



**ExpoSolar**  
Colombia 2017

Energía renovable para **todos**

# Comparación de Inversores, Microinversores y Optimizadores

Angel R. Zayas Duchesne  
[azayas@azeng.net](mailto:azayas@azeng.net)

# Quién es AZ Engineering

- 17 años de Experiencia
- Ingeniería completa para sistemas solares (techo, sobre terreno y parqueaderos):
  - Civil
  - Estructural
  - Eléctrico
  - Comunicaciones / SCADA

Fotografías o imágenes de ilustración



# Techos Residenciales



• 9.9 KW DC

• 28 KW DC





# Techos Comerciales



- 376 KW DC

- 1,000 KW DC





# Parqueadores



- 600 KW DC

Fotografías o imágenes de ilustración

- 5.6 MW DC





# Terreno



- 27 MW DC

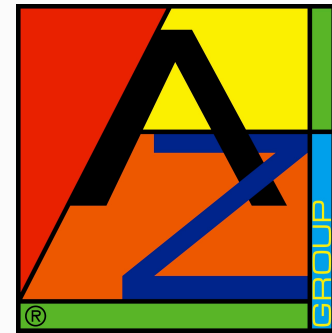
- 3.6 MW DC



# Quién es AZ Engineering

- 17 años de Experiencia
- Ingeniería completa para sistemas solares (techo, sobre terreno y parqueaderos):
  - Civil
  - Estructural / Mecánico
  - Eléctrico
  - Comunicaciones / SCADA
- Sobre 80 MW diseñados, construidos e interconectados con la Utilidad.
- Otros servicios: Microgrids, Almacenamiento de Baterías a gran escala, Subestaciones y Cogeneración
- Protección Contra Rayos UL Master Label.
- Expandiendo a Latino America

[www.azeng.net](http://www.azeng.net)



# Comparación de Inversores, Microinversores y Optimizadores

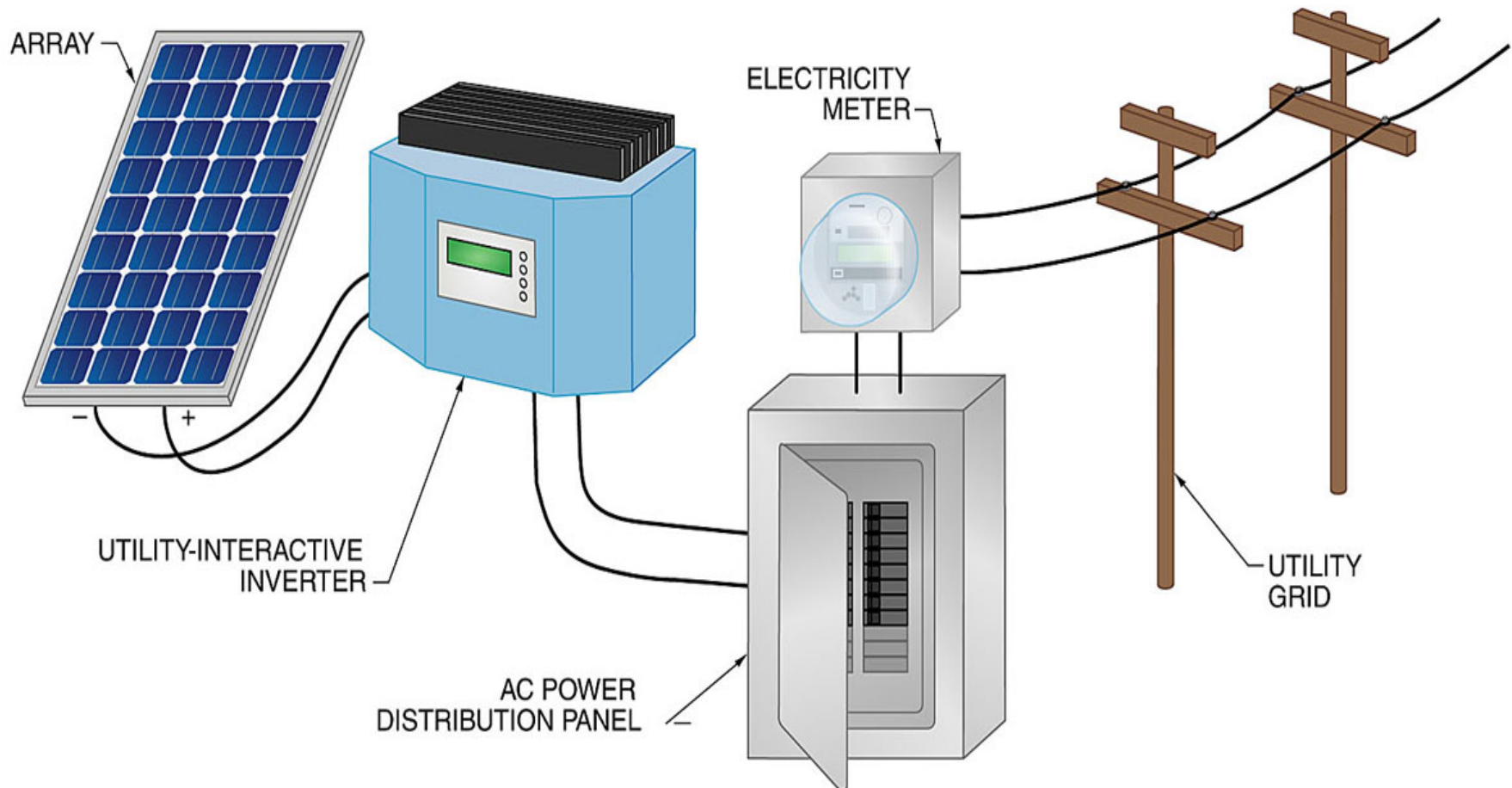
## Una Opción del Diseñador e Instalador

- Concepto básico de la energía solar
- Sistemas de:
  - Inversor
  - Microinversor
  - Optimizadores
- Comparativo de:
  - Diseño
  - Costo
  - Instalación
  - Producción
  - Seguridad



