



**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**

**ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES**

**Grado en Ingeniería Eléctrica**

**Determinación experimental del  
incremento de producción en  
sistemas solares fotovoltaicos con  
seguimiento en un eje y en dos ejes**

**Autor:**

**Martín Turiel, Pablo**

**Tutor:**

**Pérez García, Julián Manuel  
Departamento Ingeniería  
Eléctrica**

**Valladolid, Julio 2016.**





---

## Resumen y Palabras clave

Este Trabajo fin de grado tiene como objetivo hacer una comparativa entre la producción energética de diferentes tecnologías fotovoltaicas (monocristalina, policristalina y amorfa) instaladas en tres estructuras distintas, Fija (ángulo de inclinación  $30^\circ$  y acimut  $0^\circ$ ), Orientada en un eje (ángulo de inclinación  $30^\circ$  y ángulo acimut variable) y Orientada en dos ejes (ángulo de inclinación y acimut variables).

Para ello se medirá la producción energética a lo largo de un año en cada panel y en cada estructura. Se tomarán datos de las temperaturas de los mismos, la corriente en cada instante y la tensión de la instalación. Todos estos datos serán recogidos y almacenados para su posterior tratamiento. Así, se procederá al estudio de esta información y la extracción de las conclusiones pertinentes.

Palabras clave:

Comparativa, fijo,móvil, panel, solar.







---

Índice

Resumen y Palabras clave	3
Índice	5
Introducción y Objetivos	7
Desarrollo del Trabajo	9
1. Energía solar	11
1.1. Tipos de células fotovoltaicas	11
1.2. Tipos de estructuras para montaje de los paneles	12
1.3. Características principales de los paneles fotovoltaicos	13
2. Descripción de las instalaciones y equipos de medida	17
2.1. Estructura base y seguidor solar	18
2.2. Paneles solares instalados	22
2.3. Otros elementos	26
2.4. Comprobación de los paneles fotovoltaicos. Factores de corrección	32
3. Toma y tratamiento de los datos	33
3.1. Plantilla diaria	34
3.2. Plantilla mensual	36
3.3. Plantilla Gráficas	38
3.4. Análisis previo	43
4. Conclusiones	57
4.1. Comparativa de la producción por tipo de panel	57
4.2. Comparativa de los rendimientos por tipo de panel	64
4.3. Comparativa de la producción por tipo de panel para un mismo sistema de orientación	73
4.4. Comparativa de los resultados experimentales con los resultados simulados	76
4.5. Tablas resumen y conclusiones finales	78
5. Propuesta para trabajos futuros	81
6. Bibliografía	83
7. Agradecimientos	85





---

## Introducción y Objetivos

El objetivo de este trabajo es comparar la producción fotovoltaica a lo largo de un año entre una estructura fija y dos estructuras móviles, orientadas en uno y dos ejes.

Se comparará la producción energética en tres tecnologías de paneles distintas, **monocristalino**, **policristalino** y **amorfo** (CIS).

En cada estructura tendremos tres paneles conectados en paralelo, uno de cada tipo. En total hay nueve paneles conectados en paralelo entre si. Estos están conectados a un Sistema de adquisición de datos que recogerá el valor de las variables establecidas y lo convertirá en datos legibles. Estas variables son: radiación solar y temperatura para cada estructura, tensión de la instalación, corriente entregada en cada instante por cada panel y tiempo de medición.

Estos datos son almacenados y exportados a formato Excel para, posteriormente, ser depurados, tratados y analizados.

Una vez tratados los datos de un año entero extraeremos comparativas, gráficas de rendimientos, producción, radiación solar y temperaturas. Con esto obtendremos la información necesaria para sacar las conclusiones finales del estudio.

Por último, haremos una comparativa de los incrementos de producción de las dos estructuras orientadas con los valores obtenidos por simulación.

Hay que señalar que las circunstancias particulares del emplazamiento, la meteorología, particularidades de nuestra instalación y demás factores, pueden hacer que los datos obtenidos por nosotros difieran notablemente con relación a los datos teóricos de fabricantes o los simulados por software.

También hay que señalar que el presente trabajo se realiza como continuación de otros dos, en los cuales se montó y probó la instalación (estructuras, paneles, sistemas de seguimiento solar, sistema de adquisición de datos...) y se hizo la comparativa anual de la estructura fija con respecto a una orientada en un eje.

Por lo tanto, este trabajo se presenta como continuación y ampliación de la labor desempeñada por nuestros compañeros.





---

## Desarrollo del Trabajo

A lo largo de esta sección se presentará el núcleo del Trabajo Fin de Grado desarrollando los distintos apartados que lo componen.





## 1. ENERGÍA SOLAR

La energía solar es una energía renovable proveniente de la radiación solar. La energía que nos llega del sol en forma de radiación se puede dividir en dos tipos, calor y luz, y estas dos energías se pueden transformar en energía térmica y energía eléctrica respectivamente.

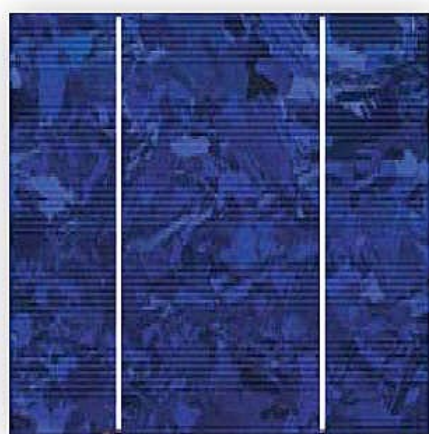
Por esto, se distinguen dos tipos de energías solares, la energía solar térmica y la energía solar fotovoltaica.

El objeto de estudio de este trabajo es la **Energía Solar Fotovoltaica**. La conversión de la radiación solar en electricidad se produce por el efecto fotoeléctrico, esto es: sobre un elemento semiconductor denominado célula fotoeléctrica (generalmente de silicio) incide la radiación electromagnética (luz visible y ultravioleta generalmente) y se emiten electrones. Con esto se convierte la luz en electricidad.

### 1.1. Tipos de células fotovoltaicas

Actualmente contamos con tres grandes tipos de células fotovoltaicas. Estos son: Células monocristalinas, Células policristalinas y Células CIS amorfas.

**Células monocristalinas:** se obtienen a partir de un único cristal de silicio que se corta finamente en obleas. Estas células suelen ser de un azul uniforme. Los rendimientos típicos de esta tecnología son del 15% al 20%, son las de mayor coste y mejores rendimientos.

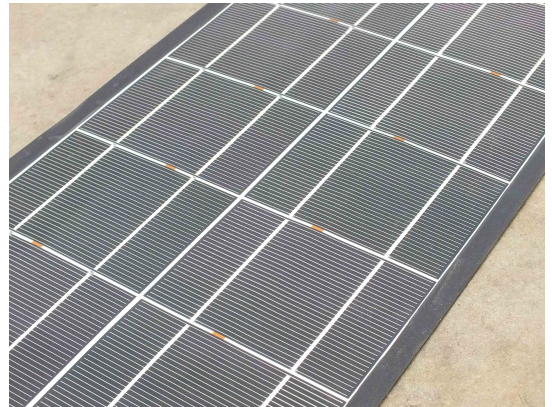


**Células policristalinas:** se obtienen de un bloque formado por varios cristales de silicio. Tienen un color azulado pero se distinguen diferentes tonos de los diferentes cristales. Son más finas, económicas y sus rendimientos van del 12% al 14%.

**Células de CIS (de película delgada).** En



este caso las células están compuestas por Cobre, Indio y Selenio. Se fabrican mediante el depósito de una o más capas delgadas de material fotovoltaico en un sustrato. El rango de espesor de estas capas es muy amplio y varía desde los nanómetros a decenas de micrómetros, pudiendo llegar a fabricar paneles flexibles. Son las más económicas y de menor rendimiento, 7%-12%



La unión de varias células conforman un Panel fotovoltaico. Estas células están unidas eléctricamente entre si y montadas entre dos superficies, el frontal generalmente de vidrio, que las aísla y protege de la intemperie. La unión de estas células se hace en serie y/o paralelo para alcanzar el voltaje deseado (generalmente 12 o 24v) a su vez, estos paneles se pueden conectar también en serie y/o paralelo para conseguir las corrientes y tensiones de la instalación requeridas. Dependiendo de la potencia de la instalación y de los equipos a instalar, se elegirá una combinación de paneles en serie y en paralelo que optimicen y aseguren un correcto funcionamiento.

## 1.2. Tipos de estructuras para montaje de los paneles

Vamos a distinguir dos tipos: Estructura fija y Estructura móvil.

La estructura fija se trata de un soporte que no se mueve a lo largo del tiempo, es decir, tiene una orientación fija para todo el año.

Las estructuras móviles, por el contrario, tienen una orientación variable en el tiempo, es decir, se orientan al sol buscando captar la mayor radiación posible a lo largo de todo un año. Esto lo consiguen buscando el punto de mayor luminosidad y orientan el panel hacia ese punto, bien variando el ángulo acimut (Este-Oeste) y/o ángulo de inclinación (Norte-sur).

De esta forma nosotros contamos con tres estructuras distintas:

- Estructura fija
- Estructura orientada en un eje (Este-Oeste)
- Estructura orientada en dos ejes (Este-Oeste y Norte-Sur)



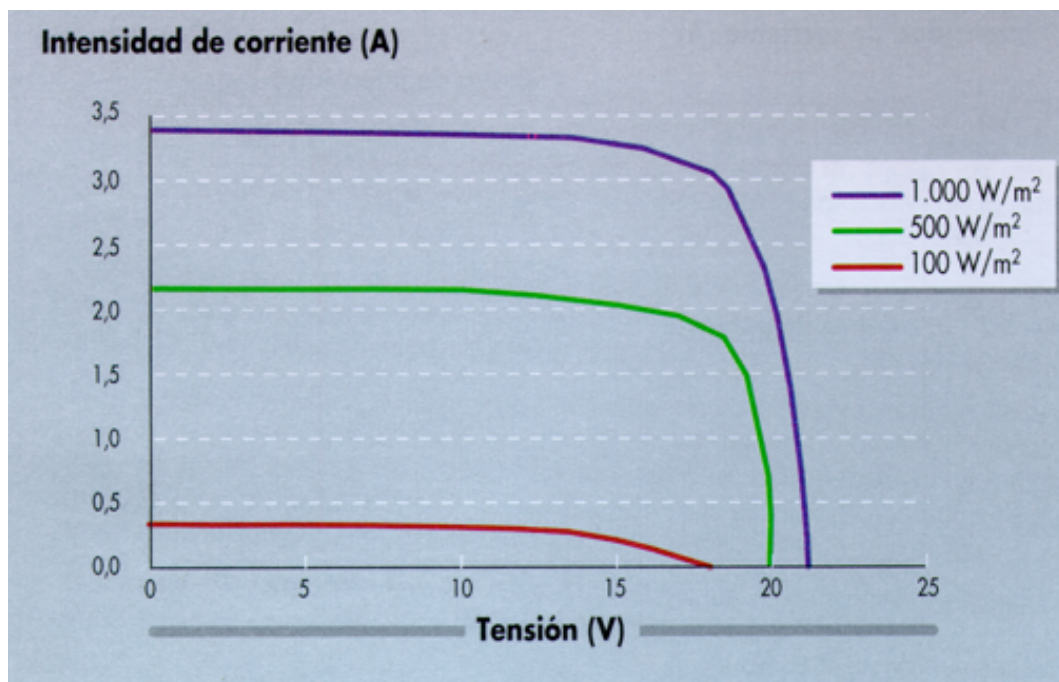


### 1.3. Características principales de los paneles fotovoltaicos

Para comprender bien el desarrollo de este trabajo es necesario tomar en consideración algunas características y parámetros característicos de un panel fotovoltaico.

Veamos como afectan distintos factores al funcionamiento de un panel fotovoltaico. Para ello vamos a analizar la variación de sus características con respecto a **Radiación incidente**, **Temperatura del panel** y **Número de células** por panel.

- **Radiación incidente:** como vemos en la figura, la corriente que entrega un panel para un determinado nivel de tensión es función de la radiación que recibe, es decir, la radiación incidente determina cuanta corriente puede otorgar el panel.

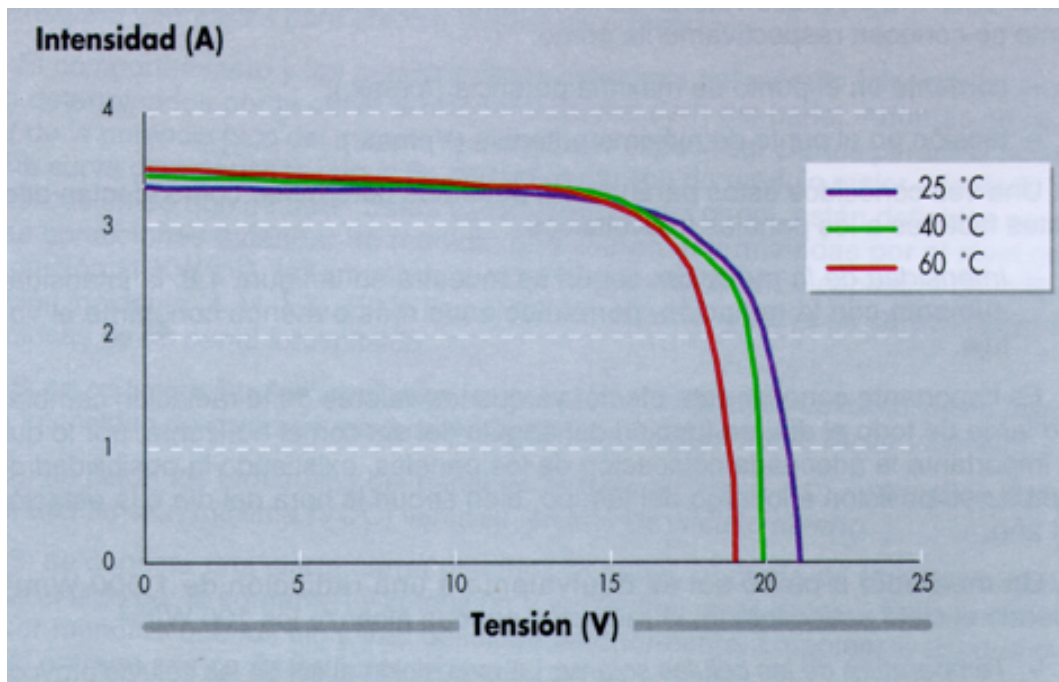


#### VARIACIÓN DE LA CORRIENTE CON LA RADIACIÓN. TEMPERATURA DEL PANEL CONSTANTE 25°C

Como se suele decir, un panel es una fuente de corriente dependiente de la radiación, ya que, para una tensión elegida, a mayor o menor energía incidente tenemos mayor o menor corriente entregada. Por esto, es clave la orientación de los paneles, cuanta más radiación solar capturemos mayor será la producción.



- **Temperatura del panel:** la temperatura afecta a la tensión que es capaz de entregar el panel, a medida que la temperatura aumenta baja el nivel de tensión. Por esto, la potencia que entrega un panel esta muy determinada por la temperatura a la que se encuentre y por tanto, en una instalación fotovoltaica es determinante la ubicación de los paneles y su ventilación, así como la elección de los mismos, ya que en determinados casos deberán soportar altas temperaturas. Como por ejemplo en los sistemas de concentración se emplean células de AsGa que soportan mayores temperaturas. Una radiación de  $1000\text{W/m}^2$  puede elevar  $30^\circ\text{C}$  la temperatura de un panel.



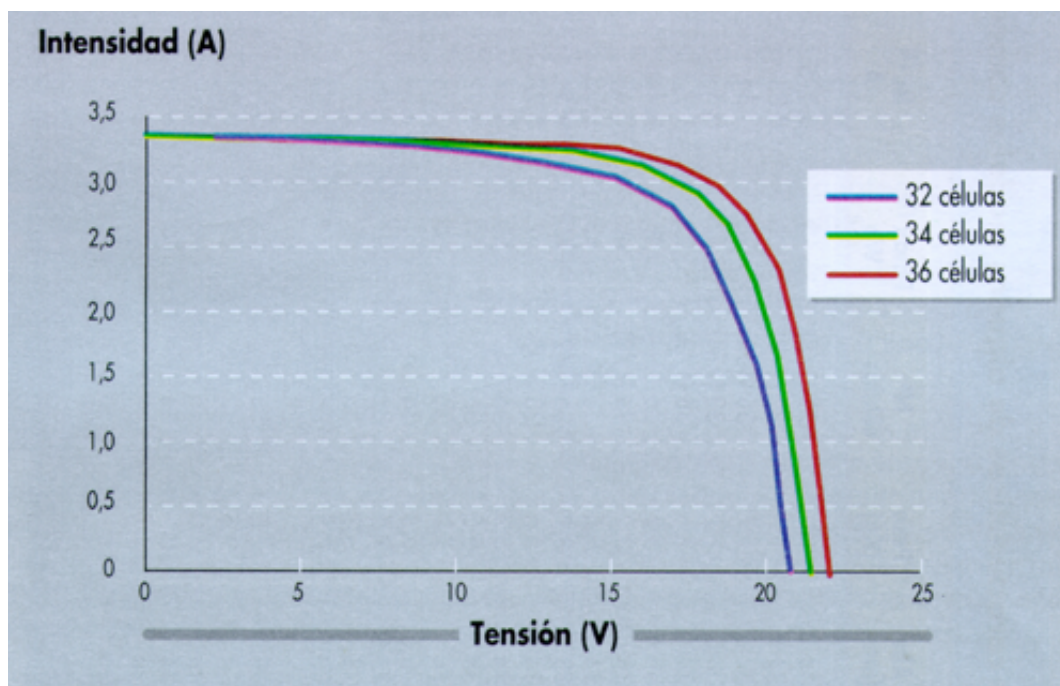
VARIACIÓN DE LA TENSIÓN CON LA TEMPERATURA. RADIACIÓN CONSTANTE  $1000\text{W/M}^2$



- **Número de células:** el número de células por panel determina el nivel de tensión, a mayor número de células conectadas en serie mayor tensión ya que cada una de ellas puede producir unos 0.4V y a mayor número de células conectadas en paralelo mayor corriente.

Por tanto, ya que un panel está constituido por una serie de células en serie y paralelo, estos tienen un comportamiento similar al de las células.

De igual manera en una instalación fotovoltaica tenemos paneles solares conectados en serie y/o paralelo obteniendo así el nivel de tensión y corriente determinado y un comportamiento para el conjunto que dependerá de cada panel.



**VARIACIÓN DE LA TENSIÓN CON EL NUMERO DE CÉLULAS POR PANEL.  
CONDICIONES ESTÁNDAR**



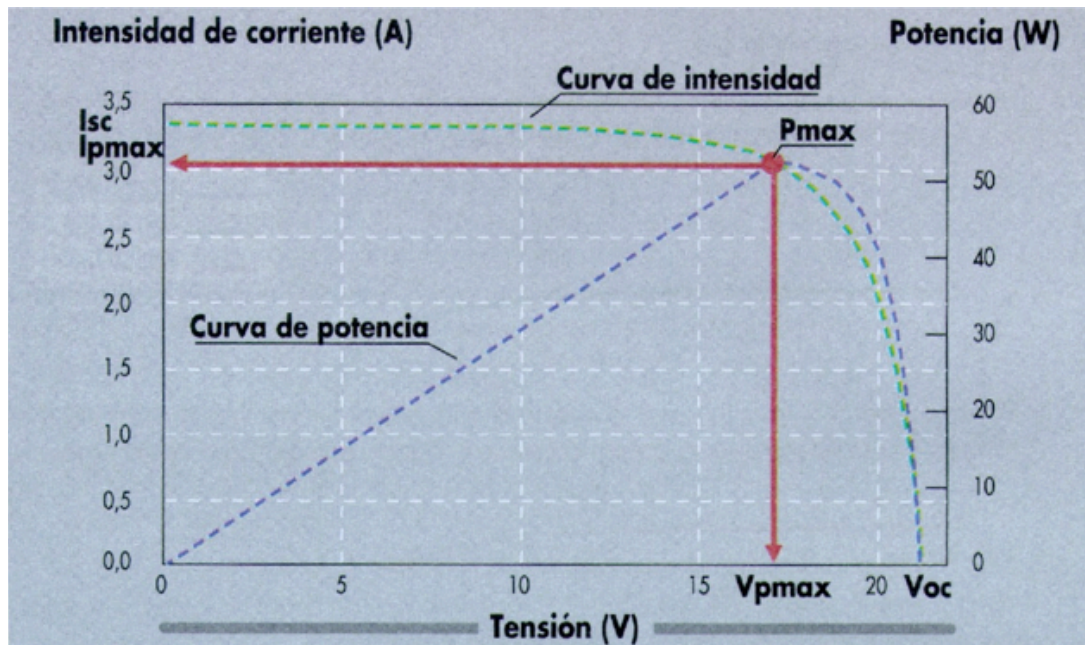
### Parámetros característicos:

Como los parámetros característicos de un panel varían con la radiación, temperatura y distribución espectral, los fabricantes especifican los valores de estos parámetros en unas condiciones determinadas, denominadas condiciones estándar:

**Nivel de radiación de  $1000\text{W/m}^2$**  (potencia recibida por unidad de superficie)  
**Temperatura del panel  $25^\circ\text{C}$**  y **Distribución espectral** de la radiación incidente A.M 1.5

Dichos parámetros característicos son:

- $I_{sc}$ : *intensidad de cortocircuito*, es la máxima corriente que puede circular por el panel y resulta de cortocircuito sus terminales (tensión nula)
- $V_{oc}$ : la *tensión de circuito abierto* se obtiene cuando no hay carga alguna conectada a los terminales del panel. Es la máxima tensión que puede entregar un panel.
- $P_{max}$ : es la *potencia máxima o potencia pico* que puede entregar el panel a una carga. Esta se obtiene en el punto de máxima potencia, esto es, punto en el cual el producto de la tensión ( $V_{pmax}$ ) por la corriente ( $I_{pmax}$ ) es máximo.
- $\eta$ : es el rendimiento del panel, se define como el cociente entre la potencia entregada y la potencia recibida proveniente del sol.



### GRÁFICA INTENSIDAD-TENSIÓN CARACTERÍSTICA DE UN PANEL FOTOVOLTAICO

En este gráfico Intensidad-Tensión podemos observar la Curva característica de un panel fotovoltaico, así como los parámetros anteriormente detallados. Con esto, podemos analizar las siguientes características.





## 2. DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES Y EQUIPOS DE MEDIDA

En este apartado haremos una breve descripción de la instalación utilizada para este trabajo. Dicha instalación está situada en el **laboratorio de Energías Renovables** de la **EII sede Francisco Mendizabal**. Dicho laboratorio se encuentra en la azotea del edificio.



**INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA. LABORATORIO ENERGÍAS RENOVABLES EII**



## 2.1. Estructura base y seguidor solar

La estructura base es el elemento encargado de soportar los paneles y, en su caso, el seguidor solar. Consta de un anclaje de hormigón armado y un bastidor metálico tubular en celosía. Sobre esta estructura hay unos listones de aluminio dispuestos de forma transversal donde se anclan los paneles.



**ESTRUCTURA BASE DE LOS PANELES**





El seguidor solar es el elemento encargado de orientar los paneles de manera óptima hacia el sol. En nuestra instalación tenemos dos sistemas.

**1. Seguidor solar en un eje:**

Se trata del seguidor solar de *SunTracer* que se ve a continuación.



**SEGUIDOR SOLAR UN EJE**



Este seguidor que es capaz de soportar paneles no muy pesados, y lleva incorporado un regulador de carga y un posicionador, además de una estructura posterior para la rotación automática de la pantalla solar en un tiempo programado. Es decir, este sistema sitúa el panel en una posición perpendicular al sol cada un cierto tiempo y dicha posición viene determinada por el reloj solar.

## 2. Seguidor solar en dos ejes:

En este caso el seguimiento del sol es en tiempo real, y el sistema busca el punto de máxima luminosidad en el cielo. Para ello utiliza unos sensores fotoeléctricos y orienta la estructura al punto de máxima luminosidad, pudiéndose orientar también manualmente por medio del mando del que dispone.



**SEGUIDOR SOLAR DOS EJES**



**SENSORES FOTOELÉCTRICOS**





**CONTROL MANUAL DEL SEGUIDOR EN DOS EJES**



## 2.2. Paneles solares instalados

En cada una de las tres estructuras (fija y dos móviles) tenemos tres paneles solares para el estudio y una célula calibrada que nos medirá la radiación incidente en cada instante y un termopar que recoge la temperatura.

Las características de los módulos utilizados para este estudio en condiciones estándar de medida son:

- **Panel de Silicio monocristalino**

PLACA DE CARACTERÍSTICAS	
POTENCIA MAXIMA	30W
I <sub>sc</sub>	2A
V <sub>oc</sub>	22.5V
I <sub>MP</sub>	1.67A
V <sub>MP</sub>	18.0V
MÁXIMA TENSIÓN DEL SISTEMA	1000V

**Dimensiones: 445x535mm**  
**superficie: 0.243m<sup>2</sup>**  
**Modelo: Victron Energy SPM30-12**



**PANEL MONOCRISTALINO**



- **Panel de Silicio policristalino**

PLACA DE CARACTERÍSTICAS	
POTENCIA MAXIMA	20W
I <sub>sc</sub>	1.32A
V <sub>oc</sub>	21.7V
I <sub>MP</sub>	1.21A
V <sub>MP</sub>	16.8V
MÁXIMA TENSIÓN DEL SISTEMA	600V

**Dimensiones:726x345**

**superficie: 0.25m<sup>2</sup>**

**Modelo: Atersa A-20 J**



**PANEL POLICRISTALINO**



- **Panel amorfo CIS (Cobre, Indio y Selenio)**

En este caso tenemos dos paneles instalados en paralelo de las siguientes características.

PLACA DE CARACTERÍSTICAS	
POTENCIA MAXIMA	5.5W
I <sub>SC</sub>	0.35A
V <sub>OC</sub>	22.0V
I <sub>MP</sub>	0.33A
V <sub>MP</sub>	16.5V
MÁXIMA TENSIÓN DEL SISTEMA	30V

**Dimensiones por panel: 205x305**

**Superficie total (2 paneles): 0.125m<sup>2</sup>**

**Modelo: Würth Solar WS 11000**



### **PANELES CIS AMORFO**

Nota: A lo largo del presente trabajo podrá referirse a estos paneles como *CIS* o *Amorfos*





- **Células calibradas**

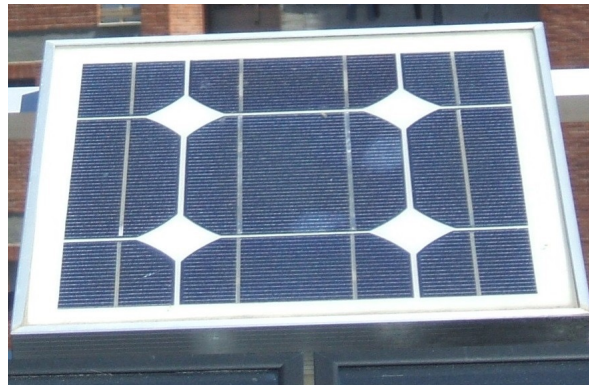
Son paneles cuya salida está casi en cortocircuito, es decir, tiene una resistencia muy pequeña. Al medir la tensión que nos proporcionan, estamos, indirectamente, midiendo su corriente, la cual es muy próxima a la de cortocircuito. Como hemos visto anteriormente, la corriente de cortocircuito depende muy fuertemente de la radiación y muy débilmente de la temperatura. Para evitar la influencia de la temperatura, estas células llevan un circuito que compensa el efecto de la misma.

Por ello, la tensión que se mide depende casi exclusivamente de la radiación y, además, lo hace de forma lineal. De esta forma, como el fabricante de la célula nos indica la relación mV y W/m<sup>2</sup>, podemos medir la radiación incidente.

Son células de la marca ATERSA fabricadas con cristal de alto nivel de transmisividad y marco de aluminio que les proporciona una gran rigidez.

