



Grupo Tragsa

Garantía Profesional. Servicio Público



JORNADA SOBRE EFICIENCIA HÍDRICA Y ENERGÉTICA EN PROYECTOS DE I+D+i H2020

OPTIREG: GESTIÓN EFICIENTE DE REGADÍOS

EFICIENCIA ENERGÉTICA



DIEGO NARANJO HERNÁNDEZ

ÍNDICE

- 00** OPTIREG. I+D+I GRUPO TRAGSA
- 01** CARACTERIZACIÓN DE CC.RR. EN CyL
- 02** ANÁLISIS HIDRÁULICO EB
- 03** ANÁLISIS ENERGÉTICO EB
- 04** MANUAL MEDIDAS DE AHORRO ENERGÉTICO

00

OPTIREG.I+D+i GRUPO TRAGSA

❑ GRUPO DE TRABAJO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA: OBJETIVO

- ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL REGADÍO COMO CONSUMIDOR DE ENERGÍA
- DETECCIÓN DE PROBLEMAS DE FUNCIONAMIENTO
- APLICACIÓN DE ESTRATEGIAS DE MEJORA DE EFICIENCIA

❑ ZONAS PILOTO

- ZONAS PILOTO EN CC.RR. CUENCA DEL DUERO
- ACUERDOS DE COLABORACIÓN CON 10 CC.RR.
- ESTUDIO DE 20 ESTACIONES DE BOMBEO (BOMBEO DIRECTO A RED Y BOMBEO A BALSA)
- ANÁLISIS DE SU COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO Y ENERGÉTICO

01 CARACTERIZACIÓN DE CC.RR. EN CyL

❑ OBJETIVO: (BENCHMARKING)

- AUDITORÍA DE LAS CC.RR. _MEDIANTE EL ESTUDIO Y ANÁLISIS DE DATOS
- OBTENCIÓN DE INDICADORES DE GESTIÓN PARA LA TOMA DE DECISIONES

❑ TRABAJO REALIZADO

- RECOPIACIÓN, TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS HISTÓRICOS
- ADAPTACIÓN DE LA METODOLOGÍA A LAS PARTICULARIDADES DE CADA C.RR.
- ESTUDIO REALIZADO SOBRE UN CONJUNTO DE 30 CC.RR. DE LA CUENCA DEL DUERO

❑ UTILIDAD:

- EVALUAR EL FUNCIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS CONSUMIDORES DE ENERGÍA
- EVALUAR EL APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DEL DISEÑO Y MANEJO DEL SISTEMA
- OBTENER VALORES PARA CALIFICAR LA GESTIÓN ENERGÉTICA DENTRO DE CADA CC.RR.
- DETECTAR DISFUNCIONALIDADES PARA REALIZAR UN ESTUDIO PATOLÓGICO MÁS DETALLADO

01

CARACTERIZACIÓN DE CC.RR. EN CyL

INDICADORES BENCHMARKING (1)

ACRÓNIMO	NOMBRE DEL INDICADOR	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	CÁLCULO
Sr	Superficie regada	ha	· Superficie total de las parcelas en el SH o en la CCRR que han recibido aporte de agua de riego en la campaña. Está relacionada con la intensidad de cultivos, pudiendo ser superior a la Sa, ya que una misma parcela con dos cultivos durante la campaña supone una Sr del doble de su superficie	
ED	Eficiencia de distribución	%	· Cociente entre el volumen de agua de riego suministrado a los usuarios y el volumen de agua que entra al sistema · Indica el porcentaje de agua que entra en el sistema y que no llega a los usuarios finales por diferentes causas: agua fugada por fallos y roturas en la red; vaciados controlados de la red por los desagües; errores de los contadores...	$ED = \frac{Vs}{V_T} \cdot 100$
VsSr	Suministro de agua por unidad de área regada	m ³	· Volumen suministrado a los usuarios del SH o la CCRR respecto a la superficie regada	$VsSr = \frac{Vs}{Sr}$

		2010	2011	2012	2013	2014	2015
Sr	Superficie regada (ha)	24.952	37.031	33.164	21.533	23.215	22.679
ED	Eficiencia de distribución (%)	96	93	94	96	93	96
VsSr	Suministro de agua por unidad de área regada (m ³ ha ⁻¹)	3.703	4.047	4.072	4.536	4.934	5.110

ED = 95%

01

CARACTERIZACIÓN DE CC.RR. EN CyL

INDICADORES BENCHMARKING (2)

ACRÓNIMO	NOMBRE DEL INDICADOR	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	CÁLCULO
NcSr	Potencia contratada por unidad de área regada	kW ha ⁻¹	· Cociente entre la máxima potencia contratada y la superficie de regada del SH o la CCRR	$NcSr = \frac{MaxNc_{Pi}}{Sr}$
NcVs	Potencia contratada por volumen de agua suministrado	kW hm ⁻³	· Cociente entre la máxima potencia contratada y el volumen de agua suministrado a los usuarios	$NcVs = \frac{MaxNc_{Pi}}{Vs}$
INc	Índice de potencia contratada	kW hm ⁻³ mca ⁻¹	· Cociente de la máxima potencia contratada entre el volumen de agua que entra al sistema y la altura manométrica nominal	$INc = \frac{MaxNc_{Pi}}{Vs \cdot Hm}$

		2010	2011	2012	2013	2014	2015
<u>NcSr</u>	Potencia contratada por unidad de área regada (kW ha ⁻¹)	2,64	2,60	2,30	2,05	1,55	1,30
<u>NcVs</u>	Potencia contratada por volumen de agua suministrado (kW hm ⁻³)	970	591	448	426	318	245
<u>INc</u>	Índice de potencia contratada (kW hm ⁻³ mca ⁻¹)	21,5	9,5	7,1	6,9	6,0	4,5

DESCENSO DE kW/ha

01

CARACTERIZACIÓN DE CC.RR. EN CyL

INDICADORES BENCHMARKING (3)

