

Trabajo Fin de Máster

Máster en Sistemas de Energía Eléctrica

Viabilidad del Uso de Seguidores Fotovoltaicos en la
República Dominicana

Autor: Guillermo A. Menieur Núñez

Tutores: Manuel Burgos Payán

Juan Manuel Roldán Fernández

Dept. Ingeniería Eléctrica

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2019



Trabajo Fin de Máster
Ingeniería Eléctrica

Viabilidad del Uso de Seguidores Fotovoltaicos en la República Dominicana

Autor:

Guillermo A. Menieur Núñez

Tutores:

Manuel Burgos Payán

Juan Manuel Roldán Fernández

Dpto. de Ingeniería Eléctrica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2019

Trabajo Fin de Máster: **Viabilidad del Uso de Seguidores Fotovoltaicos en la República Dominicana**

Autor: **Guillermo A. Menieur Núñez**
Tutor: **Manuel Burgos Payán**
Juan Manuel Roldán Fernández

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

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2019

A mi hermana
A mi familia
A mis maestros

El trabajo realizado a continuación abarca una serie de estudios técnico-económicos con la finalidad de encontrar la viabilidad de los sistemas fotovoltaicos con un sistema de montaje basado en seguidores solares frente a los de montaje fijo, específicamente en la República Dominicana. Estos análisis se realizan debido a que la Rep. Dominicana disfruta de incentivos fiscales por inversión en energías renovables, lo que reduce el tiempo de amortización de la inversión, posee un alto índice de radiación solar y cuenta con múltiples inversiones fotovoltaica realizadas y en ejecución, pero todas en montaje fijo.

Analizando los avances de las tecnologías del sector fotovoltaico, especialmente la de los seguidores solares, que actualmente, presentan un avance significativo en su eficiencia y fiabilidad además de la reducción en sus precios, se decide evaluar las posibilidades para analizar donde se encuentra el punto de inflexión de los sistemas fotovoltaicos con seguidores solares en el país, y ver si existe la posibilidad de que el coste de la inversión en este tipo de sistema sea menor que un sistema de estructura fija, produciendo ambos una misma cantidad de energía anual.

La finalidad del análisis es que pueda ser utilizado como referencia para futuras inversiones en sistema fotovoltaicos en la Republica Dominicana. Los resultados obtenidos en este trabajo demuestran que hay escenarios donde las inversiones entre un tipo de sistema u otro están casi a la par. Esto hace presumir que en un futuro próximo los sistemas basados en seguidores podrán superar los fijos.

Resumen.....	ix
Índice.....	x
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
Notación.....	xiv
1. GENERALIDADES DE LA REP. DOMINICANA.....	15
Potencial Solar.....	15
1.1.1.....	15
1.1.2 Incentivo a las Energías Renovables.....	16
1.1.3 Matriz de Generación Eléctrica Dominicana.....	17
2. COMPONENTES DE LOS SISTEMAS PV	18
Panel Solar.....	18
Inversor Fotovoltaico	19
Tipo de Montaje	21
2.1.1 Comportamiento del Sistema PV con Montaje Fijo.....	22
2.1.2 Comportamiento del Sistema PV con Montaje de 1 Eje	24
3. ANALISIS TECNICO-ECONOMICO	26
Preamble.....	26
Casos de Estudio	26
3.1.1 Ubicación:	28
3.1.2 Clima:	28
CASO A: PRODUCCION ANUAL MEDIA de 900 MWh	29
3.1.3 Perfil de Carga - Caso A:.....	30
3.1.4 Escenario 1 – Montaje Fijo.....	31
3.1.5 Escenario 2 – Perseguidor Solar 1 Eje	37
CASO B: PRODUCCION ANUAL PROMEDIO DE 46.237 MWp	43
3.1.6 Escenario 3 – Montaje Fijo.....	44
3.1.7 Escenario 4 – Perseguidor Solar 1 Eje Horizontal	48
3.1.8 Escenario 5 – Perseguidor Solar 2 Ejes.....	52
4. Conclusiones	56
Conclusiones - Caso A.....	56
Conclusiones - Caso B	59

5. Referencias 62

Tabla 1 Producción mensual Escenario 1 - Caso A	33
Tabla 2 Producción mensual Escenario 2 - Caso A	39
Tabla 3 Producción mensual Escenario 3 - Caso B	45
Tabla 4 Producción mensual Escenario 4 - Caso B	49
Tabla 5 Producción mensual Escenario 5 - Caso B	53
Tabla 6 Comparativa Escenarios del Caso A	56
Tabla 7 Comparativa de Producción por tipo de Montaje – Escenario 2	57
Tabla 8 Comparativa Escenarios del Caso B	59
Tabla 9 Comparativa de Producción por tipo de Montaje – Escenario 3	60

Fig. 1 Mapa de radiación solar media anual de la República Dominicana	15
Fig. 2 Potencia Instalada por Fuente primaria de Energía	17
Fig. 3 Aspecto de un panel solar de 365 Wp JA Solar	18
Fig. 4 Especificaciones Técnicas del Panel Solar JA Solar 365 Wp	19
Fig. 5 Inversor solar SMA STP 50	19
Fig. 6 Inversor Solar SMA Sunny Central 2500 EV	19
Fig. 7 Parámetros Técnicos Inversor SMA STP 50 kW (AC)	20
Fig. 8 Parámetros Técnicos Inversor Solar SMA 2500 EV	20
Fig. 9 Montaje Fijo	21
Fig. 10 Seguidor Solar de 1 Eje	21
Fig. 11 Seguidor Solar de 2 Ejes	21
Fig. 12 Comportamiento de un Sistema PV en Montaje Fijo	22
Fig. 13 Azimut de un Sistema PV en Montaje Fijo	23
Fig. 14 Angulo de Incidencia Sistema PV con Montaje Fijo	23
Fig. 15 Comportamiento de un Sistema PV con Seguidores Solares de 1 Eje	24
Fig. 16 Azimut de un Sistema PV con Seguidor Solar de 1 Eje	24
Fig. 17 Angulo de Incidencia de Sistemas PV con Seguidor Solar de 1 Eje	25
Fig. 18 Irradiación Global Anual Lat/Long	28
Fig. 19 Variación de la Temperatura Lat/Long	28
Fig. 20 Comparativa Escenarios Caso A	29
Fig. 21 Perfil de consumo Caso A	30
Fig. 22 Representación Azimut e Inclinación	31
Fig. 23 Producción mensual (kWh) Escenario 1 - Caso A	33
Fig. 24 Consumo Vs Producción Escenario 1 - Caso A	34
Fig. 25 Representación Azimut e inclinación perseguidor solar 1 Eje	37
Fig. 26 Producción mensual (kWh) Escenario 2 - caso A	39
Fig. 27 Producción vs Consumo Escenario 2 - Caso A	40
Fig. 28 Comparativa Escenarios del Caso B	43
Fig. 29 Planta Fotovoltaica con Montaje Fijo	44
Fig. 30 Producción mensual Escenario 3 - Caso B	45
Fig. 31 Planta Fotovoltaica con Seguidores Solares de 1 Eje	48
Fig. 32 Producción mensual Escenario 4 - Caso B	49
Fig. 33 Planta fotovoltaica con seguidor solar de 2 Ejes	52
Fig. 34 Producción mensual Escenario 5 - Caso B	53
Fig. 35 Comparativa Escenarios - Caso A	56
Fig. 36 Comparativa Escenarios - Caso B	59

A^*	Conjugado
c.t.p.	En casi todos los puntos
c.q.d.	Como queríamos demostrar
■	Como queríamos demostrar
e.o.c.	En cualquier otro caso
e	número e
Re	Parte real
Im	Parte imaginaria
sen	Función seno
tg	Función tangente
arctg	Función arco tangente
sen	Función seno
$\sin^x y$	Función seno de x elevado a y
$\cos^x y$	Función coseno de x elevado a y
Sa	Función sampling
sgn	Función signo
rect	Función rectángula
Sinc	Función sinc
$\partial y \partial x$	Derivada parcial de y respecto
x°	Notación de grado, x grados.
$\Pr(A)$	Probabilidad del suceso A
SNR	Signal-to-noise ratio
MSE	Minimum square error
:	Tal que
<	Menor o igual
>	Mayor o igual
\	Backslash
\Leftrightarrow	Si y sólo si

GENERALIDADES DE LA REP. DOMINICANA

República Dominicana es un país del caribe, ubicado específicamente en la isla de la Hispaniola. Es un país con un clima tropical muy variado. Rico en sol, pero también en tormentas tropicales. Al mismo tiempo conteniente de variantes climatológicas que oscilan de semiárido hasta muy húmedo. Goza de una temperatura anual media anual de 25° centígrados, la misma temperatura que definen como optima los fabricantes de paneles solares para su funcionamiento. El país se encuentra ubicado en la Latitud: 18°28'35"N y Longitud: 69°53'36"O.

1.1.1 Potencial Solar

La Comisión Nacional de Energía de la República Dominicana concluyo que el país goza de una gran capacidad de aprovechamiento solar, tanto es así, que se estima que se pudiera cubrir toda la demanda eléctrica del país únicamente con generación fotovoltaica y termo-solar. Tiene una irradiación solar casi constante durante todo el año, con un nivel promedio de 5 a 7 kWh/m²/día de Irradiancia Global Horizontal (GHI) como se puede observar en la **Fig. 1**. Entre las dos ciudades más grandes del país Santo Domingo (en la zona Sur) y Santiago (en la zona Centro-Norte) no existe diferencia, ya que ambas promedian más de 5 kWh/m²/día durante todo el año independientemente que tienen climas y ubicaciones geográficas distintas dentro de la isla (*Comision Nacional de Energía*).

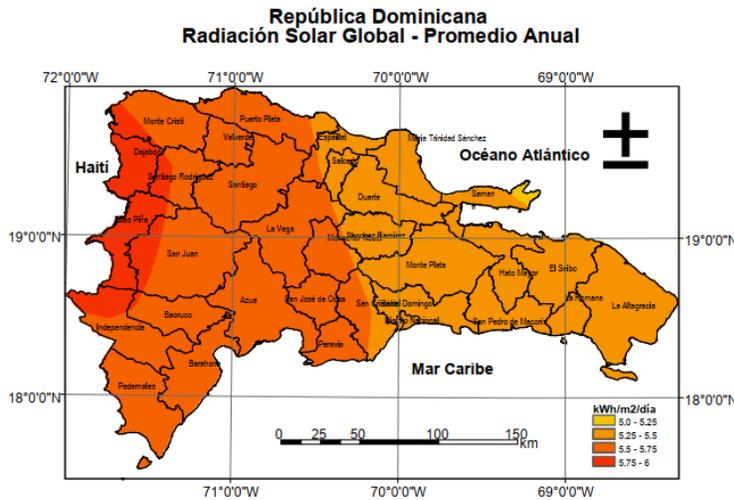


Fig. 1 Mapa de radiación solar media anual de la República Dominicana

para producir energía. La Fotovoltaica, dependiente de un módulo solar que convierte luz solar directamente a electricidad, y la Termo-solar, capaz de convertir la luz solar en calor para posteriormente generar un empuje a una turbina. El rango de penetración de ambas tecnologías en el país es distinto, marcado por la rentabilidad y viabilidad de instalación entre tecnologías. La generación eléctrica basada en la tecnología Termo-solar sólo es eficiente a gran escala, por lo tanto, son utilizadas como centrales generadoras de venta de energía. En cambio, la generación basada en la tecnología fotovoltaica es de carácter modular y puede tener también una aplicación distribuida, por lo que constituye el objeto de este trabajo.

Actualmente la Republica Dominicana tiene inversión fotovoltaica en todos los sectores: generación, industrial, empresarial y personal o doméstica, como consecuencia de las condiciones favorables existentes en el país.

1.1.2 Incentivo a las Energías Renovables

En virtud de buscar el desarrollo de las energías renovables, el estado dominicano se vio en la necesidad de crear una ley que propiciara el uso de estas tecnologías y fuese atractiva para los inversores. La ley desarrollada fue la ley 57-00: Sobre Incentivo al Desarrollo de Fuentes Renovables de Energía y sus Regímenes Especiales (Dominicana, Gobierno de la Republica, 2007)

Para la comprensión de los estudios económicos realizado en este documento, es necesario saber específicamente dos artículos contenido en esta ley: los artículos 9 y 12. Ambos artículos establecen un beneficio fiscal al inversor de instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo, generando una reducción en la amortización final del sistema instalado.

Los citados artículos establecen lo siguiente:

Artículo 9.- Exención de impuestos. La Comisión Nacional de Energía (CNE) recomendará la exención de todo tipo de impuestos de importación a los equipos, maquinarias y accesorios importados por las empresas o personas individuales, necesarios 26 Ley número 57-07 para la producción de energía de fuentes renovables contemplados en el PÁRRAFO II del presente artículo, que de acuerdo con el reglamento de la presente ley apliquen a los incentivos que ésta crea. La exención será del 100% de dichos impuestos. Este incentivo incluye también la importación de los equipos de transformación, transmisión e interconexión de energía eléctrica al SENI. Para los proyectos basados en fuentes renovables, que cumplan con esta ley. Los equipos y materiales dentro de este capítulo quedan también exentos del pago del Impuesto de Transferencia a los Bienes Industrializados y Servicios (ITBIS) y de todos los impuestos a la venta final. PÁRRAFO I.- La CNE previa consulta con el Organismo Asesor, recomendará en su informe anual al Congreso Nacional la ampliación de la lista de equipos, partes y sistemas que por su utilidad y por el uso de fuentes renovables de energía sean susceptibles de beneficiarse en el futuro del régimen de exenciones consignado en este Capítulo. PÁRRAFO II.- Lista de equipos, partes y sistemas a recibir exención aduanera inicial son las siguientes: a. Paneles fotovoltaicos y celdas solares individuales para ensamblar los paneles en el país. (partidas aduanales: 85.41, 8541.40, 8541.40.10 y 8541.90.00); b. Acumuladores estacionarios de larga duración; c. Inversores y/o convertidores indispensables para el funcionamiento de los sistemas de energías renovables; d. Las pilas de combustible y los equipos y aparatos destinados a la generación de hidrógeno; e. Equipos generadores de hidrógeno y sus purificadores, rectificadores y medidores para producción partiendo del agua, alcohol o biomasa; Ley número 57-07 27 f. Inversores sincrónicos para poder despachar a la red la energía sobrante en la medición neta;

Artículo 12.- Incentivo fiscal a los autoproductores. En función de la tecnología de energías renovables asociada a cada proyecto, se otorga hasta un 40% del costo de la inversión en equipos, como crédito único al impuesto sobre la renta, a los propietarios o inquilinos de viviendas familiares, casas comerciales o industriales que cambien o amplíen para sistemas de fuentes renovables en la provisión de su autoconsumo energético privado Ley número 57-07 29 y cuyos proyectos hayan sido aprobados por los organismos competentes. Dicho crédito fiscal será descontado en los tres (3) años siguientes al impuesto sobre la renta anual a ser pagado por el beneficiario del mismo en proporción del 33.33%. La Dirección General de Impuestos Internos, requerirá una certificación de la Comisión Nacional de Energía respecto a la autenticidad de dicha solicitud. La CNE y la Dirección General de Impuestos Internos regularán el procedimiento de obtención de este incentivo fiscal. Párrafo. - Los reglamentos incluirán los límites de incentivos aplicables a cada tecnología.

1.1.3 Matriz de Generación Eléctrica Dominicana

Según la Asociación Dominicana de Industria Eléctricas (ADIE), la capacidad instalada total del Sistema Eléctrico Nacional Interconectado al mes de abril de 2018 es de unos 3713,5 MW. De estos, unos 2902,8 MW son de origen convencional representando un 78% del total general, 135 MW son provenientes de centrales eólicas para un 3,6%, 30 MW solar fotovoltaica que representa un 0,8%, 30 MW provienen de biomasa representando un 0,8% también y finalmente 616 MW son de origen hídrico, siendo esto un 16,7% de la capacidad total instalada (Asociacion Dominicana de Industria Eléctrica, n.d.)

