



***Luis Narvarte***

Socio de Bosola

Coordinador, MASLOWATEN

Instituto de Energía Solar

Universidad Politécnica de Madrid

## **Sistemas de riego fotovoltaico de alta potencia**



# ES DE BIEN NACIDOS ....



Grupo operativo



# ... SER AGRADECIDOS

# ES DE BIEN NACIDOS ....



CCRR  
Las Planas



POLITÉCNICA

# ... SER AGRADECIDOS

## ANTECEDENTES

### El coste eléctrico para agricultores y Comunidades de Regantes

- FENACORE : incremento de costes 627% - 1255%
- 40% - 50% del total de costes de producción
- 2º consumidor eléctrico en España

### Única alternativa para algunos cultivos

- Remolacha – 2017

### Mercado Potencial

- Sur de Europa: 14 millones Ha -16GW – 24.000M€
- Norte de África (Red + diesel): 1,5GW – 2.250 M€

# ¿POR QUÉ SABEMOS DE BOMBEO FV y calidad?

## Bombeo FV

### **PRS (UE, 1993):**

- 600 bombas; UPM: control de calidad

### **Desde 1995:**

- Marruecos, Argelia, Túnez: 53 bombas
- Egipto: 5 bombas

### **Riego (MICCIN, 2012):**

- Prototipo en Villena

### **MASLOWATEN (2015)**



## Calidad técnica en el marco de Project Finance – Due diligence

### **Proyectos:**

- 80 plantas FV multiMW – 12 países - 802 MW

### **Empresas:**

- Acciona, Guascor, Conergy, Unión Fenosa, Fotosolar, Atersa, Nobesol, Proener, Epuron, Ateia, Element Power, Gehrlicher, Solon, Gadir, Cadmos, Dresser-Rand, Bosch, Gestamp, IM2, Scorpio, Sky Solar, Alten, Lugec, WOK, Abalados

### **Bancos:**

- Santander, BBVA, BARCLAYS, BANESTO, Pastor, Caja Navarra, Banco de Vasconia, Sabadell Atlántico, Caja Madrid, Guipuzcuano, Caja Rural de Navarra, Bancaja, Caja Murcia, KUTXA, Espírito Santo, Zaragozano, Valencia, Caja Laboral Popular, La Caixa, Caja de Galicia
- West LB, Caixa Geral, HSH Nordbank AG, KfW, Leasink, Intesa Sanpaolo, BayernLB,

## ¿Qué NO es adaptar el FV al riego?

### Lo que NO es:

- MPPT en el variador
- Solución preparada desde fábrica
- Adaptar la red de riego al sistema FV
- Presión constante = Aumentar el tamaño del sistema FV a balsa

### El pobre estado del arte actual:

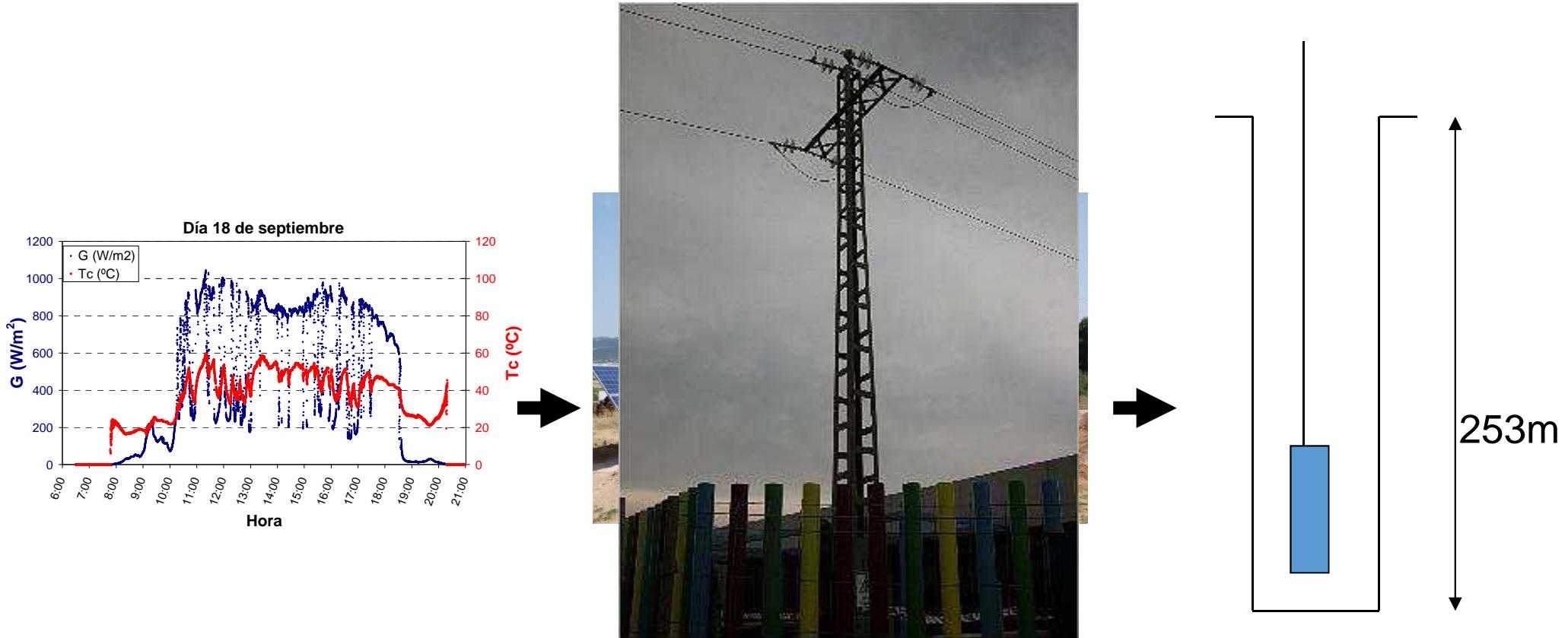
- 4 ofertas a una comunidad de regantes:
  - Tamaño: de 90 kWp a 250 kWp
  - Precio: de 1€/Wp a 2,7€/Wp
- No es que engañen; es que es nuevo conocimiento

## ¿Qué Sí es adaptar el FV al riego?

### Lo que Sí es:

- Resolver los problemas asociados a la intermitencia FV
- Ajustar la generación FV a las necesidades de riego
- Integrar el sistema FV en el sistema de riego existente
- Asegurar la fiabilidad durante 25 años

