



Esquemas alternativos de conexión de generadores FV para contribuir en el aumento de la eficiencia bajo condiciones de sombreado parcial.

Modalidad: Seminario

Miguel Ángel Hernández Uparela.
CC 1.005.180.928
Oscar Mauricio Saucedo Lince
CC 1.096.228.183

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
Facultad de Ciencias e Ingeniería
Tecnología en operación y mantenimiento electromecánico
Barrancabermeja, 4 de Julio de 2021



Esquemas alternativos de conexión de generadores FV para contribuir en el aumento de la eficiencia bajo condiciones de sombreado parcial.

Modalidad:
Seminario Taller

Miguel Ángel Hernández Uparela.
CC 1.005.180.928
Oscar Mauricio Saucedo Lince
CC 1.096.228.183

**Trabajo de Grado para optar al título de
Tecnólogo en Operación y Mantenimiento Electromecánico**

DIRECTOR

Michael Arenas Florez

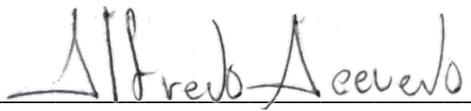
CODIRECTOR

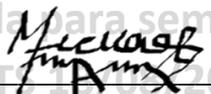
Lizeth Dayane Cortés Hernández

Grupo de Investigación en Energía – GIE

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
Facultad de Ciencias e Ingeniería
Tecnología en operación y mantenimiento electromecánico
Barrancabermeja, 4 de Julio de 2021**

Nota de Aceptación


Firma del Evaluador

Válida para seminario

Firma del Director

DEDICATORIA

Principalmente dedicamos este trabajo de investigación a Dios porque él es nuestra fuente de inspiración y nos empodera para seguir obteniendo uno de los deseos más anhelados en el proceso.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a todos nuestros docentes de las Unidades Tecnológicas de Santander, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra profesión, de manera especial.

TABLA DE CONTENIDO

<u>RESUMEN EJECUTIVO.....</u>	<u>10</u>
<u>INTRODUCCIÓN.....</u>	<u>11</u>
<u>1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN</u>	<u>13</u>
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	16
1.3. OBJETIVOS	18
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	18
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
1.4. ESTADO DEL ARTE.....	19
<u>2. MARCO REFERENCIAL</u>	<u>22</u>
2.1. MARCO CONCEPTUAL	22
<u>3. DISEÑO DE LA INVESTIGACION.....</u>	<u>31</u>
<u>4. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO</u>	<u>33</u>
<u>5. RESULTADOS</u>	<u>54</u>
<u>6. CONCLUSIONES</u>	<u>58</u>
<u>7. RECOMENDACIONES</u>	<u>59</u>
<u>8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	<u>60</u>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sombreados que afectan de diferente manera a una celda.....	25
Figura 2. Configuración en paralelo del arreglo fotovoltaico.	28
Figura 3. Configuración en serie del arreglo fotovoltaico	28
Figura 4. Configuración en serie-paralelo del arreglo fotovoltaico.....	29
Figura 5. Configuración BL del arreglo fotovoltaico	29
Figura 6. Configuración HC del arreglo fotovoltaico	30
Figura 7. Configuración TCT del arreglo fotovoltaico	30
Figura 8. Modelo de simulación del módulo FV en Matlab/Simulink	33
Figura 9. Diagrama esquemático de 36 módulos en diferentes configuraciones. .	34
Figura 10. Primer escenario de sombreado	35
Figura 11. Segundo escenario de sombreado.....	35
Figura 12. Tercer escenario de sombreado	36
Figura 13. Cuarto escenario de sombreado	36
Figura 14. Quinto escenario de sombreado	37
Figura 15. Sexto escenario de sombreado.....	37
Figura 16. Modelo de simulación de los módulos en MATLAB/Simulink.....	40
Figura 17. Arreglo en configuración TCT y en configuración propuesta.....	44
Figura 18. Configuración TCT y configuración propuesta	45
Figura 19. Patrón de sombreado de tipo corto y ancho.....	46
Figura 20. Patrón de sombreado de tipo largo y ancho.....	46
Figura 21. Patrón de sombreado de tipo corto y estrecho.....	47
Figura 22. Patrón de sombreado en las configuraciones de tipo largo y estrecho	47
Figura 23. Varias configuraciones basadas en rompecabezas	49
Figura 24. Situación de sombreado de tipo corto y estrecho	50
Figura 25. Situación de sombreado de tipo largo y estrecho	50
Figura 26. Situación de sombreado corto y ancho	51

F-DC-125

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE PROYECTO
DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO, MONOGRAFÍA,
EMPREDIMIENTO Y SEMINARIO

VERSIÓN: 1.0

Figura 27. Situación de sombreado largo y ancho 51

Figura 28. Efecto de varios sombreados sobre: PD, FF, WL y ER..... 52

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Potencia máxima de salida de las configuraciones en todos los escenarios de sombreado	38
Tabla 2. Demostración de la condición de sombreado Condición de sombreado corto y estrecho.....	41
Tabla 3. Demostración de la condición de sombreado corto y ancho	41
Tabla 4. Demostración de la condición de sombreado largo y estrecho	42
Tabla 5. Demostración de la condición de sombreado largo y ancho	42
Tabla 6. Demostración de la condición de sombreado diagonal	43
Tabla 7. Comparación de la potencia generada en TCT y configuración propuesta para diferentes condiciones de sombreado.....	48
Tabla 8. Rendimiento de varias configuraciones de rompecabezas bajo diferentes tipos de sombreado	52

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo busca mediante fuentes bibliográficas y su respectiva descripción presentar alternativas de solución a la problemática de pérdidas de potencia por condiciones de sombreado parcial en los generadores fotovoltaicos y así obtener una mejor eficiencia en ellos. Dando como resultado que la configuración TCT es la que tiene mejor desempeño sobre las demás conexiones alternativas. Se han investigado distintas reconfiguraciones sobre la conexión TCT, las cuales ayudan a mitigar de mejor manera las pérdidas de energía en los módulos fotovoltaicos.

PALABRAS CLAVE. Energía solar, módulos fotovoltaicos, sombreado parcial, punto máximo de potencia, configuraciones.

INTRODUCCIÓN

Las energías renovables siguen creciendo significativamente en los últimos años, impulsadas por la necesidad de satisfacer el crecimiento en la demanda de energía eléctrica y la presión social de proteger al medio ambiente.

Entre los tipos de energía renovable, una de las energías alternativas más viables es la energía solar porque permite un desarrollo sostenible. Así mismo se ha utilizado como una opción para combatir el cambio climático. La energía que proviene del sol da lugar a dos usos estandarizados, los cuales son la energía fotovoltaica y la energía térmica. La energía fotovoltaica emplea las propiedades físicas de algunos materiales semiconductores y utiliza la radiación solar para generar electricidad por medio de los fotones provenientes de la luz solar a través de células fotovoltaicas en cambio la energía térmica usa directamente la energía que es recibida del sol para elevar la temperatura de un fluido.

Dado que los paneles fotovoltaicos son mecanismos de producción de energía, son propensos a posibles factores externos, que pueden provocar fallas y deterioro de sus celdas. Uno de los factores que provocan el fallo del panel es la sombra que impide que la radiación llegue directamente al panel, por lo que la sombra en los paneles solares fotovoltaicos es uno de los aspectos más fundamentales a considerar en la instalación fotovoltaica. (Zamora, 2016)

En el funcionamiento de los paneles solares, las sombras provocan un efecto negativo sobre el mismo. Cuando un panel fotovoltaico (FV) está parcialmente sombreado, puede reducir la tensión sobre la celda sombreadas. Las sombras de las tuberías, conductos, árboles, edificios, o cualquier otro objeto que se interponga

entre el sol y el sistema fotovoltaico, reducen la producción de energía de los paneles fotovoltaicos. El panel que proporciona el valor mínimo de potencia se comportará como una carga eléctrica que consume electricidad de otros paneles. Esto provocará la reducción de la potencia total de salida.

Varios investigadores han estudiado las consecuencias y explorado los remedios del sombreado en los sistemas fotovoltaicos. Las conexiones alternativas para dispersar la sombra por igual sobre los paneles fotovoltaicos es una de las soluciones para evitar el impacto negativo de la condición de sombreado parcial. De la misma manera, la reconfiguración de los paneles fotovoltaicos se ha transformado en un tema de estudio que ha llamado la atención para los investigadores.

En este documento se recopila la información expuesta por diferentes autores, relacionada con arreglos fotovoltaicos bajo diferentes tipos de sombreados mediante un estudio comparativo entre esquemas básicos de conexión como lo son: serie (S), paralelo (P), y alternativos como: serie-paralelo (SP), total-cross-tied (TCT), nido de abeja (HC) puenteado (BL), y así demostrar cual es el más eficiente a partir de las distintas condiciones de sombreado parcial (PSC), siendo esto demostrado de manera teórica y también en algunas de forma simulada. Además, otros autores proponen esquemas de reconfiguración fotovoltaica sobre la conexión TCT para mejores resultados sobre el mismo.

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los paneles fotovoltaicos sirven para generar electricidad usando la luz solar. Por lo tanto, la producción de la intensidad energética que emanen depende en gran medida de la porción de luz solar que estos reciban, debido a esto al no presentarse una iluminación constante en toda su superficie se efectuarán defectos y fallas dando como resultado la aparición de sombras que son producidas por agentes externos cercanos a los paneles como tuberías, conductos, árboles, edificios o cualquier otro objeto que se interponga entre el sol y el sistema fotovoltaico (BJG Montano, 2015). Así pues, es válido agregar que existen dos clases de sombras: las sombras totales o parciales.

Cuando se producen las sombras en los paneles fotovoltaicos esta estructura presenta ciertas limitaciones dado que son muy sensibles a la obstrucción de la luz solar; estas sombras tienen un impacto significativo en la capacidad de abastecer la energía y por consiguiente, generan una menor producción de energía lo cual prolonga pérdidas en la potencia de los módulos fotovoltaicos (MFV) ya que como (Itako, 2015), infiere "la celda al encontrarse total o parcialmente sombreada se polariza inversamente y disipa la energía en forma de calor; Si se mantiene la sombra durante mucho tiempo, la temperatura del módulo aumenta, lo que hace que la capa del panel de protección se deforme y el panel se agriete. ", dicho en otras palabras, si el sombreado continúa durante un largo período de tiempo, la temperatura de la celda aumentará formando un punto caliente y puede provocar una deformación en la resina de la superficie con el riesgo de que la celda se rompa o se quemé en algunos casos.

Por cierto, cuando se sombrea una sola celda solar, prácticamente se sombrea toda la serie, debido a esto la corriente de cada una de ellas está determinada por la unidad que produce la corriente más pequeña. (Tracesoftware, 2020)

Otro problema asociado con el sombreado parcial son los picos múltiples en las características de potencia-voltaje (P-V) (Nalin K. Gautam, 2002). Los puntos calientes y los picos múltiples en las características P-V conducen al caos en el seguimiento del punto máximo de potencia (MPP).

Uno de los aspectos a considerar en el funcionamiento idóneo de un sistema fotovoltaico es que existen diferentes configuraciones de conjuntos fotovoltaicos para extraer más potencia y mejorar la capacidad con la celda solar en condición de sombreado parcial (PSC). Las configuraciones en serie y en paralelo se consideran configuraciones simples y básicas. Por lo cual, es importante destacar que las conexiones alternativas de los módulos fotovoltaicos (MFV) los cuales podrían mejorar la eficiencia del generador fotovoltaico (GFV) y permitir distribuir el efecto de sombreado sobre el conjunto de celdas solares y así, reducir el sombreado de los módulos de la misma fila. Por consiguiente, estas configuraciones garantizan el aumento de la generación de energía del conjunto fotovoltaico y, además, ayudan a los promotores de plantas fotovoltaicas a extraer más energía durante el sombreado parcial de un conjunto fotovoltaico.

