15.8	12.55
	11:00	12.57	16.75	19.3	20.4	20.98	33.96	32.03	31.51	30.88	18.64	17.62	15.03
	12:00	14.06	18.44	20.76	21.36	22.38	35.56	33.77	33	32.19	19.09	18.91	16.86
	13:00	14.85	19.12	21.53	22	23.12	36.67	35.14	33.9	32.37	19.69	19.75	17.98
	14:00	15.22	18.84	21.65	22.44	23.36	37.38	36.02	34.26	32.4	20.15	20.18	18.51
	15:00	15.27	18.29	21.33	22.63	23.05	37.72	36.29	34.11	32.2	20.22	20.23	18.39
	16:00	15	17.84	20.63	22.53	22.44	37.61	35.85	33.21	30.94	19.34	19.79	17.77
	17:00	14.01	17.06	19.68	21.93	21.32	36.96	34.58	31.71	29.3	18.87	18.52	16.49
	18:00	12.47	15.57	18.07	20.44	19.88	35.16	32.59	29.64	27.32	18.19	16.55	14.5
	19:00	11.84	14.22	15.83	17.58	18.29	31.72	30.15	27.65	25.35	17.44	15.11	12.89
	20:00	11.17	12.66	14.19	15.74	17	29.1	27.91	25.81	24.21	17.18	13.8	12.72
	21:00	10.55	11.13	12.61	14.74	16.15	27.76	26.4	24.81	23.66	17.1	12.78	12.01
22:00	10	9.91	11.35	13.92	15.52	27.09	25.43	24.14	23.1	16.88	12.19	11.3	
23:00	9.52	9.03	10.24	12.83	15.09	26.25	24.61	23.61	22.63	16.29	12.68	10.77	
13	0:00	9.11	8.43	9.4	11.94	14.64	25.29	23.58	23.07	21.99	16.07	12.56	10.46
	1:00	8.79	7.97	8.72	11.02	14.14	24.2	22.94	22.47	21.54	16.2	11.97	10.19
	2:00	8.43	7.56	8.11	10.42	13.67	23.11	22.4	21.78	21.22	16.03	11.61	9.91
	3:00	8.06	7.21	7.69	10.94	13.14	22.43	21.81	21.11	21.13	15.68	11.1	8.88
	4:00	7.77	6.86	7.33	11.05	12.61	21.91	20.99	20.57	21.01	15.57	9.67	8.46
	5:00	7.49	6.57	7.04	9.18	12.08	21.4	20.26	20.25	21.15	15.32	8.95	8.54
	6:00	7.18	6.28	6.92	8.33	11.99	21.66	19.82	19.95	20.84	14.94	8.84	8.68
	7:00	6.75	6.06	7.47	10.33	14.4	24.93	22.49	21.22	21.12	15	9.22	5.57
	8:00	6.64	6.33	10.06	14.39	16.25	28.33	24.68	22.9	21.77	15.92	9.64	5.72
	9:00	8.37	10.1	14.76	17.4	17.94	31.3	26.63	24.48	22.93	16.94	11.14	8.46
	10:00	11.08	12.91	17.02	19.64	19.74	33.73	28.52	26.14	23.71	18.09	13.98	11.78
	11:00	13.61	15.09	19	21.43	20.77	35.73	30.11	27.71	24.15	19.11	16.21	13.93
	12:00	15.66	16.82	20.61	22.58	21.87	37.09	31.27	28.96	24.13	18.64	18.03	15.38
	13:00	17.02	18.06	21.78	23.32	22.78	38.12	31.97	29.89	22.14	19.85	19	16.45
	14:00	17.78	18.84	22.54	23.75	22.76	38.73	32.29	30.33	21.84	20.29	19.42	16.88
15:00	18.07	19.17	22.87	23.78	22.21	38.84	32.13	30.25	22.51	20.35	19.32	16.62	
16:00	17.86	18.99	22.88	23.25	20.69	38.38	31.41	29.59	23.52	20.2	18.64	15.9	
17:00	16.84	18.05	22.33	22.23	19.65	36.96	30.27	28.31	23.74	19.59	17.13	14.64	
18:00	15.19	16.15	20.67	20.66	18.98	34.91	28.8	26.48	22.95	18.77	15.32	13.63	
19:00	14.45	13.95	17.2	18.03	18.12	33.2	26.84	24.35	21.48	18.41	14.36	13.03	
20:00	11.79	12.6	14.9	16.51	17.09	31.07	25.26	22.89	20.99	18.1	13.38	12.63	
21:00	9.8	11.15	13.22	15.55	16.45	29.32	24.19	22.07	20.64	17.73	12.51	12.12	
22:00	9.34	10.12	14.38	14.63	15.99	27.9	23.42	21.5	20.39	17.61	11.68	11.23	
23:00	9.61	9.08	13.73	13.56	15.63	26.59	22.82	21.03	20.17	17.45	11.06	10.19	
14	0:00	8.61	8.29	10.11	13.13	15.17	25.22	22.46	20.7	19.78	16.76	10.69	9.18
	1:00	7.61	7.81	8.97	12.57	14.66	24.18	22.18	20.44	19.17	16.18	10.5	8.25
	2:00	7.25	7.09	8.42	11.69	14.25	25.07	21.86	20.19	18.57	15.75	10.54	7.44
	3:00	6.57	6.46	7.97	11.3	13.87	23.65	21.49	19.94	17.95	15.61	10.92	6.76

	4:00	5.82	6.01	7.67	10.89	13.48	23.08	21.07	19.65	17.29	15.39	11.19	6.1	
	5:00	5.6	5.81	7.55	10.49	13.52	23.6	20.63	19.33	16.64	15.33	11.38	5.58	
	6:00	5.7	5.75	6.93	10.28	14.34	22.82	20.57	19.09	16	14.85	11.78	5.19	
	7:00	5.5	5.78	7.28	12.18	15.64	26.06	22.63	20.49	16.04	14.55	12.8	5.07	
	8:00	5.68	6.47	10.14	16.73	16.71	28.86	24.17	22.55	18.12	15.97	13.77	5.03	
	9:00	8.77	10.79	14.65	19.61	18.55	31.4	26.01	24.53	19.43	16.97	16.42	6.4	
	10:00	12.55	14.56	17.56	21.86	20.08	33.6	27.71	26.53	20.86	18	17.97	7.87	
	11:00	15.14	16.9	19.84	23.58	20.92	35.43	29	28.39	22.2	19.16	19.06	9.08	
	12:00	16.74	18.5	21.61	24.86	22.21	36.08	30.05	29.73	23.44	20.17	19.42	10.14	
	13:00	17.6	19.45	22.85	25.85	22.93	35.46	30.88	30.52	24.27	20.53	18.44	10.93	
	14:00	18.39	19.8	23.67	26.46	22.92	35.42	31.36	30.81	24.38	20.92	17.84	11.4	
	15:00	18.46	19.62	24.11	26.72	23.26	35.11	31.53	30.55	24.59	20.9	16.78	11.59	
	16:00	18.09	18.87	24.22	26.55	23.13	35.04	31.25	29.82	24.58	20.53	16.22	11.28	
	17:00	16.86	17.57	23.92	26.15	22.15	34.41	30.3	28.52	23.54	19.69	15.66	10.09	
	18:00	15.31	15.46	22.36	25.25	20.58	33.37	28.67	26.64	22.23	18.08	14.99	8.68	
	19:00	14.36	13.47	18.92	22.89	19.24	30.11	26.4	23.83	21.38	17.12	14.5	7.98	
	20:00	12.88	12.42	17.05	21.2	17.8	28.96	24.77	22.17	20.53	16.22	13.67	7.06	
	21:00	11.78	11.72	15.38	19.69	17.1	28.07	23.68	21.25	19.85	15.4	12.44	6.31	
	22:00	11.25	11.16	13.77	18.73	16.62	27.22	22.85	20.67	19.09	14.53	11.49	5.54	
	23:00	10.86	10.24	12.86	16.8	15.96	26.3	22.19	20.34	18.31	13.63	10.75	4.52	
	15	0:00	10.9	8.82	12.57	15.57	15.34	25.28	21.67	20	17.72	12.88	10.22	3.86
		1:00	11.67	7.58	11.73	14.84	14.73	24.48	21.22	19.73	17.28	12.24	9.75	4.12
		2:00	12.36	6.77	10.97	14.41	14.02	24.92	20.75	19.52	16.86	11.67	9.3	3.55
3:00		12.98	6.22	10.59	13.49	13.29	22.33	20.11	19.33	16.4	11.24	8.83	3.32	
4:00		13.33	5.8	10.55	13.58	12.59	21.7	19.52	19.13	15.87	10.91	8.35	2.93	
5:00		12.88	5.5	10.4	13.79	11.9	21.59	19.32	19.61	15.29	10.93	7.86	2.64	
6:00		12.24	5.26	9.29	11.51	11.61	22.79	19.75	20	14.78	10.79	7.38	1.72	
7:00		11.77	5.15	8.98	13.06	13.95	24.58	21.84	20.34	15.02	10.18	7.01	0.51	
8:00		11.51	5.89	12.34	17.63	15.94	27.5	24.27	21.89	17.79	13.46	7.62	1.07	
9:00		11.67	10.38	16.98	19.84	17.82	29.94	26.38	23.8	19.35	16.89	10.73	2.75	
10:00		12.48	13.64	19.48	21.59	19.75	32.1	28.46	25.52	20.92	18.98	12.56	6.14	
11:00		14	15.96	21.03	23.07	21.49	33.86	30.39	26.79	22.38	20.54	14.16	8.03	
12:00		14.98	17.85	22.21	24.23	22.93	34.6	31.87	28.17	23.61	21.77	15.35	9.33	
13:00		15.87	19.25	23.01	24.56	24.1	33.35	32.86	29.25	24.74	22.6	16.11	10.23	
14:00		16.39	20.21	23.47	24.42	24.94	32.35	33.21	29.94	25.46	23.07	16.49	10.75	
15:00		16.69	20.69	23.56	23.95	25.28	31.48	33.07	30.13	25.86	23.2	16.53	10.92	
16:00		16.68	20.63	23.19	22.56	25.01	30.72	32.42	29.85	25.34	22.95	16.21	10.63	
17:00		15.67	19.88	22.72	20.92	24.02	30.35	31.4	29.05	24.14	22.17	15.26	9.86	
18:00		13.92	17.91	21.4	19.38	22.23	29.92	29.92	27.66	22.8	20.56	13.7	8.43	
19:00		12.92	15.06	18.56	17.7	19.62	29.75	27.29	25.47	21.62	18.93	12.81	7.42	
20:00		11.96	13.07	17.08	16.44	17.9	28.9	25.19	23.78	20.89	17.85	11.92	6.85	
21:00		11.04	11.31	15.73	15.66	16.84	27.97	23.89	22.77	20.37	16.79	10.07	6.4	
22:00		10.33	10.76	14.37	14.98	15.97	27.22	22.84	22.14	19.77	16.38	8.58	6.53	
23:00	9.91	9.43	13.23	14.43	15.02	26.92	21.85	21.69	19.13	16.75	7.8	6.33		
16	0:00	9.57	8.46	12.28	13.72	14.02	26.68	21.01	21.38	18.65	16.32	7.21	6.31	
	1:00	9.25	8.21	11.32	12.94	13.19	26.55	20.36	20.75	18.27	16.06	6.72	7.11	