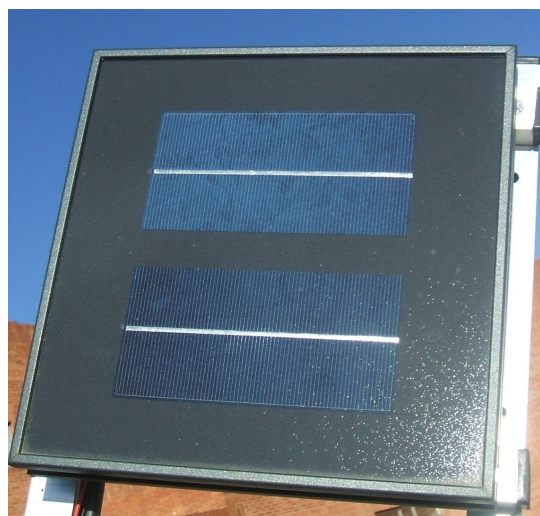
Tenemos dos modelos:

**Estructura fija:** salida de 65mV a 1000 W/m<sup>2</sup>



**CÉLULA CALIBRADA ESTRUCTURA FIJA**

**Estructuras móviles:** salida 100mV a 1000 W/m<sup>2</sup>



**CÉLULA CALIBRADA ESTRUCTURAS MÓVILES**



## 2.3. Otros elementos

En la instalación también contamos con elementos tales como:

- **Termopares:** son utilizados como sensores de temperatura y hay uno en cada estructura. Son de tipo K ya que resisten bien a la oxidación, abarcan el rango de temperaturas que nos interesa y además son de bajo coste. Tras el calibrado de los mismos se obtuvo un factor de corrección para cada termopar, este factor se sumará a cada medida de temperatura obtenida en el sistema.

Factores de corrección

Estructura Fija	7.24
Estructura orientada en 1 eje	9.3
Estructura orientada en 2 ejes	8.5



**TERMOPAR TIPO K**



• **Equipo de medida:**

Utilizamos el equipo portátil, modelo HP 34970A DATA ACQUISITION/SWITCH UNIT

Se trata de un conversor analógico-digital, que se utiliza para recoger las medidas de las variables que necesitamos para nuestro estudio. El equipo almacena estos datos y los transforma en señales digitales, que son enviadas a un ordenador y al software *Data Logger*.



**EQUIPO DE ADQUISICIÓN DE DATOS**

- **Ordenador:** se trata de un ordenador de sobremesa sin ninguna particularidad. En dicho PC está instalado el software *Data Logger* y a través del *Escritorio Remoto* nos conectamos a él desde cualquier punto en cualquier momento para programar y recoger las mediciones.

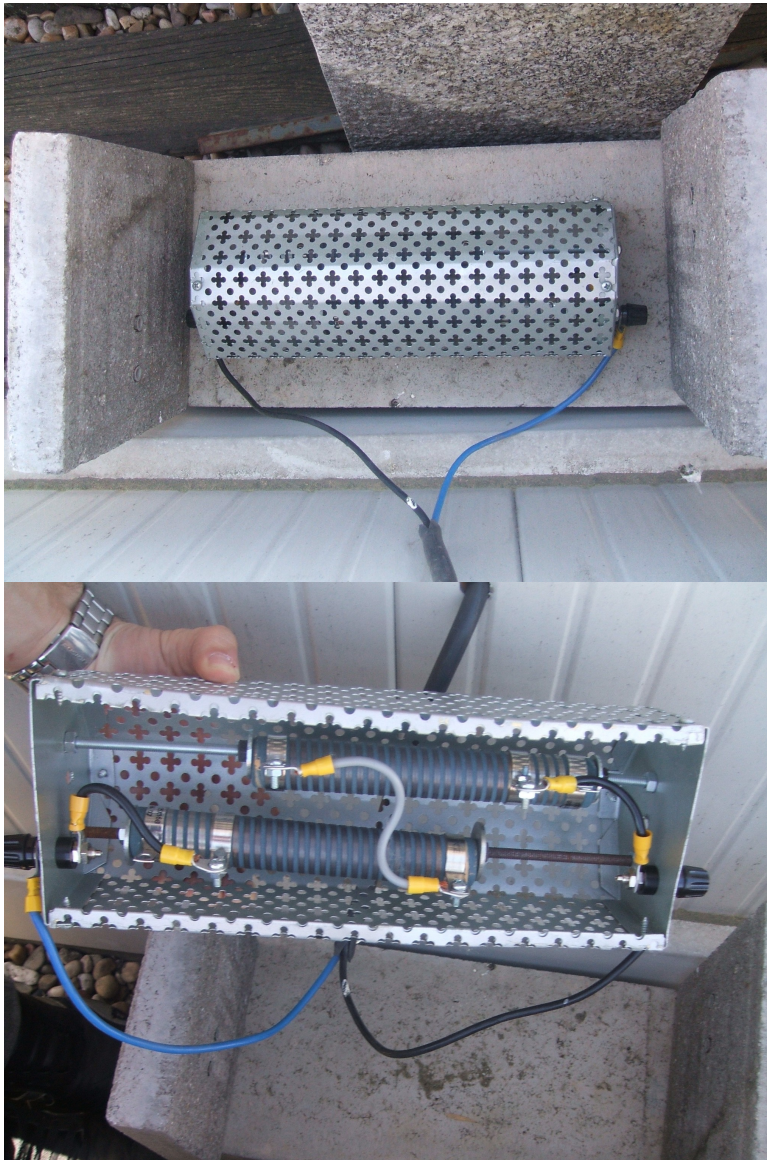


**ORDENADOR UTILIZADO PARA LAS MEDICIONES**



- **Resistencia disipadora de energía:**

Toda la energía generada en el sistema se disipa en esta resistencia. Está diseñada para que la instalación funcione lo mas cerca posible de punto de máxima potencia.

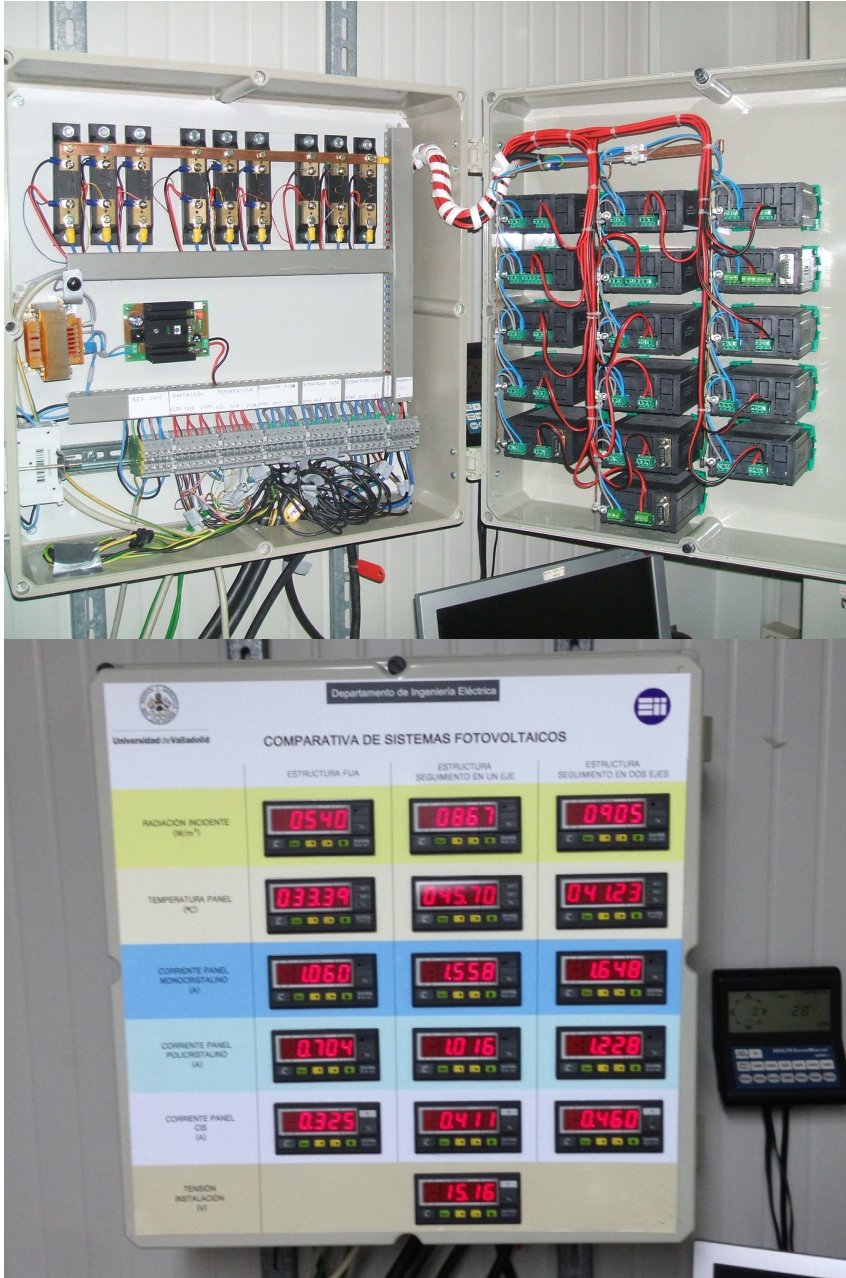


**RESISTENCIA DISIPADORA DE ENERGÍA**





- **Armario eléctrico:** en este compartimento se encuentra el bornero de todo el cableado procedente de los paneles de las tres estructuras, las resistencias shunt (permiten medir la corriente de cada panel) y los indicadores .



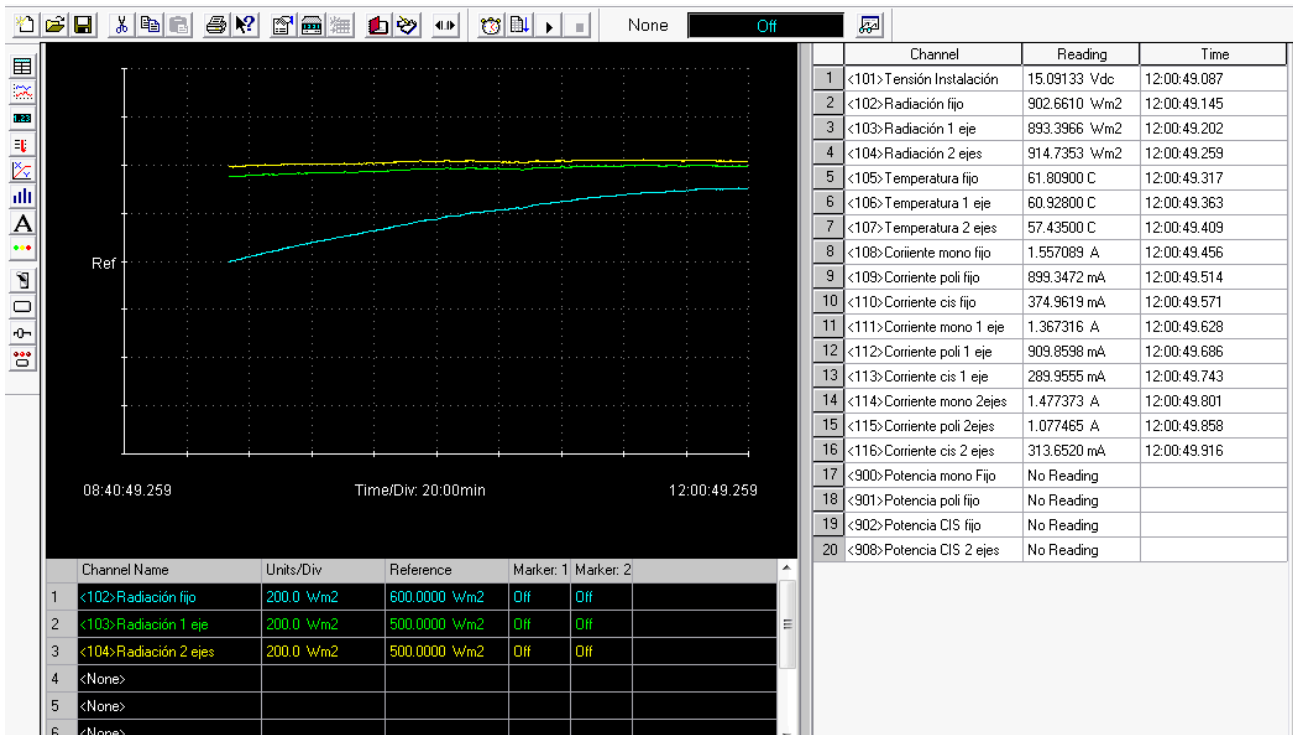
**ARMARIO ELÉCTRICO DE MEDIDAS**



- **Software HP Benchlink Data Logger**

Con este software obtenemos las siguientes variables a través de los canales indicados para nuestro estudio:

- <101> Tensión de instalación (V)
- <102> Radiación estructura fija
- <103> Radiación estructura orientada en 1 eje
- <104> Radiación estructura orientada en 2 ejes
- <105> Temperatura estructura fija
- <106> Temperatura estructura orientada 1 eje
- <107> Temperatura estructura orientada en 2 ejes
- <108> Corriente del panel monocristalino en estructura fija
- <109> Corriente del panel policristalino en estructura fija
- <110> Corriente del panel amorfo en estructura fija
- <111> Corriente del panel monocristalino en estructura orientada en 1 eje
- <112> Corriente del panel policristalino en estructura orientada en 1 eje
- <113> Corriente del panel amorfo en estructura orientada en 1 eje
- <114> Corriente del panel monocristalino en estructura orientada en 2 eje
- <115> Corriente del panel policristalino en estructura orientada en 2 ejes
- <116> Corriente del panel amorfo en estructura orientada en 2 ejes



ID	Scan	Channel Name	Measurement				Scaling (Mx+B)			Alarm Limits					
			Function	Range	Resolution	Advanced	Scale	Gain(M)	Offset(B)	Label	Test	High	Low	H/W Alarm	Advanced
101	<input checked="" type="checkbox"/>	Tensión Instalación	DC volts	Auto	5.5 digits	Default	<input type="checkbox"/>	1.0	0.0	VDC	Off	0.0	0.0	Alarm1	
102	<input checked="" type="checkbox"/>	Radiación fijo	DC volts	Auto	5.5 digits	Default	<input checked="" type="checkbox"/>	14245.01	0.0	W/m2	Off	0.0	0.0	Alarm1	
103	<input checked="" type="checkbox"/>	Radiación 1 eje	DC volts	Auto	5.5 digits	Default	<input checked="" type="checkbox"/>	10000	0.0	W/m2	Off	0.0	0.0	Alarm1	
104	<input checked="" type="checkbox"/>	Radiación 2 ejes	DC volts	Auto	5.5 digits	Default	<input checked="" type="checkbox"/>	10000	0.0	W/m2	Off	0.0	0.0	Alarm1	
105	<input checked="" type="checkbox"/>	Temperatura fijo	Temp (type K)			Default	<input checked="" type="checkbox"/>	1.0	-4.0	C	Off	0.0	0.0	Alarm1	
106	<input checked="" type="checkbox"/>	Temperatura 1 eje	Temp (type K)			Default	<input checked="" type="checkbox"/>	1.0	-4.3	C	Off	0.0	0.0	Alarm1	
107	<input checked="" type="checkbox"/>	Temperatura 2 ejes	Temp (type K)			Default	<input checked="" type="checkbox"/>	1.0	-4.7	C	Off	0.0	0.0	Alarm1	
108	<input checked="" type="checkbox"/>	Corriente mono fijo	DC volts	Auto	5.5 digits	Default	<input checked="" type="checkbox"/>	41.16667	0.0	A	Off	0	0	Alarm1	
109	<input checked="" type="checkbox"/>	Corriente poli fijo	DC volts	Auto	5.5 digits	Default	<input checked="" type="checkbox"/>	25	0.0	A	Off	0	0	Alarm1	
110	<input checked="" type="checkbox"/>	Corriente cis fijo	DC volts	Auto	5.5 digits	Default	<input checked="" type="checkbox"/>	16.6667	0.0	A	Off	0	0	Alarm1	
111	<input checked="" type="checkbox"/>	Corriente mono 1 eje	DC volts	Auto	5.5 digits	Default	<input checked="" type="checkbox"/>	41.1667	0.0	A	Off	0	0	Alarm1	
112	<input checked="" type="checkbox"/>	Corriente poli 1 eje	DC volts	Auto	5.5 digits	Default	<input checked="" type="checkbox"/>	25	0.0	A	Off	0	0	Alarm1	
113	<input checked="" type="checkbox"/>	Corriente cis 1 eje	DC volts	Auto	5.5 digits	Default	<input checked="" type="checkbox"/>	16.6667	0.0	A	Off	0	0	Alarm1	
114	<input checked="" type="checkbox"/>	Corriente mono 2ejes	DC volts	Auto	5.5 digits	Default	<input checked="" type="checkbox"/>	41.1667	0.0	A	Off	0	0	Alarm1	
115	<input checked="" type="checkbox"/>	Corriente poli 2ejes	DC volts	Auto	5.5 digits	Default	<input checked="" type="checkbox"/>	25	0.0	A	Off	0	0	Alarm1	
116	<input checked="" type="checkbox"/>	Corriente cis 2 ejes	DC volts	Auto	5.5 digits	Default	<input checked="" type="checkbox"/>	16.6667	0.0	A	Off	0	0	Alarm1	
117	<input type="checkbox"/>		DC volts	Auto	5.5 digits	Default	<input type="checkbox"/>	1.0	0.0	VDC	Off	0	0	Alarm1	
118	<input type="checkbox"/>		DC volts	Auto	5.5 digits	Default	<input type="checkbox"/>	1.0	0.0	VDC	Off	0	0	Alarm1	
119	<input type="checkbox"/>		DC volts	Auto	5.5 digits	Default	<input type="checkbox"/>	1.0	0.0	VDC	Off	0	0	Alarm1	
120	<input type="checkbox"/>		DC volts	Auto	5.5 digits	Default	<input type="checkbox"/>	1.0	0.0	VDC	Off	0	0	Alarm1	
121	<input type="checkbox"/>		DC current	Auto	5.5 digits	Default	<input type="checkbox"/>	1.0	0.0	ADC	Off	0	0	Alarm1	
122	<input type="checkbox"/>		DC current	Auto	5.5 digits	Default	<input type="checkbox"/>	1.0	0.0	ADC	Off	0	0	Alarm1	
201	<input type="checkbox"/>		Digital Read 8bit								Off	XXXXXXXX		Alarm1	
202	<input type="checkbox"/>		Digital Read 8bit								Off	XXXXXXXX		Alarm1	
203	<input type="checkbox"/>		Totalize			Default					Off	1		Alarm1	
204	<input type="checkbox"/>		DAC Write Volt												

IMÁGENES DEL SOFTWARE UTILIZADO PARA LA TOMA DE DATOS (HP BENCHLINK DATA LOGGER)



## 2.4. Comprobación de los paneles fotovoltaicos. Factores de corrección

Para poder comparar dos paneles estos han de ser completamente idénticos, como esto es muy difícil, con anterioridad a este trabajo, se comprobaron los tres paneles de cada tecnología y se obtuvieron unos factores de corrección.

Esto se llevó a cabo trazando la curva característica de cada panel con un trazador de curvas, un equipo portátil diseñado para medir la salida de corriente continua y trazar curvas I-V de un panel solar fotovoltaico mediante el método “Carga Capacitiva”

Una vez hecho esto, se obtuvieron los siguientes **factores de corrección** para cada tecnologías referidos en cada caso a la instalación fija.

	Fijo	1 eje	2 ejes
Monocristalino	1	1.164	1.175
Policristalino	1	1.059	0.996
Amorfo	1	1.172	1.089

Estos factores se aplicarán a la hora de calcular la potencia instantánea de cada panel ( $P=VI$ ) multiplicando la corriente ( $I$ ) de cada panel por su correspondiente factor de corrección

En cada una de las estructuras tenemos los tres paneles conectados en paralelo, y a su vez, las tres estructuras están conectadas en paralelo teniendo así una tensión única para toda la instalación y una salida a la que se conectará la resistencia que absorbe la energía generada. Por lo tanto, nosotros mediremos un valor de tensión para toda la tensión y este será el valor de la tensión de cada panel en cada instante (V). En cada panel medimos la corriente de salida (I). Como la tensión es común para todos los paneles y la corriente es la variable dependiente de cada panel, será en esta donde aplicaremos los factores de corrección. Las lecturas de corriente de los paneles de la misma tecnología deberán ser comparables entre si, por ello utilizamos estos factores y así, cualquier variación de la corriente en los paneles se deberá exclusivamente a factores externos y no a las pequeñas diferencias entre paneles.



### 3. TOMA Y TRATAMIENTO DE LOS DATOS

En este trabajo se pretende determinar los incrementos de producción de sistemas con seguimiento solar respecto a un sistema fijo. Por tanto, necesitaremos tener la información relativa a dicha producción a lo largo de un año. Además, se compararán diferentes tecnologías de panel fotovoltaico, por lo que tendremos que medir la energía que produce cada uno de los nueve paneles que tenemos para posteriormente compararlos entre sí.

Como nosotros podemos tomar datos de corriente y tensión y lo que necesitamos es energía, tenemos que tomar una lectura de la corriente en intervalos de tiempo fijos y, como potencia es corriente por tensión, multiplicaremos dicha corriente por la tensión. Así tenemos la potencia en cada instante. Para conseguir la energía generada se multiplicará esta potencia por el intervalo de medida.

A partir de estas medidas realizadas a lo largo de un año determinaremos la producción de cada panel en cada estructura y así podremos compararlas, al igual que una serie de parámetros que varían según las condiciones ambientales y que también serán objeto de estudio tales como el rendimiento.

A lo largo de este año de mediciones que se ha empleado para realizar este estudio procuramos recoger datos cada dos días, es decir, un día prepararemos el software para la medición y al día siguiente se lleva a cabo la toma de datos y la exportación de los mismos. Del software *Data Logger* exportamos un archivo de formato tipo Excel para cada día. Un vez almacenados todos los días trataremos y analizaremos estos datos por medio de una serie de plantillas. Esto es, un archivo Excel con varias hojas en los que se introducirán los datos de cada día tal y como vienen del software *Data Logger* y mediante una serie de operaciones se obtendrán los datos depurados y útiles para nuestro propósito.

Estas plantillas son: *Plantilla diaria*, *Plantilla mensual* y *Gráficas anuales*.



### 3.1.Plantilla diaria

En esta plantilla recogemos los datos exportado en el *Data Logger* cada día medido y depuramos los datos hasta obtener los resultados deseados, potencia de cada panel, energía producida, rendimiento de los paneles, temperaturas y radiación para cada estructura.

Una vez hecho esto tendremos para cada día los valores de Energía generada por panel, radiación recibida y Energía producida por Vatio instalado. Variables necesarias para realizar este estudio.

El proceso seguido es el siguiente:

1. Copiamos los datos extraídos del *Data Logger* en la hoja *DATOS* de la Plantilla diaria.

Recogemos datos cada 10 segundos desde las 4:45 hasta las 12:01 (hora solar) por lo que tendremos 2622 lecturas de 48 datos cada una. Se mide medio día solar debido a las limitaciones del software y a la disposición de las estructuras, en el laboratorio, por la tarde estarían parcialmente sombreadas. Gran parte de estos datos no serán útiles y los demás deben ser ordenados y depurados.

2. Automáticamente obtenemos en la hoja *Datos Tratados* de dicha plantilla los datos que deseamos. Algunas variables son directas (Temperatura, Radiación, Tensión y Corriente) y otras son indirectas, las calculamos nosotros (Potencia instantánea, Energía total, Energía por Vatio instalado y Radiación total)

#### Variables directas:

Temp Fijo	Temp 1 eje	Temp 2 ejes	Rad Fijo	Rad 1 eje	Rad 2 ejes	TENSION instalación		
105(C)	106(C)	107(C)	102(Wm2)	103(Wm2)	104(Wm2)	101(VDC)		
2.34E+01	2.58E+01	2.58E+01	4.63E-01	7.20E-01	6.73E-01	1.15E-02		
2.34E+01	2.58E+01	2.57E+01	4.69E-01	6.77E-01	6.41E-01	1.17E-02		
2.34E+01	2.58E+01	2.56E+01	4.77E-01	6.66E-01	3.35E-01	1.20E-02		

I MONO FIJO	I MONO 1 EJE	I MONO 2 EJES	I POLI FIJO	I POLI 1 EJE	I POLI 2 EJES	I CIS FIJO	I CIS 1 EJE	I CIS 2 EJES
108(A)	111(A)	114(A)	109(A)	112(A)	115(A)	110(A)	113(A)	116(A)
1.09E-03	1.15E-03	7.42E-04	7.06E-04	7.57E-04	5.23E-04	3.42E-04	2.83E-04	7.87E-05
1.11E-03	1.18E-03	7.38E-04	7.11E-04	7.62E-04	5.29E-04	3.38E-04	3.01E-04	8.59E-05
1.13E-03	1.22E-03	7.20E-04	7.60E-04	8.00E-04	5.42E-04	3.52E-04	3.06E-04	9.30E-05



**Variables indirectas:**

POT MONO FIJO	POT MONO 1 EJE	POT MONO 2 EJES	POT POLI FIJO	POT POLI 1 EJE	POT POLI 2 EJES	POT CIS FIJO	POT CIS 1 EJE	POT CIS 2 EJES
1.25E-05	1.54E-05	1.00E-05	8.09E-06	9.19E-06	5.98E-06	3.92E-06	3.80E-06	9.83E-07
1.30E-05	1.61E-05	1.02E-05	8.35E-06	9.47E-06	6.18E-06	3.97E-06	4.14E-06	1.10E-06
1.36E-05	1.71E-05	1.02E-05	9.12E-06	1.02E-05	6.49E-06	4.23E-06	4.31E-06	1.22E-06

RESULTADOS									
	MONO FIJO	MONO 1EJE	MONO 2 EJES	POLI FIJO	POLI 1 EJE	POLI 2 EJES	CIS FIJO	CIS 1 EJE	CIS 2 EJES
Energía Total (Wh)	154.90	234.12	261.46	98.80	141.52	167.34	45.17	65.05	68.97
Energía/Wins-Día	5.16	7.80	8.72	4.94	7.08	8.37	4.11	5.91	6.27
	FIJO	1EJE	2 EJES						
Radiación Total Wh/m <sup>2</sup>	5904.97	8897.59	9720.39						

En la siguiente tabla presente en la *Plantilla diaria* se recoge la información más relevante necesaria para nuestro estudio.

	MONO FIJO	MONO 1 EJE	MONO 2 EJE	POLI FIJO	POLI 1 EJE	POLI 2 EJES	CIS FIJO	CIS 1 EJE	CIS 2 EJES
Potencia Total	27881.97	42142.05	47062.65	17784.34	25473.22	30121.29	8131.18	11708.72	12413.74
Energía Total Wh	154.90	234.12	261.46	98.80	141.52	167.34	45.17	65.05	68.97
Rendimiento	10.80%	10.83%	11.07%	6.68%	6.35%	6.87%	6.12%	5.85%	5.67%
	FIJO	1 EJE	2 EJES						
Radiación Total Wh/m <sup>2</sup>	5904.97	8897.59	9720.39						

**TABLA RESUMEN PLANTILLA DIARIA**

3. De toda esta información recogida cada día se guarda en la *Plantilla mensual* los datos del apartado *RESULTADOS*, mostrado anteriormente. Esto es:

- Energía total (Wh)**
- Radiación total (Wh/m<sup>2</sup>)**
- Energía/W<sub>instalado</sub> (Wh)**

**Cálculo de las variables indirectas:**

$Potencia = Tensión_{instalación} \cdot Corriente_{panel} \cdot Factor_{corrección} (W)$   
Valores instantáneos

$Potencia_{total} = \Sigma Potencia (W)$

$Energía_{total} = 2 \cdot 10 \cdot Potencia_{total} / 3600 (Wh)$

$Radiación_{total} = 2 \cdot 10 \cdot Radiacion / 3600 (Wh/m^2)$

$Rendimiento = Energía_{total} / Radiacion_{total} \cdot Superficie_{panel} (%)$



Nota: Dado que tenemos datos de medio día, para el cálculo de la Energía producida y la Energía recibida en un día completo, se supondrá que son el doble. Esto supone que la producción en el medio día siguiente es simétrica respecto a lo medido.

### **3.2. Plantilla mensual**

En esta plantilla se almacenan los datos de energía producida, Energía recibida y Energía producida por Vatio instalado para cada día medido.

Esta plantilla solo es de carácter organizativo, una vez ordenados todos los días del año y calculada la Energía producida mensual y el Rendimiento medio mensual para cada panel volcamos estos datos a la plantilla GRAFICAS, donde se calcularan y representaran las variables deseadas para el estudio.

