



Escuela Universitaria de  
Ingeniería Técnica Industrial

Seminario

## MONITORIZACIÓN, TELEMEDIDA Y CALIDAD DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

16 de Noviembre de 2011

### Evaluación energética de instalaciones fotovoltaicas

1. Monitorización de sistemas fotovoltaicos conectados a red
2. Ejemplo de monitorización EUITI FV
3. Análisis de parámetros energéticos

[julio.amador@upm.es](mailto:julio.amador@upm.es)



Escuela Universitaria de  
Ingeniería Técnica Industrial

Seminario

## MONITORIZACIÓN, TELEMEDIDA Y CALIDAD DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

16 de Noviembre de 2011

### Evaluación energética de instalaciones fotovoltaicas

1. Monitorización de sistemas fotovoltaicos conectados a red
2. Ejemplo de monitorización EUITI FV
3. Análisis de parámetros energéticos

[julio.amador@upm.es](mailto:julio.amador@upm.es)

# Monitorización de sistemas fotovoltaicos

## Objetivos

- ✓ **Suministrar información al usuario** de la operación del sistema fotovoltaico
- ✓ **Evaluar la calidad del diseño**, en particular, el dimensionamiento del generador fotovoltaico y la adecuación del inversor seleccionado
- ✓ **Identificar las eficiencias y pérdidas** de los componentes y del sistema
- ✓ Presentar los resultados claramente de forma que:
  - ❑ Puedan ser fácilmente **comprendidos por los usuarios**
  - ❑ Permitan la **comparación de instalaciones** de diferentes tamaños en condiciones climatológicas distintas
- ✓ Suministrar información que permita una valoración general del potencial de la tecnología y **mejoras en el diseño y operación** de estos sistemas
- ✓ **Predecir la energía generada** por un sistema fotovoltaico en un periodo determinado

# Monitorización de sistemas fotovoltaicos

## Normativa sobre monitorización de sistemas fotovoltaicos

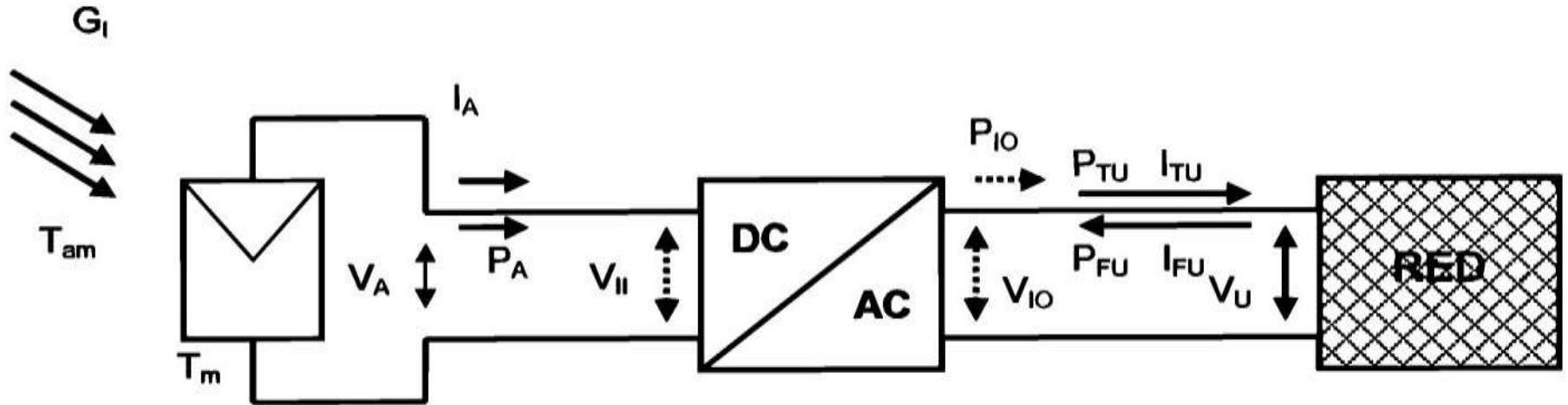
- ⇒ Norma UNE-EN 61724:1998, "Monitorización de sistemas fotovoltaicos -Guías para la medida, el intercambio de datos y el análisis"
- ⇒ Documentos elaborados por el JRC ( Ispra –Italia): "Guidelines for the Assessment of Photovoltaic Plants".
  - ❑ Documento A "Photovoltaic System Monitoring" (EUR 16338 EN)
  - ❑ Documento B: "Analysis Presentation of Monitoring Data" (EUR 16339 EN).

## Otras fuentes de información

- ⇒ "Actividad 2" del Programa de Sistemas de Potencia Fotovoltaicos (Photovoltaic Power Systems Programme -PVPS) de la Agencia Internacional de la Energía (International Energy Agency -IEA) <http://www.iea-pvps.org/>
- ⇒ PERFORMANCE proyecto integrado (IP) de la Comisión Europea <http://www.pv-performance.org>
- ⇒ IEC 61853-1:2011 Photovoltaic (PV) module performance testing and energy rating – Part 1: Irradiance and temperature performance measurements and power rating

# Monitorización de sistemas fotovoltaicos Norma UNE EN 61724

## Variables monitorizadas



$G_I$  ( $W/m^2$ ) Irradiancia total sobre el plano de los módulos

$V_A$  (V) Tensión de salida del generador FV

$I_A$  (A) Corriente de salida del generador FV

$I_{TU}$  (A) Intensidad hacia la red

$V_U$  (V) Tensión de la red

$I_{FU}$  (A) Intensidad desde la red

$T_{am}$  ( $^{\circ}C$ ) Temperatura ambiente en la sombra

$T_m$  ( $^{\circ}C$ ) Temperatura del módulo

$P_A$  (kW) Potencia de salida

$P_{TU}$  (kW) Potencia entregada a la red eléctrica

$P_{FU}$  (kW) Potencia obtenida de la red eléctrica

# Monitorización de sistemas fotovoltaicos

## Requisitos técnicos de las medidas

### Irradiancia

- ✓ Debe medirse en el mismo plano que el campo de paneles fotovoltaicos con módulos o células de referencia calibrados o piranómetros.
- ✓ Precisión debe ser superior al 5 % de la lectura.
- ✓ Puede registrarse la irradiancia sobre el plano horizontal para realizar comparaciones con datos meteorológicos de otros lugares.

### Temperatura ambiente

- ✓ Se debe medir en un lugar representativo de las condiciones del campo fotovoltaico por medio de sensores de temperatura colocados a la sombra.
- ✓ Medida con exactitud de 2 °C, según el JRC, y de 1 K, según la norma UNE-EN 61724.

### Temperatura del módulo

- ✓ Se medirá en la parte posterior de uno o más módulos que sean representativos de las condiciones del campo fotovoltaico.
- ✓ Precisión similar a la medida de la temperatura ambiente.