# El Problema de la Intermitencia FV:

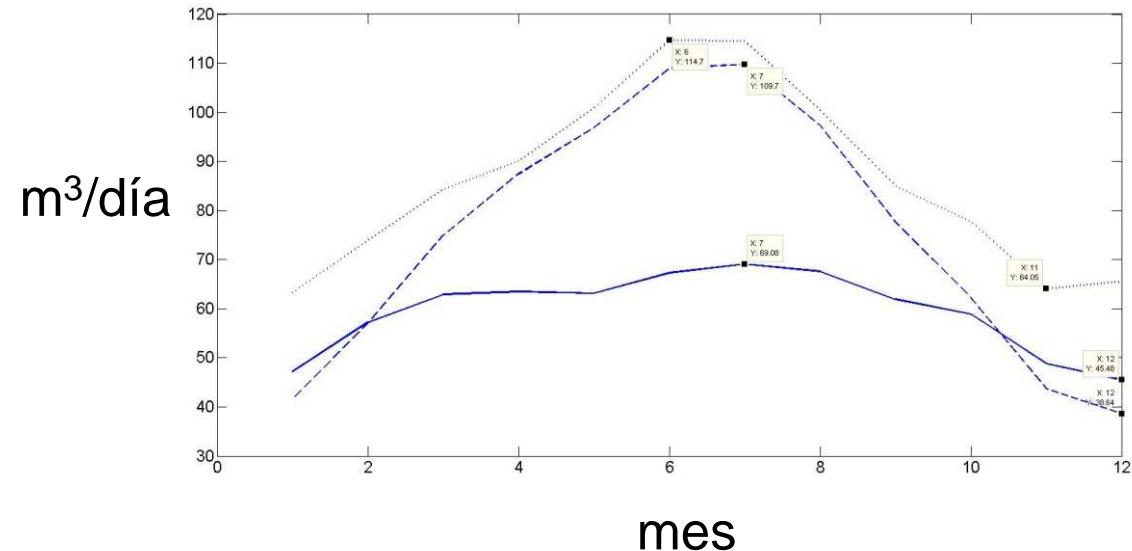


## Desestabilización y parada brusca del variador:

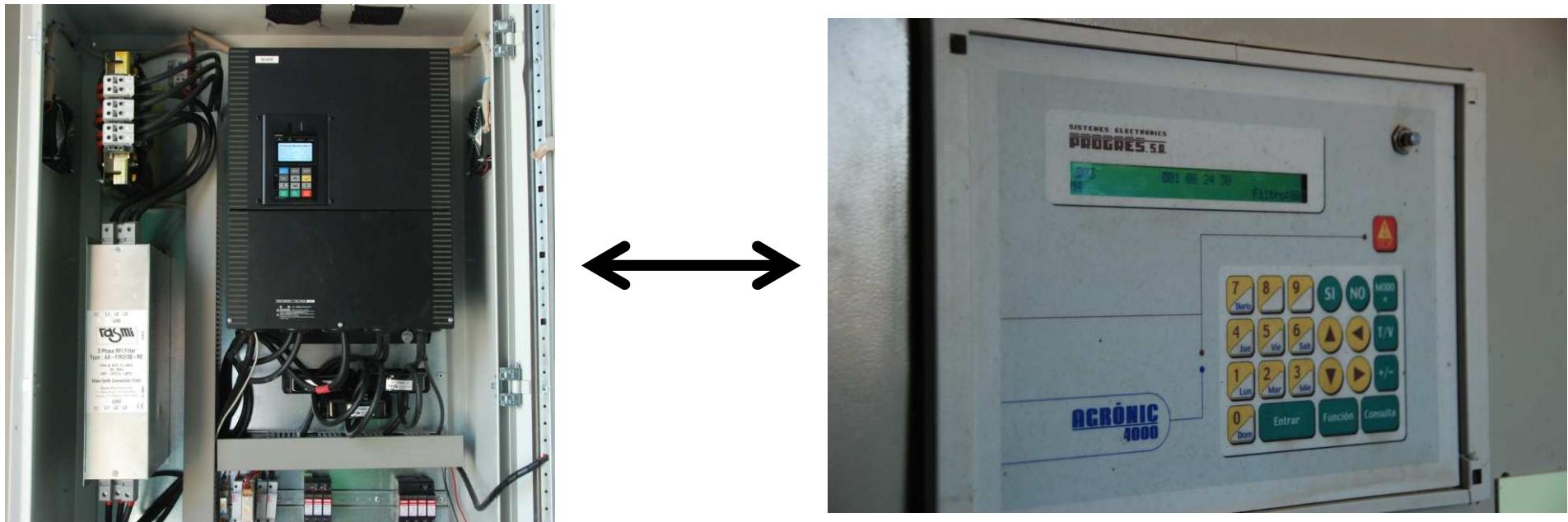
- Golpe de ariete: reduce el tiempo de vida de la parte hidráulica
- Sobretensiones: reduce el tiempo de vida del variador y motobomba

# Ajustar generación FV y necesidades de riego:

Seguidor N-S:



# Integrar el sistema FV en el sistema de riego existente



Reducir el grado de novedad:

- El agricultor sigue haciendo lo mismo
- Incentivo para reducir el consumo de agua

# Asegurar la fiabilidad durante 25 años

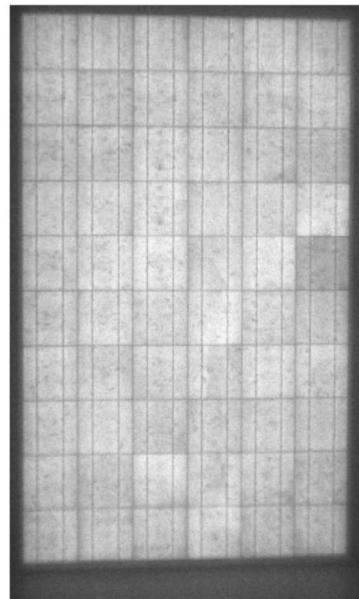
Módulo N1041303028116

## Sistemas de calidad = fiabilidad:

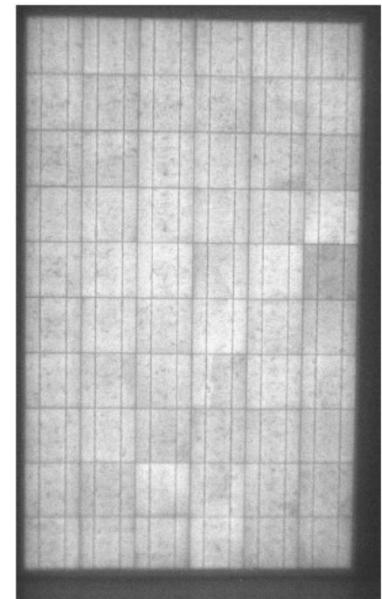
- Especificaciones técnicas
- Control de calidad
- Incluidas en contrato

## Seguidor:

- Probado



Electroluminiscencia inicial



Electroluminiscencia tras 7 días a -1000V

# Advertencias

## CALIDAD DE LOS SISTEMAS:

- Si seguidor no probado, mejor estructura estática
- Contrato sin especificaciones técnicas y control de calidad = papel mojado

## FIABILIDAD ANTE PASO DE NUBE:

- Si no tienen resuelto esto, no es solar

## BOMBEO A PRESIÓN Y CAUDAL CONSTANTE:

- Si te dicen que es a presión constante, hay muchas probabilidades que sea “a balsa” sobredimensionado
- Si tiene control por presión, el problema de la intermitencia es más grave

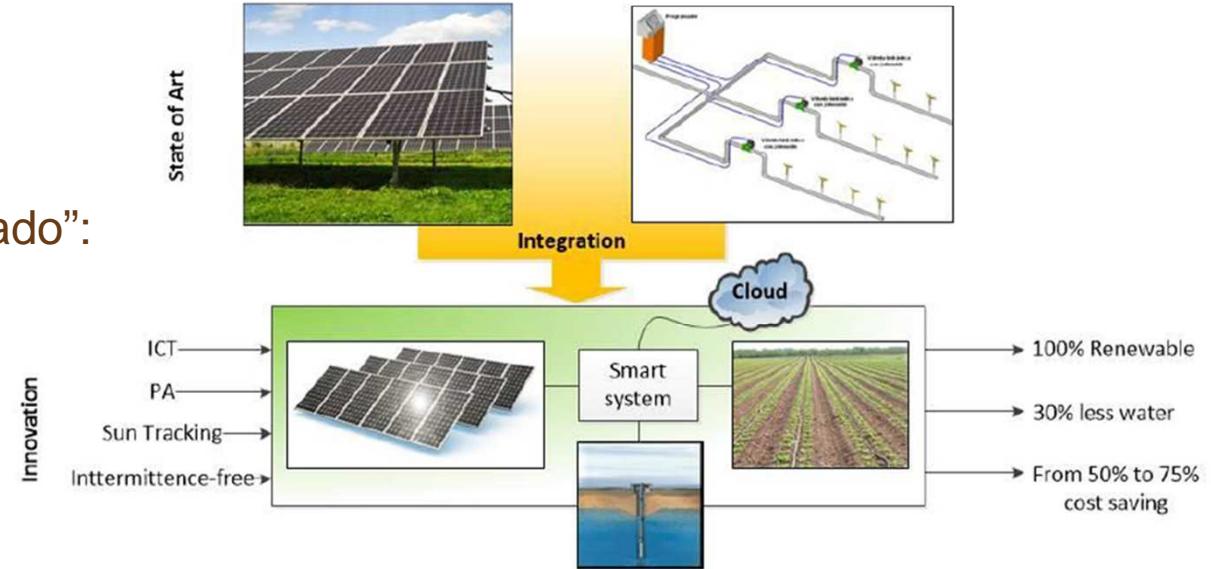
## PROGRAMACIÓN Y SINTONIZACIÓN DE LOS VARIADORES:

- Si viene programado de fábrica, no funciona

# MASLOWATEN

## METODOLOGÍA:

- 5 “primeras aplicaciones de mercado”:
  - Alicante (España): 360 kWp
  - Valladolid (España): 160 kWp
  - Alentejo (Portugal): 140 kWp
  - Marrakech (Marruecos): 120 kWp
  - Cerdeña (Italia): 40 kWp



- Validación técnica y económica
- Penetración de mercado:
  - Visitas técnicas a los demostradores
  - Exhibiciones y ferias
  - Acreditaciones y especificaciones técnicas

## TRANSFERENCIA de TECNOLOGÍA:

- Transferencia a al menos 20 PYMES
- Al menos 5GW en el sur de Europa en 2018
- Seminarios internacionales