Un ejemplo de esta plantilla es el siguiente (mes Agosto):





Días	ENERGÍA Wh		RADIACIÓN TOTAL Wh/m <sup>2</sup>						ENERGÍA POR W INSTALADO Y DÍA												
	MONO FIO		POLI FIO		MONO 2 EIES		POLI 2 EIES		MONO 1 EIE		POLI 1 EIE		MONO 2 EIES		POLI 2 EIES						
	MONO FIO	2 EIES	FIO	1 EIE	2 EIES	MONO 1 EIE	2 EIES	MONO 2 EIES	2 EIES	MONO FIO	MONO 1 EIE	MONO 2 EIES	POLI FIO	POLI 1 EIE	POLI 2 EIES	CIS FIO	CIS 1 EIE	CIS 2 EIES			
1/8/15	163.51	253.46	281.16	103.58	154.16	179.65	46.67	68.86	73.38	6046.15	9427.56	10289.71	5.45	8.45	9.37	5.18	7.71	8.98	4.24	6.26	6.67
2/8/15	162.89	249.12	276.10	103.21	151.36	176.08	46.56	67.68	71.65	6008.81	9232.51	9989.51	5.43	8.30	9.20	5.16	7.57	8.80	4.23	6.15	6.51
3/8/15	166.78	261.74	290.92	105.21	159.18	186.06	46.80	68.93	74.91	6141.67	9670.34	10530.88	5.56	8.72	9.70	5.26	7.96	9.30	4.25	6.36	6.81
4/8/15	154.08	194.04	208.86	96.55	114.51	132.12	43.76	48.18	48.32	5701.30	6854.77	7028.19	5.14	6.47	6.96	4.83	5.73	6.61	3.98	4.38	4.39
5/8/15	156.48	237.37	258.50	100.14	144.16	164.96	45.72	65.45	68.01	5825.45	8801.62	9410.49	5.22	7.91	8.62	5.01	7.21	8.25	4.16	5.95	6.18
6/8/15	143.98	218.86	235.26	93.47	132.71	150.55	43.14	62.33	63.33	5500.98	8204.66	8726.81	4.80	7.30	7.84	4.67	6.64	7.53	3.92	5.67	5.76
7/8/15																					
8/8/15																					
9/8/15																					
10/8/15																					
11/8/15																					
12/8/15																					
13/8/15																					
14/8/15																					
15/8/15	121.16	160.67	168.60	79.66	98.44	108.21	37.37	46.13	45.01	4956.82	6183.89	6315.66	4.04	5.36	5.62	3.98	4.92	5.41	3.40	4.19	4.09
16/8/15	160.72	246.44	269.43	102.09	149.02	171.29	45.95	66.55	70.05	5901.93	9046.08	9551.84	5.36	8.21	8.98	5.10	7.45	8.56	4.18	6.05	6.37
17/8/15	162.00	246.26	262.93	104.52	146.84	167.16	48.17	68.34	70.23	5763.39	8709.90	9143.81	5.40	8.21	8.76	5.23	7.34	8.36	4.38	6.30	6.38
18/8/15	159.88	245.01	267.21	101.26	147.97	170.24	45.18	65.75	68.35	5952.17	9180.99	9636.60	5.33	8.17	8.91	5.06	7.40	8.51	4.11	5.98	6.21
19/8/15	150.93	226.11	241.48	97.05	136.35	153.90	44.66	63.02	63.52	5602.87	8223.76	8581.19	5.03	7.54	8.05	4.85	6.82	7.69	4.06	5.73	5.77
20/8/15	122.43	190.59	203.50	80.64	116.00	130.87	36.86	54.72	54.87	4763.55	7196.68	7499.41	4.08	6.35	6.78	4.03	5.80	6.54	3.35	4.97	4.99
21/8/15	166.62	251.99	271.12	106.38	151.67	172.68	47.35	66.58	68.87	5974.91	9022.56	9368.19	5.55	8.40	9.04	5.32	7.58	8.63	4.30	6.05	6.26
22/8/15	153.17	226.11	239.49	99.01	136.43	152.22	45.39	63.52	63.72	5644.45	8172.50	8475.36	5.11	7.54	7.98	4.95	6.82	7.61	4.13	5.77	5.79
23/8/15																					
24/8/15																					
25/8/15																					
26/8/15																					
27/8/15																					
28/8/15																					
29/8/15																					
30/8/15	121.99	166.08	175.31	78.41	100.13	111.77	36.03	45.60	45.11	4806.41	6144.49	6277.34	4.07	5.54	5.84	3.92	5.01	5.59	3.28	4.15	4.10
31/8/15	31.91	38.09	39.75	22.55	24.57	25.76	11.46	13.17	12.78	2296.50	2448.20	2608.43	1.06	1.27	1.32	1.13	1.23	1.29	1.04	1.20	1.16
31/8/15	2266.61	3373.84	3649.86	1451.18	2038.94	2327.74	659.61	933.64	949.33												
10.89%	11.10%	11.38%	6.77%	6.51%	7.04%	6.18%	5.92%	5.77%													

DATOS MES DE AGOSTO. PLANTILLA MENSUAL



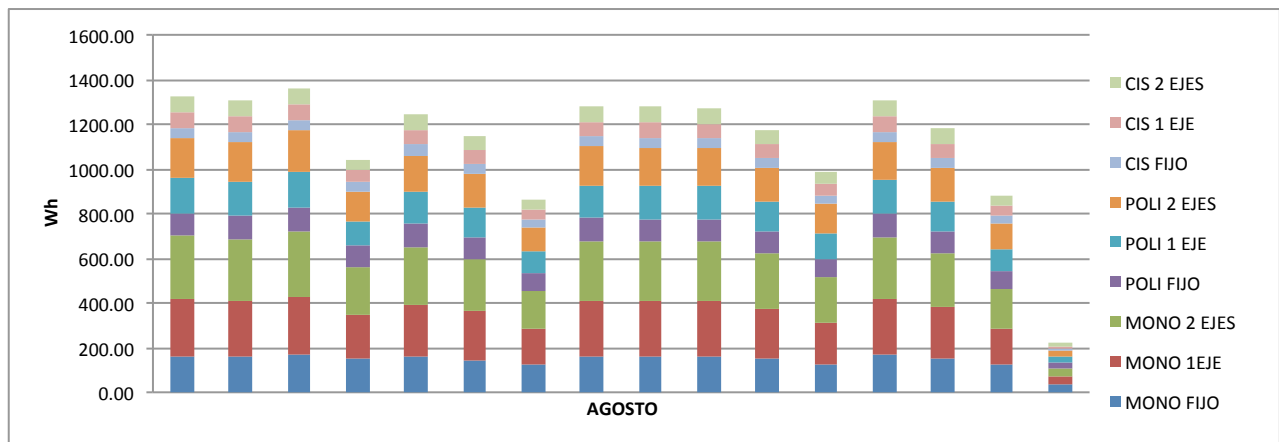
### 3.3. Plantilla *Gráficas*

En esta plantilla se toman los datos de Energía total diaria, Energía total mensual y Rendimiento total mensual para cada panel, de la *Plantilla mensual*.

La plantilla esta dividida en cinco hojas:

- **Producción por meses:** donde se almacenan los datos anteriormente citados para cada mes y día del año.
- **Energía por día:** aquí se recoge la energía generada en cada día del mes por cada panel, y se representa gráficamente. A modo de ejemplo se muestra el mes de Agosto.

AGOSTO	2/8/15	163.51	253.46	281.16	103.58	154.16	179.65	46.67	68.86	73.38
	4/8/15	162.89	249.12	276.10	103.21	151.36	176.08	46.56	67.68	71.65
	6/8/15	166.78	261.74	290.92	105.21	159.18	186.06	46.80	69.93	74.91
	8/8/15	154.08	194.04	208.86	96.55	114.51	132.12	43.76	48.18	48.32
	10/8/15	156.48	237.37	258.50	100.14	144.16	164.96	45.72	65.45	68.01
	12/8/15	143.98	218.86	235.26	93.47	132.71	150.55	43.14	62.33	63.33
	15/8/15	121.16	160.67	168.60	79.66	98.44	108.21	37.37	46.13	45.01
	17/8/15	160.72	246.44	269.43	102.09	149.02	171.29	45.95	66.55	70.05
	18/8/15	162.00	246.26	262.93	104.52	146.84	167.16	48.17	69.34	70.23
	20/8/15	159.88	245.01	267.21	101.26	147.97	170.24	45.18	65.75	68.35
	22/8/15	150.93	226.11	241.48	97.05	136.35	153.90	44.66	63.02	63.52
	23/8/15	122.43	190.59	203.50	80.64	116.00	130.87	36.86	54.72	54.87
	25/8/15	166.62	251.99	271.12	106.38	151.67	172.68	47.35	66.58	68.87
	27/8/15	153.17	226.11	239.49	99.01	136.43	152.22	45.39	63.52	63.72
	30/8/15	121.99	166.08	175.31	78.41	100.13	111.77	36.03	45.60	45.11
	31/8/15	31.91	38.09	39.75	22.55	24.57	25.76	11.46	13.17	12.78



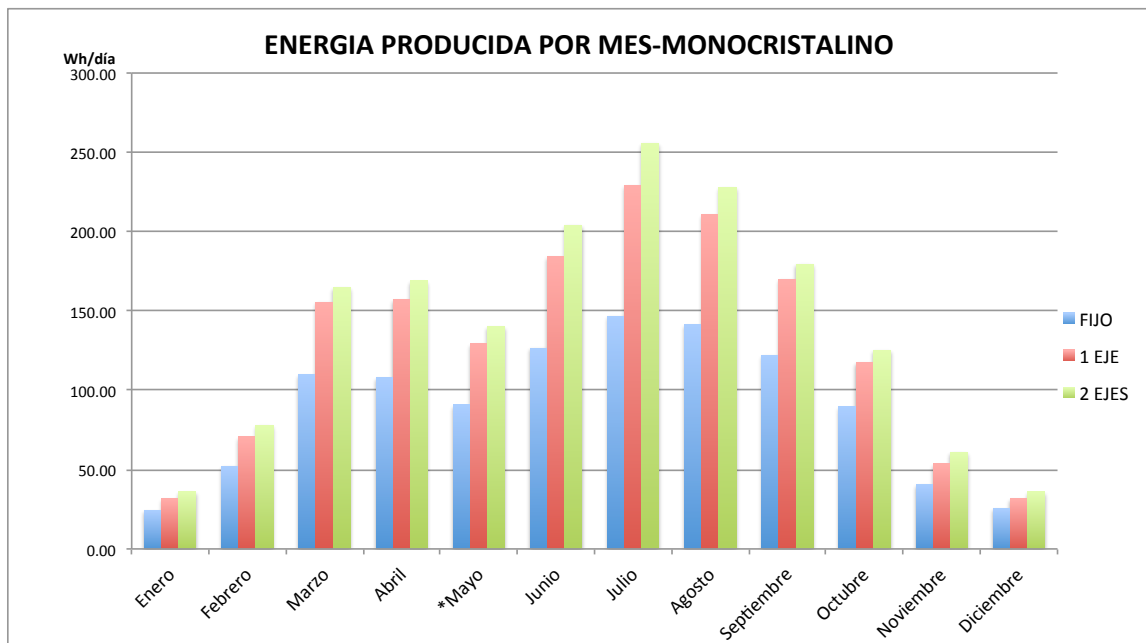


- **Energía por mes:** aquí se calcula la energía producida en un mes. Pero, dado que no todos los meses se mide el mismo número de días (en teoría 15 días por mes) si queremos comparar la producción de cada panel a lo largo del año, debemos obtener el cociente de producción mensual por número de días producidos, así obtendremos los Wh/día y podremos comparar la producción mensual entre meses con diferente número de días medidos.

	ENERGIA POR MES (Wh/día)									nº de días medidos
	MONO FIJO	MONO 1EJE	MONO 2 EJES	POLI FIJO	POLI 1 EJE	POLI 2 EJES	CIS FIJO	CIS 1 EJE	CIS 2 EJES	
Enero	24.45	32.06	36.16	16.98	20.27	22.91	8.25	10.48	10.83	17.00
Febrero	52.14	70.83	77.98	34.76	43.87	49.12	15.88	20.22	20.81	14.00
Marzo	110.10	155.64	164.61	71.39	94.63	103.26	31.67	41.88	41.81	15.00
Abril	107.98	157.26	169.01	68.89	96.47	106.89	30.19	42.76	43.28	16.00
*Mayo	90.85	129.61	140.27	59.00	79.84	89.26	26.88	36.90	37.57	9.00
Junio	126.70	184.30	203.92	81.64	112.94	130.76	37.97	52.81	55.28	12.00
Julio	146.82	229.06	255.81	93.86	139.56	163.84	43.24	65.04	68.95	16.00
Agosto	141.66	210.87	228.12	90.70	127.43	145.48	41.23	57.73	59.33	16.00
Septiembre	122.25	170.08	179.50	79.07	103.17	113.98	35.91	46.02	46.22	17.00
Octubre	89.64	117.42	125.39	59.69	72.22	79.65	27.94	33.37	33.83	11.00
Noviembre	40.84	53.67	60.79	27.55	33.72	38.36	12.80	15.80	16.71	16.00
Diciembre	25.40	32.03	35.93	18.00	20.79	21.72	9.08	11.13	11.53	17.00

**TABLA PRODUCCIÓN MENSUAL POR DÍA MEDIDO PARA CADA TIPO DE PANEL Y SISTEMA DE ORIENTACIÓN**

A modo de ejemplo se muestra la gráfica de la comparativa de producción por mes para los paneles monocristalinos:



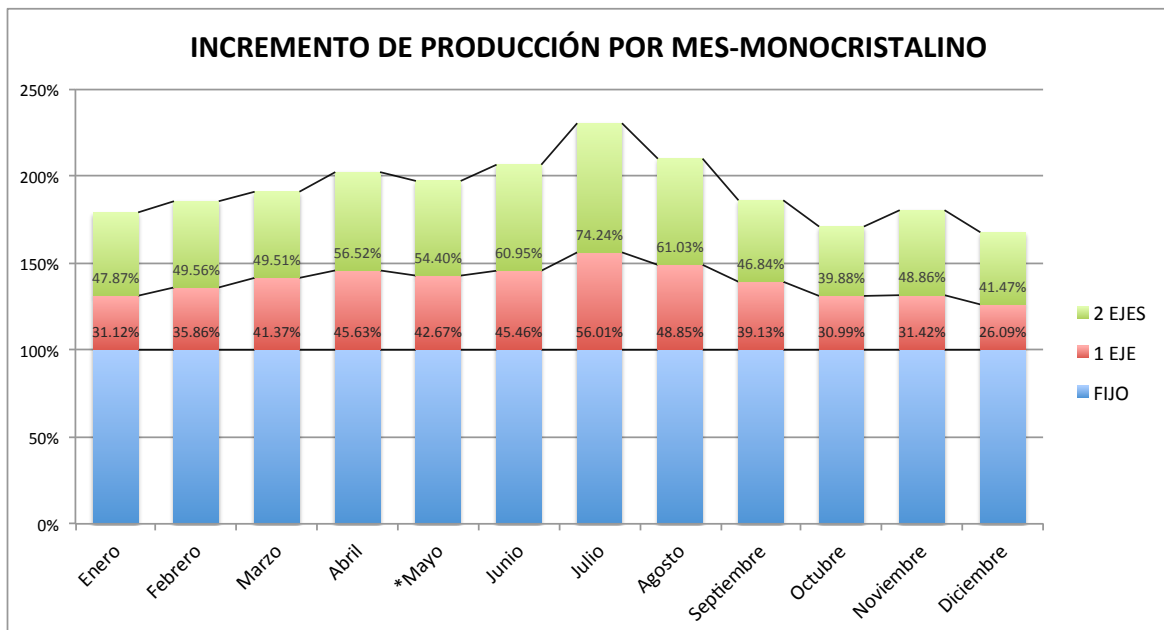


También se calcula el incremento de la producción para cada tipo de panel en los sistemas orientados con respecto al sistema fijo, es decir, en que porcentaje aumenta la producción de un panel en sistema móvil con respecto al sistema fijo.

	INCREMENTO DE PRODUCCIÓN RESPECTO A FIJO (Wh)					
	MONO 1EJE	MONO 2 EJES	POLI 1 EJE	POLI 2 EJES	CIS 1 EJE	CIS 2 EJES
	1 EJE	2 EJES	1 EJE	2 EJES	1 EJE	2 EJES
Enero	31.12%	47.87%	19.37%	34.93%	26.94%	31.15%
Febrero	35.86%	49.56%	26.23%	41.34%	27.32%	31.03%
Marzo	41.37%	49.51%	32.55%	44.64%	32.23%	32.02%
Abril	45.63%	56.52%	40.03%	55.15%	41.66%	43.37%
*Mayo	42.67%	54.40%	35.34%	51.30%	37.30%	39.79%
Junio	45.46%	60.95%	38.34%	60.17%	39.08%	45.59%
Julio	56.01%	74.24%	48.69%	74.56%	50.41%	59.45%
Agosto	48.85%	61.03%	40.50%	60.40%	40.03%	43.92%
Septiembre	39.13%	46.84%	30.48%	44.15%	28.14%	28.70%
Octubre	30.99%	39.88%	21.00%	33.45%	19.44%	21.08%
Noviembre	31.42%	48.86%	22.38%	39.25%	23.39%	30.52%
Diciembre	26.09%	41.47%	15.49%	20.64%	22.60%	26.96%
ANUAL	43.01%	55.49%	34.70%	51.85%	35.23%	38.97%

**TABLA INCREMENTO DE LA PRODUCCIÓN RESPECTO AL SISTEMA FIJO POR TIPO DE PANEL**

Gráficamente representamos estos incrementos de la siguiente manera. Ejemplo paneles monocristalinos:



**GRÁFICA DE LOS INCREMENTOS DE PRODUCCIÓN CON RESPECTO AL SISTEMA FIJO PARA PANELES MONOCRISTALINOS**

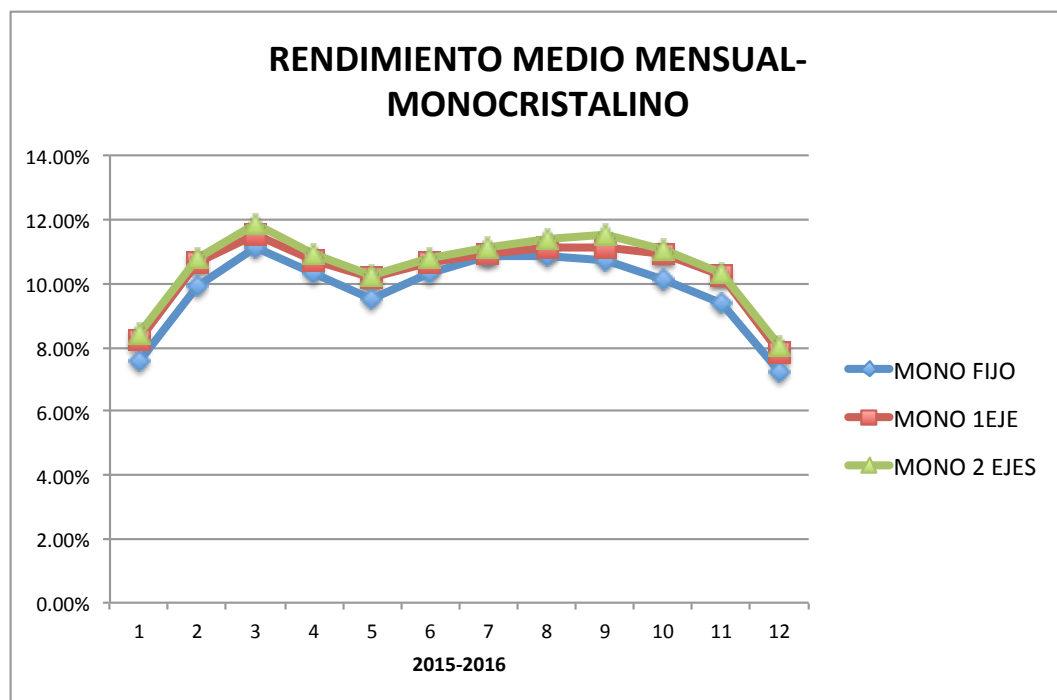


- **Rendimiento mensual:** en esta hoja se tiene el rendimiento medio mensual calculado como el cociente entre la Energía total producida en un mes y la Radiación total recibida en dicho mes ( $E_T/R_T \cdot A_{panel}$ )

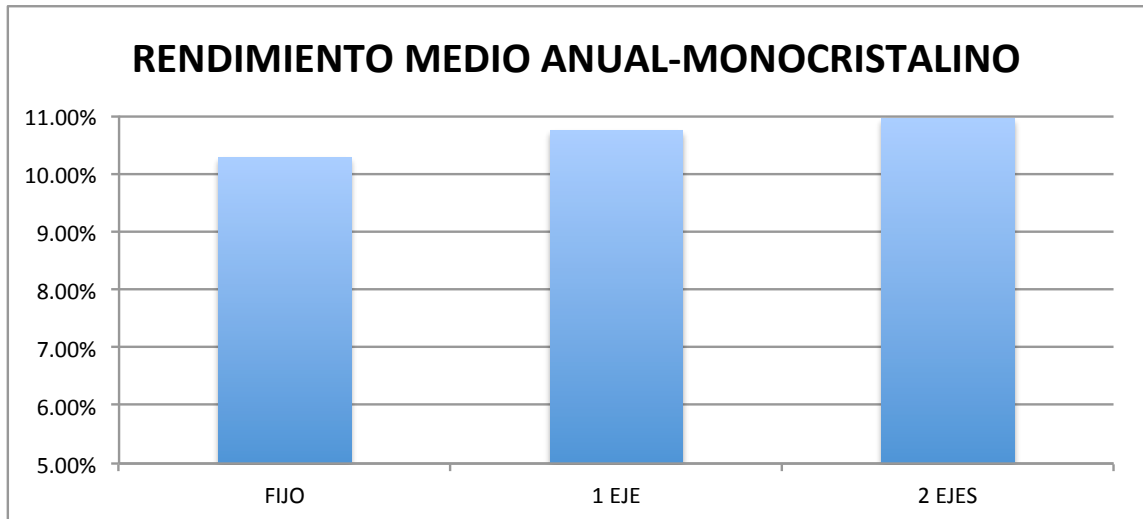
	MONO FIJO	MONO 1EJE	MONO 2 EJES	POLI FIJO	POLI 1 EJE	POLI 2 EJES	CIS FIJO	CIS 1 EJE	CIS 2 EJES
ENERO	7.58%	8.25%	8.45%	5.10%	5.06%	5.19%	4.97%	5.24%	4.92%
FEBRERO	9.92%	10.62%	10.81%	6.41%	6.38%	6.61%	5.87%	5.89%	5.61%
MARZO	11.15%	11.53%	11.87%	7.01%	6.80%	7.22%	6.23%	6.03%	5.86%
ABRIL	10.31%	10.70%	10.94%	6.39%	6.39%	6.72%	5.63%	5.71%	5.48%
MAYO	9.52%	10.17%	10.23%	6.00%	6.08%	6.31%	5.47%	5.63%	5.32%
JUNIO	10.32%	10.67%	10.76%	6.45%	6.34%	6.69%	6.01%	5.94%	5.67%
JULIO	10.84%	10.94%	11.11%	6.72%	6.47%	6.90%	6.20%	6.04%	5.82%
AGOSTO	10.89%	11.10%	11.38%	6.77%	6.51%	7.04%	6.18%	5.92%	5.77%
SEPTIEMBRE	10.72%	11.13%	11.52%	6.73%	6.54%	7.09%	6.11%	5.84%	5.75%
OCTUBRE	10.11%	10.90%	11.04%	6.53%	6.50%	6.80%	6.12%	6.02%	5.79%
NOVIEMBRE	9.38%	10.25%	10.30%	6.14%	6.25%	6.31%	5.73%	5.86%	5.50%
DICIEMBRE	7.21%	7.84%	8.04%	4.96%	4.94%	4.71%	5.01%	5.30%	5.01%

**TABLA RENDIMIENTO MEDIO MENSUAL POR TIPO DE PANEL Y SISTEMA DE ORIENTACIÓN**

Gráficamente y a modo de ejemplo se muestra el rendimiento medio mensual a lo largo del año y el rendimiento medio anual para los paneles monocristalinos.