ACRÓNIMO	NOMBRE DEL INDICADOR	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	CÁLCULO
EaSr	Energía activa total consumida por unidad de área regada	kWh ha ⁻¹	· Cociente entre la energía activa total facturada en el SH o en la CCRR y la superficie regada	$EaSr = \frac{Ea}{Sr}$
EaV _T	Energía activa total consumida por volumen de agua que entra en el sistema	kWh m ⁻³	· Cociente entre la energía activa total facturada en el SH o en la CCRR y el volumen de agua que entra al sistema	$EaV_T = \frac{Ea}{V_T}$
EEB	Eficiencia energética de bombeo	%	· Cociente entre la energía hidráulica total suministrada y la energía activa total consumida	$EEB = \frac{Ehs}{Ea} \cdot 100$
IEa	Índice de carga de energía activa consumida	kWh hm ⁻³ mca ⁻¹	· Cociente de la energía activa total consumida en el SH o en la CCRR entre el volumen de agua que entra al sistema y la altura manométrica nominal	$IEa = \frac{Ea}{V_T \cdot H_m}$

		2010	2011	2012	2013			2014			2015		
EaSr	Energía activa total consumida por unidad de área regada (kWh ha ⁻¹)	1.157	1.223	1.320	1.541	945	1.104	1.724	946	1.189	1.672	1.044	1.254
EaV _T	Energía activa total consumida por volumen de agua (kWh m ⁻³)	0,316	0,279	0,286	0,282	0,213	0,232	0,282	0,212	0,234	0,285	0,207	0,233
EEB	Eficiencia energética de bombeo (%)	67	66	66	65			66			65		
IEa	Índice de carga de energía activa consumida (kWh hm ⁻³ mca ⁻¹)	4.425	4.169	4.165	4.242			4.197			4.154		

EFICIENCIA ENERGÉTICA BOMBEO > 65%
CLASIFICACIÓN ENERGÉTICA: A EXCELENTE (I.D.A.E.)

01

CARACTERIZACIÓN DE CC.RR. EN CyL

INDICADORES BENCHMARKING (4)

ACRÓNIMO	NOMBRE DEL INDICADOR	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	CÁLCULO
REa _{pi}	Reparto de energía activa consumida por periodo tarifario	%	<ul style="list-style-type: none"> Cociente entre la energía activa facturada para cada periodo tarifario <i>i</i> y la energía activa total facturada Representa el porcentaje de uso de la energía activa consumida para cada periodo tarifario <i>i</i> 	$RE_{pi} = \frac{Ea_{pi}}{Ea} \cdot 100$

			2010	2011	2012	2013		2014		2015	
REa _{pi}	Reparto de energía activa por periodo tarifario (%)	P1	2,7	1,4	0,5	0,3	0,6	0,2	0,3	0,5	0,6
		P2	9,8	10,1	9,0	14,0	6,9	13,0	8,1	13,0	3,0
		P3	3,4	1,4	2,4	3,7	0,7	3,0	0,5	3,0	0,5
	BOMBEO DIRECTO	P4	6,3	4,9	7,3	8,0	2,6	7,0	2,1	7,0	1,2
		P5	4,9	8,3	5,9	4,0	0,8	12,0	2,8	9,0	1,3
		P6	72,7	75,8	74,9	70,0	88,4	65,0	86,1	67,0	93,3

01

CARACTERIZACIÓN DE CC.RR. EN CyL

INDICADORES BENCHMARKING (6)

ACRÓNIMO	NOMBRE DEL INDICADOR	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	CÁLCULO
GCea	Gasto energético por energía	%	· Cociente entre el coste del término de energía y el coste energético	$GCea = \frac{Cea}{CEN} \cdot 100$
GCep	Gasto energético por potencia	%	· Cociente entre el coste del término de potencia y el coste energético	$GCep = \frac{Cep}{CEN} \cdot 100$
CENSr	Coste energético por área regada	€ ha ⁻¹	· Cociente entre el coste energético y la superficie regada	$CENSr = \frac{CEN}{Sr}$
CENVs	Coste energético por volumen suministrado a los usuarios	€ m ⁻³	· Cociente entre el coste energético y el volumen de agua suministrado a los usuarios	$CENVs = \frac{CEN}{Vs}$
ICEN	Índice de coste energético	€ hm ⁻³ mca ⁻¹	· Cociente del coste energético entre el volumen de agua que entra al sistema y la altura manométrica nominal	$ICEN = \frac{CEN}{V_T \cdot Hm}$

		2010	2011	2012	2013			2014			2015		
GCea	Gasto energético por energía (%)	64	71	76	69	85	81	62	80	75	67	82	77
GCep	Gasto energético por potencia (%)	36	29	24	31	15	19	38	20	25	33	18	23
CENSr	Coste energético por área regada (€ ha ⁻¹)	141	145	151	210	84	118	219	83	126	225	99	141
CENVs	Coste energético total por volumen suministrado a los usuarios (€ m ⁻³)	0,042	0,041	0,037	0,040	0,019	0,025	0,038	0,019	0,025	0,040	0,021	0,027
ICEN	Índice de coste energético (€ hm ⁻³ mca ⁻¹)	496	379	403	534	383	423	495	380	416	536	400	446

02 ANÁLISIS HIDRÁULICO EB

□ METODOLOGÍA

- **CARACTERIZACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA EB A LO LARGO DE UNA CAMPAÑA COMPLETA**
- ADQUISICIÓN DE DATOS HISTÓRICOS ALMACENADOS EN EL SCADA Y ELEMENTOS DE MEDICIÓN
- TRATAMIENTO Y DEPURACIÓN DE LOS DATOS
- PARAMETRIZACIÓN DE RESULTADOS:
 - ✓ FRECUENCIA DE CAUDALES Y FDP
 - ✓ CURVA CARACTERÍSTICA GLOBAL ALTURA DE BOMBEO – CAUDAL
 - ✓ CURVA CARACTERÍSTICA GLOBAL RENDIMIENTO EB – CAUDAL
- ANÁLISIS DE DATOS Y CURVAS

02

ANÁLISIS HIDRÁULICO EB

☐ FRECUENCIA DE CAUDALES Y F.D.P. (FUNCIÓN DE DENSIDAD DE PROBABILIDAD)