	2:00	8.92	8.27	10.71	12.24	13.01	26.32	19.72	20.48	17.88	14.6	6.29	7.66
	3:00	8.63	8.23	10.41	12.01	13.11	25.81	18.97	20.55	17.45	14.17	5.93	8.25
	4:00	8.37	8.2	10.15	11.17	12.9	24.74	18.27	20.53	17	14.02	5.64	8.61
	5:00	8.11	8.14	9.73	10.36	12.52	23.74	17.96	20.38	16.56	13.92	5.54	9.22
	6:00	7.82	8.19	9.45	9.91	12.3	23.69	18.12	20.3	16.17	13.99	5.52	10.01
	7:00	7.11	8.43	9.47	11.24	14.64	24.7	20.38	20.96	16.57	13.69	5.4	11.12
	8:00	7.08	8.69	12.07	13.41	18.32	26.37	22.9	24.03	19.55	16.38	6.36	11.84
	9:00	8.24	11.3	16.61	16.25	21.07	27.96	25.24	26.56	21.84	19.11	10.21	12.94
	10:00	10.26	14.21	18.86	18.9	23.43	29.69	27.54	28.95	23.79	20.9	13.03	14.38
	11:00	12.23	16.34	20.71	21.03	25.35	31.27	29.65	31.1	25.43	22.2	15.06	15.44
	12:00	13.82	17.84	22.11	22.73	26.79	32.74	31.46	32.77	26.77	23.32	16.45	16.72
	13:00	14.98	18.71	23.06	24.23	27.65	33.82	32.72	34.06	27.81	24.42	17.38	17.28
	14:00	15.69	18.97	23.45	25.31	28.02	34.79	33.55	34.99	28.57	24.88	17.84	18.07
	15:00	15.98	18.81	23.22	25.87	28	35.08	33.98	35.51	29.01	24.88	17.71	17.25
	16:00	15.66	18.29	22.51	25.82	27.49	34.24	33.82	35.57	29.1	24.41	17.03	17.31
	17:00	14.23	17.27	21.29	25.09	26.58	33.23	33.13	34.96	28.75	23.09	15.54	16.52
	18:00	12.53	15.5	19.31	23.58	25.04	32.55	31.72	33.5	27.64	21.13	14.15	15.51
	19:00	11.01	14	17.16	21.02	22.66	32.09	28.87	30.85	25.97	19.99	12.55	14.68
	20:00	10.2	12.71	16.28	19.17	20.87	30.24	26.61	28.37	24.63	18.63	11.08	14.1
	21:00	9.5	11.4	15.86	17.97	19.69	28.53	25.13	26.94	23.21	18.11	10.94	13.9
	22:00	8.79	10.01	15.58	17.11	18.88	27.25	24.05	25.8	21.63	18.17	11.07	13.79
	23:00	8.09	9.06	15.44	16.33	18.11	26.05	22.94	24.8	20.19	17.67	10.59	13.8
17	0:00	7.4	8.51	15.34	15.6	17.32	24.94	21.96	23.94	19.03	17.22	10.22	13.96
	1:00	6.8	7.82	15.27	15.08	16.37	25.17	21.14	23.15	18.29	16.37	9.96	14
	2:00	6.31	7.21	15.04	14.88	16.01	23.8	20.33	22.34	17.88	16.28	9.58	13.87
	3:00	5.97	6.71	14.59	14.76	16.26	22.9	20.35	21.67	16.68	16.45	9.07	13.76
	4:00	5.69	6.29	13.98	14.91	16.57	22.61	20.84	21.69	16.05	16.26	6.79	13.61
	5:00	5.29	5.87	13.42	15.14	15.61	22.1	20.92	21.54	15.67	14.66	6.56	13.24
	6:00	4.96	5.47	13.07	15.41	14.63	22.18	20.71	20.48	15.3	14.38	7.16	12.75
	7:00	5.18	5.59	13.24	16.25	17.26	24.9	21.55	22.19	15.91	14.91	8.76	11.76
	8:00	5.17	6.14	14.25	18.11	19.67	27.33	25.31	25.37	20.32	17.21	9.92	11.25
	9:00	6.88	10.6	15.8	20.06	21.63	29.55	28.5	28.17	24.34	19.54	10.89	12.62
	10:00	9.35	13.86	17.18	21.2	23.42	31.55	31.18	30.73	27.57	21.5	11.69	14.42
	11:00	11.55	16.15	18.21	21.57	25.04	33.19	33.52	32.75	29.84	23.12	12.87	15.55
	12:00	13.29	18.12	19.03	21.63	26.3	34.52	35.42	34.44	31.32	24.18	13.87	16.99
	13:00	14.64	19.42	19.46	21.83	27.15	35.44	36.67	35.8	32.31	25.02	14.32	17.58
	14:00	15.09	20.05	19.53	21.52	27.62	36.13	37.42	36.59	32.88	25.34	14.69	18.01
	15:00	15.26	20.08	19.3	20.95	27.5	36.54	37.88	36.61	33.15	25.35	15.05	18.05
	16:00	15.07	19.46	18.73	20.77	26.69	36.51	37.88	35.65	33.16	24.98	15.08	17.42
	17:00	13.98	18.13	17.88	19.93	25.38	35.87	37.47	33.8	32.71	24	15.11	15.98
	18:00	12.37	15.96	16.68	18.55	23.79	34.38	36.12	31.67	31.02	22.28	14.78	14.38
	19:00	11.31	13.99	15	16.05	22.01	31.65	31.6	28.55	28.43	21.16	14.1	12.99
	20:00	10.11	12.75	14.32	15.48	20.15	29.66	29.05	26.75	25.71	19.77	12.94	11.38
	21:00	9.13	12.01	13.87	15.05	19.19	28.48	27.4	25.64	23.84	19.4	11.57	10.67
	22:00	8.55	11.64	13.61	14.67	18.28	27.49	26.29	24.68	22.46	18.25	10.04	10.6

	23:00	8.14	11.23	13.42	14.11	17.11	26.2	25.52	23.8	21.15	17.21	8.96	10.19
18	0:00	8.03	10.86	13.19	13.41	16.21	24.93	24.93	23.03	20.23	16.83	8.12	9.84
	1:00	8.17	10.21	12.89	12.42	15.55	24.74	24.3	22.4	20.82	16.31	7.52	9.67
	2:00	7.8	10.42	12.57	11.61	15.03	24.54	23.41	21.87	20.4	16.14	7.02	10.08
	3:00	7.39	10.23	12	11.3	14.48	23.58	23.26	21.38	19.11	16.28	6.47	10.3
	4:00	7.14	9.42	11.25	10.98	13.9	22.32	23.6	20.95	17.81	16.51	5.85	10.31
	5:00	6.11	9.03	10.86	10.57	13.3	21.88	23.1	20.55	17.43	16.69	5.65	10.52
	6:00	5.34	9.47	10.59	10.37	13.13	22.23	21.63	20.48	17.46	16.86	6.11	10.36
	7:00	5.17	10.28	10.33	12.64	16.04	25.5	24.05	21.21	16.65	16.75	6.5	10.4
	8:00	4.93	10.95	12.58	13.42	18.59	28.82	26.85	22.77	21.26	18.89	6.91	10.05
	9:00	7.4	12.47	15.35	14.71	20.92	30.83	29.17	25.16	24.75	22.38	9.14	12.29
	10:00	10.24	14.24	17.28	15.9	23.1	32.82	31.24	27.65	27.2	24.73	11.36	15.06
	11:00	12.59	15.37	18.69	16.95	24.77	34.5	33.06	30.02	29.13	26.63	13.02	16.43
	12:00	14.26	15.53	19.73	17.92	26.11	35.64	34.57	32.19	30.72	27.86	14.34	17.21
	13:00	15.33	16.6	20.45	18.52	27.05	36.08	35.78	34.01	31.91	28.57	15.16	16.84
	14:00	15.79	17.25	20.92	19.03	27.42	36.51	36.56	35.31	32.59	28.92	15.46	15.9
	15:00	16.02	17.64	21.06	18.66	27.07	36.41	36.94	36.15	32.83	29	15.47	16.65
	16:00	15.48	17.66	20.75	17.15	26.32	35.99	36.86	36.56	32.55	28.69	15.13	16.05
	17:00	14.4	16.83	19.86	17.13	25.11	35.25	36.15	36.35	31.64	27.63	14.21	15.91
	18:00	13.15	15.53	18.28	16.48	23.45	33.88	34.61	35.04	29.67	25.69	12.64	15.27
	19:00	12.99	14.43	16.08	15.3	20.77	31.38	31.73	30.94	26.24	23.42	11.29	15.58
	20:00	12.58	13.72	14.76	14.22	18.72	29.24	29.46	28.4	24.47	21.82	10.36	15.8
	21:00	12.13	12.83	13.5	13.36	17.53	27.72	27.75	26.82	23.25	20.53	9.95	15.97
	22:00	11.32	11.91	12.48	13.34	16.35	26.52	26.45	25.7	22.17	19.51	9.95	15.32
23:00	10.12	11.45	11.66	12.89	15.07	25.45	25.48	24.96	21.19	18.74	10.01	15.6	
19	0:00	9.22	11.25	10.96	12.32	14.02	25.67	24.7	24.65	20.34	18.33	10.01	15.39
	1:00	8.38	11.23	10.04	11.53	13.12	25.13	23.95	24.14	19.63	18.34	9.66	15.16
	2:00	7.84	12.07	9.35	11.52	12.74	24.11	23.11	23.84	18.98	19.02	8.89	14.91
	3:00	7.17	11.43	8.78	11.47	12.3	23.02	23.02	23.48	18.46	18.76	8.26	14.78
	4:00	6.91	10.74	8.52	10.35	12.1	23.27	22.77	24.07	17.98	18.09	8.32	13.94
	5:00	6.59	10.31	8.43	9.61	11.94	23.17	22.59	23.03	17.5	17.48	8.33	12.46
	6:00	6.43	9.57	8.41	9.48	12.07	23.02	22.12	22.61	17.14	17.62	8.34	10.54
	7:00	6.32	9.2	8.42	10.8	15.08	23.83	23.79	23.91	17.93	16.56	8.48	8.89
	8:00	6.18	9.22	11.28	13.41	18.25	26.31	26.15	26.35	21.12	18.71	8.72	8.39
	9:00	6.83	12.3	15.14	15.34	20.72	28.7	28.37	29.06	23.59	21.58	10.57	8.57
	10:00	8.14	14.44	17.05	16.97	22.96	30.9	30.58	30.85	25.78	23.42	12.11	9.02
	11:00	10.1	16.03	18.63	18.26	24.99	32.83	32.59	32.47	27.64	24.83	14.68	9.91
	12:00	12.09	17.36	19.94	19.1	26.67	34.48	34.27	33.77	28.93	25.9	15.97	10.49
	13:00	13.18	18.26	20.9	19.86	27.83	35.73	35.53	35.14	29.47	26.67	17.07	11.2
	14:00	13.77	18.84	21.51	20.13	28.54	36.58	36.47	36.6	29.59	27.14	17.4	11.51
	15:00	14.02	19.11	21.78	19.92	28.87	37	36.88	37.41	28.82	27.19	17.21	11.52
	16:00	13.91	19.14	21.73	19.57	28.75	36.79	36.52	37.65	27.48	26.92	16.66	11.15
	17:00	13.48	17.97	21.27	17.42	28.21	35.79	35.34	37.39	26.02	25.93	15.38	10.01
	18:00	12.43	16.62	20.04	16.86	26.89	33.77	33.51	36.09	24.77	24.05	13.87	8.84
	19:00	10.98	16.09	17.5	16.09	24.46	31.5	30.63	33.15	23.44	22.63	12.82	7.86
20:00	10.2	14.89	15.75	15.56	22.32	29.69	28.47	31	22.71	21.41	11.3	7.17	