# Sistemas Interactivos Conectados a la Red Eléctrica

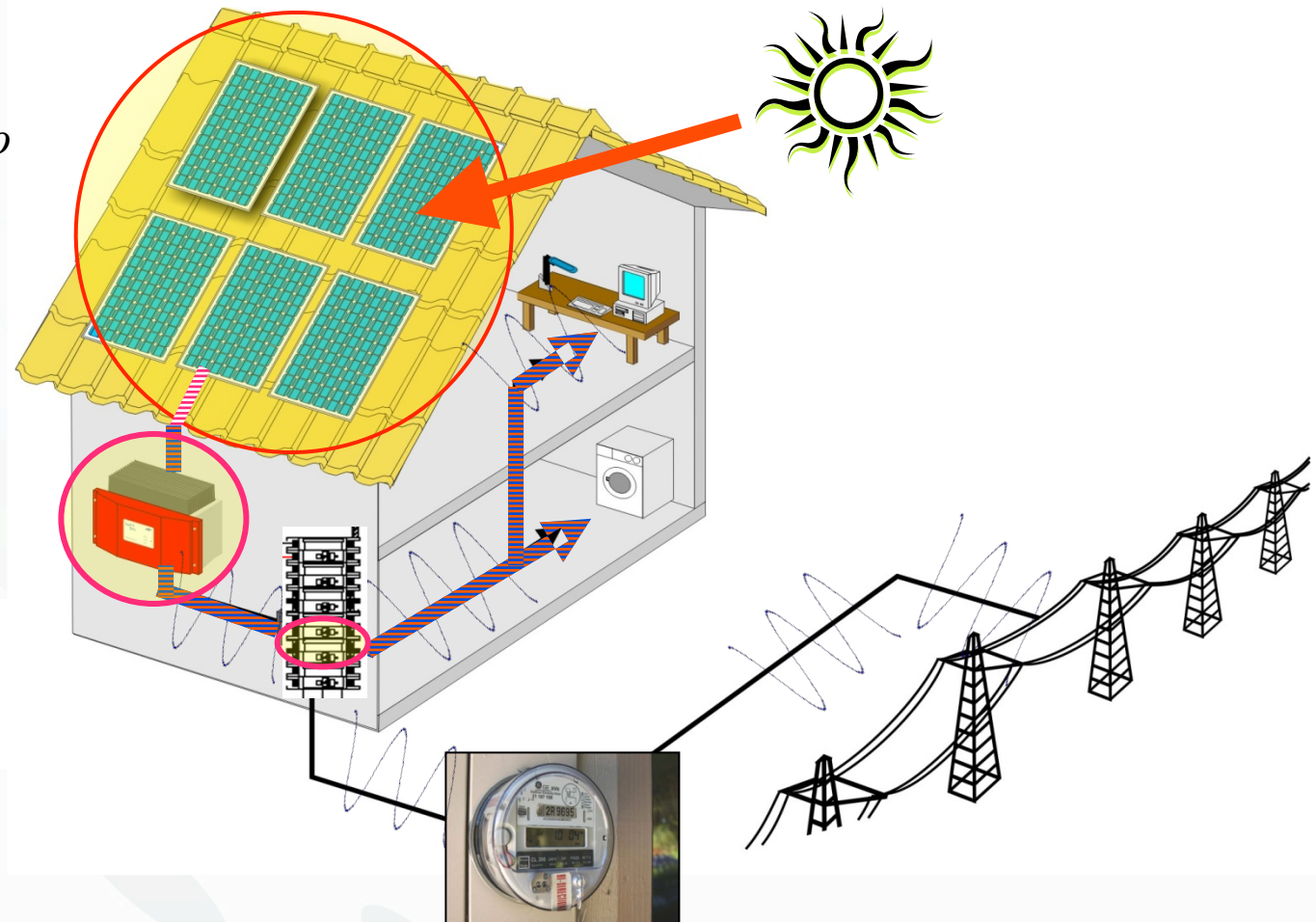
## Utility-Interactive Systems



# Sistemas Interactivos Conectados a la Red Eléctrica

*Arreglo  
Fotovoltaico*

*Inversor*

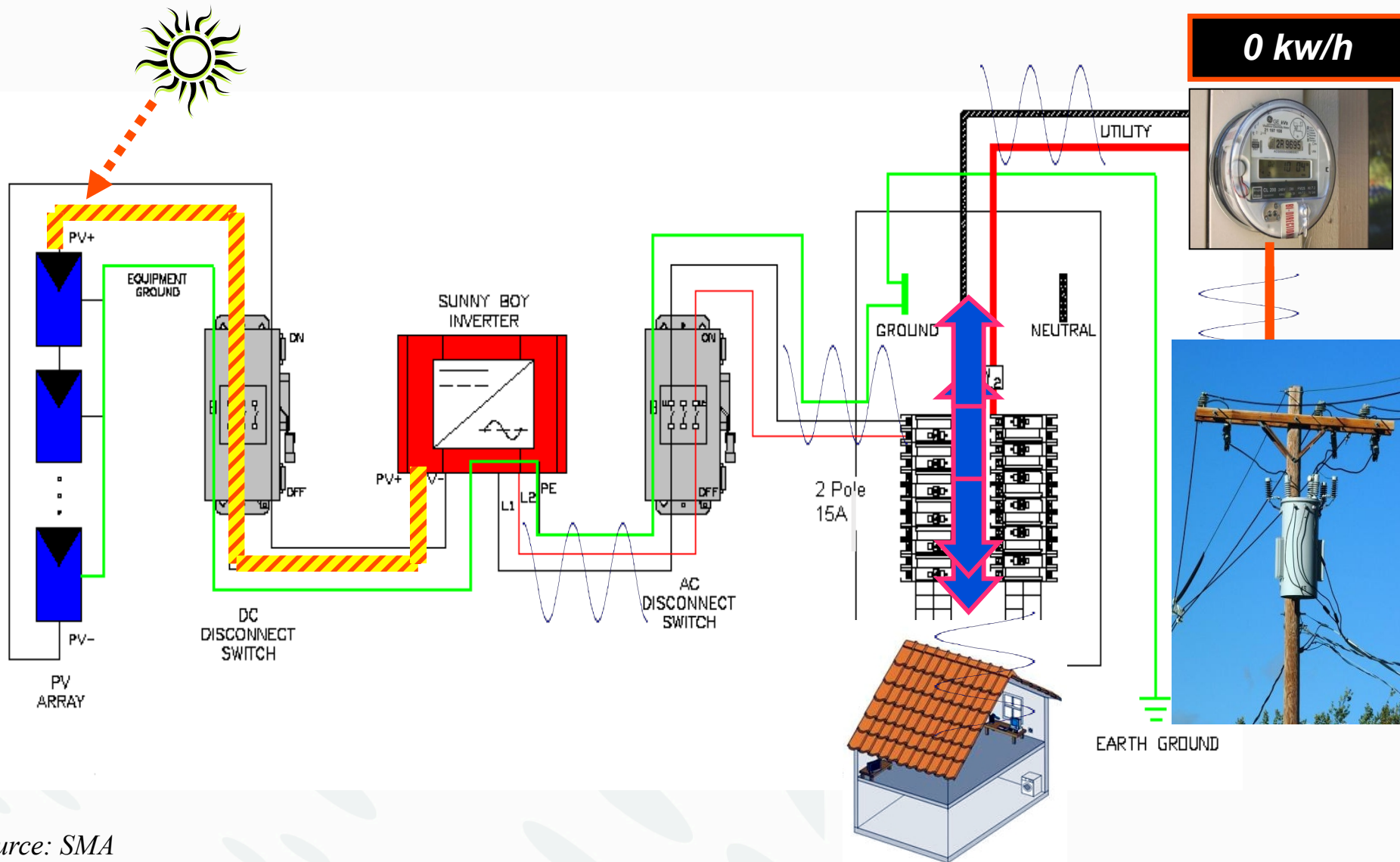


*Metro*

*0 kw/h*



# Sistemas Interactivos Conectados a la Red Eléctrica



# Ejemplo Ilustrativo Efecto Sombra

- Asunciones:
  - Condición estándar de pruebas (STC):
    - 1,000 W/m<sup>2</sup>, 25 grados centígrados temperatura
  - Sombra es igual para todos los casos
  - Eficiencia de los inversores y equipos es igual

Fotografías o imágenes de ilustración

# Datos

- Datos:
  - Módulo fotovoltaico de 325 vatios a condición estándar de pruebas (STC):
    - 1,000 W/m<sup>2</sup>, 25 grados centígrados temperatura
  - Corriente de operación de 8.85 A dc
  - Voltaje de operación de 36.7 V dc
  - Vatios del módulo fotovoltaico:

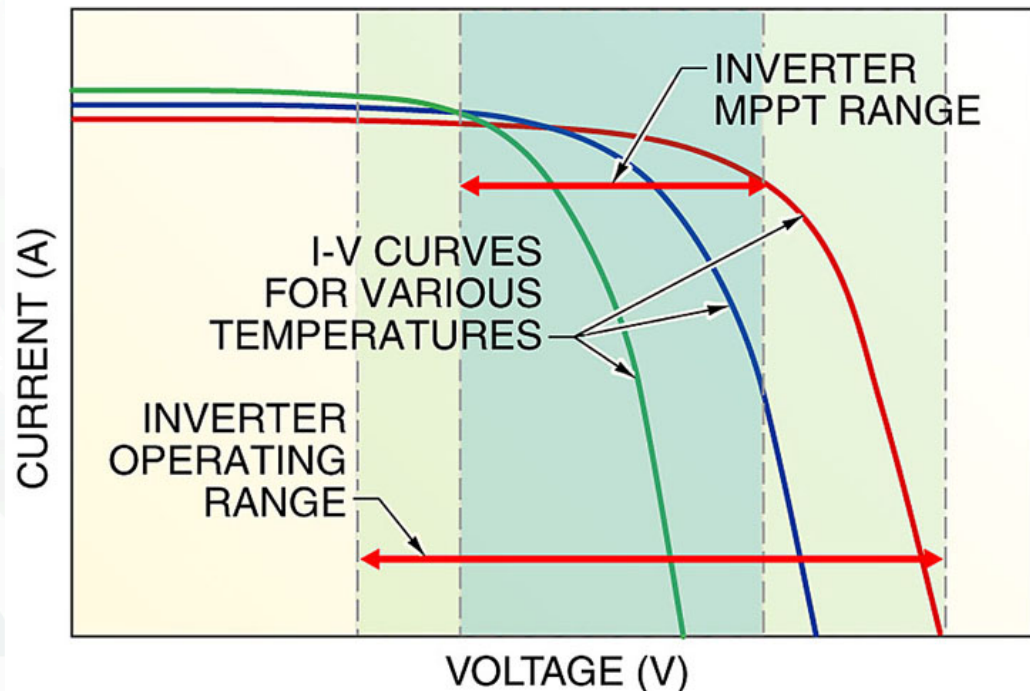
Fotografías o imágenes de ilustración

$$8.85 \text{ A} \times 36.7 \text{ V} = 324.8 \text{ vatios dc}$$

# Inversores

**Importante en los Inversores:** estar dentro del rango de operación de voltaje a temperatura alta y baja record.

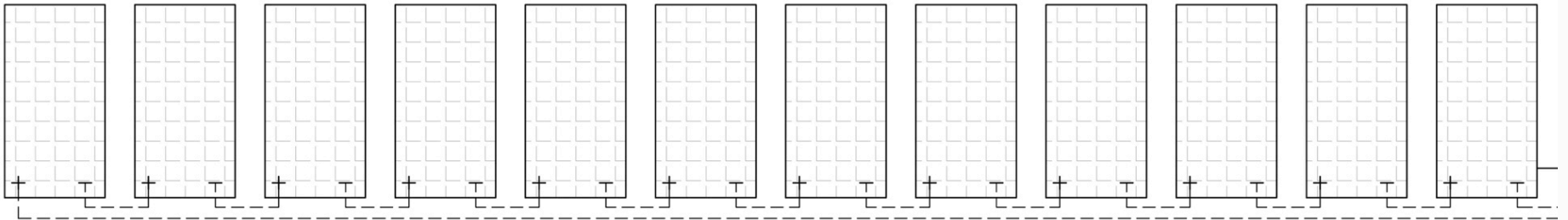
## DC Input Voltage Ranges



Source: "Photovoltaic System" an ATP Publication 2009

# Inversores

- Ejemplo a STC:
- 12 módulos en serie – NO SOMBRA



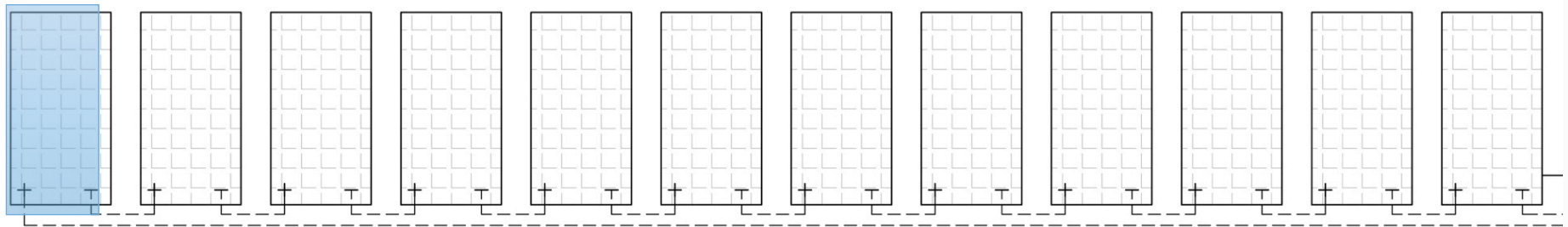
- Voltaje?  $36.7 \text{ V} \times 12 = 440.4 \text{ V dc}$   $325\text{w} \times 12 =$
- Amperaje?  $8.85 \text{ A dc}$  Total en Vatios dc:
- Total en Vatios:  $3,898\text{W dc}$   $3,900 \text{ W dc}$

# Inversores

- Inversor
  - 3,000 Watts
  - 12.5 A ac continuo
  - 240 V ac
  - Razón DC a AC: 1.3
    - 3,900 W<sub>dc</sub> / 3000 W<sub>ac</sub>
  - Watts ac =  $12.5 \text{ A} \times 240 \text{ V} = 3,000 \text{ W ac}$