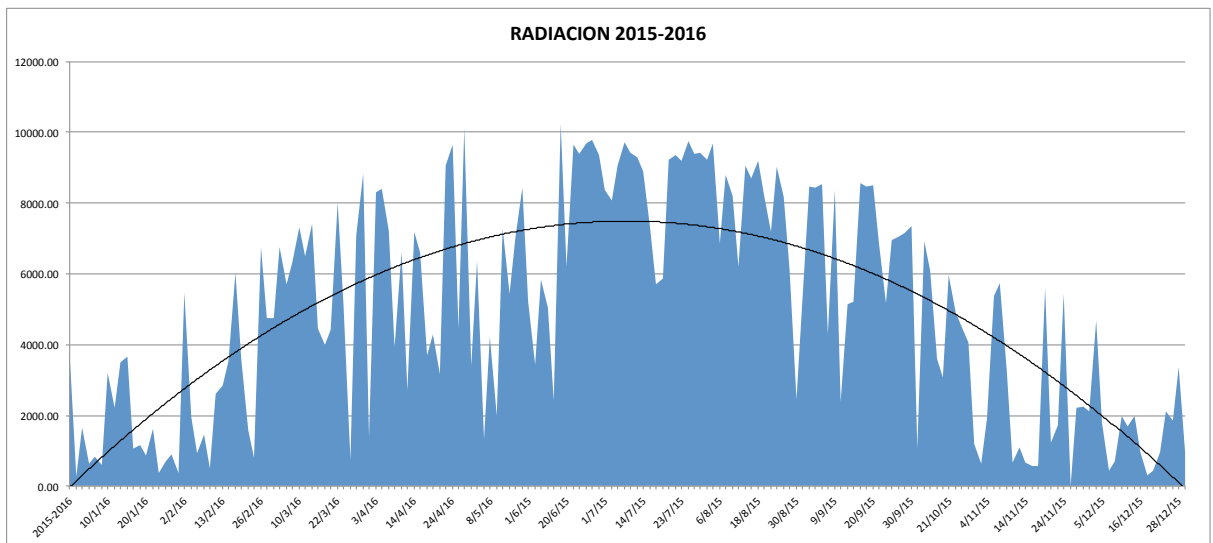


**GRÁFICA RENDIMIENTO MEDIO POR MES Y SISTEMA DE ORIENTACIÓN PARA PANELES MONOCRISTALINOS**



#### GRÁFICA RENDIMIENTO MEDIO ANUAL PARA PANELES MONOCRISTALINOS

- **Radiación anual:** en esta hoja se obtiene la radiación a lo largo de todo el año, gráfico que será útil para comparar y extraer conclusiones en el apartado *Conclusiones*



#### RADIACIÓN RECIBIDA POR LOS PANELES A LO LARGO DEL AÑO

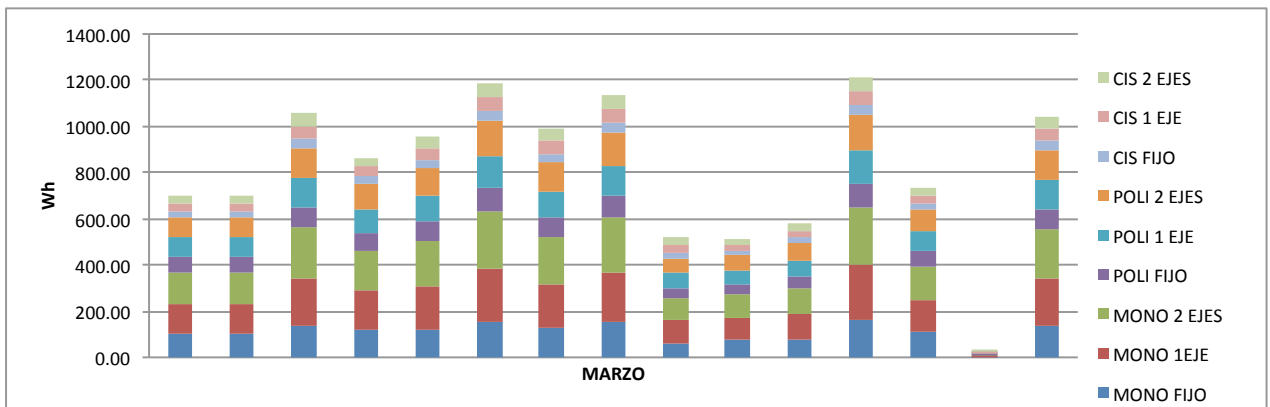
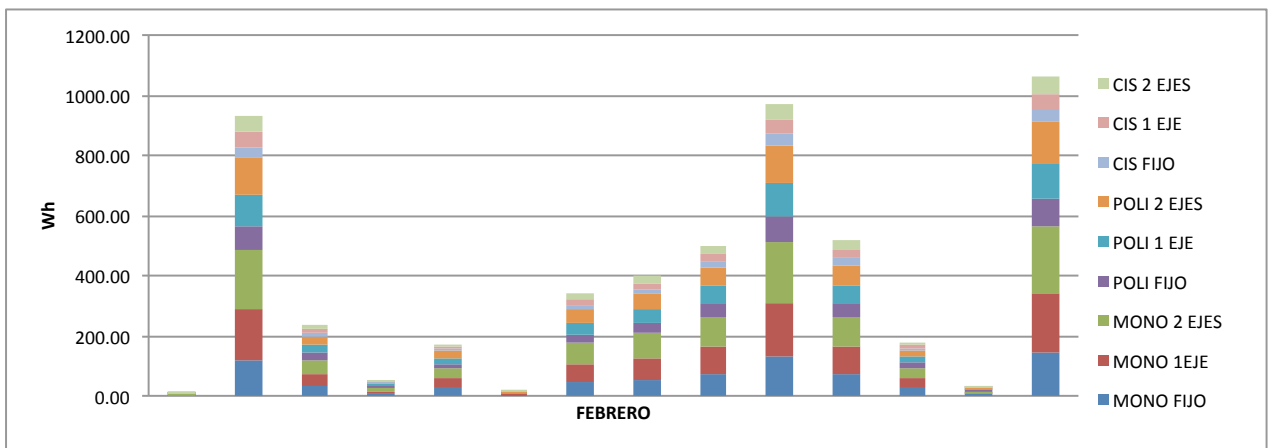
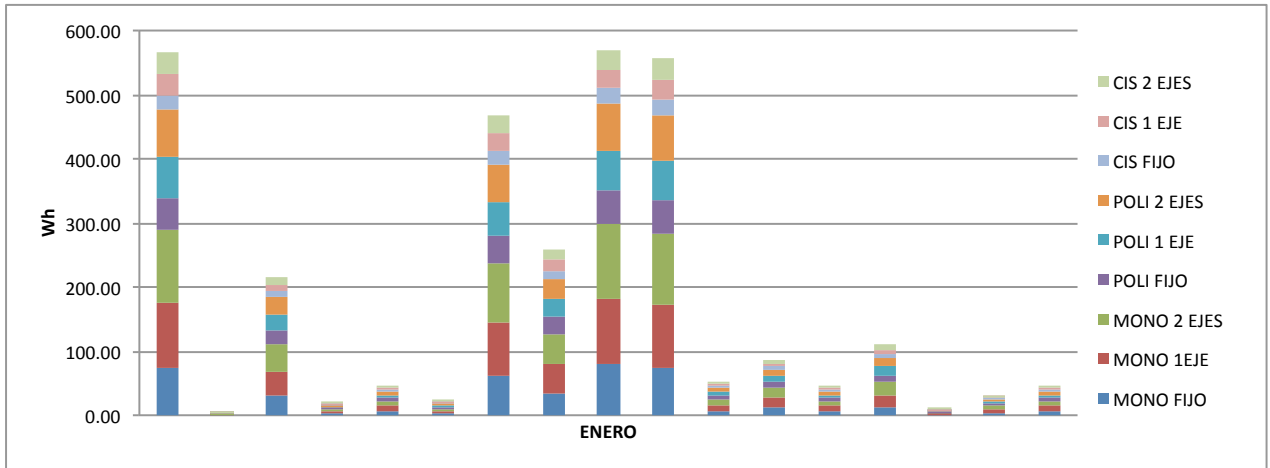


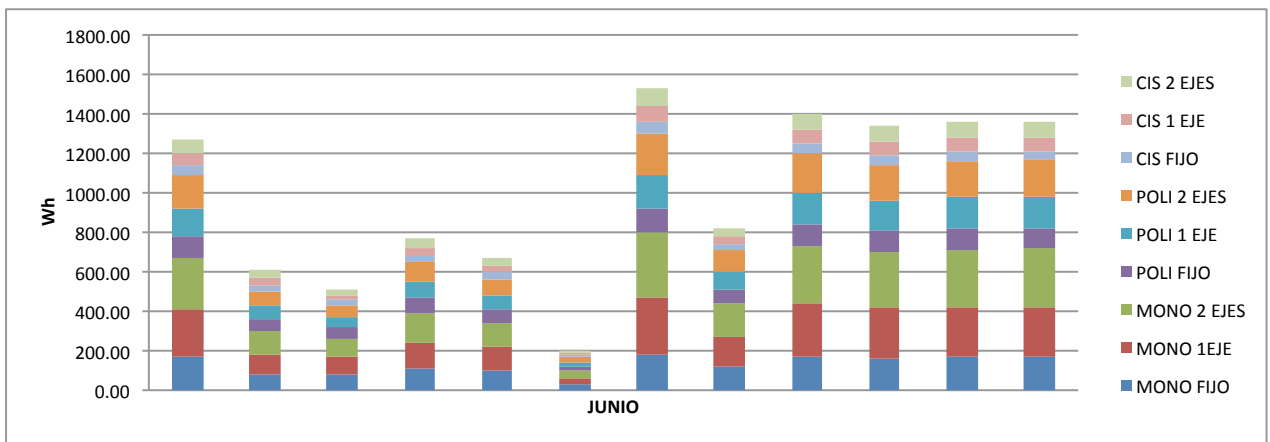
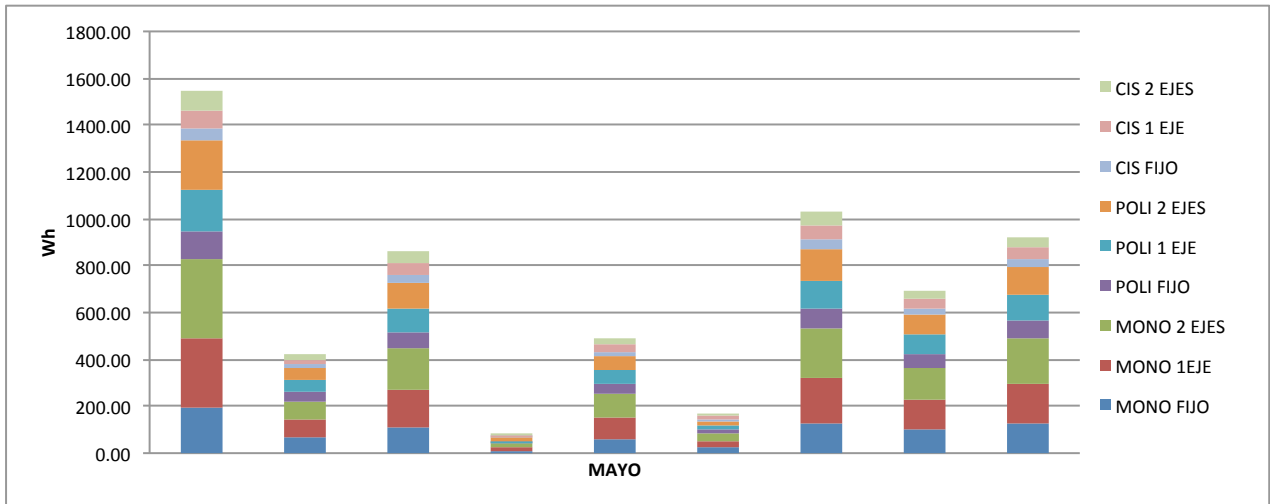
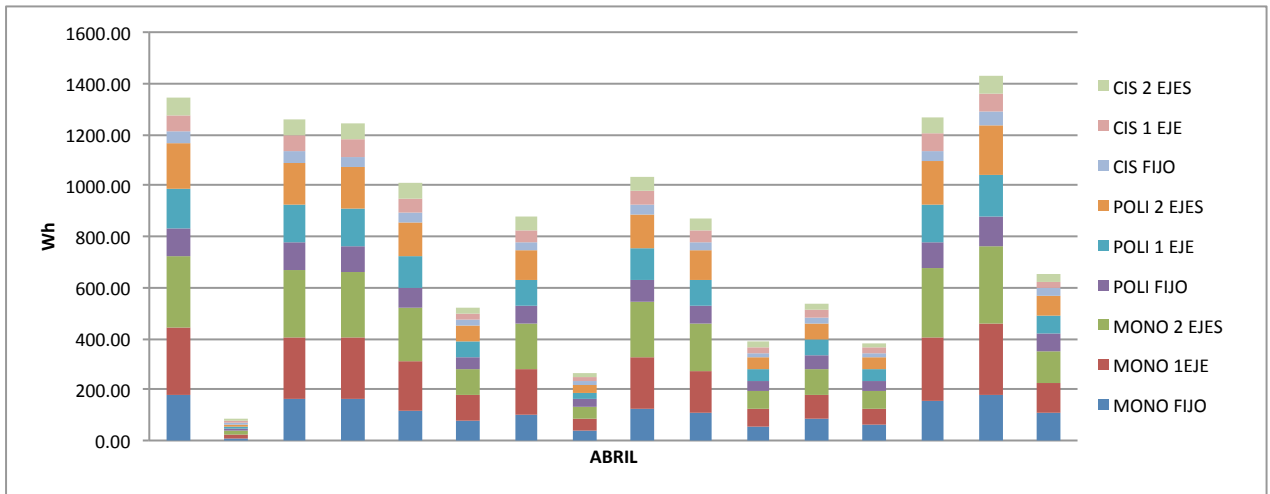
### 3.4. Análisis previo

A continuación se presentan las gráficas generadas para el estudio y un breve análisis.

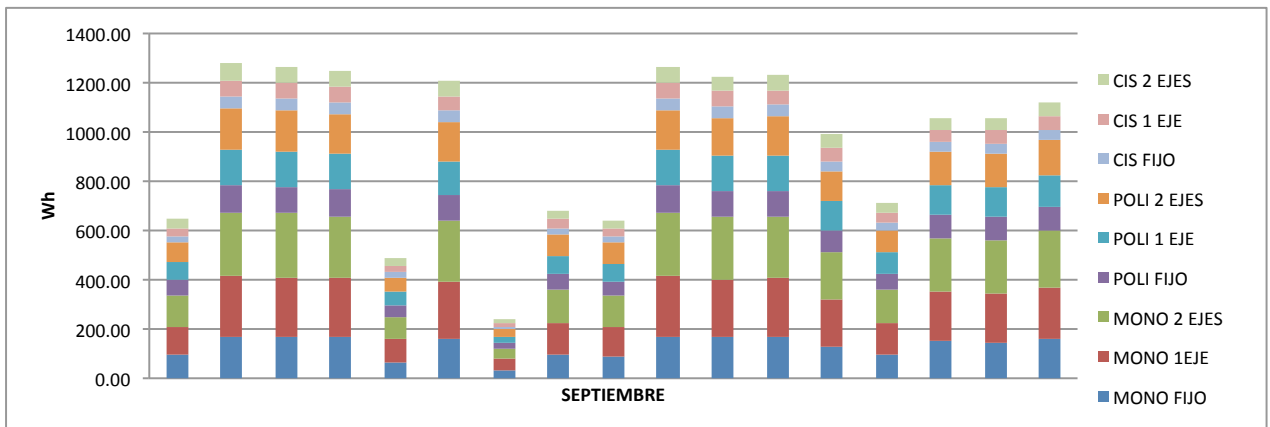
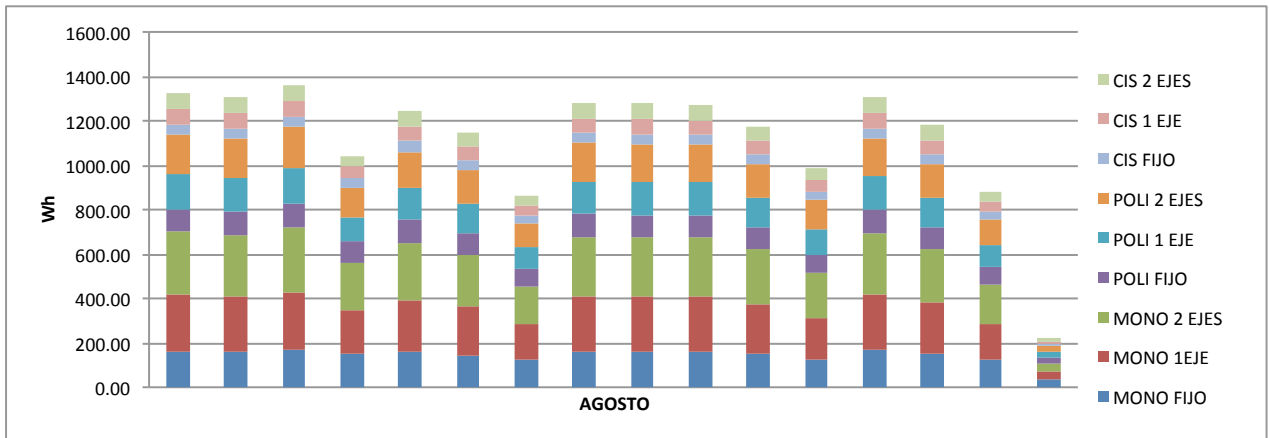
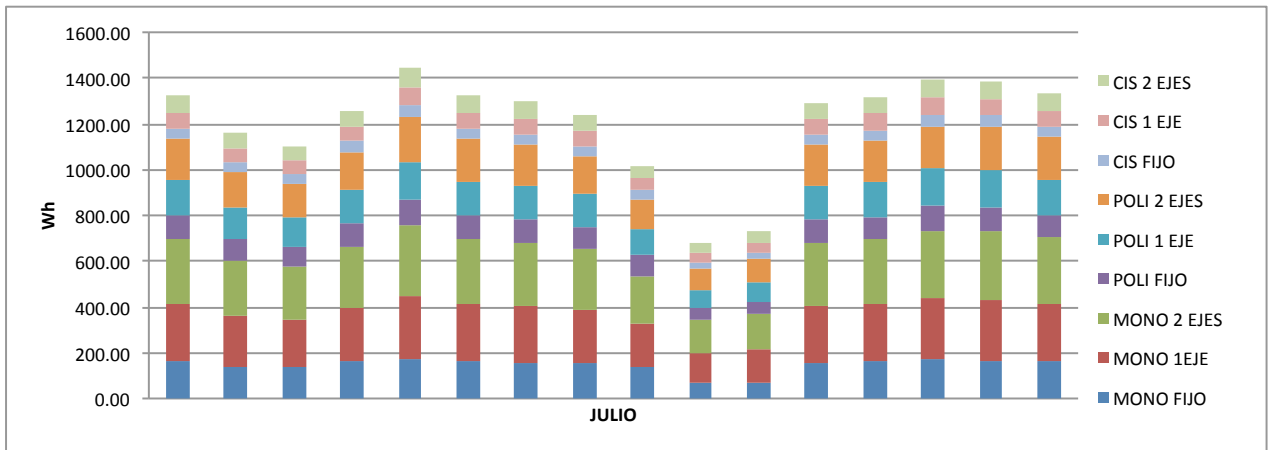
Primero veremos la producción diaria para cada tecnología de panel y estructura en cada mes del año .

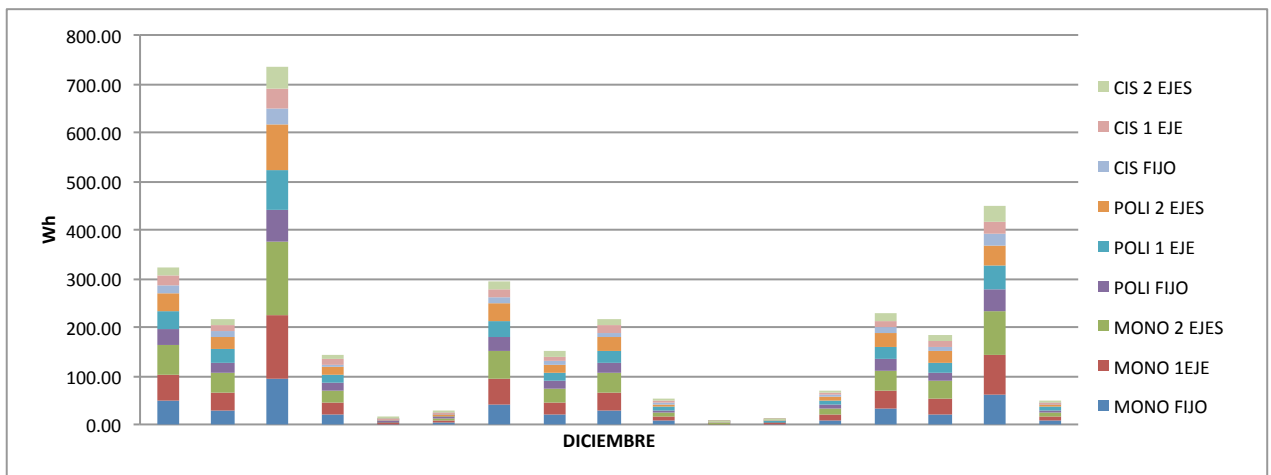
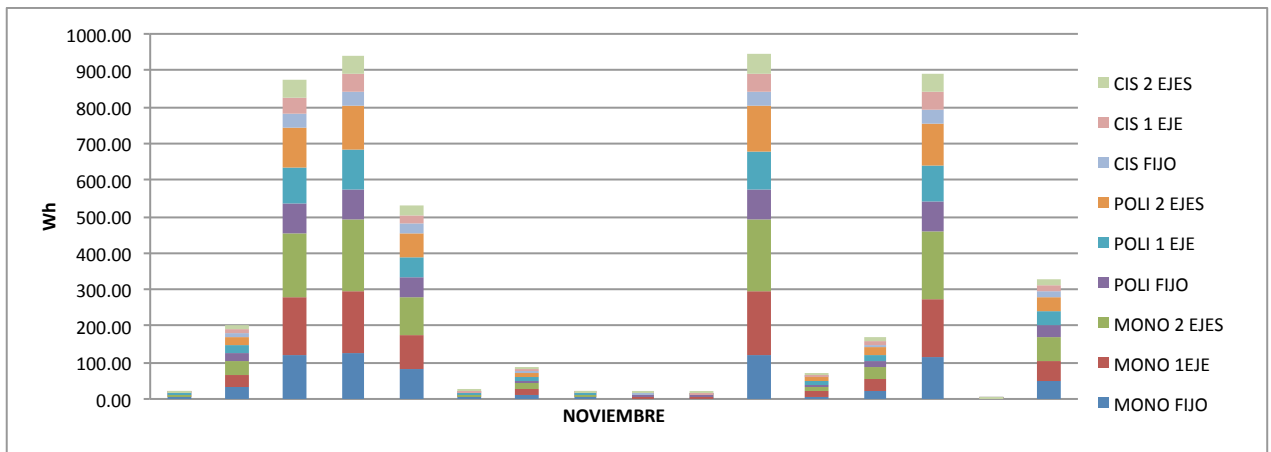
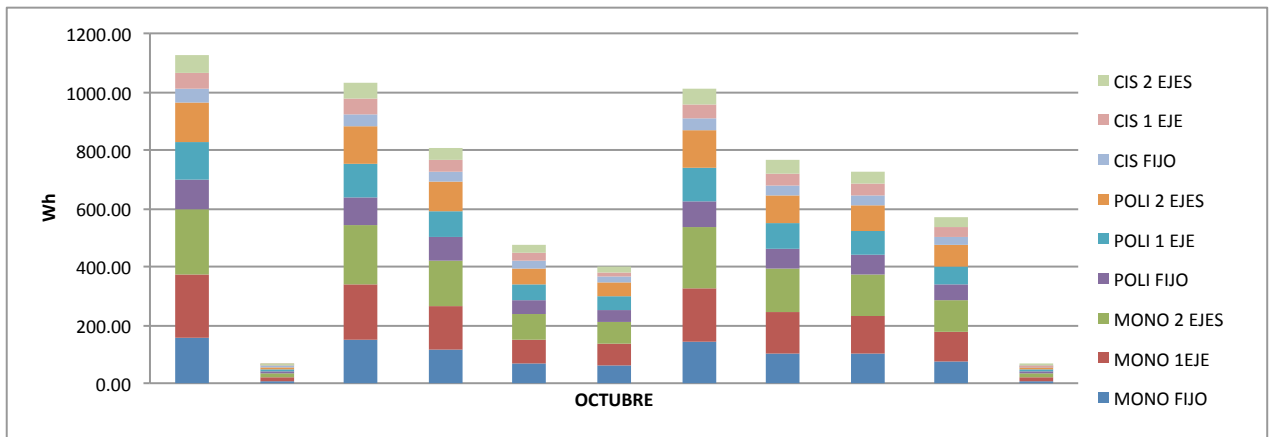
**Energía diaria producida por panel y estructura:**













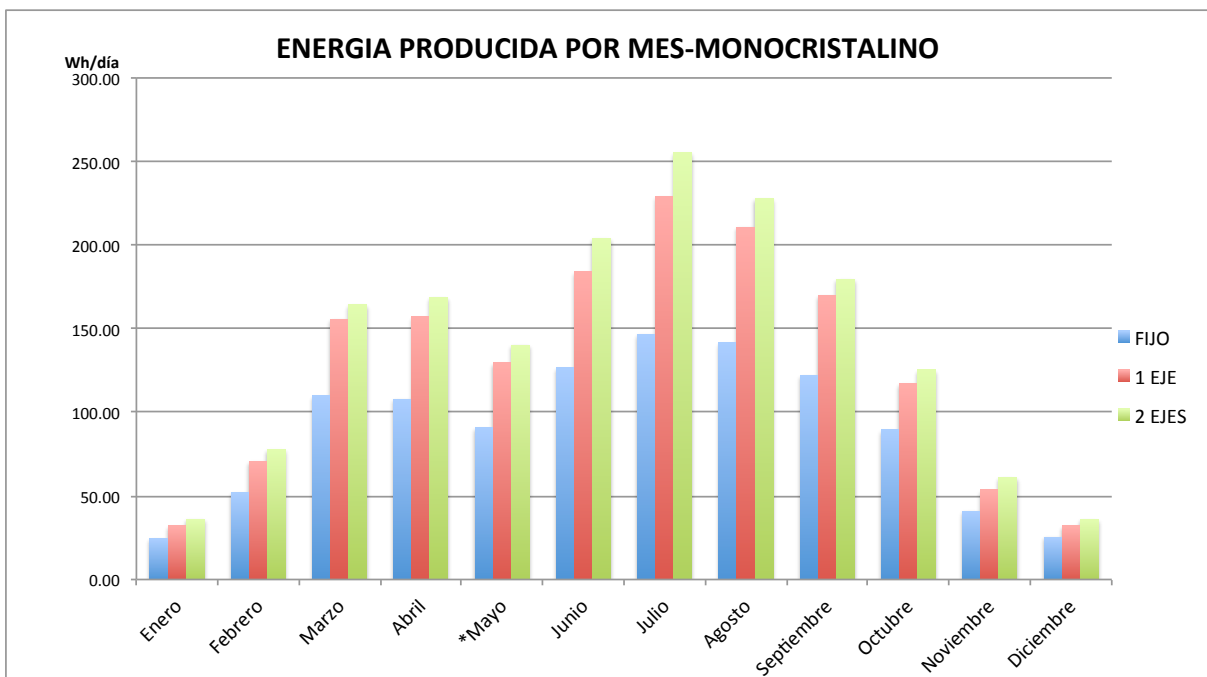
En base a estas gráficas podemos decir que los meses con mayor producción están entre Abril y Septiembre, meses con más horas de sol y condiciones climatológicas mejores. Debemos señalar la particularidad del mes de Mayo, el cual ha de ser tomado con especial atención ya que debido a problemas con los equipos de medida y el ordenador del laboratorio, no se pudo medir el número de días deseado, por lo que la falta de datos hace difícil la extracción de conclusiones para este mes.

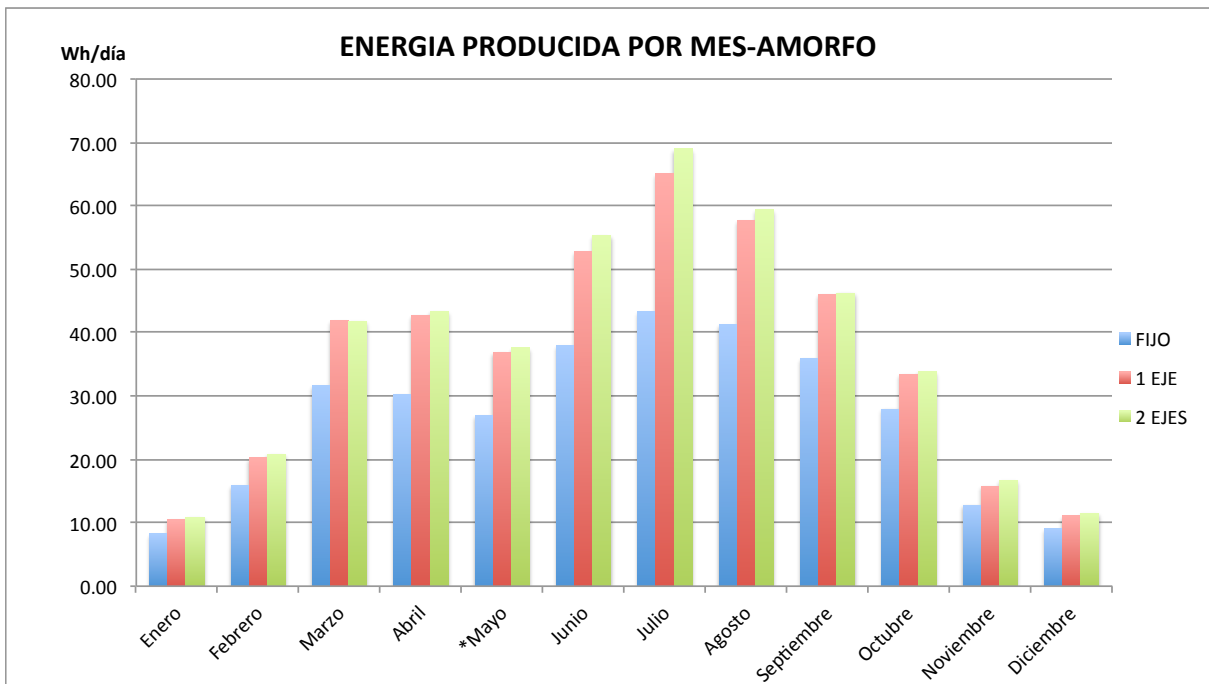
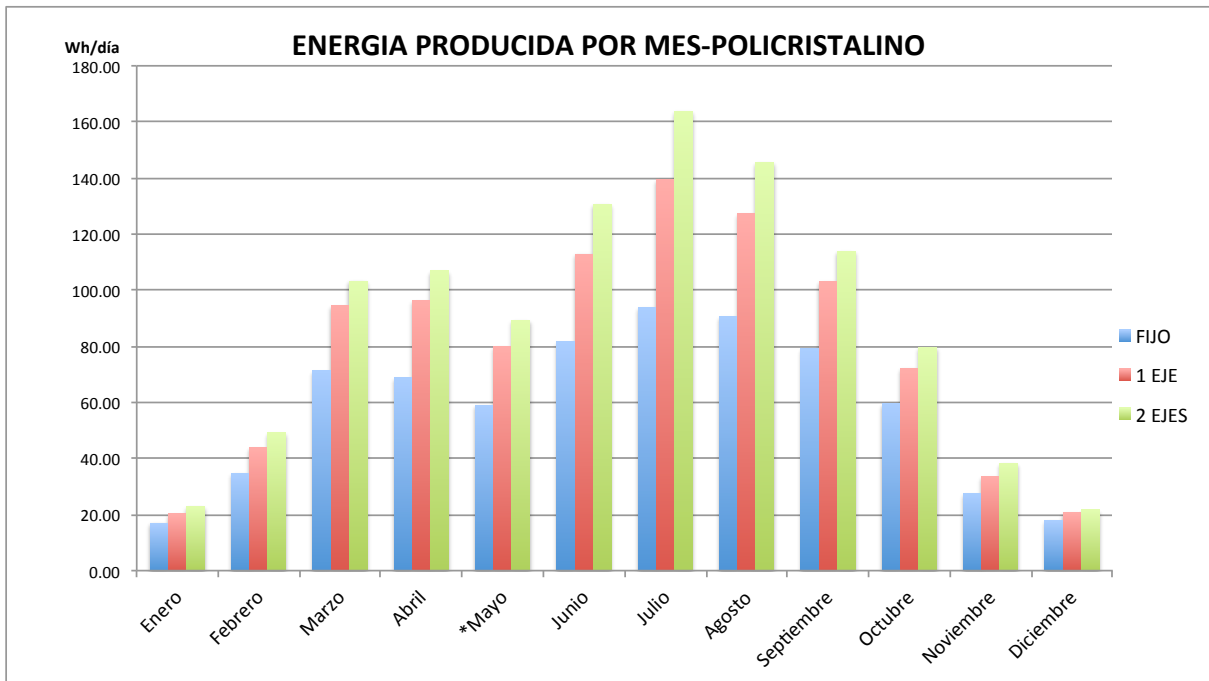
Por otro lado, vemos que los meses de Octubre a Marzo son los de menor producción, debido al menor número de horas de luz y a las peores condiciones climatológicas (días nublados, lluvia, niebla...)