# Monitorización de sistemas fotovoltaicos

## Requisitos técnicos de las medidas

### Parámetros eléctricos

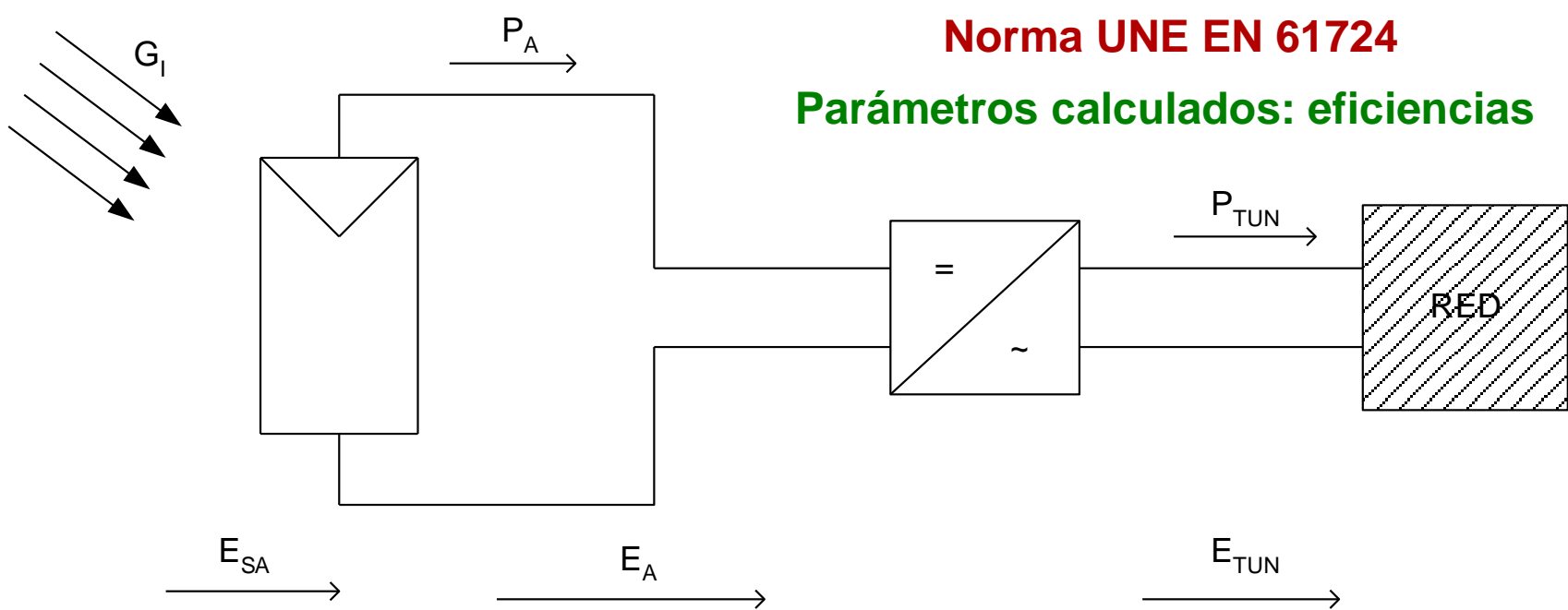
- ✓ Para el JRC los datos eléctricos deben determinarse con una exactitud de 2 % f.s.
- ✓ La norma UNE-EN 61724 establece una precisión para la medida de la tensión e intensidad superior al 1 % de la lectura, y superior al 2 % para la potencia.
- ✓ La potencia de corriente continua puede calcularse en tiempo real como producto de tensión por intensidad (no deben utilizarse valores medios para la tensión e intensidad ) o medirse directamente con un sensor de potencia.
- ✓ La potencia de corriente alterna se medirá utilizando un sensor de potencia que tenga el cuenta el factor de potencia y la distorsión armónica.

### Cuestiones generales

- ✓ El intervalo de muestreo para parámetros que varían directamente con la irradiancia será de 1 minuto o inferior.
- ✓ Se registrará cada hora el valor medio de los valores instantáneos tomados cada minuto. Si esto no es posible se registrarán los valores instantáneos cada 10 minutos.

# Norma UNE EN 61724

## Parámetros calculados: eficiencias



### Eficiencia del campo fotovoltaico

$$\eta_{Amean,\tau} = \frac{E_{A,\tau}}{E_{SA,\tau}}$$

### Eficiencia del resto del sistema

$$\eta_{BOS,\tau} = \frac{E_{TUN,\tau}}{E_{A,\tau}}$$

### Eficiencia total del sistema fotovoltaico

$$\eta_{tot,\tau} = \frac{E_{TUN,\tau}}{E_{SA,\tau}} = \eta_{Amean,\tau} \cdot \eta_{BOS}$$

### Eficiencia energética del inversor, $\eta_{I,\tau}$

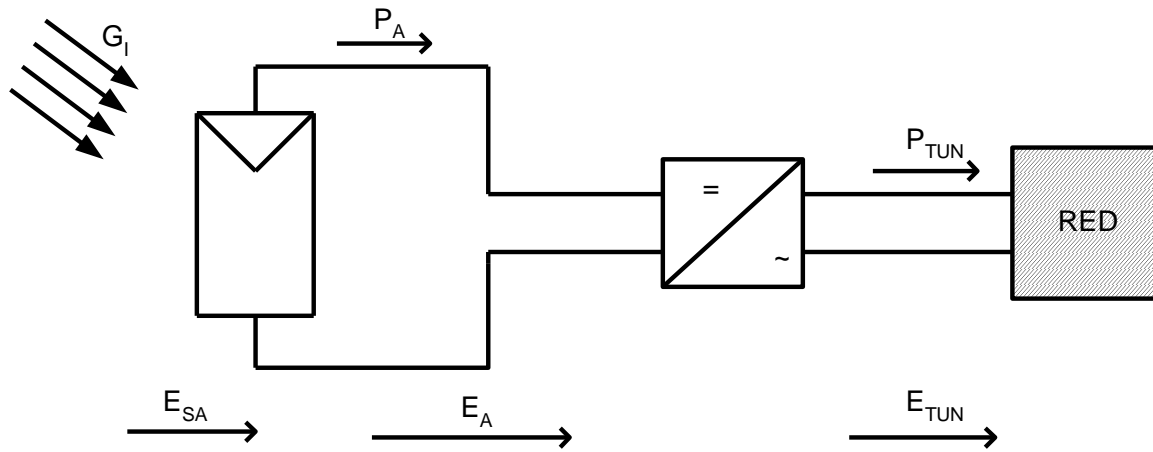
$$\eta_{I,\tau} = \frac{E_{IO,\tau}}{E_{II,\tau}}$$

$E_{A,\tau}$  (kWh) Energía eléctrica producida por el campo fotovoltaico en el tiempo  $\tau$

$E_{SA,\tau}$  (kWh) Energía solar total sobre el plano de los paneles

$E_{TUN,\tau}$  (kWh) Energía neta entregada a la red eléctrica

## Parámetros calculados: Índices de producción = horas equivalentes



### Índice de producción de referencia (Reference Yield), $Y_R$ (h/ $\tau$ )

$$Y_{R,T} = \frac{\tau_r \sum_T G_I \text{ (kWh)}}{G_{I,ref} \text{ (kW)}} \quad \begin{array}{l} \text{Energía solar teóricamente disponible en el tiempo } \tau \\ \text{Irradiancia global estándar} = 1 \text{ kW/m}^2 \end{array}$$

### Índice de producción del campo fotovoltaico (Array Yield), $Y_A$ (h/ $\tau$ )

$$Y_{A,T} = \frac{E_{A,T} \text{ (kWh)}}{P^* \text{ (kWp)}} \quad \begin{array}{l} \text{Energía eléctrica producida por el generador FV en el tiempo } \tau \\ \text{Potencia nominal del generador FV en STC} \end{array}$$

### Índice de producción final (Final Yield), $Y_F$ (h/ $\tau$ )

$$Y_{F,T} = \frac{E_{TUN,T} \text{ (kWh)}}{P^* \text{ (kWp)}} \quad \begin{array}{l} \text{Energía eléctrica neta entregada a la red eléctrica en el tiempo } \tau \\ \text{Potencia nominal del generador FV en STC} \end{array}$$

### Pérdidas en el campo fotovoltaico

$$L_{C,T} = Y_{R,T} - Y_{A,T}$$

### Pérdidas del resto del sistema

$$L_{BOS,T} = Y_{A,T} - Y_{F,T}$$

# Monitorización de sistemas fotovoltaicos Norma UNE EN 61724

## Pérdidas energéticas de captación $L_C$

### Causas de $L_C$

- ⇒ Sombras
- ⇒ Suciedad , nieve, etc.
- ⇒ Pérdidas por reflexión y absorción en las capas superiores del módulo (pérdidas angulares)
- ⇒ Alteración del espectro de radiación
- ⇒ Eficiencia de los módulos a baja irradiancia
- ⇒ Pérdidas por potencia real menor a la nominal
- ⇒ Pérdidas en el cableado y conexiones d.c.
- ⇒ Pérdidas por no trabajar en el PMP
- ⇒ Fallos en el sistema

Un valor excesivo de  $L_C$  suele ser debido a:

- Sombreamiento
- Mal funcionamiento del inversor
- Desviación de la potencia nominal de los módulos

## Pérdidas del resto del sistema $L_{BOS}$

- ⇒ Pérdidas en el inversor:
  - Autoconsumo inversor, pérdidas en el transformador, etc.
  - Pérdidas en diodos, dispositivos de conmutación, etc.
  - Pérdidas en cables, bobinas, resistencias, etc.
- ⇒ Pérdidas en el cableado y conexiones a.c.