# Inversores

- Ejemplo a STC:
- 12 módulos en serie – SOMBRA PARCIAL



• Voltaje?  $36.7 \text{ V} \times 12 = 440.4 \text{ V dc}$

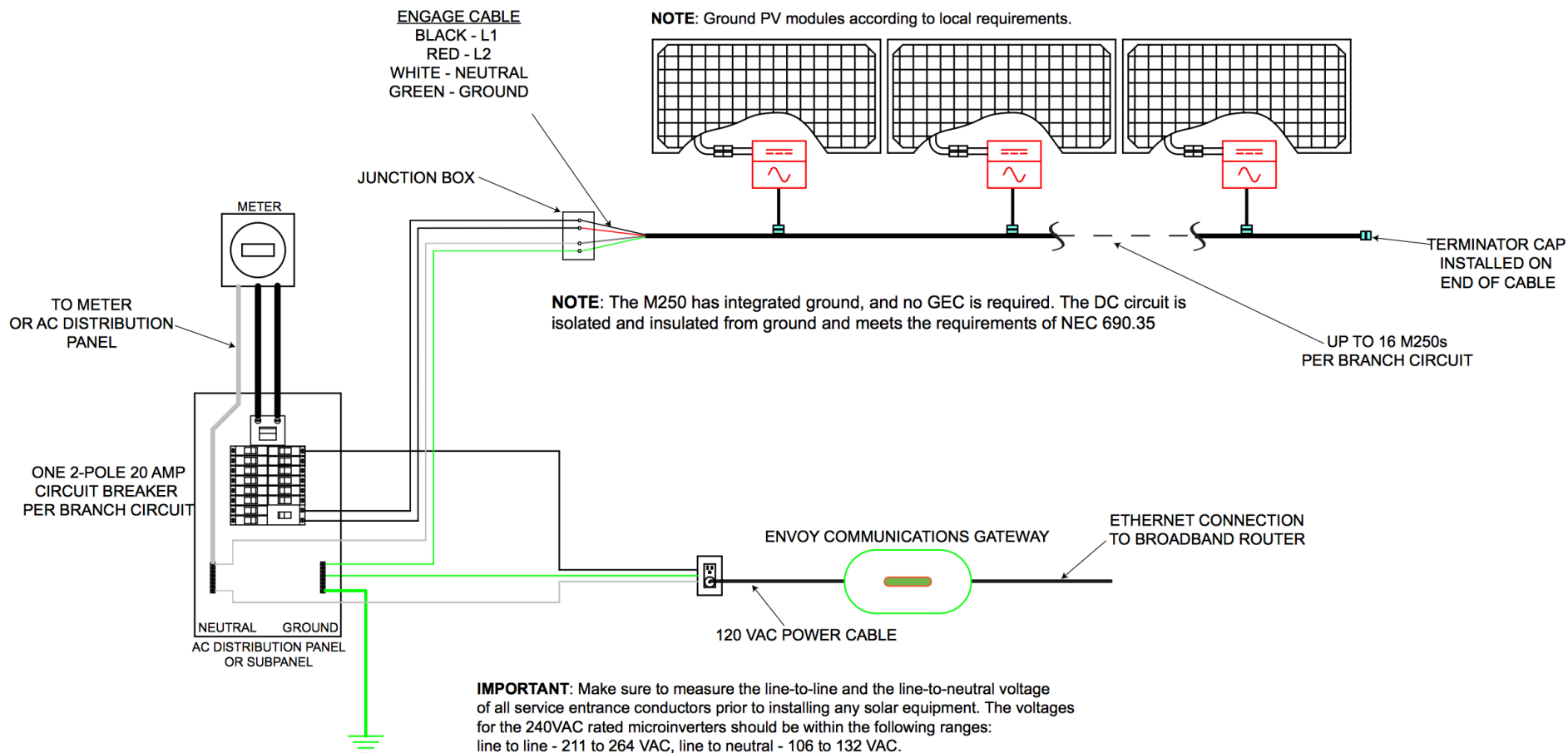
• Amperaje?  $2.92 \text{ A dc}$

Total en vatios:  
 $1,286 \text{ W dc}$

Versus

Total en Vatios:  
 $3,898 \text{ W dc}$

# Micro-Inversores

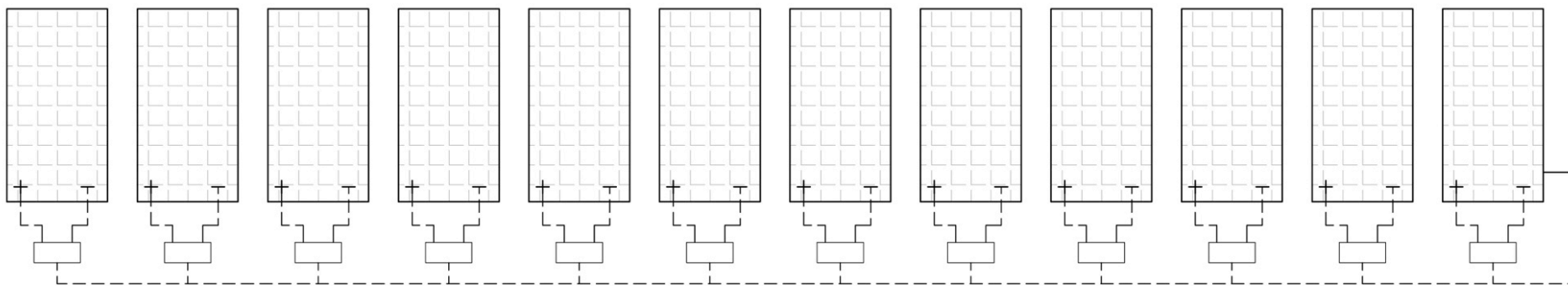


**Importante en Micro-Inversores:** estar dentro del rango de operación de voltaje a temperatura alta y baja record por Módulo.



# Micro-Inversores

- Ejemplo a STC:
- 12 módulos en serie de micro-inversores – NO SOMBRA

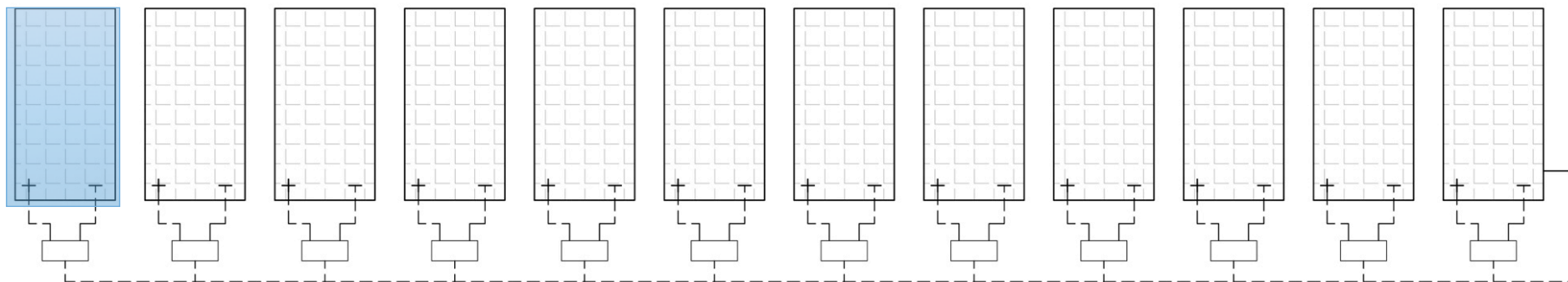


- Voltaje?  $240 \text{ Vac} \times 1.04 \text{ A} = 250 \text{ W ac}$
- Amperaje?  $\times 12 \text{ Mod.}$

Total en Vatios: 3,000 W ac

# Micro-Inversores

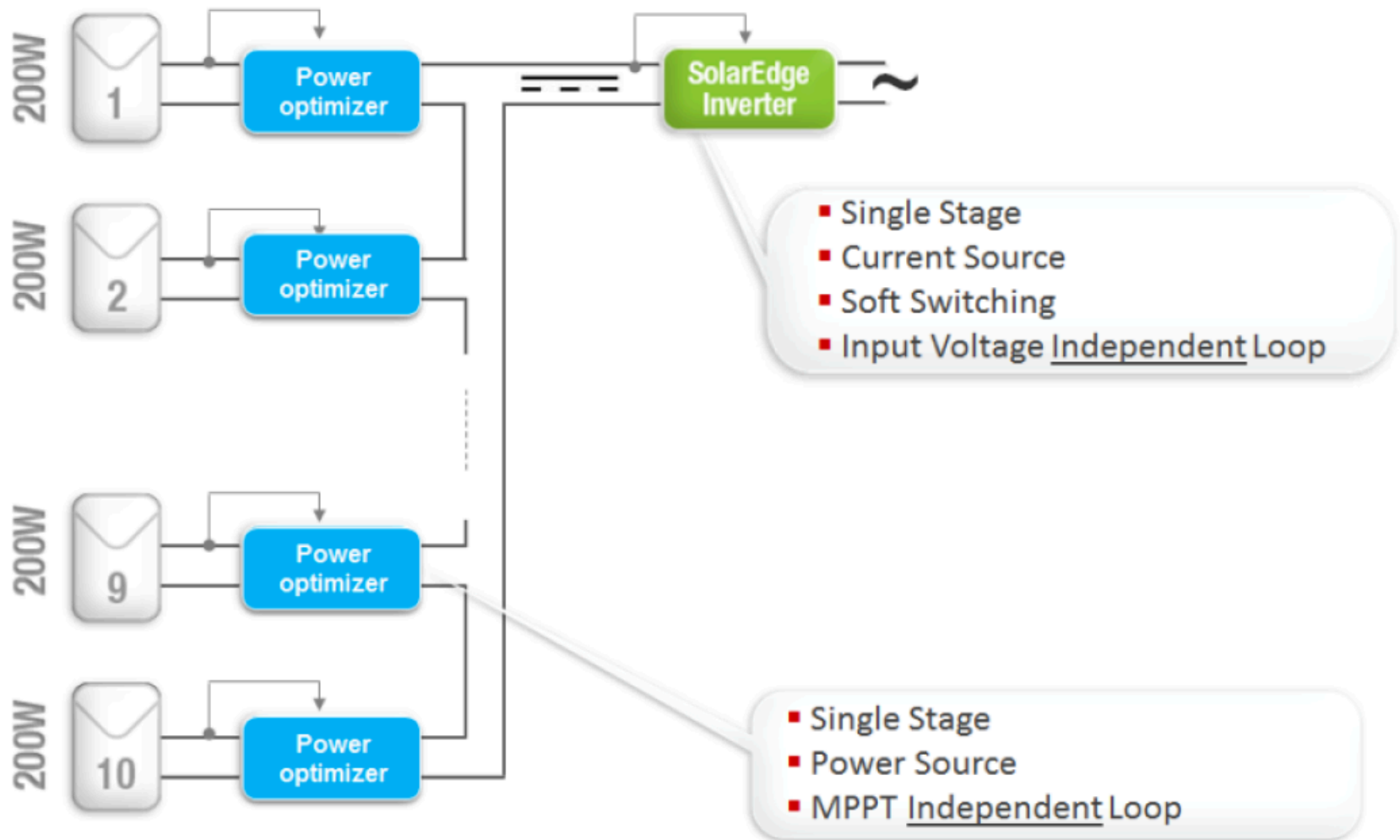
- Ejemplo a STC:
- 12 módulos en serie de micro-inversores – SOMBRA PARCIAL



- Voltaje?  $240 \text{ Vac} \times 1.04 \text{ A} = 250 \text{ W ac}$
- Amperaje? un módulo afectado  $\times 11 \text{ Mod.}$

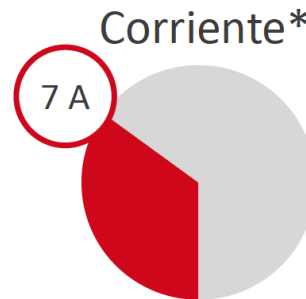
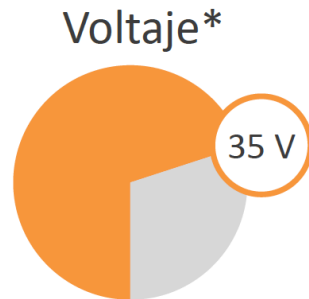
Total en Vatios: **2,750 W ac**

# Optimizadores

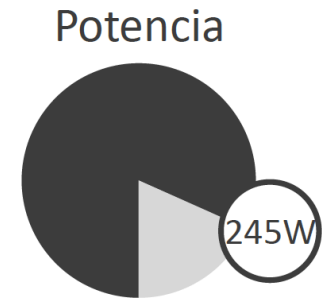


# Optimizadores

**Modulo (ent.):** Voltaje y Corriente dependen del modulo y el medio ambiente



\*Potencia Maxima

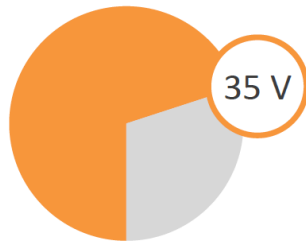


# Optimizadores

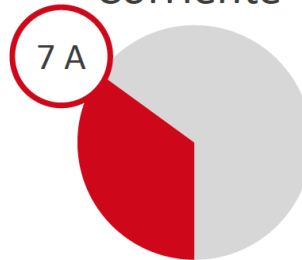
**Modulo (ent.):** Voltaje y Corriente dependen del modulo y el medio ambiente



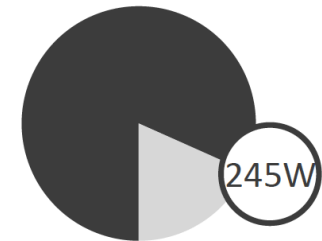
Voltaje\*



Corriente\*

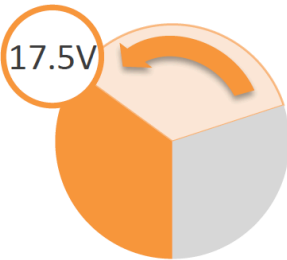
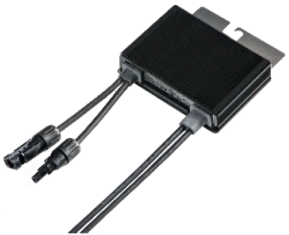


Potencia



\*Potencia Maxima

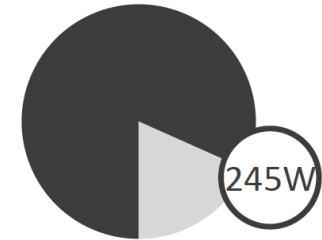
**Potencia Optimizado(salida):** Puede variar voltaje y corriente, pero producir la misma energía