	21:00	9.93	14.05	13.97	14.39	20.93	28.41	27.03	29.48	22.19	20.32	10.38	6.55
	22:00	10.11	11.15	13.4	13.58	19.82	27.31	25.92	28.35	21.81	19.39	10.11	5.99
	23:00	10.31	9.89	13.83	12.75	18.66	26.52	24.97	27.49	21.5	19.05	10.3	5.46
20	0:00	10.36	9.09	13.36	11.91	18.51	25.71	24.11	26.8	21.11	19.34	11.17	4.91
	1:00	9.82	8.5	12.84	11.26	18.48	25.07	23.12	26.13	21.04	18.92	11.87	4.37
	2:00	9.55	8.05	12	10.79	18.03	24.26	22.33	25.53	20.63	18.54	12.29	3.88
	3:00	9.78	7.66	11.61	10.35	15.72	23.67	21.52	24.9	19.81	18.39	12.51	3.44
	4:00	10.48	7.28	11.52	9.92	16.89	23.27	20.77	24.52	19.42	18.09	12.44	3.03
	5:00	11.74	6.95	11.27	9.74	14.83	23	20.26	25.3	19.13	17.72	12.93	2.69
	6:00	13	6.76	11.34	9.68	15.21	23.47	20.25	24.19	18.8	17.67	13.59	2.29
	7:00	13.09	6.6	10.48	11.46	18.32	25.81	22.4	25.31	19.14	18.52	14.17	2.22
	8:00	13.12	7.65	12.41	13.5	21.3	29.2	24.58	28.71	21.28	19.04	14.88	2.54
	9:00	13.46	11.43	14.9	15.29	23.69	32.21	26.67	31.66	23.86	20.7	15.71	4.17
	10:00	13.94	14.13	17.25	17.32	25.72	34.64	28.74	33.99	26.34	22.32	16.53	6.44
	11:00	14.43	16.08	19.23	18.62	27.73	36.46	30.62	35.88	28.49	23.63	17.59	8.5
	12:00	15.45	17.43	20.96	19.67	29.42	37.77	31.93	37.36	29.88	24.98	17.62	10.56
	13:00	16.13	18.42	22.29	20.31	30.52	38.57	32.59	38.55	30.61	25.9	17.52	12.23
	14:00	16.52	19	23.12	20.54	30.95	38.61	32.8	39.3	30.74	26.27	17.11	13.28
	15:00	16.66	19.2	23.46	20.66	30.91	38.42	32.63	39.53	30.23	26.31	16.94	14.34
	16:00	16.32	19.07	23.42	20.75	30.68	37.53	32.11	39.4	29.05	25.53	17.05	13.9
	17:00	15.62	18.53	22.87	20.35	29.86	37.01	31.27	38.69	27.48	24.16	15.65	12.61
	18:00	14.31	16.79	21.08	19.85	28	35.97	30.08	37.28	25.64	22.36	13.84	11.59
	19:00	13.86	14.82	18.77	18.3	25.25	32.34	27.64	34.5	23.34	21.02	12.85	11.27
	20:00	12.88	13.29	17.18	17.46	22.69	30.21	26.07	32.32	22.16	20.07	12.18	11.16
	21:00	12.05	12.07	15.97	16.31	21	28.79	24.96	30.81	21.16	19.2	11.78	11.45
	22:00	11.65	10.92	14.58	15.14	19.82	27.6	24.27	29.59	19.91	18.2	11.43	11.81
23:00	11.27	9.85	13.58	13.72	19.03	26.75	23.73	28.86	18.84	17.42	11.1	12.11	
21	0:00	10.87	8.93	13.94	12.97	18.3	26.04	23.13	27.42	17.96	16.82	10.77	12.44
	1:00	10.38	8.23	14.53	12.15	17.54	25.36	22.39	26.43	17.67	16.3	10.23	12.63
	2:00	10.05	7.78	14.27	11.54	17.07	24.75	21.67	25.77	18.03	16.15	9.64	12.87
	3:00	9.96	7.19	13.8	11.56	16.55	24.21	21.05	25.55	17.35	16.13	9.23	13.31
	4:00	9.64	6.69	13.32	11.4	16.17	23.76	20.5	25.12	16.6	16.43	9.02	13.8
	5:00	9.89	6.73	12.74	11.84	16.11	23.38	19.94	24.56	15.91	16.39	8.74	14.19
	6:00	10.61	6.41	11.91	12.09	16.39	23.51	19.77	24.21	15.57	16.21	8.28	14.58
	7:00	11.53	6.11	10.47	13.16	17.35	24.73	22.11	25.96	16.85	16.48	8.77	14.95
	8:00	11.18	7.5	12.02	14.41	18.78	26.89	23.76	29.25	19.51	18.09	9.18	15.49
	9:00	12.58	12.01	16.38	16.01	20.55	29.15	25.31	32.07	22.18	20.31	11.84	16.05
	10:00	14.16	15	19.14	17.58	21.82	31.21	27.06	34.55	24.69	22.07	13.86	16.5
	11:00	15.24	17.07	21.04	19.18	23.1	32.95	28.76	36.69	26.9	23.17	15.12	16.82
	12:00	15.06	18.61	22.25	20.07	23.9	34.29	30.16	38.47	28.57	24.09	15.77	16.62
	13:00	15.38	19.57	22.91	20.8	24.31	35.07	31.08	39.74	29.57	24.44	16.15	16.01
	14:00	15.73	20.02	22.78	21.57	24.47	35.32	31.55	40.4	30	24.55	16.32	15.92
	15:00	15.66	20.02	22.3	21.67	24.33	35.16	31.6	40.83	29.93	23.91	16.15	15.77
	16:00	15.83	19.45	21.79	21.29	23.39	34.6	31.18	40.68	29.31	23.25	15.93	15.55
17:00	15.5	18.35	20.97	21.3	21.99	33.56	30.34	39.59	27.69	22.35	15.18	15.39	

	18:00	14.77	16.45	19.33	20.69	20.32	32.38	28.98	37.25	25.25	20.97	14.23	15.53
	19:00	14.86	14.47	16.82	18.72	18.45	29.76	27.08	34	22.38	20.11	13.4	15.6
	20:00	14.57	13.24	15.3	17.86	17.09	27.86	25.46	31.58	20.96	19.3	13	15.53
	21:00	14.17	12.2	14.1	16.79	16.26	26.44	24.48	30.08	20.05	19.07	12.57	15.52
	22:00	13.06	11.36	13.35	15.77	15.67	25.44	23.77	29.08	19.25	19.09	12.21	15.48
	23:00	12.5	10.31	12.67	14.53	15.12	24.65	23.14	28.23	18.48	19.26	11.78	15.09
22	0:00	12.48	9.08	12.05	13.81	14.43	23.93	22.61	27.41	17.81	19.14	11.55	15.22
	1:00	12.31	8.06	11.33	13.03	13.92	23.28	22.15	26.66	17.27	18.88	11.18	15.19
	2:00	12.18	7.39	10.68	12.08	14.41	22.8	21.78	25.92	16.96	18.47	10.73	15.06
	3:00	11.77	6.96	10.12	11.5	14.08	22.49	21.44	25.16	16.85	18.26	10.25	14.83
	4:00	11.13	6.55	9.63	10.92	13.94	22.21	21.08	24.43	16.82	18.09	9.95	14.63
	5:00	10.71	6.43	9.36	10.54	13.75	21.91	20.68	23.79	16.75	17.8	9.34	14.57
	6:00	10.41	6.37	9.03	10.29	13.29	22.04	20.55	23.28	16.7	17.58	8.71	15.26
	7:00	10.25	6.06	9.76	11.95	14.94	23.48	22.71	24.76	17	18.28	8.48	15.38
	8:00	10.14	7.44	12.8	16.12	16.82	25.62	24.81	27.85	19.46	18.38	8.78	15.32
	9:00	11.82	11.95	15.5	17.98	18.92	27.77	26.65	30.67	21.8	18.84	11.77	14.64
	10:00	14.31	15.19	17.3	19.54	21.19	29.53	28.52	33.16	23.3	18.81	13.48	15.13
	11:00	15.87	17.51	18.73	20.96	23.33	31.07	30.25	35.38	25.46	18.83	14.76	13.97
	12:00	16.88	19.37	19.69	22.26	25.25	32.38	31.42	37.21	26.58	19.74	15.63	15.04
	13:00	17.85	20.63	20.06	23.08	26.45	33.34	32.05	38.35	27.12	21.32	16.13	16.61
	14:00	18.66	21.38	20.23	23.11	26.71	33.84	32.29	38.73	27.27	21.26	16.2	15.44
	15:00	19.11	21.75	20.02	22.89	26.2	33.86	32.06	38.42	26.83	20.1	15.95	15.96
	16:00	19.06	21.6	19.56	21.68	24.1	33.41	31.42	37.44	25.77	20.12	15.53	15.64
	17:00	18.43	20.87	18.57	20.05	21.89	32.56	30.48	36.04	24.33	20.04	14.63	15.11
	18:00	16.74	18.94	17.26	18.21	20.6	31.36	29.21	34.11	22.69	19.51	13.73	14.67
	19:00	15.8	15.94	15.4	16.56	18.97	29.51	27.74	30.54	20.91	19.16	12.71	14.48
	20:00	14.57	13.34	14.28	15.55	17.66	27.25	26.05	28.44	19.89	19.24	11.65	14.26
	21:00	13.38	13.42	13.52	15.14	16.93	25.61	24.87	26.94	19.1	19.18	10.98	13.86
	22:00	12.33	12.82	12.96	14.94	16.54	24.57	23.99	25.96	18.39	19.34	10.24	13.92
23:00	11.55	12.52	12.49	14.81	16.29	23.74	23.23	25.25	17.67	19.25	10.03	14.44	
23	0:00	10.96	12.25	11.76	14.41	16.27	23	22.55	24.57	16.94	18.99	9.54	14.44
	1:00	10.51	11.84	10.78	14.18	16.01	22.26	21.93	23.92	16.28	18.48	9.41	14.82
	2:00	10.38	9.64	9.94	14.13	15.7	21.75	21.44	23.3	15.75	18.35	9.7	15.09
	3:00	10.01	7.66	9.32	13.94	15.26	21.16	20.96	22.75	15.27	18.03	9.75	14.99
	4:00	9.52	6.86	9.05	13.35	14.9	20.47	20.51	22.29	14.94	17.98	9.62	15.08
	5:00	9.24	6.07	8.72	12.51	14.95	19.88	20.13	21.87	14.34	17.64	10.44	15.31
	6:00	9.25	5.53	8.62	11.85	15.09	20.07	20.11	21.53	14.22	17.42	11.04	15.56
	7:00	9.92	5.49	9.01	12.02	16.8	22.88	21.79	22.41	14.93	17.71	11.43	16.84
	8:00	9.84	6.78	12.05	12.69	17.85	25.07	24.14	24.43	18.21	17.98	11.71	17.11
	9:00	12.08	12.17	15.58	13.67	19.02	27.29	26.3	26.58	20.74	18.41	12.68	17.12
	10:00	15.11	16.3	17.86	14.67	20.13	29.56	28.34	28.71	22.96	18.37	13.48	17.62
	11:00	17.19	19.07	19.48	15.81	21.23	31.66	30.22	30.43	24.94	19.11	14.26	18.59
	12:00	18.78	20.89	20.36	15.8	22.13	33.33	31.84	31.63	26.55	19.32	14.8	19.11
	13:00	19.97	22.11	20.69	16.3	22.42	34.46	33.12	32.59	27.75	19.62	15.34	18.39
	14:00	20.78	22.81	20.77	16.52	22.47	34.92	34.08	33.07	28.49	19.56	15.43	17.85
15:00	21.13	22.97	20.5	16.64	21.94	34.75	34.73	33.11	28.77	18.74	15.44	17.11	