# Monitorización de sistemas fotovoltaicos Norma UNE EN 61724

## Parámetros calculados: Rendimiento global PR (Performance Ratio)

### Relación entre la energía neta generada y la energía disponible

$$PR_T = \frac{E_{TUN,T}}{P^* \cdot Y_{R,T}} = \frac{Y_{F,T}}{Y_{R,T}}$$

- Es independiente de la potencia de la instalación
- Es relativamente independiente del emplazamiento
- Parámetro básico de comparación entre instalaciones
- Considera todas las pérdidas energéticas del sistema FV:
  - ✓ Pérdidas de captación  $L_C$
  - ✓ Pérdidas en el resto del sistema  $L_{BOS}$

### Cálculo de la energía mensual producida

$$E_{TUN,m} = P^* \cdot PR \cdot Y_{R,d} \cdot n_d$$

- $E_{TUN,d}$  Energía eléctrica producida (kWh/d) para cada mes
- $P^*$  Potencia pico del campo de paneles (kW)
- PR Rendimiento global de la instalación para cada mes
- $Y_{R,d}$  Índice de producción de referencia medio diario (kWh/m<sup>2</sup>·d) para cada mes
- $n_d$  Número de días de cada mes

# Monitorización de sistemas fotovoltaicos Norma UNE EN 61724

## Ejemplo de cálculo de la energía mensual producida

$$E_{\text{TUN},m} = P_0 \cdot PR \cdot Y_{R,d} \cdot n_d \quad (P_0 = 5,772 \text{ kWp}, \text{ Radiación Madrid } \beta = 30^\circ)$$

MES	Radiación (h.s.p.)	PR (*)	$n_d$	Producción (kWh/mes)
Enero	3,12	0,851	31	475,09
Febrero	3,56	0,844	28	485,60
Marzo	5,27	0,801	31	755,32
Abril	5,68	0,802	30	788,81
Mayo	5,63	0,796	31	801,88
Junio	6,21	0,768	30	825,85
Julio	6,67	0,753	31	898,69
Agosto	6,51	0,757	31	881,79
Septiembre	6,1	0,769	30	812,28
Octubre	4,73	0,807	31	683,00
Noviembre	3,16	0,837	30	457,99
Diciembre	2,78	0,850	31	422,82
<b>Total</b>				<b>8.289,11</b>

\* Pliego de condiciones técnicas de sistemas fotovoltaicos conectados a red IDAE 2002

# Monitorización de sistemas fotovoltaicos Norma UNE EN 61724



## Medida del PR

$$PR_T = \frac{E_{TUN,T}}{P^* \cdot Y_{R,T}} = \frac{Y_{F,T}}{Y_{R,T}}$$



- La medida de la radiación solar depende de la respuesta espectral y angular del sensor utilizado
- Los piranómetros tienen una respuesta espectral y angular más amplia que las células de tecnología equivalente “CTE”
- El PR resulta menor si la medida de la radiación solar es con un piranómetro que con una CTE
- Si para el YR se utiliza una base de datos como PVGIS (basada en medidas de piranómetros) el resultado no se puede comparar con la medida del PR realizada en base a una CTE



Escuela Universitaria de  
Ingeniería Técnica Industrial

Seminario

## MONITORIZACIÓN, TELEMEDIDA Y CALIDAD DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

16 de Noviembre de 2011

### Evaluación energética de instalaciones fotovoltaicas

1. Monitorización de sistemas fotovoltaicos conectados a red
2. Ejemplo de monitorización EUITI FV
3. Análisis de parámetros energéticos

[julio.amador@upm.es](mailto:julio.amador@upm.es)

## Ejemplo de monitorización EUITI FV

Ejemplo de aplicación de monitorización según UNE EN 61724

### Datos de la instalación



Nombre de la instalación: **EUITI-UPM**

País: **España. Lugar: Madrid**

Tipo de planta: **Conexión a red**

Montaje: **Soportes sobre azotea visitable**

Potencia nominal: **1,08 kWp**

Superficie del campo fotovoltaico: **8,7541 m<sup>2</sup>**

Año al que se refieren los datos: **2002**

Meses analizados: **12**

Disponibilidad de datos monitorizados respecto al total anual: **0,99**

## Ejemplo de monitorización EUITI FV



### Meteorología

Radiación sobre el plano de los paneles: 1785 kWh/m<sup>2</sup>

### Red eléctrica

Energía suministrada a la red eléctrica: 1490 kWh

Energía consumida de la red eléctrica: 1 kWh

Energía producida por kWp instalado: 1380 kWh/kW<sub>p</sub>

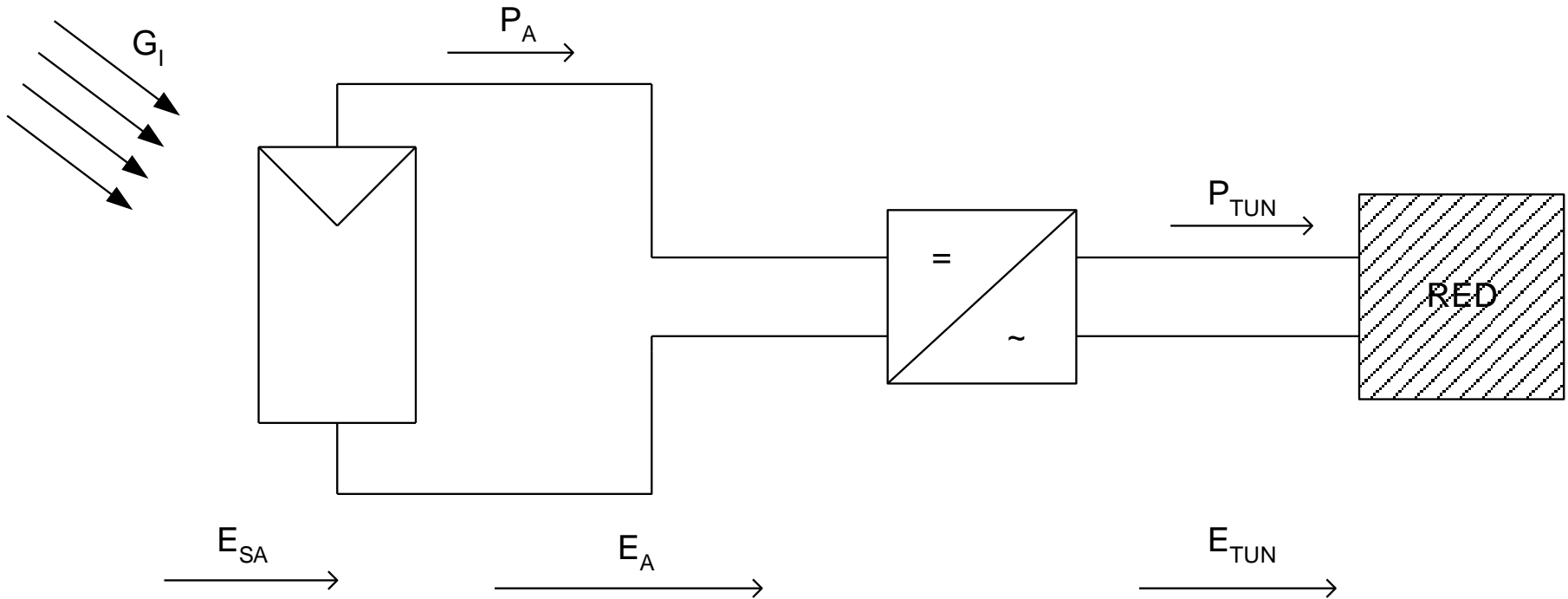
## Ejemplo de monitorización EUITI FV

### Índices de operación del sistema

Parámetro		Valor
Índice de producción de referencia	$Y_{R,d}$ (h/d)	<b>4,89</b>
Índice de producción del campo fotovoltaico	$Y_{A,d}$ (h/d)	<b>4,22</b>
Índice de producción final	$Y_{F,d}$ (h/d)	<b>3,78</b>
Pérdidas de captación	$L_{C,d}$ (h/d)	<b>0,67</b>
Pérdidas del resto del sistema	$L_{BOS,d}$ (h/d)	<b>0,44</b>
Eficiencia del campo fotovoltaico	$\eta_{Amean}$ (%)	<b>11</b>
Eficiencia del resto del sistema	$\eta_{BOS}$ (%)	<b>89,3</b>
Eficiencia total de la planta	$\eta_{tot}$ (%)	<b>9,8</b>
Rendimiento global	$PR_y$ (%)	<b>77,3</b>