Voltaje baja en  
un 50%



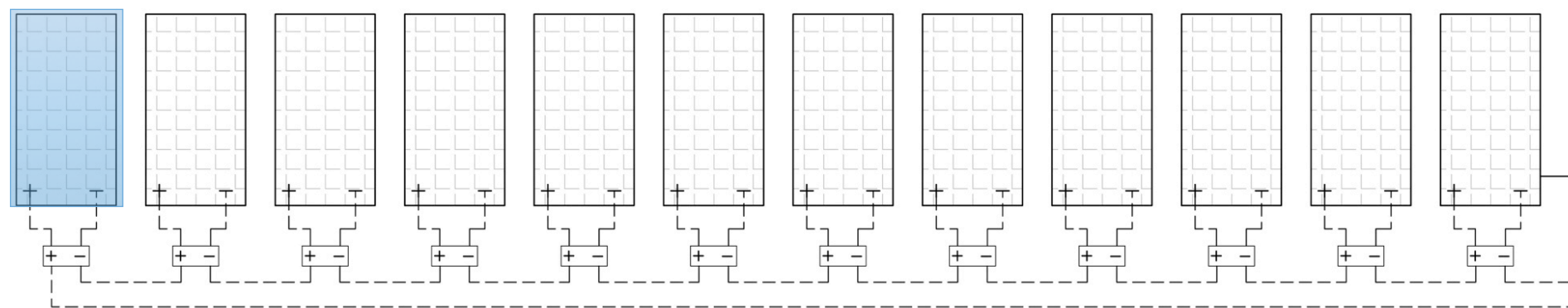
Corriente sube  
por 100%



**La potencia es la  
misma**

# Optimizadores

- Ejemplo a STC:
- 12 módulos en serie de optimizadores – SOMBRA PARCIAL



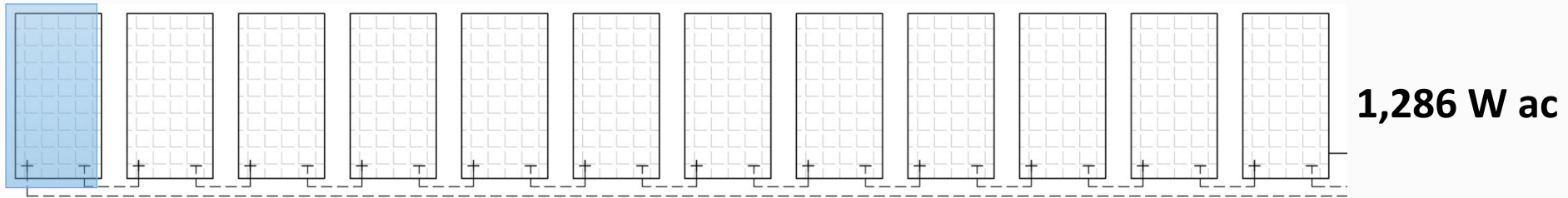
- Voltaje? Fijo: 350 Vdc
- Amperaje? Varía en la cadena

$$350 \text{ Vdc} \times 7.85 \text{ Adc} =$$

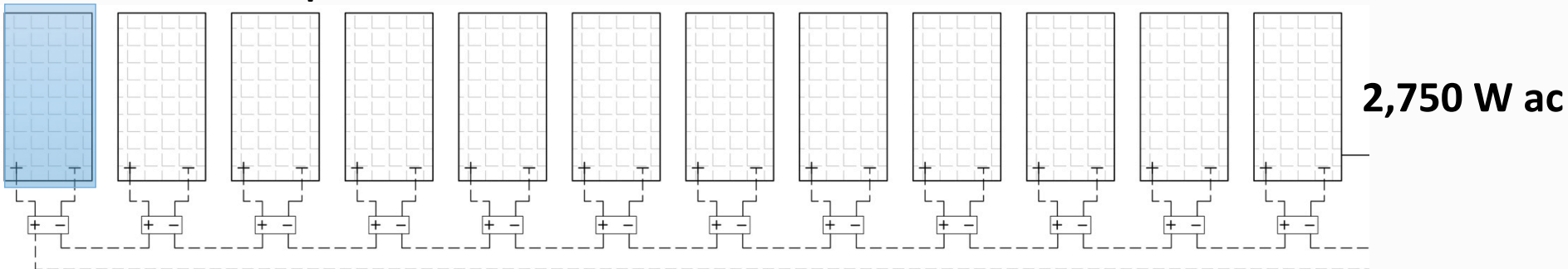
Total en Vatios:  
**2,750 W dc**

# Topologías de Hoy para Mitigar Sombra – Ejemplo Ilustrativo

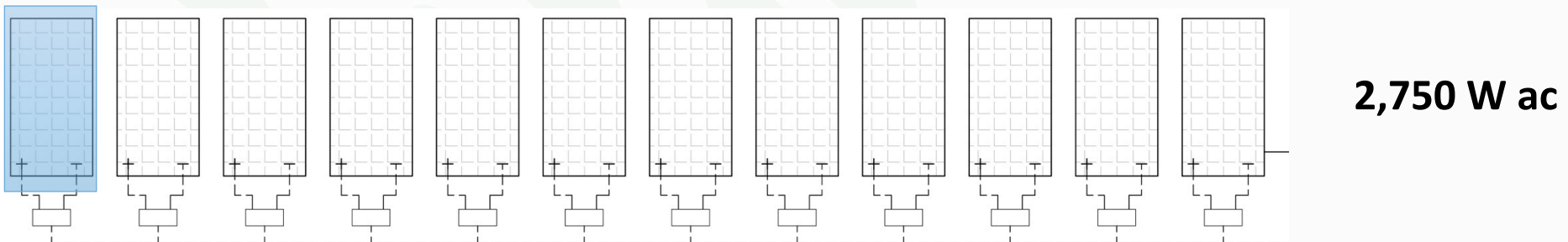
## Inversor en Cadena



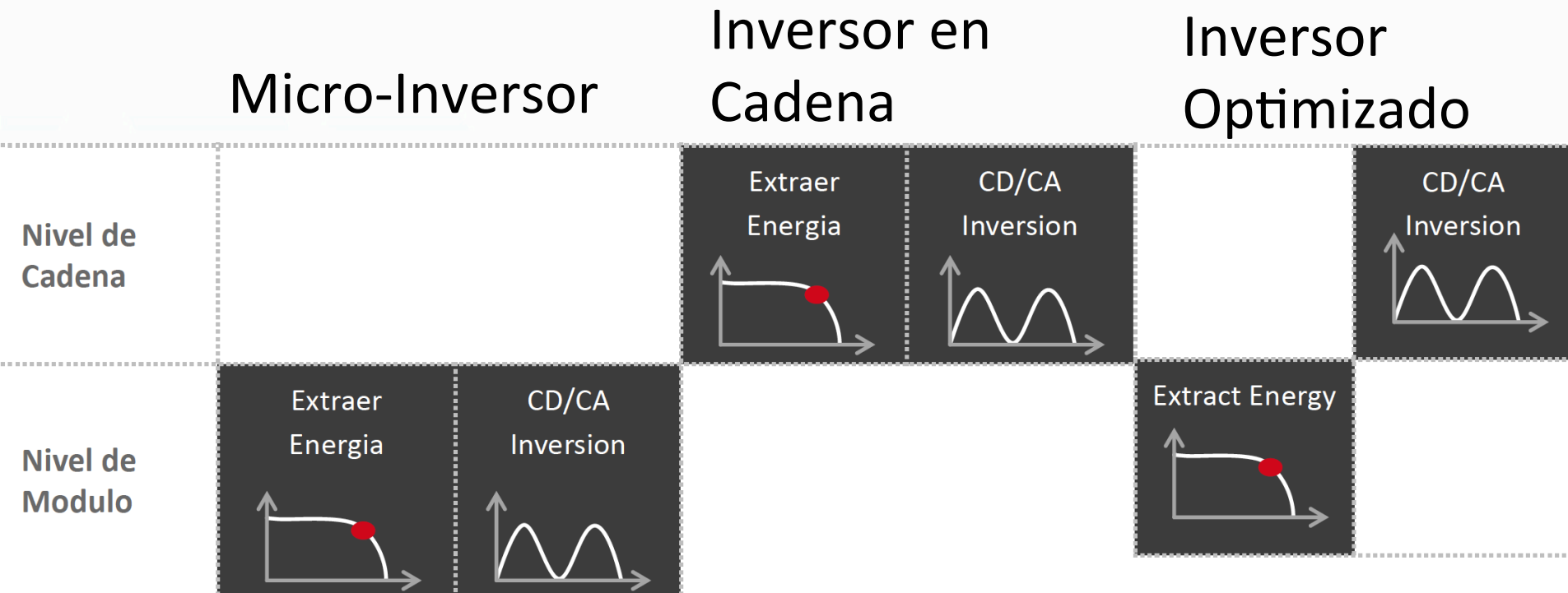
## Inversor Optimizado



## Micro-Inversor



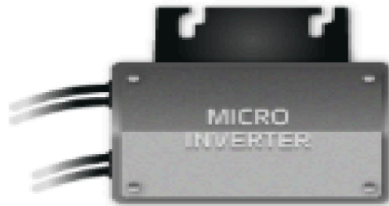
# Topologías de Hoy



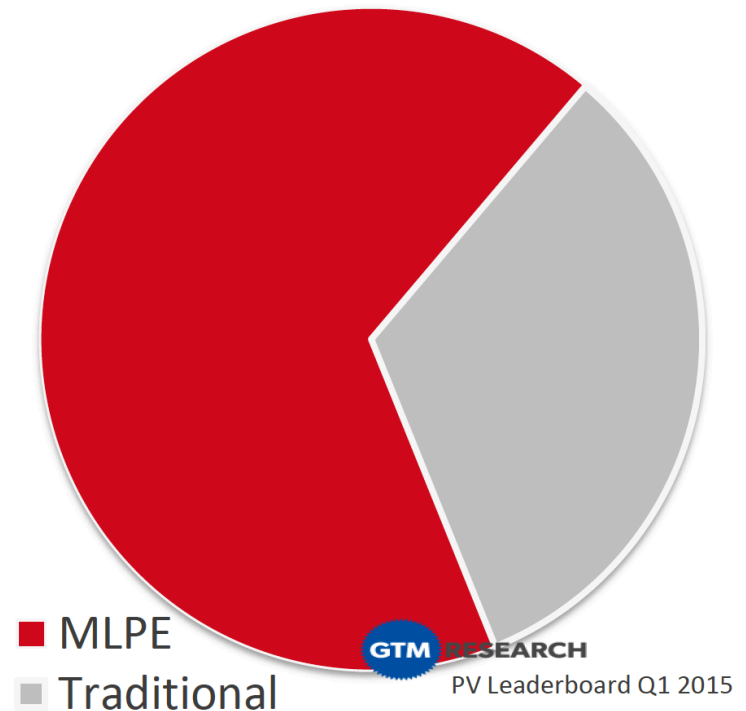


# Tendencias en el Mercado

- Mas del 60% de las instalaciones utilizan MLPE
- ~50% optimizadores 50% micros
- Adopción rápida en los últimos años



Topologías de Inversor  
Residencial Q4 2014



MLPE: Module Level Power Electronics

# Cuál Topología Escojo?

- Inversor?
  - Micro-Inversor?
  - Optimizadores?
- 
- Les facilito más data para su decisión:

Va a depender de las condiciones:



**Figure 1. Example obstruction shading conditions**  
Source: PHOTON, November 2010.

# NREL Photovoltaic Shading Testbed for MLPE

- Mayo 2012: Primeras pruebas que compararon el impacto de sombra entre inversor en cadena y micro-inversores.
- Septiembre 2016: “Photovoltaic Shading Testbed for Module-Level Power Electronics: 2016 Performance Data Update”. En este caso compararon inversor en cadena, micro-inversores y optimizadores

# Pruebas del Update 2016

## 1. Usaron Inversor SMA, SolarEdge y Enphase

Fotografías o imágenes de ilustración

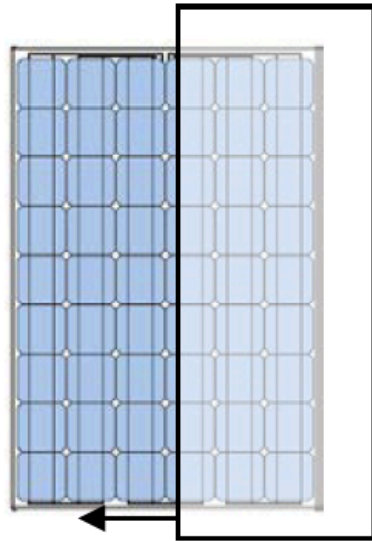
# Pruebas del Update 2016

**Table 5. System parameters for the two DUT arrays and the Reference array**

	Reference Array	Test Array #1	Test Array 2
Inverter	SMA SunnyBoy 6000US (string inverter)	SolarEdge OP250-LV optimizers with SE6000A-US string inverter	Enphase M215 (single-module inverter)
Grid Connection	240-volt single-phase		
Module	Sharp ND240QCJ		
# of Strings	2		
# of Modules/String	13		
Nameplate DC System Power	6.24 kW		
CEC Efficiency	95.5%	98.8% * 97.5%	96%
System Location	PV-USA (Davis, CA)		
System Orientation	20-degree south-facing, portrait orientation		
Testing Dates	June 19 to June 21, 2013		