	16:00	20.97	22.92	19.59	16.19	21.28	33.99	34.88	32.5	28.66	18.15	14.86	16.73
	17:00	20.24	21.86	18.99	15.68	20.74	32.62	34.39	31.13	28	17.74	14.36	16.69
	18:00	17.91	19.82	17.67	14.81	19.8	30.6	33.31	29.08	26.46	16.74	13.93	16.64
	19:00	15.39	17.87	15.97	13.95	18.59	28.41	30.66	26.22	23.69	15.82	14.38	17.71
	20:00	13.98	15.45	15.17	13.28	17.56	26.42	28.43	24.72	22.37	15.7	14.47	17.63
	21:00	13.17	13.52	14.5	12.81	16.92	24.98	26.9	23.8	21.49	15.61	14.57	17.64
	22:00	12.64	12.28	13.93	12.71	16.3	23.98	25.77	23.03	20.39	15.53	14.78	17.85
	23:00	12.37	11.53	13.4	12.32	15.84	23.3	24.91	22.42	19.54	15.47	15	17.96
24	0:00	12.12	11.23	13.05	12	15.26	22.73	24.26	22.02	19.06	15.4	15.18	17.9
	1:00	12.08	11.04	12.5	11.64	14.77	22.22	23.68	21.69	18.54	15.2	15.18	17.24
	2:00	11.43	10.8	11.86	11.5	14.72	21.64	23.01	21.41	18.08	15.05	15.09	16.72
	3:00	10.88	10.53	13.21	11.74	14.58	20.96	23.55	21.19	17.89	14.74	14.95	16.48
	4:00	10.4	10.32	12.46	12.14	14.23	20.32	23.48	20.95	17.69	14.88	14.7	16.62
	5:00	10.1	9.96	11.37	12.5	14.02	19.71	21.41	20.69	17.33	15.22	14.68	16.89
	6:00	9.77	9.1	11.36	12.92	14.24	19.78	21.4	20.38	16.45	15.52	14.55	16.89
	7:00	9.18	7.33	11.54	13.69	15.31	22.22	23.96	21.59	16.31	15.08	14.6	17.81
	8:00	9.06	7.54	11.74	15	16.33	24.03	26.9	23.65	20.52	15.46	14.88	17
	9:00	11.65	12.73	12.69	16.1	17.86	26.07	29.06	25.63	23.93	16.44	15.35	17.22
	10:00	15.61	16.77	14.53	16.39	18.98	28.07	30.98	27.64	26.39	17.39	16.3	18.04
	11:00	17.72	19.64	16.5	16.27	20.17	29.6	32.71	29.38	28.23	18.67	17.22	18.28
	12:00	19.13	21.46	18.1	16.57	21.19	30.55	34.14	30.78	29.55	20	17.65	17.65
	13:00	20.19	22.52	18.72	16.6	21.82	30.86	35.37	31.7	30.52	20.92	18.25	17.18
	14:00	20.55	22.87	19.06	16.9	21.63	30.66	36.15	32.05	31.16	21.35	18.82	17.44
	15:00	20.76	22.84	18.99	16.42	21.43	30.25	36.22	31.69	31.42	21.37	17.98	17.32
	16:00	20.54	22.38	19.13	16.3	20.95	29.51	36.45	30.62	31.28	21.46	17.6	17.04
	17:00	19.59	21.27	19.13	16.46	20.43	28.43	35.88	29.13	30.41	20.21	17.15	16.2
	18:00	17.46	18.93	18.41	16.14	19.66	26.81	34.69	27.25	28.46	19.45	16.7	15.78
	19:00	15.23	16.48	17.18	15.47	18.43	24.73	32.26	25.12	25.72	19.31	16.27	15.42
	20:00	14.02	15.1	16.29	15.25	17.22	23.05	30.08	23.69	24.28	18.65	16.15	15.46
	21:00	13.11	14	15.12	15.08	16.49	22.3	28.47	22.94	23.27	17.97	15.89	15.24
	22:00	12.19	13.17	13.46	15.23	15.92	21.74	27.23	22.55	22.43	17.68	15.49	15.14
23:00	11.49	12.26	13.32	15.36	15.42	21.04	26.34	22.32	21.75	17.58	15.29	14.92	
25	0:00	11.17	11.25	12.53	15.34	15.1	20.62	25.58	21.96	21.18	17.68	14.83	14.73
	1:00	10.89	10.36	10.89	15.17	14.74	20.27	24.98	21.44	20.67	17.59	14.26	14.4
	2:00	11.48	9.73	10.2	14.99	14.51	19.94	24.33	20.91	20.11	17.25	14.24	13.72
	3:00	10.75	9.15	10.08	14.84	14.28	19.53	24.32	20.4	19.49	17.11	14.38	13.05
	4:00	9.51	8.69	10.04	14.61	13.62	19.04	23.79	19.97	18.77	17.11	14.44	12.64
	5:00	9.09	8.28	9.96	14.44	13.33	18.57	22.86	19.74	18.25	17.17	14.24	11.61
	6:00	8.7	7.94	9.72	14.37	13.77	18.75	22.16	19.77	18.51	17.16	14.25	11.54
	7:00	8.77	7.59	9.36	14.67	16.12	19.89	24.81	21.47	19.19	17.74	14.3	11.57
	8:00	8.39	8.61	13.24	15.09	17.97	21.25	27.28	24.17	21.32	18.41	14.56	11.8
	9:00	10.91	13.54	16.76	15.72	19.57	22.76	29.34	26.23	23.91	20.89	15.09	12.96
	10:00	14.53	16.46	19.19	16.79	20.9	24.24	31.22	28.02	25.69	22.61	15.96	14.28
	11:00	16.69	18.59	20.9	17.52	22.18	25.54	32.96	29.62	27.4	23.56	16.62	15.33
12:00	18.09	20.05	22.05	18.5	23.03	26.58	34.45	30.98	28.96	23.69	17.4	15.69	

	13:00	18.98	21.05	22.27	19.34	23.57	27.25	35.75	31.96	30.16	24.02	17.46	15.96
	14:00	19.44	21.64	22.31	19.35	23.8	27.52	36.68	32.74	30.89	24.54	17.73	16.07
	15:00	19.4	21.79	22.58	19.17	24.14	27.38	37.3	32.86	31.13	24.88	17.5	16.03
	16:00	19.1	21.35	22.8	18.51	24.36	26.73	37.49	32.25	30.9	24.94	16.73	16.02
	17:00	18.07	20.16	22.51	17.88	23.68	25.72	36.92	30.66	29.98	24.09	15.52	15.81
	18:00	16.27	17.96	20.86	17.08	22.09	24.55	35.46	28.51	28.34	22.52	14.74	15.73
	19:00	14.4	15.74	18.82	16.43	20.55	22.8	33.06	26.58	26.31	21.42	14.33	16.09
	20:00	12.86	14.32	16.53	15.61	18.91	21.54	30.16	25.31	24.91	20.52	13.2	16.4
	21:00	11.82	12.86	15.07	14.86	18	20.76	28.38	24.7	23.86	20.02	12.19	16.31
	22:00	11.16	11.43	13.6	14	17.46	20.26	27.22	24.39	23.04	19.12	11.74	15.62
	23:00	10.71	10.21	13.92	13.15	16.81	19.93	26.37	24.07	22.41	18.61	11.42	15.57
26	0:00	10.38	9.14	11.55	12.33	16.21	19.68	25.74	23.49	21.97	18.28	10.69	14.85
	1:00	10.8	8.77	10.62	11.58	15.84	19.38	25.18	22.93	21.62	17.75	10.1	14.84
	2:00	11.14	7.86	10.12	10.8	15.51	18.87	24.7	22.51	21.51	17.19	9.51	14.88
	3:00	10.83	7.51	10.02	9.97	15.14	18.15	24.3	22.18	21.11	16.76	10.03	15.03
	4:00	9.39	6.78	10.49	9.15	14.8	17.6	23.89	21.82	20.44	16.52	10.21	15.21
	5:00	9.57	6.38	10.22	8.43	14.52	17.24	23.39	21.23	19.65	16.39	9.94	15.32
	6:00	9.35	6.3	8.82	7.97	14.86	17.37	23.04	20.74	19.38	16.19	9.65	14.84
	7:00	8.84	5.84	8.74	10.36	17.09	19.73	24.75	21.85	20.14	16.2	10.66	14.58
	8:00	9.04	7.21	12.67	13.19	19.52	21.48	26.93	24.8	22.01	17.84	10.94	14.71
	9:00	11.25	12.38	16.48	15.09	21.84	23.34	29.2	26.96	24.74	21.28	12.05	15.2
	10:00	12.29	15.95	19.28	16.81	23.98	25.13	31.37	29	26.91	23.71	13.26	15.69
	11:00	13.4	18.57	21.71	18.38	25.7	26.51	33.19	30.62	28.55	25.71	14.52	16.58
	12:00	14.61	20.48	23.6	19.67	27.11	27.44	34.75	31.85	29.82	27.13	14.89	16.68
	13:00	15.23	21.59	24.98	20.69	28.28	28.11	35.99	32.67	30.84	28.13	14.98	17.12
	14:00	15.59	21.95	25.81	21.45	29.17	28.27	36.9	33.12	31.48	28.88	14.83	17.23
	15:00	15.61	21.71	26.18	21.91	29.79	28.15	37.47	33.02	31.7	29.14	14.34	16.67
	16:00	15.3	21.06	26.02	22.04	30.08	27.67	37.64	32.38	31.27	28.95	14.01	15.82
	17:00	14.86	19.92	25.17	21.88	30.04	26.83	37.14	31.09	30.25	27.63	13.63	14.68
	18:00	13.73	17.95	22.79	21.15	29.55	25.42	35.79	29.14	28.42	25.16	13.22	13.53
	19:00	12.49	16.12	19.68	19.46	27.71	23.79	33.44	26.46	26.43	23.94	13.18	12.95
	20:00	11.3	15.14	18.04	17.75	25.69	22.04	31.04	24.67	25.24	22.75	12.98	11.84
	21:00	10.4	14.63	16.45	16.53	23.61	20.83	29.43	23.6	24.42	22.02	12.82	10.82
	22:00	10.25	14.19	17.13	15.54	21.53	20.06	28.42	22.81	23.77	21.23	12.69	9.97
23:00	10.91	13.68	15.01	14.68	20.02	19.5	27.89	22.1	23.03	20.16	12.54	9.18	
27	0:00	10.1	13.02	15.05	13.95	18.83	19.03	27.59	21.48	22.72	19.28	12.37	8.01
	1:00	9.09	12.18	14.84	13.4	18.33	18.65	26.83	20.94	22.23	18.66	12.18	7.23
	2:00	8.76	11.04	13.34	12.99	19.02	18.27	25.8	20.48	21.63	18.61	11.74	7.84
	3:00	7.43	9.85	11.93	12.6	17.11	17.83	25.61	20.12	20.96	17.64	11.88	7.8
	4:00	6.51	8.75	11.71	12.21	15.45	17.33	25.15	19.83	21.55	17.29	11.91	7.01
	5:00	5.95	7.85	13.33	11.81	14.81	16.87	24.51	19.61	21.21	17.28	11.84	5.86
	6:00	5.59	7.38	12.44	11.55	15.22	17.09	24.2	19.46	20.84	17.19	11.83	5.05
	7:00	5.11	6.71	13.32	12.92	19.02	19.6	26.36	20.33	18.74	18.36	11.68	4.43
	8:00	5	8.06	14.46	16.25	22.16	21.86	28.95	22.66	22.42	20.04	11.82	4.17
	9:00	8.09	12.73	17.73	19.28	24.45	24.01	30.76	24.98	25.38	23.53	12.04	6.45
	10:00	11.02	15.99	20.11	21.7	26.36	25.99	32.49	27.25	27.77	25.76	12.24	10.1