A continuación vemos gráficamente la producción de cada tecnología de panel comparando las diferentes estructuras en cada mes del año.

Estas gráficas confirman lo anteriormente dicho, el grueso de la producción se encuentre entre Abril y Septiembre, aun que para la tecnología monocristalina se podría extender de Marzo a Octubre. Esto es debido a su mejor rendimiento con respecto a las otras dos tecnologías.

También vemos que la producción es mayor para los paneles orientados en los dos ejes, marcando una gran diferencia con el sistema fijo. Esta diferencia no es tan acusada con respecto al sistema orientado en un eje, sobre todo, en la tecnología amorfa.

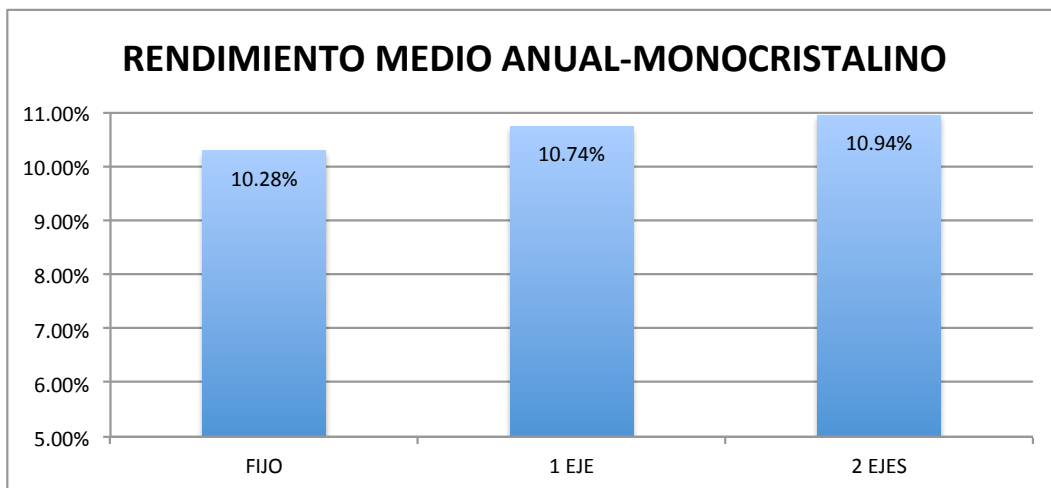
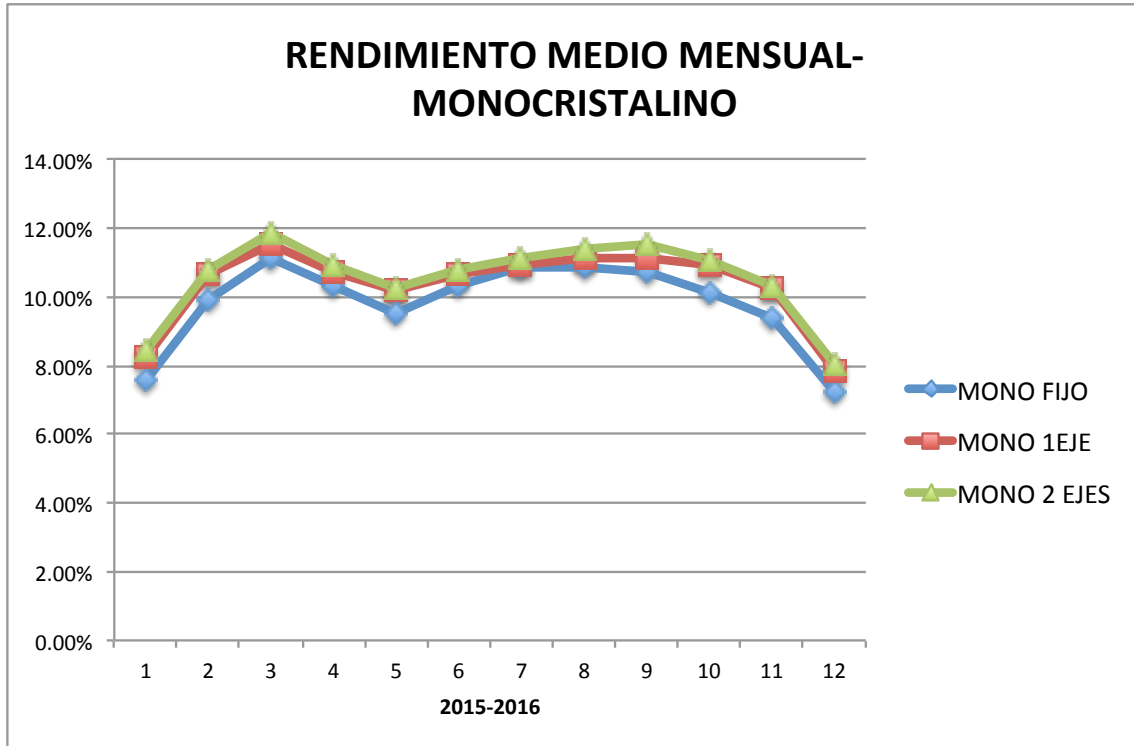


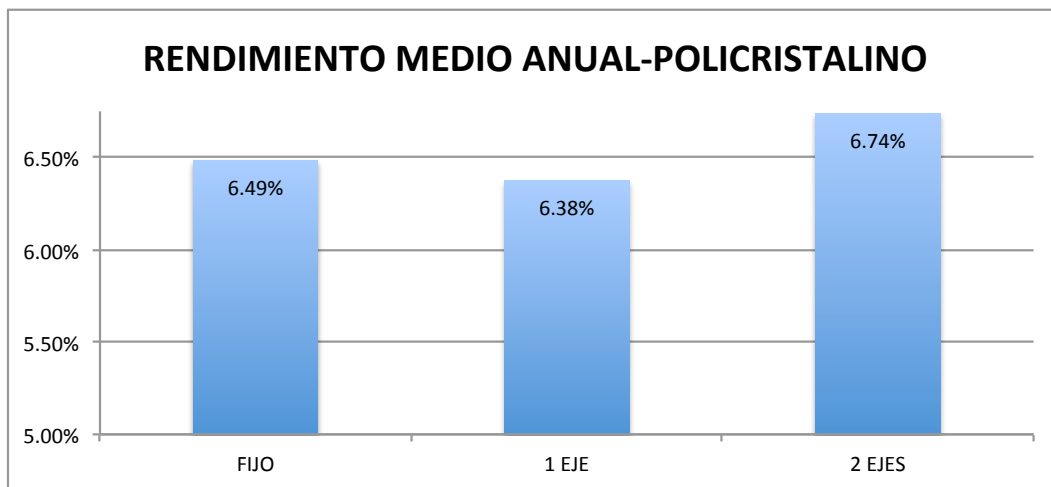
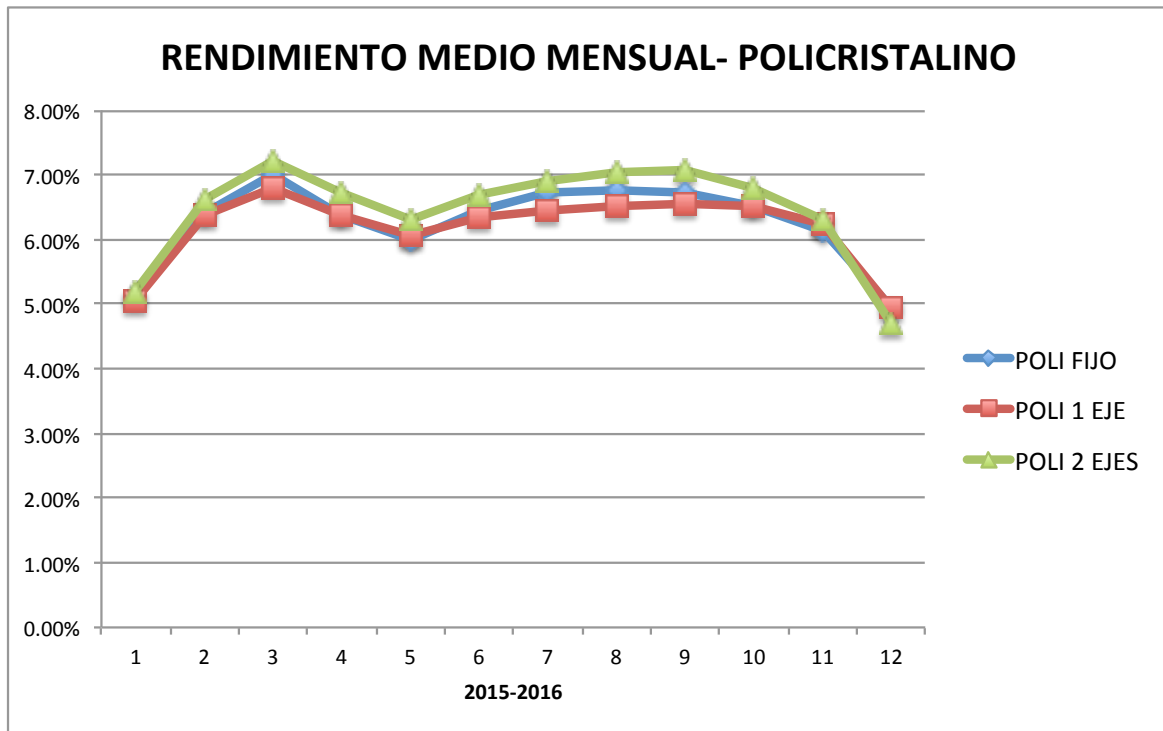


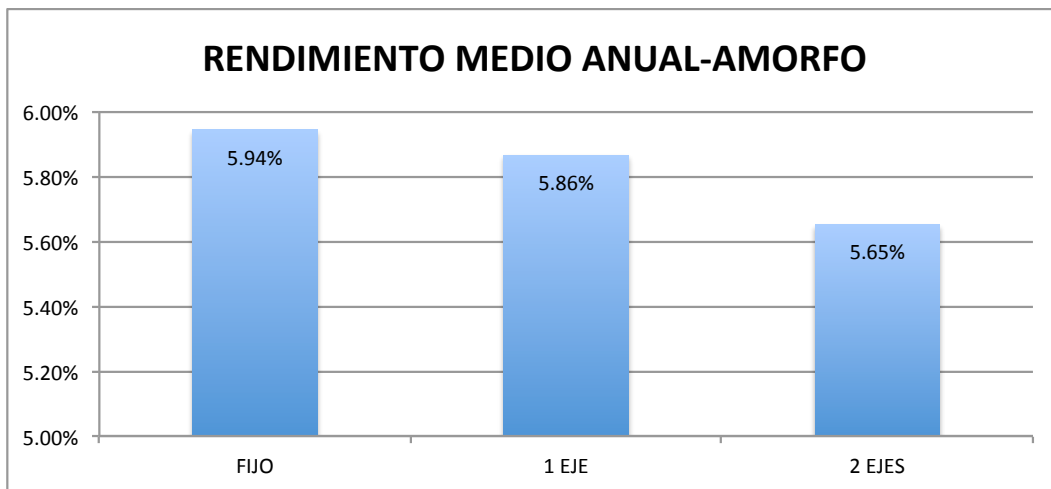
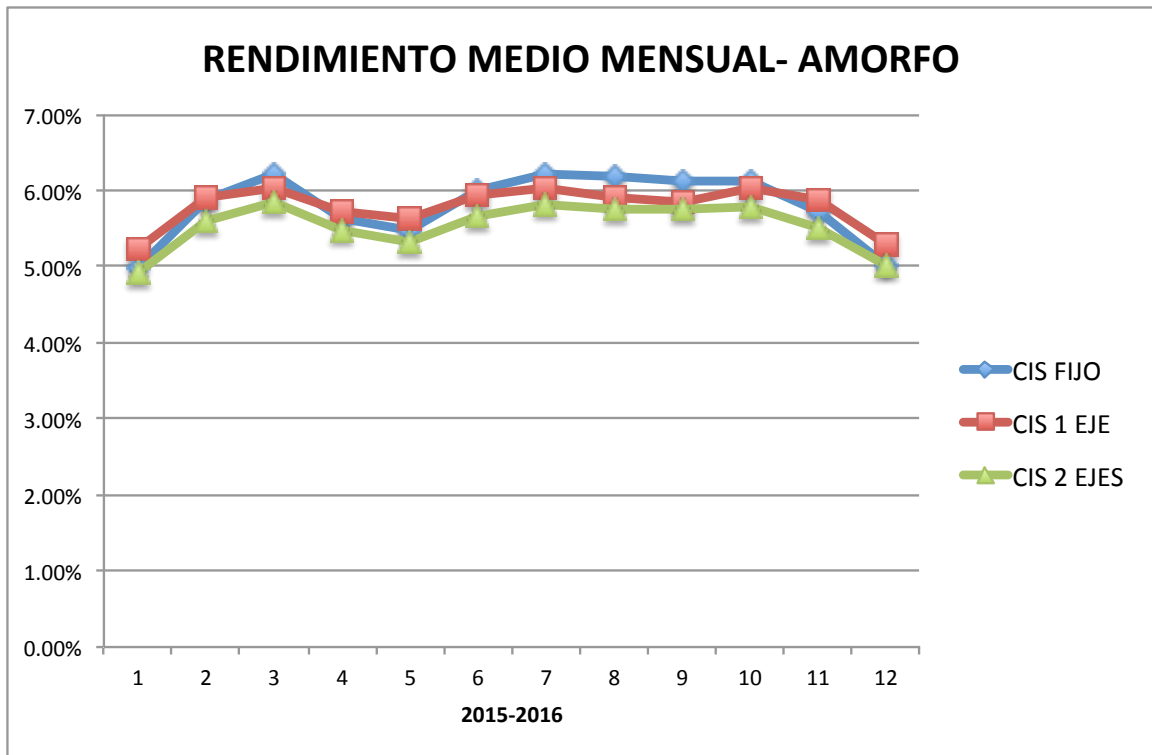


### Rendimiento medio mensual y anual por panel y estructura

Ahora se representa el rendimiento medio de cada panel y estructura a lo largo del año y seguidamente el rendimiento medio anual .









Como vemos en estas gráficas el rendimiento medio tiene su mínimo en los meses de invierno Noviembre-Febrero y es creciente en Primavera-Otoño alcanzando el máximo para estabilizarse o incluso decrecer ligeramente en Verano. Esta tendencia se observa claramente si analizamos los datos de Mayo con especial precaución.

La razón de que el rendimiento no siga aumentando en Verano y alcance un máximo absoluto en el periodo de mayor radiación solar (Junio-Julio), sino que se estaque, pudiera ser el aumento de la temperatura en estos meses.

La temperatura es un factor clave para el rendimiento de un panel, como vimos anteriormente en el apartado *Energía Solar*. Y como vemos ahora, a pesar de tener más horas de luz, el rendimiento no mejora en estos meses debido a que el panel también capta una mayor energía calorífica.

Por otra parte, decir que el rendimiento medio anual es mayor para las estructuras orientadas que para la estructura fija, en los paneles monocristalino y policristalino. Para el panel amorfo el rendimiento medio anual es menor en la estructura orientada en dos ejes y prácticamente iguales para la estructura fija y orientada en un eje.

Esto podría deberse a que los paneles amorfos se captan mejor la radiación difusa, y por tanto, cuando están peor orientados no acusan una pérdida de rendimiento tan notable como los otros paneles.

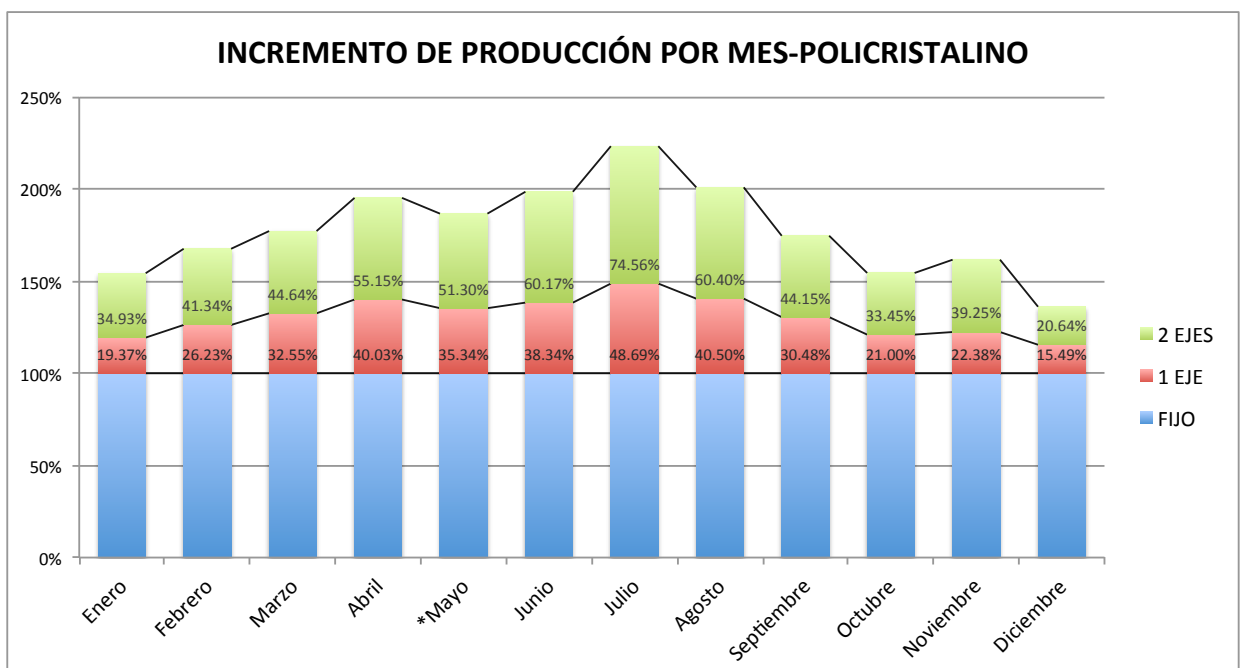
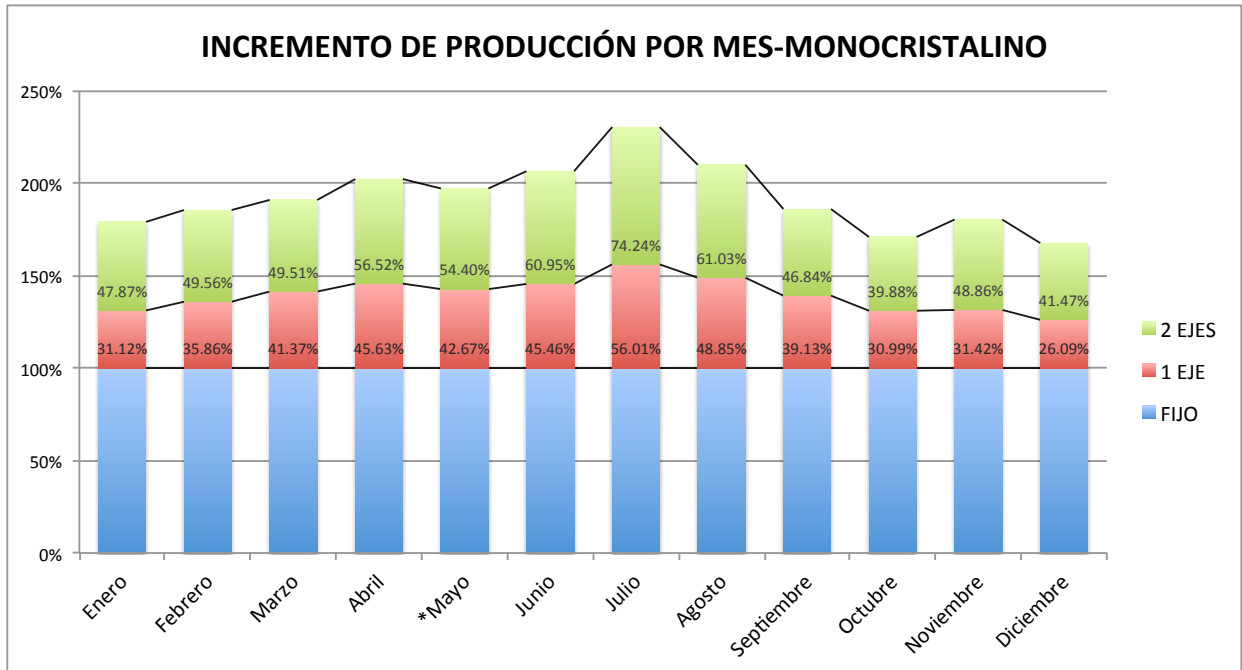
Visto de otra manera, aun que mejoremos su orientación con sistemas móviles y capten más energía, el incremento en la producción no es tan elevado por el hecho de estar mejor orientados.

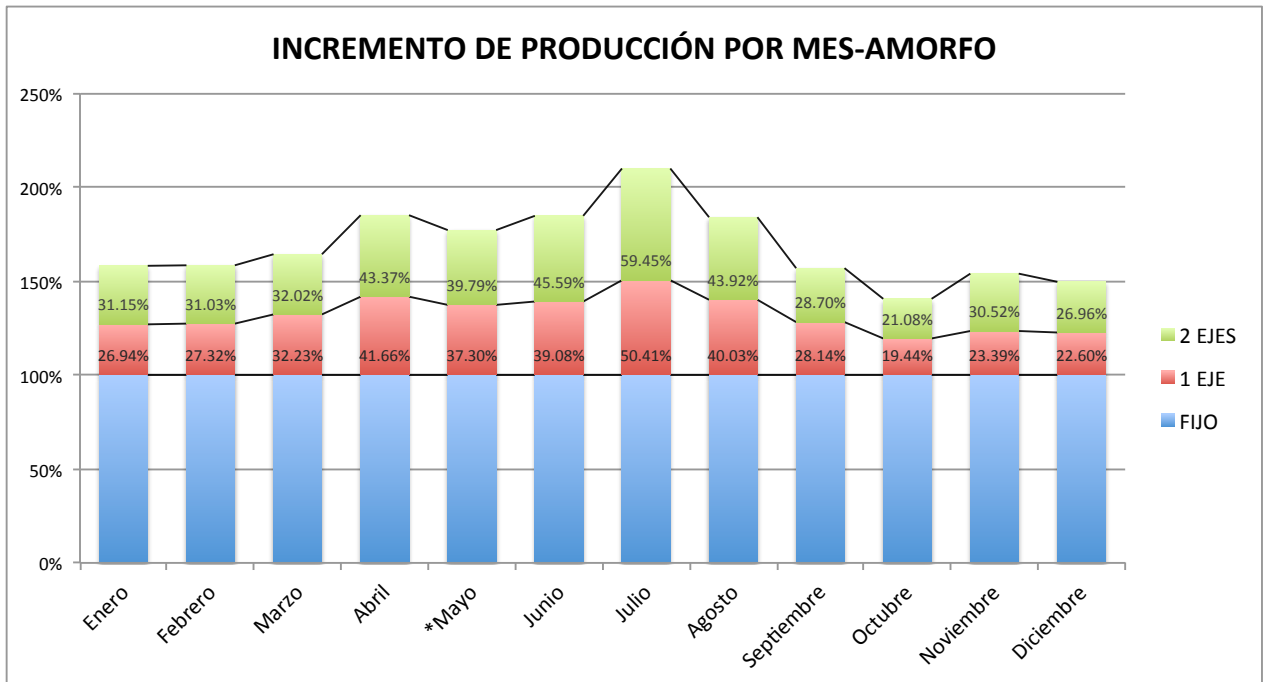




### Incremento de la producción de los sistemas móviles con respecto al sistema fijo

A continuación vemos cuanto se incrementa la producción en cada mes para cada tipo de panel. Este incremento está referido al sistema fijo, es decir, en la gráfica se muestra el porcentaje en que aumenta la producción con respecto al 100% del sistema fijo.

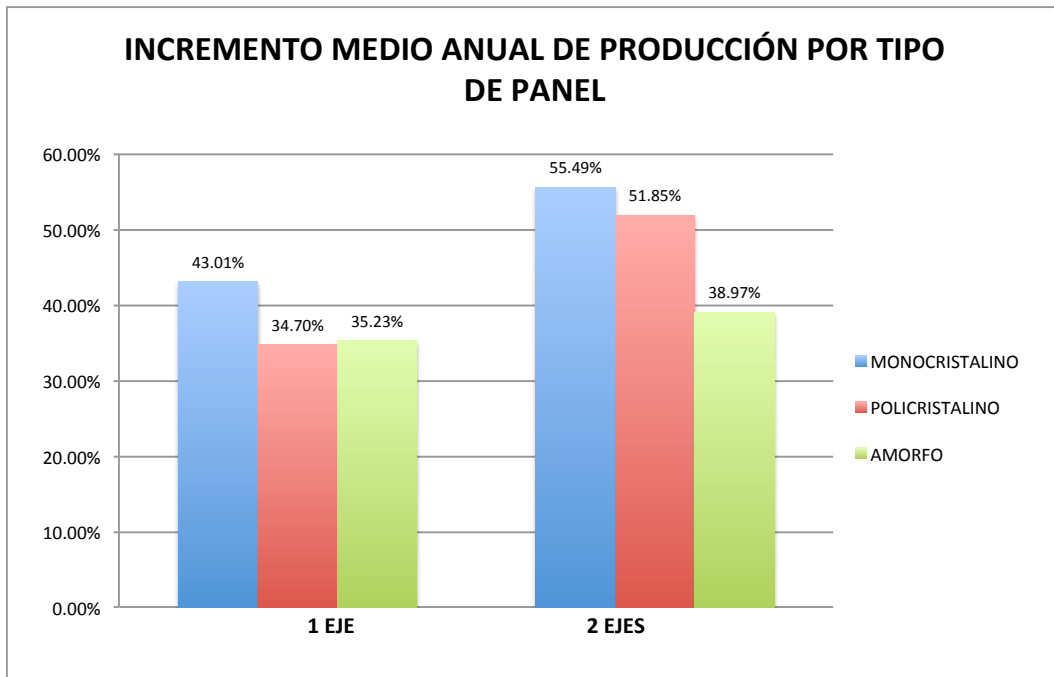




Como vemos, los mayores incrementos se producen en el sistema orientado en dos ejes, como era de esperar, en cada mes y para las tres tecnologías de panel. Vemos que el incremento de producción tiene su máximo en los meses de verano, esto es debido a que es el periodo con mayor horas de luz y por lo tanto los sistemas orientados aprovechan su aumento de rendimiento durante más horas, lo que provoca un mayor aumento de la producción respecto al sistema fijo.