- OBJETIVO: PARAMETRIZACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LOS CAUDALES BOMBEADOS
- GRÁFICA DE FRECUENCIA DE CAUDALES CONSTRUIDA A PARTIR DE LA ESTRUCTURA DE DEMANDA DE LA RED
- LOS REGISTROS SE TRANSFORMAN EN TIEMPO QUE EL SISTEMA HA TRABAJADO EN LOS INTERVALOS DE CAUDAL
- TIEMPOS INACTIVOS CON CAUDAL 0 HASTA COMPLETAR EL TOTAL DE HORAS DE CAMPAÑA
- FDP CALCULADA A PARTIR DE LA FRECUENCIA DE CAUDALES
- FDP: ESPERANZA DE TIEMPO RELATIVO DE EXISTENCIA DE UN CAUDAL COMPRENDIDO ENTRE Q Y Q+DQ

$$FDP(q) = \left\langle \frac{1}{T} \frac{dt}{dq} \right\rangle = \frac{1}{T} \frac{\langle dt(q) \rangle}{dq} = \frac{\text{Frecuencia_relativa_de_caudales_comprendidos_entre_q_y_q+dq}}{dq}$$

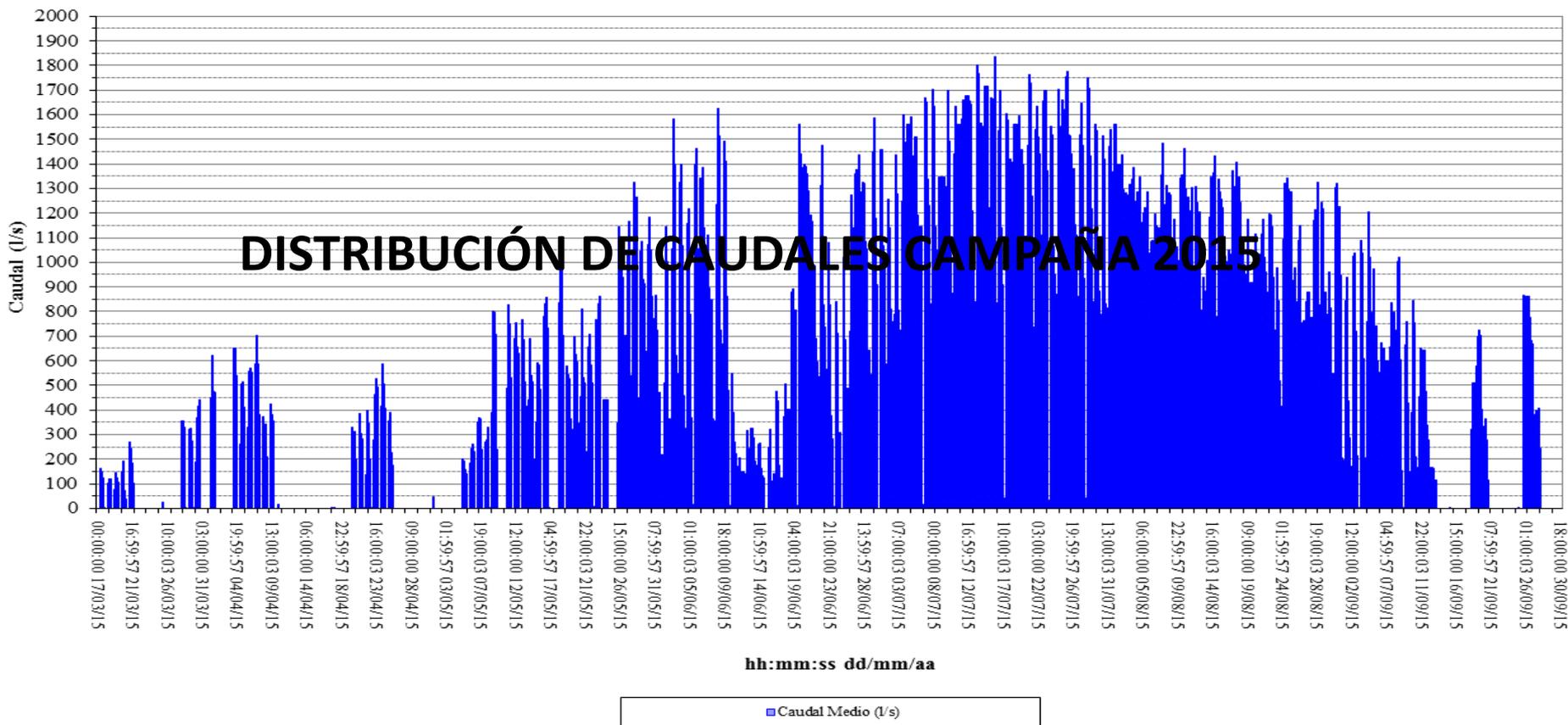
- FDP está normalizada:

$$\int_0^{Q_{\max}} FDP(q) \cdot dq = 1$$

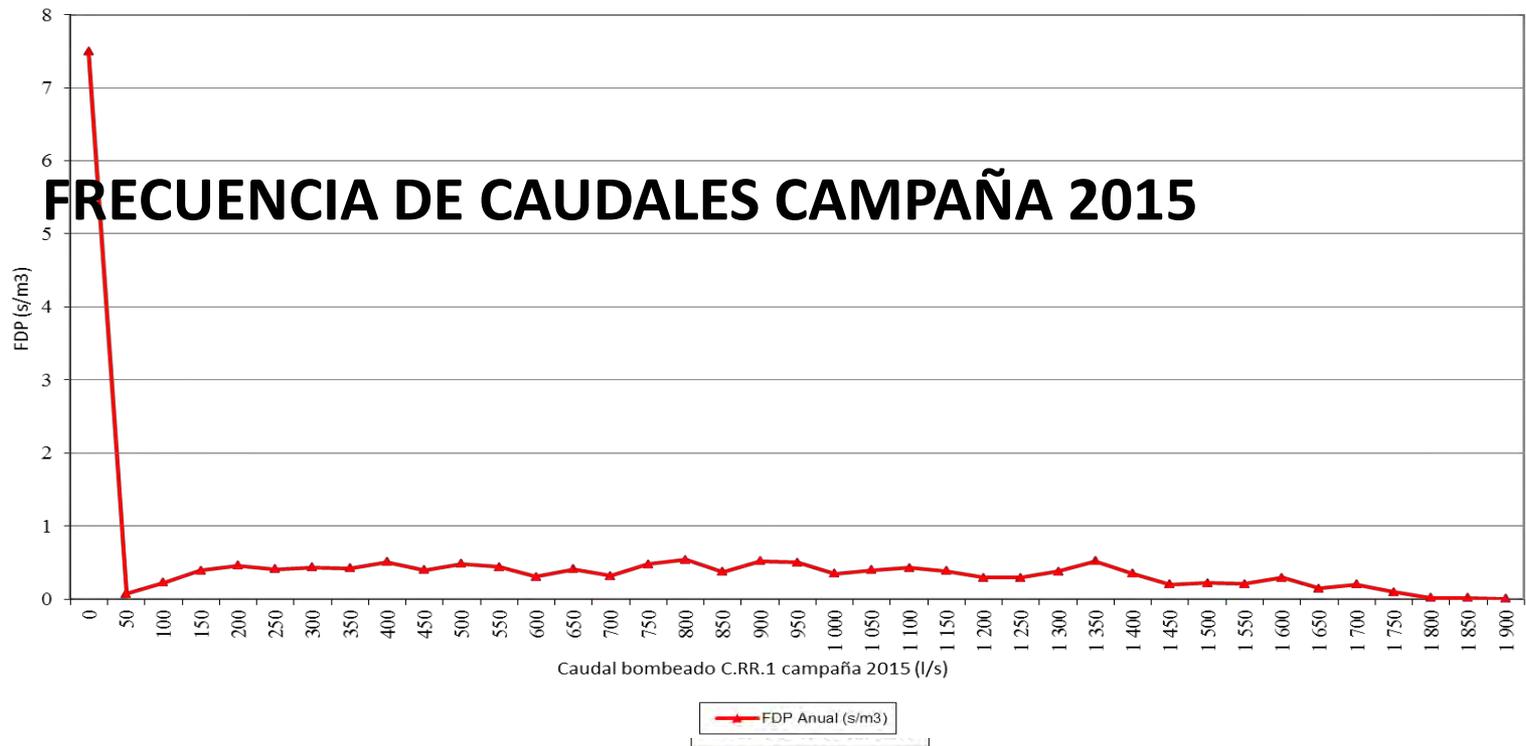
$$V = \int_0^T q(t) \cdot dt = T \cdot \int_0^{Q_{\max}} \frac{1}{T} \cdot \frac{dt}{dq} \cdot q \cdot dq = T \cdot \int_0^{Q_{\max}} FDP(q) q \cdot dq$$

CAUDAL PROMEDIO HORARIO

DISTRIBUCIÓN DE CAUDALES CAMPAÑA 2015



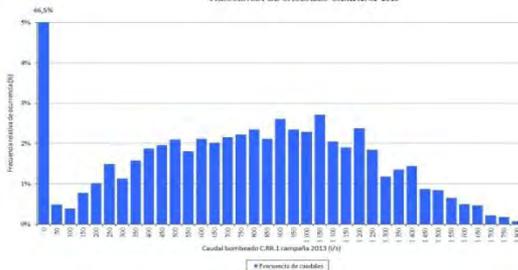
FUNCIÓN DE DENSIDAD DE PROBABILIDAD CAUDALES INSTANTÁNEOS



