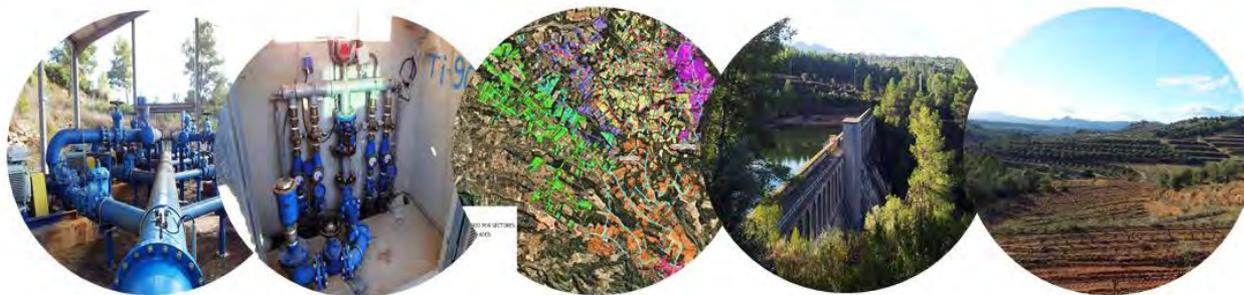


## JORNADA TÉCNICA SOBRE EFICIENCIA HÍDRICA Y ENERGÉTICA EN REGADÍO

# EJEMPLOS DE MEJORAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA IMPLANTADAS EN COMUNIDADES DE REGANTES



Miguel Mora Gómez  
Dr. Ingeniero Agrónomo  
Gerente  
mmora@moval.es

[www.moval.es](http://www.moval.es)



## 1 CONTEXTUALIZACIÓN

## 2 EJEMPLO ACTUACIONES IMPLANTADAS PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

- Errores de diseño e instalaciones infrautilizadas
- Cántaras de bombeo con problema de sumergencia
- Organización de riegos (turnos fijos y riegos diarios cambiantes)
- Riegos a la demanda
- Pozos profundos

## 3 PRINCIPALES BARRERAS PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL REGADÍO

## 4 RETOS



# 1. CONTEXTUALIZACIÓN

# 1. CONTEXTUALIZACIÓN

LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DEBE ESTAR PRESENTE EN TODAS LAS FASES

FASE 0

## DISEÑO

- Cálculo indicadores previa ejecución para verificar calidad del diseño y manejo propuesto

FASE I

## EXPLORACIÓN

- Auditoría energética
- Puesta en marcha mejoras
- Seguimiento energético y planificación mantenimientos preventivos

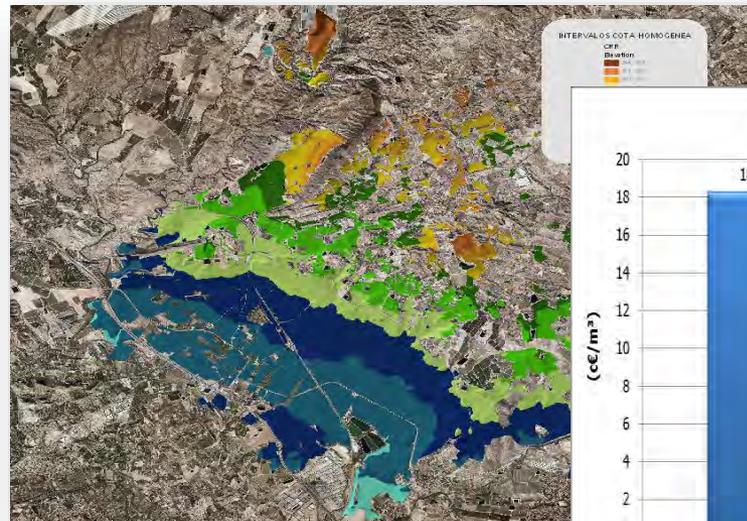
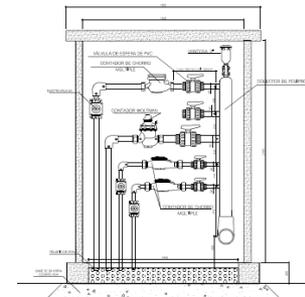
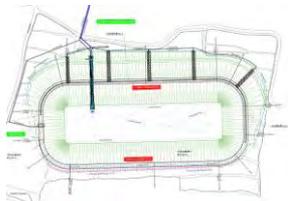
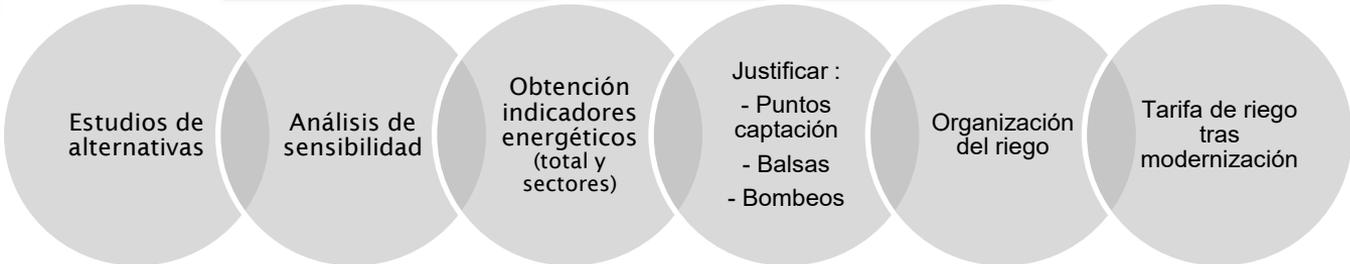
¡¡NO AHORRA!!