# TRANSFERENCIA de TECNOLOGÍA

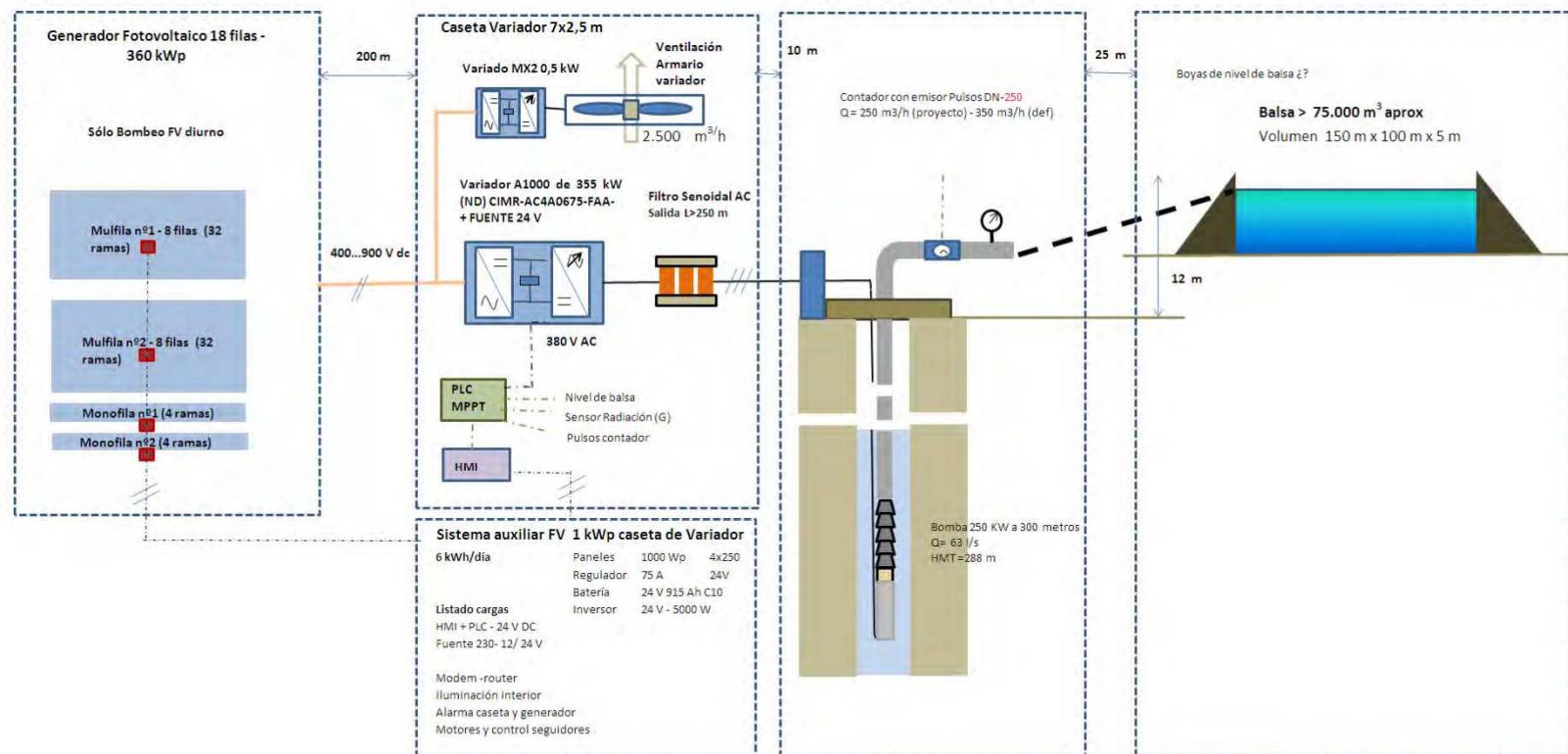
## 27 PEQUEÑAS EMPRESAS:

- España:
  - Aquactiva Ambiental
  - Arconi Solutions
  - Artico Ingurumena
  - Cía. Regional de Energía Solar
  - Electromecánica Luberr
  - Enerpal Proyectos Energéticos
  - Enerproyecta
- Imel
  - FRUJIMOR
  - Grupo Chamartin
  - INVERSOLAR
  - KATAE
  - KTR SOLAR
- BOMBEATEC
- ONGRUB
- PVRES
- Proyectos y Montajes Eléctricos Riojanos
- QPV
- Riegos Del Duero
- Sinelec-Sur
- Solar Jiennense
- Water automatic & distribution systems

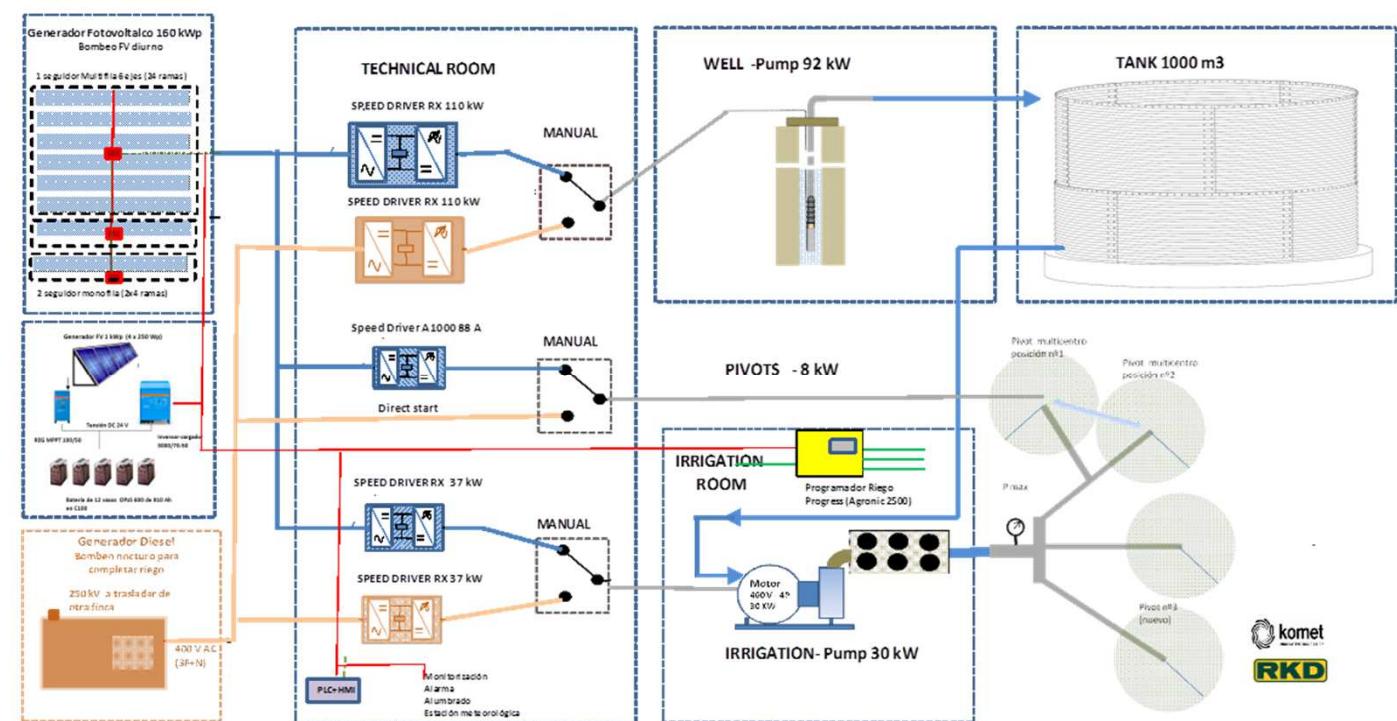
## Villena (360 kWp): solo FV, Bombeo a balsa



