

ExpoSolar
Colombia 2017

Energía renovable para **todos**

Comparación de Inversores, Microinversores y Optimizadores

Angel R. Zayas Duchesne
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

Plantas o imágenes ilustrativas

Techos Residenciales



• 9.9 KW DC

• 28 KW DC



Techos Comerciales



• 376 KW DC

• 1,000 KW DC



Parqueadores



- 600 KW DC

- 5.6 MW DC



Terreno



- 27 MW DC

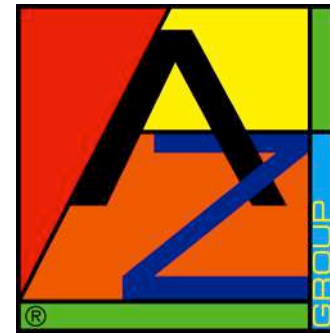
- 3.6 MW DC



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



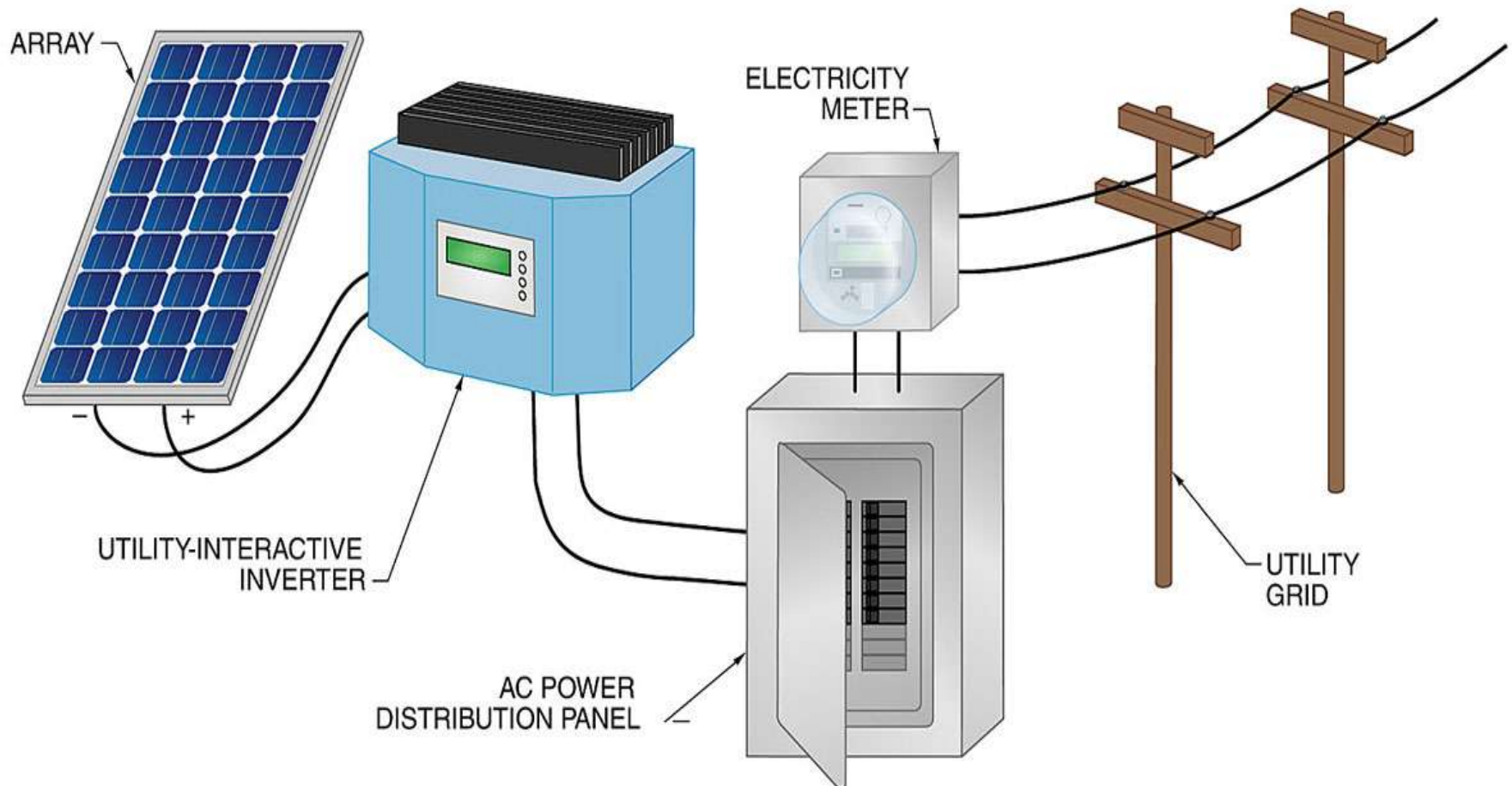
Comparación de Inversores, Microinversores y Optimizadores

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



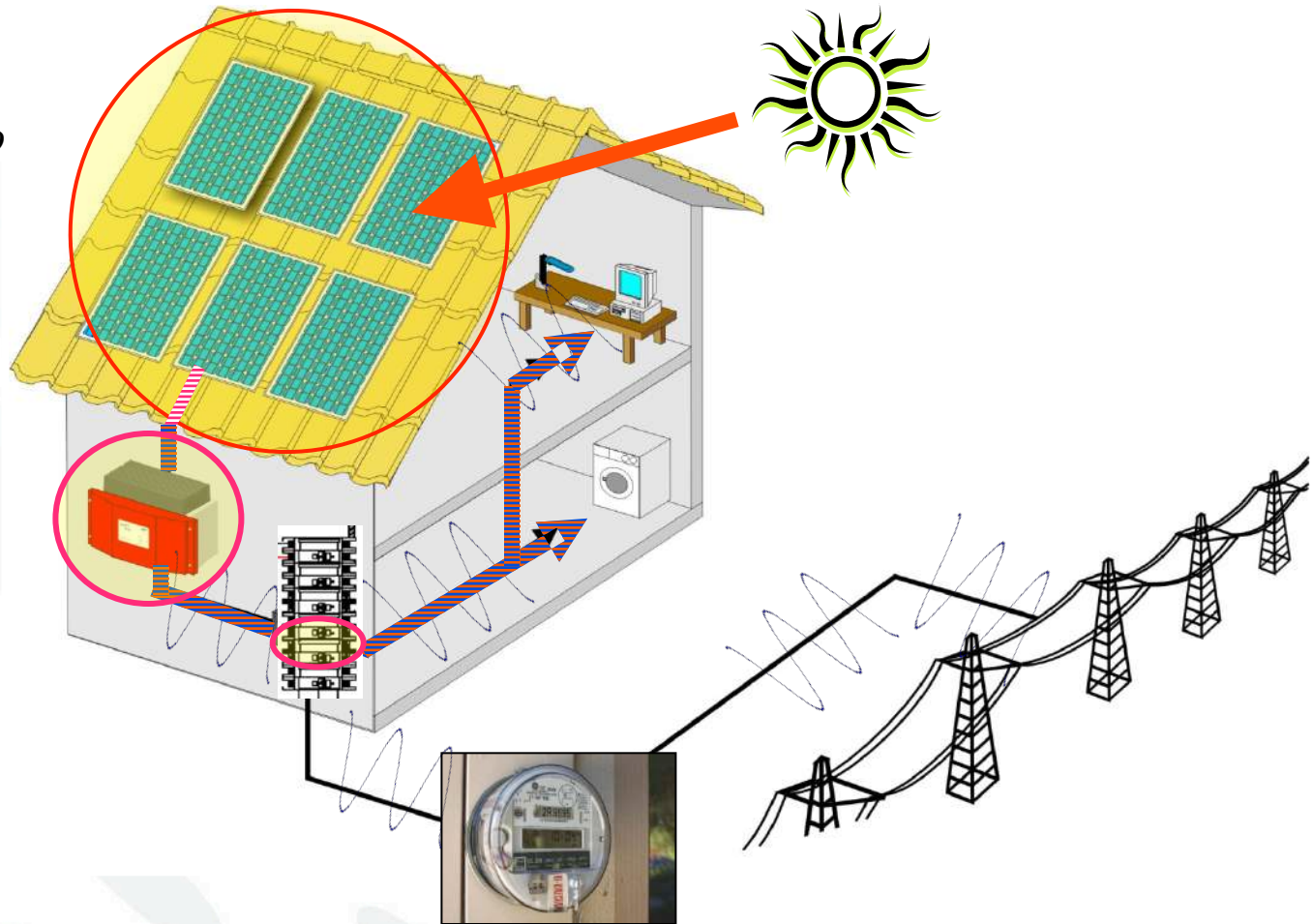
Sistemas Interactivos Conectados a la Red Eléctrica