También para solucionar estos problemas se emplea una nueva técnica llamada reconfiguración, la cual se basa en las conexiones alternativas reubicando los MFV de las mismas sobre la matriz fotovoltaicas. El objetivo de la reconfiguración es redistribuir el efecto de sombreado para lograr una corriente de fila uniforme y, por lo tanto, se puede utilizar MPP de paneles sombreados y no sombreados (T. S. Babu, 2018)

En las instalaciones de los módulos fotovoltaicos especialmente ubicados en los ambientes urbanos o áreas residenciales es frecuente la aparición de sombras. Esto da paso a la existencia de objetos que pueden proyectar las sombras hacia los paneles y reducir su eficiencia. En general, el espacio disponible para colocar los paneles es bastante limitado, especialmente si se instalan en zonas urbanas donde estos a menudo son ubicados en terrazas, techos o espacios públicos. Debido a la limitación del espacio, se hace que sea de mucho interés conocer el impacto que tiene la proyección de sombras sobre el esquema FV y así poder utilizar el área que está disponible para aprovechar la energía solar. Los esquemas alternativos pueden ser la solución a este tipo de problemáticas derivadas de las sombras sobre los paneles fotovoltaicos.

¿Es posible mejorar la eficiencia de un GFV que funciona bajo sombreados parciales considerando otras conexiones diferentes a la serie-paralelo?

1.2. JUSTIFICACIÓN

La cantidad de energía extraída del conjunto fotovoltaico puede verse perjudicada por factores externos al panel fotovoltaico como son la irradiación solar, la acumulación de polvo, la temperatura, la configuración del conjunto fotovoltaico, las variaciones climáticas, ángulo de inclinación y patrón de sombreado; este último es una de las principales razones que reduce el tiempo de vida de los paneles solares y posibilita a que no produzcan su máxima capacidad. (Cepeda, 2017)

A menudo, los conjuntos fotovoltaicos están total o parcialmente sombreados y se han reconocido como un problema importante que puede reducir la producción de energía de los conjuntos fotovoltaicos debido a la pérdida de potencia por desajuste entre los módulos fotovoltaicos ante la ausencia de radiación del sol en un área concentrada del panel FV y también, representa múltiples puntos de máxima potencia (MPP). (Suneel Raju Pendem, 2018)

Generalmente, el espacio disponible para colocar el panel es limitado, sobre todo si se instala en una zona urbana, el panel suele estar ubicado en el techo, terraza o espacio público. Esta limitación de espacio hace que sea especialmente interesante comprender el impacto de la proyección de sombras en el sistema y así poder optimizar el uso del área disponible mediante conexiones alternativas de los MFV para la eficiencia y configuración del GFV, y así se maximice su explotación fotovoltaica. (Silva, 2020)

En las instalaciones fotovoltaicas si no se tiene en cuenta los efectos del sombreado o las conexiones, es posible que no se logre suplir la carga que se espera, y esto puede conllevar problemas a futuro, como el deterioro de los paneles, disminución del ciclo de vida de los paneles, etc., esto debido a las condiciones no uniformes.

Teniendo en cuenta el párrafo anterior se puede afirmar que las sombras evitan el paso de la radiación solar directa sobre el panel, esto hace que automáticamente se active el funcionamiento de los diodos. En resumen, la producción disminuye drásticamente y puede estar entre un 40 y un 100% de la producción del panel, aunque la sombra sea solo parcial. Las celdas fotovoltaicas al verse obstaculizada su radiación solar, éstas pasan de generar electricidad a consumirla, ocasionando un posible sobrecalentamiento e incluso su deterioro (Zamora, 2016)

Para evitar este calentamiento, las células fotovoltaicas tienen diodos de derivación, que intentan puentear la corriente para evitar que esto suceda. La función del diodo es básicamente dirigir la corriente por un camino diferente para evitar que la celda sombreada se averíe (Zamora, 2016, pág. 2)

De acuerdo con la literatura revisada, también es posible mejorar, de forma significativa la eficiencia de los GFV cuando se utilizan esquemas de conexión alternativos en presencia de sombras, que permiten caminos distintos para la conducción de la corriente logrando un mejor aprovechamiento de la radiación.

Otro aspecto importante para reducir el de impacto sobre una celda sombreada en los GFVS es la reconfiguración de la matriz solar fotovoltaica. El cual es un método muy conocido que aumenta la producción de energía y la eficiencia de la generación de electricidad en condiciones de sombreado.

Por lo tanto, una célula fotovoltaica sombreada o que afecta negativamente al sistema de generación de energía fotovoltaica son un problema crucial y un tema de investigación emergente que se abordará en este ejercicio académico, plasmando en el desarrollo de este documento los esquemas de interconexión existentes distintas a las serie, paralelo o la serie-paralelo , lo cual es conveniente debido a que por ser una tecnología atractiva entre opciones de conversión de la

irradiación solar puede abrir nuevos proyectos de investigación en las Unidades Tecnológicas de Santander (UTS), en consecuencia, enfatiza la importancia de la investigación en el desarrollo de energías renovables o limpias como lo es la energía fotovoltaica derivada de la radiación solar. De esta manera se incita la innovación y el ingenio de los estudiantes de las UTS.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Recopilar un conjunto de soluciones alternas de conexiones de GFV con el fin de mejorar la eficiencia cuando se presentan sombreados parciales.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar un conjunto de al menos 5 publicaciones que indiquen avances significativos asociados al tema de esquemas alternativos de conexión de GFV.
- Describir los aportes de las publicaciones seleccionadas en relación a los distintos sistemas alternativos de conexión de módulos fotovoltaicos, en aras de propender al mejoramiento de la eficiencia bajo condiciones de sombreado parcial.
- Proponer distintos esquemas alternativos de conexiones que puedan mejorar la eficiencia del GFV, bajo ciertos tipos de sombreado.

1.4. ESTADO DEL ARTE

La literatura presenta una variedad de investigaciones que son necesarias abordar para una revisión de elementos en pro de caracterizar los distintos tipos de sombreados que afectan de manera diferente a una celda y así conocer las propuestas que otros autores plantearon para la conexión alternativa de módulos FV, ya que como lo expresa Olivera *“la corriente eléctrica generada es directamente proporcional al área expuesta a la luz solar.”* (Olivera, 2019)

En el artículo (Ishak, 2019) se investiga el rendimiento de diferentes conjuntos fotovoltaicos en varias condiciones de sombreado. Se probaron cuatro tipos de esquema de configuración de matriz fotovoltaica que son topologías de matriz Serie(S), Serie-Paralelo (SP), Total-Cross-Tied (TCT) y Bridge-Link (BL) aplicando un arreglo fotovoltaico 6x6 en 6 escenarios de sombreado diferentes. A partir del resultado, se observa que la configuración Total-Cross-Tied ha mostrado el mayor rendimiento en cada escenario de sombreado parcial y se puede considerar que, aunque su patrón es complejo, es beneficioso con la presencia de un escenario de sombreado extra complicado en el entorno real o el estado práctico.

En (Suneel Raju Pendem, 2018) se modela, simula y estudia los efectos de las PSC en las características eléctricas de las configuraciones de conjuntos fotovoltaicos en serie (S), en serie-paralelo (SP) y en Honey Comb (H-C) bajo varios patrones de sombreado, tales como corto y estrecho, corto y ancho, largo y ancho, y patrones de sombreado diagonal, utilizando un modelo de simulación de MATLAB/Simulinks. El análisis del rendimiento de las configuraciones de las matrices PV se realizó teniendo en cuenta la potencia máxima generada (PMP), la tensión en el punto máximo de potencia (VMPP), la corriente en el punto máximo de potencia (IMPP), la pérdida de potencia de desajuste (PL). A partir de los resultados en las diferentes configuraciones, se concluye que, en la mayoría de las condiciones de sombreado

parcial, la configuración H-C es la configuración de campo fotovoltaico más apropiada para la generación de potencia máxima en comparación con las configuraciones serie y serie-paralelo.

En (Nayak, 2014) se presenta un documento designado como “Mejora en la generación de energía de un campo fotovoltaico en condiciones de sombreado parcial” En este enfoque, sin cambiar la conexión eléctrica de los módulos, se reordenaron las ubicaciones físicas de los módulos en la estructura total Cross Tied (TCT). Los módulos se reordenaron de tal manera que el efecto de sombreado se distribuye por el conjunto, y así se redujeron los módulos de sombreado en la misma fila, por lo tanto, esta configuración aumentó la generación de energía del conjunto fotovoltaico. En este trabajo, se comparó la generación de energía del conjunto con la configuración TCT y la propuesta. En consonancia, se demostró que la generación de energía del conjunto con la configuración propuesta mejora bajo diferentes patrones de sombreado.

Tras el rastreo de información en las diferentes bases de datos se obtuvieron diversos estudios experimentales en los cuales se encontraron varios rangos de situaciones de sombreado, tales como corto estrecho, largo estrecho, corto ancho y largo ancho, en términos de generación de energía, energía disipada, relación de ejecución y factor de llenado de los arreglos fotovoltaicos, llevándose a cabo una investigación sobre las configuraciones basadas en rompecabezas Su Do Ku Puzzle (SDKP), cuadros latinos (LSP) y Ken-Kens Puzzle (KKSP) utilizando el efecto de dispersión de sombra. Publicado en la India por (Anurag Singh, 2018) . Además, cabe resaltar que se centró en la mejora de la potencia y en la reducción de las pérdidas de cableado de los paneles fotovoltaicos en condiciones de sombreado parcial.

El autor, (Palpandian M, 2021) desarrollo un estudio donde se muestra la minimización de la pérdida por desajuste utilizando una técnica de reconfiguración optimizada basada en un rompecabezas JigSaw (JS). La posición física de los módulos se reorganizó con base al patrón del rompecabezas sin alterar las conexiones eléctricas. La efectividad de los arreglos de la rompecabeza JigSaw es validado experimentalmente en las configuraciones de Total Cross Tied (TCT) e híbridas. Además, para los distintos patrones de sombreado, el rendimiento de la técnica de reconfiguración propuesta se comparó con los esquemas de técnicas de reconfiguración basados en rompecabezas existentes, como ken-ken, el rascacielos, el par-impar y los cuadros latinos.

2. MARCO REFERENCIAL

En el presente marco se brindará la base teórica esencial para comprensión del presente proyecto con base a las investigaciones expuestas.

2.1. MARCO CONCEPTUAL

Para la siguiente investigación se tomaron diversas definiciones importantes en las cuales se basa nuestro objetivo de estudio, de igual manera, dicho marco pretende facilitarle al lector un conocimiento sobre la investigación. Algunos de los conceptos que se encuentran en este apartado es para la comprensión o complementación del tema son; energía solar fotovoltaica, su principal componente que son los paneles FV y sus diferentes sistemas de conexión.

Cabe resaltar una de las fuentes principales de esta investigación, que surge como un problema en los sistemas FV, se trata de los efectos de sombreado y sus diferentes tipos. Por otro lado, y lo más importante donde se mencionan los esquemas alternativos de conexión de sistemas FV más comunes como una de las soluciones a estos problemas de sombreado en las celdas.

2.1.1. La Energía Solar Fotovoltaica

El sol es una fuente energética inagotable primordial para el planeta y que se propaga primordialmente a través de luz y calor, y es clave en considerables reacciones físicas y químicas que permite desarrollar vida para humanos, plantas, animales y todas las fuentes de vida existentes que conforman la tierra.