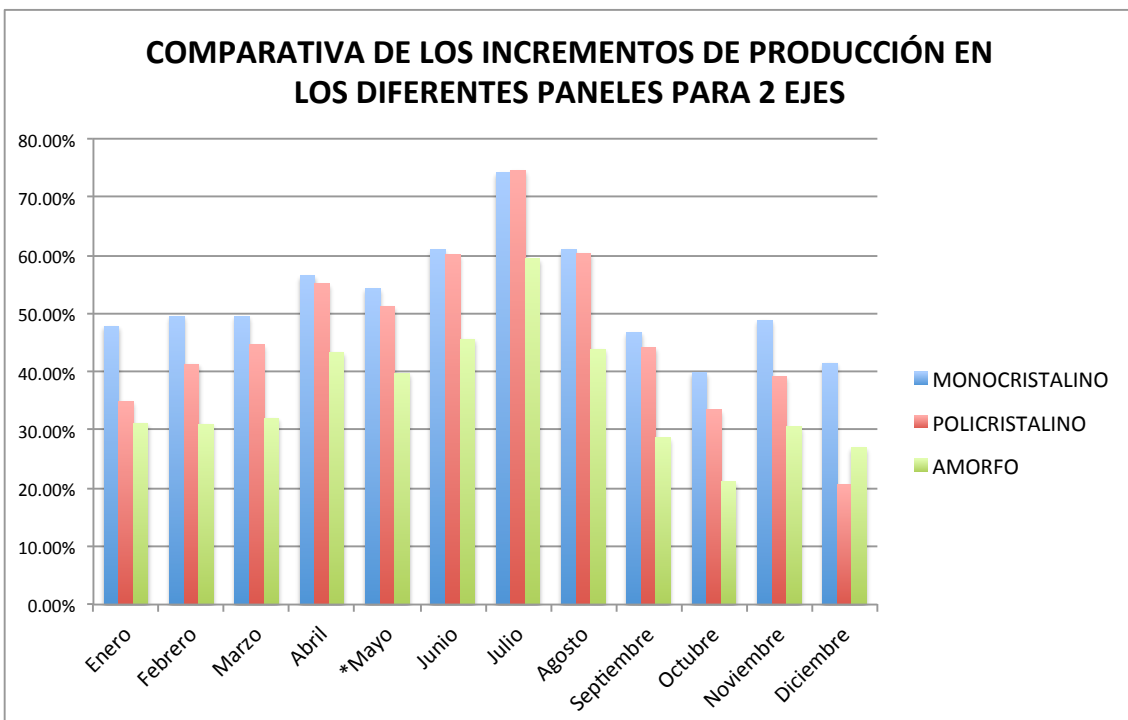
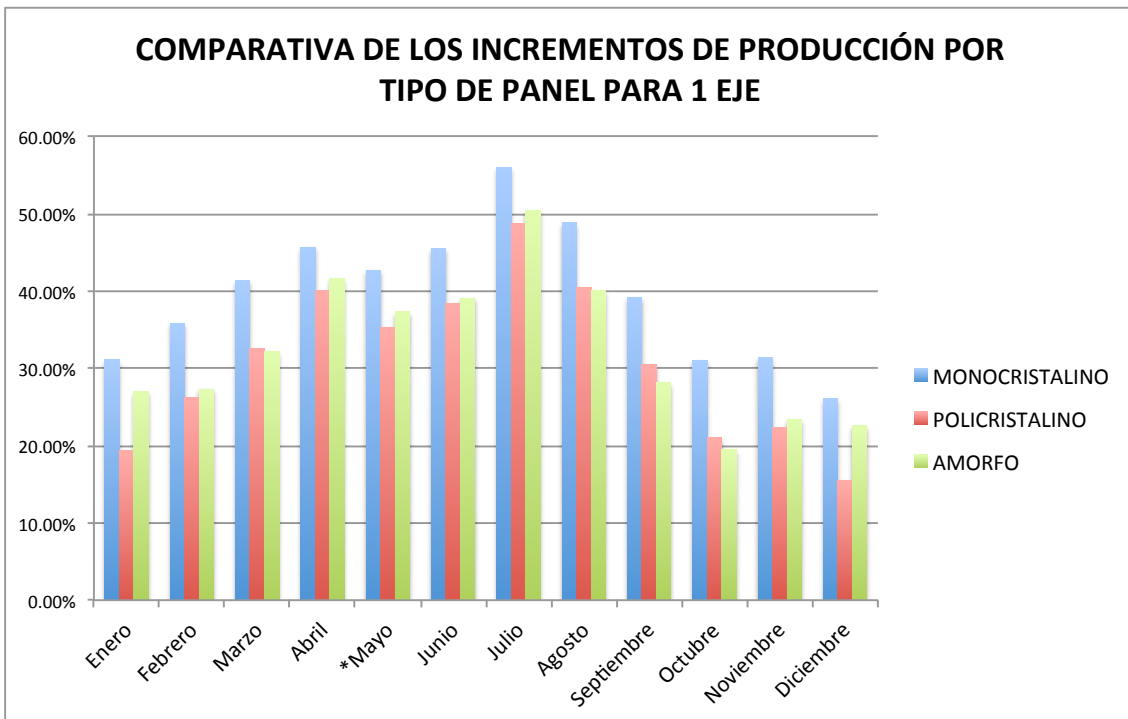


En la siguiente tabla vemos el incremento medio de la producción para cada tecnologías de panel. Vemos que la monocristalina es la que mayor incrementa su producción con un 43% para el sistema orientado en un eje y un 55.5% para el sistema orientado en dos ejes. El aumento de la producción para el panel amorfo no es tan acusado en el sistema orientado en dos ejes debido a que su rendimiento, como hemos visto antes, es menor en dicho sistema que en el sistema fijo.





En los siguientes gráficos vemos cuanto se incrementa la producción en cada mes del año para cada tipo de panel.



Para las tres tecnologías de panel la producción anual es mayor para el sistema orientado en dos ejes y menor en el sistema fijo.



## **4. CONCLUSIONES**

Para concluir el trabajo presentaremos los resultados extraídos del análisis realizado a lo largo del año.

Se presentarán las gráficas más características y el análisis extraído de ellas.

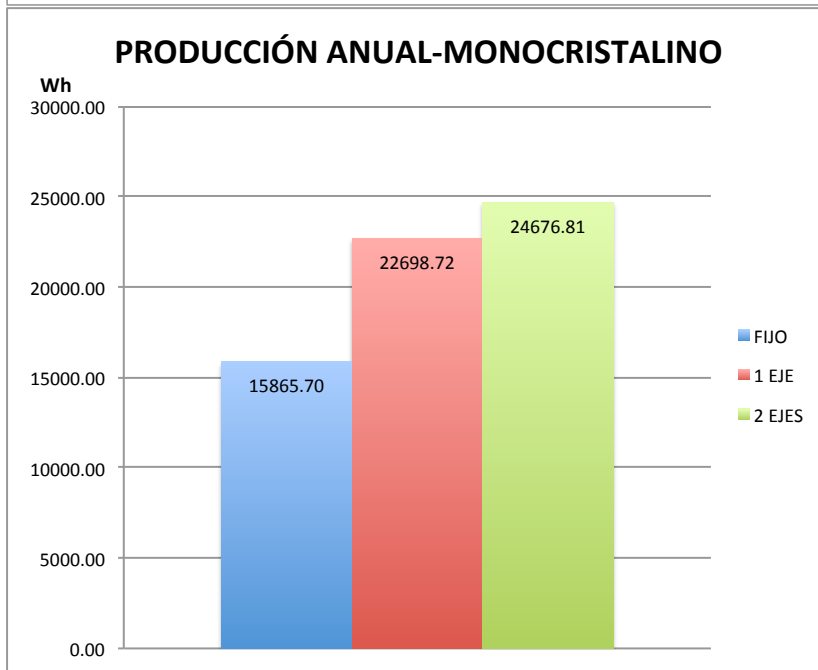
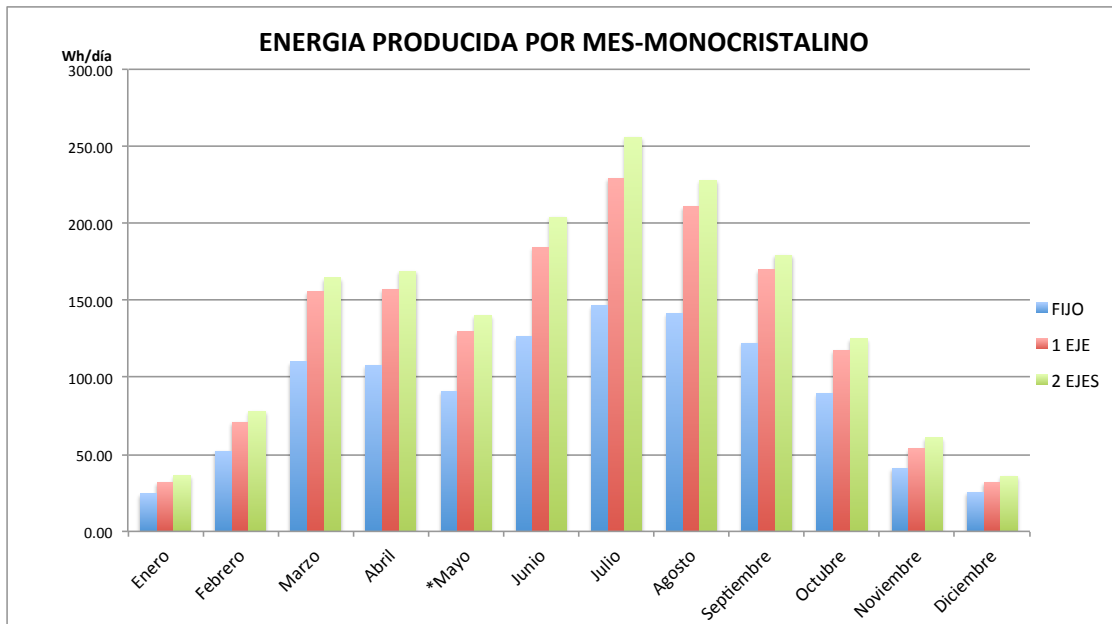
### **4.1. Comparativa de la producción por tipo de panel**

En este apartado veremos como aumenta la producción energética en los sistemas orientados respecto al sistema fijo para cada tecnología de panel.

Veremos la producción en un año y el incremento de la misma en los sistemas orientados con respecto al fijo.



• Paneles monocristalinos:



Como ya se dijo anteriormente, la producción en todos los meses del año de los sistemas orientados es mayor que en el sistema fijo, siendo la mayor la del sistema orientado en dos ejes. Esto es así gracias al mayor aprovechamiento de la radiación solar que hacen estos sistemas.

**La producción total medida ha sido:**

**Sistema fijo: 15 865.70 Wh**

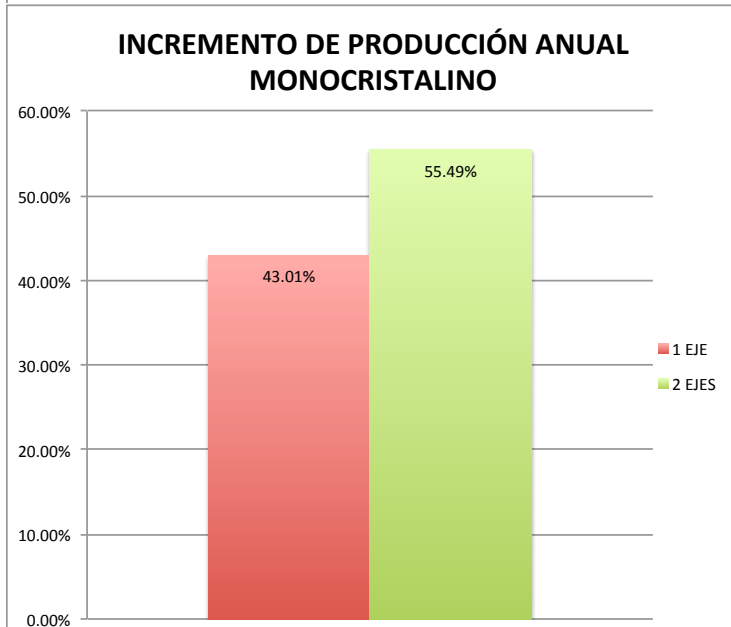
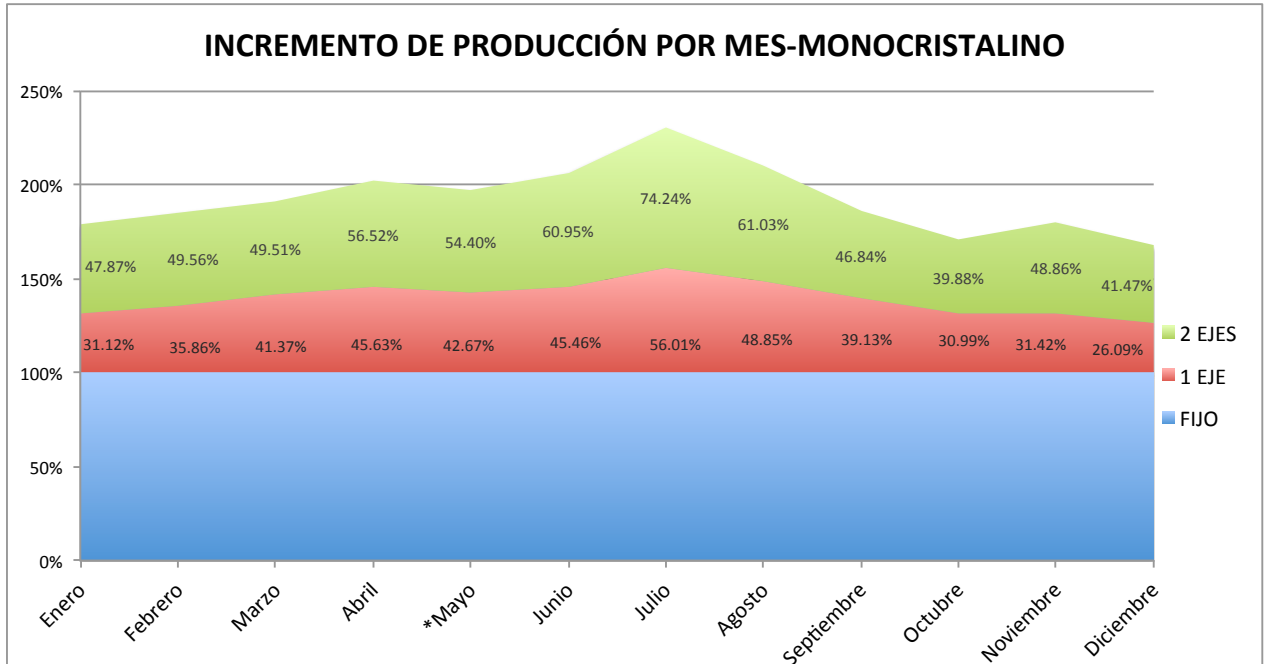
**Móvil en un eje: 22 698.72 Wh**

**Móvil en dos ejes: 24 676.81 Wh**





También observamos que el incremento de la producción es mayor en los meses de verano, esto se debe a que es el periodo de mayor horas de radiación solar al día y los sistemas móviles tienen más horas de luz donde captar más radiación solar. En cambio, en los meses con menos horas de luz solar el incremento de producción es menor, los sistemas orientados no tienen tantas horas de luz para aprovechar el incremento de producción.

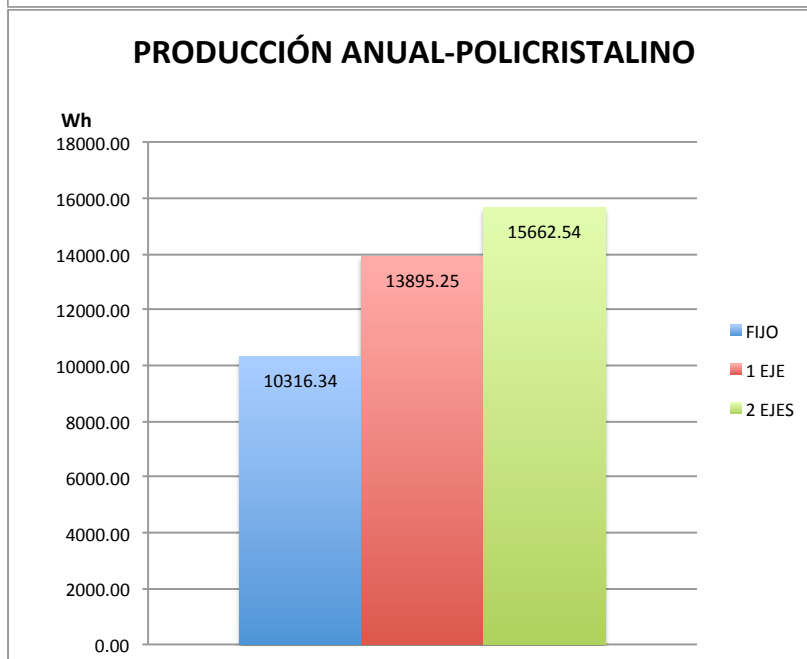
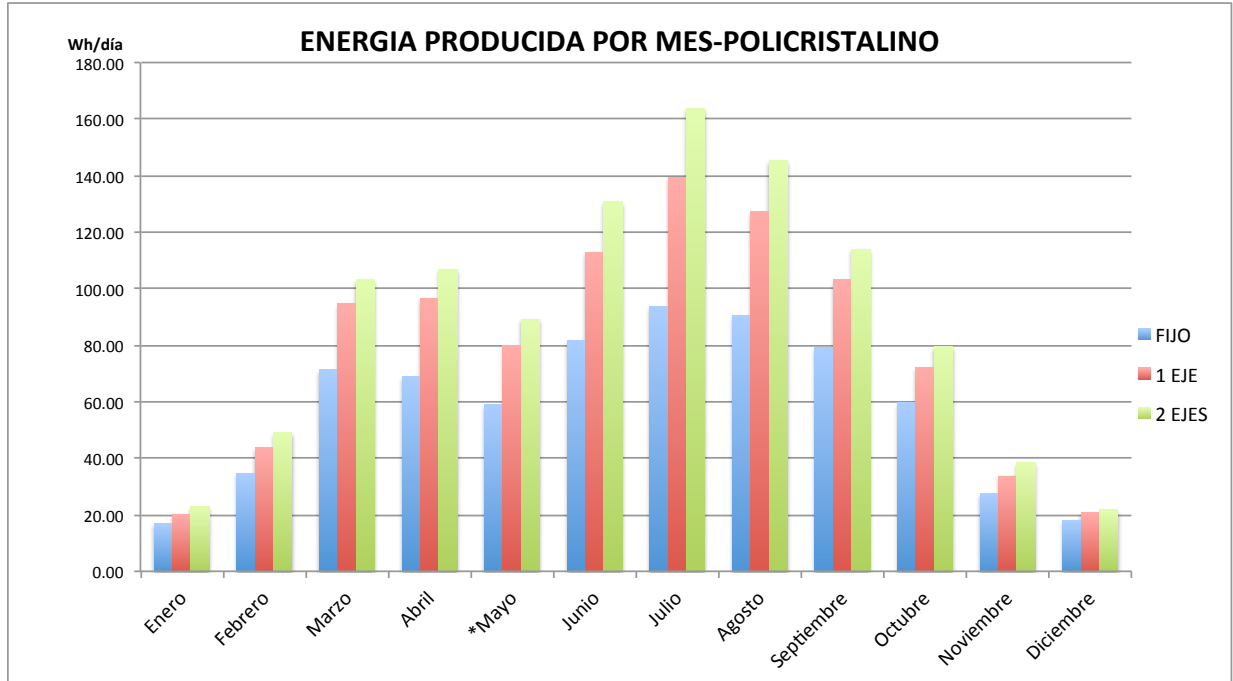


**El incremento medio anual de la producción ha sido:**  
**Móvil en un eje: 43.01%**  
**Móvil en dos ejes: 55.49%**



• **Paneles policristalinos:**

Al igual que en los paneles monocristalinos, y por las mismas razones, la producción a lo largo de todo el año es mayor para los sistemas orientados que para el sistema fijo.

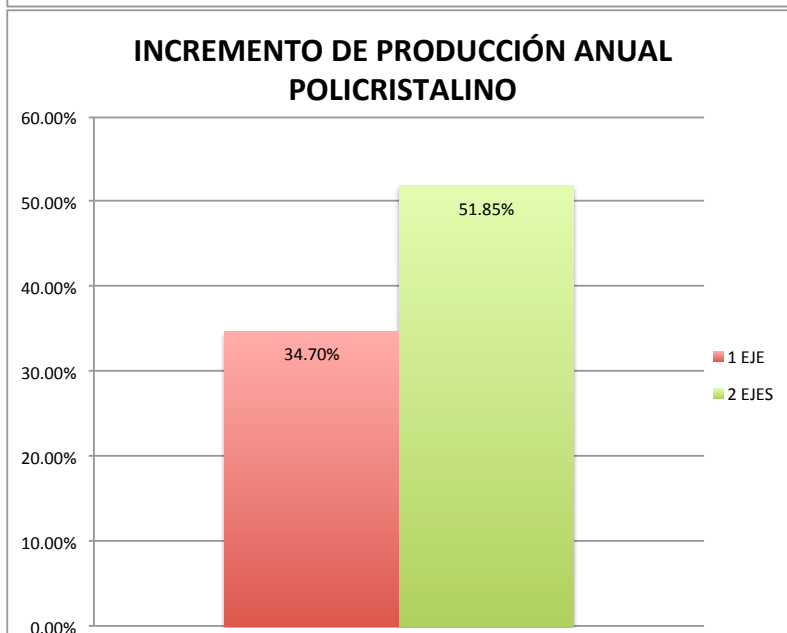
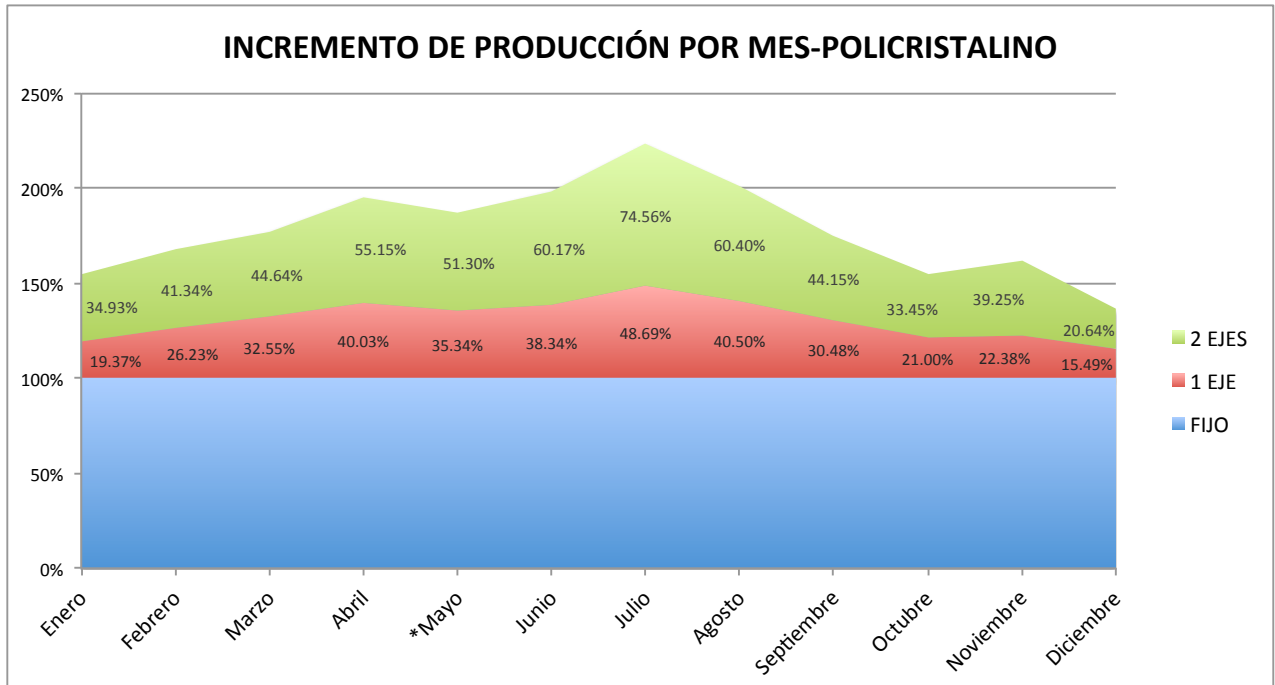


**La producción total medida ha sido:**  
**Sistema fijo: 10 316.34 Wh**  
**Móvil en un eje: 13 895.25 Wh**  
**Móvil en dos ejes: 15 662.54 Wh**



Los incrementos de producción también son mayores en los meses de mayor radiación solar y menor cuando hay menos horas de luz.

Igualmente, estos incrementos con respecto al sistema fijo, son mayores en el sistema orientado en dos ejes que en el sistema orientado en un eje.

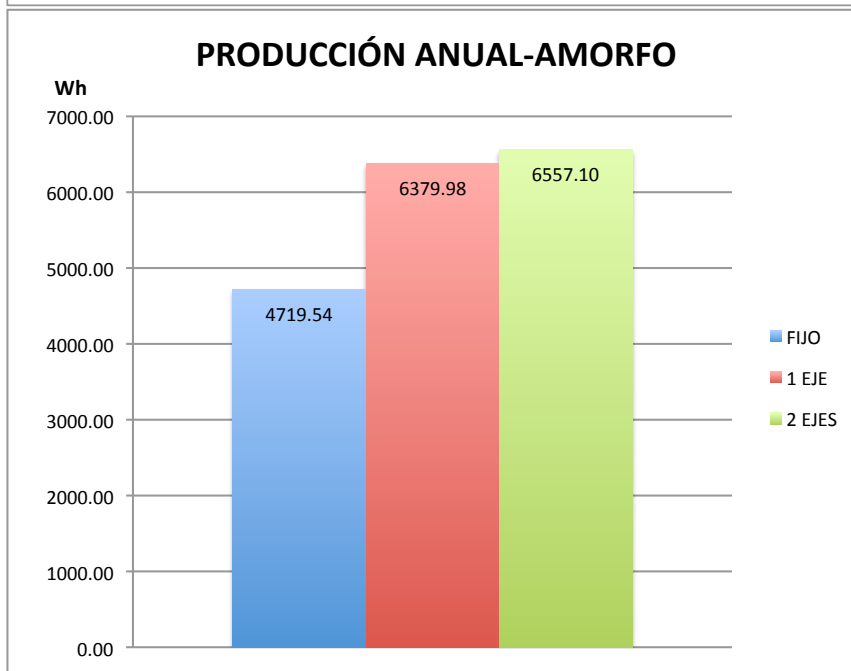
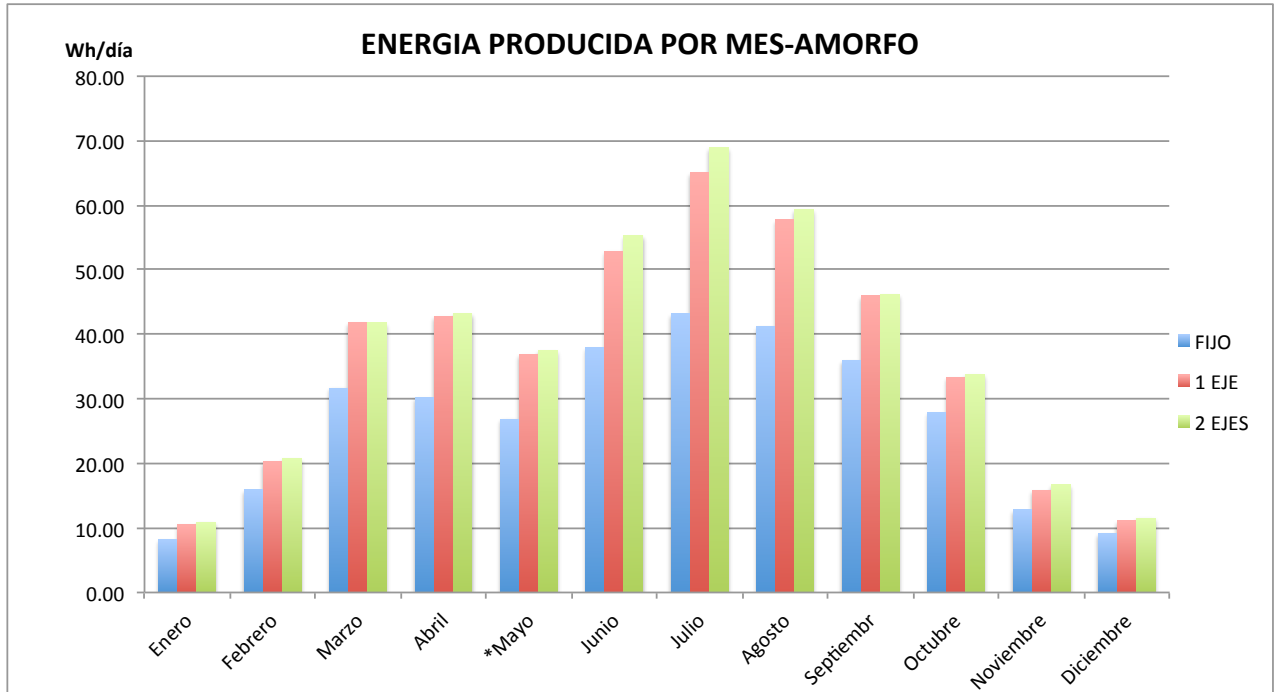


**El incremento medio anual de la producción ha sido:**  
**Móvil en un eje: 34.70%**  
**Móvil en dos ejes: 51.85%**



• **Paneles amorfos:**

Como en las otras dos tecnologías, la producción a lo largo del año es mayor para los sistemas orientados que para el sistema fijo.