Arreglo Fotovoltaico

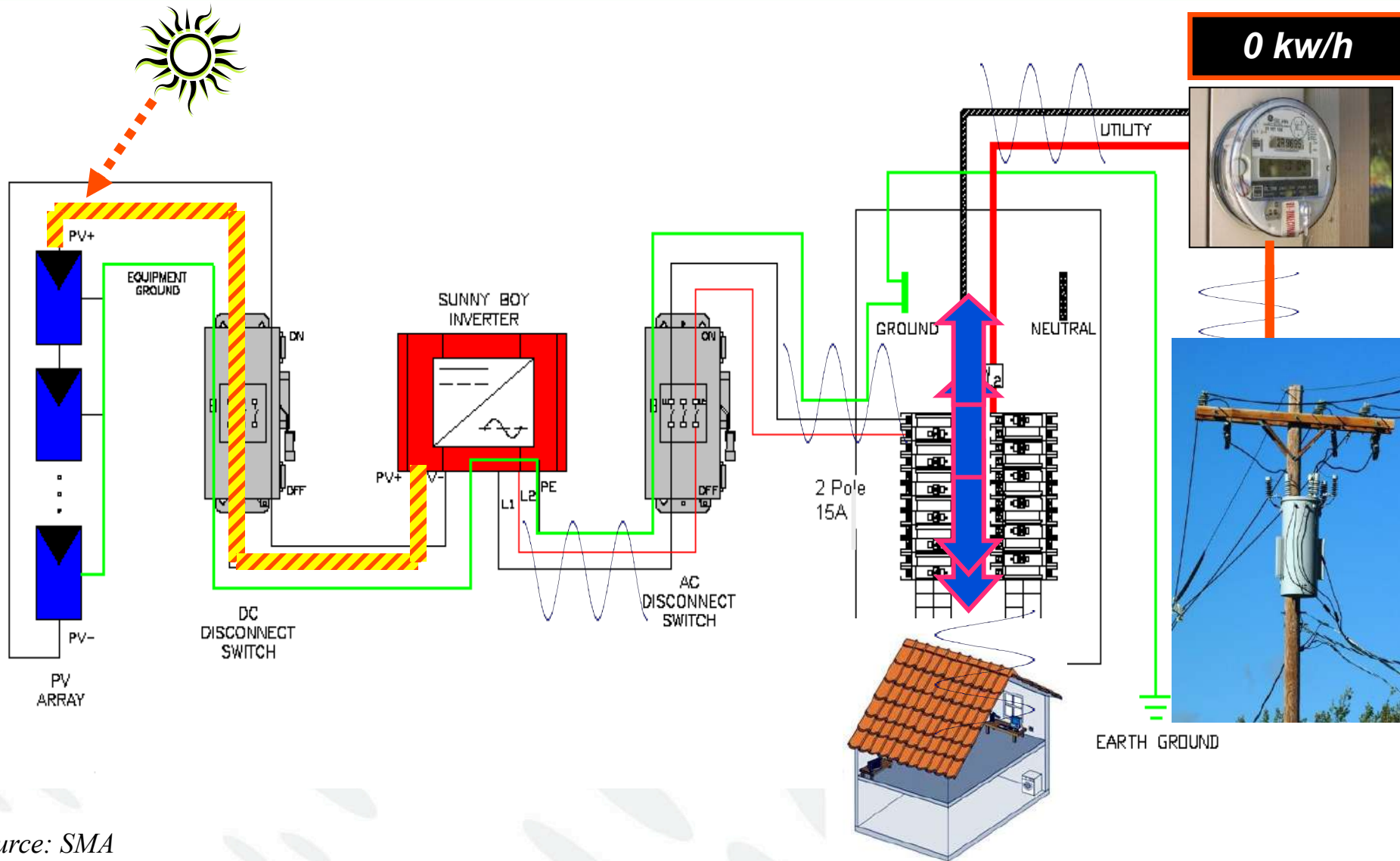
Inversor

Metro

0 kw/h



Sistemas Interactivos Conectados a la Red Eléctrica



Ejemplo Ilustrativo Efecto Sombra

- Asunciones:
 - Condición estándar de pruebas (STC):
 - 1,000 W/m², 25 grados centígrados temperatura
 - Sombra es igual para todos los casos
 - Eficiencia de los inversores y equipos es igual

Datos

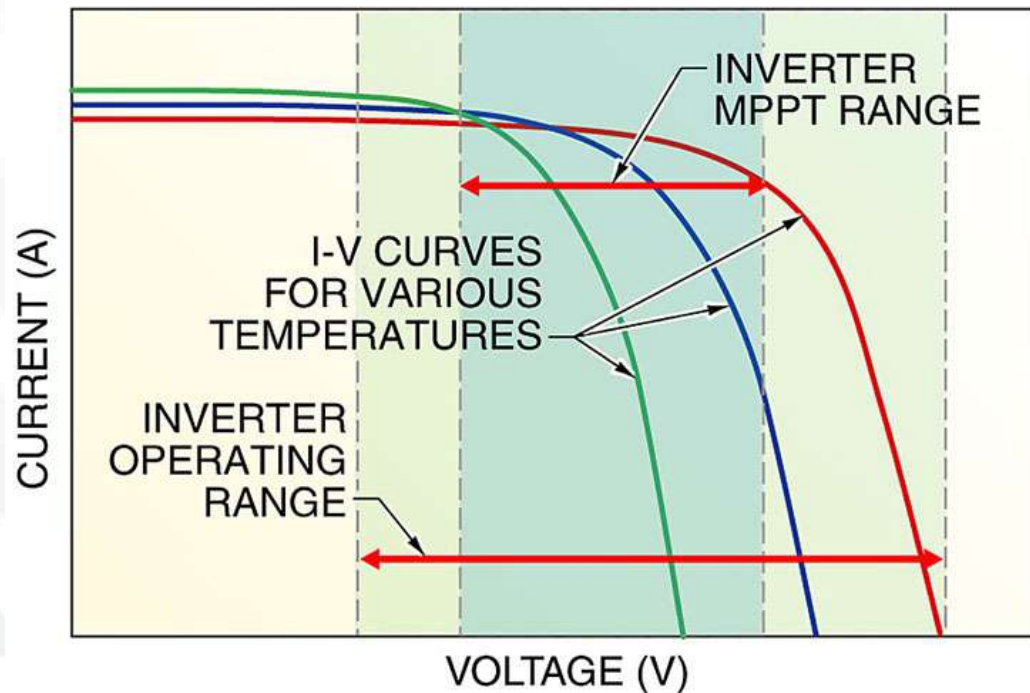
- Datos:
 - Módulo fotovoltaico de 325 vatios a condición estándar de pruebas (STC):
 - 1,000 W/m², 25 grados centígrados temperatura
 - Corriente de operación de 8.85 A dc
 - Voltaje de operación de 36.7 V dc
 - Vatios del módulo fotovoltaico:

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

Inversores

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

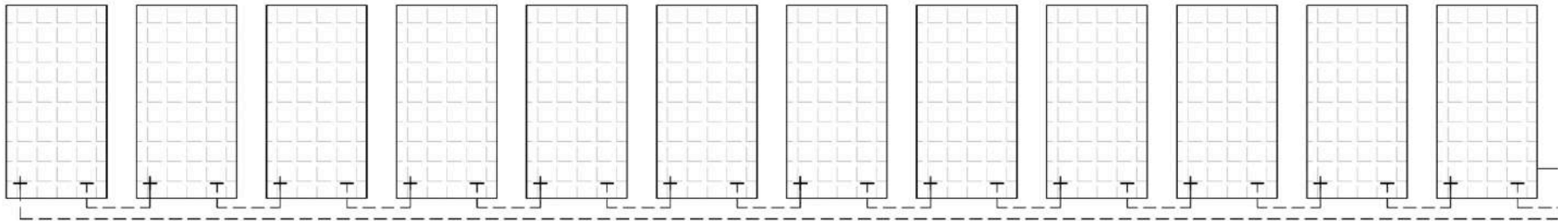
☀️ DC Input Voltage Ranges



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 A dc **Total en Vatios dc:**
- $\text{Total en Vatios: } 3,898\text{W dc}$ $3,900 \text{ W dc}$

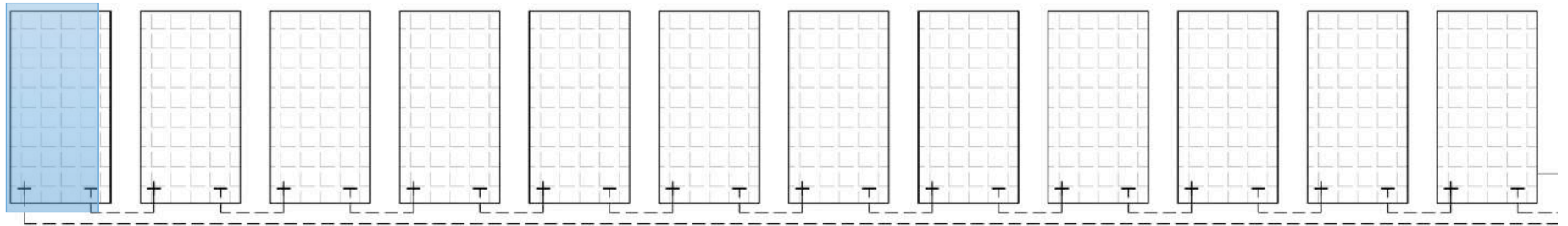
Inversores

- Inversor

- 3,000 Watts
- 12.5 A ac continuo
- 240 V ac
- Razón DC a AC: 1.3
 - 3,900 Wdc / 3000 Wac
- 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? $36.7 \text{ V} \times 12 = 440.4 \text{ V dc}$