Este tipo de energía puede ser aprovechada transformándola según el Físico Joule “la energía no se crea ni se destruye sino que se transforma, y debido al caso puede llegar a ser transformada en energía eléctrica siendo muy provechosa, ya que es una fuente inagotable en este recurso”. Ramón & Morante, 2014, como se cita en (Díaz, 2019).

De la energía solar que llega a la atmósfera podría generarse energía eléctrica o térmica, de acuerdo a esto se puede realizar a través del aprovechamiento de la radiación solar. Esta radiación se capta mediante los MFV que son fabricados a partir de materiales semiconductores tales como el silicio que es el material que más se usa en la fabricación de los paneles, y que trabajan en el proceso de “absorber fotones y emitir electrones”. (Romero, 2015)

2.1.2. Paneles Fotovoltaicos

El panel fotovoltaico se encarga de la captar la radiación solar y transformarla en energía eléctrica o térmica, estos paneles comúnmente son de vidrio templado donde el espesor comienza a partir de 3 cm, y la medida específica depende de la potencia a suministrar, dependiendo del número de células fotovoltaicas interconectadas en el panel. Si la potencia no es lo realmente suficiente se puede hacer una conexión de dos o más paneles, ya sea en paralelo o serie de acuerdo a su aplicación y su funcionalidad. (Perpiñán, 2020)

2.1.3. Sistemas Fotovoltaicos (SFV).

Los sistemas fotovoltaicos son una diversidad de sistemas de energía solar que utilizan paneles compuestos por celdas de silicio y pueden ser de tipo policristalino o monocristalino, que se utilizan para convertir energía solar en electricidad. (GALLEGOS, 2017)

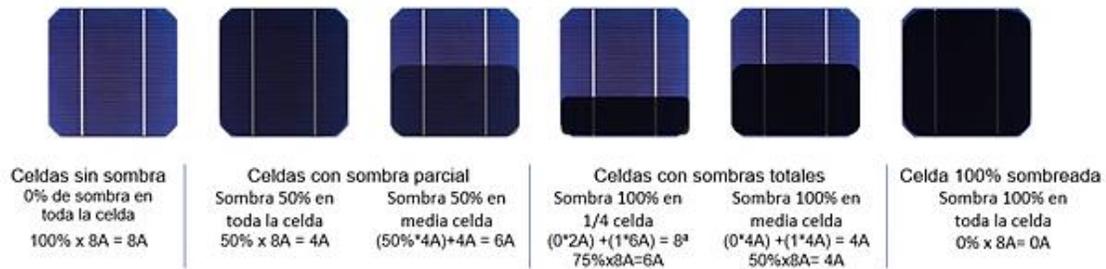
2.1.4. Efectos de sombreado en la celda fotovoltaica

Se entiende que los sistemas fotovoltaicos son modelos de producción de electricidad, generalmente compuestos por estructuras mecánicas que se componen por, inversores, reguladores, protecciones, cables, medios de almacenamiento de energía y primordialmente de un esquema de módulos fotovoltaicos.

La celda fotovoltaica es un dispositivo fundamental que produce electricidad mientras esta esté expuesta a la luz solar. Las más cotidianas en el mercado son producidas en silicio policristalino o monocristalino, y tienen la propiedad única de asociar la dimensión de la celda con los valores nominales de corriente y tensión. En el mercado, una celda fotovoltaica común con un área de 156 x 156 mm produce aproximadamente una tensión 0.5V y 8A de corriente en una irradiación máxima, comparada con otra celda de 156 x 78 mm produce 0.5V y 4 A.

Esta propiedad de las celdas fotovoltaicas de silicio es importante para comprender los efectos del sombreado en la celda. El tipo de sombreado más común es el sombreado parcial (objetos que solo bloquea parcialmente la luz solar o reduce la cantidad de irradiancia recibida por la celda) siguiendo con el sombreado total (que bloquea absolutamente la luz recibida de una celda solar), estos tipos de sombreados afectan a las celdas porque la corriente eléctrica que genera equivale al área expuesta a la irradiación solar. como se muestra en la Figura 1.

Figura 1. Sombreados que afectan de diferente manera a una celda



Fuente: Fernando Olivera, 2019

Efectos de las sombras en un módulo fotovoltaico:

El efecto de la sombra de los módulos fotovoltaicos depende exclusivamente de dos factores, el primero es de las características de la celda y el otro es de la manera en que están unidos los módulos.

La distribución eléctrica entre todas las celdas que componen el módulo fotovoltaico es una disposición en serie, lo que significa que la corriente forma un camino continuo mediante todas las celdas.

Una celda que está totalmente sombreada no genera electricidad y no permite que la corriente en las demás celdas pase a lo largo de ella, entonces se comporta como un circuito abierto y debido a esto todo el panel dejará de funcionar. Con el fin de enmendar este problema, se requiere utilizar diodos "bypass" o también llamados de derivación en el módulo fotovoltaico. Cuando cualquier celda o conjunto de celdas está sombreado, estos diodos permiten que la corriente pase a través de ellos.

Para comprender el comportamiento de las conexiones sombreadas, se estudian dos tipos de conexiones de módulos fotovoltaicos: conexiones en serie y conexiones en paralelo.

- **Sombreados en conexiones solares serie:** La conexión serie de módulos fotovoltaicos es equivalente a conectar todas las celdas que los componen en serie, por lo tanto, el mismo principio de las celdas sombreadas en un panel se aplica para este tipo de conexión. Si la celda está sombreada, empezaran a funcionar los diodos bypass permitiendo el flujo de toda la corriente.
- **Sombreados en conexiones solares paralelos:** Las sombras inciden de diferentes formas a este tipo de conexiones, pero hay 2 casos interesantes que pueden ayudar a entender cómo se comportan estos esquemas bajo condiciones de sombreado.
- **Sombras regulares y un solo punto de máxima potencia:** Si se produce un tipo de sombra regular que afecta en la misma condición a toda la conexión de módulos, entonces todo el esquema tendrá una potencia menor pero no habrá una afectación significativa al punto máximo de potencia de la conexión. El sistema funcionará sin tener demasiadas pérdidas diferente a las del sombreado.

2.1.5. Tipos de sombreado en los paneles solares

Existen diferentes tipos de sombras en los paneles fotovoltaicos, estas son creadas dependiendo de los objetos.

- **El Sombreado temporal:** Integra el sombreado que resulta de las nubes, del polvo, de las hojas caídas, etc.

- **El Sombreado resultante de edificios:** Las sombras producidas por los edificios son importantes porque implican sombras directas. Ejemplo de este son los conductores de iluminación, las chimeneas, las antenas parabólicas, las fachadas, la superestructura de techos, la estructura de edificios desplazados, etc.
- **El Sombreado desde la ubicación:** Proviene del entorno circundante del edificio. Puede haber cables que atraviesen edificios, arbustos o árboles, edificios vecinos y distantes, debido a esto puede hacer que el horizonte se oscurezca.
- **Auto sombreado:** Para sistemas montados en bastidor, el sombreado de los módulos se puede deber a la fila de los módulos. De acuerdo a estos casos, es conveniente optimizar la inclinación y el espaciamiento entre las filas de los módulos.
- **Sombreado directo:** Esto puede provocar muchas pérdidas de energía, debido a que la cercanía hacia los objetos que proyectan sombras no permiten que el panel solar FV capte la luz.

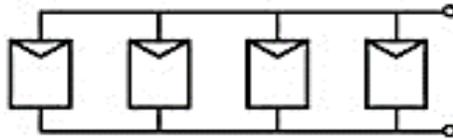
2.1.6. Tipos de configuraciones presentes en los arreglos fotovoltaicos (PV ARRAY CONFIGURATIONS).

- **Configuración en paralelo (P):**

En configuración en paralelo, todos los módulos fotovoltaicos están conectados en paralelo para que la corriente de salida será mayor. La principal ventaja de la

configuración en paralelo sobre la serie es que la máxima potencia de la configuración en paralelo es mayor que la de la configuración en serie.

Figura 2. Configuración en paralelo del arreglo fotovoltaico.

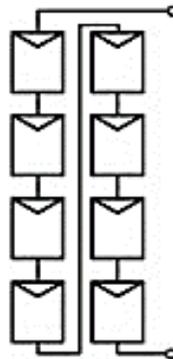


Fuente: Saiand Moger, 2019

- **Configuración en serie (S)**

En una configuración en serie, todos los módulos fotovoltaicos están conectados en serie para aumentar el voltaje de salida deseado, pero la corriente de salida es la misma que la corriente del módulo.

Figura 3. Configuración en serie del arreglo fotovoltaico

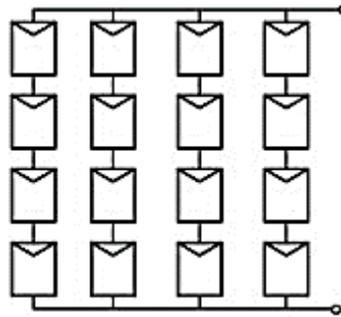


Fuente: Saiand Moger, 2019

- **Configuración serie-paralelo (SP)**

La combinación de conexión en serie y en paralelo proporciona una configuración en serie-paralelo, lo que aumenta la tensión y la corriente de salida a la vez.

Figura 4. Configuración en serie-paralelo del arreglo fotovoltaico

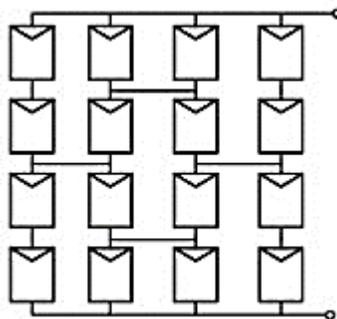


Fuente: Saiand Moger, 2019

- **Conexión en puente vinculado (BL)**

La configuración BL es muy similar a la configuración SP debido a la interconexión entre los MFV. Las interconexiones de módulos se encuentran en forma de puente rectificador, en la siguiente figura se muestra dicha conexión:

Figura 5. Configuración BL del arreglo fotovoltaico

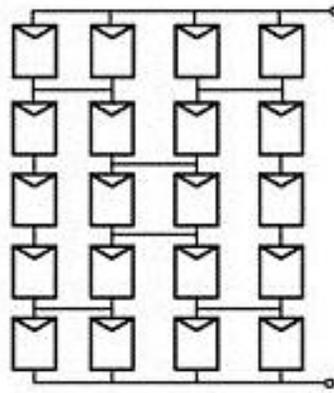


Fuente: Saiand Moger, 2019

- **Conexión en Honey-Comb (HC)**

La configuración HC en los MFV, es muy similar a la conexión BL, la diferencia se tiene en que esta se tiene interconexiones adicionales. En la siguiente figura se muestra la configuración de esta conexión:

Figura 6. Configuración HC del arreglo fotovoltaico

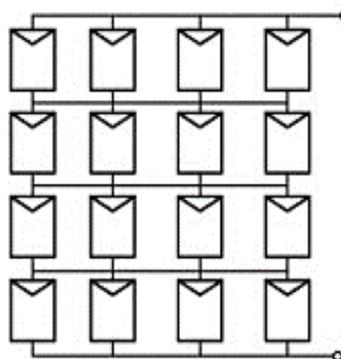


Fuente: Saiand Moger, 2019

- **Configuración en total cruzado (TCT)**

La configuración TCT es una configuración muy similar a la configuración SP, la diferencia en esta configuración es que todos los MFV se encuentran interconectados entre sí, simulando de esta manera una malla. En TCT, los primeros módulos fotovoltaicos se conectan en paralelo para que los voltajes sean iguales y las corrientes se sumen, y luego muchos de estos enlaces en paralelo se conectan en serie para aumentar la tensión y la corriente de salida a la vez. En la siguiente figura se muestra la configuración de esta conexión:

Figura 7. Configuración TCT del arreglo fotovoltaico



Fuente: Saiand Moger, 2019

3. DISEÑO DE LA INVESTIGACION

La metodología usada en esta investigación es de clase documental, enfocado en la identificación, recolección, análisis y resultados de datos secundarios, es decir, los documentos obtenidos y registrados por otros indagadores en fuentes de la literatura (por ejemplo, impresos, audiovisuales o electrónicos), para la realización de trabajos de grado, necesitan utilizar métodos de revisión documental, pues la finalidad fundamental de este trabajo es el estado de arte. Para ello, la recolección de datos, el establecimiento de categorías de sistematización de la información, la búsqueda de estrategias que ayuden a desarrollar las tecnologías más avanzadas y el análisis y revisión de la información son fundamentales, tratando de documentar ampliamente la tecnología existente para apoyar el trabajo de grado y se obtiene un análisis correspondiente que ayude a conseguir mejores resultados.