# Pruebas del Update 2016

1. Usaron Inversor SMA, SolarEdge y Enphase
2. Pruebas de sombra sistemáticamente:



**Figure 2. Partial shading of a single module should use 50% opacity filter to cover all of a given bypass diode submodule (one-third of the module for 60-cell modules).**



# Pruebas del Update 2016



**Figure 7. Close-up view of shading mesh on a single string.**

# Pruebas del Update 2016

1. Usaron Inversor SMA, SolarEdge y Enphase
2. Pruebas de sombra sistemáticamente, Interpolando 5% de incrementos en sombra

**Table 2. Interpolated  $n$  equivalents to match 5% system shading increments**

$(n:0:0)$  shading

Two-string  $(n:n:0)$  shading

Three-string  $(n:n:n)$  shading

5% - 30% system shade

String 1,2 (5% - 65% system shade)

String 1,2,3 (5% - 95% system shade)

$n = 5.4, 10.8, 16.2, 21.6, 27, 32.4$

$n = 2.7, 5.4, 8.1, 10.8, 13.5, 16.2, 18.9, 21.6, 24.3, 27, 29.7, 32.4, 35.1$

$n = 1.8, 3.6, 5.4, 7.2, 9, 10.8, 12.6, 14.4, 16.2, 18, 19.8, 21.6, 23.4, 25.2, 27, 28.8, 30.6, 32.4, 34.2$



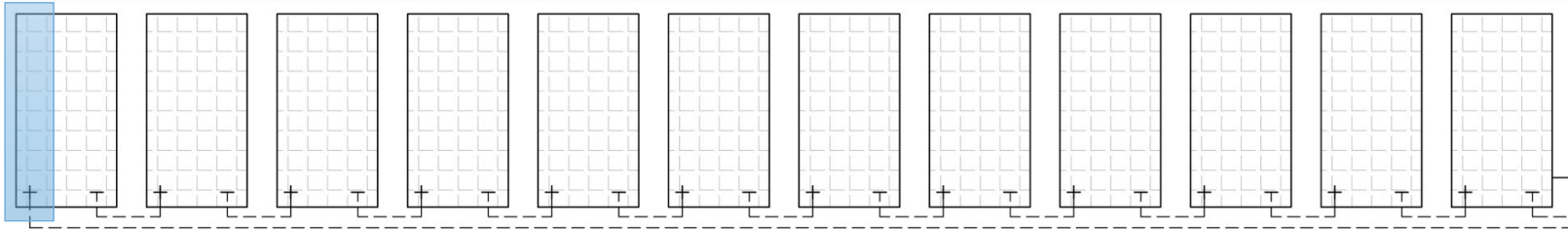
# Pruebas del Update 2016

1. Usaron Inversor SMA, SolarEdge y Enphase
2. Pruebas de sombra sistemáticamente, Interpolando 5% de incrementos en sombra.
3. Normalizaron los resultados para expresar la producción de energía de un sistema con sombra en una escala de cero a uno (0 – 1).