# Ejemplo de monitorización EUITI FV

## Índices de operación del sistema



$$Y_{R,y} = 1785 \text{ kWh/m}^2$$

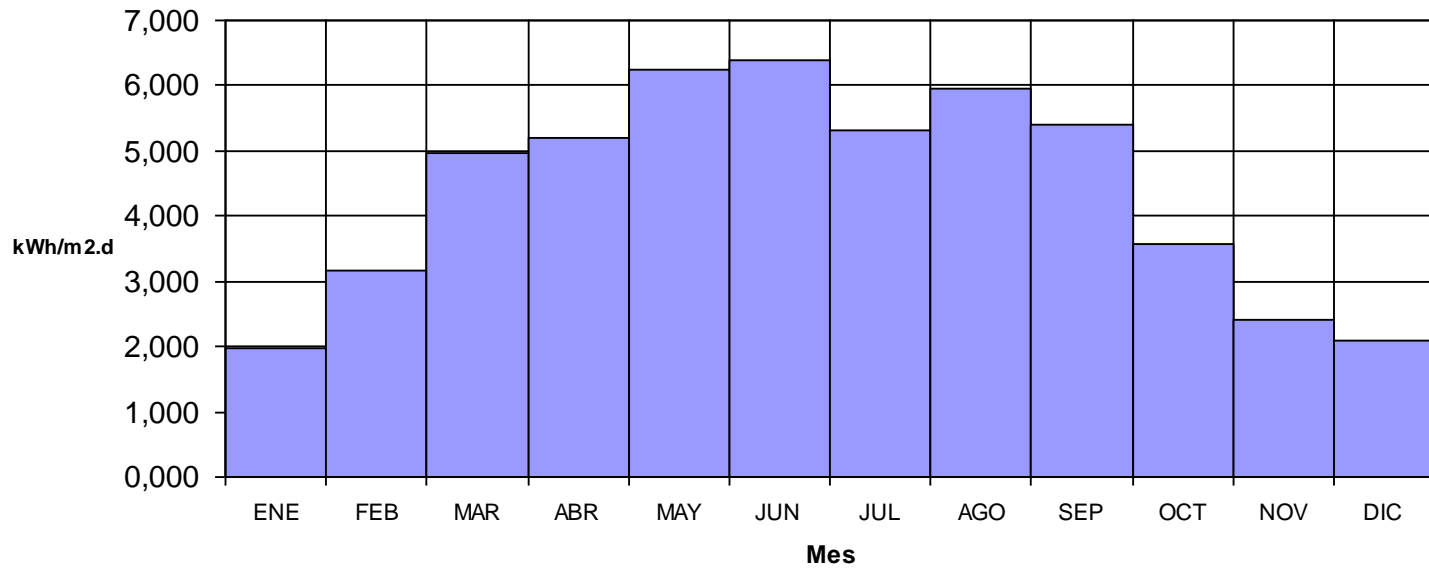
$$Y_{A,y} = 1540 \text{ kWh/kWp}$$

$$Y_{F,y} = 1380 \text{ kWh/kWp}$$

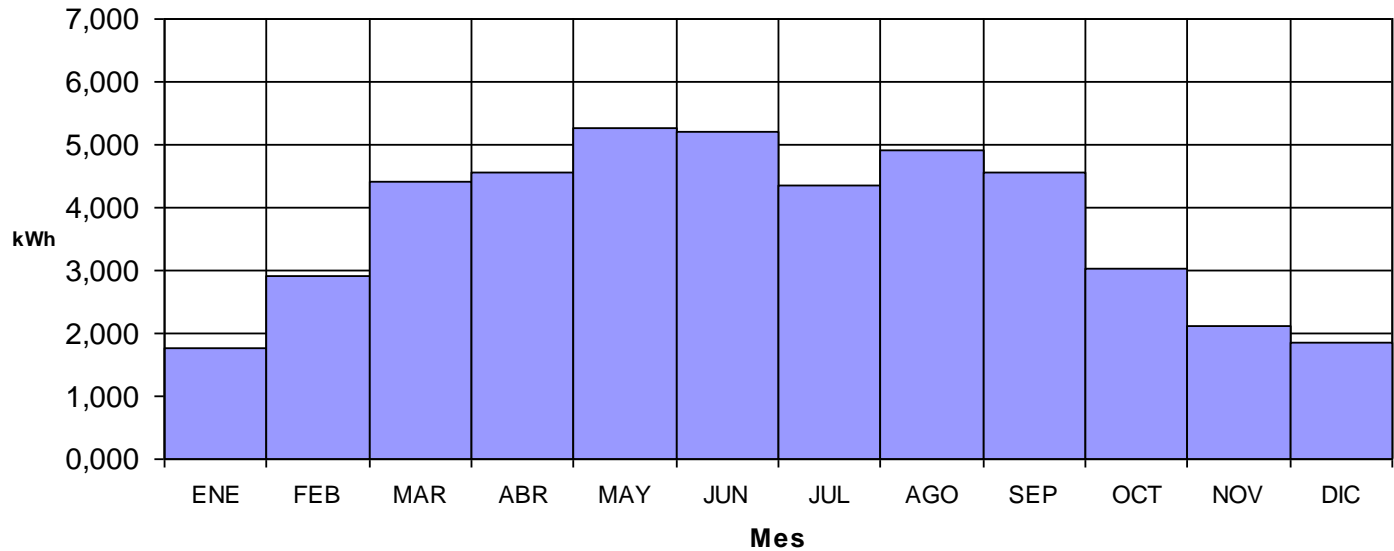
$$L_{C,y} = 245 \text{ kWh/kWp}$$

$$L_{BOS,y} = 160 \text{ kWh/kWp}$$

## Radiación registrada sobre el plano de los paneles, Planta: EUITI-UPM, 2002

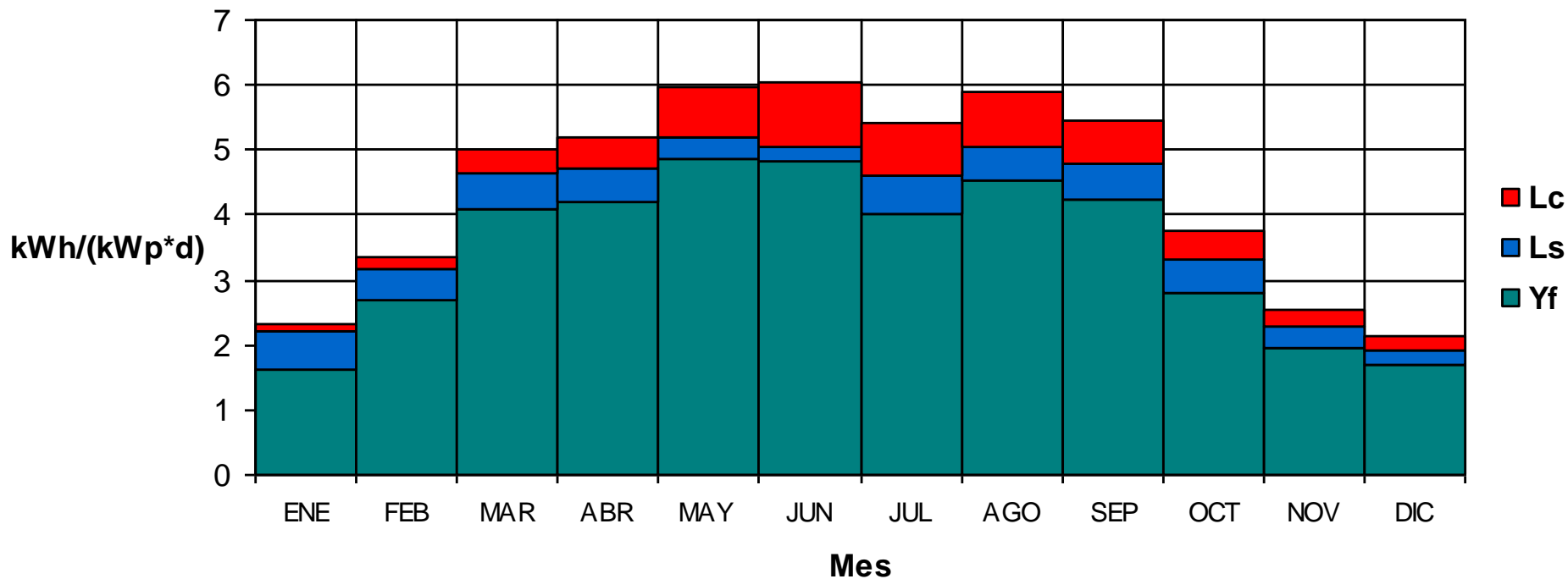


## Energía suministrada a la red, Planta: EUITI-UPM, 2002



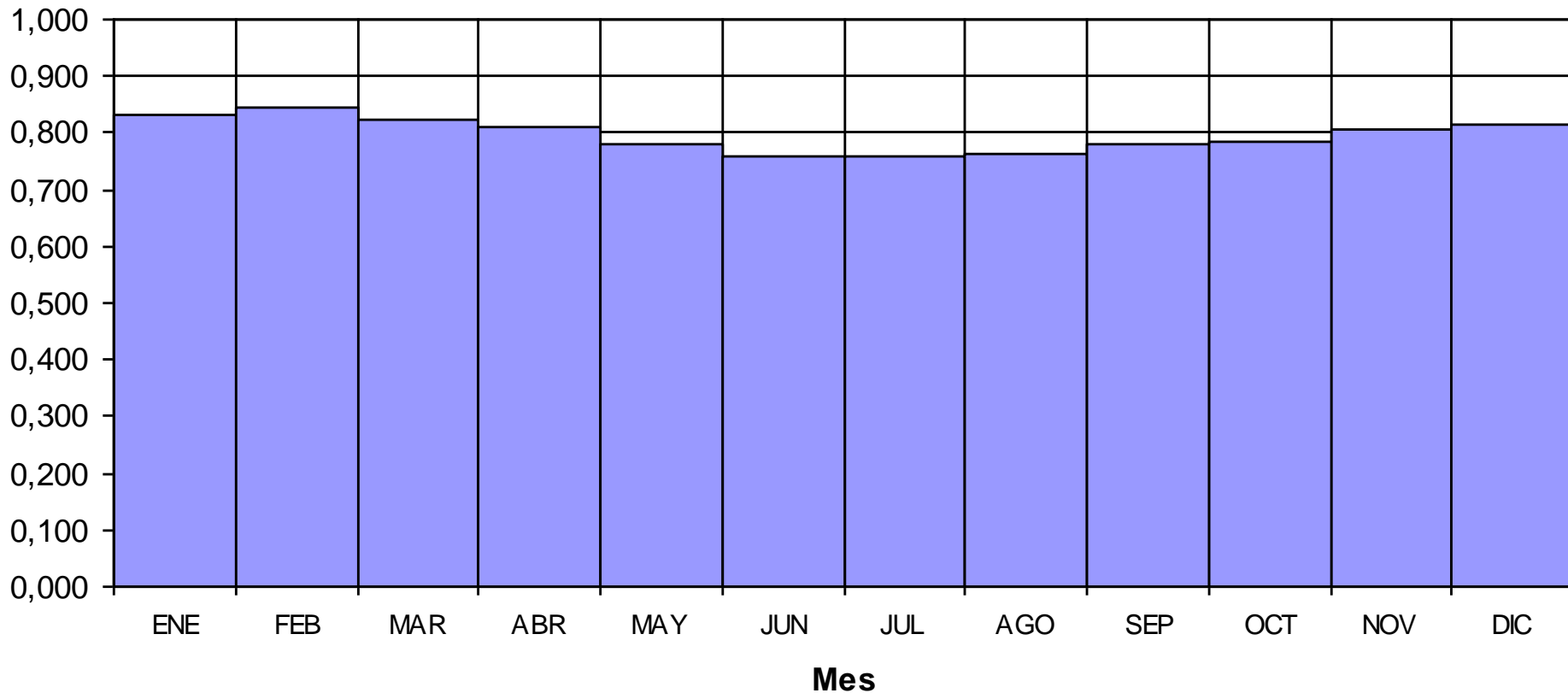
## Ejemplo de monitorización EUITI FV

Índices de operación, Planta: EUITI-UPM, 2002