02

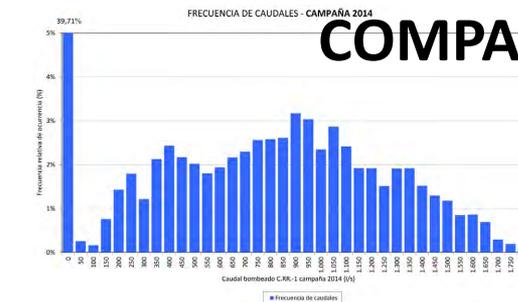
ANÁLISIS HIDRÁULICO EB

FRECUENCIA DE CAUDALES-CAMPAÑA 2013

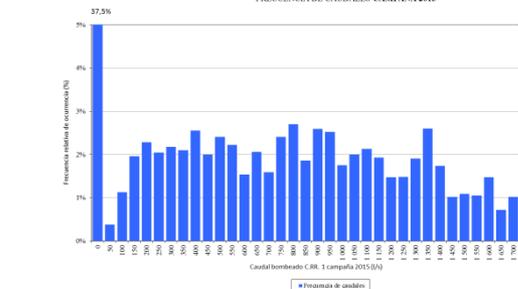


FRECUENCIA DE CAUDALES - CAMPAÑA 2014

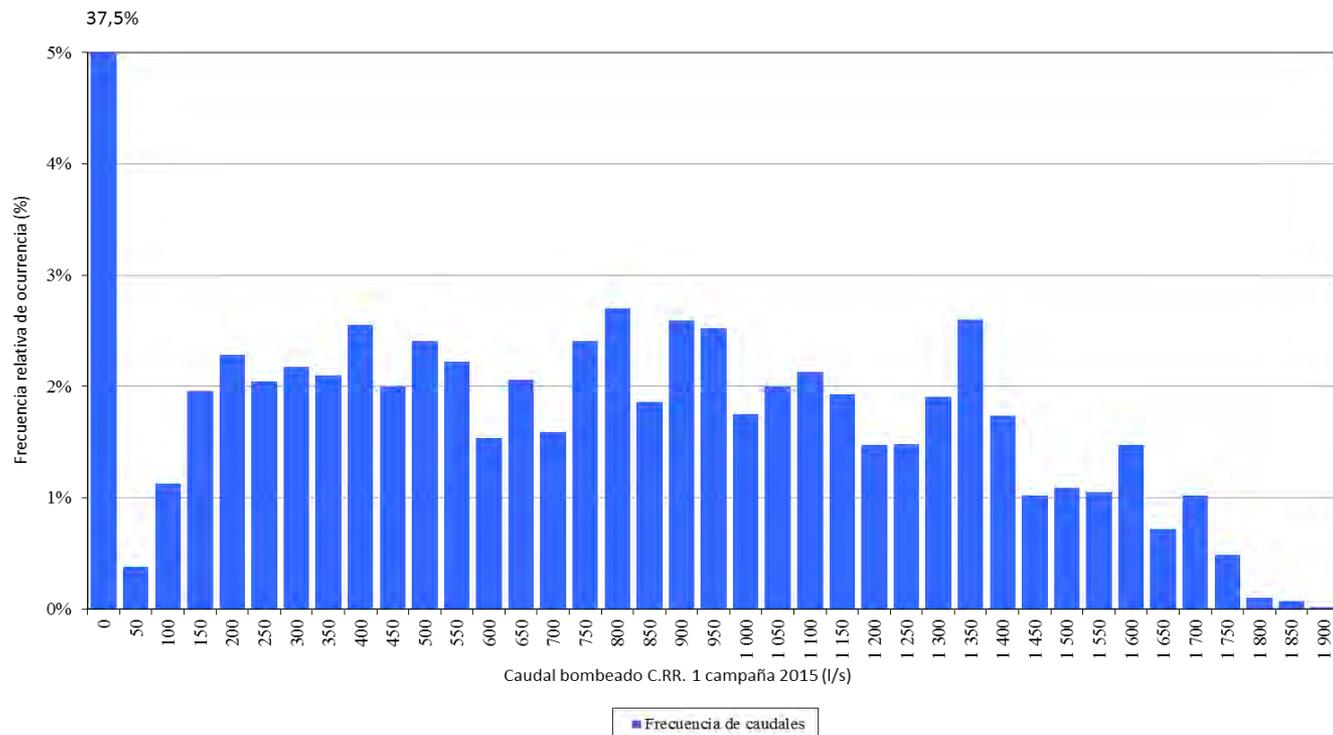
COMPA



FRECUENCIA DE CAUDALES CAMPAÑA 2015



FRECUENCIA DE CAUDALES CAMPAÑA 2015

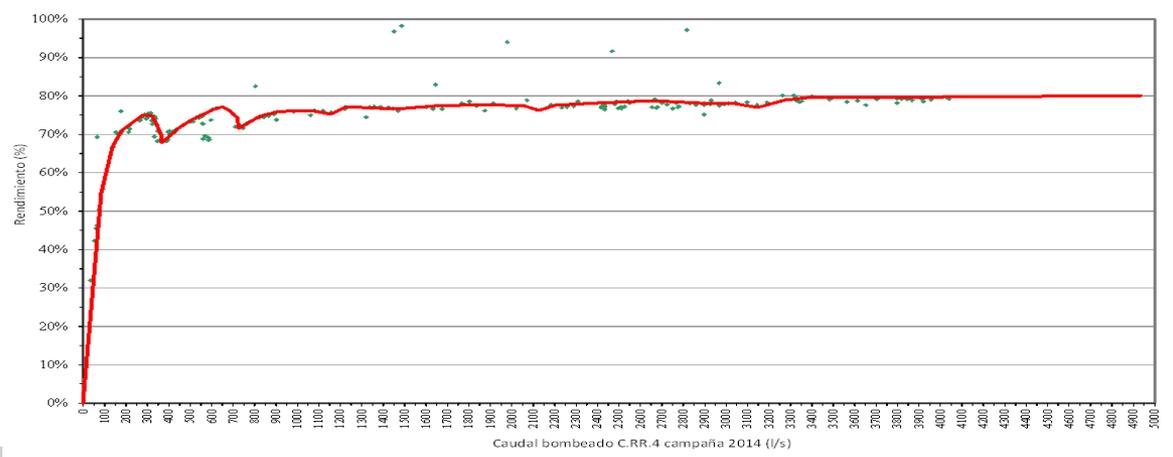
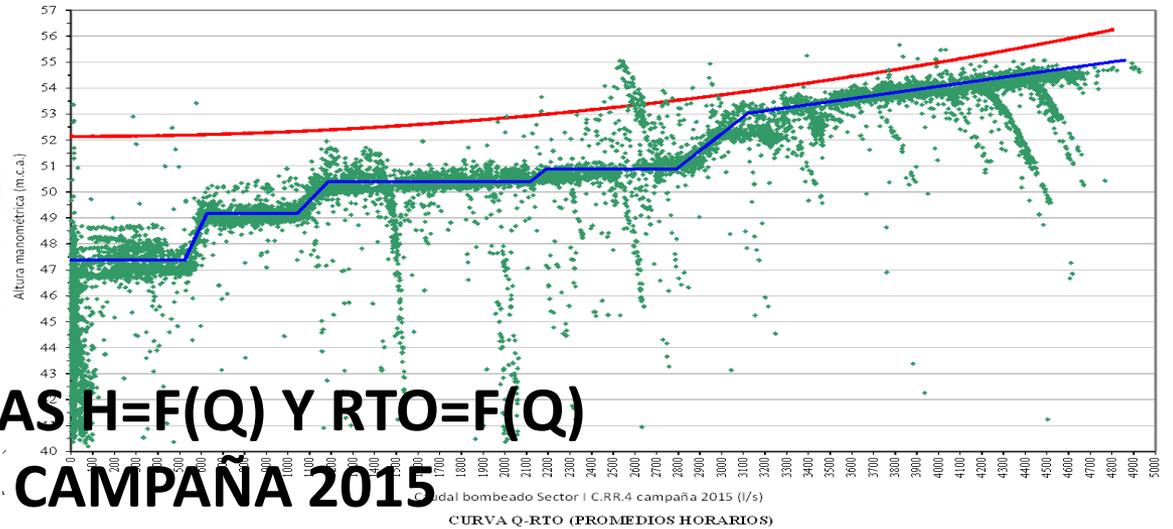
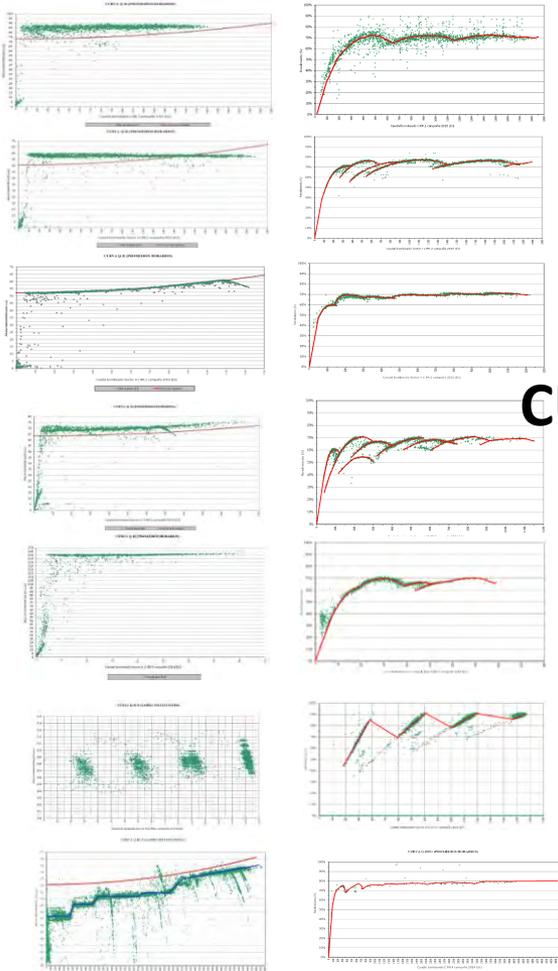


02

ANÁLISIS HIDRÁULICO E.B.