Además, para la formulación de este proyecto, se llevó a cabo un estado del arte que, según el autor, este es un tipo de estudio de literatura que utilizan los investigadores para establecer el interés específico en un tema. Esto ilustra la importancia de especificar el material para que pueda ser enviado al documento sobre el tema para un análisis riguroso y detallado. Para enfatizar un poco más acerca de esta investigación se dan las siguientes fases:

FASE 1. Consulta de fuentes de información acerca de las características generales en los esquemas alternativos de conexión de generadores FV.

FASE 2. Recopilar la información necesaria, asociada al análisis y estadísticas de los distintos sistemas alternativos de conexión de módulos fotovoltaicos de paneles solares para determinar así, sus aportes, ventajas y desventajas.

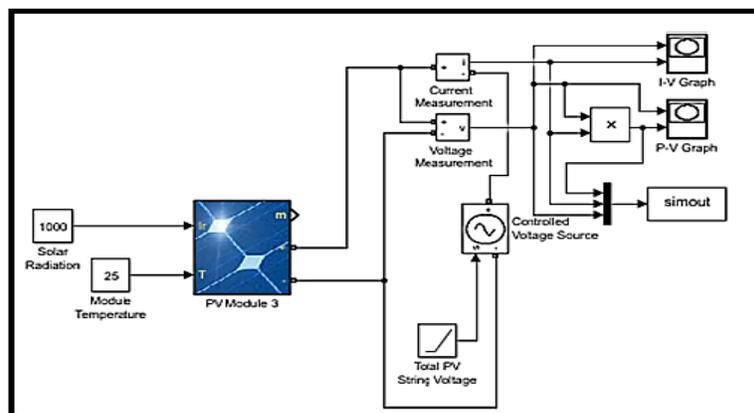
FASE 3. Proponer varios esquemas de conexión alternativos que pueden mejorar la eficiencia de GFV bajo diferentes condiciones de sombreado.

4. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

4.1. PRIMER DOCUMENTO

El primero de los documentos encontrados “*Development of PV array configuration under different partial shading condition*” fue un artículo investigativo publicado en Malasia por International Journal of Power Electronics and Drive System (IJPEDS) llamado, su método de investigación consistió en averiguar el rendimiento de diferentes conjuntos fotovoltaicos (FV) bajo varias condiciones de sombreado, analizando y comparando las características de salida del conjunto fotovoltaico con configuraciones S, SP, TCT y BL. De la misma forma, los autores propusieron estudiar el conjunto de 36 módulos fotovoltaicos en una disposición de 6 x 6 mediante un modelo de simulación de módulos fotovoltaicos como se plasma en la Figura 8, en estos diagramas de bloques del modelo de simulación ejecutados por (Ishak, 2019) se puede detallar “*el punto de máxima potencia, P_{max} , la tensión en circuito abierto (VOC), la corriente de cortocircuito (ISC), la tensión en el punto máximo (V_{mp}) y la corriente en el punto máximo (I_{mp}).*” (pág. 2)

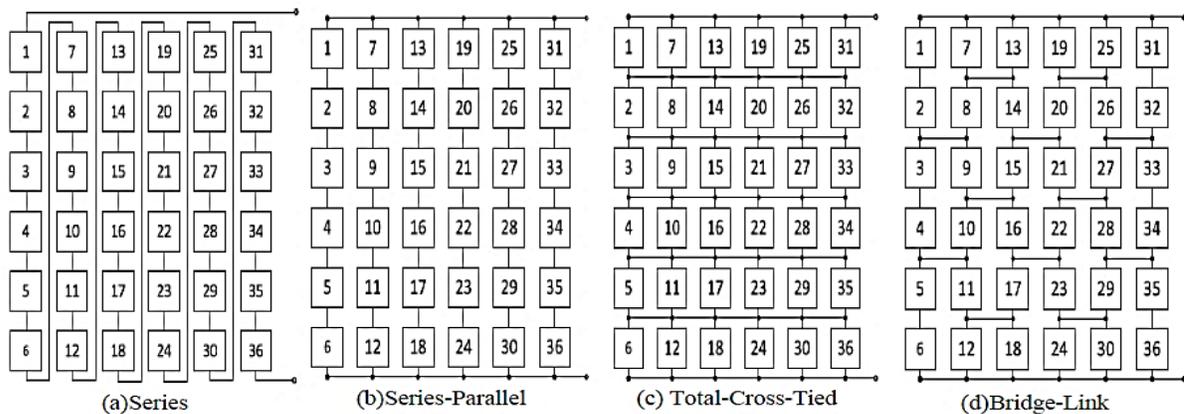
Figura 8. Modelo de simulación del módulo FV en Matlab/Simulink



Fuente: Ishak, 2019

Por otra parte, en este artículo se estructuró la configuración del conjunto fotovoltaico puesto en marcha y se dio a conocer la conexión del módulo FV en serie, en serie-paralelo, en conexión cruzada total y en puente con 36 células FV empleadas en la simulación. A continuación se destaca dicho procedimiento en la figura 9.

Figura 9. Diagrama esquemático de 36 módulos en diferentes configuraciones.



Fuente: Ishak, 2019

Como lo hace notar (Ishak)., en este estudio se estableció la identificación "de comportamientos de la disimilitud en la conexión de la matriz en varias condiciones de sombreado", teniendo en cuenta que hay 6 diferentes patrones de sombreado que se representan como el paso de una nube sobre la matriz fotovoltaica.

Según (Ishak) el escenario de sombreado se puede describir de acuerdo con:

"(...) Primer escenario de sombreado: El valor de la irradiación solar que se establece para 4 módulos que se encuentran en la parte inferior izquierda del conjunto es de 200 W/m², mientras que 12 módulos reciben una irradiación de 500 W/m² y los 20 módulos restantes reciben totalmente la luz con 1000 W/m²." Como se demuestra en la Figura 10.

Figura 10. Primer escenario de sombreado

500	500	1000	1000	1000	1000
500	500	1000	1000	1000	1000
200	500	500	1000	1000	1000
200	500	500	1000	1000	1000
200	500	500	1000	1000	1000
200	500	500	1000	1000	1000

Fuente: Ishak, 2019

Segundo escenario de sombreado: El valor de la irradiación solar que se establece para dos filas en la parte inferior del conjunto es de 200 W/m². Esto ha cubierto 12 módulos, mientras que dos filas en el centro del conjunto están parcialmente sombreadas con 500 W/m² y las dos filas restantes en la parte superior del conjunto están totalmente irradiadas con 1000 W/m². Como se demuestra en la Figura 11.

Figura 11. Segundo escenario de sombreado

1000	1000	1000	1000	1000	1000
1000	1000	1000	1000	1000	1000
500	500	500	500	500	500
500	500	500	500	500	500
200	200	200	200	200	200
200	200	200	200	200	200

Fuente: Ishak, 2019

Tercer escenario de sombreado: El valor de la irradiación solar establecido para dos columnas del lado derecho del conjunto es de 200 W/m². Esto ha cubierto 12 módulos, mientras que dos columnas en el centro del conjunto están parcialmente sombreadas con 500 W/m² y las dos columnas restantes en el lado izquierdo del

conjunto están totalmente irradiadas con 1000 W/m². Como se demuestra en la Figura 12.

Figura 12. Tercer escenario de sombreado

1000	1000	1000	1000	200	200
1000	1000	1000	1000	200	200
1000	1000	500	500	200	200
1000	1000	500	500	200	200
1000	1000	500	500	200	200
1000	1000	500	500	200	200

Fuente: Ishak, 2019

Cuarto escenario de sombreado: El valor de la irradiación solar que se establece para dos filas en la parte superior del conjunto son 200 W/m². Esto ha cubierto 12 módulos, mientras que dos filas en el centro del conjunto están parcialmente sombreadas con 500 W/m² y las dos filas restantes en la parte inferior del conjunto están totalmente irradiadas con 1000 W/m². Como se demuestra en la Figura 13.

Figura 13. Cuarto escenario de sombreado

200	200	200	200	200b	200
200	200	200	200	200	200
500	500	500	500	500	500
500	500	500	500	500	500
1000	1000	1000	1000	1000	1000
1000	1000	1000	1000	1000	1000

Fuente: Ishak, 2019

Quinto escenario de sombreado: El valor de la irradiación solar que se establece para 4 módulos en el centro del conjunto son 200 W/m² mientras que 12 módulos

están parcialmente sombreados con 500 W/m² y los 20 módulos restantes reciben luz con 1000 W/m². Como se demuestra en la Figura 14.

Figura 14. Quinto escenario de sombreado

500	500	500	500	500	500
500	500	500	500	500	500
1000	1000	200	200	1000	1000
1000	1000	200	200	1000	1000
1000	1000	1000	1000	1000	1000
1000	1000	1000	1000	1000	1000

Fuente: Ishak, 2019

Sexto escenario de sombreado: El valor de la irradiación solar que se establece para 4 módulos en el centro del conjunto son 1000 W/m² mientras que 12 módulos están parcialmente sombreados con 500 W/m² y los 20 módulos restantes reciben luz con 200 W/m². Como se demuestra en la Figura 15.

Figura 15. Sexto escenario de sombreado

500	500	200	200	200	200
500	500	200	200	200	200
500	500	1000	1000	200	200
500	500	1000	1000	200	200
500	500	200	200	200	200
500	500	200	200	200	200

Fuente: Ishak, 2019

En consecuencia, la comparación se analizó "en función de los diferentes valores de irradiación y del escenario de sombreado." Según la Tabla 1 la potencia de salida máxima para TCT es mayor en comparación con las otras tres configuraciones de paneles fotovoltaicos en el caso de sombreado 1, 5 y 6.