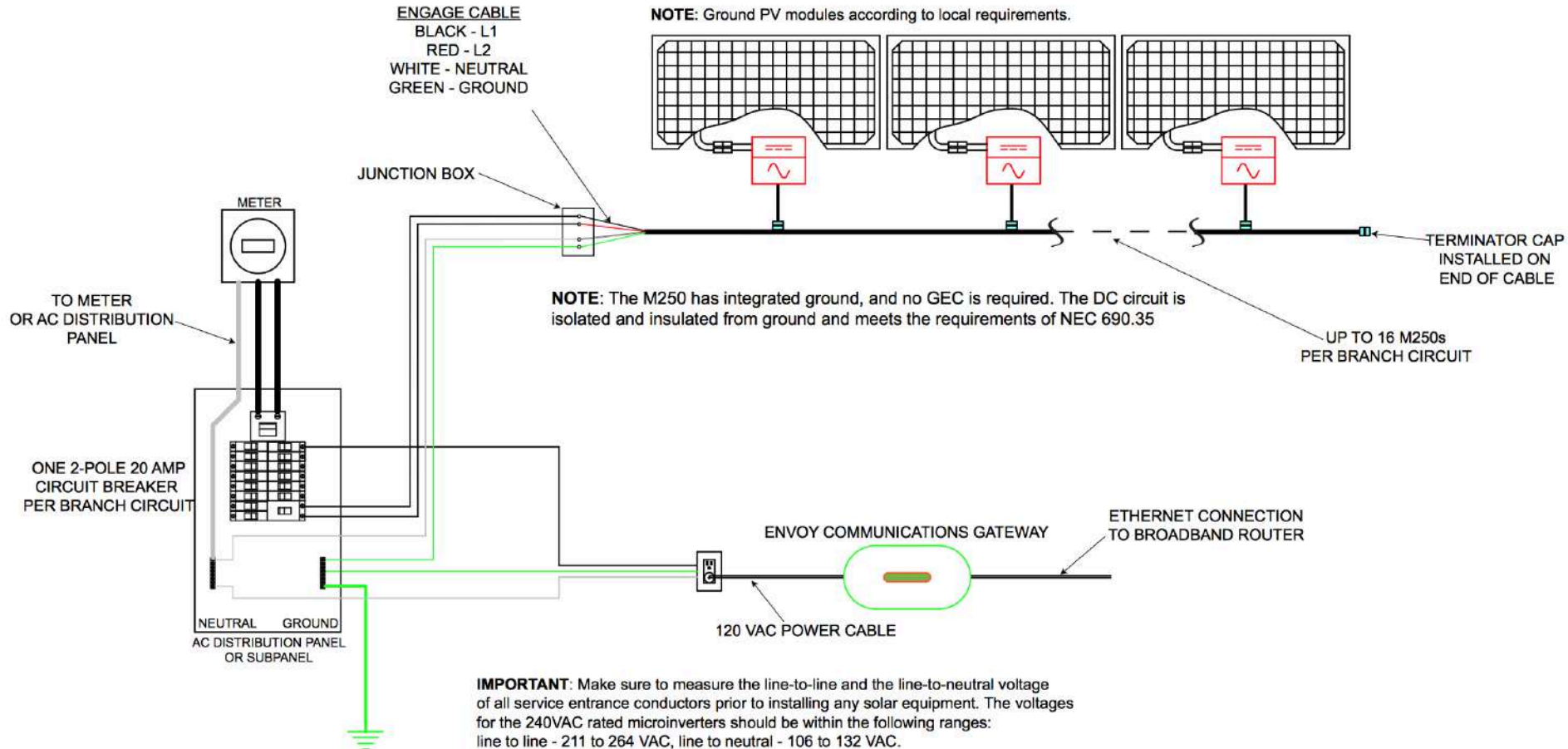
• Amperaje? 2.92 A dc

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

Versus

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

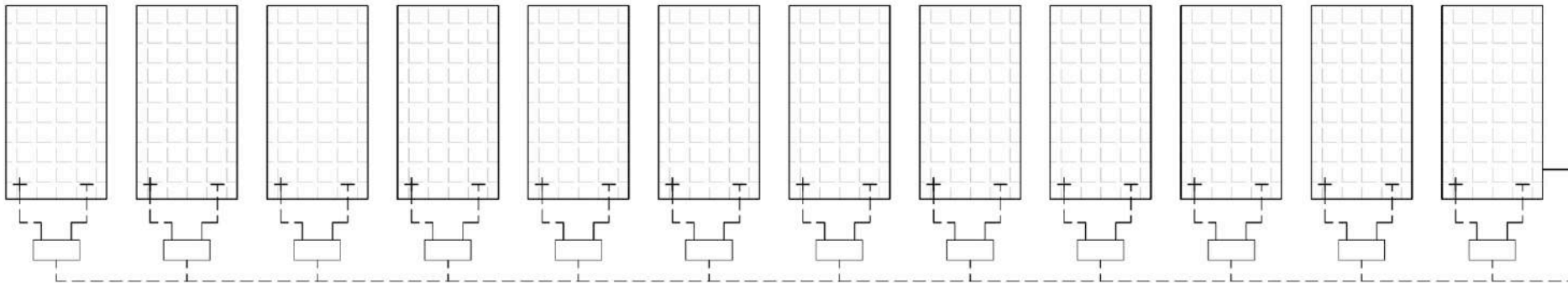
Micro-Inversores



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

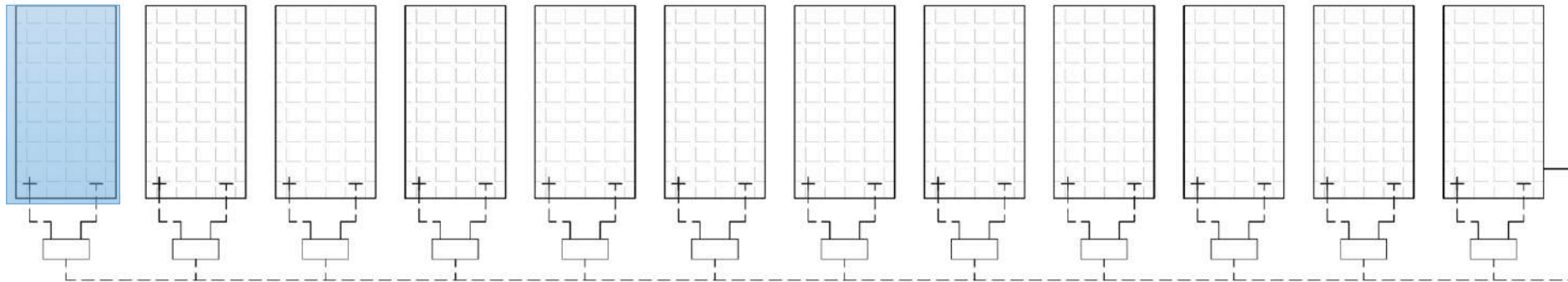


- Voltaje? $240 \text{ Vac} \times 1.04 \text{ A} = 250 \text{ W ac}$
- Amperaje? $\times 12 \text{ Mod.}$

Total en Vatios: 3,000 W ac

Micro-Inversores

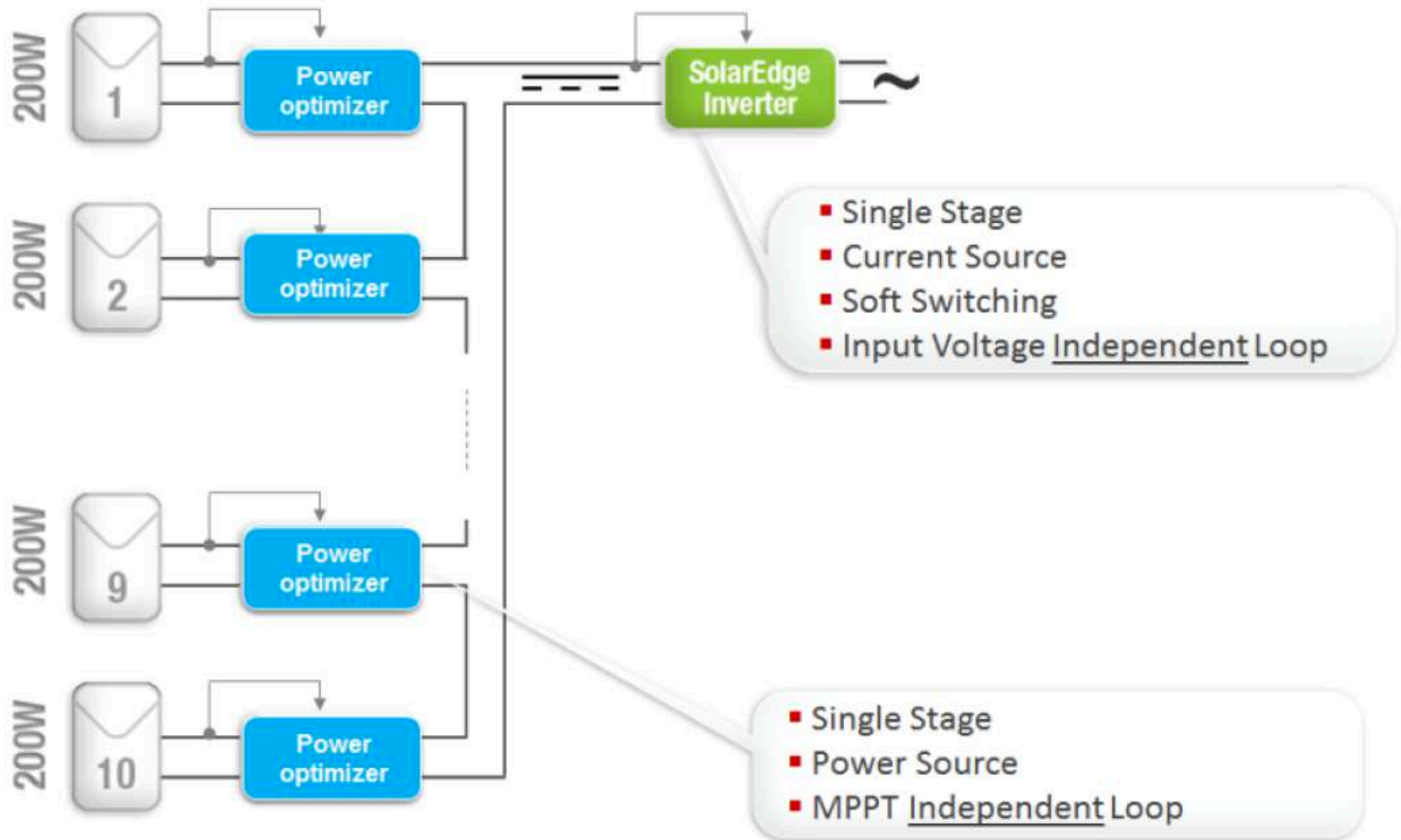
- Ejemplo a STC:
- 12 módulos en serie de micro-inversores – SOMBRA PARCIAL



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

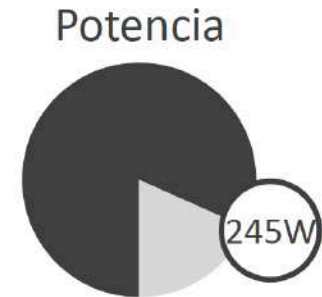
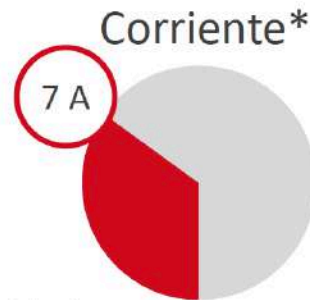
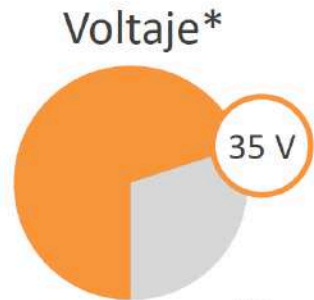
Total en Vatios: **2,750 W ac**

Optimizadores



Optimizadores

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



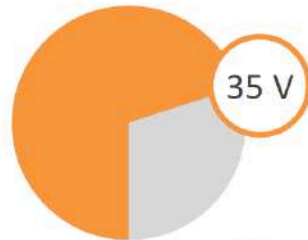
*Potencia Maxima

Optimizadores

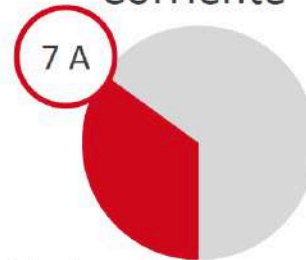
Modulo (ent.): Voltaje y Corriente dependen del modulo y el medio ambiente