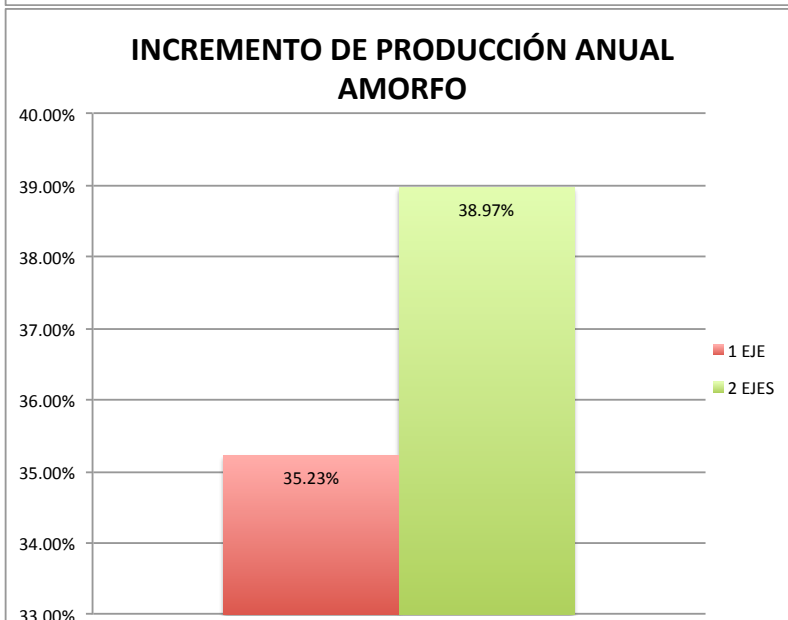
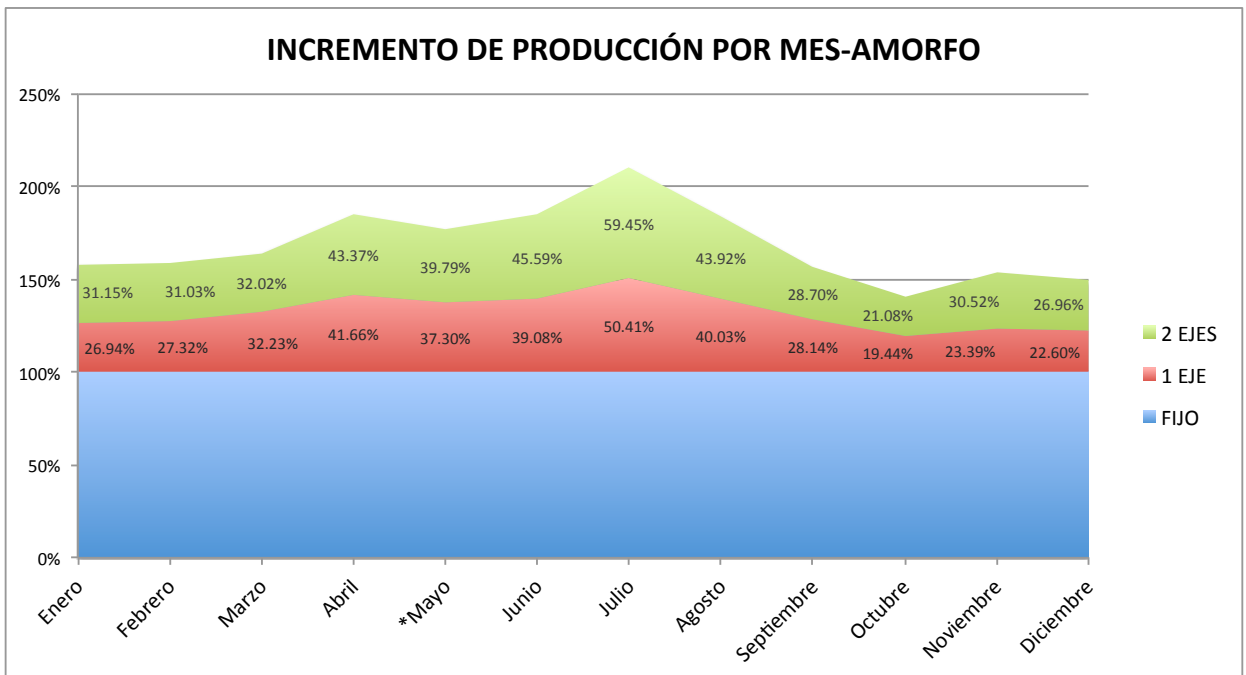


**La producción total medida ha sido:**  
**Sistema fijo: 4 719.54 Wh**  
**Móvil en un eje: 6 379.98 Wh**  
**Móvil en dos ejes: 6 557.10 Wh**



Para los incrementos de producción con respecto al sistema fijo ocurre lo mismo que en las otras tecnologías de panel. Son mayores en los meses con más radiación solar y menores en los meses con menos horas de luz.

En este caso, los incrementos de producción son menos importantes que en las tecnologías Monocristalina y Policristalina. Esto se puede deber al menor rendimiento que tienen estos paneles y al efecto de la temperatura. Estos fenómenos se analizarán más en el punto 4.2 (Comparativa de los rendimientos)



**El incremento medio anual de la producción ha sido:**  
**Móvil en un eje: 35.23%**  
**Móvil en dos ejes: 38.97%**



## **4.2. Comparativa de los rendimientos por tipo de panel**

Ahora pasaremos a extraer las conclusiones relativas a los rendimientos de los paneles según la tecnología de los mismos. Posteriormente, se analizarán en conjunto y se explicarán los motivos y los factores que intervienen en el comportamiento de los paneles a lo largo del año.

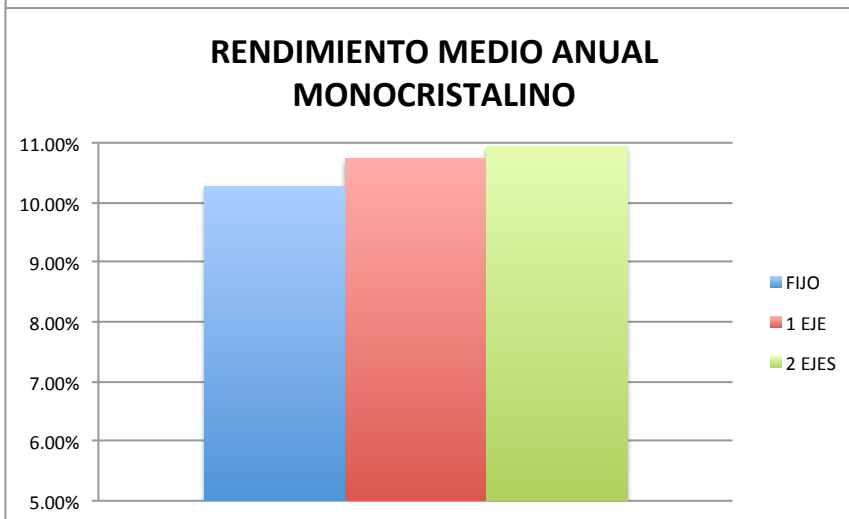
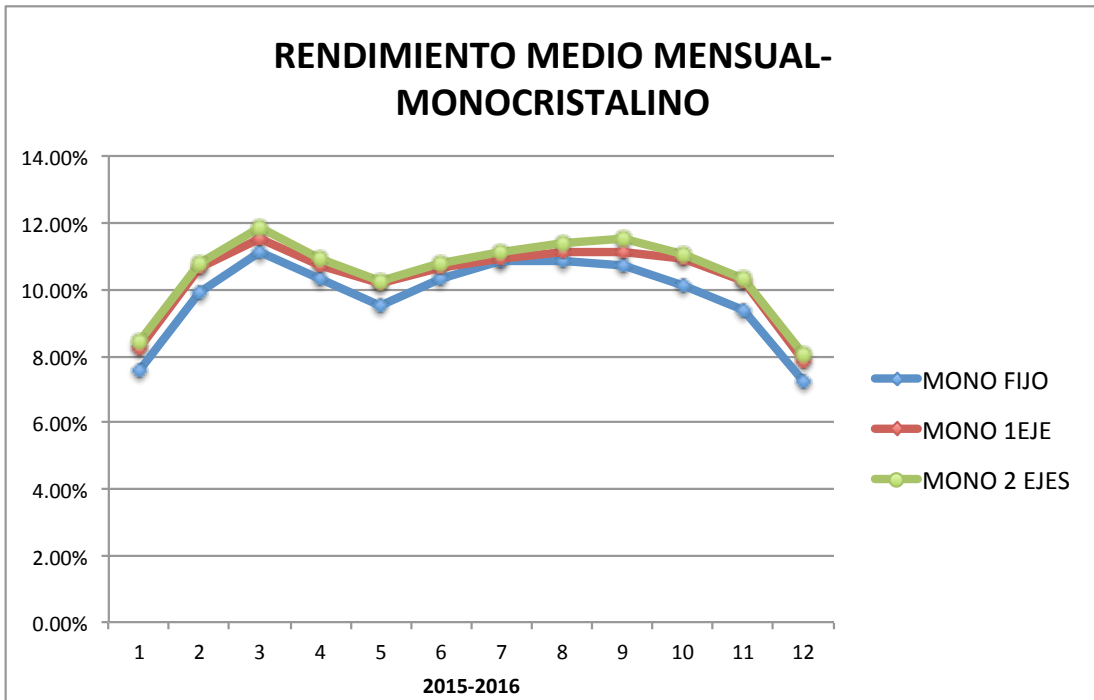




• **Paneles monocristalinos**

Como vemos, el rendimiento medio mensual es mayor en los meses de Verano y menor en los de Invierno, mientras que en la Primavera la curva es creciente y en Otoño decreciente. Hay que tomar los datos de Mayo con cautela, como ya se explicó anteriormente, por esto las curvas que observamos están un poco deformados con respecto a la tendencia que parece más natural.

También tenemos que el rendimiento para los paneles orientados en dos ejes es mejor que para el sistema fijo, y que para el sistema orientado en un solo eje.



**El rendimiento medio anual para el panel monocristalino es:**

**Fijo: 10.28%**

**Un eje: 10.74%**

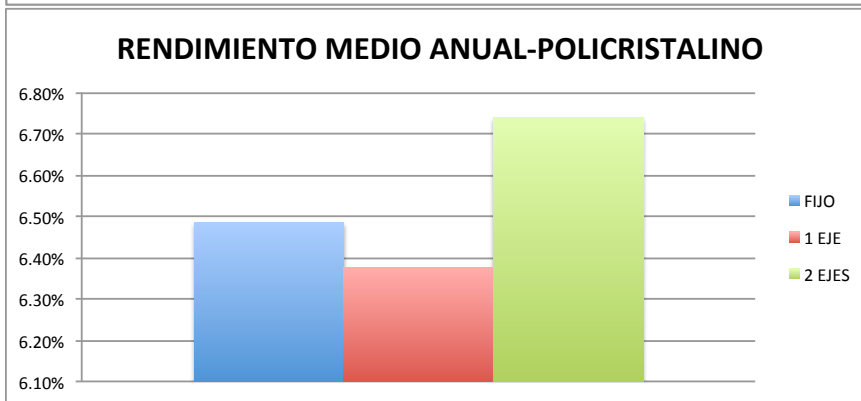
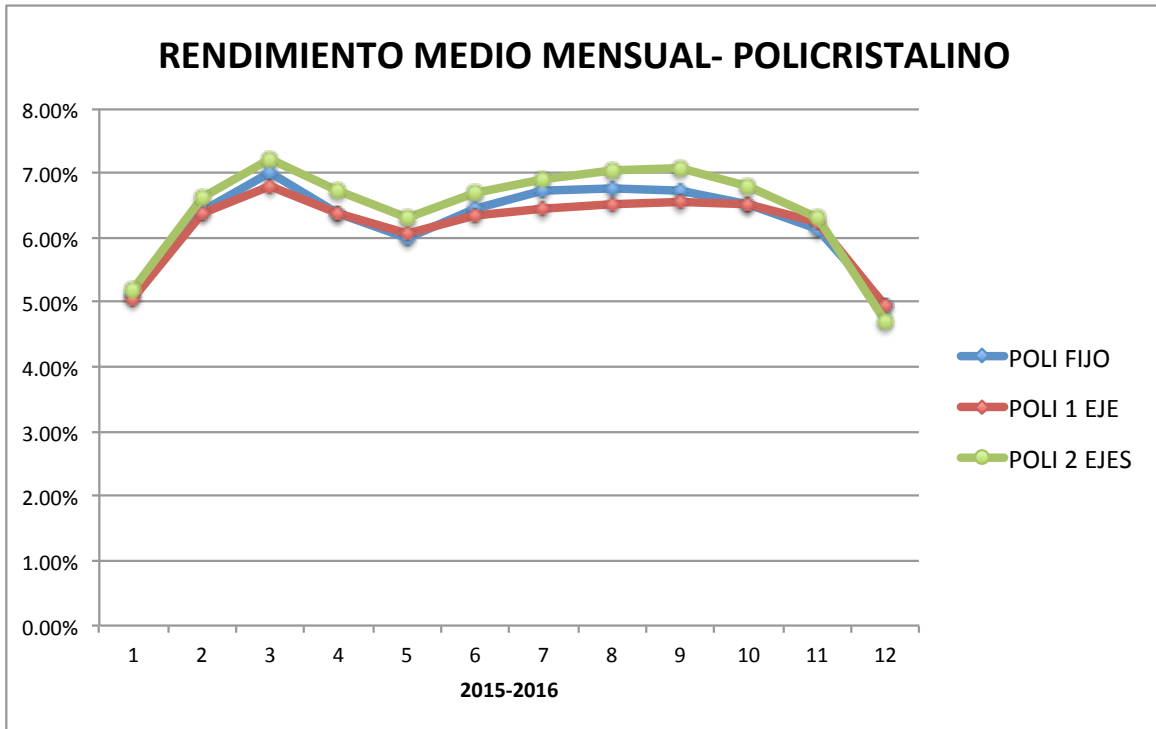
**Dos ejes: 10.94%**



• **Paneles policristalinos**

Para los paneles policristalinos obtenemos prácticamente los mismo resultados, con la salvedad de que en este caso el rendimiento medio anual del sistema fijo es mayor que el del sistema orientado en un eje.

En la gráfica mensual se ve esta tendencia durante varios meses del año, lo que lleva al cómputo total a obtener dicho resultado.



**El rendimiento medio anual para el panel policristalino es:**

**Fijo: 6.49%**

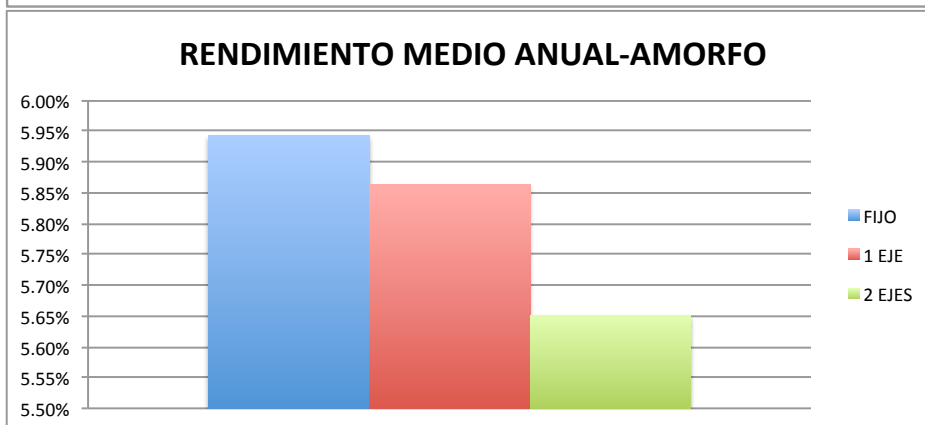
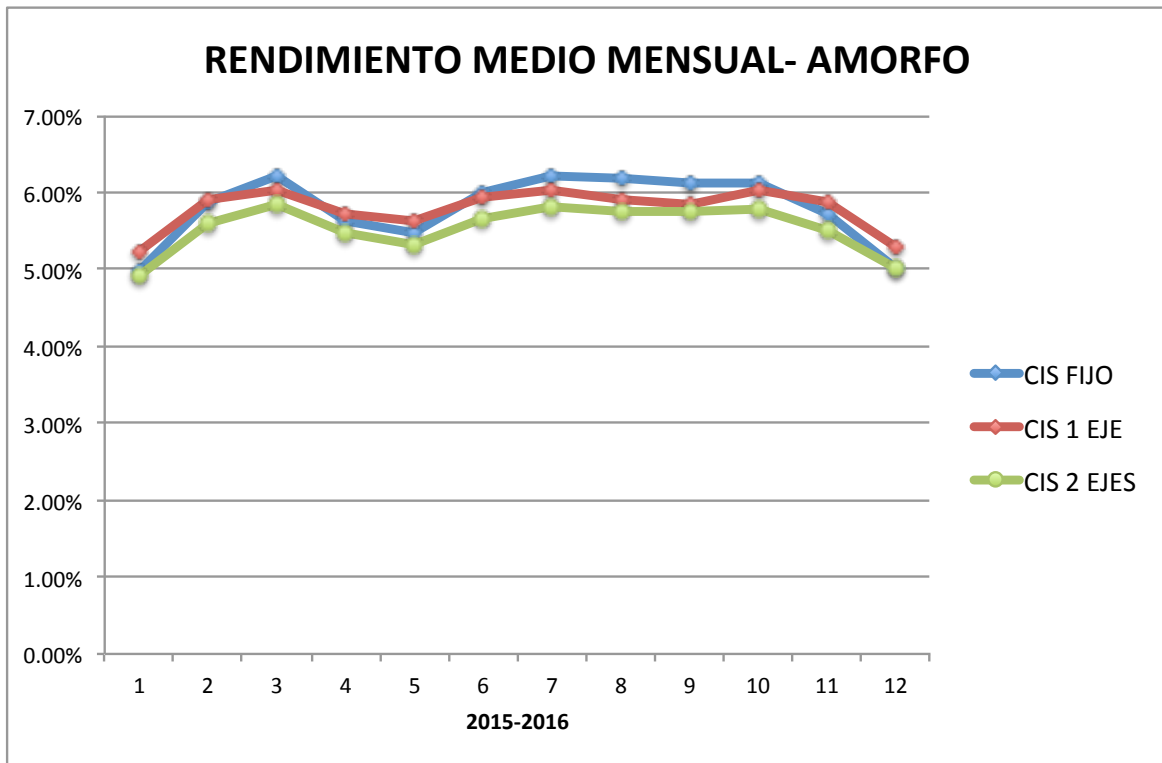
**Un eje: 6.38%**

**Dos ejes:6.74%**



• **Paneles amorfos:**

Para los paneles amorfos tenemos que los rendimientos para el sistema orientado en dos ejes y el sistema orientado en un eje son peores que para el fijo. Esto es así prácticamente a lo largo de todo el año y en el rendimiento medio anual se refleja claramente este resultado.



**El rendimiento medio anual para el panel amorfo es:**

**Fijo: 5.94%**

**Un eje: 5.86%**

**Dos ejes: 5.65%**



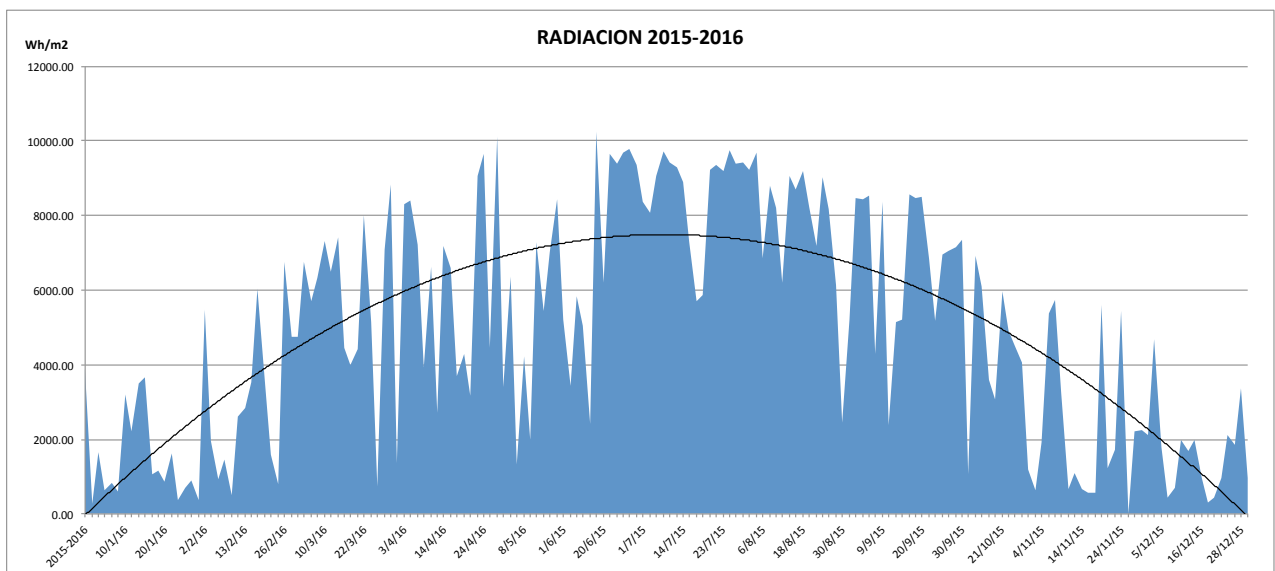
Hay que aclarar que para los tres tipos de panel, los resultados son bastante semejantes, realmente no hay una gran diferencia entre rendimientos para los distintos sistemas de orientación, el mayor incremento de rendimiento es en el panel monocristalino y es de 6.4%.



Para concluir este apartado del estudio de los rendimientos se deben concretar ciertas cosas.

Hay que explicar que el rendimiento se define como el cociente entre la energía producida y la radiación solar (energía) recibida. Por tanto, el rendimiento de un panel no tiene porque mejorar necesariamente por el hecho de captar más radiación, sistemas orientados, ya que un panel puede captar más radiación en un sistema móvil que en uno fijo, pero por diferentes factores, como aumento de la temperatura del panel, la energía extraída no aumenta en la misma relación que la energía recibida.

Si vemos la evolución de la radiación captada a lo largo del año, observamos que la tendencia es parabólica, siendo menor en los meses de Invierno y creciente/decreciente en Primavera y Otoño, para alcanzar los valores máximos en Verano.



Podría parecer por tanto, que el rendimiento de los paneles debería seguir esta misma tendencia a lo largo del año, pero hemos visto que no es así, el rendimiento crece durante la Primavera y se estanca en verano para decrecer durante el Otoño hasta alcanzar los mínimos en Invierno.

Esto se debe a la influencia de la temperatura en el panel, durante los meses de Verano se capta mayor radiación y hay más horas de luz pero también se capta mayor energía térmica y la temperatura del panel es mayor que en Primavera-Otoño, y como hemos visto, el aumento de la temperatura afecta negativamente en la producción de un panel.

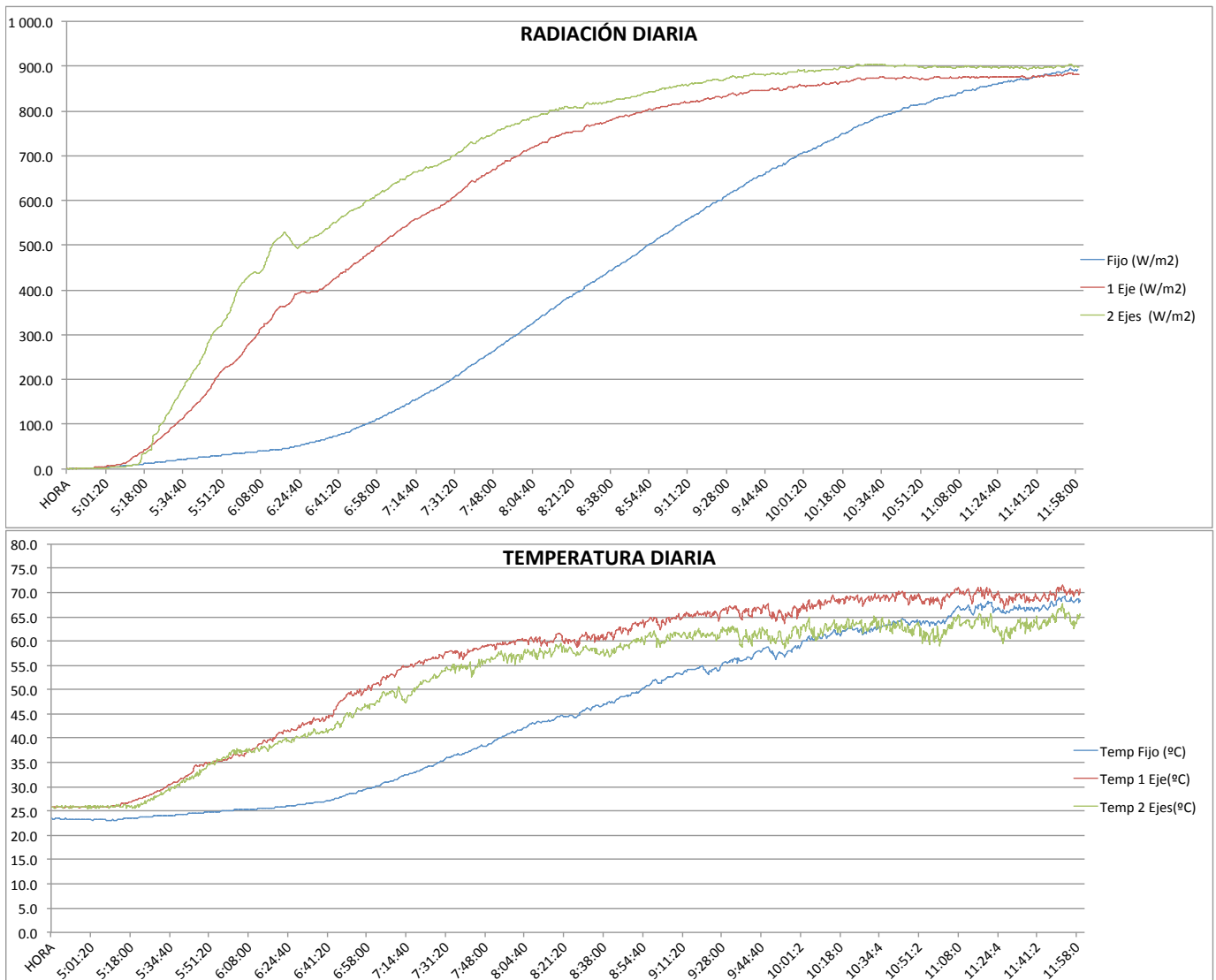
También hay que decir que el rendimiento está acotado por el rendimiento máximo característico de cada panel, es decir, en condiciones estándar, el panel ofrece un rendimiento determinado y ese será el máximo disponible. Los sistemas de orientación permiten llegar a estos rendimientos máximos dados por el fabricante, pero no sobrepasarlos.



Por estos motivos no se alcanzan rendimientos mayores en Verano a pesar de tener más horas de luz solar.