# 1. CONTEXTUALIZACIÓN

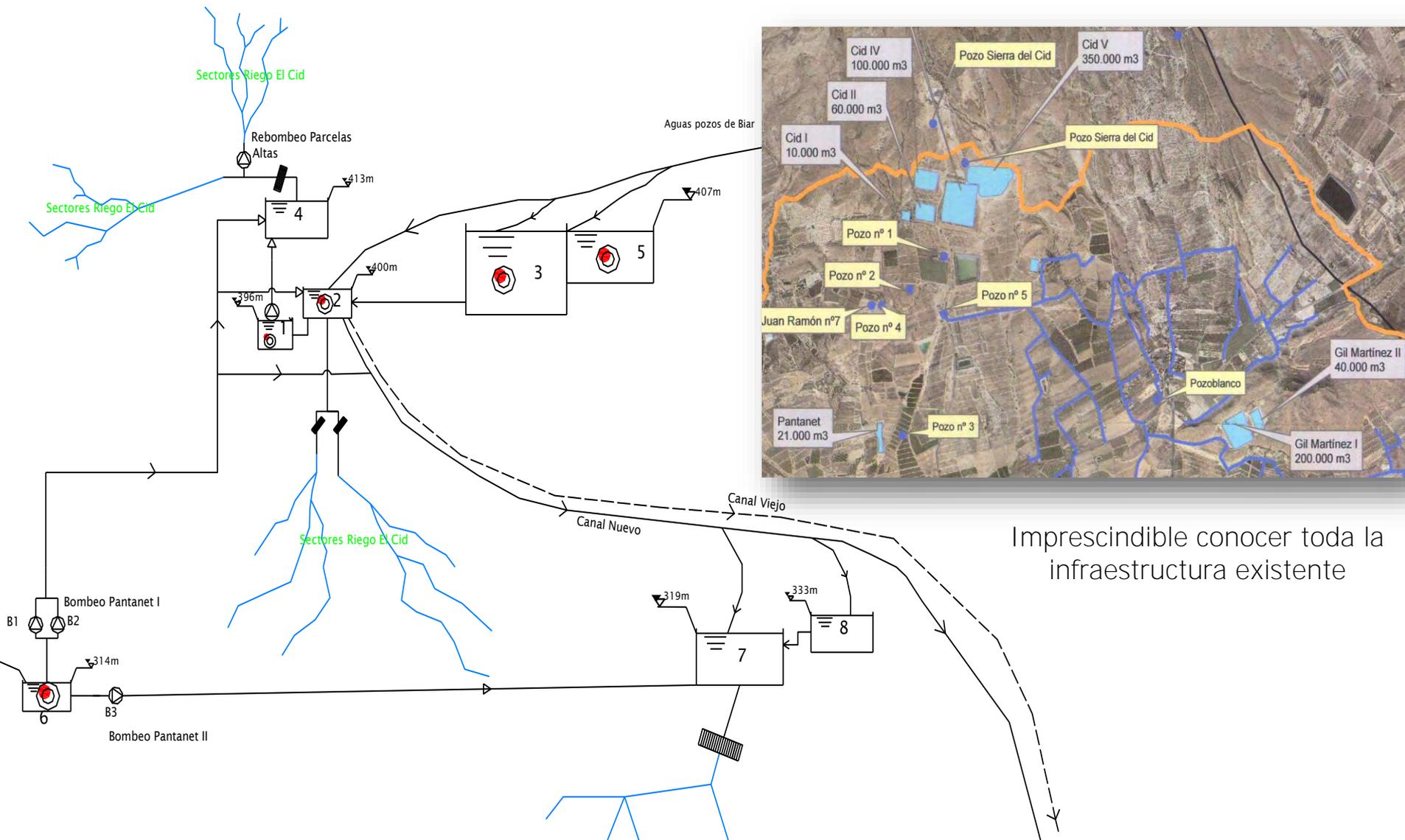
## FASE 0: DISEÑO Y EJECUCIÓN

**LOS PROYECTOS DE MODERNIZACIÓN DEBEN INCLUIR UN ANEJO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA**



2 EJEMPLO ACTUACIONES  
IMPLANTADAS PARA MEJORAR LA  
EFICIENCIA ENERGÉTICA

# ERRORES DE DISEÑO E INSTALACIONES INFRAUTILIZADAS



Imprescindible conocer toda la infraestructura existente

## EJEMPLO INADECUADO DISEÑO



Estación de bombeo ejecutada y no utilizada por que hay presión suficiente.