	11:00	13.28	18.19	22.15	23.45	27.78	27.51	33.86	29.42	29.71	27.14	12.46	11.68
	12:00	14.85	19.84	23.16	24.76	28.73	28.5	34.66	30.58	31.32	27.92	12.98	12.92
	13:00	15.74	21.21	24.21	25.73	29.26	28.96	35.21	31.04	32.54	28.28	13.4	13.82
	14:00	16.27	22.06	24.69	26.3	29.36	28.98	35.97	31.27	33.35	28.37	13.68	14.17
	15:00	16.37	22.42	24.66	26.56	29.25	28.63	36.31	31.21	33.75	28.15	13.84	14.3
	16:00	16.32	22.35	24.05	26.44	28.82	28.05	36.18	30.68	33.71	27.59	13.85	14.32
	17:00	15.63	21.76	22.7	25.88	28.03	27.04	35.55	29.6	32.92	26.27	13.3	13.75
	18:00	14.06	20.1	20.62	24.46	26.65	25.71	34.16	27.96	30.72	23.74	12.6	11.48
	19:00	12.69	17.03	18.8	22.36	24.28	23.85	31.56	26.16	27.93	22.77	10.9	11.76
	20:00	12.68	15.09	17.11	19.79	22.54	22.09	30.05	24.6	26.02	23.04	10.59	9.43
	21:00	12.44	13.09	16	18.08	21.35	20.87	28.86	23.54	24.81	20.76	10.02	9.18
	22:00	11.78	12.32	15.09	16.93	20.61	20.03	28.06	22.62	24.03	18.86	9.28	9.59
	23:00	10.73	12.8	14.24	16.07	20.14	19.4	27.47	21.84	23.57	18.13	8.46	9.82
28	0:00	9.84	12.72	13.57	15.29	19.75	18.87	26.89	20.97	22.93	17.83	7.61	10.21
	1:00	9.15	12.25	12.97	14.16	19.24	18.45	26.6	20.04	22.08	17.86	6.8	10.4
	2:00	7.35	11.23	12.7	12.96	18.61	18.02	25.86	19.31	21.31	17.02	5.81	10.97
	3:00	6.61	10.29	12.41	12.23	17.99	17.49	25.44	18.76	20.73	16.4	4.83	11.42
	4:00	6.21	10.21	12.13	11.64	17.39	17.01	24.46	18.32	20.18	16.21	4.13	11.92
	5:00	5.93	9.42	12.63	11.1	16.9	16.74	24.43	17.95	19.63	16.2	3.64	12.75
	6:00	6.11	7.11	13.23	10.78	17.14	17.06	24.69	17.68	19.21	16.13	3.17	13.53
	7:00	6.48	5.8	13.56	13.16	19.74	19.84	25.98	19.23	19.34	16.48	3.25	14.35
	8:00	6.92	7.2	14.19	17.53	22.3	21.71	28.5	21.53	22.94	18.17	4.21	14.63
	9:00	8.05	12.73	15.1	20.36	24.56	23.58	30.61	24.44	25.82	22.22	6.21	15.27
	10:00	9.99	16.26	15.95	22.66	26.23	25.5	32.66	27.08	27.98	24.17	8.42	15.9
	11:00	11.88	19.08	17.61	24.46	27.5	27.2	34.54	29.45	29.55	25.63	10.3	16.24
	12:00	13.08	21.13	19.29	25.74	28.4	28.63	36.11	31.36	30.6	26.61	11.94	16.3
	13:00	13.43	22.46	19.65	26.69	28.97	29.65	37.21	32.74	31.21	27.03	12.97	16.53
	14:00	14.07	23.28	17.22	27.23	29.24	30.09	37.64	33.73	30.05	26.99	13.49	16.71
	15:00	14.99	23.69	17.72	27.43	29.21	30.38	37.97	34.32	28.55	26.64	13.52	16.79
	16:00	15.15	20.16	17.99	27.11	28.72	30.18	37.8	34.16	27.9	25.83	13.15	16.77
	17:00	14.7	19.35	17.67	26.24	27.75	29.32	36.9	33.18	27.28	24.3	12.35	16.64
	18:00	13.57	18.53	16.89	24.76	26.41	27.67	35.34	31.18	26.11	22.56	11.29	16.27
	19:00	13.02	17.72	15.19	22.23	24.09	24.84	33.23	28.01	24.84	21.46	10.53	16.67
20:00	12.37	16.91	14.23	20.06	22.66	22.96	30.93	26.09	23.84	20.88	9.91	16.9	
21:00	11.03	16.1	13.51	18.67	21.98	21.76	29.44	24.78	23.12	20.39	9.19	17.13	
22:00	9.98	15.29	13.02	17.32	21.66	21.03	27.91	23.75	22.66	20.21	9.61	17.26	
23:00	9.19	14.48	12.4	17.57	21.5	20.47	26.52	22.87	22.25	19.95	9.93	17.38	
29	0:00	8.59		11.68	16.92	21.35	19.96	25.54	22.19	21.79	19.72	10.07	17.48
	1:00	8.19		10.88	14.07	20.89	19.42	24.94	21.6	21.22	19.16	10.07	17.55
	2:00	7.69		11	13.52	20	19.09	25.1	21.1	20.68	18.2	9.9	17.49
	3:00	7.53		11.01	13.19	19.36	18.9	25.04	20.57	20.15	17.38	9.33	17.47
	4:00	7.05		10.32	12.75	18.86	18.81	24.68	20.1	19.77	16.82	8.9	17.51
	5:00	6.5		9.82	12.3	18.49	18.73	24.22	19.75	19.46	16.35	8.8	17.53
	6:00	5.98		9.29	12.09	18.72	19	23.88	19.49	19.23	15.84	8.74	17.49
7:00	5.38		9.35	14.02	21.53	21	24.07	20.82	19.67	15.52	8.94	17.59	

	8:00	5.19		10.41	17.65	23.98	23.09	25.79	23.91	21.75	16.99	9.11	17.44
	9:00	8.31		11.34	20.01	26.11	25.09	27.49	26.35	24.12	20.51	9.55	17.48
	10:00	11.28		12.46	22.83	27.89	26.93	29.24	28.57	26.18	22.23	10.18	17.77
	11:00	13.33		13.55	24.57	29.32	28.67	30.92	30.61	28.17	23.57	11.03	18.22
	12:00	14.72		14.46	26.03	30.46	30.16	32.38	32.26	29.32	24.54	11.2	18.91
	13:00	15.5		15.24	27.05	31.28	31.2	33.32	33.38	29.81	25.22	11.92	19.6
	14:00	15.94		15.34	27.79	31.69	31.71	33.81	33.73	29.93	25.67	11.88	19.89
	15:00	16.03		12.77	28.15	31.75	31.64	33.94	33.62	29.86	25.66	11.27	19.77
	16:00	15.96		12.12	28.25	31.48	31.08	33.74	32.9	29.38	25.08	10.84	19.37
	17:00	15.17		11.29	27.94	30.69	29.93	33.14	31.63	28.49	23.46	10.22	18.68
	18:00	13.86		10.85	26.68	29.36	28.37	31.72	29.74	27.06	21.29	9.6	18.08
	19:00	12.27		10.96	23.31	27.07	25.92	29.09	27.06	25.83	19.71	9.68	17.25
	20:00	11.25		9.54	20.99	25.25	24.06	26.95	25.31	24.78	18.05	9.15	17.25
	21:00	10.3		8.6	19.33	23.92	22.81	25.67	24.29	24.02	16.42	8.9	17.34
	22:00	9.34		7.94	18.08	22.69	22.11	24.9	23.61	23.45	14.93	8.94	17.47
23:00	8.49		7.54	17.05	22.21	21.55	24.32	22.82	22.85	14.16	9	17.4	
30	0:00	7.62		7.59	15.93	21.76	21.08	23.85	22.05	22	13.63	8.99	17.49
	1:00	6.87		7.41	14.89	20.84	20.67	23.38	21.54	20.84	13.32	8.69	17.28
	2:00	6.21		7.44	14.63	18.97	20.31	22.95	21.06	19.9	12.96	8.34	17.16
	3:00	5.83		7.55	15.31	17.84	19.86	22.53	20.52	19.3	12.63	8.2	17
	4:00	5.42		7.3	15.04	17.21	19.61	22.15	20	18.91	12.35	8.62	16.58
	5:00	5.12		6.81	14.72	16.92	19.63	21.8	19.51	18.66	12.04	8.57	16.43
	6:00	4.83		6.03	13.45	17.23	20.19	21.71	19.08	18.54	11.71	8.67	16.07
	7:00	4.84		5.82	15.15	20.96	22.79	22.77	19.99	18.73	11.82	9.52	16.12
	8:00	4.91		9.19	18.61	24.44	25.36	24.67	22.72	21.54	13.57	9.71	15.52
	9:00	8.31		11.38	21.17	27.04	27.69	26.88	24.62	24.6	17.9	11.24	15.95
	10:00	11.47		12.96	23.5	29.14	29.81	29.07	26.58	26.98	20.22	13.33	17.41
	11:00	13.61		14.28	25.39	30.86	31.65	31.09	28.51	28.77	22.4	13.31	18.55
	12:00	15.16		15.47	26.86	32.35	33	32.82	30.22	30.02	24.02	13.61	18.4
	13:00	16.2		16.48	27.99	33.4	33.94	34.13	31.49	30.91	25.1	13.95	16.8
	14:00	16.88		17.07	28.72	34.28	34.28	34.92	32.29	31.34	25.67	13.88	16
	15:00	17.05		17.27	29.07	34.63	33.92	35.18	32.57	31.48	25.76	13.3	14.94
	16:00	16.95		17.09	27.29	34.34	29.65	34.81	32.35	28.59	25.38	12.33	15.18
	17:00	16.25		16.32	26.06	33.16	29.03	33.78	31.32	27.76	23.46	11.89	15.59
	18:00	14.81		15.21	24.82	30.52	28.4	32.06	29.43	26.92	20.52	11.46	15.21
	19:00	12.61		14.16	23.59	28.54	27.78	29.19	26.94	26.09	17.8	11.03	14.28
20:00	13.04		12.05	22.36	26.28	27.15	26.97	25.26	25.26	16.63	10.59	13.82	
21:00	12.38		11.06	21.12	24.36	26.53	25.44	24.19	24.43	15.56	10.16	13.58	
22:00	11.19		10.32	19.89	22.73	25.9	24.3	23.31	23.59	14.78	9.72	13.19	
23:00	11.02		8.94	18.66	21.53	25.27	23.39	22.32	22.76	14.18	9.29	13.41	
31	0:00	9.86		8.94		20.63		22.56	21.27		13.3		13.59
	1:00	7.71		9		19.95		21.8	20.45		12.32		13.17
	2:00	7.02		6.94		19.23		21.29	19.71		11.82		12.77
	3:00	6.64		6		18.29		20.94	19.22		11.55		12.52
	4:00	6.36		5.5		18.48		20.59	18.84		11.33		12.6
	5:00	6.09		5.17		18.04		20.13	17.7		11.62		12.82

6:00	5.78		4.97		17.4		20.46	17.23		11.25		12.54
7:00	5.71		5.17		19.27		22.4	18.2		11.38		12.73
8:00	5.82		9.13		21.07		24.96	22.5		13.36		12.23
9:00	8.83		11.44		22.56		27.48	25.77		17.78		12.67
10:00	11.65		13.1		24.13		29.84	28.11		20.27		13.02
11:00	13.63		14.45		26.05		32.11	29.93		22.17		13.93
12:00	15.12		15.59		27.61		34.11	31.11		23.68		14.16
13:00	16.15		16.48		28.55		35.57	32.23		24.64		14.53
14:00	16.85		17.38		29		36.38	32.32		25.07		14.82
15:00	17.32		17.53		29.02		36.69	32.65		25.02		14.21
16:00	15.28		14.85		26.18		34.45	30.91		22.29		12.17
17:00	15.14		14.69		25.44		33.39	30.06		21.4		12.4
18:00	15		14.52		24.69		32.34	29.21		20.51		12.62
19:00	14.86		14.35		23.94		31.29	28.37		19.61		12.84
20:00	14.71		14.19		23.19		30.23	27.52		18.72		13.06
21:00	14.57		14.02		22.45		29.18	26.67		17.83		13.28
22:00	14.43		13.86		21.7		28.13	25.83		16.94		13.51
23:00	14.29		13.69		20.95		27.07	24.98		16.05		13.73