- ❑ **CURVAS CARACTERÍSTICAS ALTURA/CAUDAL (H-Q) Y RENDIMIENTO/CAUDAL (RTO-Q)**
 - OBTENCIÓN DE LOS DATOS ALMACENADOS EN EL SCADA
 - CAUDAL BOMBEADO
 - PRESIÓN EN ASPIRACIÓN Y EN IMPULSIÓN
 - POTENCIA CONSUMIDA POR LOS GRUPOS DE BOMBEO
 - TRATAMIENTO DE DATOS
 - INTERVALO TEMPORAL Y COINCIDENCIA TEMPORAL DE Q Y P
 - IDENTIFICACIÓN DE UNIDADES DE MEDIDA DE LA PRESIÓN (bar/m.c.a.)
 - CORRECCIONES GEOMÉTRICAS A TENER EN CUENTA SEGÚN UBICACIÓN DE TRANSDUCTORES
 - CONSTRUCCIÓN DE CURVAS
- ❑ **OBJETIVOS**
 - IDENTIFICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO REAL DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO
 - ESTUDIO DEL FUNCIONAMIENTO TEÓRICO (“IDEAL”) CON AYUDA DE UN MODELO DE RED Y EB: CURVA RESISTENTE
 - DESVIO DEL FUNCIONAMIENTO ENTRE NUESTRA EB Y EL FUNCIONAMIENTO TEÓRICO (“IDEAL”)

02 ANÁLISIS HIDRÁULICO E.B.



03 ANÁLISIS ENERGÉTICO EB

□ ANÁLISIS ENERGÉTICO DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO (EB)

- SE TRATA DE UN ESTUDIO PARA CUANTIFICAR
 - ENERGÍA CONSUMIDA (kWh) PARA LA ACTUAL REGULACIÓN
 - ENERGÍA CONSUMIDA (kWh) PARA OTRAS VARIANTES DE REGULACIÓN
 - POTENCIA IDEAL A CONTRATAR (KW)
 - COSTES ENERGÉTICOS (€) Y AHORROS/PENALIZACIONES PARA NUEVAS PROPUESTAS (% - €)
- ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS
 - CONSUMO ENERGÉTICO DETALLADO (CED)
 - TÉRMINO DE POTENCIA CONTRATADA

03

ANÁLISIS ENERGÉTICO DE LA EB

❑ CONSUMO ENERGÉTICO DETALLADO CED

- METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA (kWh)
- USOS DE LOS VALORES PARAMETRIZADOS EN EL ANÁLISIS HIDRÁULICO DE LA EB (FDP)

$$CED_{kWh} = \int_0^T P(q(t)) \cdot dt = T \cdot \int_0^T P(q) \cdot \frac{dt(q)}{T} = T \cdot \int_0^{Q_{max}} P(q) \cdot \frac{1}{T} \frac{dt}{dq} \cdot dq = T \cdot \int_0^{Q_{max}} P(q) \cdot FDP(q) \cdot dq$$

- POSIBILIDAD DE ENSAYAR OTRAS ESTRATEGIAS DE GESTIÓN SIN EJECUTARLAS
 - CONCENTRAR CAUDALES EN LOS MEJORES RENDIMIENTOS
 - ELIMINAR CAUDALES EN LOS PEORES RENDIMIENTOS
- POSIBILIDAD DE ENSAYAR OTRAS ESTRATEGIAS DE REGULACIÓN SIN EJECUTARLAS
 - PUNTO FIJO
 - ESCALONES
 - CURVA DE CONSIGA
 - CORRECCIONES DE SOLAPES
- CALCULAR EL CED (kWh) Y EL COSTE ENERGÉTICO ASOCIADO DE LAS NUEVAS ESTRATEGIAS

03

ANÁLISIS ENERGÉTICO DE LA EB

ESTACIÓN DE BOMBEO A PRESIÓN DE CONSIGNA FIJA

Indicador	Marzo 2015	Abril 2015	Mayo 2015	Junio 2015	Julio 2015	Agosto 2015	Septiembre 2015	Mz-Sep 2015
V_T	137.570	224.570	737.440	1.265.600	2.509.00	2.322.900	529.300	7.726.380
$V_{T,FPD}$	73.914	237.345	821.526	1.407.168	2.705.700	2.565.924	638.586	8.450.163
$\Delta V = V_{T,FPD} - V_T$	-63.656	12.775	84.086	141.568	196.700	243.024	109.286	723.783
$\epsilon_{\Delta VT}$	-46	6	11	11	8	10	21	9
E_a	57.552	77.691	264.349	458.641	871.959	814.980	194.948	2.740.120
$E_{a,FPD}$	34.570	83.956	279.058	479.980	887.771	842.529	226.930	2.834.794
$\Delta E_a = E_{a,FPD} - E_a$	-22.982	6.265	14.709	21.339	15.812	27.549	31.982	94.674
$\epsilon_{\Delta E_a}$	-39,9	8,1	5,6	4,7	1,8	3,4	16,4	3,5

- Error total en cálculo de Volumen ($\epsilon_{\Delta VT}$) del 9%
- Error total en el cálculo de la energía ($\epsilon_{\Delta E_a}$) del 3,5%