Tabla 1. Potencia máxima de salida de las configuraciones en todos los escenarios de sombreado

Configuraciones	Escenario 1		Escenario 4	
	Pmax (W)	Número de picos	Pmax (W)	Número de picos
Serie	480,531,330	3	2355,2038,330	3
Serie-Paralelo	2957,4407,5193	3	2877,3183,1983	3
Total-Cross-Tied	2878,4202,5470	3	2877,3183,1983	3
Bridge-Link	2900,4302,5310	3	2877,3183,1983	3
Configuraciones	Escenario 2		Escenario 5	
	Pmax (W)	Número de picos	Pmax (W)	Número de picos
Serie	480,530,330	3	1500	1
Serie-Paralelo	2877,3183,1983	3	2957,4407,5193	3
Total-Cross-Tied	2877,3183,1983	3	2878,4202,5470	3
Bridge-Link	2877,3183,1983	3	2878,4267,5382	3
Configuraciones	Escenario 3		Escenario 6	
	Pmax (W)	Número de picos	Pmax (W)	Número de picos
Serie	1500	1	1155,1343,286	3
Serie-Paralelo	5036	1	1685,2441,1817	3
Total-Cross-Tied	5036	1	1610,2477,1946	3
Bridge-Link	5036	1	1635,2436,1937	3

Fuente: Ishak, 2019

A partir del resultado, muestra que la configuración Total-Cross-Tied ha mostrado el mayor rendimiento en cada escenario de sombreado parcial y se puede considerar que, aunque su patrón es complejo, es beneficioso con la presencia de un escenario de sombreado extra complicado en la realidad, en el entorno o estado práctico.

4.2. SEGUNDO DOCUMENTO

Se estudia un segundo documento llamado *“Modeling, simulation and performance analysis of solar PV array configurations (Series, Series-Parallel and Honey-Comb) to extract maximum power under Partial Shading Conditions”*, el objetivo clave del artículo encontrado es modelar, simular y analizar el rendimiento de las

configuraciones de campo fotovoltaico en Serie (S), Serie – Paralelo (SP) y Honey-Comb (HC) bajo diferentes PSC mediante la simulación de un campo fotovoltaico 5 × 5 en MATLAB / SIMULINK como se muestra en el artículo sin considerar ninguna reubicación física de los módulos fotovoltaicos.

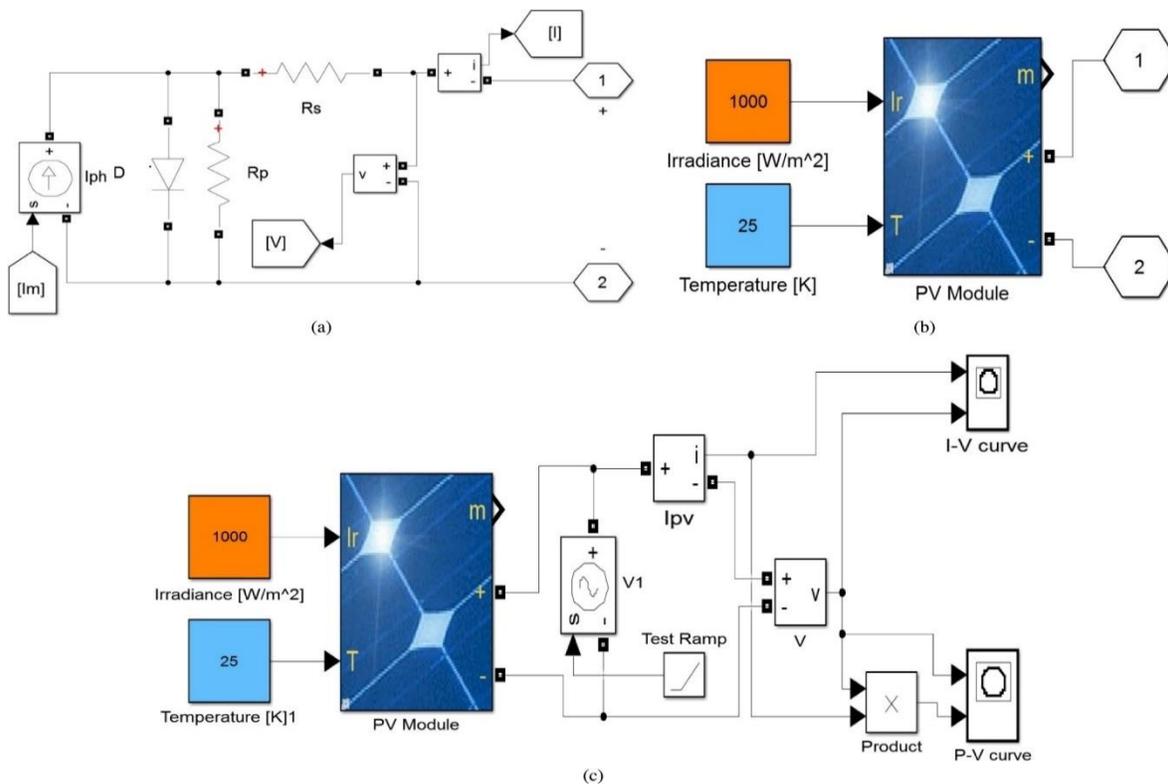
El circuito equivalente práctico del módulo fotovoltaico en el modelo MATLAB / Simulink se muestra en la figura 16 (a) (Villalva et al., 2009) como se cita en (Suneel Raju Pendem, 2018) .La figura 16 (b) muestra el modelo de subsistema de MATLAB / Simulink del módulo fotovoltaico simulado en una condición de prueba estándar (STC) de 1000 W / m² y 25 ° C.

La ecuación matemática básica que describe las características I-V del módulo fotovoltaico práctico vienen dadas por la siguiente ecuación:

$$I_o = I_{PH} - I_r \left[\exp \left(\frac{V_o + R_S I_o}{V_T a} \right) - 1 \right] - \frac{V_o + R_S I_o}{R_{SH}} = I_{PH} - I_r \left[\exp \left(\frac{q(V_o + R_S I_o)}{n_s K T a} \right) - 1 \right] - \frac{V_o + R_S I_o}{R_{SH}}$$

donde I_{PH} , I_r y I_o son la corriente fotogenerada debido a la irradiación solar incidente [A], la corriente de fuga inversa del diodo [A] y la corriente terminal del módulo fotovoltaico [A]; V_o y $V_T = (n_s \times K \times T) / q$ son la tensión terminal y la tensión térmica del módulo fotovoltaico [V]; K es la constante de Boltzmann (1.380×10^{-23} J/K); T es la temperatura de funcionamiento del módulo (Kelvin); q es la carga del electrón (1.602×10^{-19} C); R_S y R_{SH} son las resistencias en serie y en derivación del módulo fotovoltaico; y a es el coeficiente de emisión de diodos . El valor ideal del coeficiente de emisión de diodos es 1.

Figura 16. Modelo de simulación de los módulos en MATLAB/Simulink.



Fuente: Suneel Raju Pendem, 2018

Para la aplicación práctica se disponen cuatro tipos de sombreados como; corto y estrecho; corto y ancho; largo y estrecho; y condiciones de sombreado largo y ancho, y también el sombreado diagonal. La descripción de cada condición de sombreado y niveles de irradiancia solar en 5×5 Las configuraciones del campo fotovoltaico se dan a continuación.

Condición de sombreado corto y estrecho

En condiciones de sombreado corto y estrecho, solo dos columnas están sombreadas de cinco cadenas y el número de módulos sombreados por columna es tres, de ahí esta condición de sombreado se conoce como condición de

sombreado corto y estrecho. El nivel de irradiancia solar variable bajo sombreado corto y estrecho se representa en la tabla 2.

Tabla 2. Demostración de la condición de sombreado Condición de sombreado corto y estrecho

	S1	S2	S3	S4	S5
R1	300	300	1000	1000	1000
R2	500	500	1000	1000	1000
R3	700	700	1000	1000	1000
R4	1000	1000	1000	1000	1000
R5	1000	1000	1000	1000	1000

Fuente: Suneel Raju Pendem, 2018

Condición de sombreado corto y ancho

Cuando se sombrea cuatro columnas de cinco y el número de módulos sombreados por cadena es tres, esta condición se conoce como condición de sombreado corto y ancho. El nivel de irradiancia solar variable con sombreado corto y ancho se representa en la tabla 3.

Tabla 3. Demostración de la condición de sombreado corto y ancho

	S1	S2	S3	S4	S5
R1	300	300	500	500	1000
R2	300	300	500	500	1000
R3	700	700	700	700	1000
R4	1000	1000	1000	1000	1000
R5	1000	1000	1000	1000	1000

Fuente: Suneel Raju Pendem, 2018

Condición de sombreado largo y estrecho

Dos columnas están sombreadas de 5 y todos los módulos por columnas están sombreados, por lo que esta condición de sombreado se denomina condición de

sombreado largo y estrecho. Los diferentes niveles de irradiancia solar bajo sombra larga y estrecha se representan en la tabla 4.

Tabla 4. Demostración de la condición de sombreado largo y estrecho

	S1	S2	S3	S4	S5
R1	300	300	1000	1000	1000
R2	300	500	1000	1000	1000
R3	500	500	1000	1000	1000
R4	700	700	1000	1000	1000
R5	700	700	1000	1000	1000

Fuente: Suneel Raju Pendem, 2018

Condición de sombreado largo y ancho

Las cuatro columnas de la matriz fotovoltaica están sombreadas de cinco y todos los módulos de la cadena están sombreados, y se denominan condiciones de sombreado largo y estrecho. Los diferentes niveles de irradiancia solar bajo sombra larga y ancha se representan en la tabla 5.

Tabla 5. Demostración de la condición de sombreado largo y ancho

	S1	S2	S3	S4	S5
R1	300	300	500	500	1000
R2	300	300	500	500	1000
R3	300	300	500	500	1000
R4	700	700	900	900	1000
R5	700	700	900	900	1000

Fuente: Suneel Raju Pendem, 2018

Condición de sombreado diagonal

Los cinco módulos fotovoltaicos colocados en diagonal en un conjunto fotovoltaico están sujetos a diferentes niveles de irradiancia solar. Los niveles de irradiancia solar en módulos fotovoltaicos colocados en diagonal se consideran como 300 W /

m^2 , $400 W / m^2$, $500 W / m^2$, $700 W / m^2$ y $900 W / m^2$ respectivamente y se representan en la tabla 67.

Tabla 6. Demostración de la condición de sombreado diagonal

	S1	S2	S3	S4	S5
R1	300	1000	1000	1000	1000
R2	1000	400	1000	1000	1000
R3	1000	1000	500	1000	1000
R4	1000	1000	1000	700	1000
R5	1000	1000	1000	1000	900

Fuente: Suneel Raju Pendem, 2018

A partir de la simulación hecha por el autor se observa que en diferentes condiciones de sombreado las configuraciones de los arreglos fotovoltaicos S, SP y HC generan la potencia máxima y las pérdidas por desajuste son de 4219,3 W, 16,48%; 2835,9 W, 43,86%; 3761,2 W, 25,55%; 2741,6 W, 45,73% y 4271,1 W, 15,46% respectivamente.

De acuerdo a los resultados arrojados la configuración de campo fotovoltaico Honey-Comb (HC) es la configuración fotovoltaica más apropiada bajo diferentes PSC en comparación con las configuraciones de campo fotovoltaico Serie (S) y Serie-Paralelo (SP).