. La **Fig 2**, obtenida de (Asociacion Dominicana de Industria Eléctrica, n.d.), detalla la potencia instalada interconectada al sistema eléctrico dominicano por tipo de combustible para abril 2018:

TABLA 5: CAPACIDAD INSTALADA POR FUENTE PRIMARIA DE ENERGÍA			
FUENTE PRIMARIA DE ENERGÍA	POTENCIA (MW)	FUENTE PRIMARIA DE ENERGÍA	POTENCIA (MW)
AGUA	616.0	GAS NATURAL Y FUEL #6	108.0
VIENTO	134.8	CARBÓN	305.6
SOL	30.0	DERIVADOS DEL PETRÓLEO	1820.2
BIOMASA	30.0		
GAS NATURAL	669.0	TOTAL	3,713.5

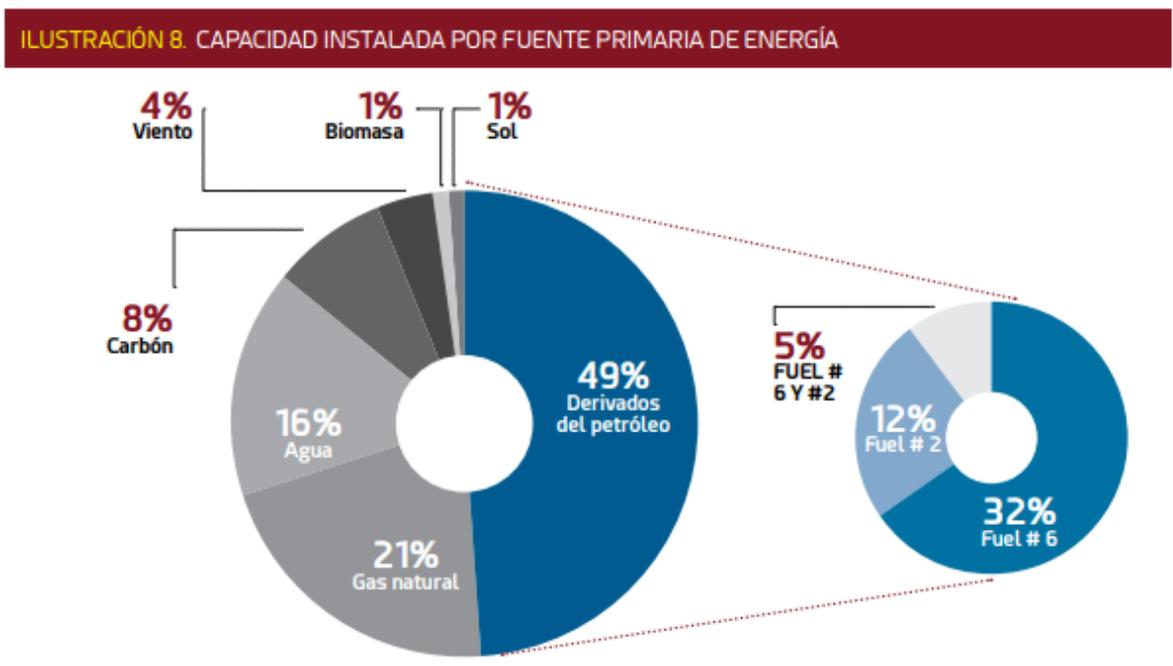


Fig. 2 Potencia Instalada por Fuente primaria de Energía

COMPONENTES DE LOS SISTEMAS PV

Los casos de estudios representados en los capítulos siguientes están basados en la tecnología solar fotovoltaica. Esta tecnología es una de las más limpias, simple y abundante a nivel global (Acciona, n.d.). En los últimos años esta tecnología, capaz de convertir la energía de los rayos solares en electricidad, ha ido mejorando las múltiples variables que la conforman como lo son su fiabilidad, eficiencia y su coste. Es por esto que sin duda hoy en día es una de las tecnologías con mayor tasa de crecimiento en el mundo.

Para poder comprender los análisis económicos que se realizan en lo adelante, es necesario conocer los principales elementos que componen una instalación basada en esta tecnología.

PANEL SOLAR

Los paneles solares son dispositivos que convierten la energía de la luz solar en electricidad. Un panel solar es una colección de células solares distribuidas en un área. Dependiendo de la cantidad de células integradas en el panel, la potencia capaz de entregar el panel será mayor o menor. La **Fig. 2**, tomada de (The Power Store, n.d.), muestra el aspecto de un panel solar fotovoltaico de 72 celdas capaz de suministrar una potencia pico de 365 vatios DC marca JA solar.



Fig. 3 Aspecto de un panel solar de 365 Wp JA Solar

Las células solares normalmente están hechas de silicio y por lo general son las más eficientes. Las celdas solares, también llamadas celdas fotovoltaicas son las encargadas de convertir los rayos solares en electricidad. El desarrollo en estas celdas ha ido mejorando su funcionamiento y eficiencia logrando un incremento en la cantidad de electricidad capaz de procesar en una misma área de trabajo.

El modelo de panel solar utilizado en los estudios económicos contemplados en el **Capítulo 4** fue el modelo JA Solar de 365 Wp, estos módulos de doble vidrio ensamblado con celdas bifaciales tienen la capacidad de convertir las luces incidentes en su parte trasera en electricidad además de lo que se genera en la parte frontal, lo que los convierte en los módulos solares con el mayor desempeño y rentabilidad en términos de generación eléctrica, así como a la tolerancia a entornos hostiles y condiciones climáticas extremas (JA Solar, n.d.).

La **Fig. 3** muestra las especificaciones técnicas del panel utilizado obtenida de (JA Solar, n.d.), específicamente los valores contenidos en el recuadro rojo.

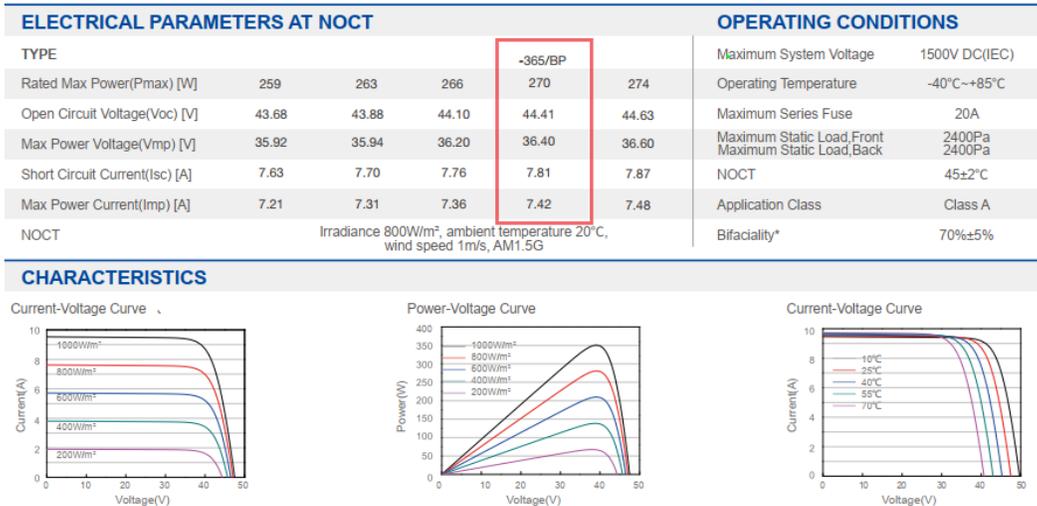


Fig. 4 Especificaciones Técnicas del Panel Solar JA Solar 365 Wp

INVERSOR FOTOVOLTAICO

El inversor fotovoltaico es uno de los componentes más importantes en una instalación fotovoltaica. Es el dispositivo encargado de convertir la corriente directa o continua procedente del sistema fotovoltaico a corriente alterna (AC). Esta corriente alterna es la que se inyecta a la red eléctrica donde está interconectado el sistema. Los inversores son capaces de manejar distintas potencias dependiendo de su capacidad.



Fig. 5 Inversor solar SMA STP 50



Fig. 6 Inversor Solar SMA Sunny Central 2500 EV

La Fig. 4 corresponden a los inversores utilizados en los estudios económicos desarrollados en el Caso A del Capítulo 4, donde los inversores utilizados tienen una potencia de salida de 50 kW (AC) y unos

parámetros técnicos resumidos en la Fig. 6. En cuanto al Caso B, los escenarios estudiados contemplan inversores solares de mayor potencia debido al sistema implementado, correspondiente al inversor SMA Sunny Central de 2500 kW (AC) representado en la Fig. 5. Los parámetros técnicos de este inversor están resumidos en la Fig. 7.

Input (DC)		Efficiency	
Max. generator power	75000 Wp STC	Max. efficiency / European efficiency	98.1% / 97.8%
Max. input voltage	1000 V	General data	
MPP voltage range / rated input voltage	500 V to 800 V / 670 V	Dimensions (W/H/D)	621 mm / 733 mm / 569 mm (24.4 in / 28.8 in / 22.4 in)
Min. input voltage / start input voltage	150 V / 188 V	Weight	84 kg (185 lb)
Max. operating input current / per MPPT	120 A / 20 A	Operating temperature range	-25°C to +60°C (-13°F to +140°F)
Max. short circuit current per MPPT / per string input	30A / 30A	Noise emission (typical)	< 65 dB(A)
Number of independent MPPT inputs / strings per MPPT input	6 / 2	Self-consumption (at night)	4.8 W
Output (AC)		Topology / Cooling concept	Transformerless / OptiCool
Rated power (at 230 V, 50 Hz)	50000 W	Degree of protection (as per IEC 60529)	IP65
Max. apparent AC power	50000 VA	Climatic category (according to IEC 60721-3-4)	4K4H
AC nominal voltage	220 V / 380 V 230 V / 400 V 240 V / 415 V	Max. permissible value for relative humidity (non-condensing)	100%
AC voltage range	202 V to 305 V	Features / functions / accessories	
AC grid frequency / range	50 Hz / 44 Hz to 55 Hz 60 Hz / 54 Hz to 65 Hz	DC connection / AC connection	SUNCLIX / screw terminal
Rated power frequency / rated grid voltage	50 Hz / 230 V	Mounting feet	●
Max. output current / Rated output current	72.5 A / 72.5 A	LED indicators (status / fault / communication)	●
Output phases / AC connection	3 / 3-[N]-PE	Interface: Ethernet / WLAN / RS485	● [2 ports] / ● / ○
Power factor at rated power / Adjustable displacement power factor	1 / 0.0 leading to 0.0 lagging	Data interface: SMA Modbus / SunSpec Modbus / Speedwire, Webconnect	● / ● / ●
THD	< 3%	MultiFunction relay / Expansion Module Slots	● / ● (2 ports)
Protective devices		OptiTrac Global Peak / Integrated Plant Control / Q on Demand 24/7	● / ● / ●
		Off-grid capable / SMA Fuel Save Controller compatible	● / ●
		Guarantee: 5/10/15/20 years	● / ○ / ○ / ○

Fig. 7 Parámetros Técnicos Inversor SMA STP 50 kW (AC)

SUNNY CENTRAL 1500 V

Technical Data	Sunny Central 2500-EV	Sunny Central 2750-EV	Sunny Central 3000-EV
Input (DC)			
MPP voltage range V_{DC} (at 25°C / at 35°C / at 50°C)	850 V to 1425 V / 1200 V / 1200 V	875 V to 1425 V / 1200 V / 1200 V	956 V to 1425 V / 1200 V / 1200 V
Min. input voltage $V_{DC, min}$ / Start voltage $V_{DC, start}$	778 V / 928 V	849 V / 999 V	927 V / 1077 V
Max. input voltage $V_{DC, max}$	1500 V	1500 V	1500 V
Max. input current $I_{DC, max}$ (at 35°C / at 50°C)	3200 A / 2956 A	3200 A / 2956 A	3200 A / 2970 A
Max. short-circuit current rating	6400 A	6400 A	6400 A
Number of DC inputs	24 double pole fused (32 single pole fused) for PV		
Number of DC inputs with optional DC battery coupling	18 double pole fused (36 single pole fused) for PV and 6 double pole fused for batteries		
Max. number of DC cables per DC input (for each polarity)	2 x 800 kcmil, 2 x 400 mm ²		
Integrated zone monitoring	○		
Available DC fuse sizes (per input)	200 A, 250 A, 315 A, 350 A, 400 A, 450 A, 500 A		
Output (AC)			
Nominal AC power at $\cos \phi = 1$ (at 35°C / at 50°C)	2500 kVA / 2250 kVA	2750 kVA / 2500 kVA	3000 kVA / 2700 kVA
Nominal AC power at $\cos \phi = 0.8$ (at 35°C / at 50°C)	2000 kW / 1800 kW	2200 kW / 2000 kW	2400 kW / 2160 kW
Nominal AC current $I_{AC, max} = \text{Max. output current } I_{AC, max}$	2624 A	2646 A	2646 A
Max. total harmonic distortion	< 3% at nominal power	< 3% at nominal power	< 3% at nominal power
Nominal AC voltage / nominal AC voltage range ^{1) 8)}	550 V / 440 V to 660 V	600 V / 480 V to 690 V	655 V / 524 V to 721 V ⁹⁾
AC power frequency	50 Hz / 47 Hz to 53 Hz 60 Hz / 57 Hz to 63 Hz		
Min. short-circuit ratio at the AC terminals ¹⁰⁾	> 2		
Power factor at rated power / displacement power factor adjustable ^{8) 11)}	● 1 / 0.8 overexcited to 0.8 underexcited ○ 1 / 0.0 overexcited to 0.0 underexcited		
Efficiency			
Max. efficiency ²⁾ / European efficiency ²⁾ / CEC efficiency ³⁾	98.6% / 98.3% / 98.0%	98.7% / 98.5% / 98.5%	98.8% / 98.6% / 98.5%
Protective Devices			
Input-side disconnection point	DC load-break switch		
Output-side disconnection point	AC circuit breaker		
DC overvoltage protection	Surge arrester, type I		
AC overvoltage protection (optional)	Surge arrester, class I		
Lightning protection (according to IEC 62305-1)	Lightning Protection Level III		

Fig. 8 Parámetros Técnicos Inversor Solar SMA 2500 EV

TIPO DE MONTAJE

La variación de los estudios económicos realizados en el capítulo 3 dependen del tipo de montaje utilizado, por lo que, resulta de interés abarcar y hacer énfasis en esta sección para comprender el funcionamiento y como afecta a las instalaciones fotovoltaica cada uno. Son 3 los tipos de montajes abarcado en el estudio:

- Montaje en Estructura Fija
- Montaje con Perseguidor Solar de 1 Eje
- Montaje con Perseguidor Solar de 2 Eje

Inicialmente los paneles solares se ubicaban con ángulo e inclinación fija, como puede observarse en la **Fig. 8**, para que los rayos del sol de medio día fueran aprovechados a su máxima capacidad. Sin embargo, esta práctica no permitía el aprovechamiento óptimo de la energía entregada por el sol en las horas de la mañana y la tarde, limitando así la cantidad total de energía capaz de entregar en un día. En vista de esta problemática resultan los perseguidores solares.

Un sistema de perseguidor solar en cambio maximiza la producción de electricidad de un sistema PV al mover los paneles para seguir el sol a lo largo del día, optimizando el ángulo en el que sus paneles reciben la radiación solar diaria. Los perseguidores solares se suelen utilizar para paneles solares montados en el suelo y normalmente para grandes instalaciones. Por lo general, no se utilizan en la mayoría de los proyectos solares residenciales, pero tienen un lugar en el mercado de energía solar comercial e industrial.