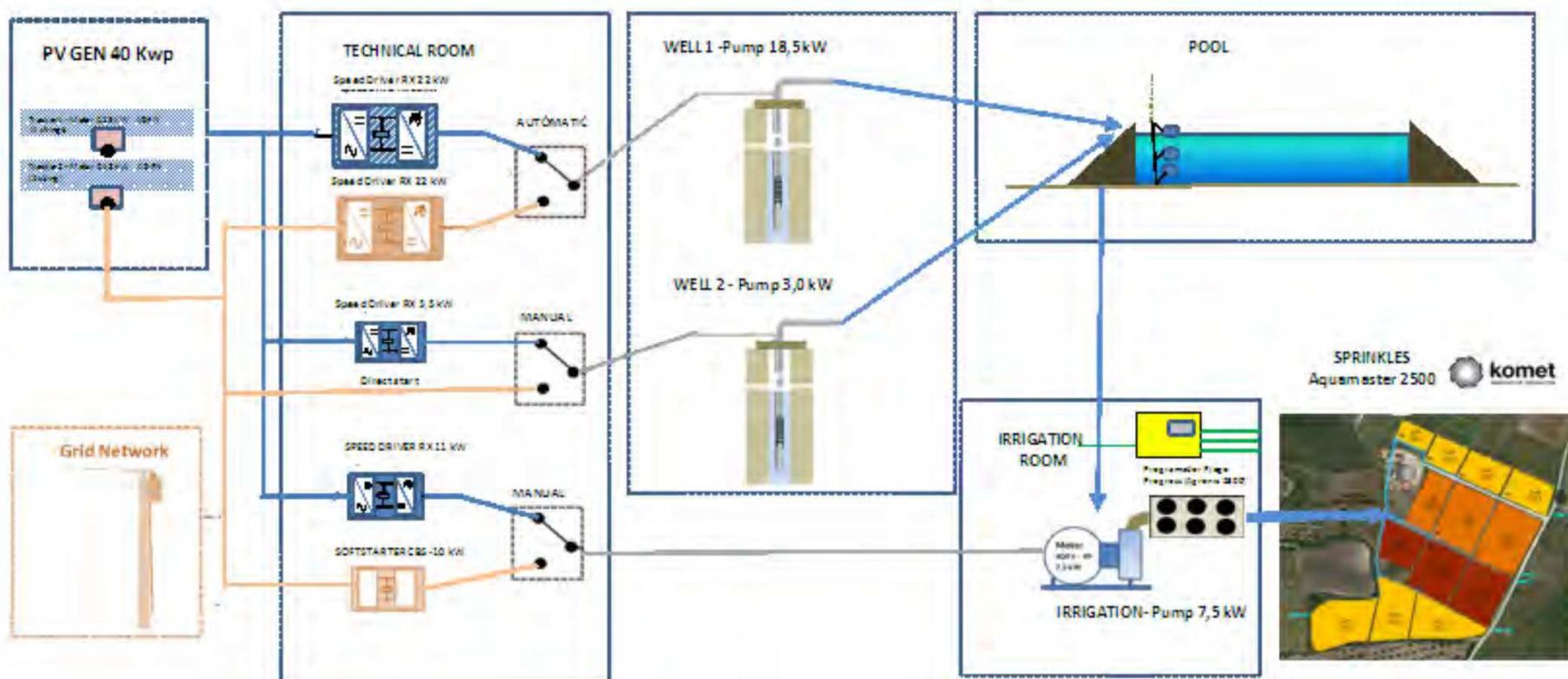
650.000 m<sup>3</sup>/año  
288 m  
63 l/s



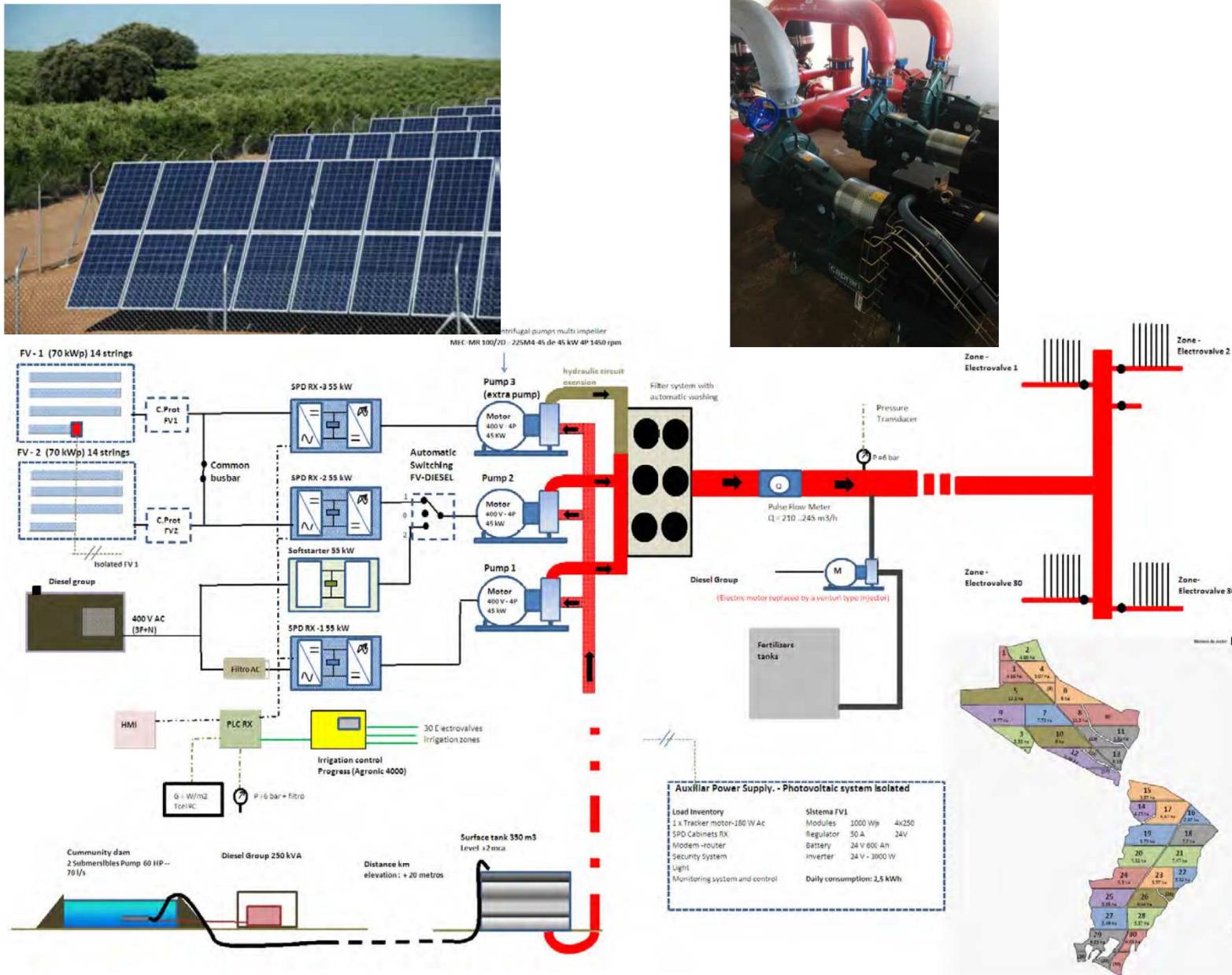
## Valladolid (160 kWp): solo FV, pivot con aspersores de baja presión, presión constante



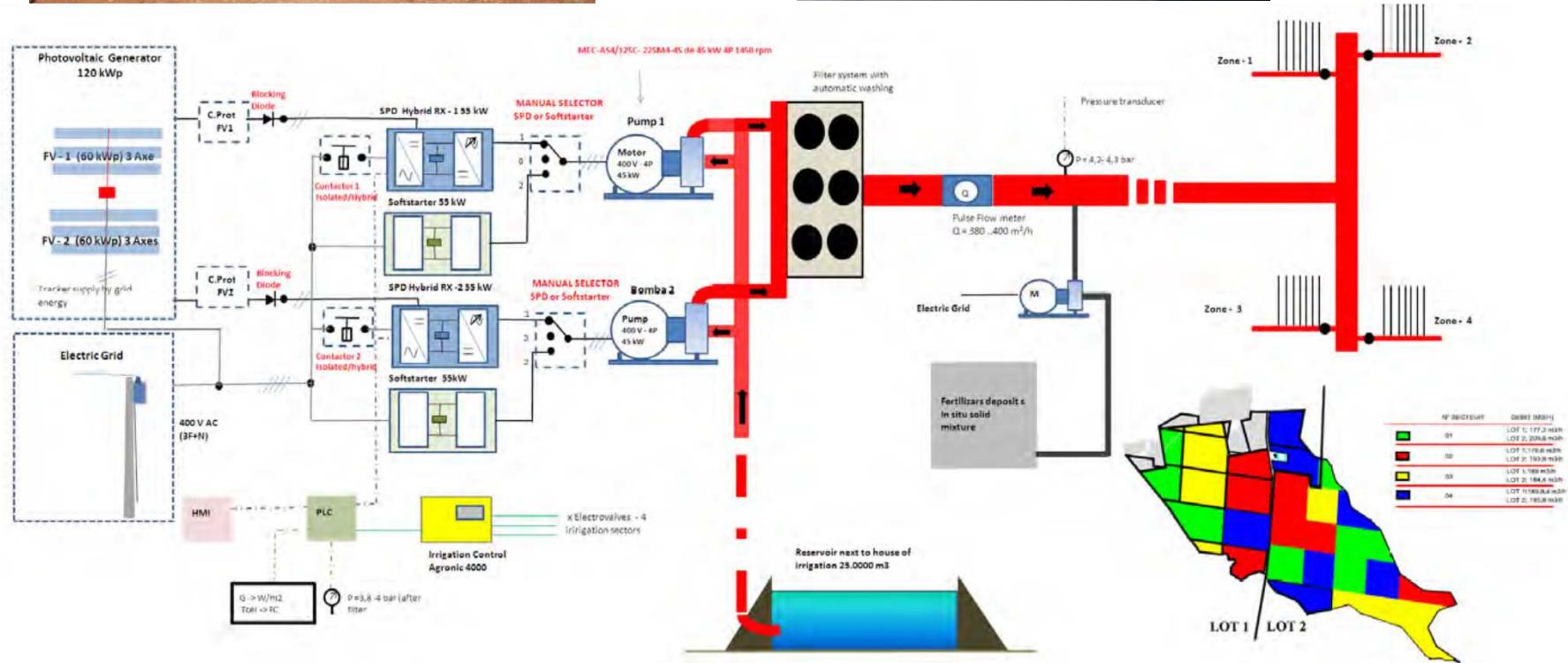
Uri (40 kWp): solo FV, a balsa y con aspersores de baja presión