4.3. TERCER DOCUMENTO

Por otra parte, en el tercer documento encontrado *“Improvement in the power generation of a PV array under partial shading conditions”* se hace un estudio teórico donde se tiene como objetivo principal comparar la generación de energía del arreglo con TCT y la reconfiguración de la misma propuesta por (Nayak, 2014) . En la Configuración propuesta del campo fotovoltaico, la posición de la fila de un 7×7

se organizó utilizando los dígitos del 1 al 7, como se propone en la Figura 17 (b). La posición de la fila de la primera columna de la matriz FV contiene un dígito del 1 al 7 en orden ascendente. A partir de la segunda columna en la configuración TCT (Figura 17 (a)), los dígitos del 1 al 7 se disponen en la posición de la fila desplazando una fila hacia abajo sucesivamente como se enseña en la Figura 17 (b). Esta disposición muestra que no hay repetición de los dígitos 1 a 7 en cada fila. (pág. 2)

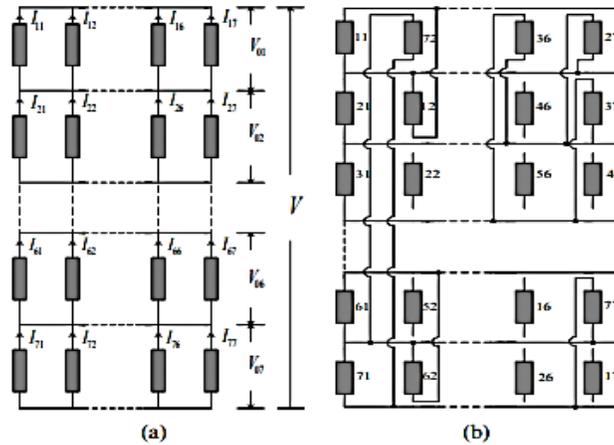
Figura 17. Arreglo en configuración TCT y en configuración propuesta

(a) TCT							(b) Proposed						
11	12	13	14	15	16	17	11	72	63	54	45	36	27
21	22	23	24	25	26	27	21	12	73	64	55	46	37
31	32	33	34	35	36	37	31	22	13	74	65	56	47
41	42	43	44	45	46	47	41	32	23	14	75	66	57
51	52	53	54	55	56	57	51	42	33	24	15	76	67
61	62	63	64	65	66	67	61	52	43	34	25	16	77
71	72	73	74	75	76	77	71	62	53	44	35	26	17

Fuente: Nayak, 2014

La Fig. 18 (b) muestra la reorganización de los módulos de un conjunto fotovoltaico en configuración TCT como se indica en la Fig. 18 (a), utilizando la configuración propuesta, sin cambiar la conexión eléctrica de los módulos fotovoltaicos en condiciones de sombreado parcial. En esta disposición, el módulo 72 (7ª fila, 2ª columna) se coloca físicamente en la primera fila y segunda columna, y el módulo 36 se coloca físicamente en la primera fila y sexta columna de un conjunto fotovoltaico, sin cambiar las conexiones eléctricas de los módulos fotovoltaicos en condiciones de sombreado parcial.

Figura 18. Configuración TCT y configuración propuesta



Fuente: Nayak, 2014

Por lo tanto, los módulos fotovoltaicos de la misma fila en la configuración TCT se mueven a diferentes filas en la configuración propuesta del arreglo, sin cambiar la posición de la columna. Lo cual, permite reducir el efecto de sombreado en la misma fila, y aumentar la corriente en la misma fila, por lo que los paneles de derivación y la generación de energía del campo fotovoltaico se incrementa en condiciones de sombreado parcial. (pág. 2)

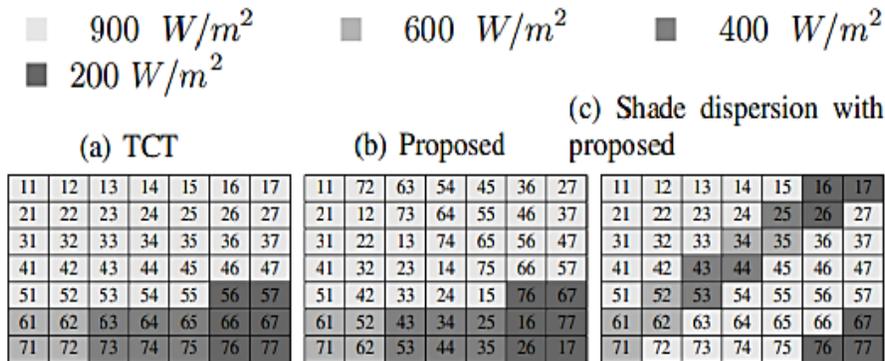
El método de configuración propuesto es aplicable a un campo fotovoltaico de 7 x 7, ya que no implica ningún bloque dentro de la red durante la disposición de los dígitos. Para la aplicación práctica del método de configuración propuesto, los módulos del campo fotovoltaico deben disponerse una vez para diferentes tipos de condiciones de sombreado. Son cuatro las condiciones de sombreado diferentes como corto y ancho (SW), corto y estrecho (SN), largo y ancho (LW) y largo y estrecho (LN), que se consideran para verificar la configuración propuesta. (pág. 3)

Corto y ancho (SW)

En condiciones cortas y amplias, cuatro tipos diferentes de irradiación solar tales como, 900 W/m², 600 W/m², 400 W/m², y 200 W/m² son recibidos por los módulos

de la matriz fotovoltaica. Es necesario encontrar la corriente a través de cada fila de la matriz fotovoltaica para determinar la ubicación de GMPP. El patrón de sombreado para diferentes configuraciones en condiciones de sombreado corto y ancho se muestra en la Figura 19.

Figura 19. Patrón de sombreado de tipo corto y ancho

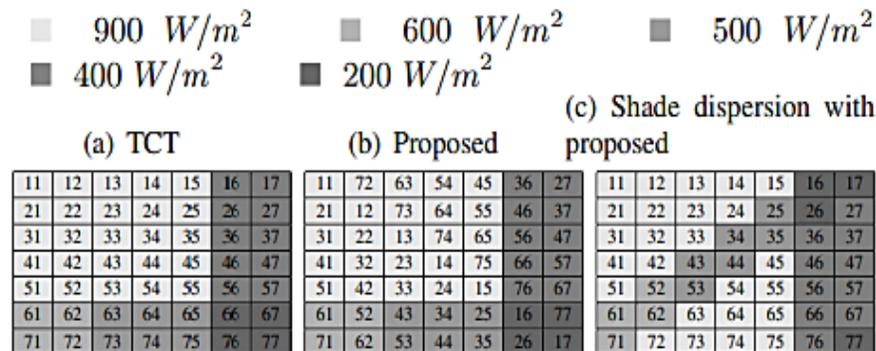


Fuente: Nayak, 2014

Largo y ancho (LW)

En el patrón de sombreado largo y ancho, cinco tipos diferentes de irradiación solar como, 900 W/m^2 , 600 W/m^2 , 500 W/m^2 , 400 W/m^2 , y 200 W/m^2 fueron recibidos por los módulos fotovoltaicos, como se observa en la Figura 20.

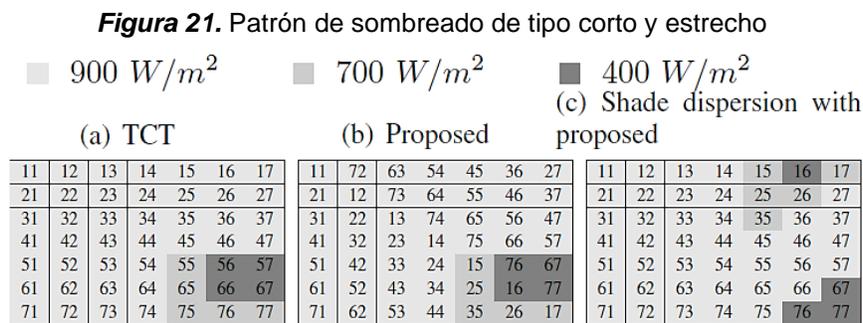
Figura 20. Patrón de sombreado de tipo largo y ancho



Fuente: Nayak, 2014

Corto y estrecho (SN)

En el patrón de sombreado corto y estrecho, tres tipos diferentes de irradiación solar como, 900 W/m², 700 W/m², y 400 W/m² fueron recibidos por los módulos fotovoltaicos. El patrón de sombreado para diferentes configuraciones en corto y estrecho se muestra en la Figura 21.

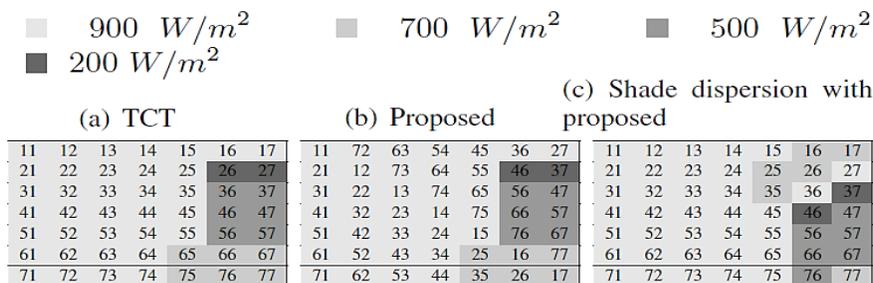


Fuente: Nayak, 2014

Largo y estrecho (LN)

En el patrón de sombreado largo y estrecho, cuatro tipos diferentes de irradiación solar como, 900 W/ m², 700 W/ m², 500 W/ m², y 200 W/ m² fueron recibidos por los módulos fotovoltaicos. En la Figura 22 se muestra el patrón de sombreado para configuraciones diferentes largas y estrecha.

Figura 22. Patrón de sombreado en las configuraciones de tipo largo y estrecho



Fuente: Nayak, 2014

La generación de energía de una matriz de 7x7 PV en la configuración propuesta fue superior a la configuración de TCT en cuatro condiciones de sombreado diferentes, como se indica en la Tabla 7. También se observa que, la desviación de la mejora de potencia calculada teóricamente y la simulación fue mínima.

Tabla 7. Comparación de la potencia generada en TCT y configuración propuesta para diferentes condiciones de sombreado.

Diferentes condiciones de sombreado	Potencia Máxima en TCT (W)	Propuesta		
		Potencia Máxima (W)	Potencia mejora (%) (Simulado)	Potencia mejora (%) (Teóricamente)
SW	2298	2955	2.859	2.777
LW	2208	2743	2.423	1.886
SN	3322	3424	0.307	0.392
LN	3213	3300	0.270	0.612

Fuente: Nayak, 2014

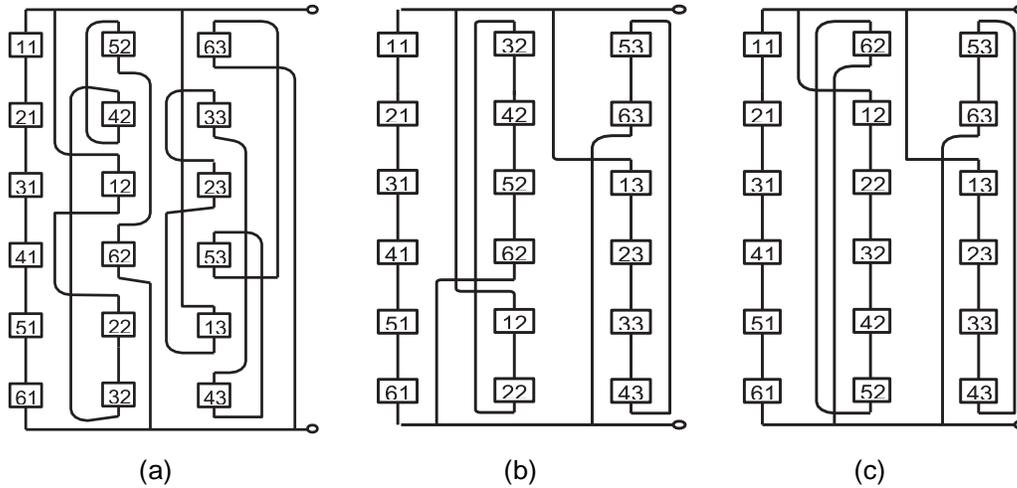
Según la información que suministra el artículo, las ecuaciones de tensión y corriente de la configuración propuesta siguen siendo las mismas que las de la configuración TCT, ya que la conexión eléctrica del campo fotovoltaico no cambia. De acuerdo al análisis realizado por (Nayak, 2014), se obtiene que la reconfiguración mejora el desempeño aumentando la generación de energía del campo fotovoltaico en comparación con la configuración TCT.