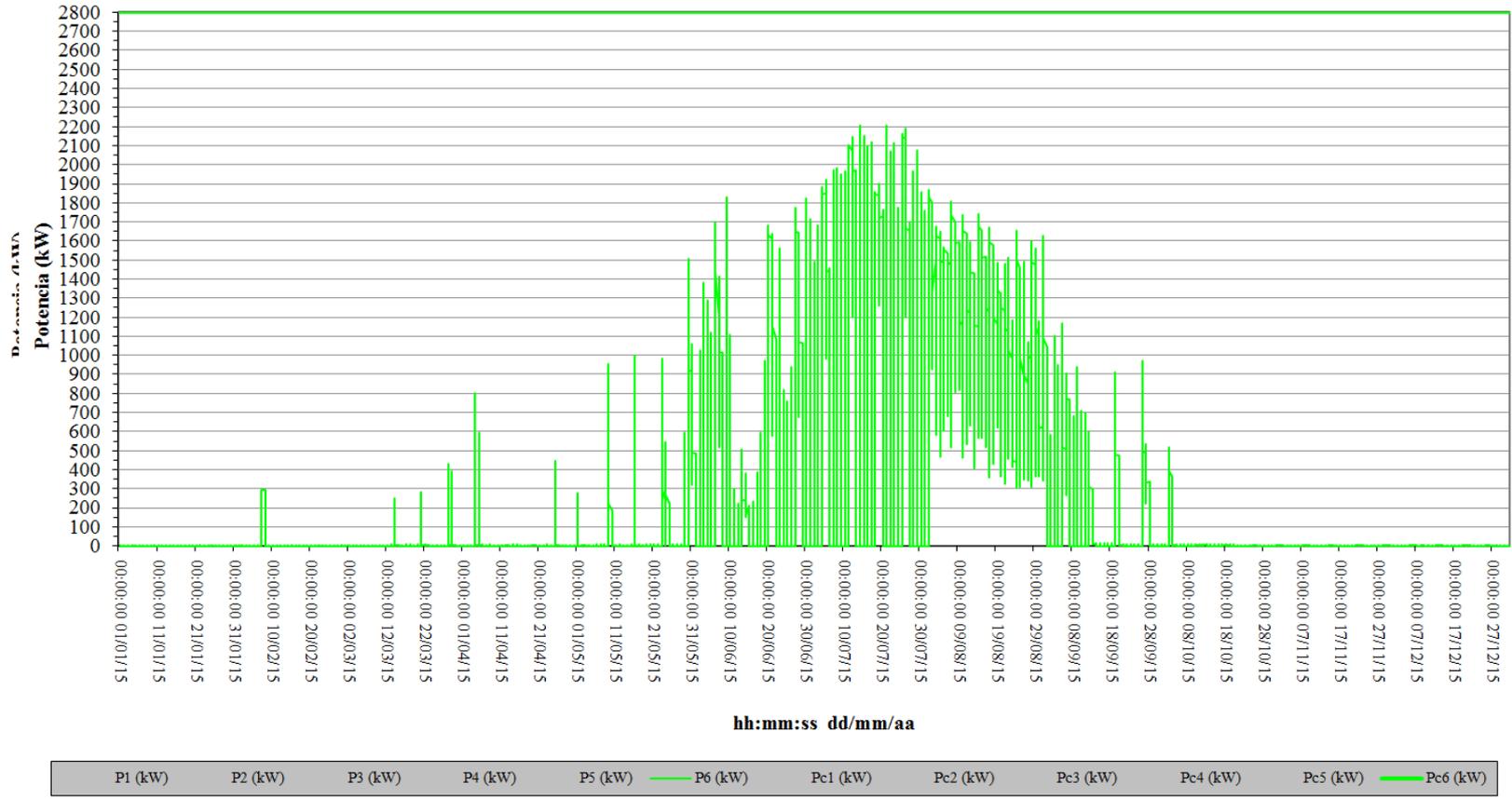
ESTACIÓN DE BOMBEO BOMBEANDO POR CURVA RESISTENTE

- Ahorro potencial de energía: 297.390 kWh (10,4%, porcentaje repercutido sobre el coste económico)

03

ANÁLISIS ENERGÉTICO DE LA EB

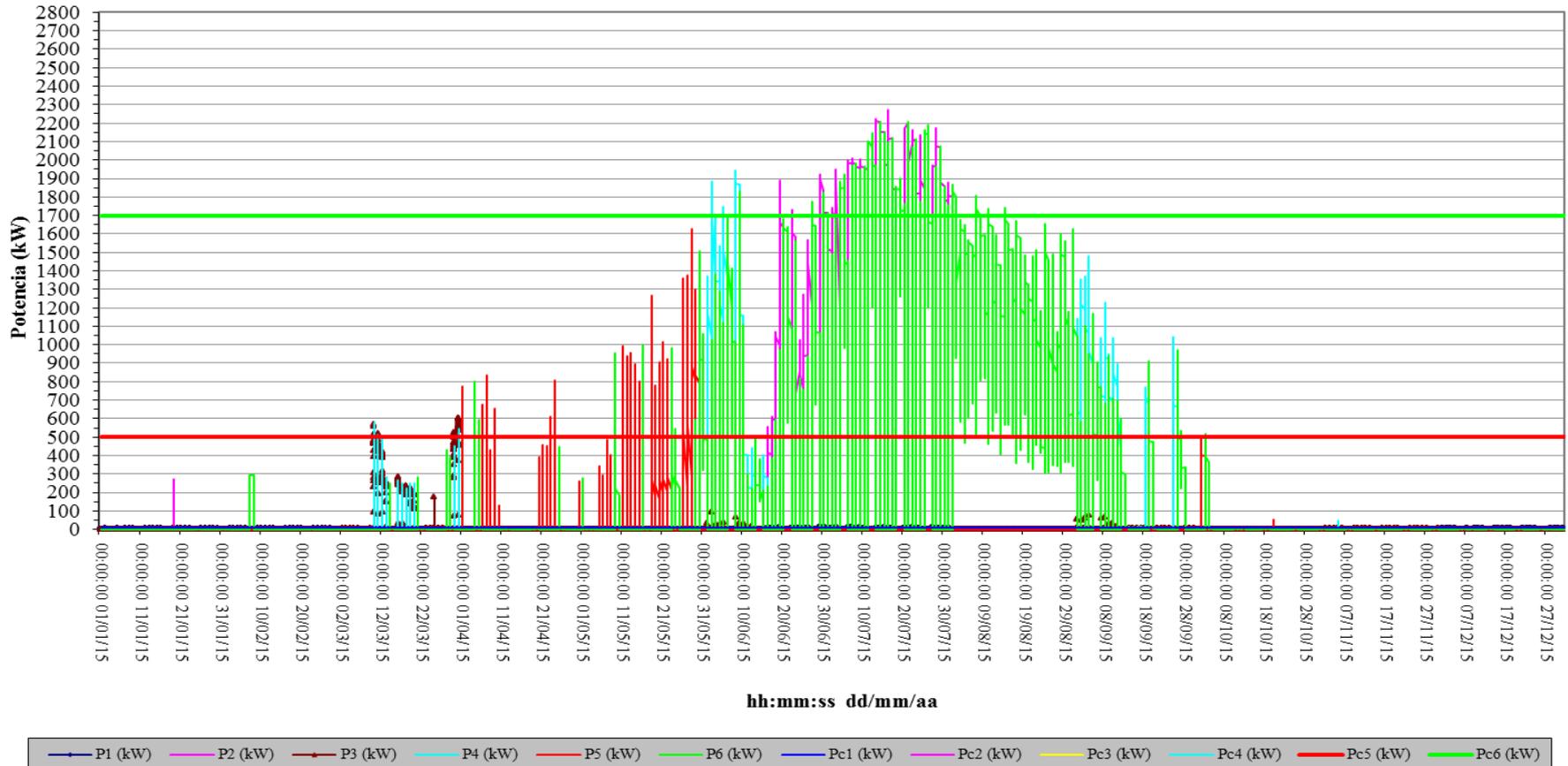
POTENCIA CONSUMIDA CUARTO HORARIA VS POTENCIA CONTRATADA POR PERÍODO TARIFARIO
P6