## Alter do Chao (140 kWp): híbrido FV-diesel, gota a gota, presión constante



## Tamalelt (120 kWp): híbrido FV-red, gota a gota, presión constante



## Aldeanueva de Ebro (213 kWp): solo FV, Bombeo a balsa

240 m  
216 m<sup>3</sup> /h



213 kWp



2x90 kWp



2x75 kWp

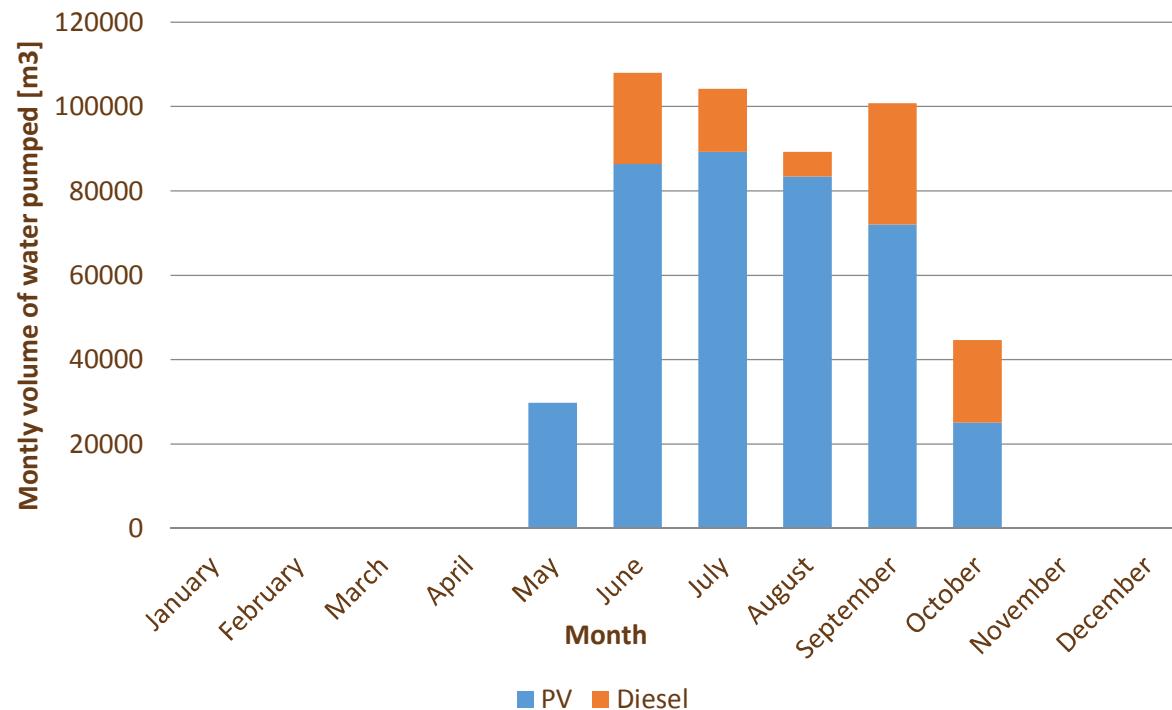


70.000 m<sup>3</sup>



# Resultados

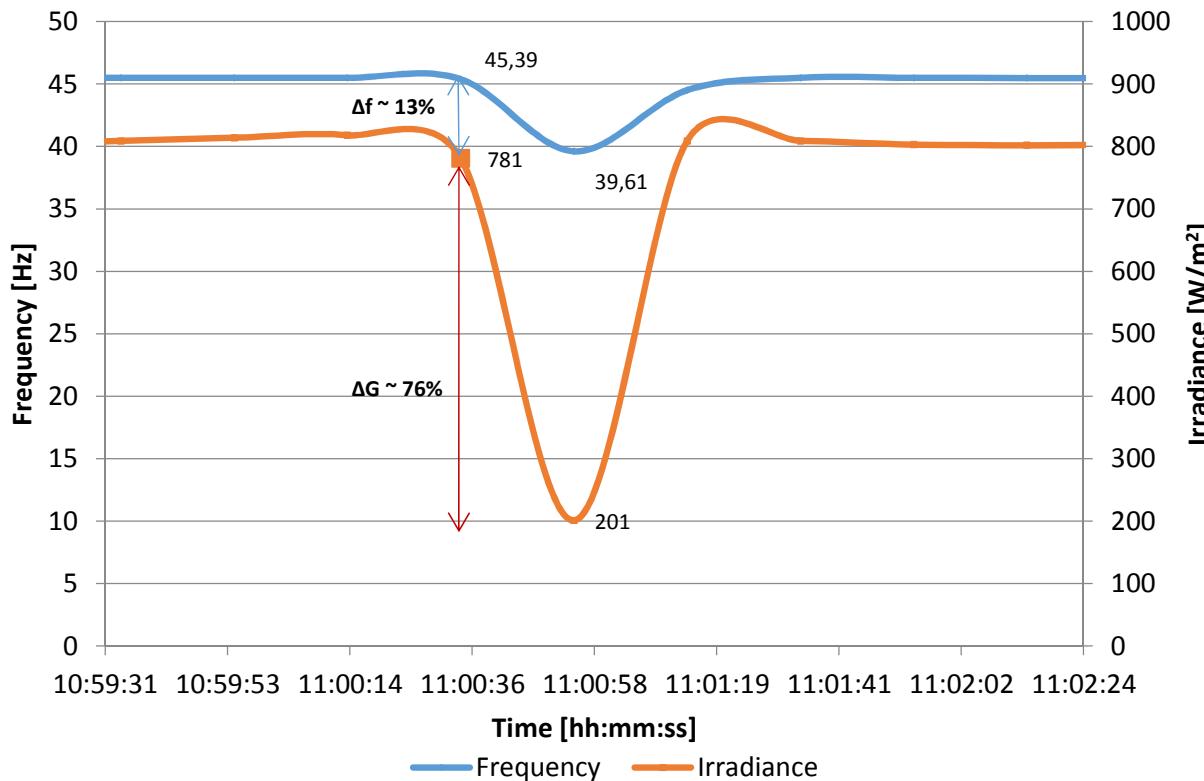
## Técnicos



Portugal (2016): 476.640 m<sup>3</sup>; 81% FV;