## Ejemplo de monitorización EUITI FV

Rendimiento global, Planta: EUITI-UPM, 2002



## Comparación PR EUITI & PR IDAE

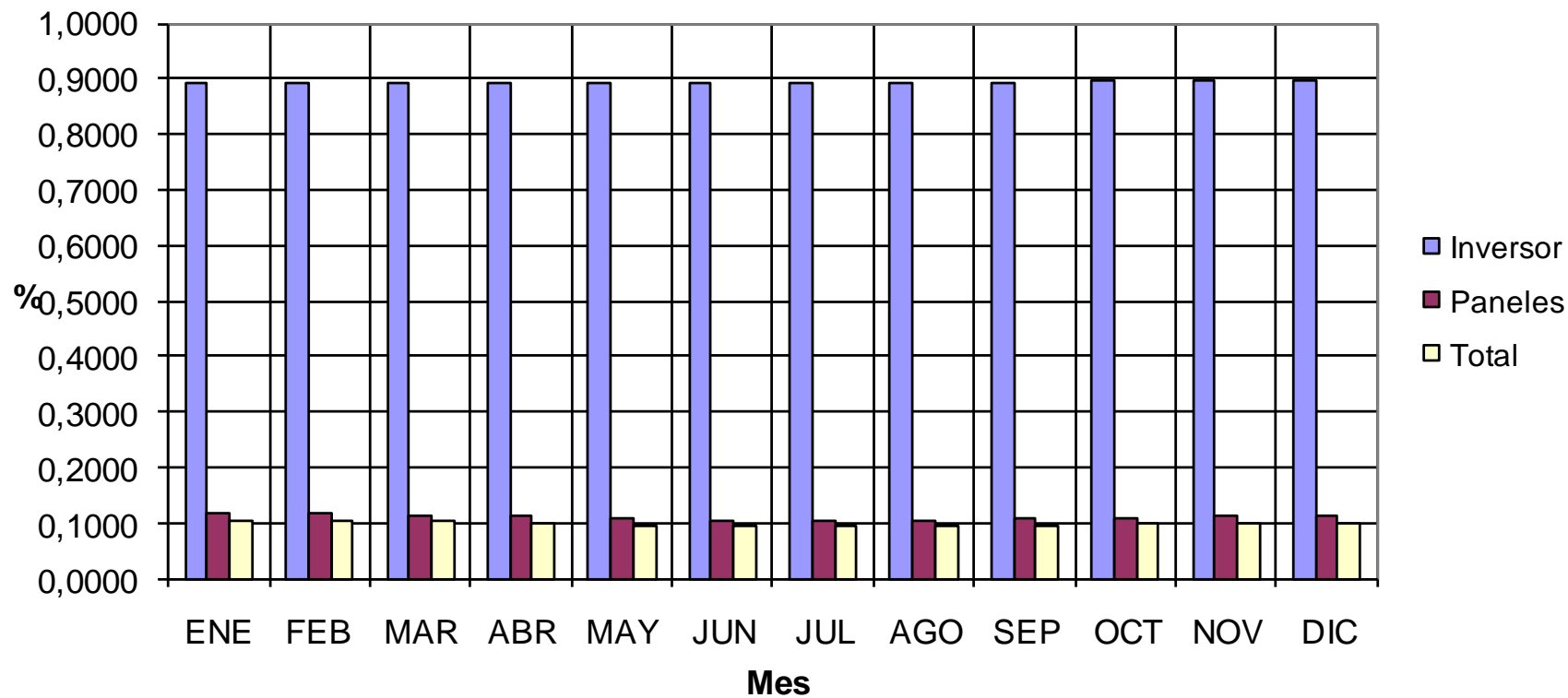
MES	PR EUITI (*)	PR IDAE (**)
Enero	0,833	0,851
Febrero	0,844	0,844
Marzo	0,821	0,801
Abril	0,812	0,802
Mayo	0,781	0,796
Junio	0,767	0,768
Julio	0,764	0,753
Agosto	0,778	0,757
Septiembre	0,802	0,769
Octubre	0,784	0,807
Noviembre	0,806	0,837
Diciembre	0,813	0,850
Valor medio	0,800	0,802

\* Monitorización sistema fotovoltaico cubierta EUITI 2001-2004

\*\* Pliego de condiciones técnicas de sistemas fotovoltaicos conectados a red IDAE 2002