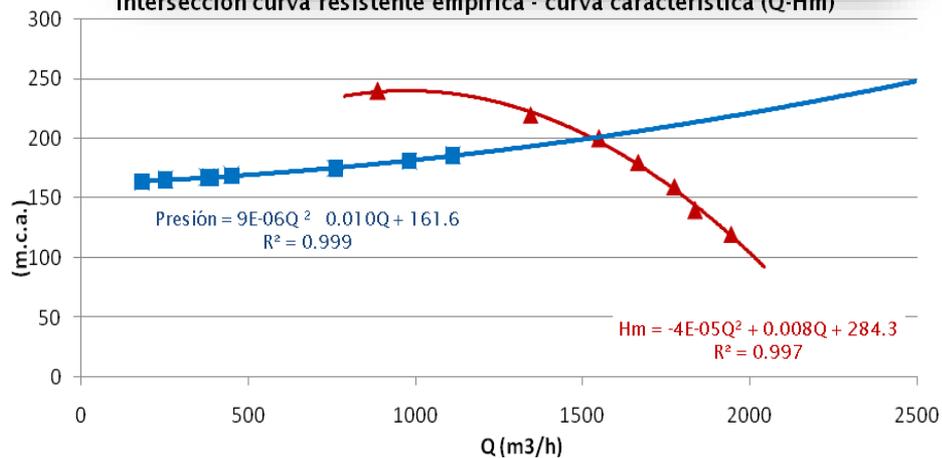
La ESE del sector lo hubiese detectado

# CÁNTARAS DE BOMBEO CON PROBLEMA DE SUMERGENCIA

## EJEMPLO INADECUADO DISEÑO



Intersección curva resistente empírica - curva característica (Q-Hm)



## EJEMPLO INADECUADO DISEÑO

### ALTERNATIVAS PLANTEADAS

#### ALTERNATIVA I

Sustitución parte hidráulica en acero acoplándola a los motores actuales tras su puesta a punto



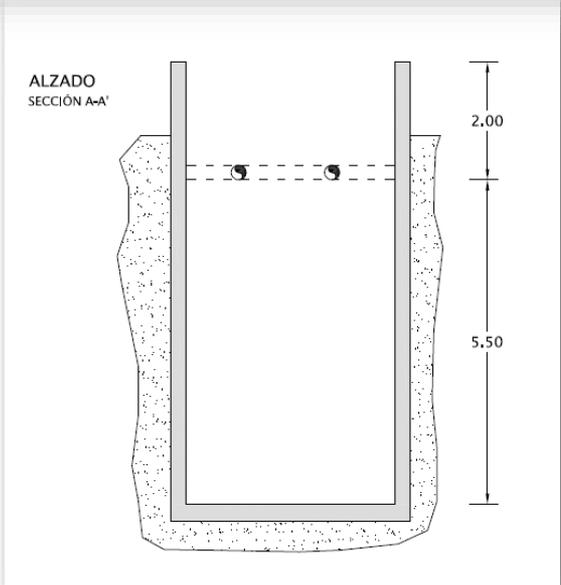
#### ALTERNATIVA II

Sustitución completa de los grupos motobomba por en ejecución invertida

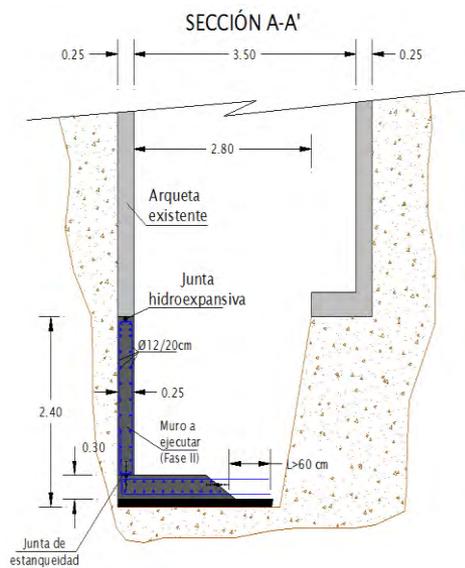
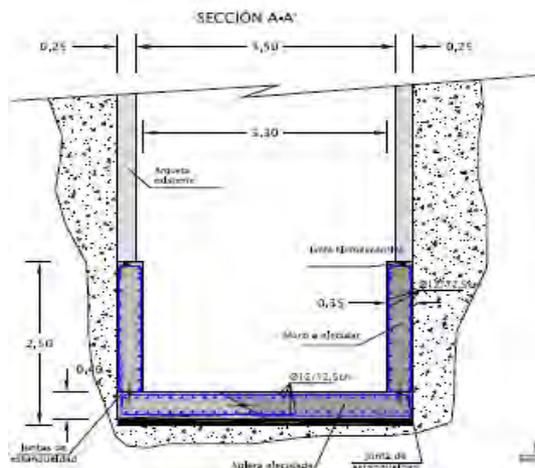