TABLA DE RADIACIÓN HORARIA EMPLEADA EN LAS SIMULACIONES

Día	Hora	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6:00	0	0	0	0	74	127	124	27	0	0	0	0
	7:00	0	0	0	124	275	307	317	176	190	115	25	0
	8:00	22	62	174	131	488	524	516	200	394	313	212	108
	9:00	126	283	308	496	680	713	702	659	592	500	379	281
	10:00	185	424	381	160	833	865	857	825	753	654	514	421
	11:00	352	253	312	766	933	970	960	905	871	732	595	503
	12:00	451	525	156	581	956	1013	1019	983	923	780	619	534
	13:00	305	612	194	775	667	993	1000	967	872	754	603	515
	14:00	186	284	107	495	765	914	923	886	797	666	443	426
	15:00	199	428	228	609	691	773	794	753	655	523	373	229
	16:00	43	186	272	436	526	601	628	580	475	319	194	73
	17:00	0	72	64	239	356	400	425	374	283	135	16	0
	18:00	0	0	0	70	147	197	224	170	85	0	0	0
19:00	0	0	0	0	0	28	50	15	0	0	0	0	
20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

	21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6:00	0	0	0	0	75	68	119	55	0	0	0	0
	7:00	0	0	17	170	268	117	308	239	180	102	18	0
	8:00	48	102	107	385	490	292	506	449	382	288	191	97
	9:00	93	289	245	589	681	465	695	639	574	499	353	264
	10:00	149	456	101	754	832	612	849	807	741	613	481	400
	11:00	221	577	313	880	935	621	958	921	857	731	558	479
	12:00	101	633	316	953	983	815	1006	973	909	765	605	512
	13:00	163	626	371	924	962	710	994	957	876	731	582	495
	14:00	214	560	213	833	883	475	923	881	790	643	496	412
	15:00	195	436	152	692	744	320	789	756	646	495	352	281
	16:00	57	271	62	502	563	314	624	590	469	322	182	118
	17:00	0	88	89	291	354	151	430	390	266	106	0	0
	18:00	0	0	0	82	145	107	229	187	70	0	0	0
	19:00	0	0	0	0	0	16	53	12	0	0	0	0
	20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6:00	0	0	0	0	84	80	117	66	0	0	0	0
	7:00	0	0	10	57	284	329	307	257	174	103	16	0
	8:00	57	104	93	135	493	534	505	470	376	312	186	93
	9:00	219	285	151	244	684	645	690	655	572	472	345	241
	10:00	371	451	248	766	838	769	844	818	739	630	474	395
	11:00	479	568	427	510	942	724	953	924	854	718	550	473
	12:00	464	629	629	462	985	836	1011	971	910	756	601	507
	13:00	307	620	503	615	964	695	994	961	872	730	574	493
	14:00	405	554	582	551	885	331	922	894	781	638	495	413
	15:00	45	435	445	702	750	540	789	766	642	492	350	268
	16:00	18	272	326	480	565	334	621	597	462	299	177	116
17:00	0	85	149	293	353	246	428	398	262	107	0	0	

	18:00	0	0	0	79	146	40	225	190	65	0	0	0
	19:00	0	0	0	0	0	3	53	11	0	0	0	0
	20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6:00	0	0	0	0	86	99	115	63	0	0	0	0
	7:00	0	0	17	178	287	122	305	249	174	97	14	0
	8:00	53	106	208	394	495	306	507	460	353	282	184	91
	9:00	220	289	406	594	690	325	689	646	563	468	343	255
	10:00	372	454	574	382	840	424	843	808	732	609	472	391
	11:00	478	574	594	714	944	678	952	908	856	706	546	468
	12:00	438	629	584	717	986	1014	1005	964	902	747	593	502
	13:00	500	623	441	730	965	991	983	949	868	717	567	486
	14:00	412	560	504	462	882	845	907	882	781	625	490	381
	15:00	298	436	446	220	752	720	781	759	634	489	344	278
	16:00	101	275	284	422	573	611	607	591	452	298	172	117
	17:00	0	93	77	230	361	415	404	391	253	103	0	0
	18:00	0	0	0	86	155	215	86	186	61	0	0	0
	19:00	0	0	0	0	0	38	22	0	0	0	0	0
20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7	0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6:00	0	0	0	0	91	136	103	61	0	0	0	0
	7:00	0	0	29	161	293	333	277	247	0	85	0	0
	8:00	41	104	112	310	501	534	257	458	371	228	83	50
	9:00	85	306	175	462	689	718	62	644	567	338	246	182
	10:00	91	459	331	366	838	741	87	806	729	618	303	291
	11:00	203	579	415	172	940	894	798	921	848	693	209	279
	12:00	160	638	331	418	988	977	961	968	903	734	422	406
	13:00	252	635	539	180	962	991	988	957	860	715	502	434
	14:00	192	569	659	156	884	919	267	885	777	627	380	293
15:00	156	448	563	167	750	788	751	761	632	479	344	185	

	16:00	105	284	390	295	566	616	610	585	449	294	151	117
	17:00	0	94	192	50	359	418	409	384	250	98	0	0
	18:00	0	0	0	50	155	216	233	175	63	0	0	0
	19:00	0	0	0	0	0	40	5	0	0	0	0	0
	20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6:00	0	0	0	0	94	92	89	58	0	0	0	0
	7:00	0	0	34	107	296	175	245	85	171	87	0	0
	8:00	49	113	227	288	473	429	446	322	374	271	118	65
	9:00	208	299	426	312	523	408	642	660	570	489	181	61
	10:00	371	468	598	221	753	765	809	800	730	587	506	171
	11:00	211	576	716	505	926	453	914	924	836	670	480	250
	12:00	259	645	743	221	984	249	972	966	885	729	280	340
	13:00	350	643	768	592	963	433	950	950	856	714	141	430
	14:00	222	573	697	327	876	540	872	873	777	547	162	363
	15:00	247	453	493	326	744	392	733	698	635	378	179	275
	16:00	151	286	358	277	562	132	566	564	460	263	107	112
	17:00	0	97	153	259	353	105	360	358	257	89	0	0
18:00	0	0	0	61	141	105	195	154	57	0	0	0	
19:00	0	0	0	0	0	32	46	0	0	0	0	0	
20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
9	0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6:00	0	0	0	0	33	136	115	40	0	0	0	0
	7:00	0	0	35	178	157	331	303	230	173	92	0	0
	8:00	49	93	202	407	443	534	505	439	376	284	104	79
	9:00	220	248	395	97	283	691	689	630	567	464	153	238
	10:00	376	333	558	110	175	857	840	802	723	610	358	387
	11:00	483	583	644	133	392	951	944	913	828	677	117	459
12:00	336	641	736	689	138	1015	993	964	867	716	272	497	

	13:00	310	646	740	722	87	949	982	953	842	701	78	471
	14:00	374	580	557	836	120	920	911	866	764	619	143	413
	15:00	330	454	388	692	515	794	788	732	630	473	215	267
	16:00	149	291	250	505	514	618	623	551	454	285	165	99
	17:00	0	95	135	299	370	419	431	351	253	93	0	0
	18:00	0	0	0	86	144	221	230	154	53	0	0	0
	19:00	0	0	0	0	0	40	54	0	0	0	0	0
	20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6:00	0	0	0	0	92	141	114	51	0	0	0	0
	7:00	0	0	42	195	275	332	303	222	170	87	0	0
	8:00	49	110	235	414	459	540	504	432	373	273	177	79
	9:00	220	289	433	613	313	116	688	624	562	453	345	237
	10:00	359	461	599	768	660	875	839	796	724	585	487	376
	11:00	467	580	724	818	760	977	944	911	825	669	566	473
	12:00	414	634	762	886	773	1020	998	968	864	711	0	481
	13:00	418	600	770	870	950	1008	986	951	848	696	568	480
	14:00	335	552	660	693	889	925	911	878	764	610	442	406
	15:00	208	429	548	540	751	795	792	741	629	467	350	277
	16:00	84	293	376	375	575	619	626	564	447	278	153	113
	17:00	0	84	183	301	368	424	431	358	243	87	0	0
	18:00	0	0	0	93	162	223	229	156	49	0	0	0
	19:00	0	0	0	0	0	44	52	0	0	0	0	0
	20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6:00	0	0	0	0	102	135	111	36	0	0	0	0
	7:00	0	0	46	203	296	330	303	106	167	84	0	0
	8:00	29	112	241	418	497	531	502	433	367	276	173	78
	9:00	164	210	441	622	690	721	686	626	559	449	339	238
	10:00	132	257	605	789	151	866	838	790	713	575	474	374

	11:00	107	444	729	913	490	972	943	909	817	607	558	452
	12:00	166	566	776	975	560	1015	992	955	860	600	597	493
	13:00	158	646	783	863	631	993	981	939	834	574	564	482
	14:00	245	587	707	777	344	921	911	857	755	598	477	403
	15:00	155	463	577	686	505	787	820	731	600	447	333	274
	16:00	115	300	388	449	434	614	616	555	318	273	160	124
	17:00	0	108	182	295	340	415	301	346	225	80	0	0
	18:00	0	0	14	90	131	215	187	141	42	0	0	0
	19:00	0	0	0	0	0	40	52	0	0	0	0	0
	20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6:00	0	0	0	0	81	129	111	46	0	0	0	0
	7:00	0	0	50	206	301	321	301	106	164	30	0	0
	8:00	42	124	247	424	411	525	503	361	366	92	168	78
	9:00	147	306	444	621	431	713	685	631	553	119	333	235
	10:00	291	475	607	795	608	857	837	788	706	241	441	366
	11:00	494	589	726	918	727	966	942	907	827	274	539	456
	12:00	547	647	772	0	646	1010	991	959	866	209	589	486
13:00	544	642	784	947	585	988	975	942	839	178	553	418	
14:00	468	406	712	850	766	907	910	869	755	292	468	288	
15:00	344	400	585	713	751	775	783	740	612	155	326	185	
16:00	178	221	408	523	573	605	622	568	446	80	156	116	
17:00	0	97	209	312	370	409	430	362	234	34	0	0	
18:00	0	0	20	103	163	211	230	158	35	0	0	0	
19:00	0	0	0	0	0	42	53	0	0	0	0	0	
20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13	0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6:00	0	0	0	9	77	143	112	50	0	0	0	0
	7:00	0	0	55	207	276	306	304	234	157	84	0	0