Cuando los paneles solares están expuestos a la luz solar, el ángulo en el que los rayos del sol se encuentran con la superficie del panel solar (ángulo de incidencia) determina qué tan bien el panel puede convertir la luz entrante en electricidad. Cuanto más estrecho sea el ángulo de incidencia, más energía puede producir un panel fotovoltaico. Los seguidores solares ayudan a minimizar este ángulo trabajando para orientar los paneles de modo que la luz los golpee perpendicularmente a su superficie.

Existen dos tipos de sistemas de perseguidores solares: de un solo eje y de dos ejes.

- **Perseguidor solar de 1 Eje:** mueve sus paneles en un eje de movimiento, generalmente alineado con el norte y el sur. Estas configuraciones permiten que los paneles giren de este a oeste y siguen el sol a medida que amanece y anochece, como se aprecia en la **Fig. 9**.
- **Perseguidor solar de 2 Ejes:** permite que sus paneles se muevan en dos ejes, alineados tanto de norte a sur como de este a oeste. Este tipo de sistema está diseñado para maximizar su colección de energía solar durante todo el año. Puede rastrear variaciones estacionales en la altura del sol además del movimiento diario normal, su representación más habitual se ve en la **Fig. 10**.



Fig. 9 Montaje Fijo



Fig. 10 Seguidor Solar de 1 Eje



Fig. 11 Seguidor Solar de 2 Ejes

A continuación, analizaremos el comportamiento de los sistemas PV dependiendo el tipo de montaje utilizado.

1.1.4 Comportamiento del Sistema PV con Montaje Fijo

El montaje en estructura fija como su nombre lo indica es aquel que posiciona los módulos solares en una inclinación y orientación fija durante el año. En la Republica Dominicana el posicionamiento optimo para este tipo de montaje es 18° de inclinación y orientación Sur franco (180°). Para comprender el funcionamiento de una instalación fotovoltaica con este tipo de montaje, analizaremos la **Fig. 11** en la que se muestra el comportamiento del Sistema PV de 584 kW (DC) instalado en montaje fijo a medida que transcurre un día solar. La gráfica presenta el comportamiento del sistema PV desarrollado en el Escenario 1 contenido en el Capítulo 4.

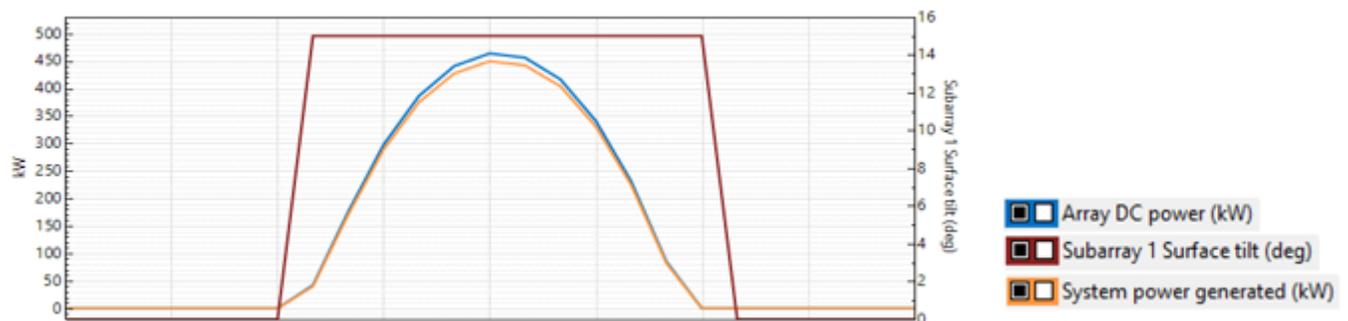


Fig. 12 Comportamiento de un Sistema PV en Montaje Fijo

En la **Fig. 11** se puede apreciar la potencia entregada por los paneles solares **kW (DC)** representada por la línea azul, teniendo esta línea una variación a lo largo del día ocasionada por la posición del sol, siendo el medio día el momento de menor ángulo de incidencia generando el punto máximo de potencia aprovechable. La línea naranja representa la potencia de salida suministrada por los inversores **kW (AC)** la cual muestra el comportamiento de los inversores, que varían dependiendo de la electricidad procesada por los paneles solares, por ende, siguen el mismo patrón que la línea azul, se puede notar que la línea naranja tiene una menor salida de potencia, generada por las pérdidas en las que incurre en el inversor y los materiales eléctricos.

También puede observarse en la **Fig. 11** una línea de color Borgoña, donde se representa la inclinación de los paneles solares, fijos a 15° para este caso, como puede verse en el eje de ordenada derecho. En cuanto a la orientación de los paneles solares, como se observa en la **Fig. 12**, que al estar instalados en este tipo de montaje poseen también una orientación fijada hacia el sur franco, osea a 180° .

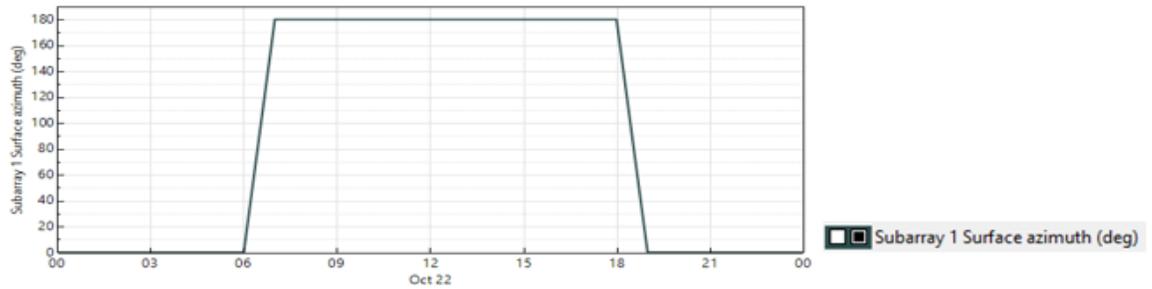


Fig. 13 Azimut de un Sistema PV en Montaje Fijo

Como se ha venido comentando, la finalidad de los seguidores solares es minimizar el ángulo de incidencia entre los paneles solares y el sol. En la **Fig. 13** se observa el comportamiento del ángulo de incidencia en este tipo de sistema con montaje fijo a lo largo del año, pudiéndose notar un patrón casi igualitario entre los meses y las estaciones del año, disminuyendo a su punto mínimo al medio día, ocasionando la mayor salida de potencia obtenible representada por la línea azul de la **Fig. 11**. Este comportamiento mejora con la implementación de seguidores solares.

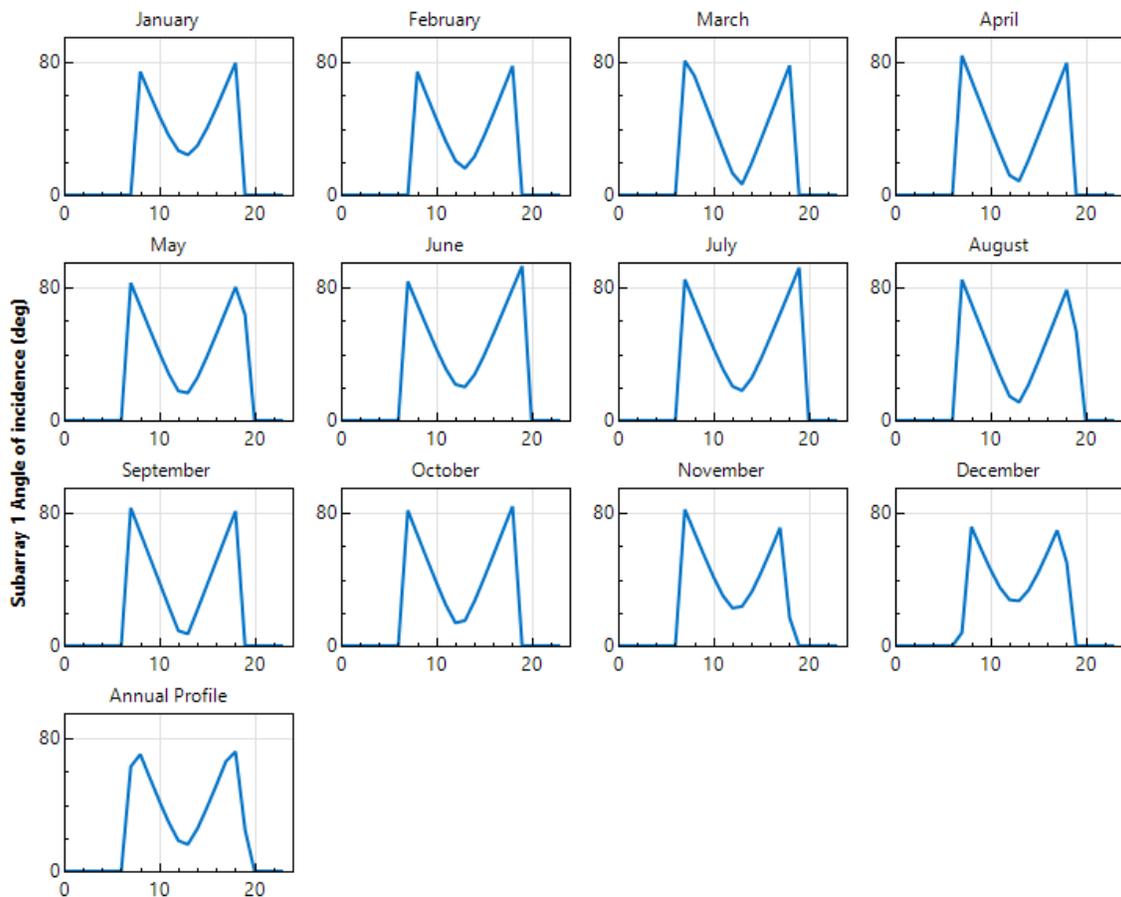


Fig. 14 Angulo de Incidencia Sistema PV con Montaje Fijo

1.1.5 Comportamiento del Sistema PV con Montaje de 1 Eje

Los seguidores solares de 1 Eje actualmente son los más implementados a gran escala, utilizado para maximizar la producción eléctrica de los sistemas PV. A continuación, veremos el comportamiento del sistema desarrollado en el Escenario 2 del Capítulo 3, un sistema PV de 499.32 kW (DC) en montaje con seguidor solar de 1 eje. La **Fig. 14** representa el comportamiento a lo largo de un día del sistema PV instalado con seguidores solares de 1 Eje.

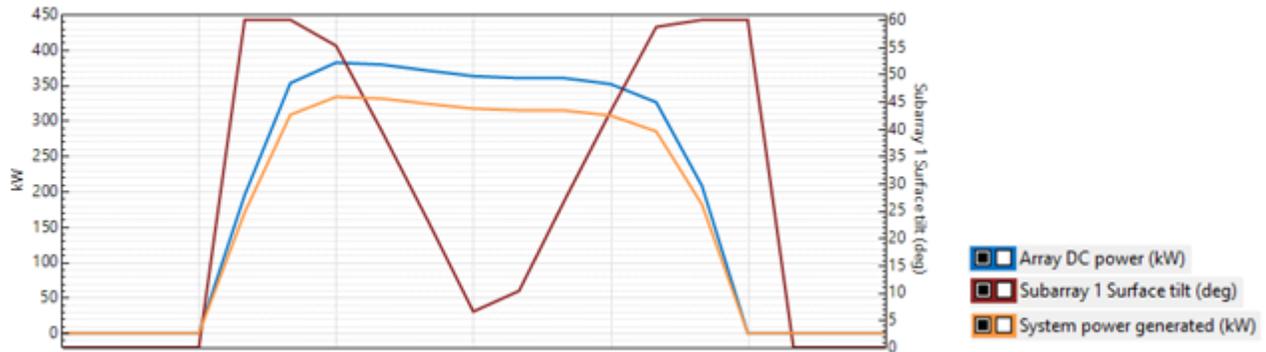


Fig. 15 Comportamiento de un Sistema PV con Seguidores Solares de 1 Eje

Iniciaremos analizando la representación del Azimut, como se observa en la **Fig. 15**, y la inclinación (Línea Borgoña), representada en la **Fig. 14**, ambas con variaciones entre el amanecer y el atardecer. Estas variaciones generadas por el movimiento del seguidor solar utilizado con un ángulo de giro de ± 60 grados. Se aprecia como el azimut entre las 9:00 y las 12:00 horas se fija a 90° , es decir posicionados al Este. A partir de las 12:00 vemos como fluctúa el seguidor hasta 270° , ubicando los paneles hacia el Oeste. En cuanto a la inclinación (Línea Borgoña) se percibe como en la mañana y la tarde el seguidor solar se posiciona con una inclinación de 60° . A medida que pasan las horas se ve como la inclinación varía, llegando hasta casi 5° a las 12:00.

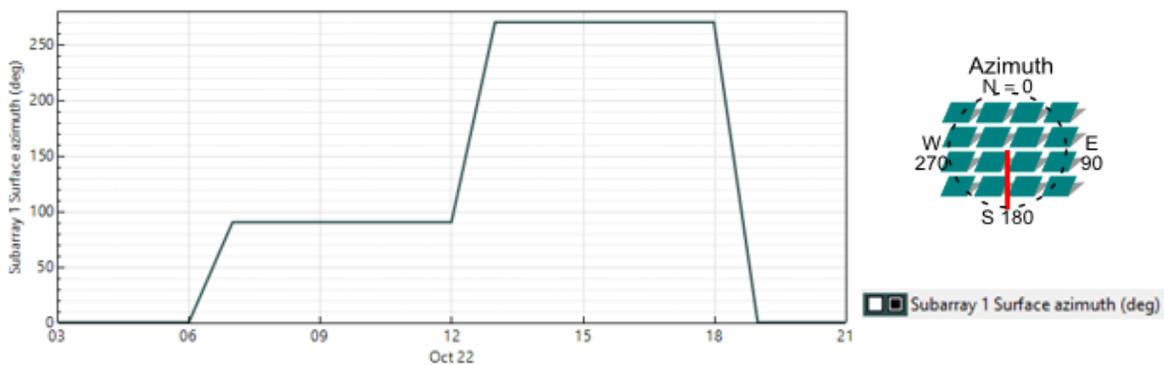


Fig. 16 Azimut de un Sistema PV con Seguidor Solar de 1 Eje

Este comportamiento dinámico del sistema con seguidores solares ocasiona un mayor aprovechamiento de los rayos solares que puede ser apreciado en las potencias del sistema, representadas por las líneas azul y naranja de la **Fig. 14**. La línea azul, es la potencia procesada por los paneles solares **kW (DC)** y se nota un comportamiento mas constante durante el día. Se puede notar como este sistema alcanza su punto máximo de potencia a las 9:00, a diferencia del sistema con montaje fijo (*véase Fig. II*) que lo alcanza a las 12:00, manteniéndose constante casi hasta las 15:00 horas. Ciertamente se aprecia una degradación durante el día, ocasionada por la variación de la eficiencia del sistema técnicamente sujeta a la temperatura. Debido a que los paneles están más fríos en la mañana, el aprovechamiento es máximo. La diferencia entre la potencia entregada por los paneles solares **kW (DC)** y la potencia de salida entregada por los inversores **kW (AC)**, representada por la línea naranja, es más notoria en este tipo de sistema, debido al consumo ocasionado por el funcionamiento constante de los seguidores solares, generando un consumo energético de hasta casi un 10% anual de la energía producida.

Se ha mencionado la mejora de estos sistemas con relación al ángulo de incidencia que, a diferencia de los sistemas con montaje fijo donde la variación del ángulo es generada por el movimiento del sol únicamente, estos sistemas con seguidores solares reducen ese ángulo con el movimiento mecánico del montaje. En la **Fig. 16** se puede apreciar la variación del ángulo de incidencia durante el año, variando en consecuencia del movimiento mecánico del seguidor buscando el ángulo óptimo en cada hora del día.