*¿Cuál es "mejor"? ¿Cuál se hizo?*

# EJEMPLO INADECUADO DE SEÑO<sup>2</sup>



EJEMPLO INADECUADO DE DISEÑO<sup>2</sup>

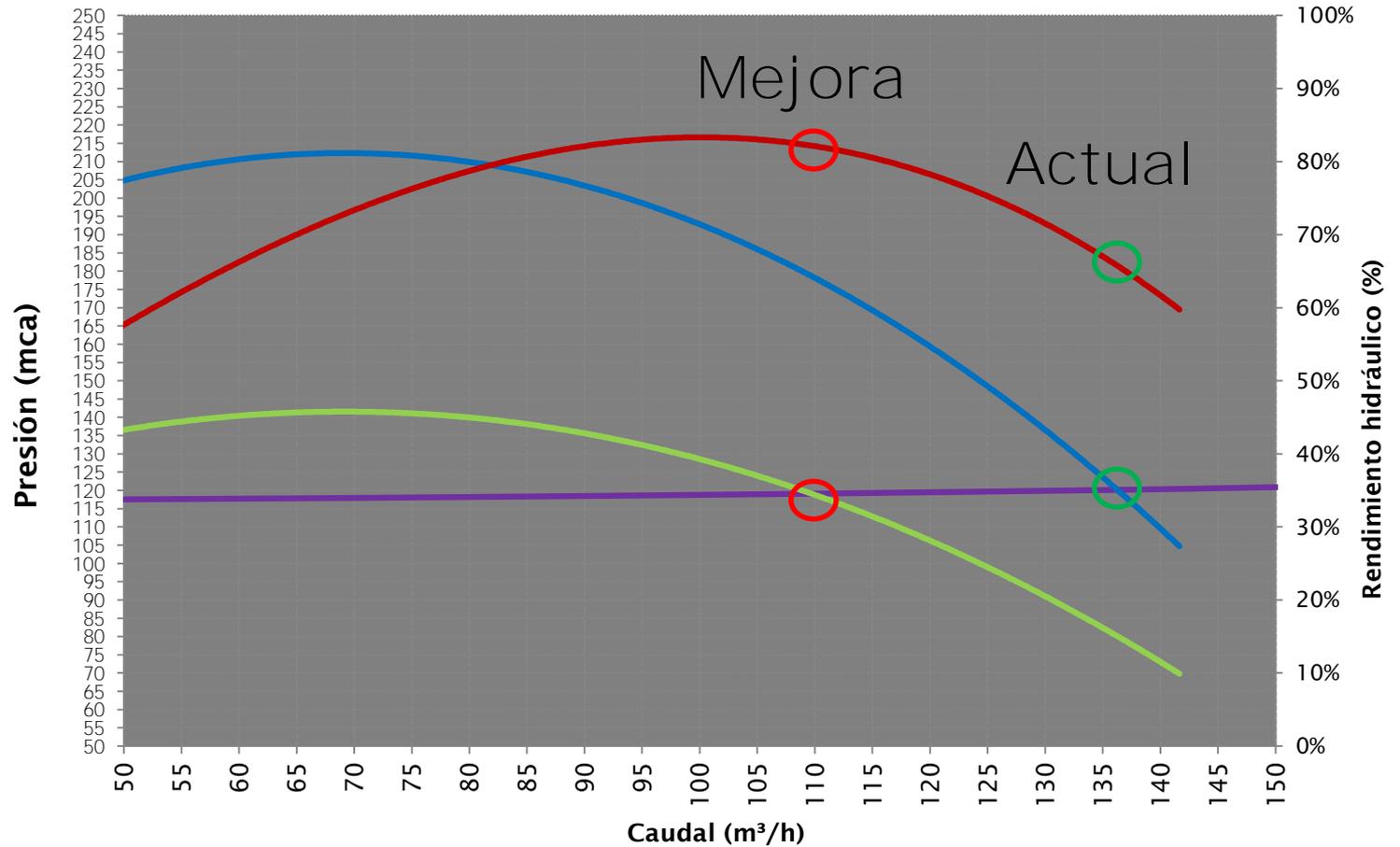


EJEMPLO INADECUADO DISEÑO<sup>2</sup>



EJEMPLO INADECUADO DISEÑO<sup>2</sup>

COMPARACIÓN RENDIMIENTO HIDRÁULICO\_SECTOR VII



PUESTA EN MARCHA MEJORAS PUEDEN GENERAR OTRAS SINERGIAS

Nº Albarán	Código	Descripción	Cantidad	Precio	Importe
45005		BOMBA: ATURIA X12 L6-F H-12-400 400 CV. 380/660 V.			
45005		RODETES INOX. CUERPOS FE. CON CAMISA			
45005		RELACION DE MATERIALES			
45005	306.000.045	COJINETE CUERPO INTER.GOMA	3,00	66,8400	200,52
45005	306.000.016	CUERPO ASPIRACION FE	1,00	387,3700	387,37
45005	306.000.023	CUERPO INTER. BRONCE CON ARO	3,00	1.691,6300	5.074,89
45005	306.000.037	DISTANCIADOR INTER. INOX.	2,00	94,7400	189,48
45005	306.000.050	JUNTA CUERPO	6,00	1,1200	6,72
45005	306.000.053	MANO DE OBRA D.M. Y M. (1 CPO.)	6,00	24,4100	146,46
45005	325.000.001	LIQUIDO REFRIGERANTE	40,00	2,0900	83,60
45005	307.000.042	MANO DE OBRA MOTOR	1,00	274,6400	274,64
45005	307.000.026	MEMBRANA	1,00	42,4200	42,42
45005	307.000.050	MUÑEQUILLA ROTOR	1,00	69,3600	69,36
45005	305.251.516	RETEN 60 X 85 X 8	2,00	4,9500	9,90
45005	307.353.598	CONEXION INTERIOR	2,00	181,6950	363,39
45005	309.102.050	CABLE HYDROFIRM 1 X 50	12,00	13,6700	164,04
45005	309.102.095	CABLE HYDROFIRM 1 X 95	48,00	24,0600	1.154,88
45005	307.353.517	EQUILIBRAR ROTOR	1,00	201,3750	201,38
45005		CASQUILLO ARREGLO EJE	1,00	60,0000	60,00
45005		COLOCACION DE ESPÁRRAGO CENTRADOR CAMISA	3,00	30,0000	90,00
45005	309.200.014	TERMINAL SECCION 95	6,00	2,5800	15,48
45005		ARO BRONCE CUERPO ASPIRACION	1,00	40,2600	40,26
45005		ARANDELA DE APRIETE CON TORNILLO	1,00	30,3600	30,36
45005		JUEGO JUNTAS MOTOR	1,00	4,9600	4,96
45005		COJINETE ASPIRACION GOMA	1,00	66,8400	66,84
45005		PRESA CABLE BRONCE	1,00	46,0200	46,02

Subtotal	Portes	Base Imponible	% Iva	Cuota Iva	Total Factura
8.722,97		8.722,97	18	1.570,13	10.293,10

Forma Pago: PAGARE      Importe en Pts.: 1.712.628

Vencimientos	Importes
28/07/2012	10.293,10

Banco: +  
Dirección:  
Nº C./C.:

Nº Albarán	Código	Descripción	Cantidad	Precio	Importe
45091		BOMBA: ATURIA X12 L6-F H12-400 400 CV. 380/660 V.			