Voltaje*



Corriente*



Potencia

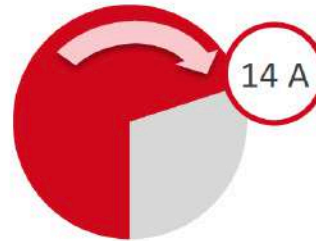


*Potencia Maxima

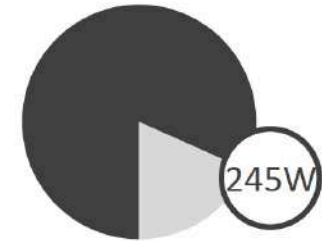
Potencia Optimizado(salida): Puede variar voltaje y corriente, pero producir la misma energía



Voltaje baja en un 50%



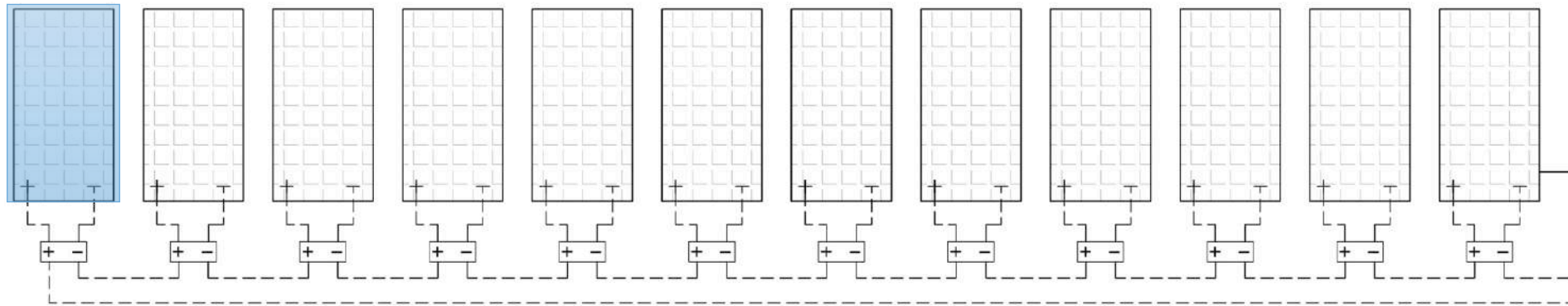
Corriente sube por 100%



La potencia es la misma

Optimizadores

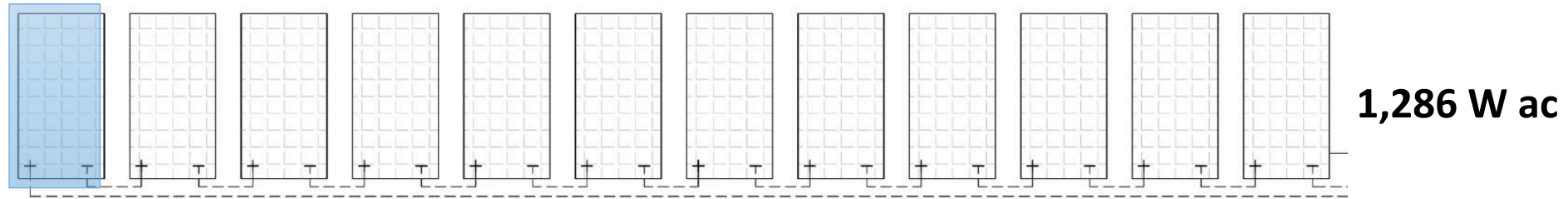
- Ejemplo a STC:
- 12 módulos en serie de optimizadores – SOMBRA PARCIAL



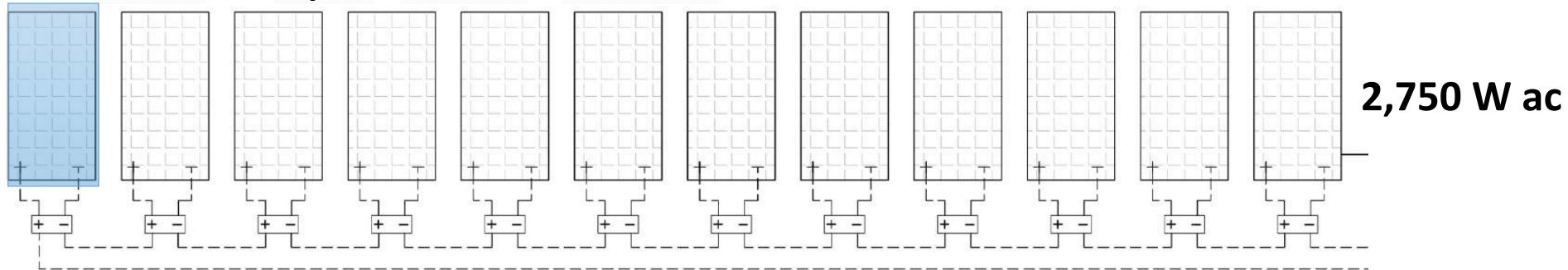
- Voltaje? Fijo: 350 Vdc $350 \text{ Vdc} \times 7.85 \text{ A dc} =$
 - Amperaje? Varía en la cadena
- Total en Vatios:
2,750 W dc

Topologías de Hoy para Mitigar Sombra – Ejemplo Ilustrativo

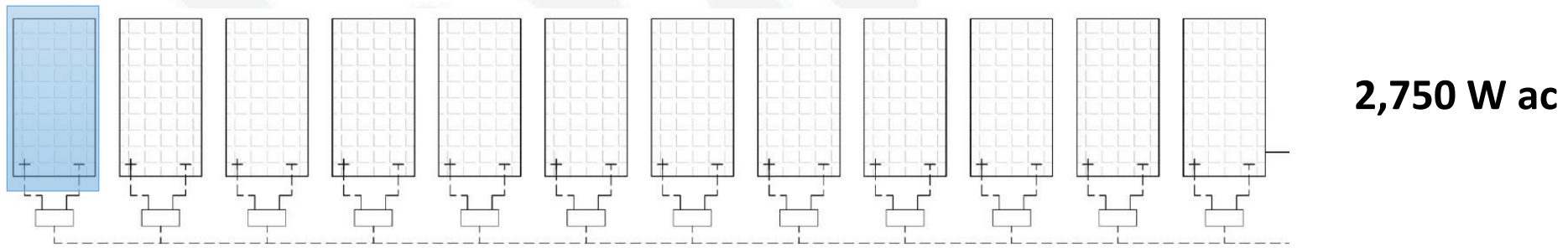
Inversor en Cadena



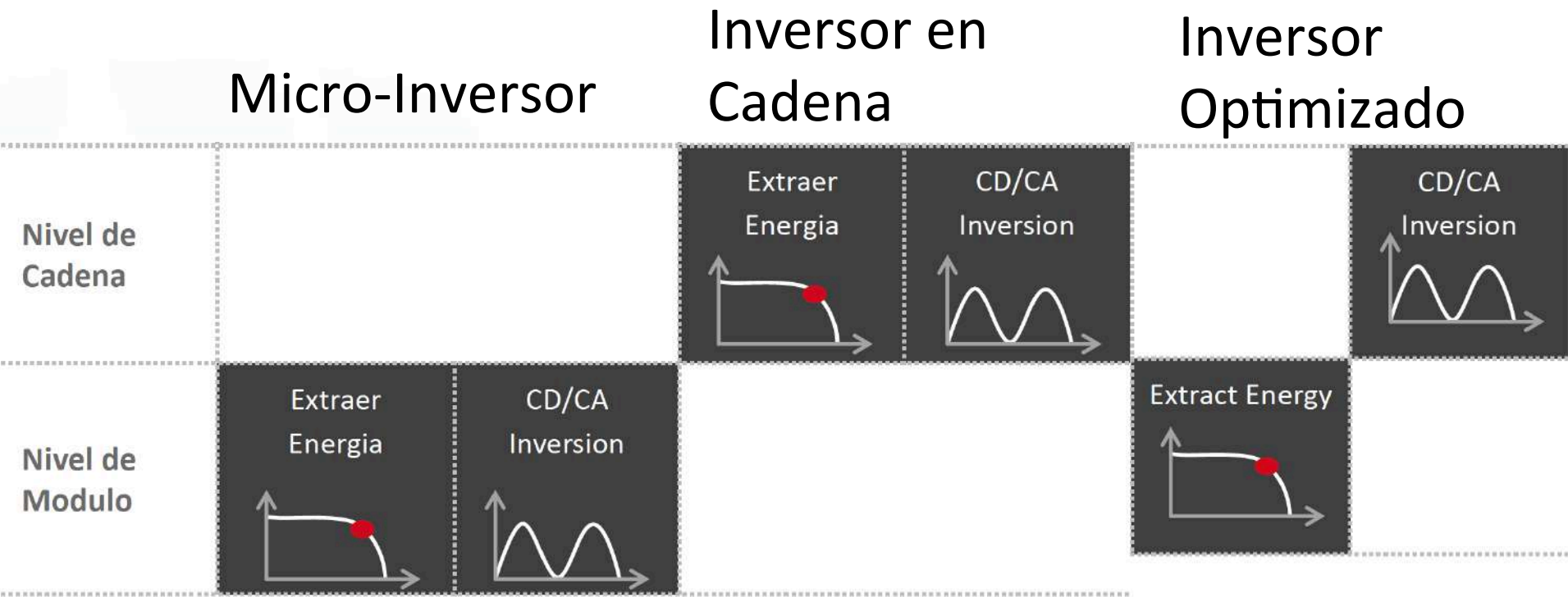
Inversor Optimizado



Micro-Inversor



Topologías de Hoy

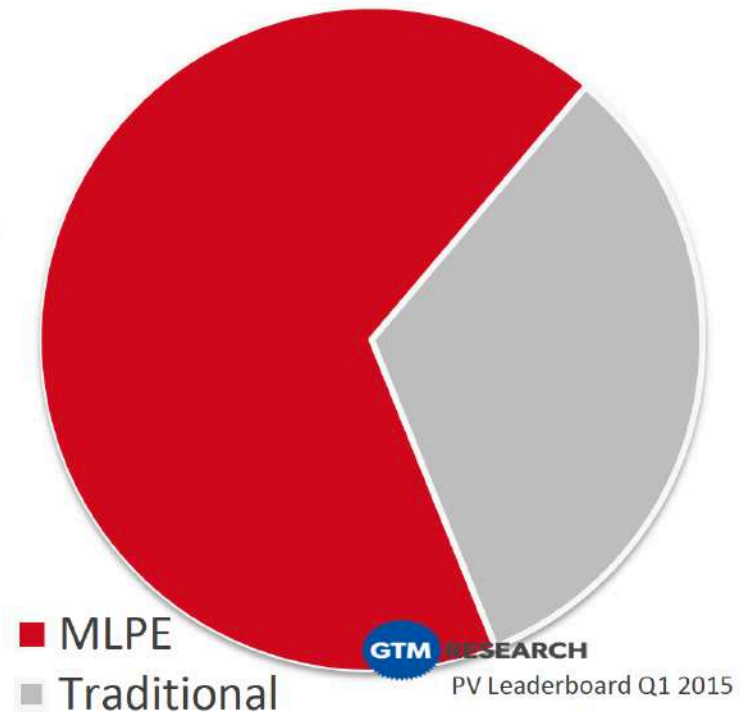


Tendencias en el Mercado

- 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

Las imágenes o imágenes ilustrativas

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:

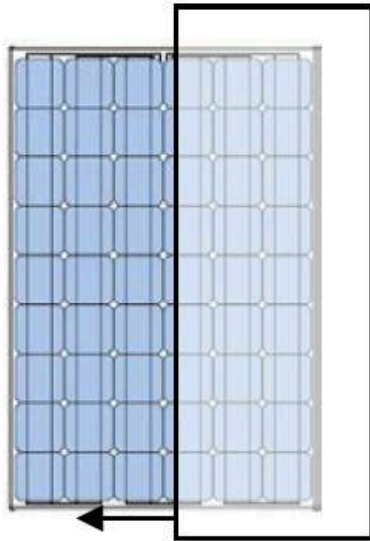


Figure 2. Partial shading of a single module should use 50% opacity filter to cover all of a given bypass diode submodule (one-third of the module for 60-cell modules).

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)

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

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

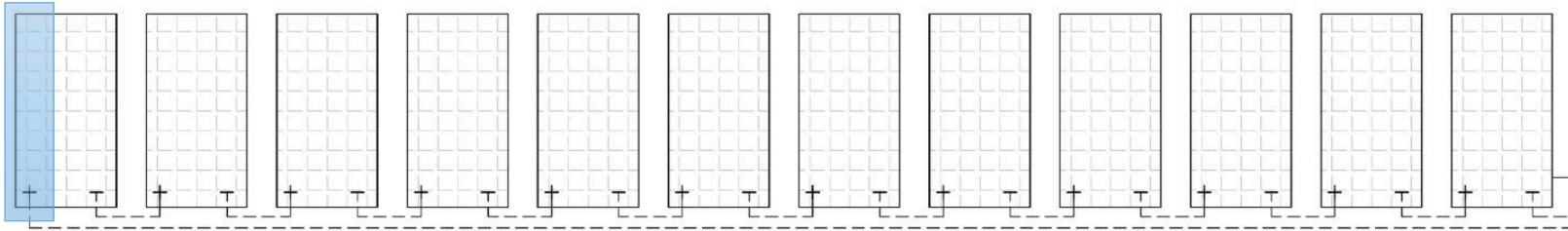
$n = 1.8, 3.6, 5.4, 7.2, 9, 10.8, 12.6, 14.4, 16.2, 18, 19.8, 21.6, 23.4, 25.2, 27, 28.8, 30.6, 32.4, 34.2$

Pruebas del Update 2016

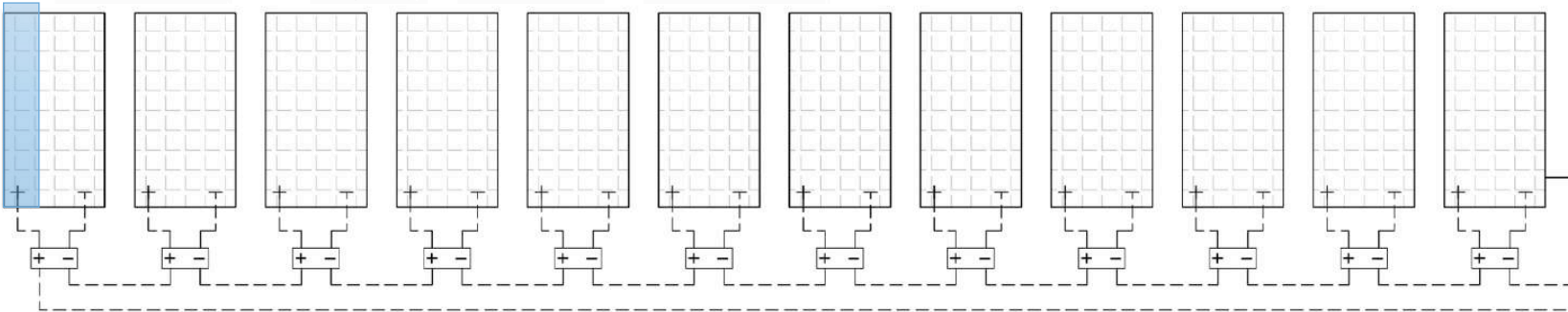
1. Usaron Inversor SMA, SolarEdge y Enphase
2. Pruebas de sombra sistemáticamente, Interpolando 5% de incrementos en sombra.
3. Normalizaron los resultados para expresar la producción de energía de un sistema con sombra en una escala de cero a uno (0 – 1).