03

ANÁLISIS ENERGÉTICO DE LA EB

POTENCIA CONSUMIDA CUARTO HORARIA VS POTENCIA CONTRATADA POR PERÍODO TARIFARIO
(CAMPAÑA 2015)



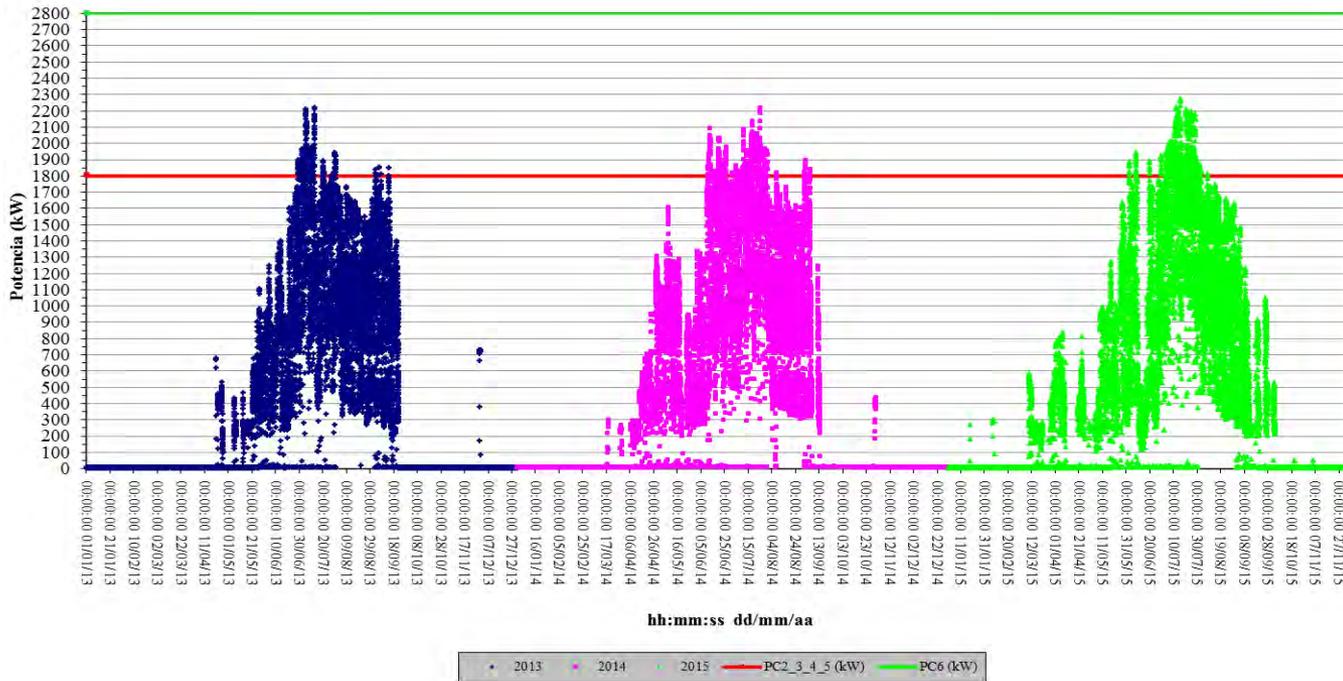
03 ANÁLISIS ENERGÉTICO DE LA EB

CONSUMO DE ENERGÍA

	2013	2014	2015
Energía (kWh)	2.415.117	2.758.013	2.770.898

CAMPAÑA	PC1 (kW)	PC2 (kW)	PC3 (kW)	PC4 (kW)	PC5 (kW)	PC6 (kW)
2013	10	1.000	1.000	1.000	1.000	1.700
2014	10	500	500	500	500	1.700
2015	10	500	500	500	500	1.700

POTENCIA



015

CAMPAÑA	Ahorro T.Pot+Exc.P. (%)	Ahorro Total (%)
2013	19.14%	6.23%
2014	25.09%	10.67%
2015	30.67%	12.37%

04

MEDIDAS DE AHORRO ENERGÉTICO

El conjunto de medidas de eficiencia energética recopiladas y analizadas por el equipo de OPTIREG han sido recogidas en la publicación “MEDIDAS DE AHORRO ENERGÉTICO. Gestión Eficiente en Regadíos”



Índice

1. Introducción	3
2. Grupo Tragsa: innovación para el sector del riego	4
3. El manejo de las instalaciones de parcela	6
4. La reducción del consumo de agua	13
5. La eficiencia en las instalaciones de la red colectiva.....	16
6. La regulación de la estación de bombeo	19
7. La eficiencia energética de los equipos de bombeo	26
8. La toma de datos y mediciones en la estación de bombeo y la red.....	29
9. La contratación del suministro eléctrico	32
10. La eficiencia en las operaciones de gestión	36
11. La formación, la concienciación y la información	41
12. Grupo Tragsa: gestión eficiente en regadíos.....	44

**MUCHAS GRACIAS
POR SU ATENCIÓN**



GrupoTragsa
Garantía Profesional. Servicio Público