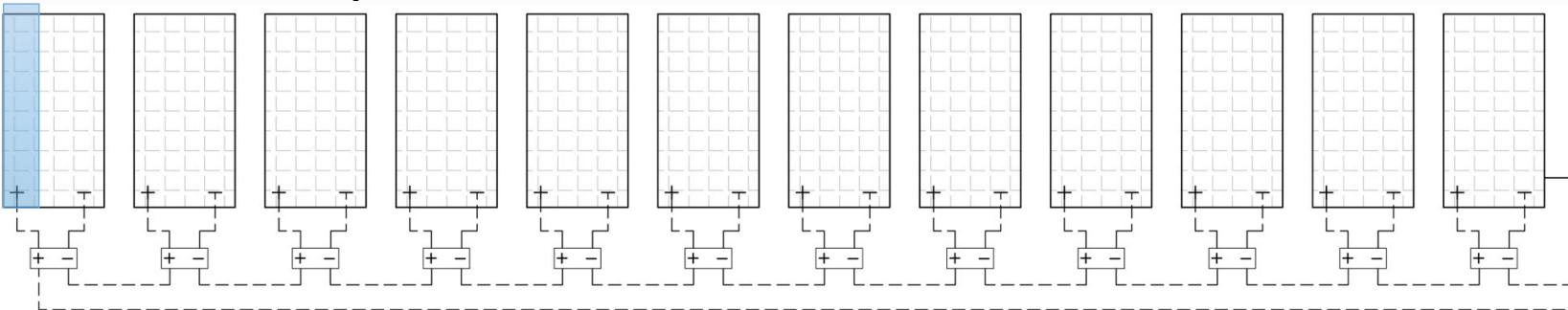
Fotografías o imágenes de ilustración

# Sombra Sistemáticamente

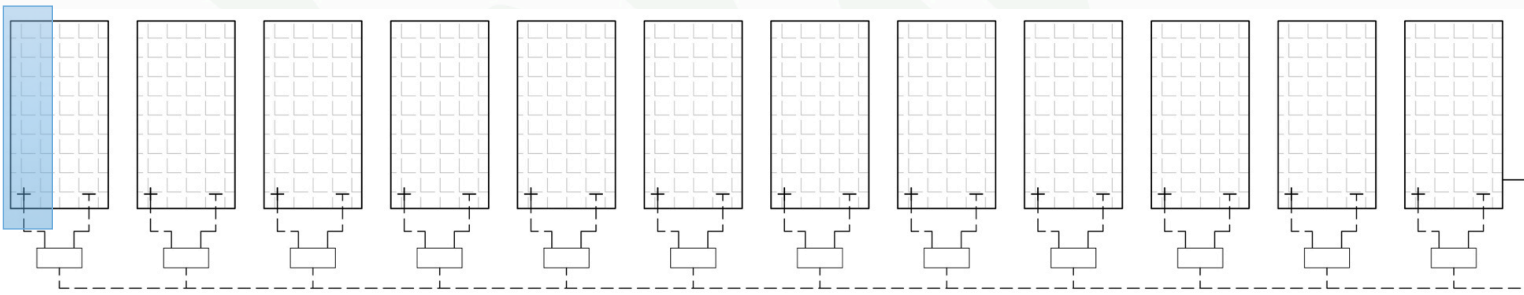
## Inversor en Cadena



## Inversor Optimizado

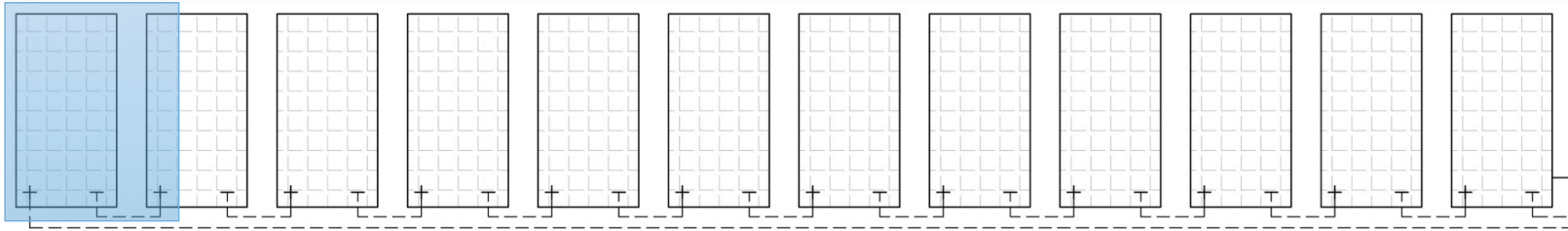


## Micro-Inversor

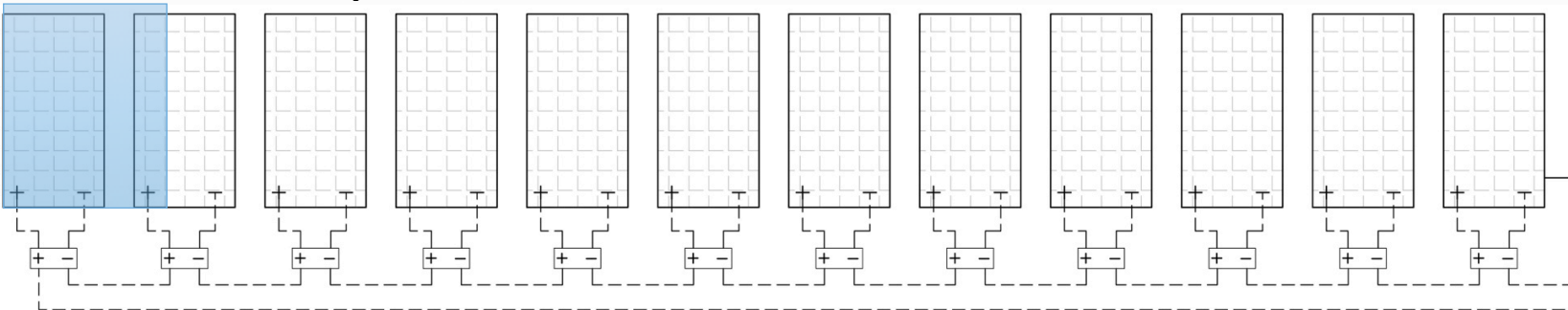


# Sombra Sistemáticamente

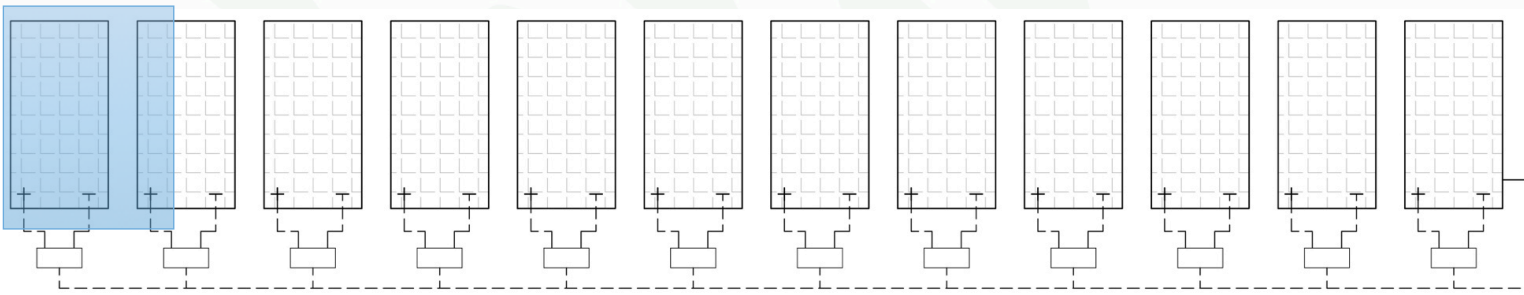
## Inversor en Cadena



## Inversor Optimizado

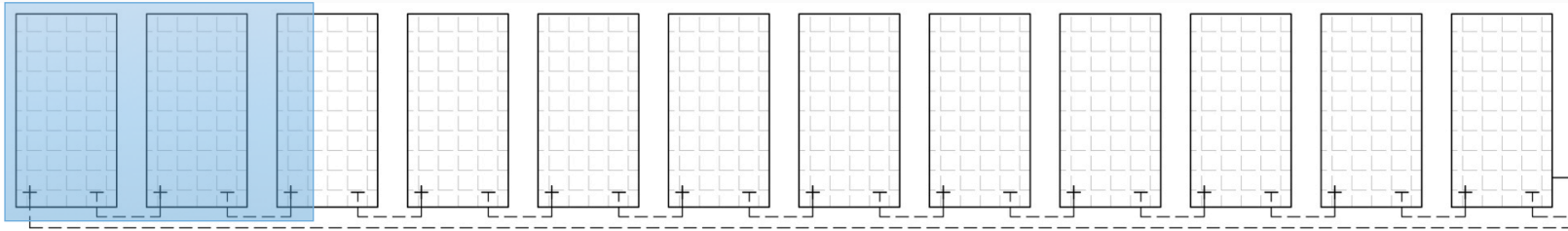


## Micro-Inversor

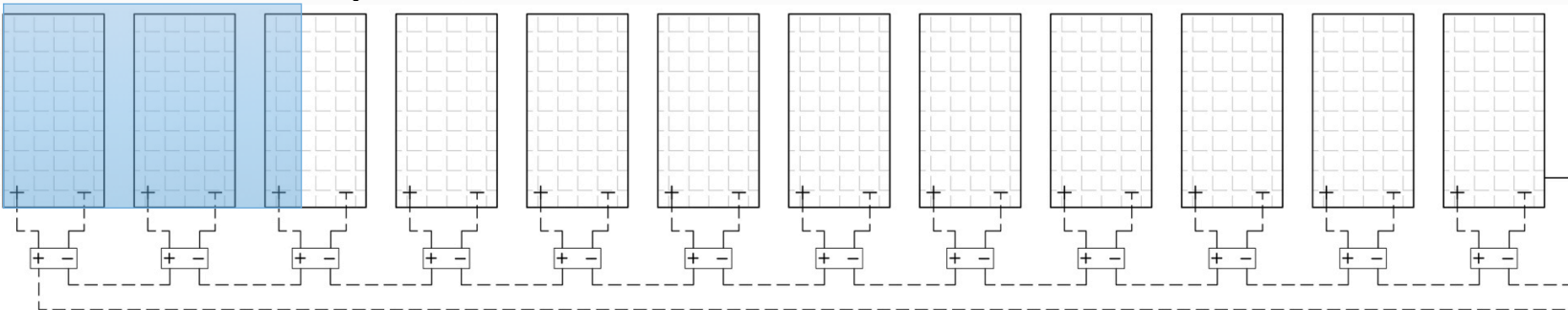


# Sombra Sistemáticamente

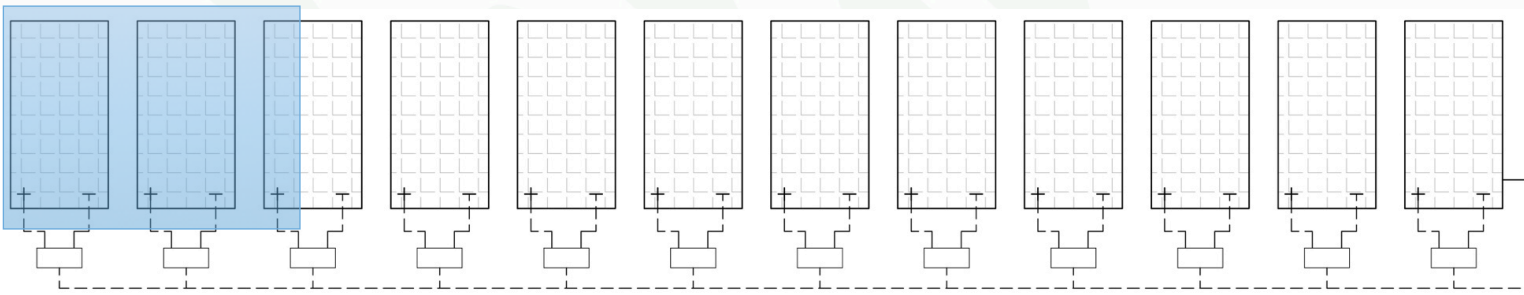
## Inversor en Cadena



## Inversor Optimizado



## Micro-Inversor



# Resultados del Update 2016 – Normalizado con 22 Configuraciones de Sombra

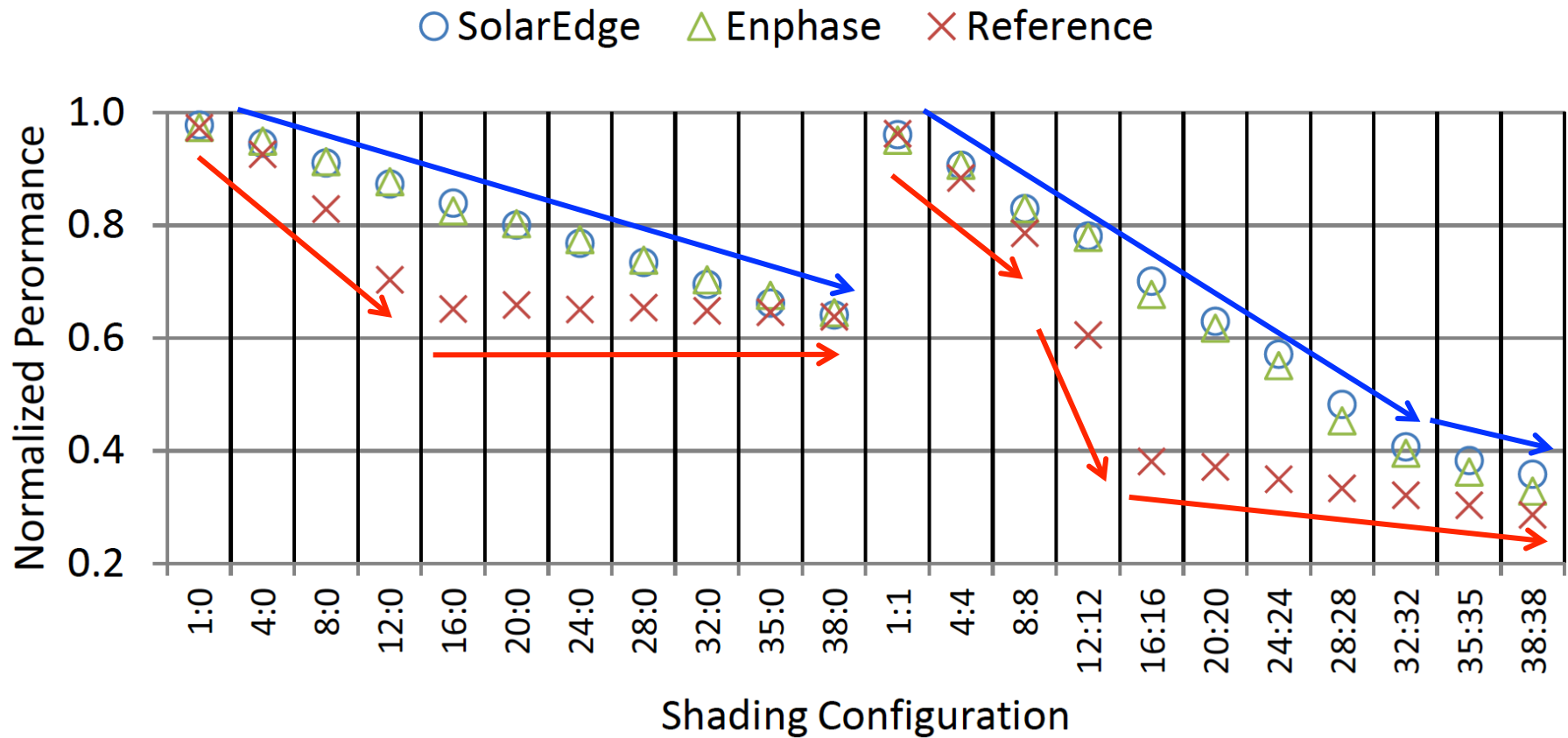


Figure 8. Normalized Performance of the three systems under 22 partial shading conditions.

# Resultados del Update 2016 – Resultados de Producción de Energía Comparada y Sombra

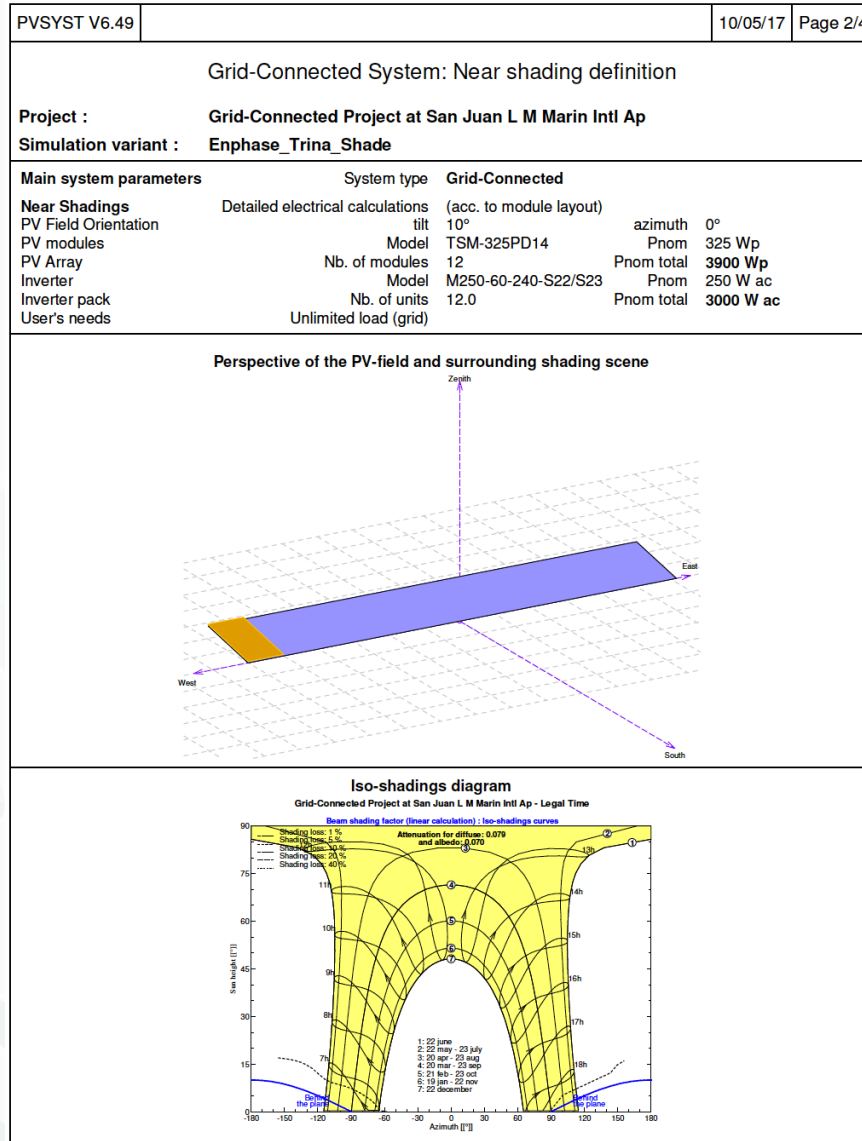
**Table 6. Summary of shade study results – SolarEdge OP250 and Enphase M215**

Parameter	Light	Moderate	Heavy
% of System Shading	7.6%	19.0%	25.5%
Unshaded Energy [kWh/m <sup>2</sup> ]	1813	1893	1784
SolarEdge Energy [kWh/m <sup>2</sup> ]	1729	1616	1438
Enphase Energy [kWh/m <sup>2</sup> ]	1727	1610	1431
Reference Energy [kWh/m <sup>2</sup> ]	➔ 1696	➔ 1539	➔ 1328
Shade Mitigation Factor	27-28%	20-22%	23-24%
Average Shade Mitigation Factor		23-25%	