Sombra Sistemáticamente

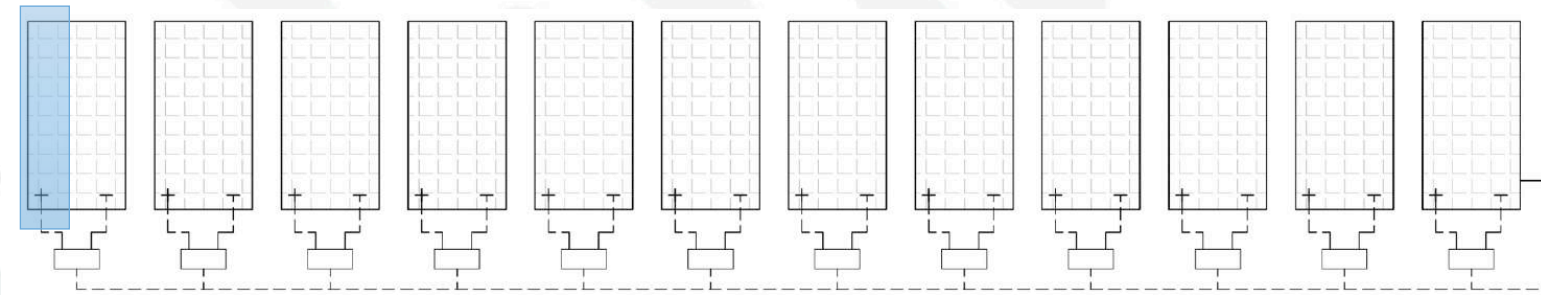
Inversor en Cadena



Inversor Optimizado

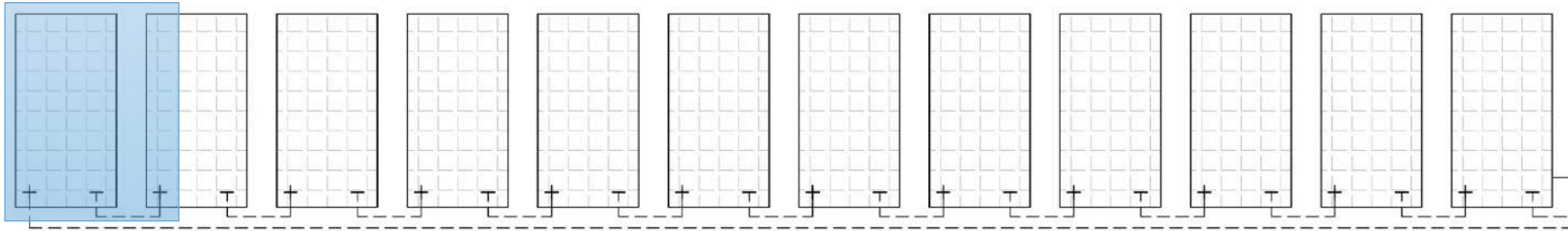


Micro-Inversor

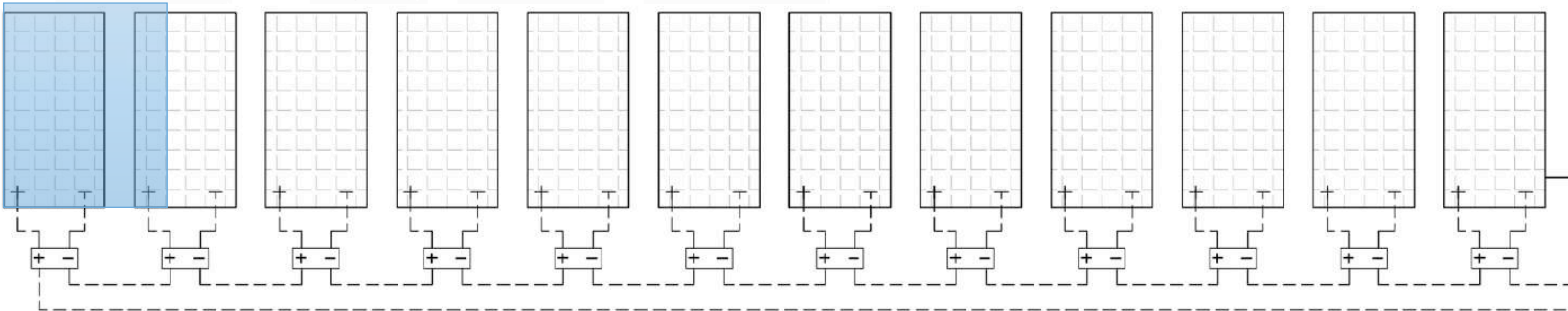


Sombra Sistemáticamente

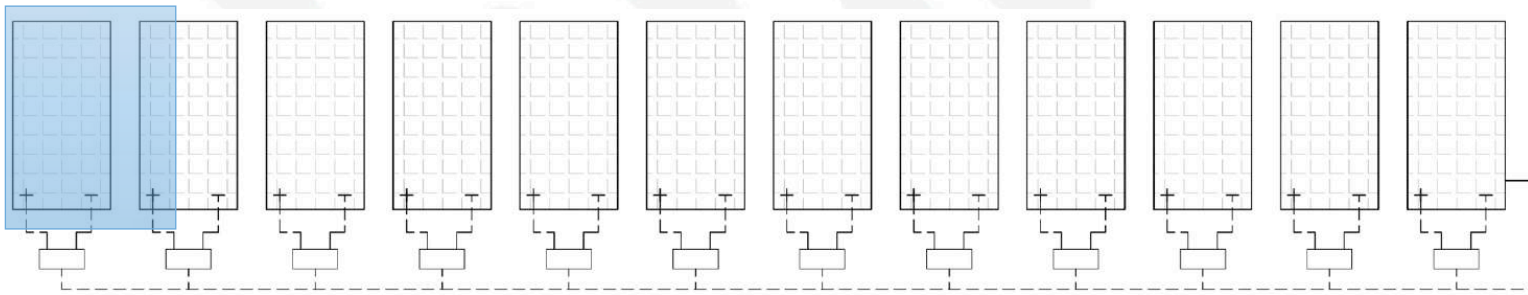
Inversor en Cadena



Inversor Optimizado

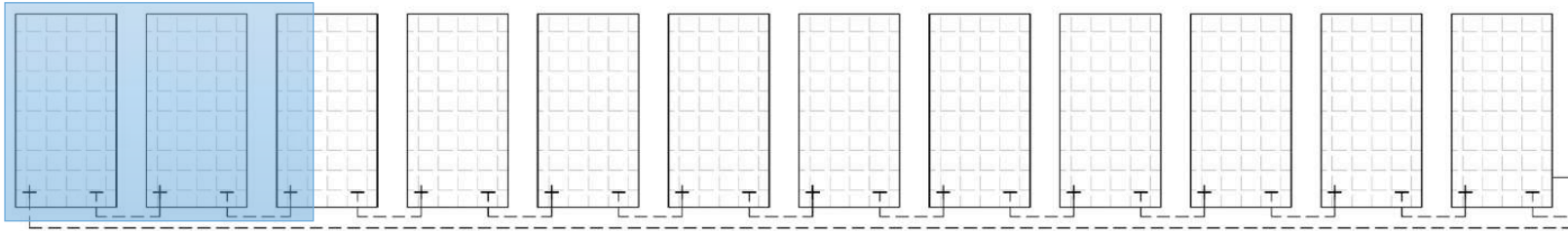


Micro-Inversor

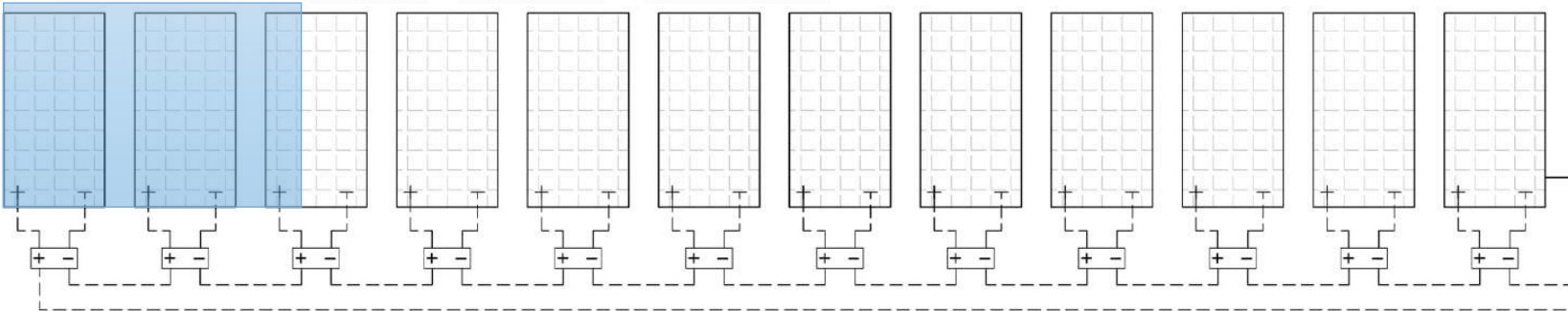


Sombra Sistemáticamente

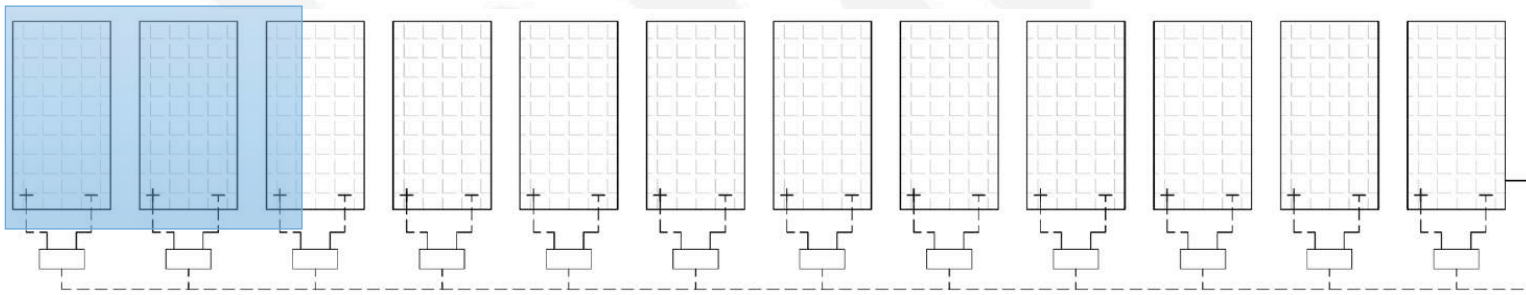
Inversor en Cadena



Inversor Optimizado



Micro-Inversor



Resultados del Update 2016 – Normalizado con 22 Configuraciones de Sombra

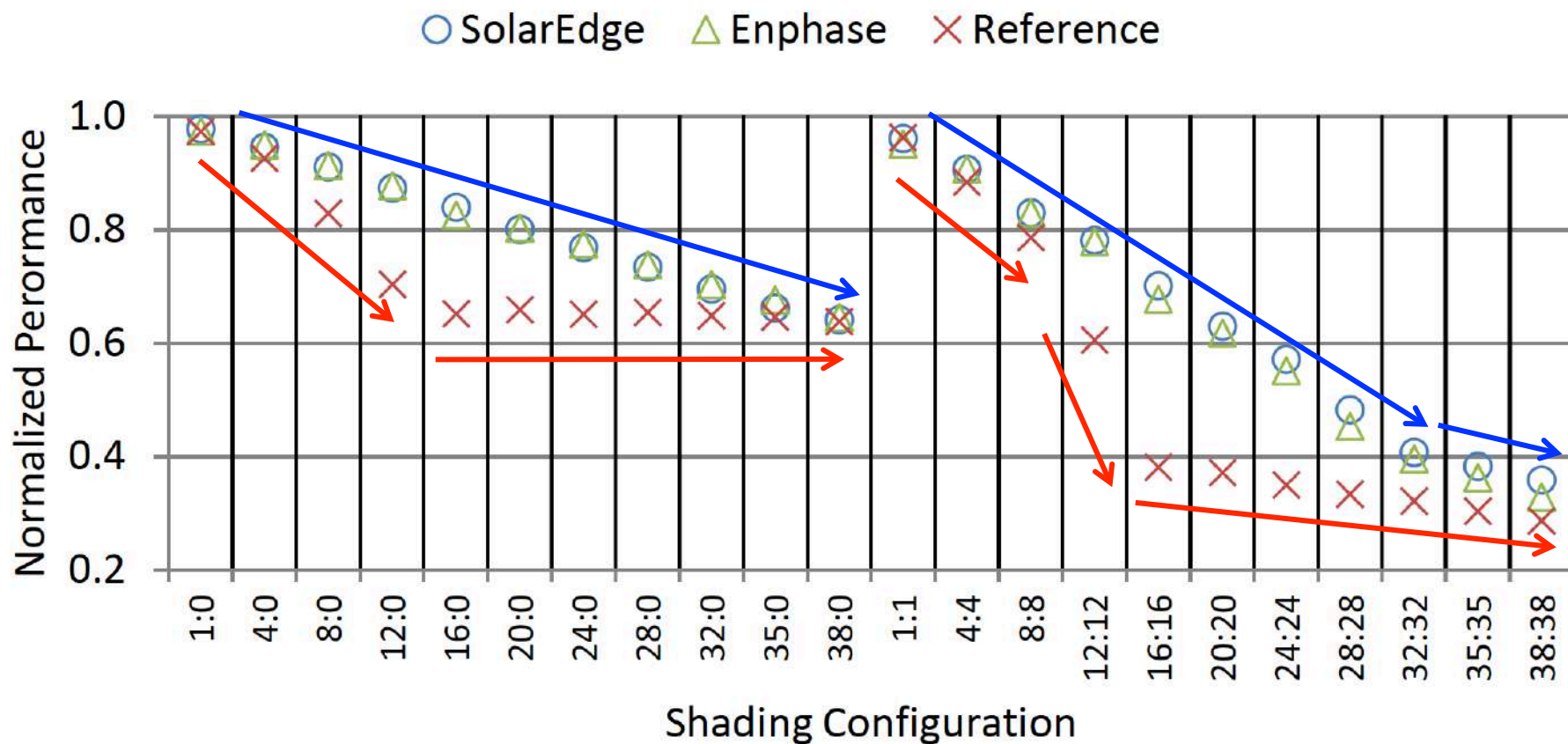


Figure 8. Normalized Performance of the three systems under 22 partial shading conditions.