45091		RODETES INOX. CUERPOS EN HIERRO CON CAMISA			
45091		RELACION DE MATERIALES			
45091	309.602.050	SALIDA CABLE HYDROFIRM 1 X 50	6,00	58,3400	410,04
45091		CUERPOS INTERMEDIOS X-12	3,00	365,0000	1.095,00
45091		COJINETES CUERPO X-12	3,00	66,8400	200,52
45091		CAMARA ASPIRANTE X-12	1,00	387,0000	387,00
45091		JUNTA TORICA X-12	6,00	6,7200	40,32
45091		COJINETE MOTOR H-12	2,00	183,5000	367,00
45091		PULMON H-12	1,00	42,4200	42,42
45091		ARO DE CIERRE C/ASPIRACION BRONCE	1,00	40,2600	40,26
45091		MUÑEQUILLAS ROTOR INOX.	2,00	69,3600	138,72
45091		EQUILIBRAR ROTOR	1,00	201,3750	201,38
45091	307.353.598	6 CONEXION INTERIOR	2,00	181,6900	363,38
45091	305.251.516	RETEN 60 X 85 X 8	2,00	3,9450	7,89
45091	307.000.042	MANO DE OBRA D.Y.M. MOTOR	1,00	276,6400	276,64
45091	306.000.053	MANO DE OBRA D. Y.M. (1CPO.)	6,00	24,4100	146,46
45091	325.090.001	LIQUIDO REFRIGERANTE	40,00	2,0900	83,60
45091		JUNTA PLANCHA GOMA CAMISA	1,00	4,4700	4,47
45091		COLOCAR ESPARRAGOS CENTRADORES A CAMISA	3,00	30,0000	90,00
45091	315.011.012	ARANDELA PLANA A/INOX. M-12	12,00	0,1550	1,86
45091	309.102.095	CABLE HYDROFIRM 1 X 95	42,00	24,0600	1.010,52
45091	310.100.113	EMPALME 1 X 95	6,00	51,2700	307,62
45091	309.200.014	TERMINAL SECCION 95	6,00	2,5800	15,48

Subtotal	Portes	Base Imponible	% Iva	Cuota Iva	Total Factura
5.230,58		5.230,58	18	941,50	6.172,08

Forma Pago: PAGARE      Importe en Pts.: 1.026.948

Vencimientos	Importes
11/09/2012	6.172,08

Banco: = 16.500 €  
Dirección:

# ORGANIZACIÓN DEL RIEGO

La organización de los riegos se realiza:

- Empíricamente
- Por cota
- Misma superficie
- Mismo caudal
- **O...no se elaboran**



Tiene elevado impacto en kWh/m<sup>3</sup> , kW y calidad riego  
(Coste variable) (Coste fijo)

## EJEMPLO ORGANIZACIÓN DE RIEGOS PARA TURNOS FIJOS

## SITUACIÓN ACTUAL

- Monocultivo cítricos
- Organización riego: turnos fijos
- Método organización riego: similar superficie por sector
- Riegos semanales: 2 a 5
- Todas las tomas riegan el mismo tiempo y tienen misma presión mínima requerida (25 mca)
- Nº turnos y duración: 4 turnos de 2-3 horas
- Duración jornada riego: 8-12 h
- Equipos bombeo: 6 (4+2) -hay capacidad de modulación-
- Presión consigna: 58 mca