## Ejemplo de monitorización EUITI FV

**Eficiencia inversor, paneles y total, Planta: EUTI-UPM 2002**





Escuela Universitaria de  
Ingeniería Técnica Industrial

Seminario

## MONITORIZACIÓN, TELEMEDIDA Y CALIDAD DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

16 de Noviembre de 2011

### Evaluación energética de instalaciones fotovoltaicas

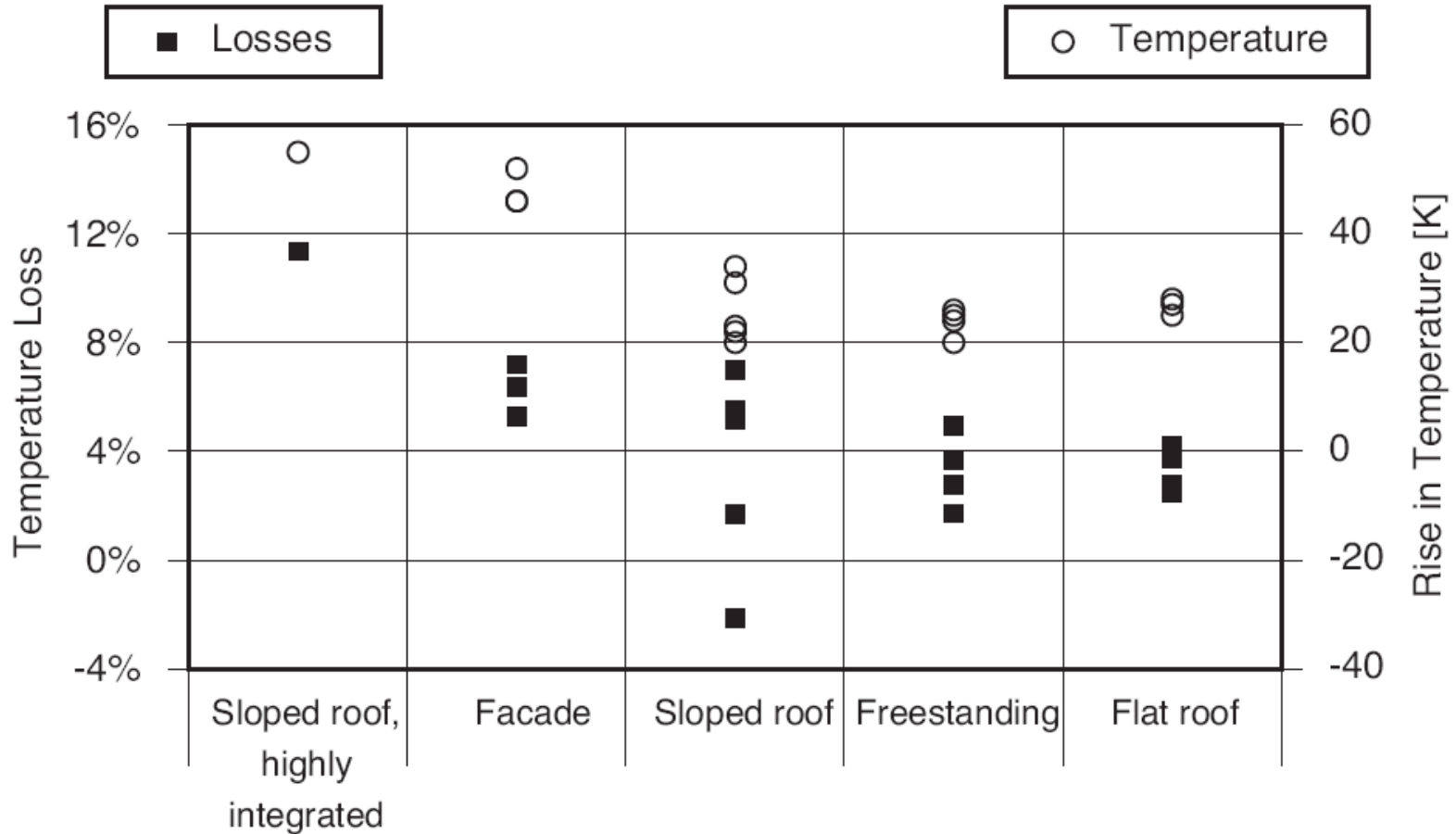
1. Monitorización de sistemas fotovoltaicos conectados a red
2. Ejemplo de monitorización EUITI FV
3. Análisis de parámetros energéticos

[julio.amador@upm.es](mailto:julio.amador@upm.es)

# Análisis de parámetros energéticos

## Influencia del modo de instalación: pérdidas por temperatura

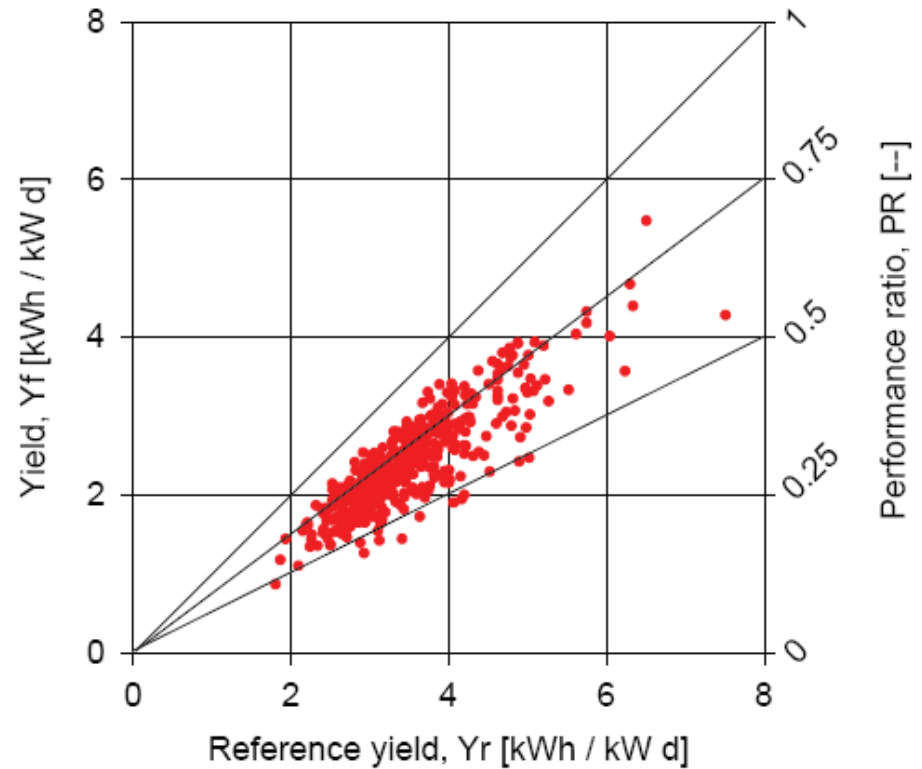
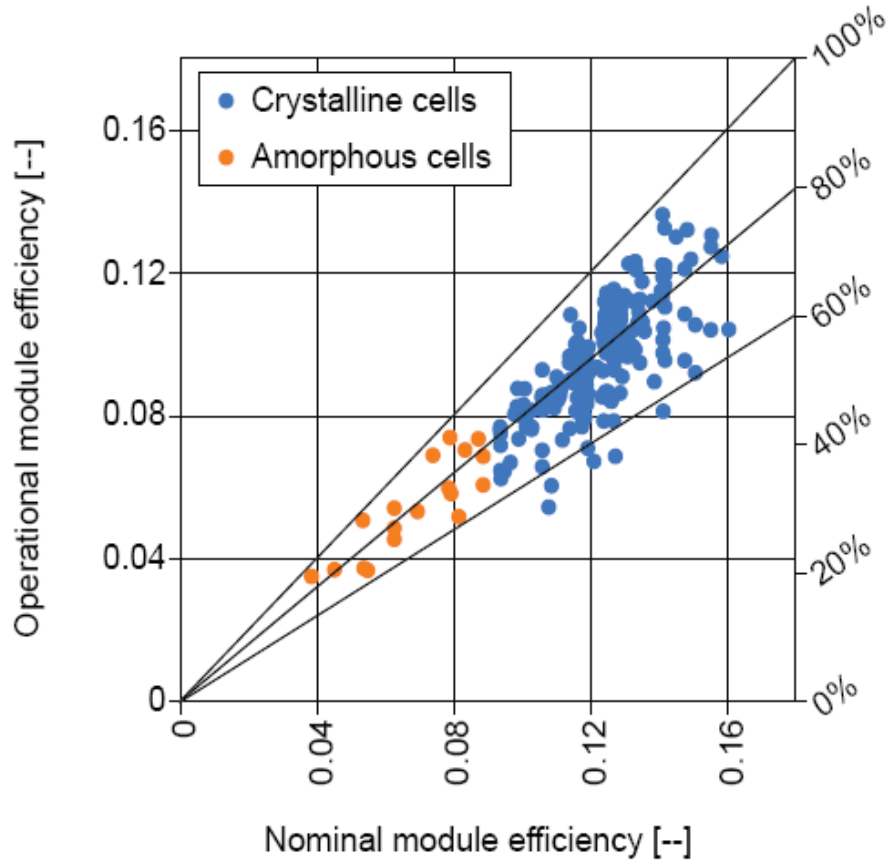
18 SFVCR en Austria, Alemania, Italia, Japón y Suiza



**UNDERSTANDING TEMPERATURE EFFECTS ON PV SYSTEM PERFORMANCE.** Nordmann T. y Clavadetscher L. [www.iea-pvps-task2.org](http://www.iea-pvps-task2.org)