# Resultados

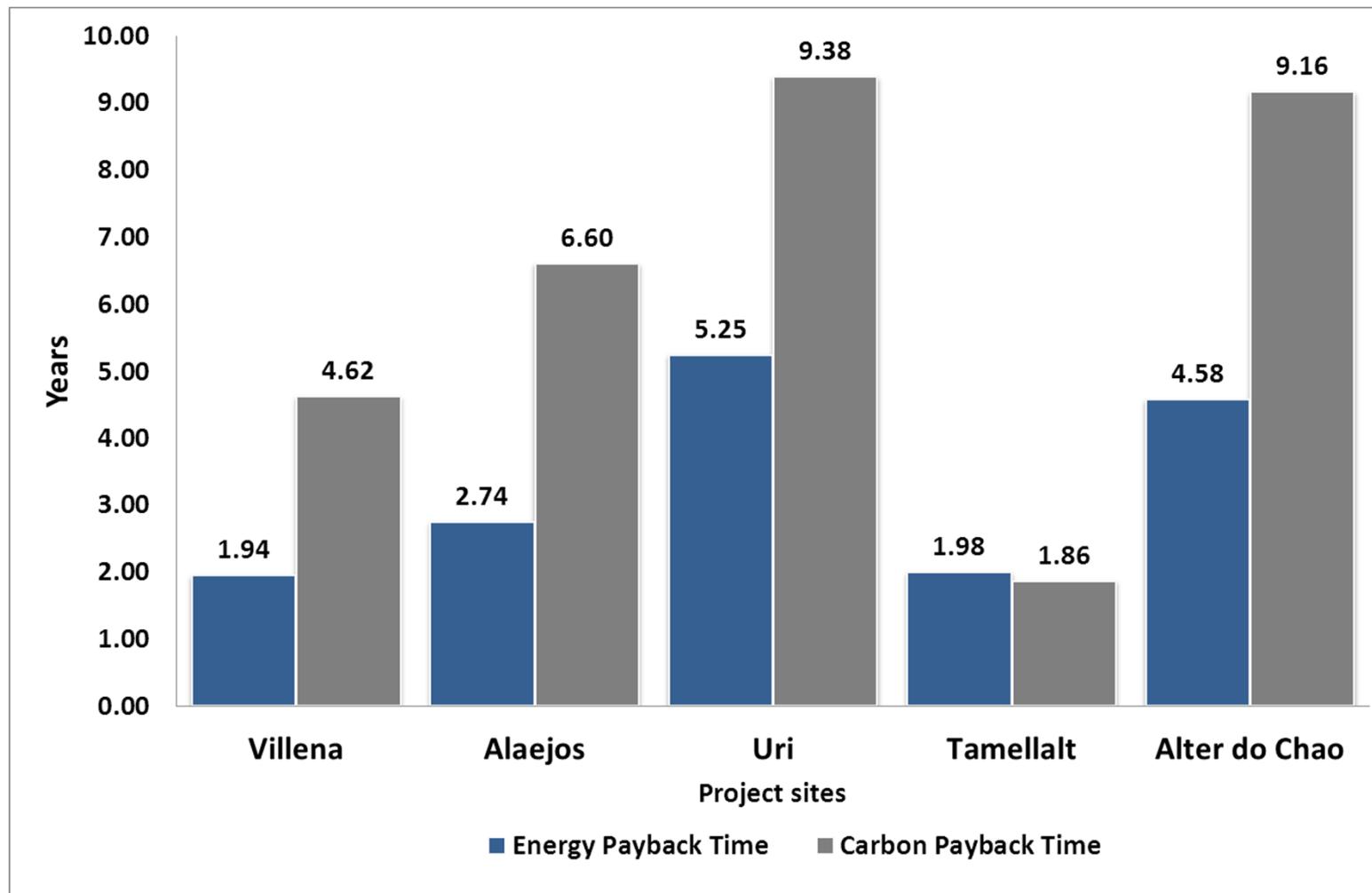
## Técnicos



Villena: 10:59:31 hasta 11:02:24 del 19 Octubre 2017

# Ciclo de Vida

## Energy and Carbon payback times



# EVALUACIÓN ECONÓMICA

**¿Cuánto cuesta instalar los sistemas?**

	Villena	Alaejos	Cerdeña	Marruecos	Portugal
<b>Tamaño (kWp)</b>	360	160	40	120	140
<b>CAPEX (€)</b>	433.098	200.351	57.778	148.704	120.277
<b>CAPEX unitario (€/Wp)</b>	1,20	1,25	1,44	1,24	1,22

# EVALUACIÓN ECONÓMICA

**¿Cuánto cuesta operar los sistemas?**

	Villena	Alaejos	Cerdeña	Marruecos	Portugal
<b>Tamaño (kWp)</b>	360	160	40	120	140
<b>OPEX (€/año)</b>	12.993	6.011	3.000	4.461	5.108
<b>OPEX unitario (€/Wp y año)</b>	0,0361	0,0376	0,0750	0,0372	0,0365

# EVALUACIÓN ECONÓMICA

## Escenario Financiero a 25 años

Estructura:

Equity: 20%; Deuda: 80%

	Villena	Alaejos	Cerdeña	Marruecos	Portugal
<b>Equity (%)</b>	0,8	0,8	1	1	1,1
<b>Deuda (%)</b>	4	4	4	4	4
<b>Weighted Average Cost of Capital (WACC, %)</b>	3	3	3	3	3
Risk free rate (Rf, %)	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37
Market premium risk (Rm, %)	1,1	1,1	1,35	1,7	1,7
Income Corporate Tax (T, %)	25	25	24		21
Tasa de inflación media (%)	2,3	2,3	1,4	1,2	3,5

# Resultados

## Económicos

Coste de la energía	€/kWh	Alter do Chão	Ahorro [%]	Villena	Ahorro [%]	Alaejos	Ahorro [%]	Cerdeña	Ahorro [%]	Tamellalt	Ahorro [%]
		0,33		0,21		0,23		0,54		0,21	
Previo   25 años		0,33		0,21		0,23		0,54		0,21	
FV   25 años	€/kWh	0,13	-61%	0,04	-79%	0,08	-64%	0,18	-66%	0,07 €	-68%

# Resultados

## Económicos

Financial Indicators		Alter do Chão	[%]	Villena	[%]	Alaejos	[%]	Sardinia	[%]	Tamellalt	[%]
Annual ELECTRICITY / DIESEL consumption   before PV system	kWh or L	41.246		598.147		58.671		30.033		273.102	
Annual ELECTRICITY / DIESEL consumption   after PV system	kWh or L	7.866		0		9.423		0		42.765	
	<i>diff</i>	<b>33.380</b>	<b>-81%</b>	<b>598.147</b>	<b>-100%</b>	<b>49.248</b>	<b>-84%</b>	<b>30.033</b>	<b>-100%</b>	<b>230.337</b>	<b>-84%</b>
ELECTRICITY / DIESEL cost	€/kWh or €/L	<b>0,580 €</b>		<b>0,105 €</b>		<b>0,460 €</b>		<b>0,270 €</b>		<b>0,104 €</b>	
Average annual inflation rate [25 years] <sup>1</sup>	%	4,5%		4,4%		4,4%		4,4%		4,8%	
Annual Saving	€	30.924		100.850		35.466		11.633		40.345	
Financial Indicators											
Payback Period	years	<b>9</b>		<b>7</b>		<b>9</b>		<b>8</b>		<b>7</b>	
NPV	€	<b>355.119</b>		<b>1.337.243</b>		<b>420.826</b>		<b>142.068</b>		<b>452.594</b>	
IRR	%	11%		16%		11%		13%		16%	
CAPEX	€	<b>170.277</b>		<b>433.098</b>		<b>200.351</b>		<b>57.778</b>		<b>148.704</b>	
WACC	%	3%		3%		3%		3%		4%	

<sup>1</sup> the average annual inflation rate includes the estimated inflation rate [source: <http://www.inflation.eu/>] + an additional spread of 2%

<sup>2</sup> 31% is the higher ICR rate in Morocco with the exception of the ICR rate applicable to leasing companies and credit institutions [37%]

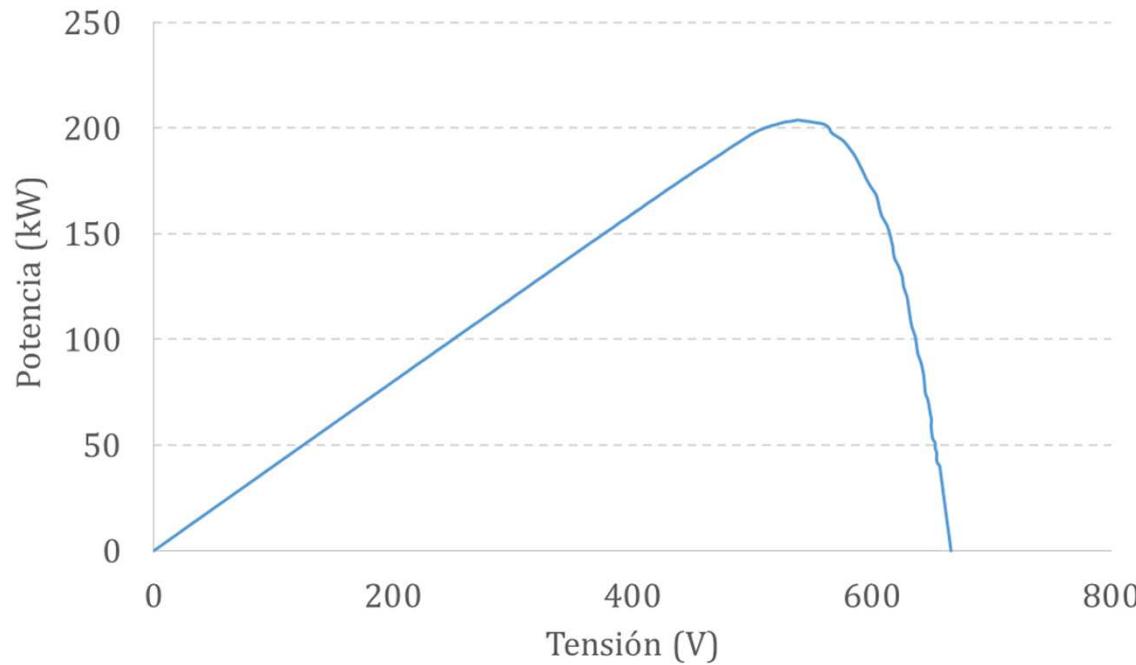
Source: Consortium Information - November 2017