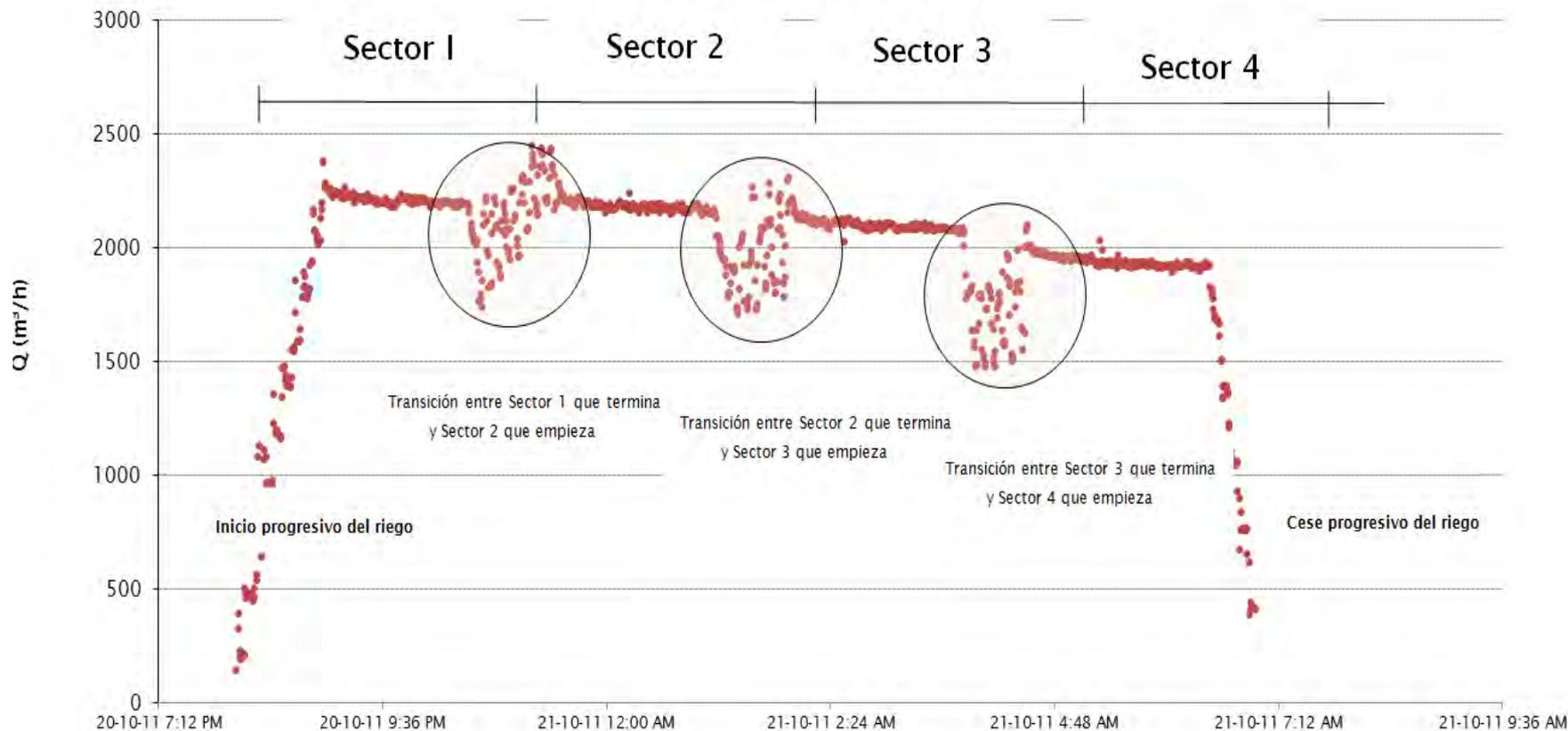


*TURNOS DE RIEGO*

MESES
Enero, febrero, noviembre y diciembre
Marzo y abril
Mayo
Junio
Julio, agosto y septiembre
Octubre