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/m²]	1813	1893	1784
SolarEdge Energy [kWh/m²]	1729	1616	1438
Enphase Energy [kWh/m²]	1727	1610	1431
Reference Energy [kWh/m²]	➔ 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																							
Project : Grid-Connected Project at San Juan L M Marin Intl Ap																							
Geographical Site		San Juan L M Marin Intl Ap		Country Puerto Rico																			
Situation		Latitude 18.43° N		Longitude 66.00° W																			
Time defined as		Legal Time		Time zone UT-4																			
		Albedo 0.20		Altitude 3 m																			
Meteo data:		San Juan L M Marin Intl Ap		NREL NSRD : TMY3 - TMY																			
Simulation variant : Enphase_Trina_Shade																							
		Simulation date		10/05/17 12h34																			
Simulation parameters																							
Collector Plane Orientation		Tilt 10°		Azimuth 0°																			
Horizon		Free Horizon																					
Near Shadings		Detailed electrical calculations (acc. to module layout)																					
PV Array Characteristics																							
PV module		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																			
Inverter																							
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																			
PV Array loss factors																							
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"> <thead> <tr> <th>0°</th> <th>20°</th> <th>40°</th> <th>60°</th> <th>65°</th> <th>70°</th> <th>75°</th> <th>80°</th> <th>90°</th> </tr> </thead> <tbody> <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> </tbody> </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															
System loss factors																							
Wiring Ohmic Loss		Wires: 3x1.5 mm² 64 m		Loss Fraction 1.7 % at STC																			
User's needs : Unlimited load (grid)																							

Resultados PV Syst

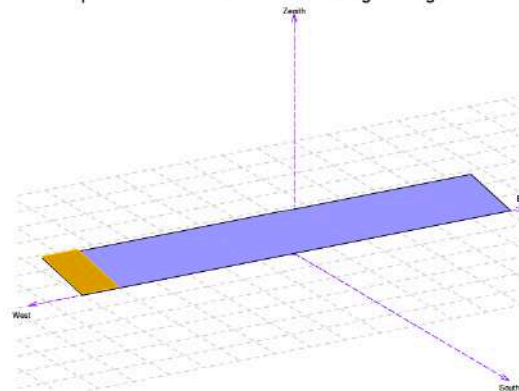
PVSYST V6.49 10/05/17 Page 2/4

Grid-Connected System: Near shading definition

Project : Grid-Connected Project at San Juan L M Marin Intl Ap
Simulation variant : Enphase_Trina_Shade

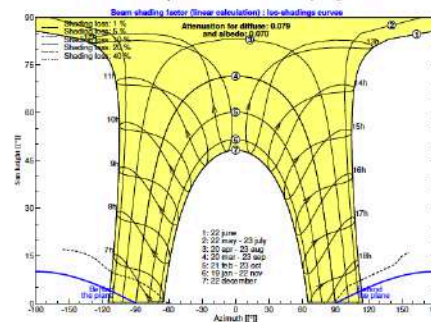
Main system parameters	System type	Grid-Connected		
Near Shadings	Detailed electrical calculations	(acc. to module layout)		
PV Field Orientation	tilt	10°	azimuth	0°
PV modules	Model	TSM-325PD14	Pnom	325 Wp
PV Array	Nb. of modules	12	Pnom total	3900 Wp
Inverter	Model	M250-60-240-S22/S23	Pnom	250 W ac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

Perspective of the PV-field and surrounding shading scene



Iso-shadings diagram

Grid-Connected Project at San Juan L M Marin Intl Ap - Legal Time



Resultados PV Syst

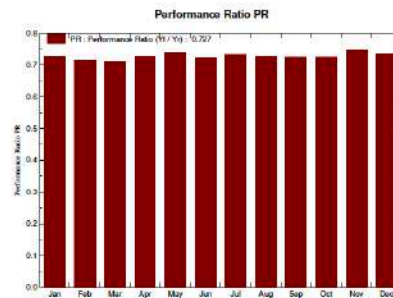
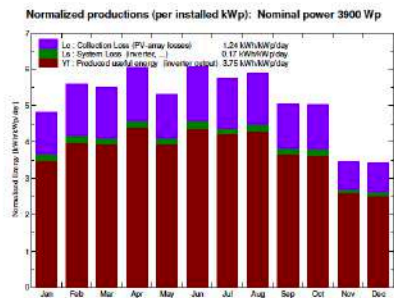
PVSYST V6.49 10/05/17 Page 3/4

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

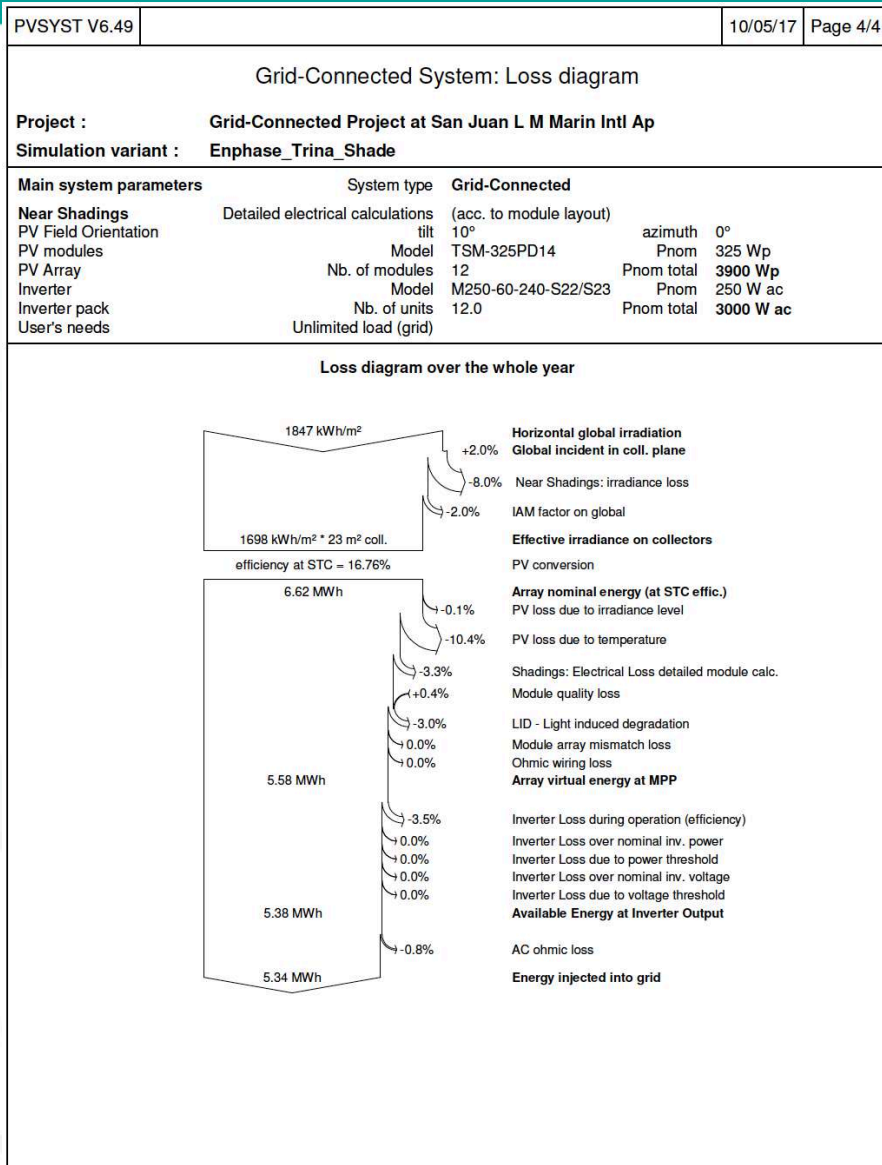


Enphase_Trina_Shade Balances and main results

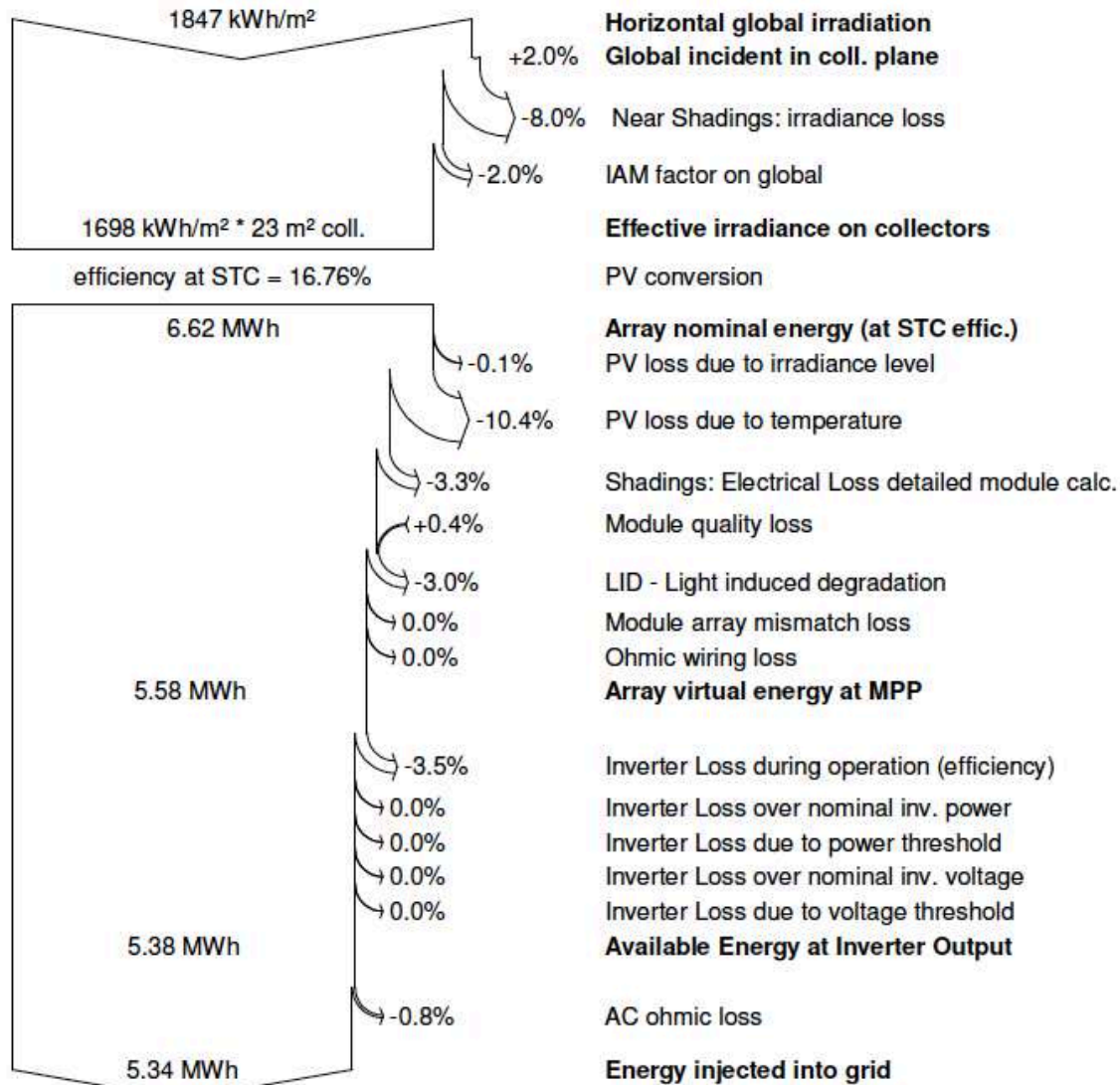
	GlobHor kWh/m ²	T Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	EffArrR %	EffSysR %
January	135.3	25.34	149.4	134.9	0.442	0.423	12.70	12.17
February	145.1	25.13	156.5	141.4	0.455	0.436	12.49	11.96
March	165.0	25.22	170.8	153.9	0.496	0.475	12.47	11.93
April	181.7	25.92	181.5	163.8	0.538	0.514	12.72	12.16
May	169.1	27.18	164.7	148.0	0.406	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	195.2	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	25.24	104.3	99.6	0.316	0.304	13.03	12.50
December	96.7	24.69	106.0	95.4	0.317	0.304	12.85	12.32
Year	1648.9	26.57	1684.1	1697.5	5.577	5.341	12.71	12.17