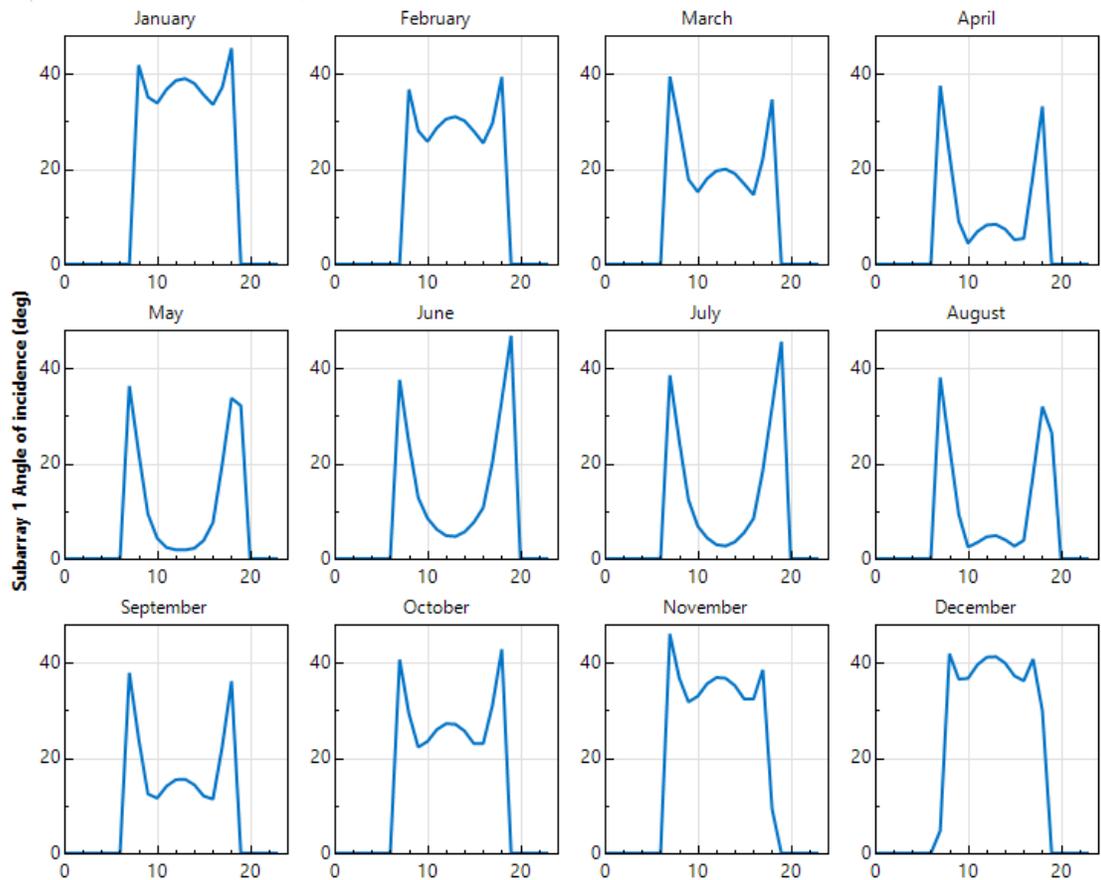


Fig. 17 Angulo de Incidencia de Sistemas PV con Seguidor Solar de 1 Eje

ANALISIS TECNICO-ECONOMICO

PREAMBULO

Los siguientes estudios serán estimaciones aplicables únicamente a sistemas fotovoltaicos desarrollados en la Republica Dominicana. Los resultados comprendidos en esta sección están afectados por leyes sobre Energías Renovables vigentes en el país y su Ubicación Geográfica.

CASOS DE ESTUDIO

El Capítulo a continuación contiene la evaluación de dos instalaciones fotovoltaicas de diferentes potencias, en las que, se analiza la factibilidad económica de cada una dependiendo del tipo de montaje utilizado. Los casos de estudios contarán con sistemas diseñados sobre Montaje Fijo, Montaje con perseguidor solar en 1 eje y Montaje con perseguidor solar en 2 Ejes.

La finalidad del estudio es tratar de establecer qué método de montaje es más atractivo en la actualidad, conociendo que, las tecnologías envueltas en el sector fotovoltaico han tenido una reducción significativa en sus precios de venta. En adición a esto, la República Dominicana es un país agraciado en cuanto a la radiación solar promedio, por lo que, resulta oportuno comparar y dejar por escritos los resultados obtenidos luego de analizar los escenarios estudiados. Las conclusiones confirmarán si es más viable aún utilizar un Sistema PV con una mayor Potencia instalado en un Montaje Fijo o un Sistema PV de menor Potencia instalado en un Montaje con Perseguidor Solar.

Los casos de estudios se desarrollaron y simularon en el programa llamado System Advisor Model (SAM) creado por el Laboratorio Nacional de Energías Renovables de los Estados Unidos. Se utilizó este programa ya que es de libre uso, además de ser una de las herramientas más completas y potentes del mercado. SAM es una herramienta técnico-económica diseñada para facilitar la toma de decisiones a aquellas personas envueltas en el sector de las energías renovables (National Renewable Energy Laboratory, n.d.).

SAM puede modelar los siguientes tipos de sistemas de energía renovable

- Sistemas fotovoltaicos, desde pequeños techos residenciales hasta grandes sistemas de servicios públicos.
- Almacenamiento de baterías con iones de litio, plomo ácido o baterías de flujo.
- Concentración de sistemas de energía solar para la generación de energía eléctrica, incluyendo canalización parabólica, torre de potencia y Fresnel lineal
- Procesos térmicos industriales a partir de cilindros parabólicos y sistemas lineales de Fresnel.
- Energía eólica, desde turbinas individuales hasta grandes parques eólicos.
- Calentamiento solar de agua
- Generación de energía geotérmica.
- Combustión de biomasa para generación de energía.

- Sistemas fotovoltaicos de alta concentración.

Las conclusiones obtenidas resultaron de la evaluación de dos casos de estudios con capacidad de generación eléctrica anual de:

- **Caso A:** 950 MWh
- **Caso B:** 46237 MWh*

Los estudios se basaron en sistemas capaces de entregar esta cantidad de energía anual ya que resultan ser los óptimo para realizar la comparativa económica entre las variaciones del sistema de montaje. Esto se debe a que el Caso A corresponde a un sistema fotovoltaico capaz de suministrar la mayor potencia admisible bajo el régimen de autoconsumo. Con relación al Caso B, corresponde a un sistema fotovoltaico de venta de energía con una potencia similar a plantas existentes en operación y construcción en la Republica Dominicana.

Ha de mencionarse que la capacidad de generación de cada sistema está sujeta al diseño final de la instalación. En sentido general, cada sistema fotovoltaico se vio afectado por las siguientes variantes:

- Cantidad de Paneles
- Cantidad de Inversores
- Montaje:
 - Estructura Fija
 - Estructura con perseguidor solar de 1 Eje
 - Estructura con perseguidor solar de 2 Ejes

1.1.6 Ubicación:

Los análisis realizados en este documento fueron simulados y diseñados en la República Dominicana, específicamente en la zona sureste del país, con Latitud y Longitud: **18°27'39.00"N, 69°42'30.20"W**.

1.1.7 Clima:

La base de datos meteorológica utilizada para calcular la producción solar en los escenarios de estudios, está sujeta a la ubicación antes mencionada, obtenida de (National Renewable Energy Laboratory, n.d.).

- **Latitud y Longitud:** 18°27'39.00"N, 69°42'30.20"W.

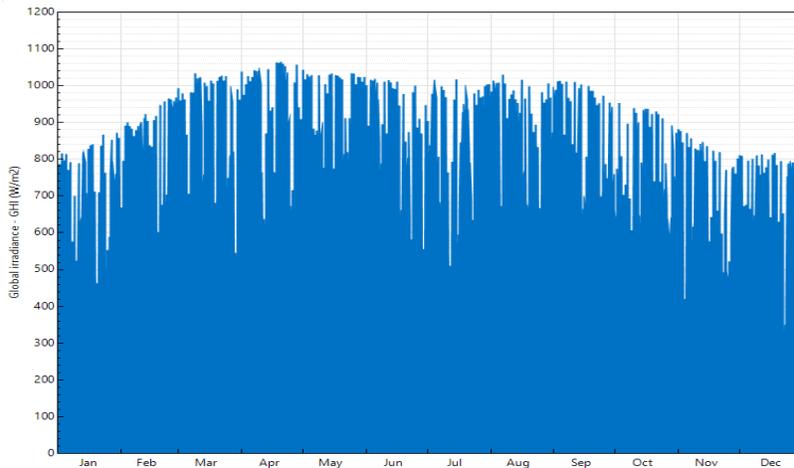


Fig. 18 Irradiación Global Anual Lat/Long

La **Fig. 17** representa el perfil de la Irradiación Global Anual que posee la ubicación seleccionada. La misma tiene una capacidad total anual de **1,983.96 kWh/m²/año** y un promedio diario de **5.43 kWh/m²/día**. En cuanto a la temperatura, la media anual, oscila entre 24 a 30 °C. La **Fig. 18** representa el comportamiento promedio diario de la temperatura en la ubicación mencionada.

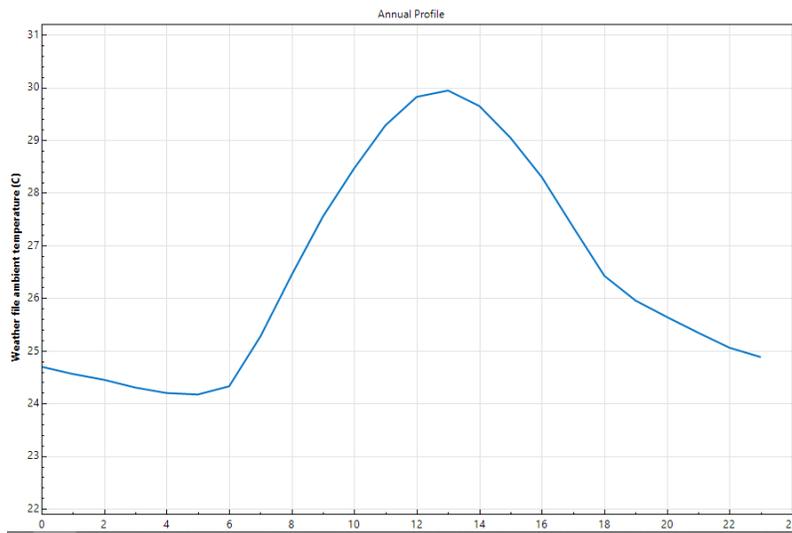


Fig. 19 Variación de la Temperatura Lat/Long

CASO A: PRODUCCION ANUAL MEDIA DE 900 MWH

A continuación, se desarrolla el análisis de dos escenarios posibles para un sistema fotovoltaico capaz de producir un promedio de 900 MWh de energía útil anual. Ambos sistemas tienen capacidad para producir la energía mencionada siendo técnicamente dos sistemas distintos. El E1 es un sistema desarrollado con un montaje fijo mientras que el E2 está compuesto por un montaje con seguidor solar a 1 eje. Los escenarios evaluados se presentan a continuación:

- **Escenario 1 – 584 kWp:**
 - Generación anual 921.4 MWh.
 - Potencia pico del sistema 584 kWp.
 - Potencia de salida 500 kW AC
 - Estructura implementada: Fija.
- **Escenario 2 – 499.32 kWp:**
 - Generación anual 915.4 MWh.
 - Potencia pico del sistema 499.32 kWp.
 - Potencia de salida 450 kW AC
 - Estructura implementada: Perseguidor solar en 1 Eje.

En lo adelante se utilizará **E1** para hacer referencia al escenario 1 y **E2** para hacer referencia al escenario 2.

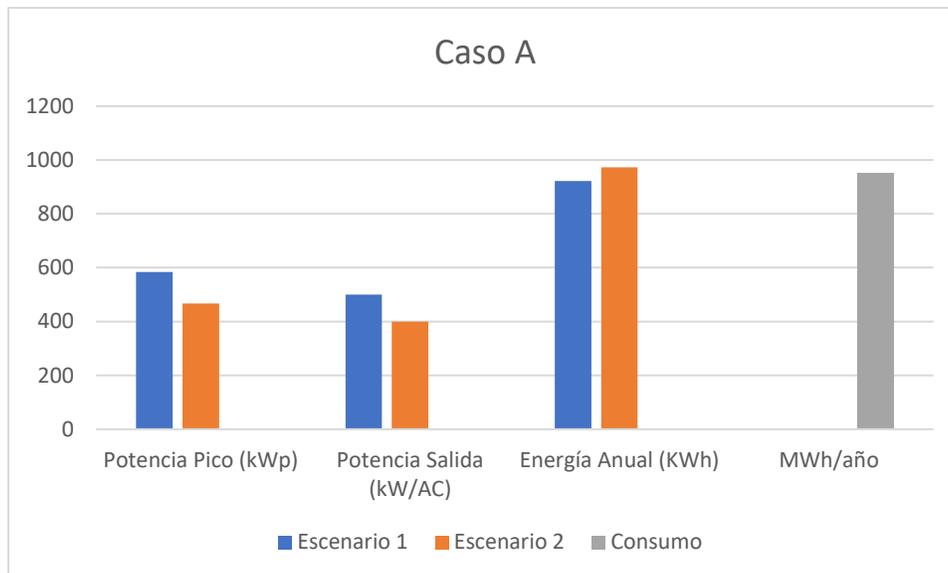


Fig. 20 Comparativa Escenarios Caso A

1.1.8 Perfil de Carga - Caso A:

Los escenarios del caso A se desarrollaron para una instalación comercial con un consumo promedio mensual de **78532 kWh**. Los escenarios se analizaron bajo el reglamento de medición neta (Comision Nacional de Energia, n.d.), por lo que, el análisis es para una instalación de autoconsumo.