# RESULTADOS MONITORIZACIÓN

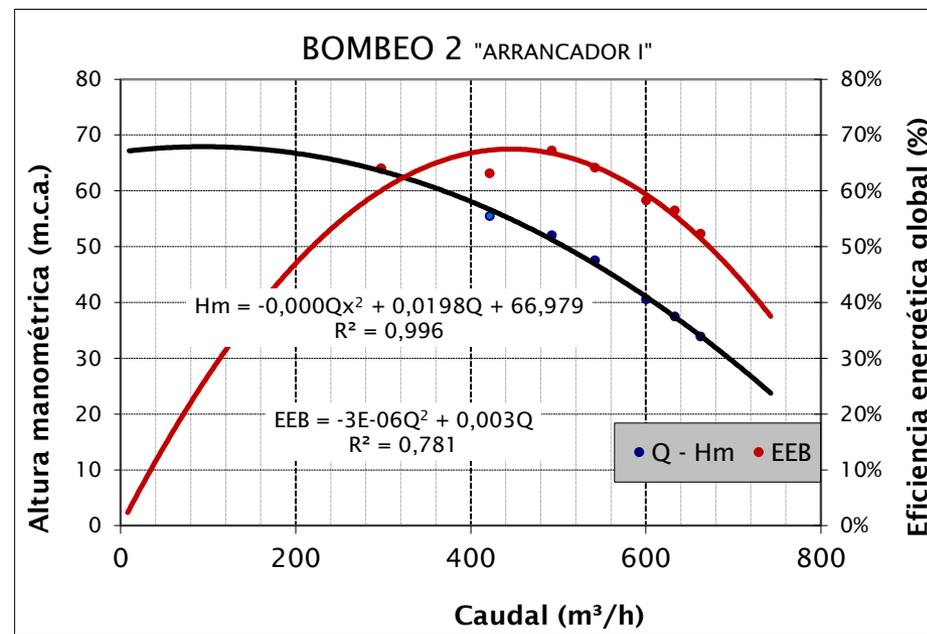
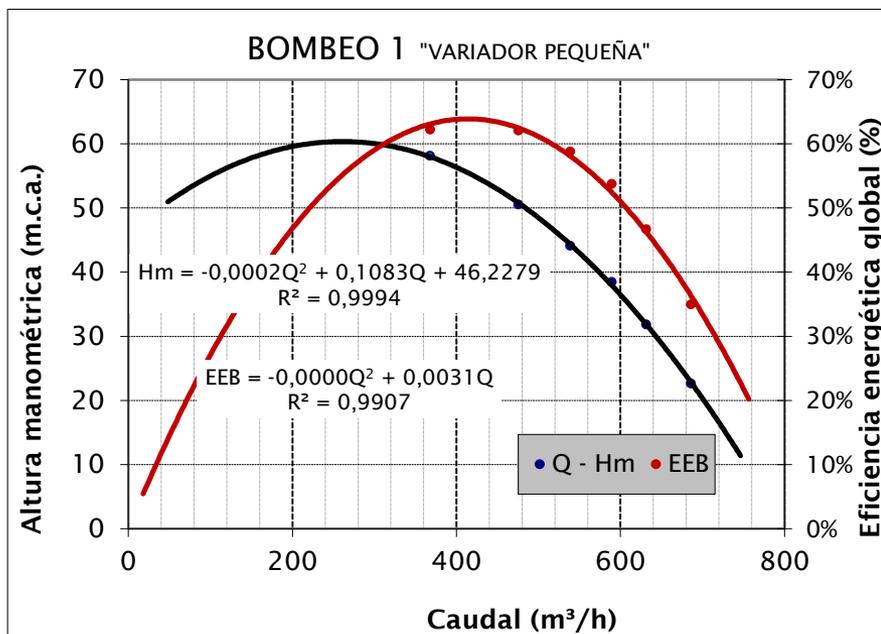
## EVOLUCIÓN DEL CAUDAL