	6:00	0	0	0	10	109	133	108	33	0	0	0	0
	7:00	0	0	61	189	308	324	299	216	161	77	0	0
	8:00	49	122	261	414	511	524	498	377	366	271	161	70
	9:00	173	317	459	563	701	705	681	530	556	445	333	230
	10:00	345	495	572	787	842	865	833	752	712	596	477	362
	11:00	386	610	706	902	947	956	934	862	812	679	571	446
	12:00	544	669	489	971	994	773	989	932	854	706	607	483
	13:00	227	674	523	943	973	782	978	930	831	0	573	471
	14:00	413	608	381	855	891	869	908	861	749	0	474	379
	15:00	336	489	574	710	760	744	785	735	617	0	321	244
	16:00	137	295	212	525	581	528	623	567	425	0	151	57
	17:00	22	112	147	313	377	75	430	364	217	0	0	0
	18:00	0	0	11	109	172	92	230	156	29	0	0	0
	19:00	0	0	0	0	0	25	51	0	0	0	0	0
	20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
16	0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6:00	0	0	0	17	113	104	104	41	0	0	0	0
	7:00	0	0	68	223	312	293	296	229	158	0	0	0
	8:00	54	94	264	439	515	0	491	439	365	0	150	21
	9:00	224	195	464	637	706	689	676	633	553	0	320	32
	10:00	376	354	629	801	848	0	828	789	709	0	465	33
	11:00	478	372	752	922	953	955	928	899	804	0	543	295
	12:00	533	654	726	981	995	999	977	940	850	0	563	45
	13:00	531	476	807	963	963	703	972	933	827	0	534	369
	14:00	465	564	730	869	897	904	903	858	744	0	446	329
	15:00	345	460	601	718	728	782	780	724	605	0	316	166
16:00	193	318	421	533	558	602	619	552	424	0	145	66	
17:00	24	128	220	319	397	418	426	344	218	0	0	0	
18:00	0	0	29	112	176	218	228	139	26	0	0	0	
19:00	0	0	0	0	0	37	50	0	0	0	0	0	
20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
17	0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

	1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6:00	0	0	0	22	116	112	98	29	0	0	0	0
	7:00	0	0	81	230	130	308	287	143	0	60	0	0
	8:00	48	144	282	404	379	511	481	430	273	250	0	66
	9:00	165	252	481	636	699	703	668	620	503	377	150	218
	10:00	334	299	649	589	847	845	824	770	676	541	365	356
	11:00	491	405	767	490	951	939	925	883	694	638	548	481
	12:00	405	591	830	505	998	1004	975	933	770	678	588	505
	13:00	326	596	826	821	972	984	965	910	420	617	552	462
	14:00	86	565	747	758	891	905	896	781	289	538	448	209
	15:00	165	406	613	634	757	776	774	703	369	313	309	288
	16:00	191	312	429	548	579	617	610	532	166	192	136	122
	17:00	10	123	227	313	366	420	418	328	72	44	0	0
	18:00	0	0	36	118	186	225	220	131	5	0	0	0
	19:00	0	0	0	0	0	49	45	0	0	0	0	0
	20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6:00	0	0	0	15	126	126	97	16	0	0	0	0
	7:00	0	0	56	137	173	314	285	172	135	38	0	0
	8:00	48	156	235	260	468	516	482	420	204	216	100	59
	9:00	208	342	430	314	688	702	666	615	535	266	143	161
	10:00	156	516	647	665	839	854	814	776	688	435	309	361
	11:00	413	641	773	488	900	949	924	886	785	587	54	329
	12:00	362	700	844	921	982	1004	968	931	820	651	125	429
	13:00	566	694	830	923	973	979	958	918	804	524	93	499
	14:00	469	586	751	604	892	905	895	842	720	491	39	387
	15:00	203	433	620	689	759	781	773	707	593	408	201	278
	16:00	199	309	438	229	578	611	612	531	392	230	132	95
17:00	27	138	234	98	376	419	420	324	194	54	0	0	
18:00	0	0	39	34	179	222	220	120	0	0	0	0	
19:00	0	0	0	0	16	48	44	0	0	0	0	0	
20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

	22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6:00	0	0	0	19	53	130	96	28	0	0	0	0
	7:00	0	0	90	69	293	319	288	198	141	53	0	0
	8:00	68	160	292	331	475	518	483	407	339	188	121	24
	9:00	222	349	492	613	659	702	669	599	529	345	307	95
	10:00	299	524	660	787	784	844	821	762	703	450	449	92
	11:00	356	632	782	883	849	944	923	879	777	470	545	127
	12:00	241	689	844	815	951	993	973	928	816	554	577	68
	13:00	94	707	839	834	846	979	968	915	804	447	482	66
	14:00	65	642	755	692	864	906	899	834	719	189	212	136
	15:00	133	507	621	415	769	777	776	696	575	194	300	112
	16:00	171	339	439	431	566	605	614	519	392	182	113	58
	17:00	12	143	235	316	385	422	425	315	189	25	0	0
	18:00	0	0	40	66	173	227	223	118	0	0	0	0
	19:00	0	0	0	0	5	51	45	0	0	0	0	0
	20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
22	0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6:00	0	0	0	32	130	104	93	28	0	0	0	0
	7:00	0	0	92	198	316	246	286	207	0	37	0	0
	8:00	47	169	296	175	519	498	481	411	349	63	117	35
	9:00	156	360	497	618	702	610	671	597	405	62	301	225
	10:00	254	529	665	813	850	825	820	764	600	300	374	314
	11:00	501	658	787	931	959	990	927	872	545	70	485	136
	12:00	476	709	858	957	1001	929	972	921	567	129	549	522
	13:00	457	715	839	953	975	957	967	907	786	107	451	460
	14:00	419	651	759	864	895	891	898	827	676	49	293	221
15:00	377	520	628	721	757	663	775	701	563	39	180	288	
16:00	216	349	440	529	618	599	613	530	370	39	85	132	
17:00	39	151	241	270	173	418	421	331	180	43	0	0	
18:00	0	0	43	104	64	223	221	128	0	0	0	0	
19:00	0	0	0	0	9	50	43	0	0	0	0	0	

	20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6:00	0	0	0	17	126	129	92	28	0	0	0	0
	7:00	0	0	99	259	319	321	282	211	137	20	0	0
	8:00	60	163	300	438	514	516	482	420	337	73	56	60
	9:00	245	357	500	660	676	700	665	601	525	155	174	230
	10:00	391	525	666	820	617	843	814	757	673	65	61	169
	11:00	504	553	766	423	830	938	920	855	769	209	55	122
	12:00	569	702	839	890	822	988	981	903	812	182	49	342
	13:00	560	671	816	598	450	968	966	889	790	79	85	126
	14:00	495	652	692	565	632	901	897	828	709	94	128	83
	15:00	358	505	335	731	746	778	774	701	561	47	56	57
	16:00	196	323	164	419	528	617	608	531	377	34	39	54
	17:00	38	139	186	298	346	426	418	328	172	10	0	0
	18:00	0	0	16	90	109	230	217	122	0	0	0	0
	19:00	0	0	0	0	8	53	40	0	0	0	0	0
20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
24	0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6:00	0	0	0	24	122	128	78	26	0	0	0	0
	7:00	0	0	27	171	317	318	256	205	134	27	0	0
	8:00	70	183	58	281	441	516	369	418	335	21	27	41
	9:00	248	374	190	359	453	699	567	612	516	231	171	140
	10:00	296	549	137	244	702	842	526	763	666	166	200	279
	11:00	505	669	242	329	715	937	819	862	761	665	145	474
	12:00	569	721	428	627	763	982	937	906	803	449	113	491
	13:00	549	726	705	494	721	968	855	896	789	351	64	417
	14:00	522	665	405	195	804	901	489	829	696	452	130	231
	15:00	295	536	330	632	681	778	584	701	556	180	122	230
16:00	177	361	156	245	549	617	178	530	372	160	132	130	

	17:00	40	163	68	133	401	426	353	326	168	22	0	0
	18:00	0	0	33	124	189	232	171	120	0	0	0	0
	19:00	0	0	0	0	23	43	33	0	0	0	0	0
	20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6:00	0	0	0	44	85	129	84	25	0	0	0	0
	7:00	0	0	110	134	179	321	272	208	131	48	0	0
	8:00	73	189	309	187	316	520	473	418	250	235	60	58
	9:00	212	384	370	372	558	699	659	603	543	413	120	88
	10:00	400	558	402	421	782	837	812	757	651	423	376	105
	11:00	455	675	166	700	669	916	918	860	752	627	303	56
	12:00	464	726	393	881	590	804	969	898	790	435	453	45
	13:00	427	732	630	832	833	867	959	898	767	432	175	83
	14:00	391	670	473	867	741	857	885	826	582	454	186	62
	15:00	286	544	425	728	686	774	763	697	429	205	196	67
	16:00	195	372	442	548	508	614	599	529	352	95	65	33
	17:00	49	172	242	317	392	427	405	323	140	12	0	0
	18:00	0	0	52	103	191	234	205	118	0	0	0	0
	19:00	0	0	0	0	22	55	34	0	0	0	0	0
20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
26	0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6:00	0	0	0	63	130	127	79	23	0	0	0	0
	7:00	0	0	112	266	328	328	264	207	116	43	0	0
	8:00	70	194	323	485	538	463	469	416	281	214	77	60
	9:00	252	387	527	682	726	686	653	604	479	414	173	60
	10:00	414	562	697	852	877	846	806	759	601	561	298	32
	11:00	520	682	820	967	978	926	912	857	748	655	173	58
	12:00	577	720	890	1028	1015	981	962	895	776	679	224	48
	13:00	573	734	870	993	994	968	952	890	754	630	212	321
14:00	488	681	783	897	914	897	884	823	678	549	183	37	

	15:00	390	547	656	758	788	779	753	693	533	230	92	147
	16:00	228	375	476	566	604	618	590	516	359	182	62	128
	17:00	37	176	171	354	398	415	390	312	117	29	0	0
	18:00	0	0	10	136	195	212	196	109	0	0	0	0
	19:00	0	0	0	0	24	57	32	0	0	0	0	0
	20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6:00	0	0	0	65	130	129	7	20	0	0	0	0
	7:00	0	0	11	265	324	324	147	198	124	33	0	0
	8:00	68	197	56	481	530	513	298	404	324	115	27	38
	9:00	254	387	264	670	719	693	477	592	506	378	42	184
	10:00	417	564	285	842	863	840	795	715	655	384	69	251
	11:00	527	681	820	959	968	936	905	700	744	649	45	471
	12:00	585	722	895	1011	999	981	961	882	785	680	48	497
	13:00	587	760	869	985	985	968	951	877	771	622	45	385
	14:00	518	671	799	890	905	907	877	801	688	527	54	365
	15:00	396	492	580	752	772	783	752	615	536	341	90	291
	16:00	221	281	177	559	595	618	582	487	355	207	60	131
	17:00	54	180	240	350	398	430	386	304	150	27	0	0
	18:00	0	0	57	136	196	234	188	104	0	0	0	0
	19:00	0	0	0	0	25	56	30	0	0	0	0	0
20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
28	0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6:00	0	0	0	71	131	134	61	20	0	0	0	0
	7:00	0	0	81	266	327	209	228	200	123	31	0	0
	8:00	38	203	56	457	522	459	417	407	319	204	113	40
	9:00	130	397	167	661	716	421	639	596	502	374	276	95
	10:00	223	573	730	839	859	429	798	750	651	532	417	182
	11:00	339	694	816	945	963	925	909	843	732	635	497	241