A continuación, en la **Fig. 20** se detalla el perfil de consumo anual utilizado en el Caso A:

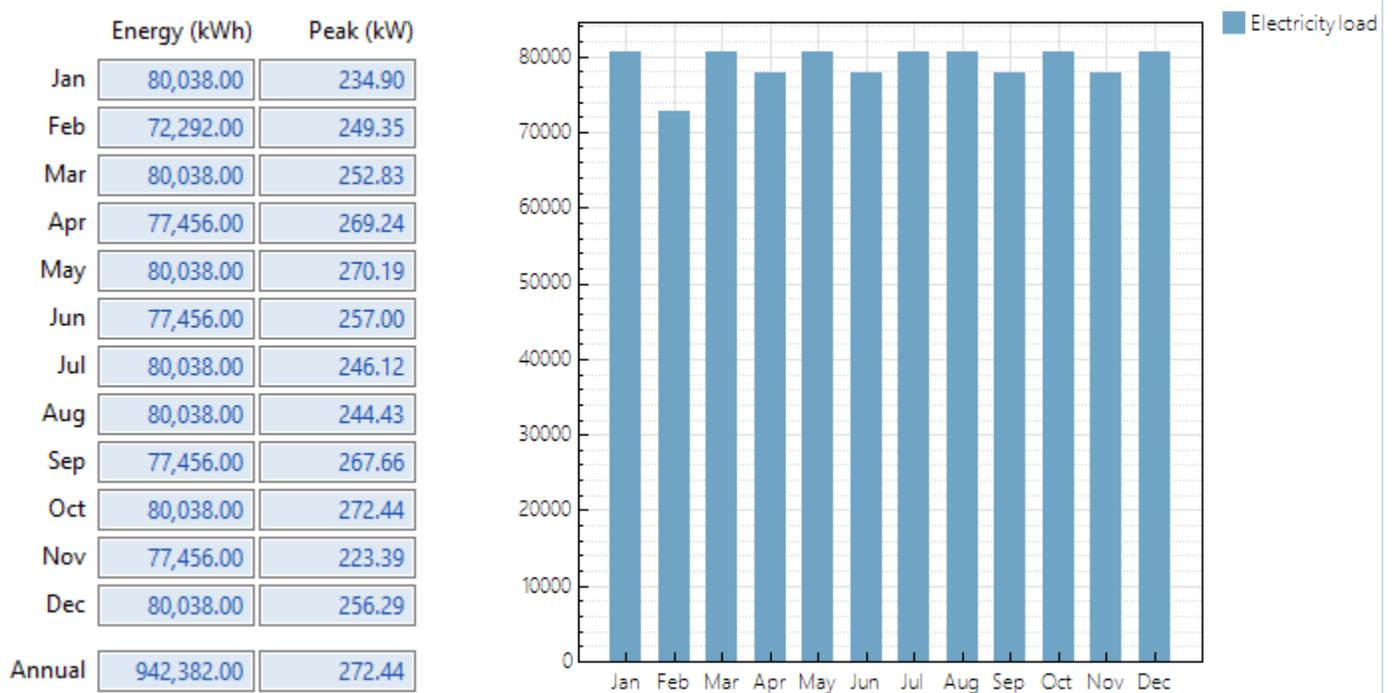


Fig. 21 Perfil de consumo Caso A

1.1.9 Escenario 1 – Montaje Fijo

El primer escenario comprende un sistema PV diseñado sobre montaje fijo con una capacidad de generación eléctrica anual de 921.4 MWh (promedio primeros 10 años). Este sistema tiene una capacidad de potencia de 584 kW (DC) y 500 kW (AC), generadas por un total de 1600 módulos solares y 10 inversores solares de inyección a red. La composición general detallada del sistema se expresa a continuación:

- 1600 módulos solares de 365 W Monocristalinos. Potencia Pico 584 kW (DC).
- 10 inversores trifásicos de inyección a red de 50 kW/AC cada unidad. Potencia Salida 500kW (AC).
- Estructura para 1600 módulos solares en aluminio y acero inoxidable fija y anclada en techo:
 - Azimut 180 grados fijo
 - Inclinación 15 grados fijo

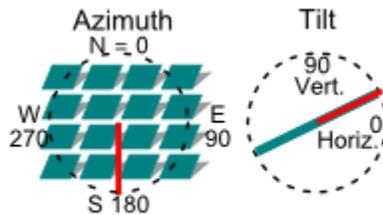


Fig. 22 Representación Azimut e Inclinación

1.1.9.1 Análisis Económico

A continuación, se desarrolla el análisis económico del sistema PV considerado en el caso E1. Los montos detallados a continuación serán utilizados más adelante para el **ROI** del sistema.

El sistema PV de 584 **kW (DC)** descrito en el E1, requiere una inversión total de:

- **Inversión:** 492.300,76 €

Donde el precio por vatio de la instalación es:

- **Precio por Vatio:** 0,84 €/W

Según el Capítulo 1.1.2, sobre la ley 57-00, donde se establece los beneficios a la inversión en Energías Renovables, el monto total que será devuelto por el Estado Dominicano, en forma de crédito fiscal, al titular de la inversión será:

- **Incentivo Fiscal Totalizado:** 191.136,00 Eur

Para el ámbito aplicativo, este incentivo fiscal es obligatorio dividirlo en 3 años en cantidades iguales (33.33%), para ser aplicado en forma de crédito fiscal en los primeros tres años posterior a la puesta en operación del sistema. Para esta instalación el incentivo fiscal a obtener en los primeros tres años será:

Año 1: 63.172 Eur

Año 2: 63.172 Eur

Año 3: 63.172 Eur

Cada año, el inversionista tendrá un crédito disponible por el monto detallado arriba para utilizar a su favor al momento de la declaración de Impuesto anual, generando una deducción a su favor en la materia impositiva.

1.1.9.2 Producción Solar

El Sistema Fotovoltaico de 584 kWdc de potencia tiene una capacidad de generación eléctrica promedio de **78,531 kWh/mes** y **942.4 MWh/años**, en su primer año de funcionamiento. La Tabla 1 y la Fig. 22 detallan la generación estimada del primer año de operación del sistema.

	System AC energy (kWh/mo)
Jan	74794.7
Feb	74087.2
Mar	87265.9
Apr	84124.6
May	85049.6
Jun	77487.9
Jul	79467.8
Aug	81643.7
Sep	79230.7
Oct	76378.9
Nov	71164.2
Dec	71684.9

Tabla 1 Producción Mensual Escenario 1 - caso A

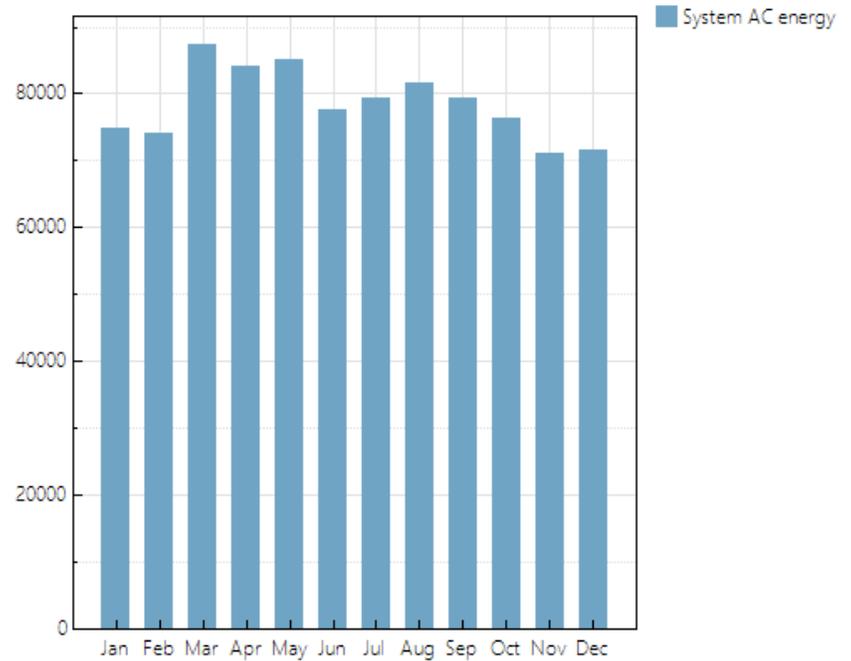


Fig. 23 Producción mensual (kWh) Escenario 1 - Caso A

En la gráfica se puede observar el comportamiento del sistema a medida que varían los meses y las estaciones del año y en consecuencia la radiación directa que puede ser aprovechada por los módulos solares.

1.1.9.3 Producción vs Consumo

Teniendo conocimiento de la capacidad de generación del sistema y el perfil de consumo del Caso A, se puede representar el porcentaje de ahorro del cual es capaz de suministrar el sistema fotovoltaico. Independientemente en los meses donde existe déficit de generación, recalcamos que este escenario se analiza bajo el reglamento de Medición Neta, por lo que la energía generada en exceso puede utilizarse a futuro como crédito, permitiendo que sea posible el ahorro al 100% de la factura eléctrica.

Consumo Promedio	Generación Fotovoltaica	% Ahorro
78532 kWh/mes	78531 kWh/mes	100.00%

Es evidente que, la generación producida por el sistema es capaz de suministrar el 100% de la demanda energética establecida para este caso.

En la **Fig. 23** se representa con mayor detalle el comportamiento del sistema PV frente al perfil de consumo establecido para el Caso A. Como se menciono antes, se aprecia la variación de la generación a medida que evolucionan los meses y las estaciones del año, generando consigo que en algunos meses haya déficit de generación y en otros excesos de generación.

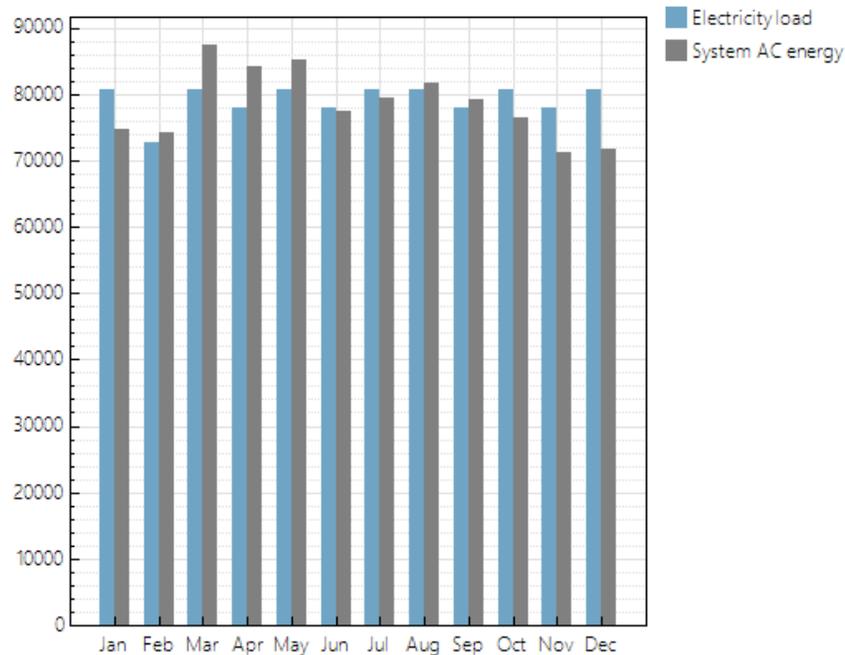


Fig. 24 Consumo Vs Producción Escenario 1 - Caso A

1.1.9.4 Análisis del Retorno de Inversión (ROI):

Teniendo conocimiento de los valores anteriores y la capacidad de generación del sistema PV, procedemos a realizar el análisis de retorno de la inversión del E1:

Inversion Total		Incentivo Fiscal Totalizado		Monto a Amortizar	
€	492.300,76	€	191.136,00	€	301.164,76

Conociendo los valores de la inversión total y el incentivo fiscal totalizado que se obtiene por la inversión realizada en Energías Renovables, se concluye que el monto real de amortización para el E1 es € 301.164,76 Eur, siendo el monto amortizado la diferencia entre el Debito por la Inversión realizada y el Crédito en incentivo fiscal.

Para conocer los beneficios generados por generación eléctrica, monetizamos la generación solar obtenida por el sistema. La tarifa eléctrica utilizada para el análisis es de **0,125 €/kWh**.

Consumo Promedio (Mensual)		Generacion Fotovoltaica (Mensual)		% Ahorro	Factura Estimada	
€	10.186,60	€	10.186,50	100.00%	€	0,10
	78532,47 kWh/mes		78531,68 kWh/mes			0,79 kWh/mes

Con el mismo criterio, totalizamos que el beneficio anual por generación eléctrica es:

Ahorro Energético Promedio Anual (EUR)		Promedio Anual (Kwh)	
€	115.449,22		921.456

Consolidando los beneficios obtenidos por Generación Eléctrica e Incentivo Fiscal durante los tres primeros años, se obtiene:

Concepto	Año 1	Año 2	Año 3
Ahorro en Generación Solar Fotovoltaica (Tarifa establecida)	€ 118.070,66	€ 117.480,30	€ 116.892,94
Incentivo Fiscal (Ley 57-07)	€ 63.712,00	€ 63.712,00	€ 63.712,00
Beneficio Anual	€ 181.782,66	€ 181.192,30	€ 180.604,94
Beneficio Totalizado (Primeros 3 años)	€ 543.579,90		

Observando los beneficios consolidados de los tres primeros años, rápidamente se puede establecer que el retorno de la inversión es menor a 3 años. En la tabla a continuación se muestra el análisis a 10 años del flujo de caja obtenido en este escenario.

Año	Inversión	Incentivo Fiscal	Generación Solar	Balance
1	€ 492,300.76	€ 63,712.00	€ 118,070.66	-€ 310,518.09
2	€ -	€ 63,712.00	€ 117,480.30	-€ 129,325.80
3	€ -	€ 63,712.00	€ 116,892.94	€ 51,279.14
4	€ -	€ -	€ 116,308.46	€ 167,587.60
5	€ -	€ -	€ 115,726.99	€ 283,314.60
6	€ -	€ -	€ 115,148.28	€ 398,462.87
7	€ -	€ -	€ 114,572.57	€ 513,035.44
8	€ -	€ -	€ 113,999.74	€ 627,035.18
9	€ -	€ -	€ 113,429.67	€ 740,464.85
10	€ -	€ -	€ 112,862.61	€ 853,327.46

Analizando la tabla, se destaca que posterior a la inversión inicial únicamente se tiene un flujo de caja negativo en los primeros dos años. Con un tiempo de retorno de la inversión **ROI** de 2.72 años.

1.1.10 Escenario 2 – Perseguidor Solar 1 Eje

El segundo escenario comprende un sistema PV diseñado sobre montaje con perseguidores solares de 1 Eje, con una capacidad de generación eléctrica anual de 915,3 MWh (promedio primero 10 años). Este sistema tiene una capacidad de potencia de 499,32 kW (DC) y 450 kW (AC), generadas por un total de 1368 módulos solares y 9 inversores solares de inyección a red. La composición general detallada del sistema se expresa a continuación:

- 1368 módulos solares de 365 W Monocristalinos. Potencia Pico 499,32 kW (DC).
- 9 inversores trifásicos de inyección a red de 50kW/AC cada unidad. Potencia Salida 450 kW(AC).
- Montaje con perseguidores solares de 1 Eje, para 1368 módulos solares. Azimut Variable ± 60 grados. Inclinación 0.



Fig. 25 Representación Azimut e inclinación perseguidor solar 1 Eje

1.1.10.1 Análisis Económico:

A continuación, se desarrolla el análisis económico del sistema PV comprendido en el E2. Los montos detallados a continuación serán utilizados más adelante para el **ROI** del sistema.

El sistema PV de 499,32 kW (DC) descrito en el E2, requiere una inversión total de:

- **Inversión:** 496.523,81 Eur

Donde el precio por vatio de la instalación es:

- **Precio por Vatio:** 0,99 Eur

Según el capítulo 1.1.2 sobre la ley 57-00 donde se establece los beneficios a la inversión en Energías Renovables, el monto total que será devuelto por el Estado Dominicano, en forma de crédito fiscal, al titular de la inversión será:

- **Incentivo Fiscal Totalizado:** 191.410,00 Eur

Para el ámbito aplicativo, este incentivo fiscal es obligatorio dividirlo en 3 años en cantidades iguales (33.33%), para ser aplicado en forma de crédito fiscal en los primeros tres años posterior a la puesta en operación del sistema. Para esta instalación el incentivo fiscal a obtener en los primeros tres años será:

Año 1: 63.803Eur

Año 2: 63.803Eur

Año 3: 63.803Eur

Cada año, el inversionista tendrá un crédito disponible por el monto detallado arriba para utilizar a su favor al momento de la declaración de Impuesto anual, generando una deducción a su favor en la materia impositiva.