4.4. CUARTO DOCUMENTO

Para culminar el desarrollo del trabajo de grado se expone el cuarto y último documento llamado “*Line losses reduction techniques in puzzled PV array configuration under different shading conditions*”, donde se comparan 3 tipos de esquemas basados en rompecabezas (Puzzle) que son reconfiguraciones al tipo de

conexión TCT para la matriz fotovoltaica en (Anurag Singh, 2018). En la Figura 23 se puede observar las diferentes conexiones (a) Sudoku (SDK,) (b) Ken-Ken (KKSP) y (c) Latin Square (LSP).

Figura 23. Varias configuraciones basadas en rompecabezas



Fuente: Anurag Singh, 2018

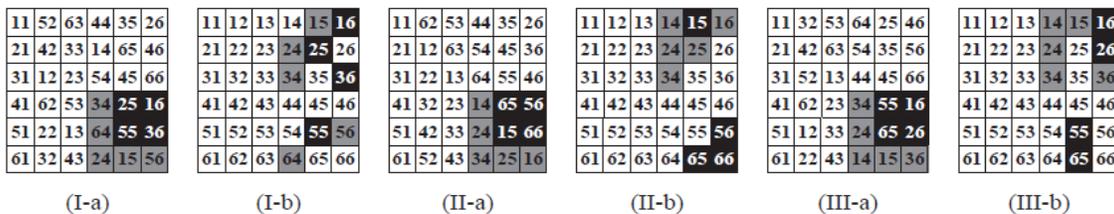
La corriente fotovoltaica generada, el voltaje y la potencia en cada fila para las configuraciones SDKP, LSP y KKSP se determinaron y se presentaron en la Tabla 6. El efecto de estos patrones de sombreado en los rendimientos de los conjuntos fotovoltaicos se discute a continuación: (pág. 6)

Tipo de sombreado SN y efecto de dispersión de la sombra:

En este caso, el rendimiento de las configuraciones de conjuntos fotovoltaicos se somete a tres tipos diferentes de niveles de irradiación, como 1000 W/m² (para módulos fotovoltaicos sin sombra), 700 W/m² y 400 W/m² (para módulos fotovoltaicos con sombra). Estos tipos de condiciones de sombreado se aplican a las configuraciones propuestas de SDKP, LSP y KKSP, como se muestra en la Fig. 24(I-a), (II-a), (III-a) y los efectos de la dispersión de la sombra se muestran en la

Fig. 24(I-b), (II-b) y (III-b). Estos esquemas representan el efecto de dispersión de la sombra con las configuraciones SDKP, LSP y KKSP propuestas.

Figura 24. Situación de sombreado de tipo corto y estrecho

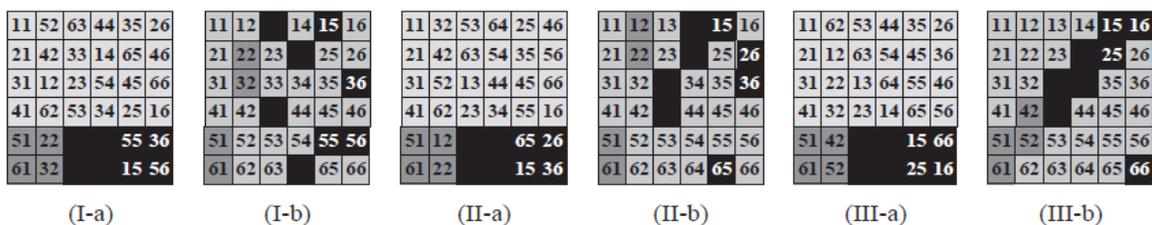


Fuente: Anurag Singh, 2018

Efecto de sombreado y dispersión de la sombra de tipo LN

En esta situación, los módulos de un campo fotovoltaico están expuestos a cuatro niveles de irradiación, como 1000 W/m², 700 W/m², 500 W/m² y 200 W/m². La Figura 25 (I-a), (II-a), (III-a) muestra las situaciones de sombreado y el efecto de la dispersión de la sombra. En la Figura. 25(I-b), (II-b) y (III-b) se observa que el sombreado afecta a un mayor número de filas en comparación con el tipo de condición SN.

Figura 25. Situación de sombreado de tipo largo y estrecho



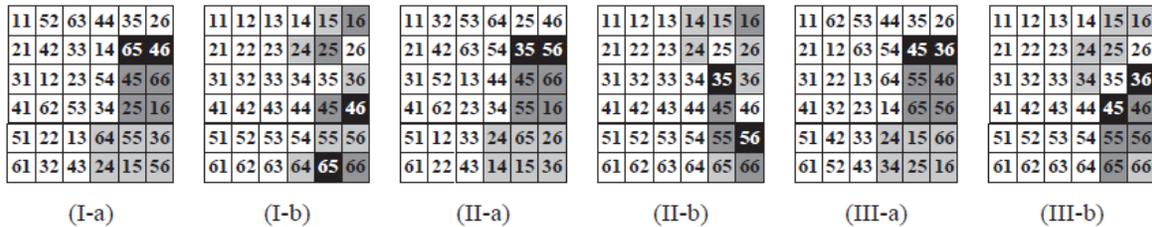
Fuente: Anurag Singh, 2018

Tipo de sombreado SW y efecto de dispersión de la sombra

La situación de SW mostró cuatro niveles de irradiación diferentes, como 900 W/m², 600 W/m², 400 W/m² y 200 W/m², y se representa en la Figura 26, además se

observa claramente que todos los módulos fotovoltaicos de un conjunto se ven afectados por el sombreado y el impacto del sombreado aumenta, por lo que la potencia máxima generada es menor que la SN y la LN, respectivamente.

Figura 26. Situación de sombreado corto y ancho



Fuente: Anurag Singh, 2018

Tipo de sombra LW y efecto de dispersión de la sombra

Esta situación se representa en la Figura 27. Todos los módulos de un parque fotovoltaico se ven afectados por cinco tipos diferentes de niveles de irradiación, como 900 W/m², 600 W/m², 500 W/m², 400 W/m² y 200 W/m². La figura 27 muestra claramente que el impacto del sombreado es mayor en comparación con otras condiciones de sombreado (como SN, LN y SW)

Figura 27. Situación de sombreado largo y ancho



Fuente: Anurag Singh, 2018

A partir del análisis elaborado en el artículo se comparan las diferentes configuraciones de acuerdo a las condiciones de sombreado presentes en los sistemas fotovoltaicos en términos de potencia disipada (PD), pérdida en el

cableado (WL), factor de llenado (FF), tasa de ejecución (ER) y la potencia máxima (PM) los cuales son mostrados en la tabla 8.

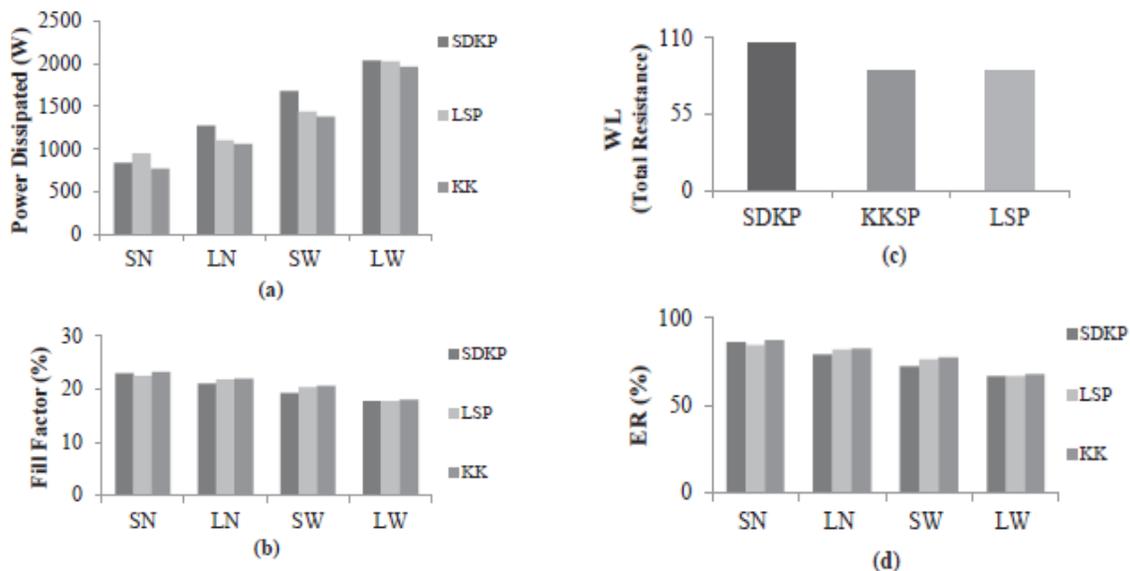
Tabla 8. Rendimiento de varias configuraciones de rompecabezas bajo diferentes tipos de sombreado

shading	SDKP				LSP				KKSP			
	Pm(W)	ER(%)	PD(W)	FF(%)	Pm(W)	ER(%)	PD(W)	FF(%)	Pm(W)	ER(%)	PD(W)	FF(%)
SN	5274	86.30	836	22.94	5163	84.50	947	22.46	5339	87.38	771	23.22
LN	4833	79.09	1277	21.02	5009	81.98	1101	21.79	5048	82.61	1062	21.96
SW	4429	72.48	1681	19.26	4672	76.46	1438	20.32	4731	77.43	1379	20.58
LW	4072	66.64	2038	17.71	4081	66.79	2029	17.75	4146	67.85	1964	18.04

Fuente: Anurag Singh, 2018

En condiciones de sombreado de tipo SW y LW, la potencia disipada de las configuraciones LSP y KKSP es 9 W y 74 W menor que la de las configuraciones SDKP, respectivamente. La (a) PD, (b) FF, (c) WL y (d) ER de varias configuraciones de rompecabezas se muestran en el gráfico de barras de la Fig. 28 y los resultados obtenidos se resumen en la Tabla 10. (pág. 9)

Figura 28. Efecto de varios sombreados sobre: PD, FF, WL y ER



Fuente: Anurag Singh Yadav, 2018

Basado en los análisis se puede detallar que el esquema KKSP reconfigurado de la conexión TCT es la mejor configuración para generar más energía y tener menos pérdidas de potencia bajo las diferentes condiciones de sombreado. También cabe resaltar que la pérdida de cableado es menor que las configuraciones LSP y SDKP.

5. RESULTADOS

En el estudio del primer artículo, se utiliza una técnica de simulación para analizar módulos fotovoltaicos con cuatro diferentes configuraciones que son: Serie, Serie-Paralelo, Total-Cross-Tied y Bridge-Link respectivamente utilizando el software Matlab / Simulink. Las configuraciones se han realizado mediante el uso de 36 módulos fotovoltaicos y la evaluación en términos de su salida de máxima potencia. Se han investigado el efecto de sombreado parcial de los módulos fotovoltaicos y también en 6 diferentes escenarios de sombreado. En referencia a estos resultados, la configuración Total-Cross-Tied es la de la salida más alta de potencia incluso en condiciones de sombreado parcial en comparación con las otras configuraciones.