	12:00	272	736	301	1017	1005	981	960	885	639	665	541	163
	13:00	286	753	129	985	985	968	950	879	550	617	433	135
	14:00	385	687	175	900	901	902	881	807	343	514	362	174
	15:00	237	557	407	741	769	779	759	682	476	371	284	84
	16:00	122	377	338	539	587	619	597	513	344	208	124	21
	17:00	37	171	257	345	385	428	395	301	144	28	0	0
	18:00	0	0	52	139	186	227	188	103	0	0	0	0
	19:00	0	0	0	0	23	56	29	0	0	0	0	0
	20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
29	0:00	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1:00	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2:00	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3:00	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4:00	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5:00	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6:00	0		0	62	130	86	76	17	0	0	0	0
	7:00	0		135	192	323	269	261	194	121	35	0	0
	8:00	70		344	468	523	344	458	406	316	212	37	32
	9:00	251		403	675	712	443	641	588	496	374	54	89
	10:00	418		720	841	860	807	797	743	636	516	52	151
	11:00	529		544	953	959	863	903	835	663	610	71	239
	12:00	587		275	1008	1006	959	953	882	695	636	62	273
	13:00	589		844	972	981	968	944	876	752	595	98	266
	14:00	510		432	883	907	902	880	803	670	506	169	106
	15:00	383		280	747	775	784	757	681	525	367	110	79
	16:00	221		154	565	595	575	592	509	344	191	51	45
	17:00	46		112	351	393	431	396	303	145	24	0	0
	18:00	0		22	136	195	235	192	99	0	0	0	0
19:00	0		0	0	29	57	28	0	0	0	0	0	
20:00	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
21:00	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
22:00	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
23:00	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
30	0:00	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1:00	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2:00	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3:00	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4:00	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5:00	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6:00	0		0	72	134	127	76	17	0	0	0	0
	7:00	0		140	268	277	315	265	196	116	31	0	0
	8:00	77		350	479	405	515	461	402	309	205	90	56
	9:00	260		555	667	709	698	650	592	490	370	216	142

	10:00	419		721	835	856	843	800	741	633	508	242	176
	11:00	530		843	940	959	934	902	833	716	592	306	477
	12:00	591		913	995	1006	986	952	947	758	624	327	505
	13:00	594		895	964	987	967	942	921	743	587	312	364
	14:00	543		781	880	903	892	878	843	639	501	0	144
	15:00	405		553	740	763	779	760	568	458	360	148	199
	16:00	245		440	555	472	619	600	512	295	186	87	143
	17:00	67		227	348	330	429	405	281	133	19	0	0
	18:00	0		57	139	192	235	204	89	0	0	0	0
	19:00	0		0	0	28	55	28	0	0	0	0	0
	20:00	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	21:00	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	22:00	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	23:00	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	0:00	0		0		0		0	0		0		0
	1:00	0		0		0		0	0		0		0
	2:00	0		0		0		0	0		0		0
	3:00	0		0		0		0	0		0		0
	4:00	0		0		0		0	0		0		0
	5:00	0		0		0		0	0		0		0
	6:00	0		0		103		71	14		0		0
	7:00	0		145		254		241	185		29		0
	8:00	78		357		487		434	395		202		47
	9:00	265		557		709		645	586		365		79
	10:00	425		726		861		798	755		504		32
	11:00	531		848		965		905	858		591		470
	12:00	582		917		1007		956	891		626		514
	13:00	596		866		987		941	812		599		511
	14:00	522		715		909		877	656		491		248
	15:00	414		474		777		754	495		356		271
	16:00	254		472		601		588	430		179		134
	17:00	72		261		398		389	259		18		0
	18:00	0		45		199		190	84		0		0
19:00	0		0		28		25	0		0		0	
20:00	0		0		0		0	0		0		0	
21:00	0		0		0		0	0		0		0	
22:00	0		0		0		0	0		0		0	
23:00	0		0		0		0	0		0		0	

CARACTERÍSTICAS INVERSOR SUNGROW SG110CX

SG110CX New

SUNGROW
Clean power for all

Multi-MPPT String Inverter for 1000 Vdc System



HIGH YIELD

- 9 MPPTs with max. efficiency 98.7%
- Compatible with bifacial module
- Built-in PID recovery function

SMART O&M

- Touch free commissioning and remote firmware upgrade
- Online IV curve scan and diagnosis*
- Fuse free design with smart string current monitoring

LOW COST

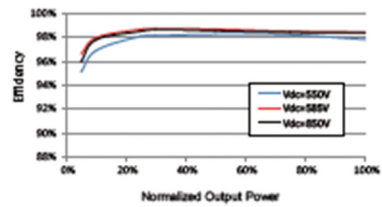
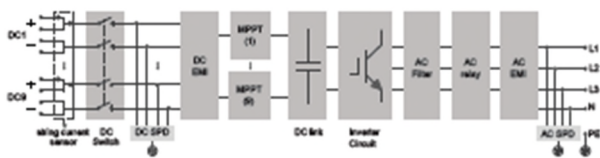
- Compatible with Al and Cu AC cables
- DC 2 in 1 connection enabled
- Q at night function

PROVEN SAFETY

- IP66 and C5 protection
- Type II SPD for both DC and AC
- Compliant with global safety and grid code

CIRCUIT DIAGRAM

EFFICIENCY CURVE



SG110CX

Type designation	SG110CX
Input (DC)	
Max. PV input voltage	1100 V
Min. PV input voltage / Startup input voltage	200 V / 250 V
Nominal PV input voltage	585 V
MPP voltage range	200 – 1000 V
MPP voltage range for nominal power	550V – 850 V
No. of independent MPP inputs	9
Max. number of PV strings per MPPT	2
Max. PV input current	26 A * 9
Max. DC short-circuit current	40 A * 9
Output (AC)	
AC output power	110 kVA @ 45 °C / 100 kVA @ 50 °C
Max. AC output current	158.8 A
Nominal AC voltage	3 / N / PE, 400 V
AC voltage range	320 – 460 V
Nominal grid frequency / Grid frequency range	50 Hz / 45 – 55 Hz, 60 Hz / 55 – 65 Hz
THD	< 3 % (at nominal power)
DC current injection	< 0.5 % I _n
Power factor at nominal power / Adjustable power factor	> 0.99 / 0.8 leading – 0.8 lagging
Feed-in phases / connection phases	3 / 3
Efficiency	
Max. efficiency	98.7 %
Euro. efficiency	98.5 %
Protection	
DC reverse connection protection	Yes
AC short circuit protection	Yes
Leakage current protection	Yes
Grid monitoring	Yes
Ground fault monitoring	Yes
DC switch	Yes (not available for Australia)
AC switch	No
PV String current monitoring	Yes
PID recovery function	Yes
Overvoltage protection	DC Type II / AC Type II
General Data	
Dimensions (W*H*D)	1051*660*362.5 mm
Weight	89 kg
Isolation method	Transformerless
Ingress protection rating	IP66
Night power consumption	< 2W
Operating ambient temperature range	-30 to 60 °C (> 50 °C derating)
Allowable relative humidity range (non-condensing)	0 – 100 %
Cooling method	Smart forced air cooling
Max. operating altitude	4000 m (> 3000 m derating)
Display	LED, Bluetooth+APP
Communication	RS485 / Optional: Wi-Fi, Ethernet
DC connection type	MC4 (Max. 6 mm ²)
AC connection type	OT / DT terminal (Max. 240 mm ²)
Compliance	IEC 62109, IEC 61727, IEC 62116, IEC 60068, IEC 61683, VDE-AR-N 4110:2018, VDE-AR-N 4120:2018, IEC 61000-6-3, EN 50549, AS/NZS 4777.2:2015, CEI 0-21, VDE 0126-1-1/A1 VFR 2014, UTE C15-712-1:2013, DEWA
Grid Support	Q at night function, LVRT, HVRT, active & reactive power control and power ramp rate control

* Only compatible with Sungrow logger and iSolarCloud

CARACTERÍSTICAS PANEL FOTOVOLTAICO EX400M-144

EX-380-400 M(B)-144 (HC) (156)



Exiom Solution diseña, fabrica y distribuye la más alta calidad en Energía Solar. La alta eficiencia de nuestras células solares nos permite producir diferentes tipos de paneles para a su vez dar la mayor eficiencia posible a sus instalaciones.

Exiom Solution designs, manufactures and delivers high-performance solar electric technology worldwide. Our high-efficiency solar cell let us manufacture the different kinds of panels to get the most efficient in your installations.

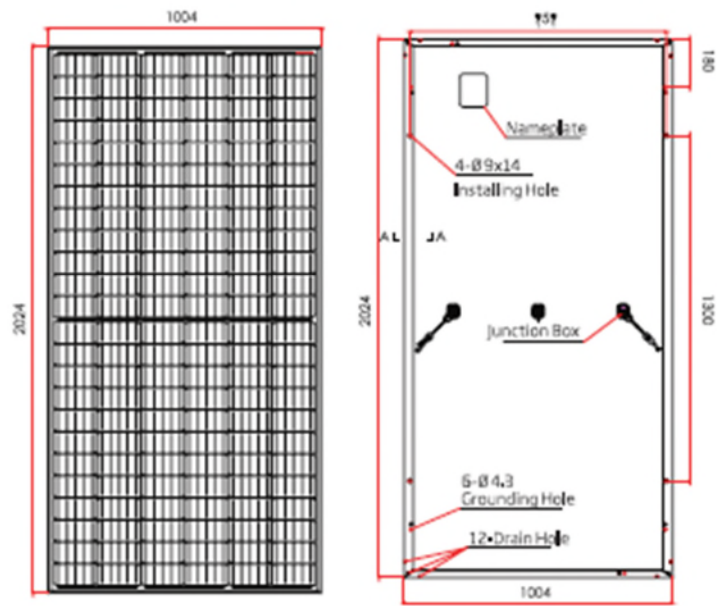
DATOS MECÁNICOS MECHANICAL DATA	CONDICIONES DE TRABAJO WORKING CONDITIONS
① Dimensiones Dimensions: 2024*1004	① Max. voltaje sistema Max. system voltage: 1.000 V or 1500 V
② Peso Weight: 22.8 kg	② Fusible en serie Series fuse rating: 20 A
③ Cable Cable: 4.0mm ² , P: N 140/P 285, L: N 1400 /P 1400	③ Carga mecánica Mechanical load ≥ 5.400 Pa /2400 Pa
④ Cristal Glass: High transmission glass 3.2 mm	④ Temp. funcionamiento Operating temperature: -40+85
⑤ Caja de conexiones Junction box: IP 68 rated	⑤ Aplicación clase Application class: A

GARANTÍA DE RENDIMIENTO LINEAL LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

Garantía de rendimiento lineal
 Lineal performance warranty
 Garantía de rendimiento estándar
 Standard performance warranty



EX-380-400 M(B)-144 (HC) (156)



TIPO TYPE	EX380M-144	EX385M-144	EX390M-144	EX395M-144	EX400M-144
STC 1000 W/M2. Module Temperature 25°C A.M.1,5					
Potencia de salida Power output	380	385	390	395	400
Max. potencia tolerada Max. power tolerance (%)	0-+5%				
Eficiencia módulo Module efficiency (%)	18.7	18.9	19.2	19.4	19.7
Voltage Máximo voltage, VMP (V)	39.6	40.1	40.5	40.8	41.1
Intensidad máxima potencia Current, IMP (A)	9.59	9.61	9.64	9.69	9.74
Tensión circ. abierto Voltage open circuit, VOC (V)	48.1	48.5	49.7	50.1	50.4
Corriente de cortocircuito Short circuit current, ISC (A)	9.99	10.03	10.08	10.13	10.18
NOCT 800W/M2 Environment. Temperature 20°C A.M. 1,5					
Potencia de salida Power output	287	291	295	298	302
Voltage Máximo voltage, VMP (V)	37.4	37.9	38.4	38.7	38.9
Intensidad máxima potencia Current, IMP (A)	7.66	7.67	7.68	7.71	7.76
Tensión circ. abierto Voltage open circuit, VOC (V)	44.4	45.6	46.8	47.2	47.4
Corriente de cortocircuito Short circuit current, ISC (A)	8.05	8.09	8.13	8.17	8.21
COEFICIENTES DE TEMPERATURA TEMPERATURE COEFFICIENTS					
Coefficiente de temp. Temp. Coefficient (P _{MAX})	-0.37%/°C				
Coefficiente de temp. Temp. Coefficient (ISC)	0.050%/°C				
Coefficiente de temp. Temp. Coefficient (VOC)	-0.29%/°C				
NOCT	41±3°C				

I-V CURVAS CURVES

Temperatura celdas | Cells temperature: 25°C. Current-Voltage & power Voltage Curve (390)