# Resultados PV Syst – Ejemplo Enphase

PVSYST V6.49			10/05/17	Page 1/4																		
Grid-Connected System: Simulation parameters																						
<b>Project :</b> Grid-Connected Project at San Juan L M Marin Intl Ap																						
<b>Geographical Site</b>		San Juan L M Marin Intl Ap	Country	Puerto Rico																		
<b>Situation</b>		Latitude 18.43° N	Longitude	66.00° W																		
Time defined as		Legal Time	Time zone	UT-4																		
		Albedo	Altitude	3 m																		
<b>Meteo data:</b>		San Juan L M Marin Intl Ap	NREL NSRD : TMY3 - TMY																			
<b>Simulation variant :</b> Enphase_Trina_Shade																						
		Simulation date	10/05/17 12h34																			
<b>Simulation parameters</b>																						
<b>Collector Plane Orientation</b>		Tilt 10°	Azimuth 0°																			
<b>Horizon</b>		Free Horizon																				
<b>Near Shadings</b>		Detailed electrical calculations (acc. to module layout)																				
<b>PV Array Characteristics</b>																						
<b>PV module</b>		Si-poly	Model	TSM-325PD14																		
Original PVsyst database		Manufacturer	Trina Solar																			
Number of PV modules		In series	1 modules	In parallel 12 strings																		
Total number of PV modules		Nb. modules	12	Unit Nom. Power 325 Wp																		
Array global power		Nominal (STC)	3900 Wp	At operating cond. 3501 Wp (50°C)																		
Array operating characteristics (50°C)		U mpp	34 V	I mpp 104 A																		
Total area		Module area	23.3 m²	Cell area 21.0 m²																		
<b>Inverter</b>																						
Custom parameters definition		Model	M250-60-240-S22/S23																			
Characteristics		Manufacturer	Enphase																			
		Operating Voltage	15-48 V	Unit Nom. Power 0.250 kWac																		
Inverter pack		Nb. of inverters	12 units	Total Power 3.0 kWac																		
<b>PV Array loss factors</b>																						
Thermal Loss factor		Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (wind) 0.0 W/m²K / m/s																		
Wiring Ohmic Loss		Global array res.	0.000 mOhm	Loss Fraction 0.0 % at STC																		
LID - Light Induced Degradation				Loss Fraction 3.0 %																		
Module Quality Loss				Loss Fraction -0.4 %																		
Module Mismatch Losses				Loss Fraction 0.0 % at MPP																		
Incidence effect, user defined profile		<table border="1"> <tr> <td>0°</td> <td>20°</td> <td>40°</td> <td>60°</td> <td>65°</td> <td>70°</td> <td>75°</td> <td>80°</td> <td>90°</td> </tr> <tr> <td>1.00</td> <td>1.00</td> <td>1.00</td> <td>0.98</td> <td>0.96</td> <td>0.92</td> <td>0.85</td> <td>0.74</td> <td>0.00</td> </tr> </table>			0°	20°	40°	60°	65°	70°	75°	80°	90°	1.00	1.00	1.00	0.98	0.96	0.92	0.85	0.74	0.00
0°	20°	40°	60°	65°	70°	75°	80°	90°														
1.00	1.00	1.00	0.98	0.96	0.92	0.85	0.74	0.00														
<b>System loss factors</b>																						
Wiring Ohmic Loss		Wires: 3x1.5 mm²	64 m	Loss Fraction 1.7 % at STC																		
<b>User's needs :</b> Unlimited load (grid)																						

# Resultados PV Syst





# Resultados PV Syst

PVSYST V6.49 10/05/17 Page 3/4

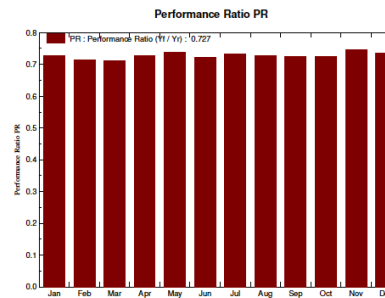
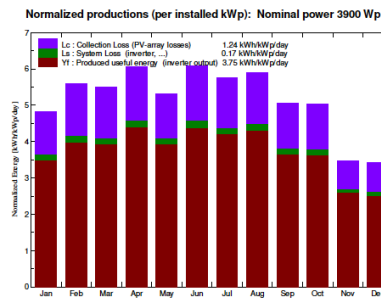
## Grid-Connected System: Main results

**Project :** Grid-Connected Project at San Juan L M Marin Intl Ap

**Simulation variant :** Enphase\_Trina\_Shade

Main system parameters		System type	Grid-Connected	
Near Shadings		Detailed electrical calculations	(acc. to module layout)	
PV Field Orientation		tilt	10°	azimuth 0°
PV modules		Model	TSM-325PD14	Pnom 325 Wp
PV Array		Nb. of modules	12	Pnom total 3900 Wp
Inverter		Model	M250-60-240-S22/S23	Pnom 250 W ac
Inverter pack		Nb. of units	12.0	Pnom total 3000 W ac
User's needs		Unlimited load (grid)		

Main simulation results		Produced Energy	Specific prod.
System Production	Performance Ratio PR	5.34 MWh/year 72.69 %	1370 kWh/kWp/year

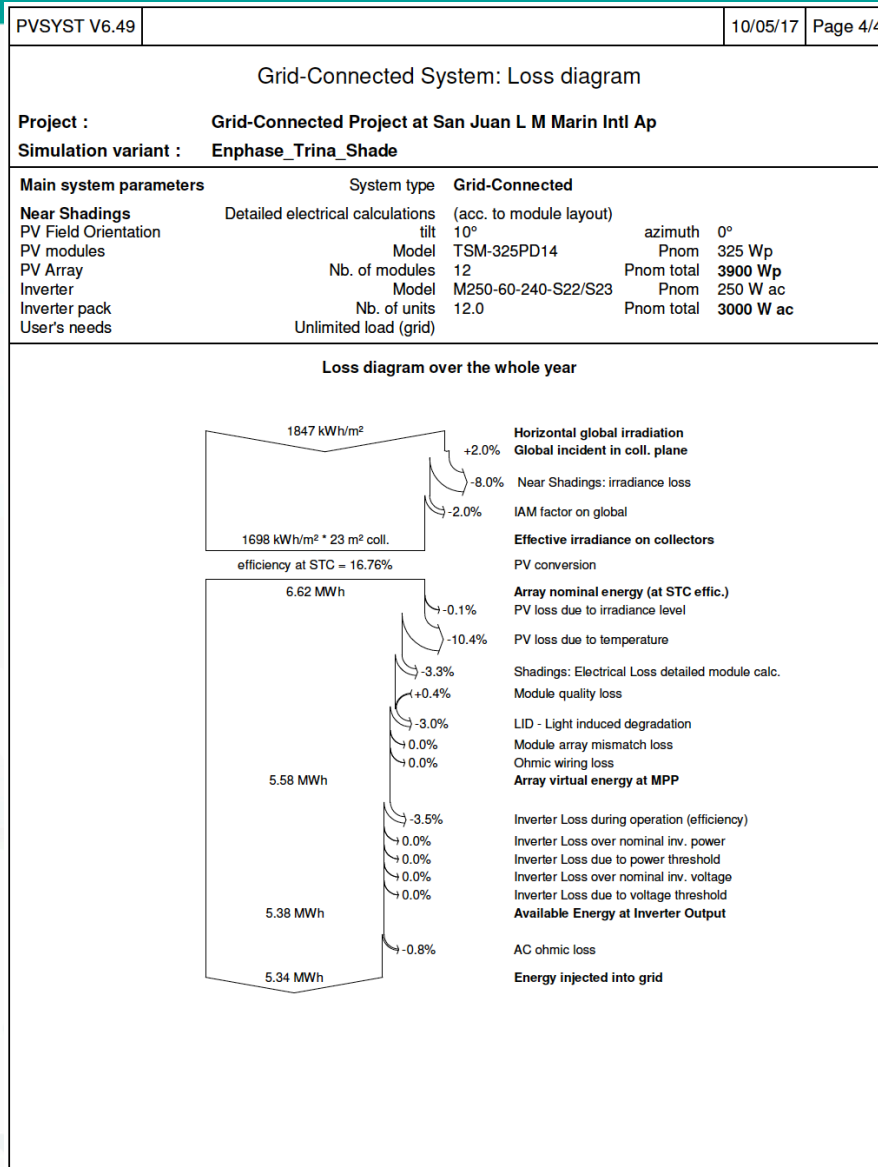


## Enphase\_Trina\_Shade Balances and main results

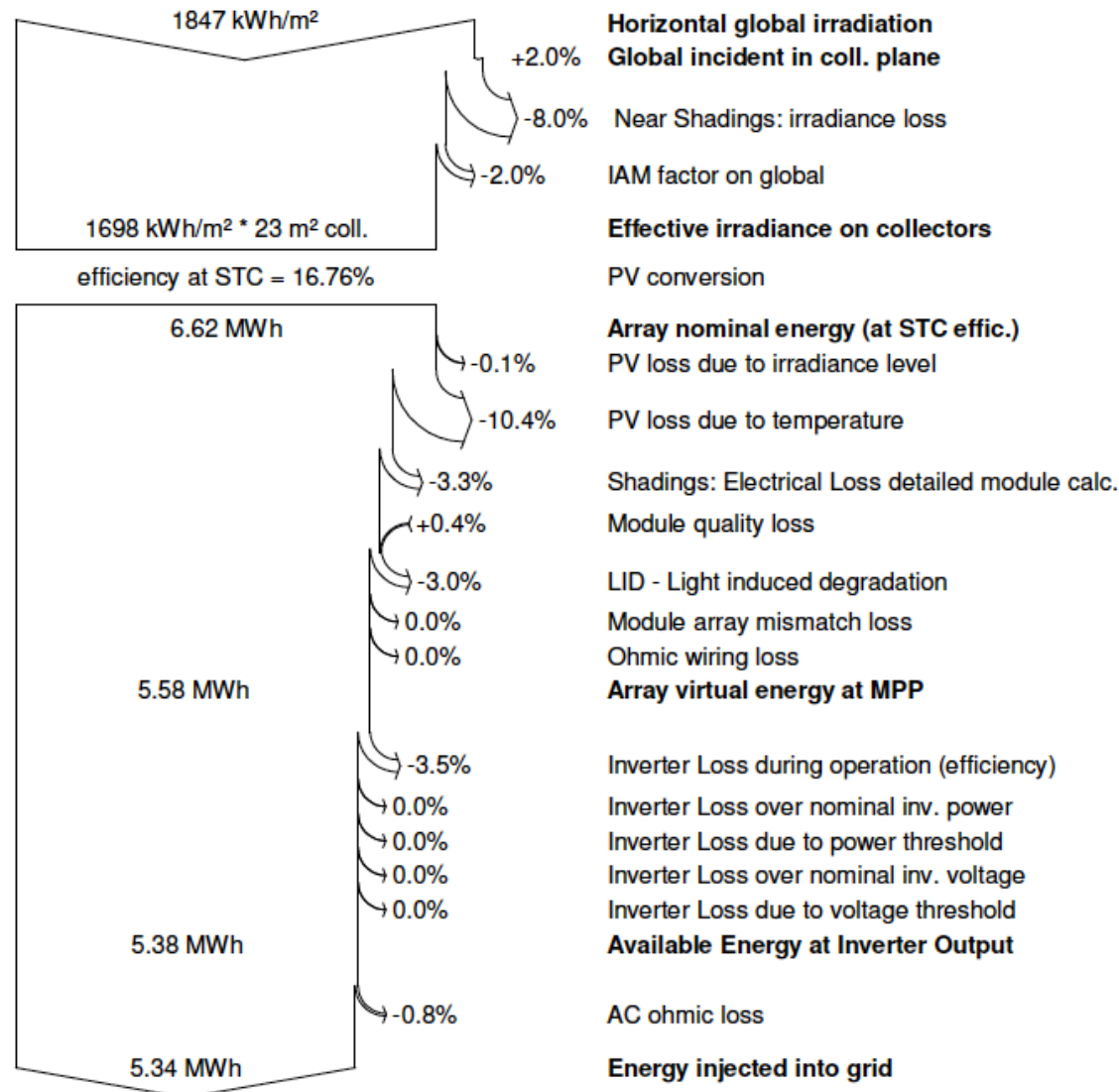
	GlobHor kWh/m²	T Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_Grid MWh	EffArrR %	EffSysR %
January	135.3	25.34	149.4	134.9	0.442	0.423	12.70	12.17
February	145.1	25.13	156.5	141.4	0.455	0.436	12.49	11.96
March	165.0	25.22	170.8	153.9	0.496	0.475	12.47	11.93
April	181.7	25.92	181.5	163.8	0.538	0.514	12.72	12.16
May	169.1	27.18	164.7	148.0	0.495	0.474	12.91	12.37
June	190.3	27.35	182.3	164.1	0.536	0.513	12.64	12.09
July	183.6	28.31	178.1	160.3	0.531	0.508	12.80	12.26
August	185.2	28.26	183.1	165.0	0.543	0.520	12.74	12.19
September	148.9	28.00	151.5	136.3	0.448	0.429	12.69	12.16
October	147.7	27.06	156.0	140.7	0.460	0.441	12.66	12.14
November	98.4	26.24	104.3	93.6	0.316	0.304	13.03	12.50
December	96.7	24.89	106.0	95.4	0.317	0.304	12.85	12.32
Year	1846.9	26.57	1884.1	1697.5	5.577	5.341	12.71	12.17