Para el segundo artículo presentado se investiga el rendimiento de las configuraciones de los arreglos fotovoltaicos S, SP y HC cambiando las conexiones eléctricas entre los módulos fotovoltaicos en un arreglo fotovoltaico que impacta la capacidad máxima de generación de energía bajo diferentes condiciones de sombreado parcial; condición de sombreado uniforme, corto y estrecho, corto y ancho, largo y estrecho, largo y ancho, y en diagonal. Esto fue lo que arrojó:

- A partir de los resultados simulados, se obtiene que cuando el número de módulos fotovoltaicos están sombreados por cadena y aumenta el número de cadenas sombreadas en un conjunto fotovoltaico, se reduce la capacidad máxima de generación de energía al provocar pérdidas de energía no coincidentes.
- Se observa que la configuración de la matriz S genera la potencia máxima en comparación con las configuraciones de la matriz FV SP y HC únicamente en condiciones de sombreado corto y estrecho. La configuración de la matriz

FV SP genera la potencia máxima en comparación con la configuración de la matriz S únicamente en condiciones de sombreado corto y ancho, largo y estrecho, y largo y ancho.

- La configuración del campo fotovoltaico HC genera la potencia máxima en todas las condiciones de sombreado mencionadas anteriormente, excepto en condiciones de sombreado corto y estrecho. Por lo tanto, a partir de los resultados de la simulación de MATLAB / SIMULINK en configuraciones de campo fotovoltaico S, SP y HC, se concluye que en la mayoría de las condiciones de sombreado parcial, la configuración del campo fotovoltaico HC es la configuración de campo fotovoltaico más apropiada para la generación de potencia máxima.

Siguiendo con el tercer documento, se propone un enfoque innovador para la dispersión sombra que aumentara la generación de energía de una matriz fotovoltaica. En este enfoque, solo la ubicación física de los módulos fotovoltaicos se cambia, sin cambiar la conexión eléctrica de los módulos. La ubicación de GMPP (Punto máximo de potencia global) en TCT y la configuración propuesta de un campo fotovoltaico se calcula teóricamente. Se presentan para cuatro tipos de sombreados diferentes para las configuraciones en TCT y la configuración propuesta. Las características potencia-voltaje de la configuración propuesta es más suave y contiene menos número de máximos locales, por lo tanto, el seguimiento preciso de GMPP (Punto máximo de potencia global) será más sencillo. Eso demuestra que, para una matriz fotovoltaica de 7×7 , hay una mejora de potencia en la configuración propuesta con respecto a la configuración TCT bajo el sombreado parcial de una matriz fotovoltaica.

Finalizando con el último artículo se observa el rendimiento de las diferentes configuraciones fotovoltaicas 6 × 6 como SDKP, LSP y KKSP. Se ha investigado para varios parámetros, como la potencia máxima generada, factor de llenado, relación de rendimiento, pérdidas de cableado y pérdida de potencia. Se ha observado que las configuraciones PVA propuestas (KKSP y LSP) ofrecen una pérdida por cableado reducida en un 18,86% en comparación con la configuración SDKP. El análisis de rendimiento de diferentes configuraciones de arreglos FV se resume en los siguientes tres casos:

- Rendimiento de las configuraciones de KKSP y SDKP. Debido al tipo de circunstancias de sombreado SN, LN, SW y LW, la configuración de KKSP ha producido
 - a) 7.77%, 16.38%, 17.96%, 3.63% pérdidas de potencia mínimas que la configuración SDKP.
 - b) 1.22%, 4.47%, 6.85%, 1.81% de factor de llenado máximo que la configuración SDKP.
 - c) 1,23%, 4,45%, 6,82%, 1,81% relación de rendimiento máximo que la configuración SDKP.

- Rendimiento de las configuraciones KKSP y LSP. En circunstancias de sombreado de tipo SN, LN, SW y LW, la configuración KKSP la configuración ha cedido
 - a) (a) 18,58%, 3,54%, 4,10%, 3,20% de pérdidas de potencia mínimas que la configuración LSP.
 - b) 3.38%, 0.78%, 1.27%, 1.63% de factor de llenado máximo que la configuración LSP.
 - c) 3.40%, 0.76%, 1.66%, 1.58% de índice de rendimiento máximo que LSP

- Rendimiento de las configuraciones LSP y SDKP. Para las circunstancias de sombreado de tipo SN, LN, SW y LW, el LSP la configuración ha cedido
 - a) -13,27%, 13,78%, 14,45%, 0,44% pérdidas de potencia mínimas que la configuración SDKP.
-2.09%, 3.66%, 5.50%, 0.22% de factor de llenado máximo que la configuración SDKP.
 - b) -2,10%, 3,64%, 5,48%, 0,22% índice de rendimiento mínimo que la configuración SDKP.

En general, se puede concluir que la configuración de KKSP mejora el rendimiento en comparación con las configuraciones SDKP y LSP para la mayoría de las PSC considerados en este artículo.

6. CONCLUSIONES

De acuerdo con lo señalado en el primer documento y los resultados demostrados está claro que la configuración TCT a diferencia de las configuraciones serie, SP y BL, es la que mejor rendimiento ofrece bajo condiciones de sombreados parciales para los GFV y es beneficioso con la presencia de un escenario de sombreado extra complicado en el entorno real o el estado práctico, ya que reduce las pérdidas de potencia significativamente

Se puede ver en el segundo documento que debido a la comparación hecha sobre los diferentes esquemas de conexiones tales como serie, serie-paralelo y Honey-Comb, esta última mostró los mejores resultados a partir de la generación de potencia en distintas condiciones de sombreado en los GFV.

Como demuestra la investigación en el tercer documento, la configuración propuesta que es un reposicionamiento físico del módulo de la disposición TCT sin cambiar su conexión eléctrica, tiene una mejor salida de potencia y en consecuencia un aumento en la generación de energía con respecto a la configuración TCT para una matriz fotovoltaica 7x7 bajo condiciones de sombreados parciales.

Para comprobar que la configuración propuesta en el cuarto y último documento llamada Ken-Kens Puzzle (KKSP) basado en rompecabezas reposicionando los módulos en la matriz fotovoltaica fundamentado en la conexión TCT y para dispersar las sombras tiene mejor desempeño que otros en las mismas condiciones como lo son la configuración Sudoku (SDKP) y los Cuadros Latinos (LSP), se hace una investigación en este dando como resultado que la configuración propuesta muestra una mejora en la eficiencia y en la reducción de pérdidas en el cableado de los paneles fotovoltaicos en condiciones de sombreado parcial.

7. RECOMENDACIONES

Se sugieren algunas recomendaciones basadas en los resultados y conclusiones del presente estudio:

- Extender la investigación al nivel que se pueda desarrollar esquemas alternativos de conexión de sistemas FV que den soluciones a estos problemas de sombreado en las celdas y así aumentar su eficiencia a la hora de generar la energía requerida.
- Por último, tener en cuenta las condiciones a las que serán sometidas los sistemas FV en operaciones reales, debido a las consecuencias o presencia de factores externos que afecta la generación de energía eléctrica como lo son las sombras. Estas pueden ser generadas por la ubicación de elementos que rodean el área de las instalaciones o por nubes, etc., por lo tanto, se recomienda hacer un estudio analítico o práctico antes de hacer una instalación de un sistema FV para darle solución utilizando esquemas alternativos para las diferentes condiciones de sombreado.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anurag Singh, V. M. (2018). *Line losses reduction techniques in puzzled PV array configuration under different shading conditions*. Solar Energy. doi:<https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.07.007>.
- BJG Montano, D. R. (2015). *Effects of shading on current, voltage and power output of total cross-tied photovoltaic array configuration*. IEEE. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/document/7372757>
- Cepeda, J. S. (2017). *Aspectos que afectan la eficiencia en los paneles fotovoltaicos y sus potenciales soluciones*. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/4196/cepedajuan2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Diaz, S. A. (2019). *ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA IMPLEMENTACION DE SISTEMA DE PANELES FOTOVOLTAICOS COMO ENERGIA ALTERNATIVA EN UNA UNIDAD RESIDENCIAL DE LA LOCALIDAD DE PUENTE ARANDA*. Obtenido de <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/22997/RojasDiazSebastianAndres2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- GALLEGOS, R. H. (Agosto de 2017). *ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD PARA LA INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE ENERGÍA LIMPIA MEDIANTE CELDAS FOTOVOLTAICAS PARA LA ALIMENTACIÓN CELDAS FOTOVOLTAICAS PARA LA ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA DEL EDIFICIO 4 EN EL ITS.LV. .* Obtenido de <https://ciateq.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1020/97/1/HernandezGallegosRodolfo%20MMANAV%202017.pdf>

- Ishak, M. R. (2019). *Development of PV array configuration under different partial shading condition*. Int J Pow Elec & Dri. doi:<http://doi.org/10.11591/ijpeds.v10.i3.pp1263-1269>
- Itako, K. H. (2015). *Development of Real Time Hotspot Detection System Using Scan-Method for PV Generation System*. IEEE.
- Nalin K. Gautam, N. K. (2002). *An efficient algorithm to simulate the electrical performance of solar photovoltaic arrays*. Energy. doi:[https://doi.org/10.1016/S0360-5442\(01\)00089-5](https://doi.org/10.1016/S0360-5442(01)00089-5).
- Nayak, H. S. (2014). *Improvement in the power generation of a PV array under partial shading conditions*. IEEE. doi:doi: 10.1109/NPSC.2014.7103845
- Olivera, F. (2019). *Efecto de las sombras en un sistema fotovoltaico*. Obtenido de <https://ccee.a.mx/blog/energia-solar-fotovoltaica/efecto-de-las-sombras-en-un-sistema-fotovoltaico>
- Palpandian M, P. W. (2021). *Jigsaw Puzzle based Reconfiguration Technique for Enhancing Maximum Power in Partial Shaded Hybrid Photovoltaic Array*. Research Square. doi:<https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-513975/v1>
- Perpiñán, O. (2020). *ENERGÍA SOLAR Fotovoltaica*. Obtenido de <http://oscarperpinan.github.io/esf/>.
- Romero, J. (Enero de 2015). *Análisis del funcionamiento de paneles fotovoltaicos y su utilización en las regiones de la costa y sierra del Ecuador. Caso de estudio: Biblioteca Pompeu Fabra de Mataró*. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/26396/memoria.pdf>
- Silva, M. (2020). *Modelado y estudio del impacto de sombras sobre paneles solares fotovoltaicos*. Obtenido de <http://rinfi.fi.mdp.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/123456789/441/MSilva-TFG-IEI-2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Suneel Raju Pendem, S. M. (2018). *Modeling, simulation and performance analysis of solar PV array configurations (Series, Series-Parallel and Honey-Comb) to extract maximum power under Partial Shading Conditions*. Elsevier.

- Obtenido de
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484717302378>)
Suneel Raju Pendem, S. M. (2018). *Modeling, simulation and performance analysis of solar PV array configurations (Series, Series-Parallel and Honey-Comb) to extract maximum power under Partial Shading Conditions*. Energy Reports.
- Obtenido de
https://www.researchgate.net/publication/324331385_Modeling_simulation_and_performance_analysis_of_solar_PV_array_configurations_Series_Series-Parallel_and_Honey-Comb_to_extract_maximum_power_under_Partial_Shading_Conditions
- T. S. Babu, J. P. (2018). *Particle Swarm Optimization Based Solar PV Array Reconfiguration of the Maximum Power Extraction Under Partial Shading Conditions*. IEEE. doi:10.1109/TSTE.2017.2714905.
- Tracesoftware. (2020). *Trace Software*. Obtenido de <https://www.tracesoftware.com/blog/the-effects-of-solar-shadings-on-the-performance-of-pv-panels/>
- Zamora, V. G. (2016). EFECTO SOMBRA EN LOS PANELES SOLARES. *energia, CITE*, 2. Obtenido de <http://www.citeenergia.com.pe/wp-content/uploads/2016/09/Ing.-Victor-Gonzales-Zamora.pdf>