Legends:
 GlobHor: Horizontal global irradiation
 T_Amb: Ambient Temperature
 GlobInc: Global incident in cell plane
 GlobEff: Effective Global, corr. for IAM and shadings
 EArray: Effective energy at the output of the array
 E_Grid: Energy injected into grid
 EffArrR: Effc. Ecol array / rough area
 EffSysR: Effc. Ecol system / rough area

Resultados PV Syst

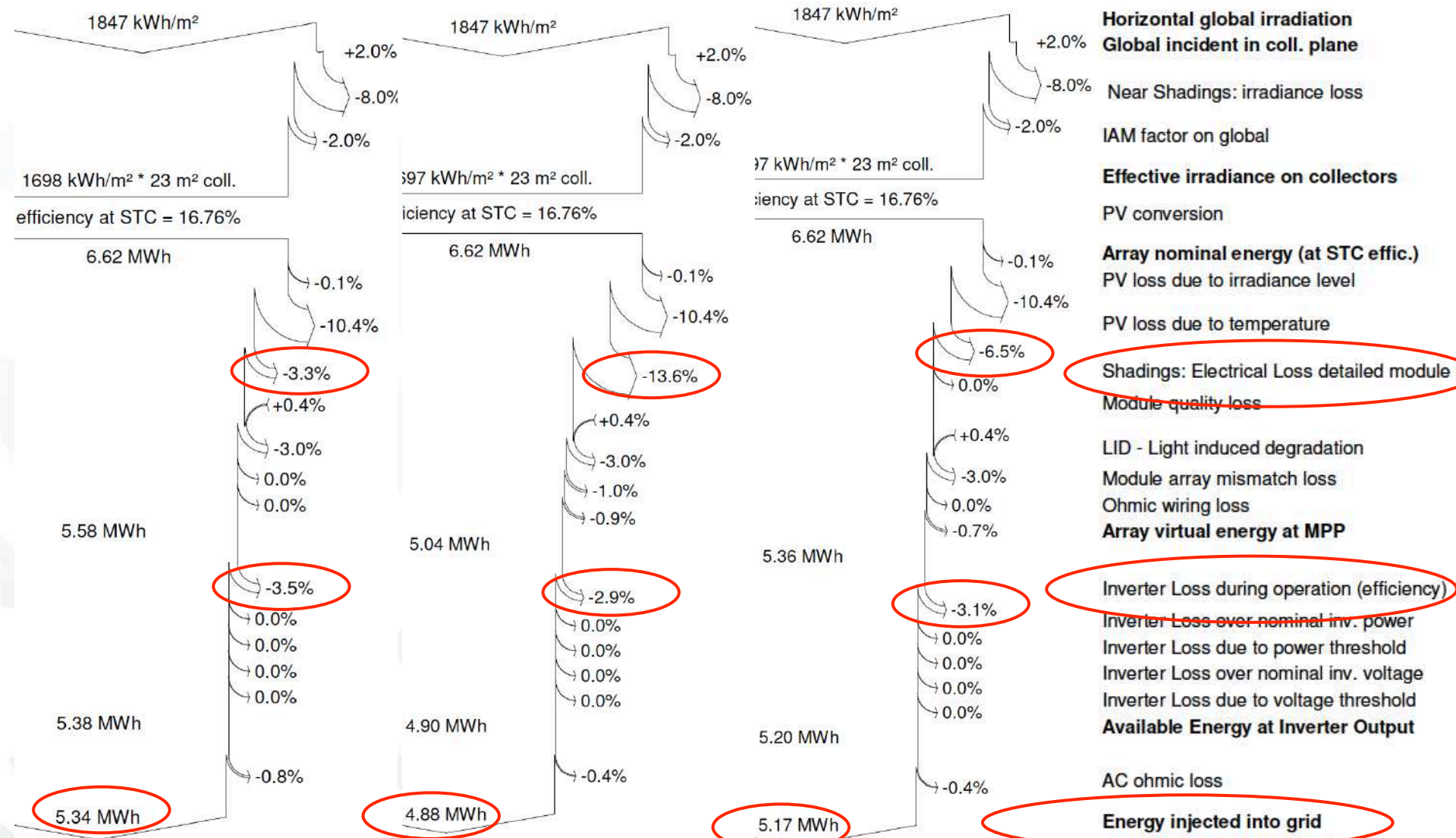


Resultados PV Syst



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

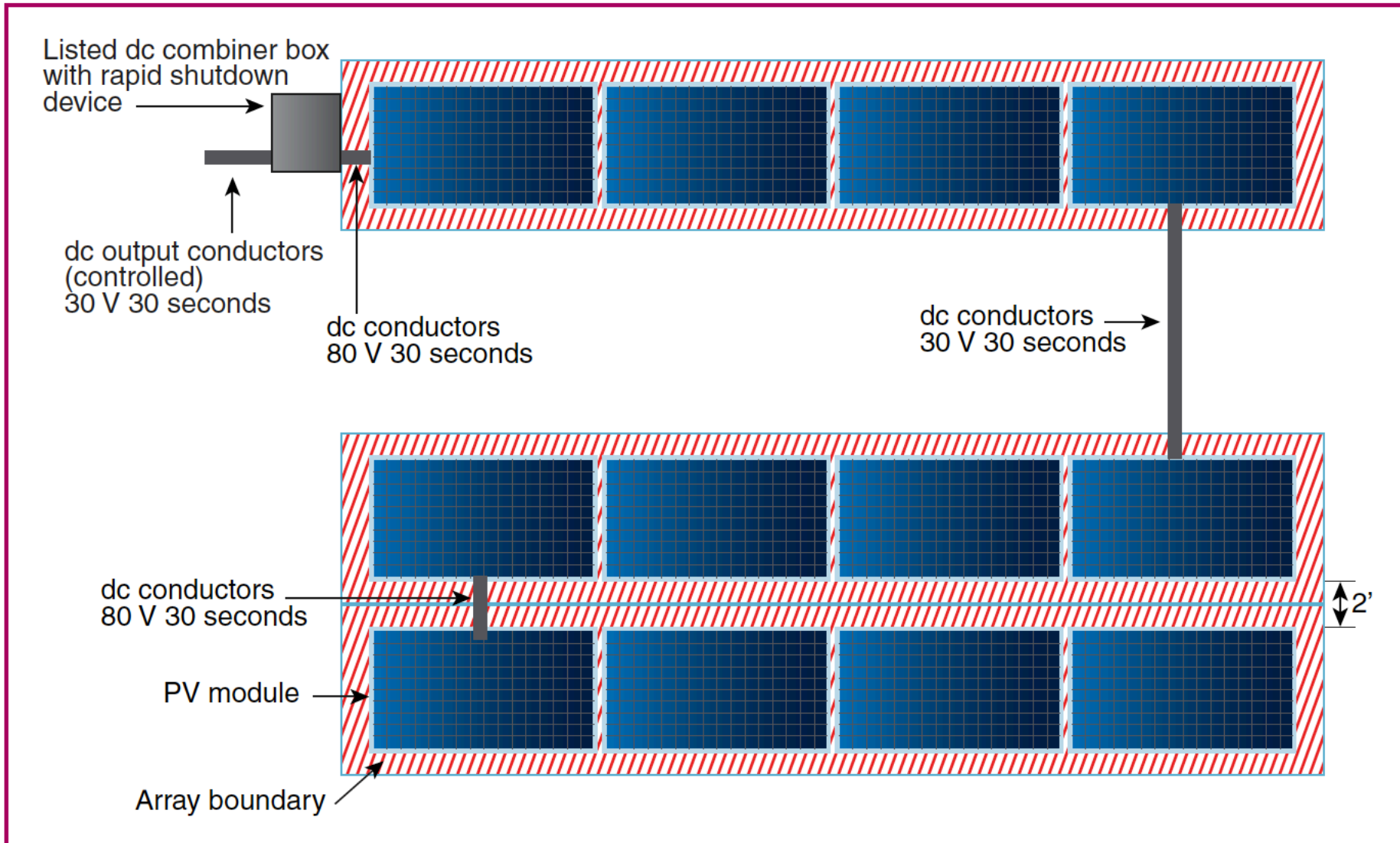
Sistemas instalados en edificios tienen que incluir funciones de apagado rápido para reducir los peligros de choque eléctrico a los bomberos.

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

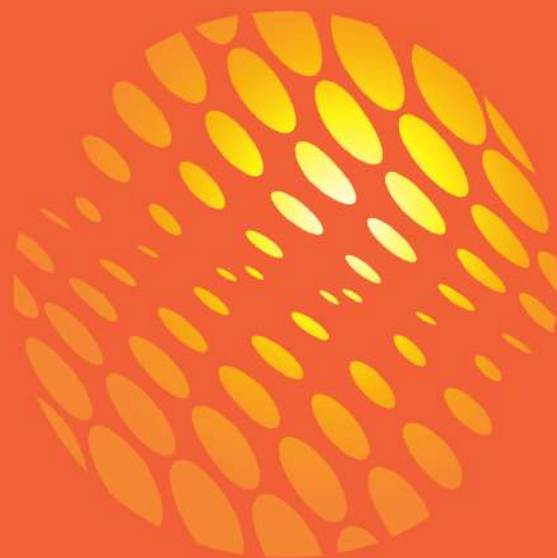


Elementos Importantes en la Decisión

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
- azayas@azeng.net



www.feriaexposolar.com
info@feriaexposolar.com

Mayo
19, 20 y 21

Centro Internacional
de Convenciones y
Exposiciones Plaza Mayor
de Medellín



ExpoSolarColombia



@ExpoSolarCol