Legends: GlobHor Horizontal global irradiation EArray Effective energy at the output of the array  
 T Amb Ambient Temperature E\_Grid Energy injected into grid  
 GlobInc Global incident in coll. plane EffArrR Effic. Eout array / rough area  
 GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings EffSysR Effic. Eout system / rough area

# Resultados PV Syst

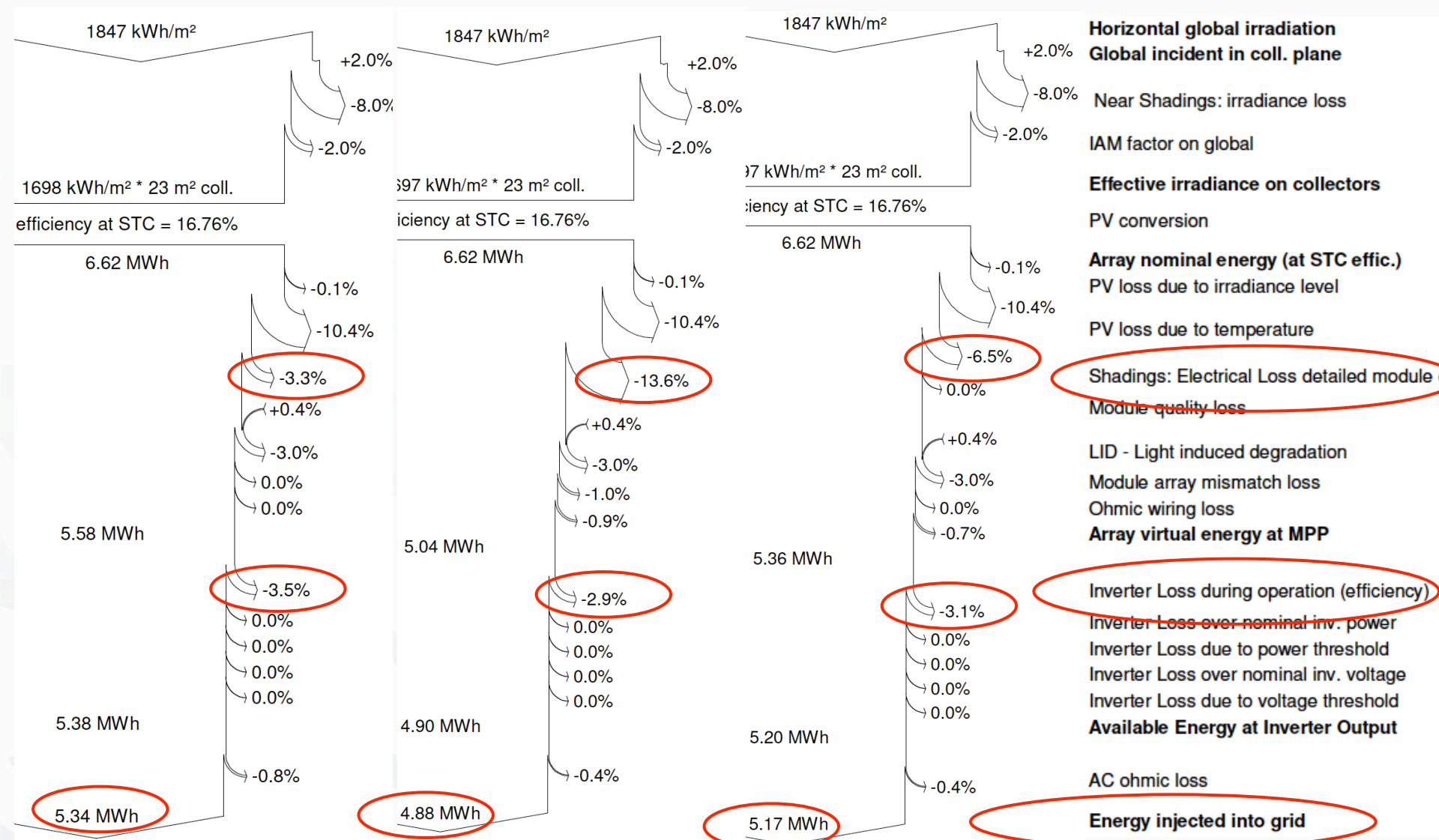


# Resultados PV Syst



# Resultados PV Syst - Comparativo

## Micro-Inversor    Inversor    Optimizador



# Pregunta???

Cuál sistema de inversores entonces utilizo?

Una decisión del diseñador y el instalador

# Elementos Importantes en la Decisión

1. Si hay orientaciones diferentes en el techo y/o hay sombras inevitables, qué uso?



- Microinversores
  - Optimizadores
- No obstante un fabricante principal de inversores en cadena ha modificado su producto para tener hasta tres entradas de MPPT con voltajes tan bajo como 100 Vdc para mitigar las sombras/orientaciones. Ha añadido optimizadores en su variedad de opciones.

# Elementos Importantes en la Decisión

## 2. Razones de Seguridad y Cumplimiento de Código:

- a. Código Eléctrico Nacional 2014 (NEC 2014) en artículo 690.12 introdujo el concepto de “Rapid Shutdown” para sistemas FV en Edificios.
- b. Ampliado, mejor explicado y más estricto en NEC 2017 690.12.

Este requisito empuja a opciones como Microinversores y Optimizadores más que Inversores en Cadena por el costo y facilidad de cumplimiento.



# Elementos Importantes en la Decisión

Sistemas instalados en edificios tienen que incluir funciones de apagado rápido para reducir los peligros de choque eléctrico a los bomberos.

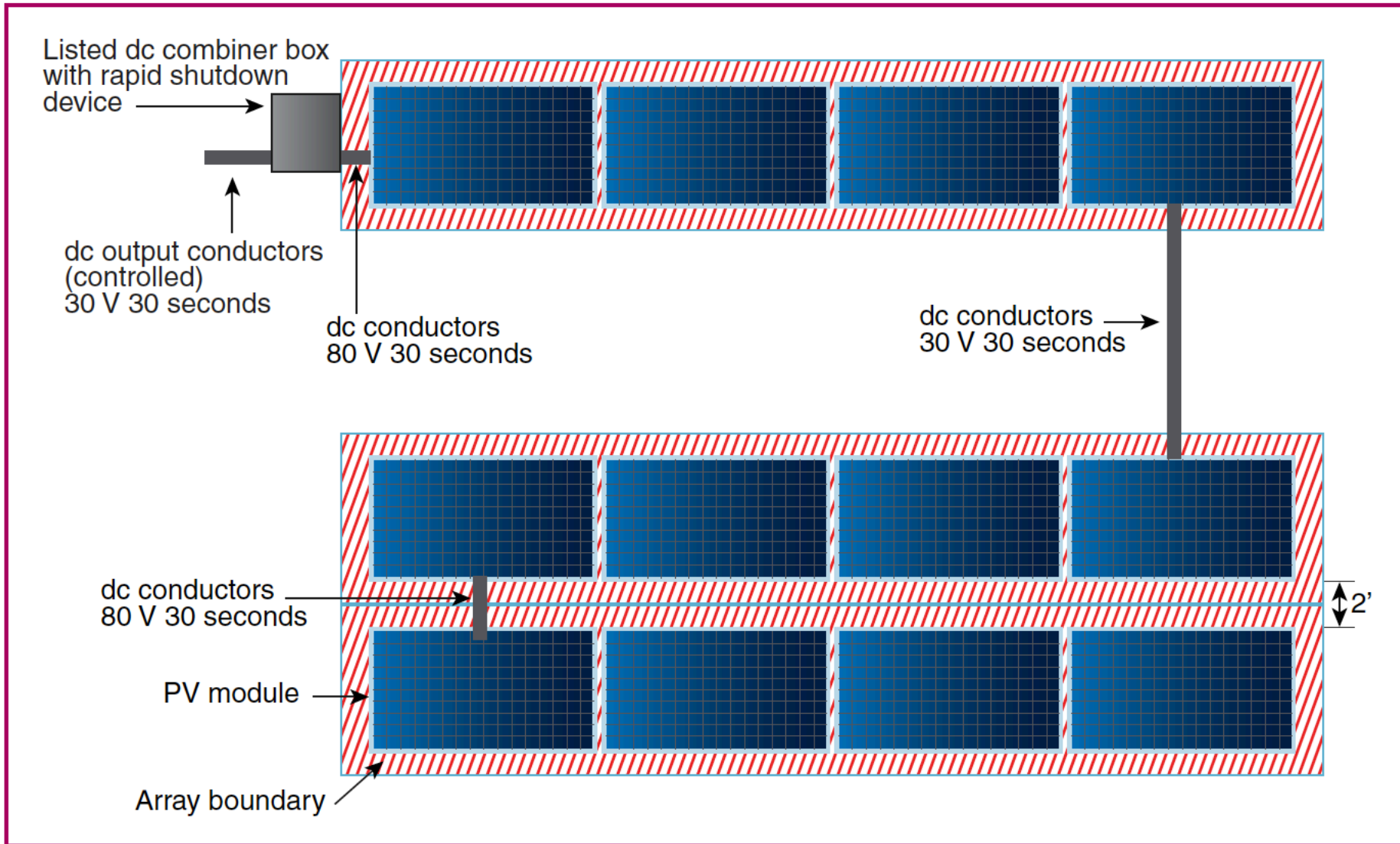
No aplica a sistemas sobre terreno

Límites de control:

1. Fuera del Arreglo: el voltaje de los conductores tiene que limitarse a 30 voltios en 30 segundos de iniciado el apagado rápido
2. Dentro del Arreglo: el voltaje de los conductores tiene que limitarse a 80 voltios en 30 segundos de iniciado el apagado rápido



# Elementos Importantes en la Decisión



# Elementos Importantes en la Decisión

3. Producción de energía a largo plazo: “Levelized Cost of Electricity”
4. Garantías
5. Facilidad de Instalación
6. Diseño
7. Costo inicial
8. Costo de instalación (labor y materiales)
9. Tamaño del Sistema
10. Servicio al Cliente
11. Relación de Negocio con tu Suplidor

# PREGUNTAS

- +1-787-531-3851 whatsapp y tel.
- +1-787-320-0497 tel.
- Angel R. Zayas Duchesne, PE
- AZ Engineering
- [www.azeng.net](http://www.azeng.net)
- [azayas@azeng.net](mailto:azayas@azeng.net)



**[www.feriaexposolar.com](http://www.feriaexposolar.com)**  
**[info@feriaexposolar.com](mailto:info@feriaexposolar.com)**

**Mayo**  
**19, 20 y 21**

Centro Internacional  
de Convenciones y  
Exposiciones Plaza Mayor  
de Medellín



[ExpoSolarColombia](#)



[@ExpoSolarCol](#)