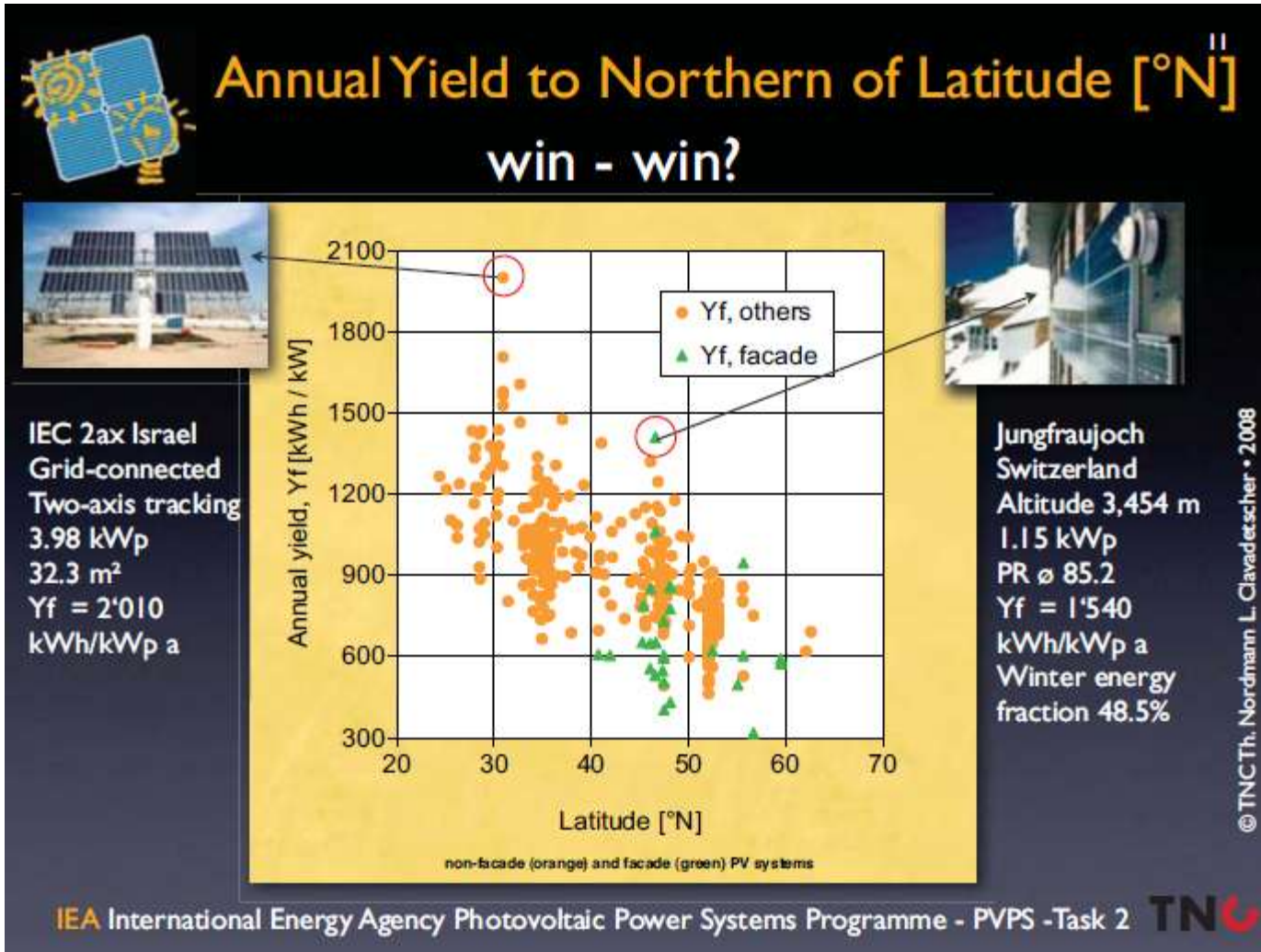
## Análisis de parámetros energéticos

### Resultados para los 461 SFVCR de la base de datos del PVPS-IEA



# Análisis de parámetros energéticos

## Resultados para los 461 SFVCR de la base de datos del PVPS-IEA



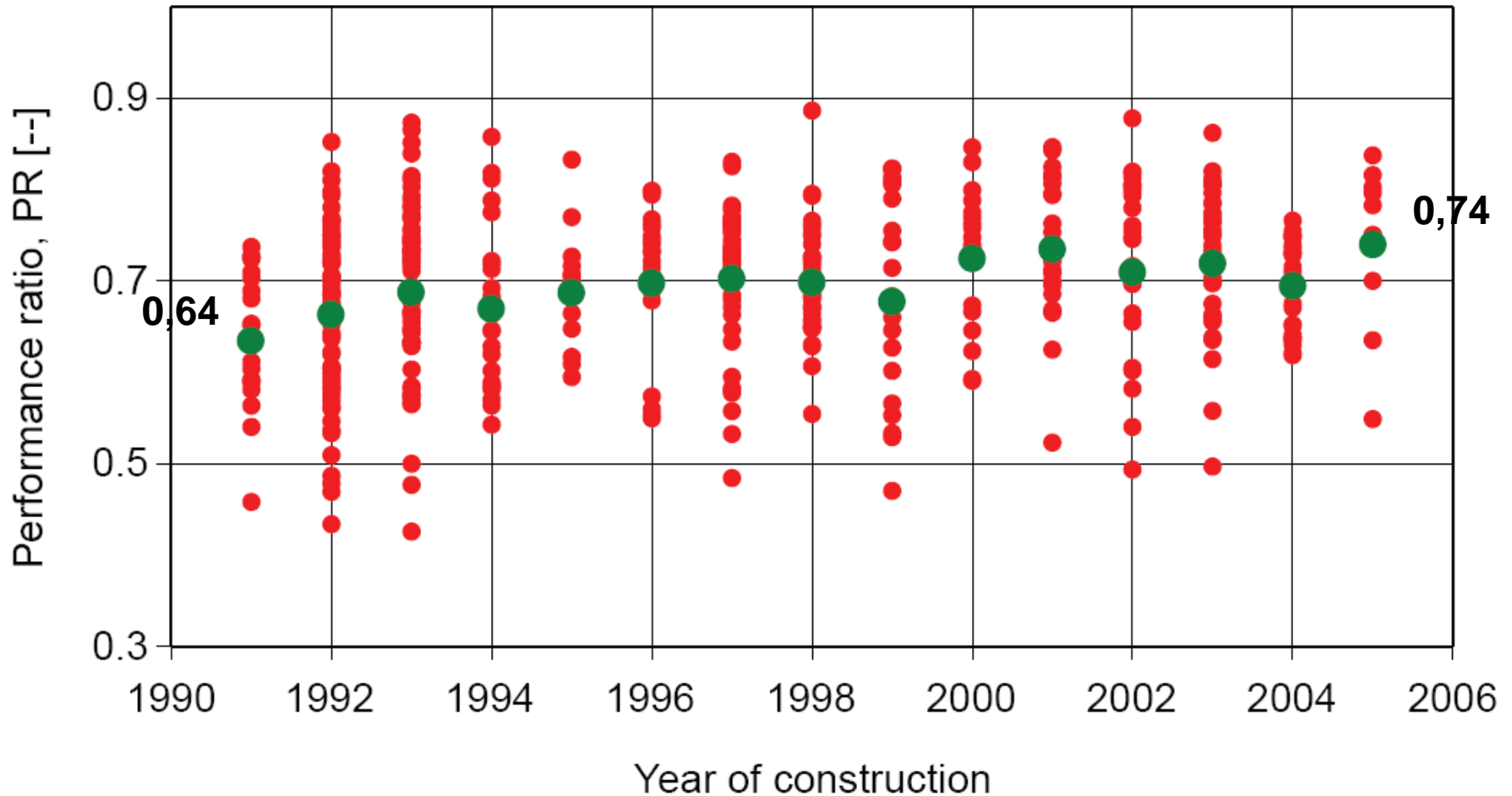
## Análisis de parámetros energéticos

### Índices de producción: valores medios base de datos PVPS-IEA

País	$Y_R$		$Y_F$		$PR_y$
	h/d	h/y	h/d	h/y	
Alemania	2,6	950	1,9	700	0,74
Suiza	3,3	1200	2,27	830	0,69
Japón	3,2	1170	2,5	912	0,78
Israel	6,6	2400	4,38	1600	0,67

## Análisis de parámetros energéticos

### Resultados para los 461 SFVCR de la base de datos del PVPS-IEA



# Análisis de parámetros energéticos

## Rendimiento Global – PR

**Valores obtenidos base de datos PVPS-IEA: 0,46 – 0,74 – 0,88**

Si  $PR < 0,7 \Rightarrow$  Revisión de parámetros  $\Rightarrow$  Inspección de la instalación FV

### Causas habituales de un valor bajo de PR

- Sombreado
- Fallos en las conexiones en el campo FV
- Potencia real módulos menor a nominal
- Baja eficiencia del inversor

### Optimización de instalaciones FV conectadas a red

- Mayor eficiencia de componentes (inversores y módulos)
- Evitar diodos, longitud cableado y disminuir pérdidas por dispersión de parámetros
- Evitar altas temperaturas de operación en los módulos
- Reducir el sombreado tanto como sea posible
- Evitar que los paneles queden cubiertos por nieve o suciedad
- Necesidad de registro exhaustivo de fallos