1.1.10.2 Producción Solar

El Sistema Fotovoltaico de 499,32 kWdc de potencia tiene una capacidad de generación eléctrica promedio de **78014 kWh/mes** y **936,1 MWh/años**, en su primer año de funcionamiento. En la Tabla 2, se detalla la generación estimada del primer año de operación del sistema:

	System AC energy (kWh/mo)
Jan	73391.8
Feb	73469.2
Mar	87032.6
Apr	85726.5
May	84587.1
Jun	76232.3
Jul	78813.9
Aug	80387.6
Sep	78675.2
Oct	75897.3
Nov	70414.9
Dec	71550.7

Tabla 2 Producción mensual Escenario 2 - caso A

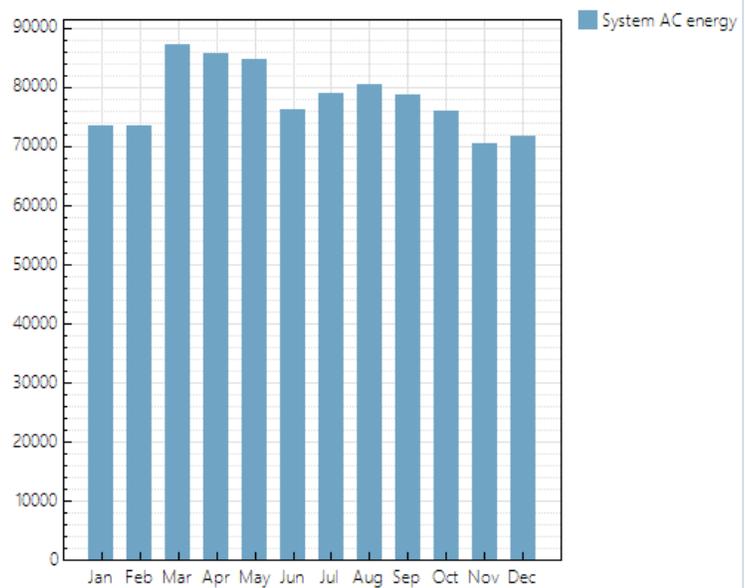


Fig. 26 Producción mensual (kWh) Escenario 2 - caso A

En la Fig. 25 se puede observar el comportamiento del sistema a medida que varían los meses y las estaciones del año y en consecuencia la radiación directa que puede ser aprovechada por los módulos solares.

1.1.10.3 Producción vs Consumo

Teniendo conocimiento de la capacidad de generación del sistema y el perfil de consumo del Caso A, se puede representar el porcentaje de ahorro del cual es capaz de suministrar el sistema fotovoltaico. Independientemente en los meses donde existe déficit de generación, recalcamos que este escenario se analiza bajo el reglamento de Medición Neta, por lo que la energía generada en exceso puede utilizarse a futuro como crédito, permitiendo que sea posible el ahorro al 100% de la factura eléctrica.

Consumo Promedio	Generación Fotovoltaica	% Ahorro
78532 kWh/mes	78014,93 kWh/mes	99,34%

Es evidente que, la generación producida por el sistema es capaz de suministrar el 100% de la demanda energética establecida para este caso.

En la **Fig. 26** se representa con mayor detalle el comportamiento del sistema PV frente al perfil de consumo establecido para el Caso A. Como se mencionó antes, se aprecia la variación de la generación a medida que evolucionan los meses y las estaciones del año, generando consigo que en algunos meses haya déficit de generación y en otros excesos de generación.

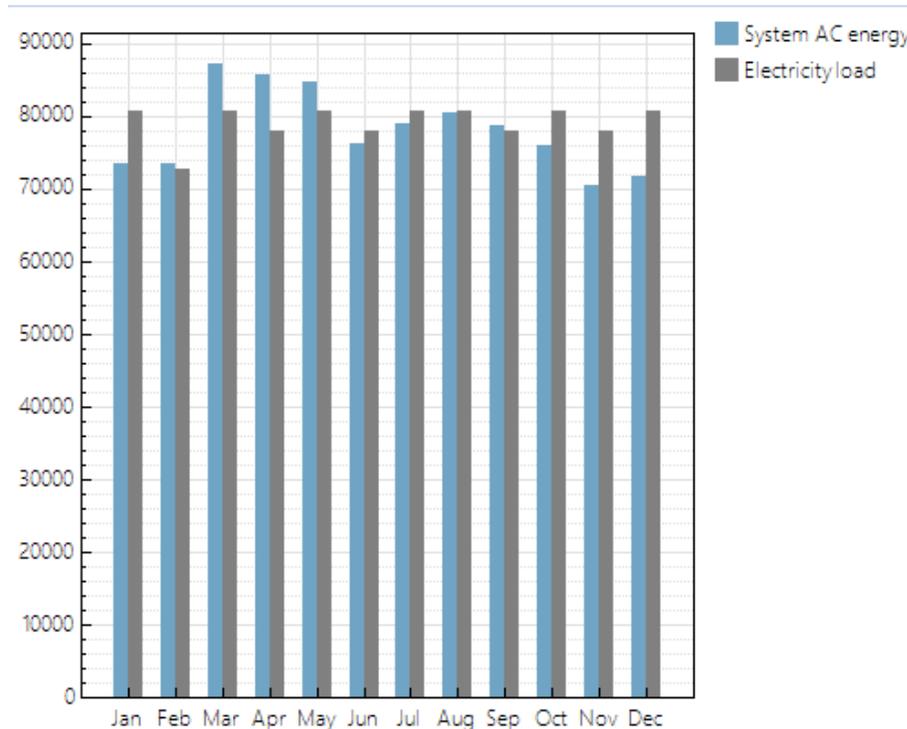


Fig. 27 Producción vs Consumo Escenario 2 - Caso A

1.1.10.4 Análisis del Retorno de Inversión (ROI):

Teniendo conocimiento de los valores anteriores y la capacidad de generación del sistema PV, procedemos a realizar el análisis de retorno de la inversión del E2:

Inversion Total		Incentivo Fiscal Totalizado		Monto a Amortizar	
€	496.523,81	€	191.410,00	€	305.113,25

Conociendo los valores de la inversión total y el incentivo fiscal totalizado que se obtiene por la inversión realizada en Energías Renovables, se concluye que el monto real de amortización para el E2 es € 305.113,25 Eur, siendo el monto amortizado la diferencia entre el Debito por la Inversión realizada y el Crédito en incentivo fiscal.

Para conocer los beneficios generados por generación eléctrica, monetizamos la generación solar obtenida por el sistema. La tarifa eléctrica utilizada para el análisis es de **0,125** Eur por Kilovatios hora.

Consumo Promedio		Generacion Fotovoltaica		% Ahorro	Factura Estimada	
€	10.186,60	€	10.119,47	99,34%	€	67,13
	7.532,47 kWh/mes		78.014,93 kWh/mes			517,54 kWh/mes

Con el mismo criterio, totalizamos que el beneficio anual por generación eléctrica es:

Ahorro Energético Promedio Anual (EUR)		Promedio Anual (Kwh)	
€	114.689,44		915.321

Consolidando los beneficios obtenidos por Generación Eléctrica e Incentivo Fiscal durante los tres primeros años, se obtiene:

Concepto	Año 1	Año 2	Año 3
Generacion Solar Fotovoltaica (Tarifa establecida)	€ 117.293,62	€ 116.707,13	€ 116.123,66
Incentivo Fiscal (Ley 57-07)	€ 63.803,52	€ 63.803,52	€ 63.803,52
<i>Beneficio Anual</i>	€ 181.097,14	€ 180.510,65	€ 179.927,18
Beneficio Totalizado (Primeros 3 años)	€ 541.534,97		

Observando los beneficios consolidados de los tres primeros años, rápidamente se puede establecer que el retorno de la inversión es menor a 3 años. En la tabla a continuación se muestra el análisis a 10 años del flujo de caja obtenido en este escenario.

Año	Inversión	Incentivo Fiscal	Ahorro Energetico	Balance
1	€ 496,523.81	€ 63,803.52	€ 117,293.62	-€ 315,426.67
2	€ -	€ 63,803.52	€ 116,707.13	-€ 134,916.02
3	€ -	€ 63,803.52	€ 116,123.66	€ 45,011.16
4	€ -	€ -	€ 115,543.06	€ 160,554.22
5	€ -	€ -	€ 114,965.35	€ 275,519.58
6	€ -	€ -	€ 114,390.52	€ 389,910.10
7	€ -	€ -	€ 113,818.57	€ 503,728.67
8	€ -	€ -	€ 113,249.51	€ 616,978.18
9	€ -	€ -	€ 112,683.19	€ 729,661.37
10	€ -	€ -	€ 112,119.77	€ 841,781.14

Analizando la tabla, se destaca que posterior a la inversión inicial únicamente se tiene un flujo de caja negativo en los primeros dos años. Con un tiempo de retorno de la inversión **ROI** de 2.75 años.

CASO B: PRODUCCION ANUAL PROMEDIO DE 46.237 MWP

Los Escenarios analizados en el caso B son para una planta fotovoltaica de gran escala, con la finalidad de venta de energía al por mayor. Es un escenario simulado bajo un PPA (Power Purchased Agreement), definiendo con esto que es un acuerdo de venta de energía a largo plazo, con una tarifa eléctrica de compraventa previamente definida. La tarifa eléctrica utilizada para los escenarios del Caso B es de 0.088 Euros.

A continuación, se desarrolla el análisis de tres escenarios posibles para un sistema fotovoltaico capaz de producir un promedio de 46.237 MWh en energía útil anual. Los tres sistemas estudiados tienen capacidad para producir la energía mencionada, siendo técnicamente distintos, resultantes del tipo de montaje implementado en cada uno. Los escenarios evaluados se presentan a continuación:

- **Escenario 3 – 29,16 MWdc:**

- Generación anual 46.661 MWh.
- Potencia pico del sistema 29,16 MWdc.
- Potencia de salida 25 MWac
- Tipo de Montaje: Fijo

- **Escenario 4 – 26,24 MWdc:**

- Generación anual 48.664 MWh.
- Potencia pico del sistema 26,24 MWdc.
- Potencia de salida 22,5 MWac
- Tipo de Montaje: Perseguidor solar en 1 Eje Horizontal

- **Escenario 5 – 23,33 MWdc:**

- Generación anual 46.535 MWh.
- Potencia pico del sistema 23,33 MWdc.
- Potencia de salida 20 MWac
- Tipo de Montaje: Perseguidor solar de 2 Ejes

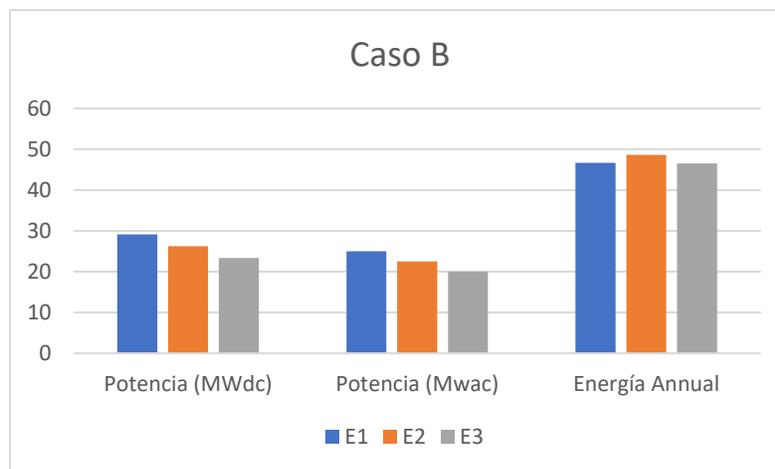


Fig. 28 Comparativa Escenarios del Caso B

1.1.11 Escenario 3 – Montaje Fijo

El tercer escenario (E3) comprende un sistema PV diseñado sobre montaje fijo anclado en suelo, con una capacidad de generación eléctrica anual de 45.625 MWh (promedio primero 10 años). Este sistema tiene una capacidad de potencia de 29.16 MWdc y 25 MWac, generadas por un total de 81000 módulos solares y 10 inversores solares de inyección a red. La composición general del sistema se detalla a continuación:

- 81000 módulos solares de 360 W Monocristalinos. Potencia Pico 29.16 MWdc.
- 10 inversores trifásicos de inyección a red de 2500 kW/AC cada unidad. Potencia Salida 25 MWac.
- Montaje fijo, para 81,000 módulos solares. Azimut 180°. Inclinación 15°.



Fig. 29 Planta Fotovoltaica con Montaje Fijo

1.1.11.1 Análisis Económico:

A continuación, se desarrolla el análisis económico del sistema PV comprendido en el E3. Los montos detallados a continuación serán utilizados más adelante para el **ROI** del sistema.

El sistema PV de 29,16 MW (DC) descrito en el E3, requiere una inversión total de:

- **Inversión:** 26.417.685 Eur

Donde el precio por vatio de la instalación es:

- **Precio por Vatio:** 0,91 Eur

La inversión en este tipo de plantas PV no gozan de incentivos fiscales, ya que, no entran bajo el reglamento de autoconsumo. Esta situación genera un mayor tiempo en la amortización de la inversión por el inversionista.

1.1.11.2 Producción Solar

El Sistema Fotovoltaico de 29,16 MWdc de potencia tiene una capacidad de generación eléctrica promedio de **3888 MWh/mes** y **46661 MWh/años**, en su primer año de funcionamiento. La **Tabla 3** detalla la generación estimada del primer año de operación del sistema:

	System AC energy (kWh/mo)
Jan	3.70473e+06
Feb	3.66687e+06
Mar	4.31175e+06
Apr	4.1634e+06
May	4.21154e+06
Jun	3.8392e+06
Jul	3.93705e+06
Aug	4.04389e+06
Sep	3.92307e+06
Oct	3.78314e+06
Nov	3.52545e+06
Dec	3.55119e+06

Tabla 3 Producción mensual Escenario 3 - Caso B

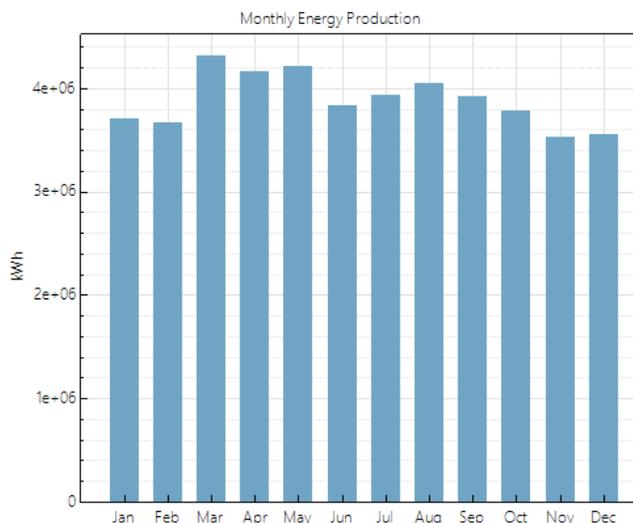


Fig. 30 Producción mensual Escenario 3 - Caso B

En la **Fig. 29** se puede observar el comportamiento del sistema a medida que varían los meses y las estaciones del año y en consecuencia la radiación directa que puede ser aprovechada por los módulos solares.

1.1.11.3 Análisis del Retorno de Inversión (ROI):

Teniendo conocimiento de los valores anteriores y la capacidad de generación del sistema PV, procedemos a realizar el análisis de retorno de la inversión del E3:

Inversion Total	Incentivo Fiscal Totalizado	Monto a Amortizar
€ 26.417.685	€ 0,00	€ 26.417.685

Para conocer los beneficios generados por generación eléctrica, monetizamos la generación solar obtenida por el sistema. La tarifa eléctrica utilizada para el análisis es de **0,088** Eur por Kilovatios hora.