TIR	11%	16%	11%	13%	16%
-----	-----	-----	-----	-----	-----

# Resultados en Aldeanueva

## Técnicos



Relación potencia/tensión del generador fotovoltaico

# Resultados en Aldeanueva

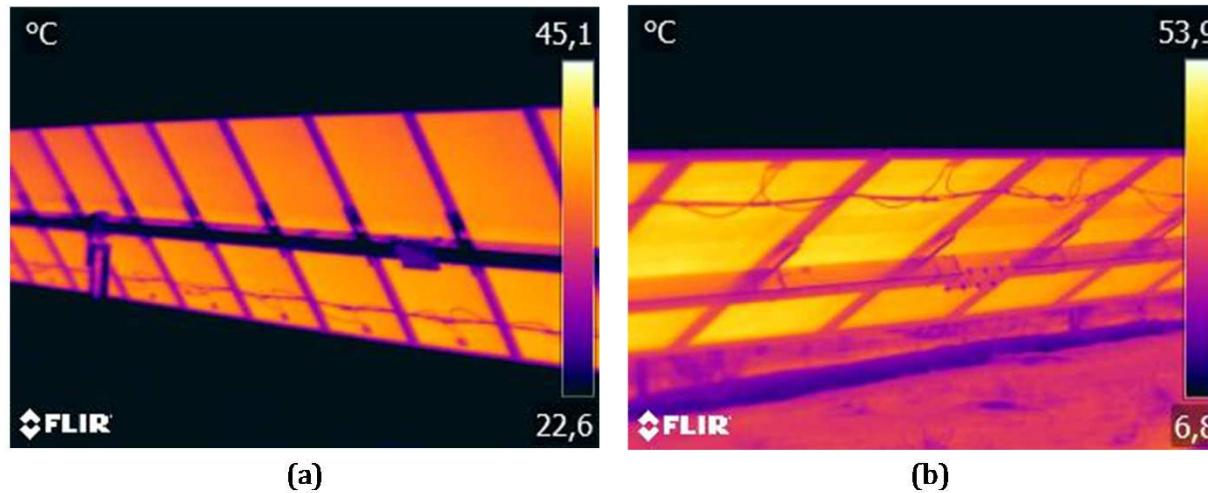
## Técnicos

Fila	Módulos medidos	P* (W)	Desv. típica (%)	Dif vs P <sub>NOM</sub> (%)
1	52	345,7	0,79%	-2,6%
3	52	349,0	0,68%	-1,7%
5	52	344,5	0,73%	-3,0%
<b>Promedio</b>	156	346,4	0,74%	-2,4%

Resultados de las medidas de módulos individuales

# Resultados en Aldeanueva

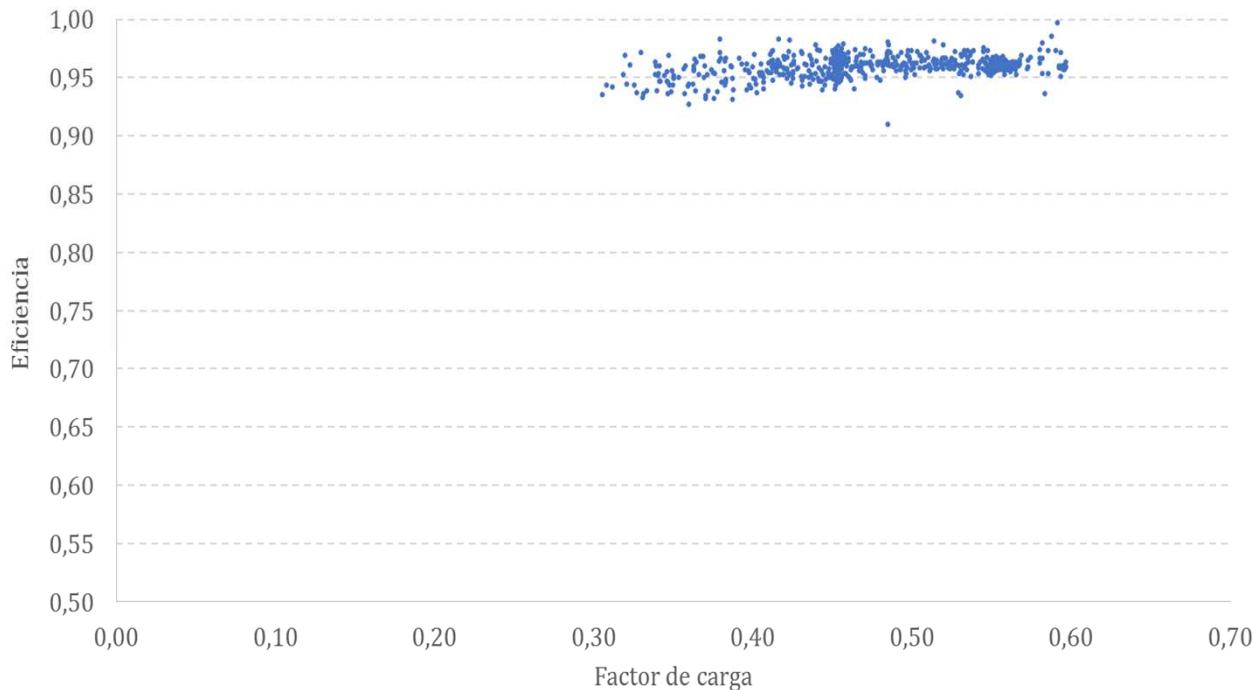
## Técnicos



Inspección termográfica

# Resultados en Aldeanueva

## Técnicos



Eficiencia del variador 1 en función del factor de carga total

# Resultados en Aldeanueva

## Técnicos

Año	Mes	E <sub>PV</sub>	V <sub>PV</sub>	WT1 <sub>dav</sub>	WT2 <sub>dav</sub>
		(kWh)	(m <sup>3</sup> )	(h)	(h)
2018	julio	7225	6690	11,2	11,5
	agosto	32845	30279	9,6	9,8
	septiembre	27394	24436	8,6	8,5
	octubre	18207	15834	5,9	5,7
	noviembre	8435	7079	3,2	3,3
	diciembre	9844	8241	4,0	4,0
2019	enero	11662	9606	4,5	4,4
	febrero	20843	17542	7,4	7,4
	marzo	28402	25258	8,6	8,7
	abril	23048	20601	7,6	7,6
	mayo	28339	24516	8,8	9,0
	junio	30549	26571	9,8	9,6
<b>Total</b>		<b>246793</b>	<b>216654</b>	<b>7,4</b>	<b>7,5</b>

Energía producida, volumen de agua bombeado y número de horas de funcionamiento del sistema

# Ahorros en Aldeanueva (Balsa – 211kWp)

## Consumo de la red desde octubre 2016 a septiembre 2017

- Energía en P1, P2 y P3: 613.582 kWh
- Coste total de la factura: 66.324,92 €

10,8 c€/kWh

PPA: 6,9 c€/kWh

Ahorro: 36%

- Energía en P1 y P2 (43%): 263.840 kWh
- Coste por P1 y P2 (75%): 49.743,69 €

18,8 c€/kWh

PPA: 6,9 c€/kWh

Ahorro: 63%

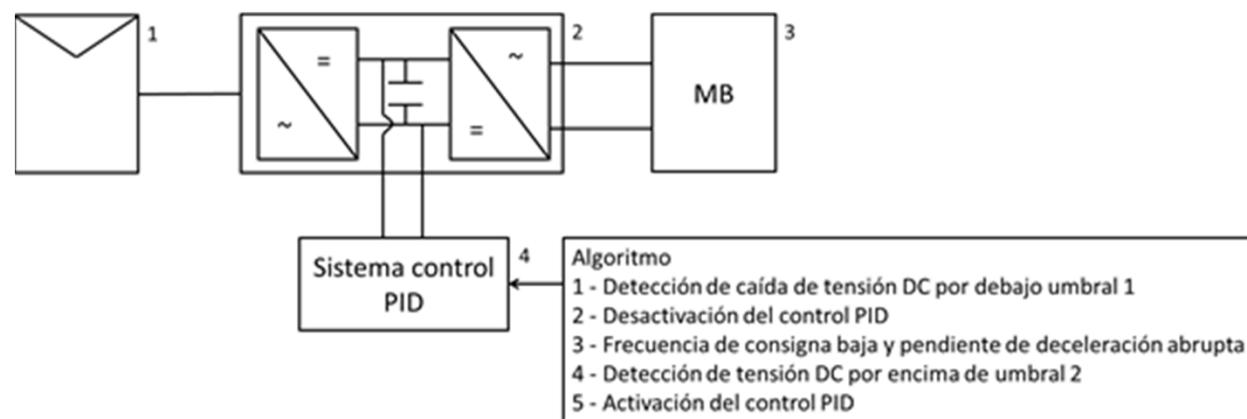


# TRES PATENTES

Procedure and control device for PV pumping systems

Electrically hybridized PV pumping irrigation systems

Hydraulically hybridized PV pumping irrigation systems



# PYMES

## TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA A 27 PEQUEÑAS EMPRESAS:

- España:
  - Aquactiva Ambiental
  - Arconi Solutions
  - Artico Ingurumena
  - Cía. Regional de Energía Solar
  - Electromecánica Luberr
  - Enerpal Proyectos Energéticos
  - Enerproyecta
  - Imel
  - FRUJIMOR
  - Grupo Chamartin
  - INVERSOLAR
  - KATAE
  - KTR SOLAR
  - BOMBEATEC
  - ONGRUB
  - PVRES
  - Proyectos y Montajes Eléctricos Riojanos
  - QPV
  - Riegos Del Duero
  - Sinelec-Sur
  - Solar Jiennense
  - Water automatic & distribution systems