## Análisis de parámetros energéticos

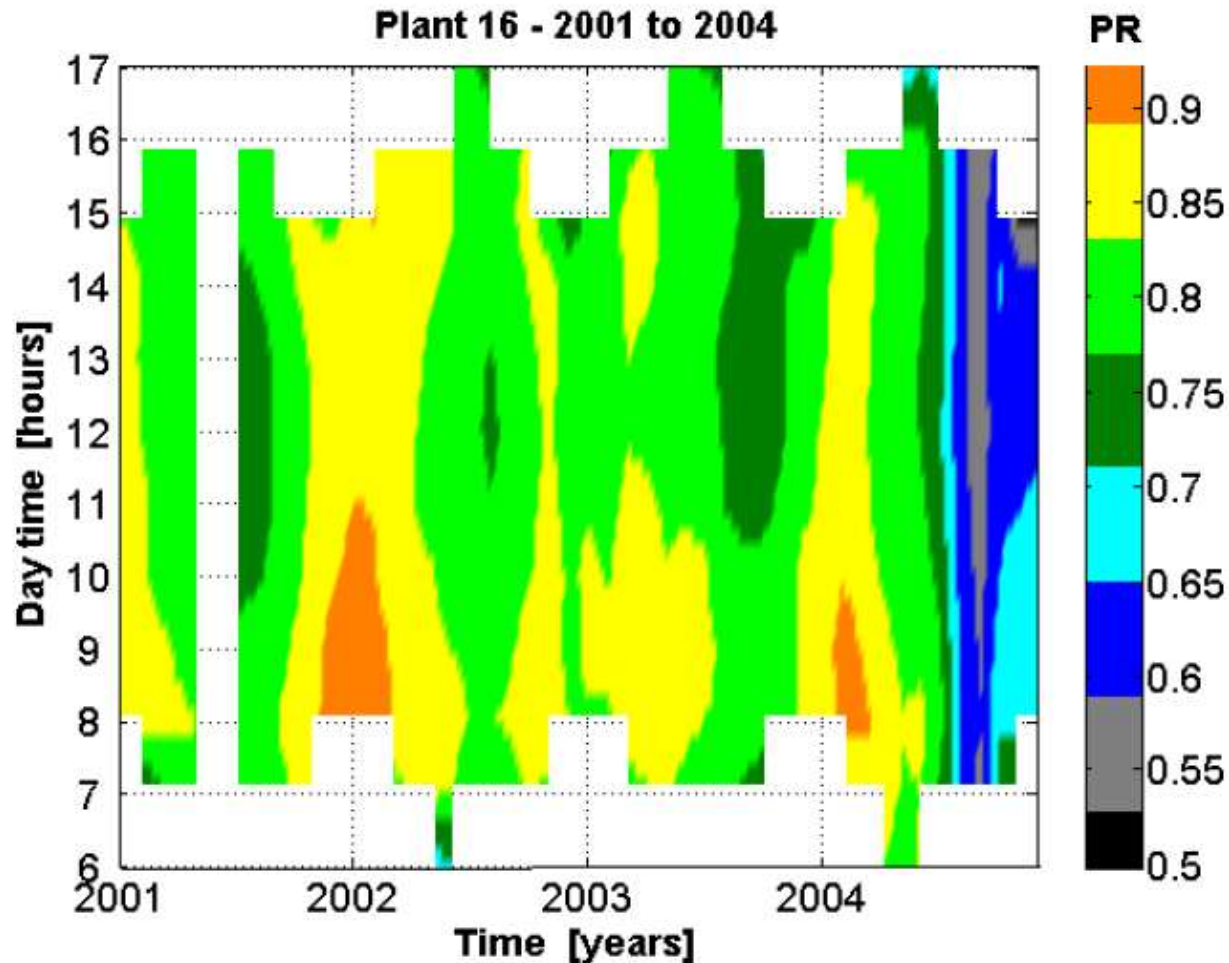
### Resultados para los 461 SFVCR de la base de datos del PVPS-IEA

Typical system	1991	1992	2005 best case	
Nominal module efficiency ( $\eta_{A0}$ )	11.6		14	%
Operational inverter efficiency ( $\eta_I$ )	89		94	%
Outage (O)	0.03		0	
Performance ratio (PR)	0.64		0.84	
Overall PV plant efficiency ( $\eta_{tot}$ )	7.4		11.8	%
Improvement	100		158	%
System cost		16	6	USD/W
Cost		100	62.5	%

### Comparación de resultados del mejor sistema 2005 con el sistema medio de 1991-2

# Análisis de parámetros energéticos

## “Huella” del PR

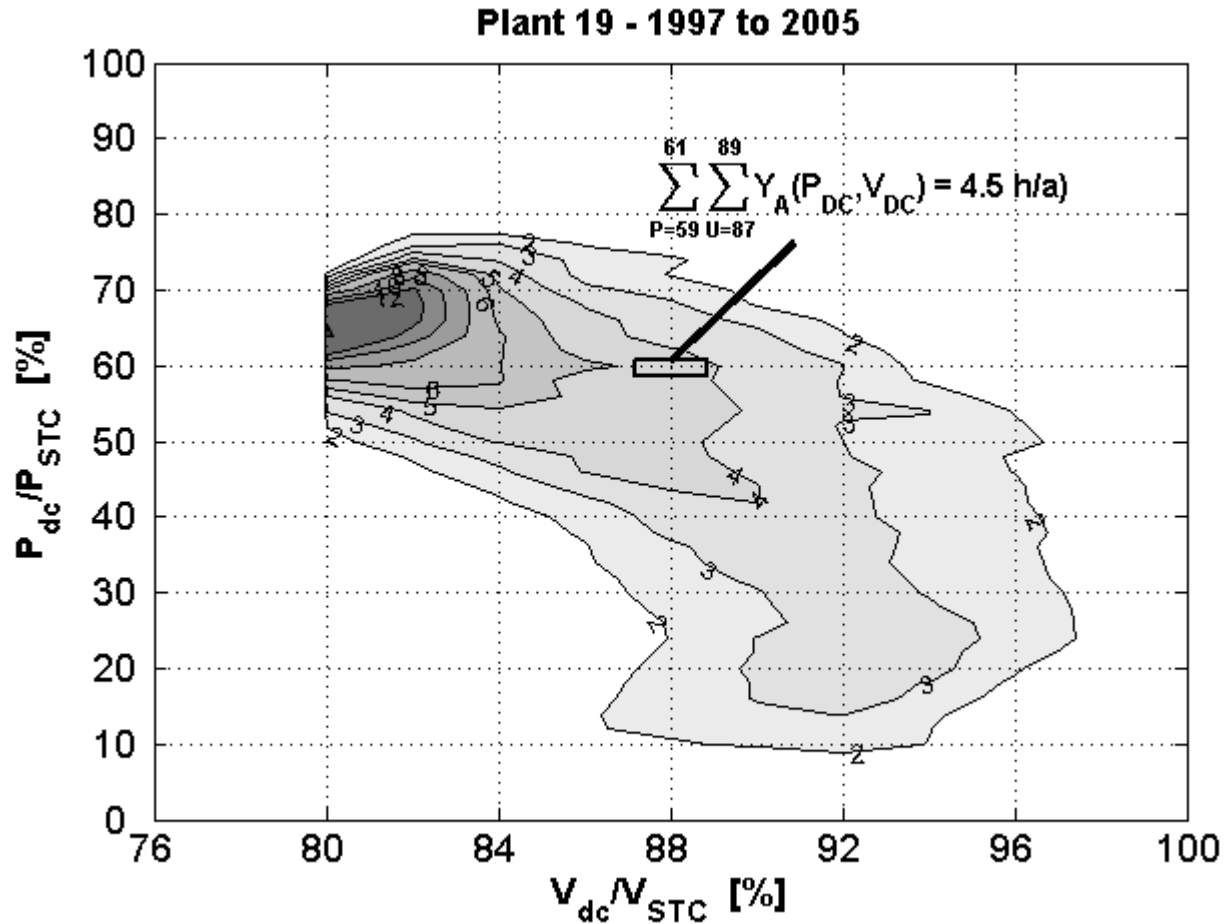


Valores mensuales del PR en función del mes y la hora

# Análisis de parámetros energéticos

## Análisis gráfico caracterización de inversores

### Tejado fotovoltaico de 3 kWp





Escuela Universitaria de  
Ingeniería Técnica Industrial

Seminario

## MONITORIZACIÓN, TELEMEDIDA Y CALIDAD DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

16 de Noviembre de 2011

### Evaluación energética de instalaciones fotovoltaicas

1. Monitorización de sistemas fotovoltaicos conectados a red
2. Ejemplo de monitorización EUITI FV
3. Análisis de parámetros energéticos

[julio.amador@upm.es](mailto:julio.amador@upm.es)