Generacion Fotovoltaica Promedio Mensual
€ 342.183,00
3.888 MWh/mes

Con el mismo criterio, totalizamos que el beneficio anual por generación eléctrica es:

Ahorro Energético Promedio Anual (EUR)	Promedio Anual (MWh)
€ 4.106.212	46.661

Conociendo los valores anteriores, es posible realizar el análisis de retorno de la inversión de este escenario. A continuación, presentamos el flujo de caja a 25 años del proyecto:

Año	Inversión	Ahorro Energético	Balance
1	€ 26,417,685.88	€ 4,106,212.00	-€ 22,311,473.88
2	€ -	€ 4,085,681.60	-€ 18,225,792.28
3	€ -	€ 4,065,256.80	-€ 14,160,535.48
4	€ -	€ 4,044,928.80	-€ 10,115,606.68
5	€ -	€ 4,024,697.60	-€ 6,090,909.08
6	€ -	€ 4,004,580.80	-€ 2,086,328.28
7	€ -	€ 3,984,552.00	€ 1,898,223.72
8	€ -	€ 3,964,628.80	€ 5,862,852.52
9	€ -	€ 3,944,811.20	€ 9,807,663.72
10	€ -	€ 3,925,081.60	€ 13,732,745.32
11	€ -	€ 3,905,457.60	€ 17,638,202.92
12	€ -	€ 3,885,930.40	€ 21,524,133.32
13	€ -	€ 3,866,500.00	€ 25,390,633.32
14	€ -	€ 3,847,166.40	€ 29,237,799.72
15	€ -	€ 3,827,938.40	€ 33,065,738.12
16	€ -	€ 3,808,798.40	€ 36,874,536.52
17	€ -	€ 3,789,755.20	€ 40,664,291.72
18	€ -	€ 3,770,800.00	€ 44,435,091.72
19	€ -	€ 3,751,950.40	€ 48,187,042.12
20	€ -	€ 3,733,188.80	€ 51,920,230.92
21	€ -	€ 3,714,524.00	€ 55,634,754.92
22	€ -	€ 3,695,947.20	€ 59,330,702.12
23	€ -	€ 3,677,467.20	€ 63,008,169.32
24	€ -	€ 3,659,084.00	€ 66,667,253.32
25	€ -	€ 3,640,788.80	€ 70,308,042.12

Analizando la tabla, se destaca que el tiempo de retorno de inversión para este proyecto fotovoltaico de aproximadamente 30 MW en montaje con estructura fija es de 6.5 años.

1.1.12 Escenario 4 – Perseguidor Solar 1 Eje Horizontal

El cuarto escenario (E4) comprende un sistema PV diseñado sobre montaje con perseguidor solar de 1 eje horizontal, con una capacidad de generación eléctrica anual de 47.584 MWh (promedio primero 10 años). Este sistema tiene una capacidad de potencia de 26,24 MW (DC) y 22,5 MW (AC), generadas por un total de 72900 módulos solares y 9 inversores solares de inyección a red. La composición general del sistema se detalla a continuación:

- 72900 módulos solares de 360 W Monocristalinos. Potencia Pico 26,24 MWdc.
- 9 inversores trifásicos de inyección a red de 2500 kW/AC cada unidad. Potencia Salida 22,5 MWac.
- Montaje con perseguidor solar en 1 Eje Horizontal, para 72900 módulos solares.



Fig. 31 Planta Fotovoltaica con Seguidores Solares de 1 Eje

1.1.12.1 Análisis Económico:

A continuación, se desarrolla el análisis económico del sistema PV comprendido en el E4. Los montos detallados a continuación serán utilizados más adelante para el **ROI** del sistema.

El sistema PV de 26,24 MW (DC) descrito en el E4, requiere una inversión total de:

- **Inversión:** 25.850.936 Eur

Donde el precio por vatio de la instalación es:

- **Precio por Vatio:** 0,99 Eur

La inversión en este tipo de plantas PV no gozan de incentivos fiscales, ya que, no entran bajo el reglamento de autoconsumo. Esta situación genera un mayor tiempo en la amortización de la inversión por el inversionista.

1.1.12.2 Producción Solar

El Sistema Fotovoltaico de 26,24 MWdc de potencia tiene una capacidad de generación eléctrica promedio de **4055 MWh/mes** y **48664 MWh/años**, en su primer año de funcionamiento. La **Tabla 4** detalla la generación estimada del primer año de operación del sistema:

	System AC energy (kWh/mo)
Jan	3.54858e+06
Feb	3.65653e+06
Mar	4.48083e+06
Apr	4.57663e+06
May	4.64205e+06
Jun	4.23638e+06
Jul	4.35414e+06
Aug	4.34535e+06
Sep	4.12023e+06
Oct	3.83758e+06
Nov	3.44408e+06
Dec	3.42229e+06

Tabla 4 Producción mensual E4 - Caso B

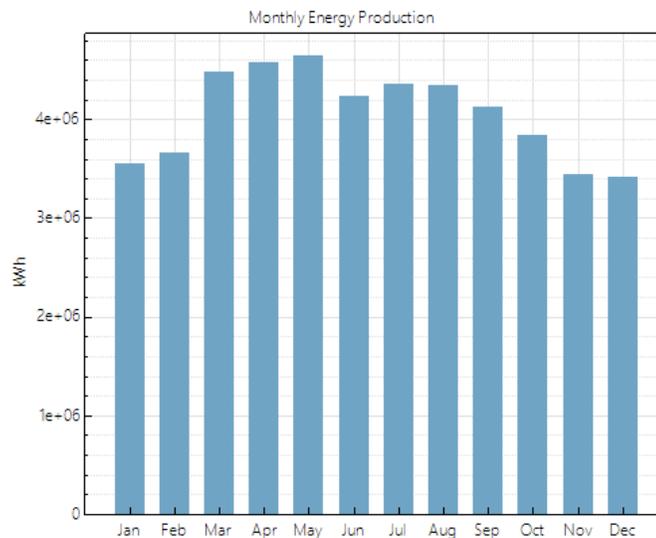


Fig. 32 Producción mensual Escenario 4 - Caso B

En la **Fig. 31** se puede observar el comportamiento del sistema a medida que varían los meses y las estaciones del año y en consecuencia la radiación directa que puede ser aprovechada por los módulos solares.

1.1.12.3 Análisis del Retorno de Inversión (ROI):

Teniendo conocimiento de los valores anteriores y la capacidad de generación del sistema PV, procedemos a realizar el análisis de retorno de la inversión del E4:

Inversion Total	Incentivo Fiscal Totalizado	Monto a Amortizar
€ 25.850.936	€ 0,00	€ 25.850.936

Para conocer los beneficios generados por generación eléctrica, monetizamos la generación solar obtenida por el sistema. La tarifa eléctrica utilizada para el análisis es de **0,088** Eur por Kilovatios hora.

Generacion Fotovoltaica Promedio Mensual	
€	356.814
	4.055 MWh/mes

Con el mismo criterio, totalizamos que el beneficio anual por generación eléctrica es:

Ahorro Energético Promedio Anual (EUR)	Promedio Anual (MWh)
€ 4.282.502	48.664

Conociendo los valores anteriores, es posible realizar el análisis de retorno de la inversión de este escenario. A continuación, presentamos el flujo de caja a 25 años del proyecto:

Año	Inversión	Ahorro Energetico	Balance
1	€ 25,850,936.07	€ 4,282,502.40	-€ 21,568,433.67
2	€ -	€ 4,261,092.00	-€ 17,307,341.67
3	€ -	€ 4,239,787.20	-€ 13,067,554.47
4	€ -	€ 4,218,588.00	-€ 8,848,966.47
5	€ -	€ 4,197,494.40	-€ 4,651,472.07
6	€ -	€ 4,176,506.40	-€ 474,965.67
7	€ -	€ 4,155,624.00	€ 3,680,658.33
8	€ -	€ 4,134,847.20	€ 7,815,505.53
9	€ -	€ 4,114,176.00	€ 11,929,681.53
10	€ -	€ 4,093,601.60	€ 16,023,283.13
11	€ -	€ 4,073,132.80	€ 20,096,415.93
12	€ -	€ 4,052,769.60	€ 24,149,185.53
13	€ -	€ 4,032,503.20	€ 28,181,688.73
14	€ -	€ 4,012,342.40	€ 32,194,031.13
15	€ -	€ 3,992,278.40	€ 36,186,309.53
16	€ -	€ 3,972,320.00	€ 40,158,629.53
17	€ -	€ 3,952,458.40	€ 44,111,087.93
18	€ -	€ 3,932,693.60	€ 48,043,781.53
19	€ -	€ 3,913,034.40	€ 51,956,815.93
20	€ -	€ 3,893,463.20	€ 55,850,279.13
21	€ -	€ 3,873,997.60	€ 59,724,276.73
22	€ -	€ 3,854,628.80	€ 63,578,905.53
23	€ -	€ 3,835,356.80	€ 67,414,262.33
24	€ -	€ 3,816,181.60	€ 71,230,443.93
25	€ -	€ 3,797,094.40	€ 75,027,538.33

Analizando la tabla, se destaca que el tiempo de retorno de inversión para este proyecto fotovoltaico de aproximadamente 30 MW en montaje con seguidores solares en 1 Eje Horizontal es de 6.1 años.

1.1.13 Escenario 5 – Perseguidor Solar 2 Ejes

El quinto escenario (E5) comprende un sistema PV diseñado sobre montaje con perseguidor solar de 2 Ejes, con una capacidad de generación eléctrica anual de 45.502 MWh (promedio primero 10 años). Este sistema tiene una capacidad de potencia de 23,33 MW (DC) y 20 MW (AC), generadas por un total de 64800 módulos solares y 8 inversores solares de inyección a red. La composición general del sistema se detalla a continuación:

- 64800 módulos solares de 360 W Monocristalinos. Potencia Pico 23,33 MW (DC).
- 8 inversores trifásicos de inyección a red de 2500 kW/AC cada unidad. Potencia Salida 20 MWac.
- Montaje con perseguidor solar en 2 Ejes de 20 módulos c/u, para 64800 módulos solares.



Fig. 33 Planta fotovoltaica con seguidor solar de 2 Ejes

1.1.13.1 Análisis Económico:

A continuación, se desarrolla el análisis económico del sistema PV comprendido en el E5. Los montos detallados a continuación serán utilizados más adelante para el **ROI** del sistema.

El sistema PV de 23,33 MW (DC) descrito en el E5, requiere una inversión total de:

- **Inversión:** 32.861.550 Eur

Donde el precio por vatio de la instalación es:

- **Precio por Vatio:** 1,41 Eur

La inversión en este tipo de plantas PV no gozan de incentivos fiscales, ya que, no entran bajo el reglamento de autoconsumo. Esta situación genera un mayor tiempo en la amortización de la inversión por el inversionista.

1.1.13.2 Producción Solar

El Sistema Fotovoltaico de 26,24 MWdc de potencia tiene una capacidad de generación eléctrica promedio de **3.877 MWh/mes** y **46.535 MWh/años**, en su primer año de funcionamiento. La **Tabla 5** detalla la generación estimada del primer año de operación del sistema:

	System AC energy (kWh/mo)
Jan	3.74097e+06
Feb	3.61108e+06
Mar	4.18149e+06
Apr	4.18085e+06
May	4.21847e+06
Jun	3.8715e+06
Jul	3.9667e+06
Aug	3.94545e+06
Sep	3.81062e+06
Oct	3.72386e+06
Nov	3.56882e+06
Dec	3.71547e+06

Tabla 5 Producción mensual E5 - Caso B

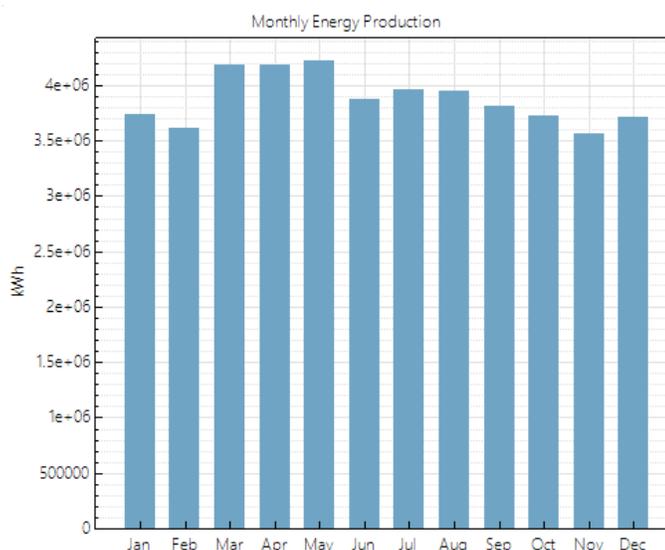


Fig. 34 Producción mensual Escenario 5 - Caso B

En la **Fig. 33** se puede observar el comportamiento del sistema a medida que varían los meses y las estaciones del año y en consecuencia la radiación directa que puede ser aprovechada por los módulos solares.

1.1.13.3 Análisis del Retorno de Inversión (ROI):

Teniendo conocimiento de los valores anteriores y la capacidad de generación del sistema PV, procedemos a realizar el análisis de retorno de la inversión del E5:

Inversion Total	Incentivo Fiscal Totalizado	Monto a Amortizar
€ 32.861.550	€ 0,00	€ 32.861.550

Para conocer los beneficios generados por generación eléctrica, monetizamos la generación solar obtenida por el sistema. La tarifa eléctrica utilizada para el análisis es de **0,088** Eur por Kilovatios hora.

Generacion Fotovoltaica Promedio Mensual	
€	341.258,00
	3.877 MWh/mes

Con el mismo criterio, totalizamos que el beneficio anual por generación eléctrica es:

Ahorro Energético Promedio Anual (EUR)	Promedio Anual (MWh)
€ 4.095.106	46.535

Conociendo los valores anteriores, es posible realizar el análisis de retorno de la inversión de este escenario. A continuación, presentamos el flujo de caja a 25 años del proyecto:

Año	Inversión	Ahorro Energetico	Balance
1	€ 32,861,550.12	€ 4,095,106.40	-€ 28,766,443.72
2	€ -	€ 4,074,628.80	-€ 24,691,814.92
3	€ -	€ 4,054,256.80	-€ 20,637,558.12
4	€ -	€ 4,033,981.60	-€ 16,603,576.52
5	€ -	€ 4,013,812.00	-€ 12,589,764.52
6	€ -	€ 3,993,748.00	-€ 8,596,016.52
7	€ -	€ 3,973,780.80	-€ 4,622,235.72
8	€ -	€ 3,953,910.40	-€ 668,325.32
9	€ -	€ 3,934,136.80	€ 3,265,811.48
10	€ -	€ 3,914,468.80	€ 7,180,280.28
11	€ -	€ 3,894,897.60	€ 11,075,177.88
12	€ -	€ 3,875,423.20	€ 14,950,601.08
13	€ -	€ 3,856,045.60	€ 18,806,646.68
14	€ -	€ 3,836,764.80	€ 22,643,411.48
15	€ -	€ 3,817,580.80	€ 26,460,992.28
16	€ -	€ 3,798,493.60	€ 30,259,485.88
17	€ -	€ 3,779,503.20	€ 34,038,989.08
18	€ -	€ 3,760,600.80	€ 37,799,589.88
19	€ -	€ 3,741,795.20	€ 41,541,385.08
20	€ -	€ 3,723,086.40	€ 45,264,471.48
21	€ -	€ 3,704,474.40	€ 48,968,945.88
22	€ -	€ 3,685,950.40	€ 52,654,896.28
23	€ -	€ 3,667,523.20	€ 56,322,419.48
24	€ -	€ 3,649,184.00	€ 59,971,603.48
25	€ -	€ 3,630,941.60	€ 63,602,545.08

Analizando la tabla, se destaca que el tiempo de retorno de inversión para este proyecto fotovoltaico de aproximadamente 25 MW en montaje con seguidores solares en 2 Ejes es de 8.1 años.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES - CASO A

El contenido siguiente contiene la comparativa de los escenarios evaluados para el caso A. Contemplando la inversión requerida, producción energética, retorno de la inversión y los elementos instalados de cada sistema, con la finalidad de soportar las conclusiones tomadas.