# El Problema de la Financiación

- Las CCRR tienen que hacer la inversión inicial
- Las CCRR confían en los instaladores locales (PYMEs)
- Pero las PYMES tienen poco acceso a la financiación

# Financiación tradicional

CCRRs  $\longleftrightarrow$  PYMEs

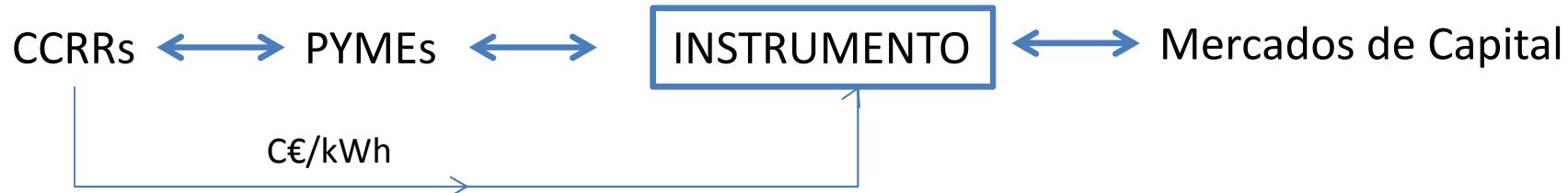


Banco

# Financiación PPA



# Nuevo Instrumento MASLOWATEN+RESFARM

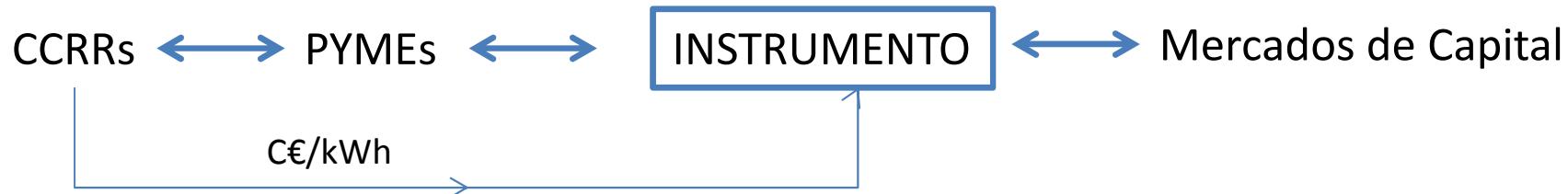


- **CCRRs:**
  - Sin inversión inicial
  - Sin riesgos
  - Contrato a largo plazo
  - Integra subvenciones
- **PYMEs:**
  - Acceso directo a Mercados de Capital
  - Más financiación
  - Posibilidad de crecer
- **Requisitos:**
  - Agencia de Calificación:
    - 18 meses de funcionamiento
    - Agregación mínima de 40MW
  - Transparencia y calidad

# DESARROLLO EN FASES

- 18 meses de contrato estándar PPA
- Agencia de calificación
- Acceso a los Mercados de Capital

# ¿Qué se necesita?



- CCRRs que quieran hacer riegos FV:
  - Para agregar 40MW
  - Poner a disposición un terreno
- PYMEs que sepan hacer riegos FV de calidad
- El INSTRUMENTO para funcionar 18 meses

# INSTRUMENTO

**Ya montado por MASLOWATEN + RESFARM**

- Hasta 100MW
- Permite integrar subvenciones:
  - Junta de Castilla y León
  - CA La Rioja
  - Junta de Andalucía
  - Junta de Extremadura

# Precios para el Regante

Precio electricidad (c€/kWh)	<100kW	100- 300kW	300- 500kW	500kW- 1MW	>1MW
<b>Balsa</b>	9	6,9	6,2	4,8	3,9
<b>Presión cte</b>	10,6	8,5	7,2	5,6	4,6

# Ahorros en Aldeanueva (Balsa – 211kWp)

## Consumo de la red desde octubre 2016 a septiembre 2017

- Energía en P1, P2 y P3: 613.582 kWh
- Coste total de la factura: 66.324,92 €

10,8 c€/kWh

PPA: 6,9 c€/kWh

Ahorro: 36%

- Energía en P1 y P2 (43%): 263.840 kWh
- Coste por P1 y P2 (75%): 49.743,69 €

18,8 c€/kWh

PPA: 6,9 c€/kWh

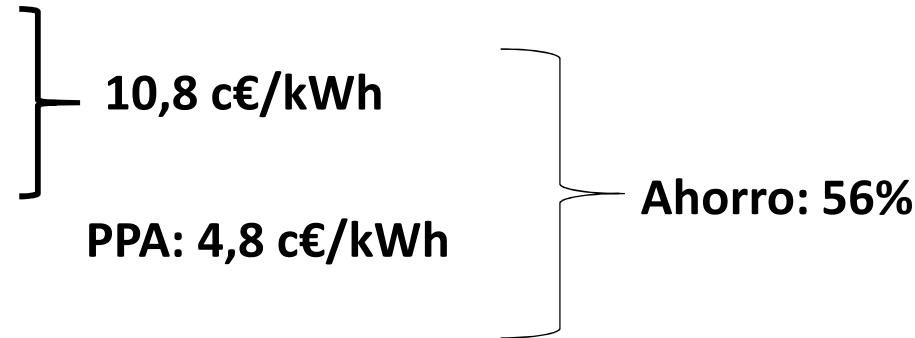
Ahorro: 63%



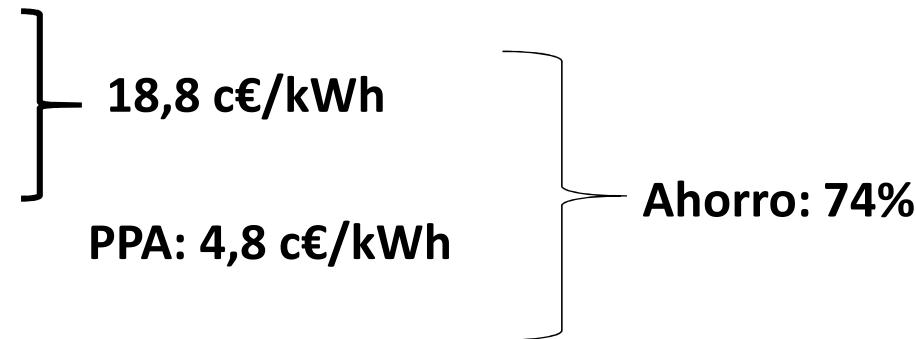
# Ahorros en Aldeanueva (Balsa – 600kWp)

## Consumo de la red desde octubre 2016 a septiembre 2017

- Energía en P1, P2 y P3: 613.582 kWh
- Coste total de la factura: 66.324,92 €



- Energía en P1 y P2 (43%): 263.840 kWh
- Coste por P1 y P2 (75%): 49.743,69 €



# Ahorros en Aldeanueva (Balsa – 1MW)

## Consumo de la red desde octubre 2016 a septiembre 2017

- Energía en P1, P2 y P3: 613.582 kWh
- Coste total de la factura: 66.324,92 €

**10,8 c€/kWh**  
PPA: 3,9 c€/kWh

**Ahorro: 64%**

- Energía en P1 y P2 (43%): 263.840 kWh
- Coste por P1 y P2 (75%): 49.743,69 €

**18,8 c€/kWh**  
PPA: 3,9 c€/kWh

**Ahorro: 79%**

# ¿Qué hago si quiero hacer un riego FV?

Contactar con Luis Narvarte:

[Luis.narvarte@upm.es](mailto:Luis.narvarte@upm.es)



Para contactar con nosotros

WEB: <https://bosola.es/>