Para ver esto de forma más gráfica se presenta a continuación un ejemplo de **día soleado con temperaturas altas** (Verano)

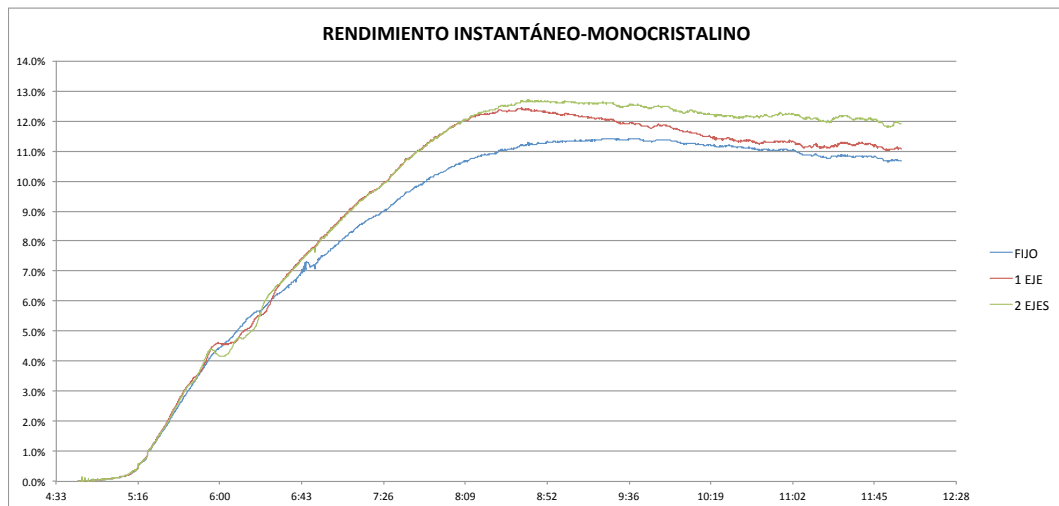
Vemos la radiación recibida por cada sistema de orientación a lo largo de medio día y la evolución de la temperatura en dichas estructuras.



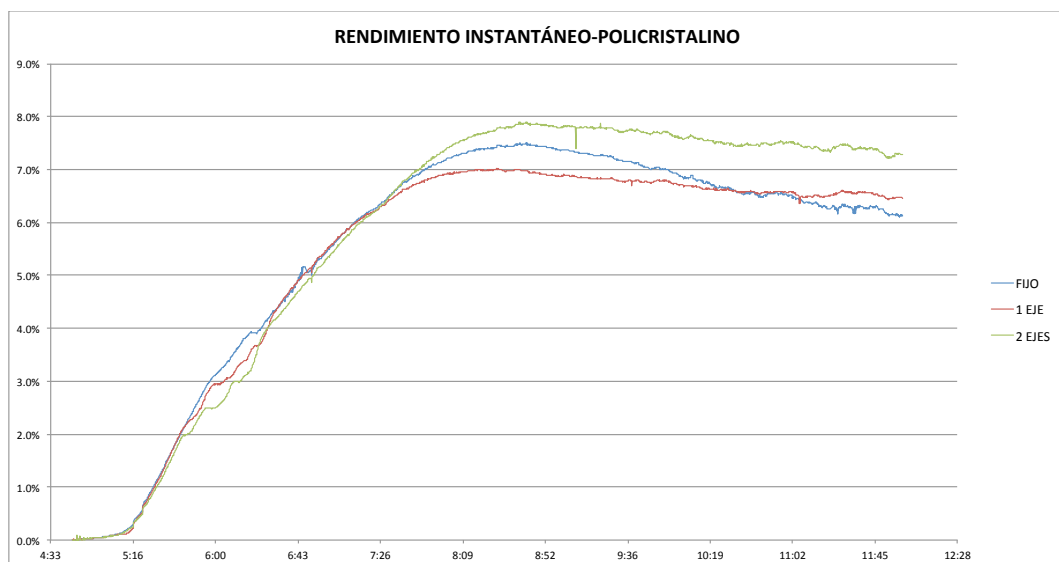
La energía recibida por cada panel es el área encerrada bajo la curva de Radiación, por tanto, vemos que los paneles que estén en los sistemas orientados reciben más energía del sol a lo largo del día, pero también se calientan más, la gráfica de la temperatura crece más rápido en los sistemas móviles que en el sistema fijo. En nuestro caso, y debido a la situación de la estructura orientada en un eje (recibe menos corrientes de aire porque la caseta de mediciones la protege y además refleja en esta estructura luz solar y por tanto energía térmica) tenemos que ésta es la que más se calienta al o largo del día.



Si vemos el rendimiento en un panel monocristalino observamos que para los sistemas móviles en las horas de mayor radiación solar el rendimiento se no aumenta o incluso decrece, esto se debe a las altas temperaturas en estos paneles (unos 70°C) y a la influencia de la misma en la potencia que entregan, para estos paneles monocristalinos este factor en es de  $-0.48\%/^{\circ}\text{C}$ , es decir, por cada grado que aumenta el panel la potencia decrece un 0.48%.

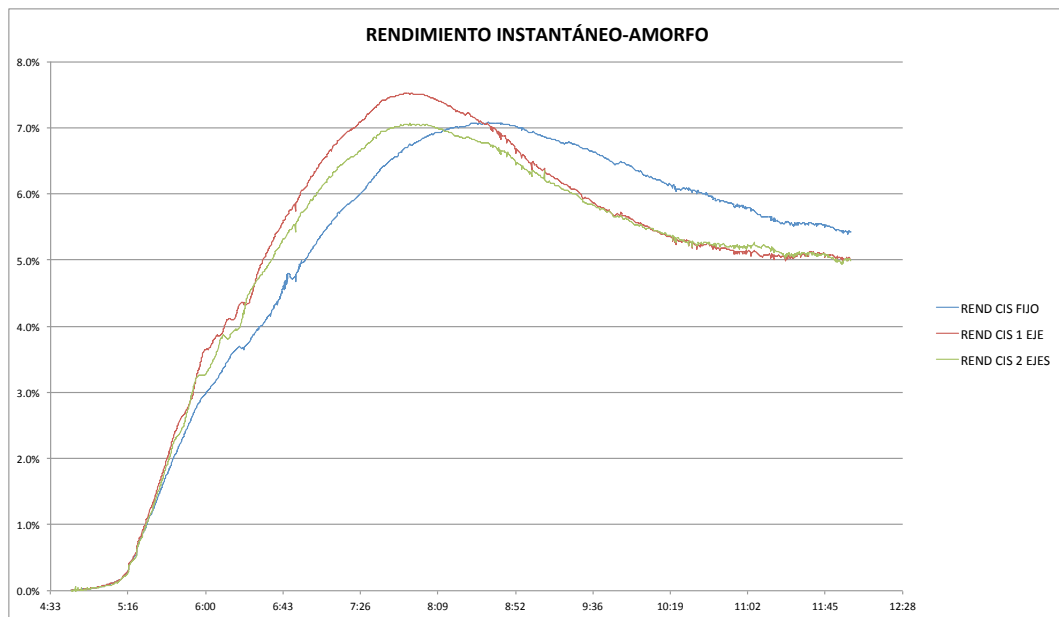


Para el panel policristalino ocurre algo similar.



Mientras que para el panel amorfo, vemos que la caída del rendimiento es más pronunciada en las tres estructuras. Además observamos que el rendimiento de las estructuras móviles pasa a ser menor que en la estructura fija hacia las 9:00 am hora solar. En dicho punto la penalización por altas temperaturas es tal que los sistemas móviles tienen peor rendimiento que el sistema fijo.





Por este motivo veíamos que el rendimiento medio anual de los paneles amorfos orientados en dos ejes era el menor y el rendimiento del sistema fijo era el mayor.

Se deduce que en estos paneles la influencia de la temperatura es mayor que en los paneles monocristalinos, a pesar de lo que indica el fabricante en la hoja de características  $-0.36\%/^{\circ}\text{C}$ , dato que en teoría, es mejor que el del panel monocristalino,  $-0.48\%/^{\circ}\text{C}$ .

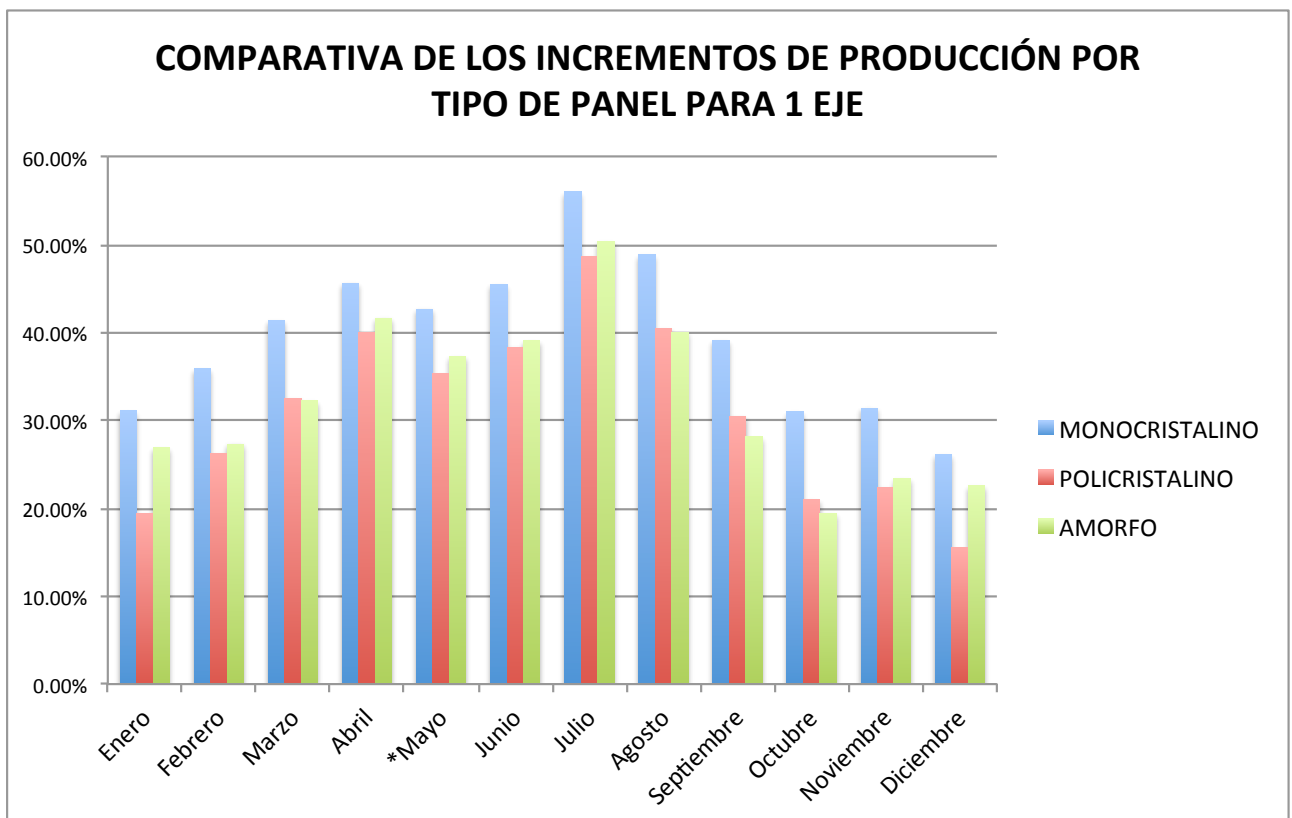


### 4.3. Comparativa de la producción por tipo de panel para un mismo sistema de orientación

Para llevar a cabo este apartado se va a comparar el incremento de la producción energética anual entre los diferentes paneles de los sistemas orientados con respecto al sistema fijo.

Para ello disponemos de las siguientes gráficas donde vemos la evolución del incremento de producción con respecto al sistema fijo.

En la primera tenemos los datos relativos a las tres tecnologías de panel en el sistema orientado en un eje

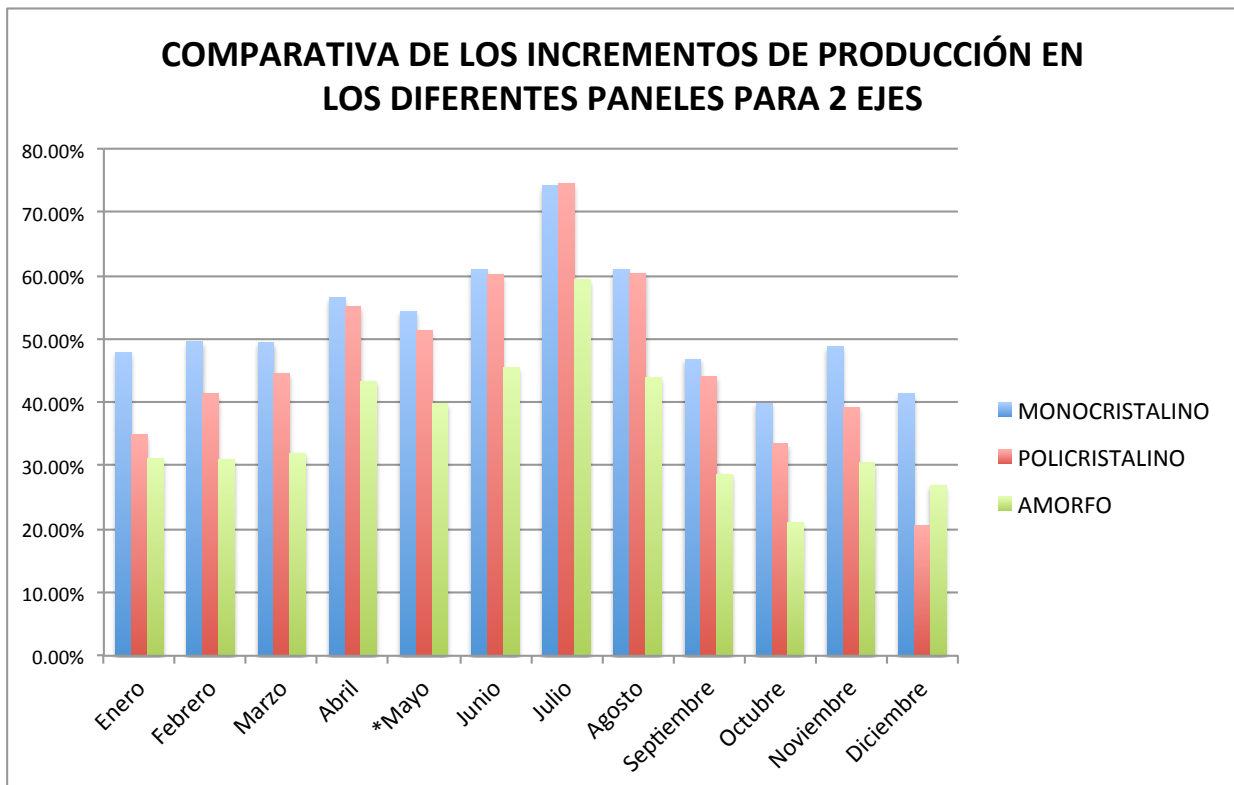


Como vemos, el mayor incremento de producción se da en el panel monocristalino a lo largo de todo el año. Estos paneles son los que mejor aprovechan la orientación en un eje. Por otra parte, los incrementos en los paneles policristalino y amorfos están muy parejos, siendo ligeramente mayores los del amorfo. Salvo en algunos meses de Primavera y Otoño, esto puede deberse a que el ángulo de inclinación de 30° de esta estructura está cercano al ángulo óptimo en dichos meses, por lo tanto, los paneles que mejor aprovechen la inclinación óptima incrementarán más su producción. En este caso, entre la tecnología policristalina y la CIS (amorfa), aprovecha mejor esta buena



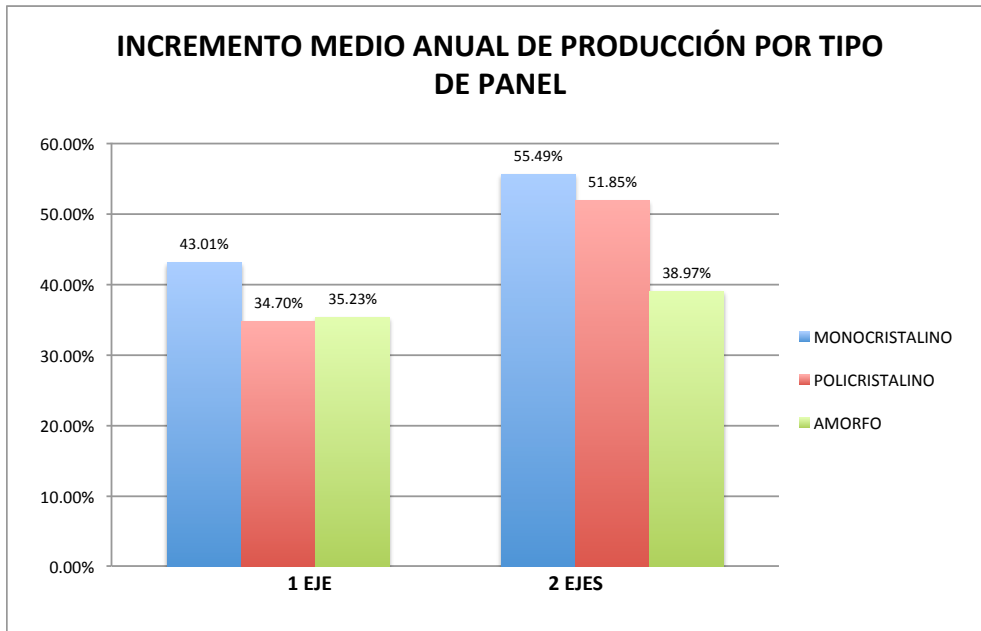
inclinación la policristalina y por tanto incrementa más su producción. Por el contrario, en los meses en que la inclinación de 30° no es la óptima, el incremento de producción será mayor en los paneles que no acusen tanto una mala orientación y aprovechen mejor la radiación difusa, es decir, los paneles amorfos.

Si observamos ahora los incrementos en la estructura orientada en dos ejes veremos que los paneles monocristalino y policristalino son los que mejor aprovechar esta orientación. Siendo los incrementos de producción ligeramente mayores para el panel monocristalino.





En esta estructura, el panel amorfo no incrementa tanto su producción en comparación con la estructura orientada en un eje. Como vemos en la última gráfica, el incremento en sistema orientado en dos ejes es tan solo un 3.7% mayor que en el sistema orientado en un eje, mientras que para el policristalino este incremento es del 17.1% y para el monocristalino del 12.4%



Esto se debe, como se ha dicho anteriormente, a que la tecnología amorfa no premia tanto la mejor orientación en su producción energética y por esto el efecto de orientarlo en un ángulo acimut óptimo es mucho menor que en las otras tecnologías de panel.



## 4.4. Comparativa de los resultados experimentales con los resultados simulados

Con el fin de verificar la validez de este estudio se ha simulado una instalación similar a la nuestra mediante el *software PVSyst* y compararemos los incrementos de producción en instalaciones orientadas con respecto a una fija.

La instalación simulada tiene ciertas diferencias con respecto a la nuestra, debido a la particularidad y las limitaciones de nuestra instalación, no se pudo simular exactamente nuestro entorno (paneles conectados a una resistencia, medida de la producción en medio día y paneles solares no disponibles en la base de datos del programa)

Condiciones de simulación:

- Panel **monocristalino**: GENÉRICO de 250 Wp.
- Panel **policristalino**: GENÉRICO de 250 Wp.
- Panel **CIS**: igual que el de este estudio, Würth Solar WS 11000 de 5.5Wp.
- Instalación **conectada a Red** de 100KWp con inversor de 90KWp
- **Instalación fija**: inclinación 30° y acimut 0°
- **Instalación orientada en un eje**: inclinación 30° y el acimut variable 96°, de -48° hasta 48°.
- **Instalación orientada en dos ejes**: inclinación variable desde 15° a 90° y acimut desde -100° hasta 100°.

Las características de los sistemas de seguimiento se obtuvieron de los catálogos de los fabricantes en sus hojas de características.

De esta simulación hemos obtenido los siguientes datos de producción anual por vatio instalado:

kWh/kWp	S. fijo	S. orientado 1 eje	S. orientado 2 ejes
<b>Monocristalino</b>	1565	2090	2212
<b>Policristalino</b>	1577	2106	2230
<b>Amorfo</b>	1617	2175	2306

**PRODUCCIÓN ANUAL SISTEMA SIMULADO**



Cuyos incrementos de producción con respecto al sistema fijo son:

% (pp)	S. orientado 1 eje	S. orientado 2 ejes
<b>Monocristalino</b>	33.5 %	41.3 % (+7.8)
<b>Policristalino</b>	33.5 %	41.4 % (+7.9)
<b>Amorfo</b>	34.5 %	42.6 % (+8.1)

#### **INCREMENTO DE LA PRODUCCIÓN SISTEMA SIMULADO**

A continuación veremos los resultados de nuestro estudio y se compararán con estos resultados de la simulación.



## 4.5. Tablas resumen y conclusiones finales

Como el fundamento de este trabajo es poder discernir cuándo conviene o no utilizar un sistema orientado para una determinada tecnología fotovoltaica y qué sistema de orientación convendría dado el caso, se presentan a continuación unas tablas resumen y unas conclusiones finales que sintetizan los datos tratados anteriormente.

Con esto conseguimos tener una visión muy rápida de las diferentes tecnologías desde el puntos del vista de sus rendimiento e incremento de producción respecto al sistema fijo.

- **Tablas resumen de la instalación estudiada:**

### INCREMENTO DE LA PRODUCCIÓN RESPECTO A UN SISTEMA FIJO

%(pp)	S. orientado 1 eje	S. orientado 2 ejes
<b>Monocrystalino</b>	43.0 %	55.49 % (+12.49)
<b>Policristalino</b>	34.7 %	51.85 % (+17.15)
<b>Amorfo</b>	35.23 %	38.97 % (+3.74)

### PRODUCCIÓN ENERGÉTICA ANUAL

(Wh)	S. fijo	S. orientado 1 eje	S. orientado 2 ejes
<b>Monocrystalino</b>	15865.7	22698.72	24676.81
<b>Policristalino</b>	10316.34	13895.25	15662.54
<b>Amorfo</b>	4719.54	6379.98	6557.10

### RENDIMIENTO MEDIO ANUAL

%(pp)	S. fijo	S. orientado 1 eje	S. orientado 2 ejes
<b>Monocrystalino</b>	10.28 %	10.74 % (+0.46%)	10.94 % (+0.66)
<b>Policristalino</b>	6.49 %	6.38 % (-0.11%)	6.74 % (+0.25)
<b>Amorfo</b>	5.94 %	5.86 % (-0.08%)	5.65 % (-0.29)





### COMPARATIVA INCREMENTOS DE PRODUCCIÓN INSTALACIÓN-SIMULACIÓN

%(pp)	1 Eje	1 Eje	2 Ejes	2 Ejes
<b>Monocristalino</b>	43.0 %	33.5 %	55.49 % (+12.49)	41.3 % (+7.8)
<b>Policristalino</b>	34.7 %	33.5 %	51.85 % (+17.15)	41.4 % (+7.9)
<b>Amorfo</b>	35.23 %	34.5 %	38.97 % (+3.74)	42.6 % (+8.1)
	Instalación	Simulación	Instalación	Simulación

Como vemos en esta comparativa, los resultados obtenidos en la simulación y los obtenidos en nuestra instalación no son exactamente iguales, hay algunas diferencias que se explican a continuación.

Estas disparidades en los incrementos de producción pueden deberse a dos factores:

1. En la simulación tenemos los datos de producción de un año completo, mientras que en nuestro estudio medimos, en el mejor de los casos, cada dos días, por tanto, si tuviéramos datos del año completo los resultados arrojados podrían variar ligeramente y aproximarse más a la simulación.
2. En nuestro estudio medimos medio día solar y suponemos el resto del día simétrico, esto altera ligeramente los resultados, puesto que en realidad, las condiciones climatológicas y, sobre todo, la temperatura del panel no son idénticas a lo largo de la mañana y de la tarde. Por otro lado, la simulación toma datos del día completo, lo que refleja una producción diaria más fiel a la realidad.
3. Nuestra instalación disipa la energía generada en una resistencia, mientras que la simulación vierte la energía a la Red, por tanto, este sistema simulado supone un funcionamiento siempre en el punto de máxima potencia, por el contrario, en nuestro estudio esto no es así, puesto que la resistencia tiene un valor fijo, la tensión viene marcada por dicha resistencia y la corriente que entreguen los paneles en cada instante, no teniendo así una relación Tensión-Corriente optimizada para extraer la máxima potencia.



- **Conclusiones finales:**

1. **La producción energética a lo largo de un año es mayor en los sistemas orientados en dos ejes y menor en el sistema fijo.**
2. **Los incrementos de la producción para un sistema orientado en dos ejes con respecto a uno orientado en un eje son importantes en los paneles monocristalino y policristalinos, mientras que para los amorfos son mínimos.**
3. **Pasar de un sistema orientado en un eje a uno orientado en dos ejes para paneles amorfos podría no ser útil desde el punto de vista económico.**
4. **Podemos decir, de forma general, que el incremento en la producción de un sistema orientado en un eje es del 30-40% mientras que para un sistema orientado en dos ejes es del 40-55% . Incrementos muy parejos a lo que marcan los fabricantes (25-40% y 35-45%) y similares a los arrojados por la simulación (33% y 41%)**
5. **Los incrementos del rendimiento medio anual para los sistemas orientados no son significativos. Siendo incluso menores en estos sistemas que en uno fijo para los paneles amorfos.**



## **5. PROPUESTA PARA TRABAJOS FUTUROS**

Se propone para la continuación del presente trabajo, o la elaboración de nuevos, los siguientes puntos:

- Ampliar este trabajo recopilando datos de un año entero y medir durante todas las horas de sol, día completo.
- Realizar una simulación más acorde con el estudio práctico.
- Mejora de la instalación de medida. Ubicación de las estructuras que permite unas condiciones de temperatura, ventilación y radiación más homogénea entre los tres sistemas.
- Ampliar el rango de paneles a estudiar, es decir, evaluar el comportamiento de varios paneles de diferentes fabricantes para una misma tecnología (en lugar de un solo panel por marca y tecnología).
- Evaluar económicamente y estudiar la amortización de las diferentes estructuras para cada tecnología de panel instalado.





## 6. BIBLIOGRAFÍA

- [https://es.wikipedia.org/wiki/C%C3%A9lula\\_de\\_silicio\\_monocristalino](https://es.wikipedia.org/wiki/C%C3%A9lula_de_silicio_monocristalino)
- [https://es.wikipedia.org/wiki/C%C3%A9lulas\\_de\\_silicio\\_policristalino](https://es.wikipedia.org/wiki/C%C3%A9lulas_de_silicio_policristalino)
- [https://es.wikipedia.org/wiki/C%C3%A9lula\\_fotoel%C3%A9ctrica#El\\_semiconductor\\_fbi](https://es.wikipedia.org/wiki/C%C3%A9lula_fotoel%C3%A9ctrica#El_semiconductor_fbi)
- <http://www.solar-tracking.es>
  
- Catálogo WÜRTH WS 11000 (hoja de características)
- Catálogo VictronEnergy SPM30-12 (hoja de características)
- Catálogo Atersa A-20P (hoja de características)
- Catálogo DEGER energie Tracker 300EL 1000EL
- Catálogo SunTracer Plus. TECHNO SUN
- Catálogo SAT CONTROL Single-Axis Solar Tracker ST3SPMOG+
  
- Proyecto de fin de carrera: *DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL INCREMENTO DE PRODUCCIÓN EN SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS CON SEGUIMIENTO EN UN EJE: UN AÑO DE MEDIDAS*  
Autores: Vallejo Martín, Olga y Velasco Melero, Esteban
  
- Proyecto de fin de carrera: *AMPLIACIÓN DE INSTALACIÓN PARA COMPARATIVA DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS*  
Autores: Robles Hernández, Rubén y Sanz Muñoz, José Miguel





## **7. AGRADECIMIENTOS**

A mi tutor, Julian Manuel Pérez García, por haberme dado la oportunidad de realizar este trabajo y por toda la ayuda y el tiempo dedicados.

A mi familia, por el gran esfuerzo que han hecho para llegar hasta aquí y por todo el apoyo incondicional y el cariño que me han dado en todos estos años.

A mis compañeros y amigos, por su ayuda y por los buenos ratos libres, y no tan libres, que hemos pasado juntos a lo largo de todos estos años.

Gracias.