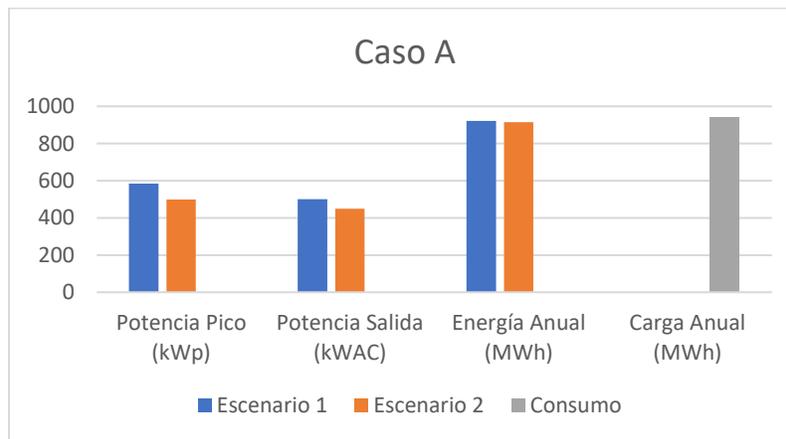


Fig. 35 Comparativa Escenarios - Caso A

Visualizando la gráfica de la **Fig. 34**, se observa como el Escenario 2 con una menor Potencia es capaz de generar aproximadamente la misma cantidad de energía anual del Escenario 1. Esta ganancia obtenida que presenta el Escenario 2, no es más que por el tipo de montaje utilizado, en dicho escenario, una estructura con Perseguidor Solar de 1 Eje horizontal. En la **Tabla 6** se muestra con mayor detalle las diferencias entre cada sistema evaluado.

CASO A					
	Escenario 1	Escenario 2	Diferencia	% Diferencia	
Potencia Pico kW (DC)	584	499.32	84.68	17%	
Potencia Salida kW (AC)	500	450	50	11%	
Energía Anual MWh (1er año)	942	936	6	1%	
Número de Paneles	1600	1368		232	
Qty Inversores	10	9		1	
Montaje	Fija	Perseguidor 1 Eje		-	
Inversión	€ 492,300.16	€ 496,523.81		1%	
Aporte Fotovoltaico Anual	€ 115,449.00	€ 114,689.44			
Precio Wp	€ 0.84	€ 0.99		17%	

Tabla 6 Comparativa Escenarios del Caso A

Entrando en detalle de ambos escenarios podemos empezar analizando las potencias de los sistemas. El escenario 1 con una capacidad de potencia de 584 kW (DC) mientras que el escenario 2 de 499,32 kW (DC), una diferencia total entre sistemas de 84,68 kW (DC) (aprox. 17%). Resulta interesante que, independientemente de esta diferencia, la generación anual se ve afectada únicamente en un 1%.

La aplicación de seguidores solares en el Escenario 2, hace posible conseguir casi la misma generación anual que el Escenario 1, de modo que, la aplicación de seguidores solares hizo posible obtener una mayor generación energética en un sistema de menor potencia. El E2 cuenta con una reducción de (232) módulos solares, como también elimina el uso de (1) inversor DC/AC de 50 kW (AC), logrando una diferencia de 17% kW (DC) y 11% kW (AC) entre las potencias envueltas en los distintos escenarios.

Para demostrar mejor la capacidad de generación del E2, y la ganancia obtenida, se evalúa en igualdad de condición que el E1, es decir, ver el desempeño que se hubiese obtenido si el montaje fuese en Estructura Fija. Por esta razón, a continuación, se detalla en la **Tabla 7** una comparativa de producción del E2 (499.32 kWp) dependiendo el tipo de montaje utilizado:

Tipo de Montaje			
	Fijo (kWh)	1 Eje (kWh)	% Dif
Ene	57576.7	73391.8	27%
Feb	57035.4	73469.2	29%
Mar	67180	87032.6	30%
Abr	64758.1	85726.5	32%
May	65467.8	84587.1	29%
Jun	59641.9	76232.3	28%
Jul	61165.4	78813.9	29%
Ago	62842.2	80387.6	28%
Sep	60988.1	78675.2	29%
Oct	58791.3	75897.3	29%
Nov	54774.5	70414.9	29%
Dic	55179.4	71550.7	30%

Tabla 7 Comparativa de Producción por tipo de Montaje – Escenario 2

Claramente se aprecia en la tabla la diferencia de producción mensual que presenta el E2, sujeto al montaje aplicado. De modo final, es claro que, el tipo de montaje con seguidor solar de 1 Eje aumenta la producción energética anual en un promedio de **29%**, y es por lo que, el E2 es capaz de casi igualar la producción eléctrica anual del E1 teniendo una menor cantidad de módulos solares.

Retornando al enfoque inicial, es importante mencionar que la finalidad de este estudio no es ver el aumento de producción dependiendo del tipo de montaje presente en una instalación PV, sino, como esta ganancia en la producción energética y la disminución en el uso de equipos, resulta económicamente factible en la actualidad y si esa disminución de equipos permite que estas instalaciones hoy en día en la Republica Dominicana resulten más económicas que aquellas implementadas con montaje fijo.

Basándonos en los análisis económicos realizados, queda definido que la inversión de cada Escenario es:

E1: € 492.300,76

E2: € 496.523,81

Con un tiempo de retorno de inversión de:

E1: 2,72 años

E2: 2,75 años

Como se puede apreciar, ambos montos muy parecidos, siendo el E2 un 0,85% más costoso. Ciertamente la diferencia entre la inversión total es mínima, no así la diferencia en el coste concerniente a la partida del tipo de montaje.

El E1 compuesto por un sistema de montaje fijo, la partida referente al montaje presenta un costo de 70.3 k€, en cambio, el E2 con un montaje con seguidores solares de 1 Eje Horizontal, posee un costo de 122.9 k€, siendo la inversión del tipo de montaje en el E2 un 75% más cara. Este aumento de coste resulta por el incurrimiento de trabajos extras que son necesarios para poder instalar este tipo de montaje con seguidor solar; como lo son: la limpieza del terreno, nivelación y construcción de cimientos para el anclaje; ocasionando un coste representativo que influye drásticamente en la inversión final.

Con relación a las partidas de equipos (paneles e inversores), el E2 presenta una disminución en coste de 32.69 k€, resultante del ahorro en la implementación de 232 módulos solares y un inversor de 50 kW (AC), a diferencia del E1. Es notable que el ahorro en equipos es menor a la inversión adicional en la que se incurre por concepto de montaje con seguidores solares, con un total de 52.6 k€ vs 32.69 k€ de ahorro por concepto de equipos. Ciertamente aún, el incremento en la producción eléctrica del 29% en el E2 por la implementación de seguidores solares no es suficiente para compensar la inversión extra en el tipo de montaje.

Aunque los montos totales de la inversión son muy parecidos, el punto clave para compararlas es el precio por vatio, teniendo el E1 un precio de 0,84 y el E2 un precio de 0,99, concluyendo que, la instalación del E2 presenta un precio por vatio un 17% más caro respecto al E1, no siendo más factible aun la implementación de seguidores en sistemas PV en el caso estudiado.

CONCLUSIONES - CASO B

Luego de conocer los resultados de los escenarios evaluados del caso B, se analizaron los resultados y dieron como conclusión la información detallada a continuación.

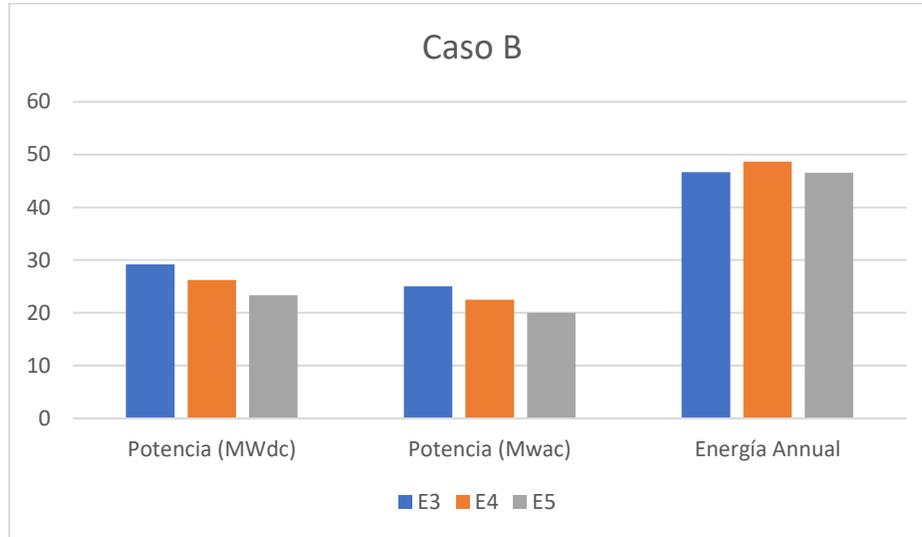


Fig. 36 Comparativa Escenarios - Caso B

Visualizando la **Fig. 35**, se puede ver claramente representado el comportamiento de cada sistema evaluado, desde el E3 hasta el E5 se contempla como existe una reducción gradual en las potencias de cada sistema, pero no así en la energía anual entregada por cada uno. Podemos establecer de manera preliminar que la aplicación de seguidores solares, tanto los de 1 Eje (E4) como los de 2 Ejes (E5), cumplen con la finalidad por el cual se invierte en ellos; Aumentar la generación eléctrica y la eficiencia general del sistema.

En la **Tabla 8**, se representa con mayor detalle las informaciones necesarias de cada sistema evaluado que sustentan las comparativas contenidas en lo adelante.

CASO B			
	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5
Potencia Pico (MWdc)	29,16	26,24	23,33
Potencia Salida (MWac)	25	22,5	20
Energía Anual MWh (1er año)	46.661	48.664	46.535
Qty Paneles	81000	72900	64800
Qty Inversores	10	9	8
Montaje	Fija	Per. 1 Eje	Per. 2 Ejes
Inversión	€ 26.417.685	€ 25.850.936	€ 32.861.550
Aporte Fotovoltaico Anual	€ 342,183.00	€ 356.814	€ 341.258
Precio Wp	€ 0,91	€ 0,99	€ 1,41
ROI (años)	6,5	6,1	8,1

Tabla 8 Comparativa Escenarios del Caso B

Anteriormente en la conclusión realizada del Caso A, se confirmó que la implementación de seguidores solares de 1 Eje horizontal genera un aumento de un 29% en la producción eléctrica frente a un sistema de estructura fija. En la siguiente comparativa, contenida en la **Tabla 3**, analizaremos el porcentaje de ganancia del cual es capaz de generar el uso de un sistema de seguidores solares de 2 Ejes. La comparativa contiene la producción eléctrica anual del E3 (29,26 MW DC), con montaje fijo, y la producción eléctrica si este mismo escenario (E3) fuera en un montaje con seguidor solar de 2 ejes.

	Tipo de Montaje		
	Fijo (kWh)	2 Ejes (kWh)	% Dif
Ene	3704730.00	5082830.00	37%
Feb	3666870.00	4906350.00	34%
Mar	4311750.00	5681370.00	32%
Abr	4163400.00	5680500.00	36%
May	4211540.00	5731610.00	36%
Jun	3839200.00	5260190.00	37%
Jul	3937050.00	5389530.00	37%
Ago	4043890.00	5360660.00	32%
Sep	3923070.00	5177470.00	32%
Oct	3783140.00	5059590.00	33%
Nov	3525450.00	4848920.00	37%
Dic	3551190.00	5048180.00	42%

Tabla 9 Comparativa de Producción por tipo de Montaje – Escenario 3

Es notorio el aumento de producción mensual que presenta el E3, sujeto al montaje aplicado. La aplicación de seguidores solares de 2 Eje en este escenario aumenta la producción eléctrica anual en un promedio de **35%**. Esta ganancia de la producción es lo que hace que el E5 sea capaz de casi igualar la producción eléctrica anual del E3 teniendo una diferencia de 16200 módulos solares menos, ósea 5,8 MW (DC) de potencia difiriendo entre sistemas. Esta reducción en potencia pico, en el E5, también ocasiona una reducción en la potencia de salida con la eliminación del uso de 2 inversores de 2.500 KVA c/u, solamente teniendo el sistema PV del E5 un total de 8 inversores a diferencia de los 10 del E3.

En cuanto al E4, adelantando que es el más óptimo en términos de factibilidad de los tres evaluados, la implementación de seguidores solares de 1 eje horizontal en este escenario generó una reducción de 8100 paneles solares frente al E3 y la eliminación del uso de 1 inversor de 2.500 KVA. Ciertamente el uso de seguidores solares a 2 ejes incrementa aún más la producción en los sistemas fotovoltaicos que la implementación de seguidores solares de 1 eje, pero este aumento de rendimiento tiene un peso considerable en la inversión final del sistema.

Nuevamente se recalca que la finalidad de este estudio no es ver el aumento de producción dependiendo del tipo de montaje presente en una instalación fotovoltaica, sino más bien, como esta ganancia en la producción energética y la disminución en el uso de equipos, resulta económicamente factible en la actualidad y si esa disminución de equipos permite que estas instalaciones hoy en día en la República Dominicana resulten más económicas que aquellas implementadas con montaje fijo

Desglosando los análisis económicos realizados, queda definido que la inversión de cada Escenario es:

E3: € 26.417.685

E4: € 25.850.936

E5: € 32.861.550

Con un tiempo de retorno de inversión de:

E3: 6,4 años

E4: 6,1 años

E5: 8,1 años

Resulta grato observar que con las evaluaciones realizadas en el caso B al menos un escenario, específicamente el E4, satisface la finalidad por el cual se realizó este estudio.

Como se puede apreciar, los montos del E3 y el E4 son muy parecidos, pero en esta ocasión el E4, compuesto por un sistema fotovoltaico con montaje de seguidores solares de 1 eje, resulto ser un 2% más económico que el sistema con montaje fijo, reduciendo así el ROI del sistema por igual. La inversión adicional que conlleva el suministro de seguidores solares en 1 eje fue contrarrestada por la eliminación del uso de los equipos, que en este caso resulto ser mayor.

En cuanto al E5, el resultado visiblemente es bastante distinto. Se podría decir que es hasta incomparable para poder ser considerado. Viendo que la inversión es aproximadamente un 25% mas costosa que la del E3, resulta concluyente definir que la implementación de seguidores solares de 2 Ejes para este tipo de plantas solares en la República Dominicana puede ser descartado por el momento.

Enfocándonos una nueva vez en el E4, se puede establecer que la inversión en plantas fotovoltaicas con un montaje de seguidores solares en 1 eje es posible y resulta económicamente factible hoy en día en el país.

4.3 Líneas de continuación y mejora

REFERENCIAS

- Asociacion Dominicana de Industria Eléctrica. (s.f.). *ADIE*. Obtenido de ADIE : <https://adie.org.do/wp-content/uploads/2018/09/Informe-Cuatrimstral-ene-abr-2018.pdf>
- Comision Nacional de Energia. (s.f.). *Comision Nacional de Energia*. Obtenido de Comision Nacional de Energia: https://www.cne.gob.do/wp-content/uploads/2016/06/Reglamento.Medicion.Neta_.pdf
- Comision Nacional de Energía. (s.f.). *Potencial de Radiación Solar en la Republica Dominicana*. Obtenido de Comision Nacional de Energía: <https://www.cne.gob.do/>
- Dominicana, Gobierno de la Republica. (2007). *Ley 57-07 - Sobre Incentivo al Desarrollo de Fuentes Renovables*. Santo Domingo.
- JA Solar. (s.f.). *JA Solar*. Obtenido de www.jasolar.com
- National Renewable Energy Laboratory. (s.f.). *NREL System Advisor Model*. Obtenido de NREL System Advisor Model: <https://sam.nrel.gov/>
- SMA. (s.f.). *SMA*. Obtenido de www.sma.com
- The Power Store. (s.f.). *The Power Store*. Obtenido de <https://thepowerstore.co.za>