## RESULTADOS MONITORIZACIÓN

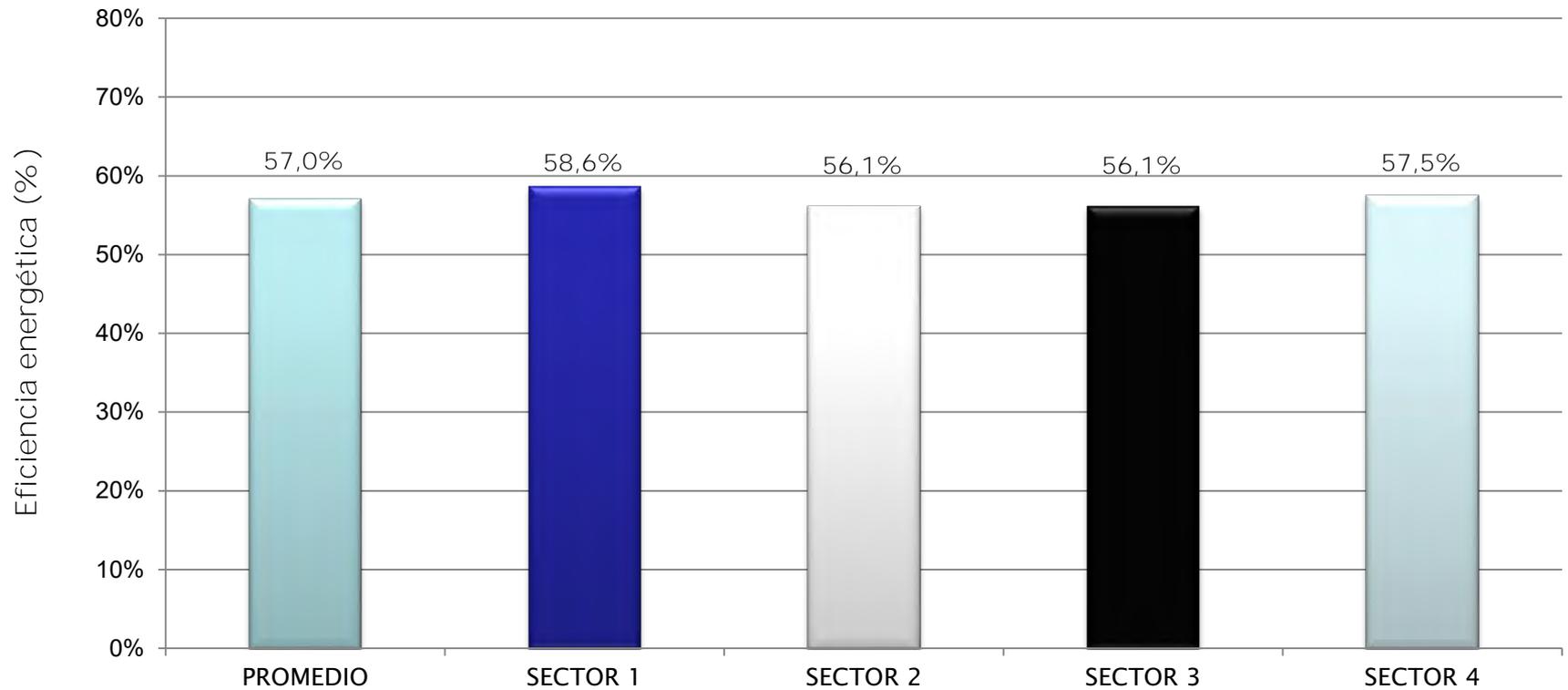


## RESULTADOS MONITORIZACIÓN



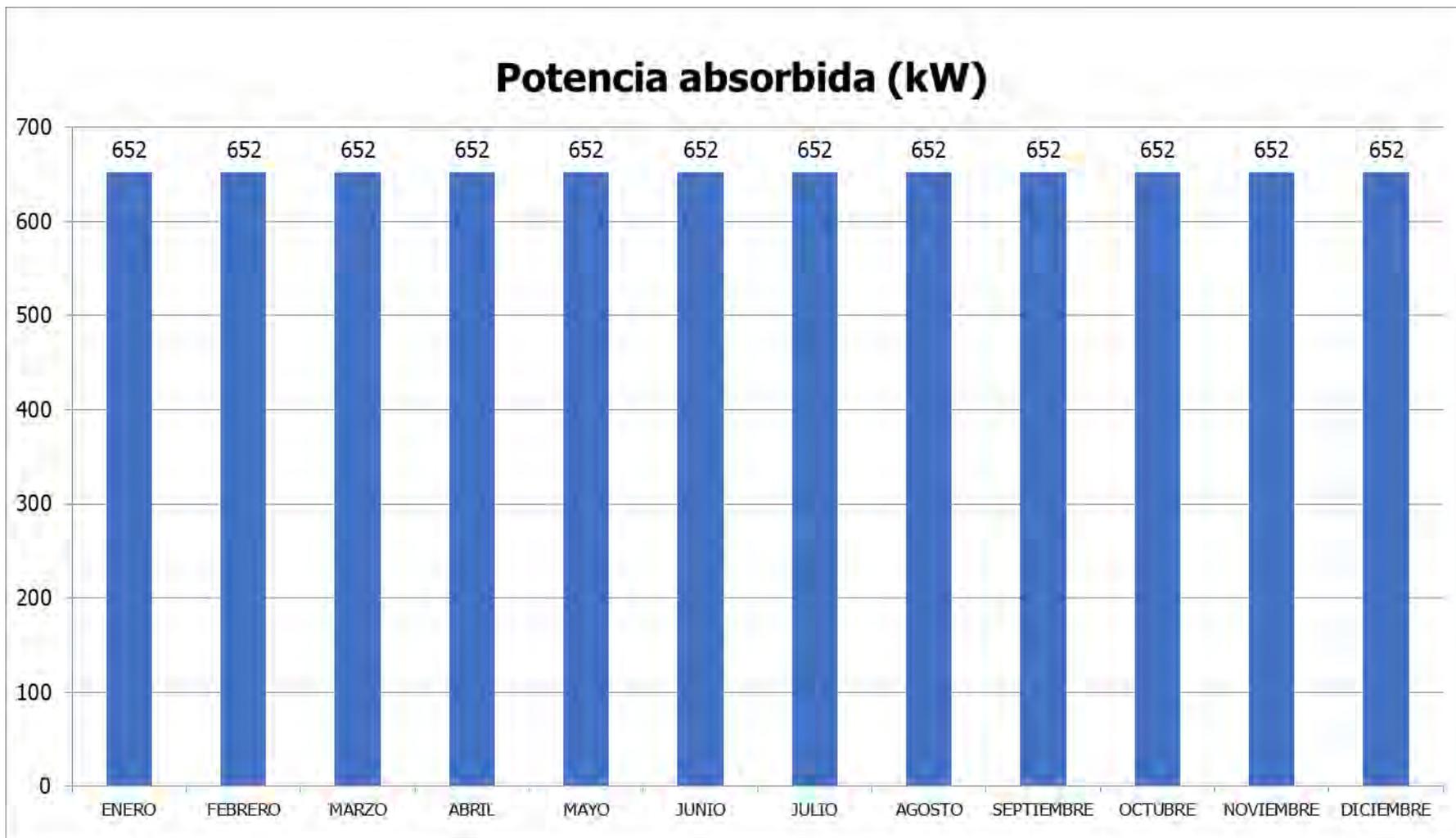
## RESULTADOS MONITORIZACIÓN

### EFICIENCIA ENERGÉTICA ACTUAL



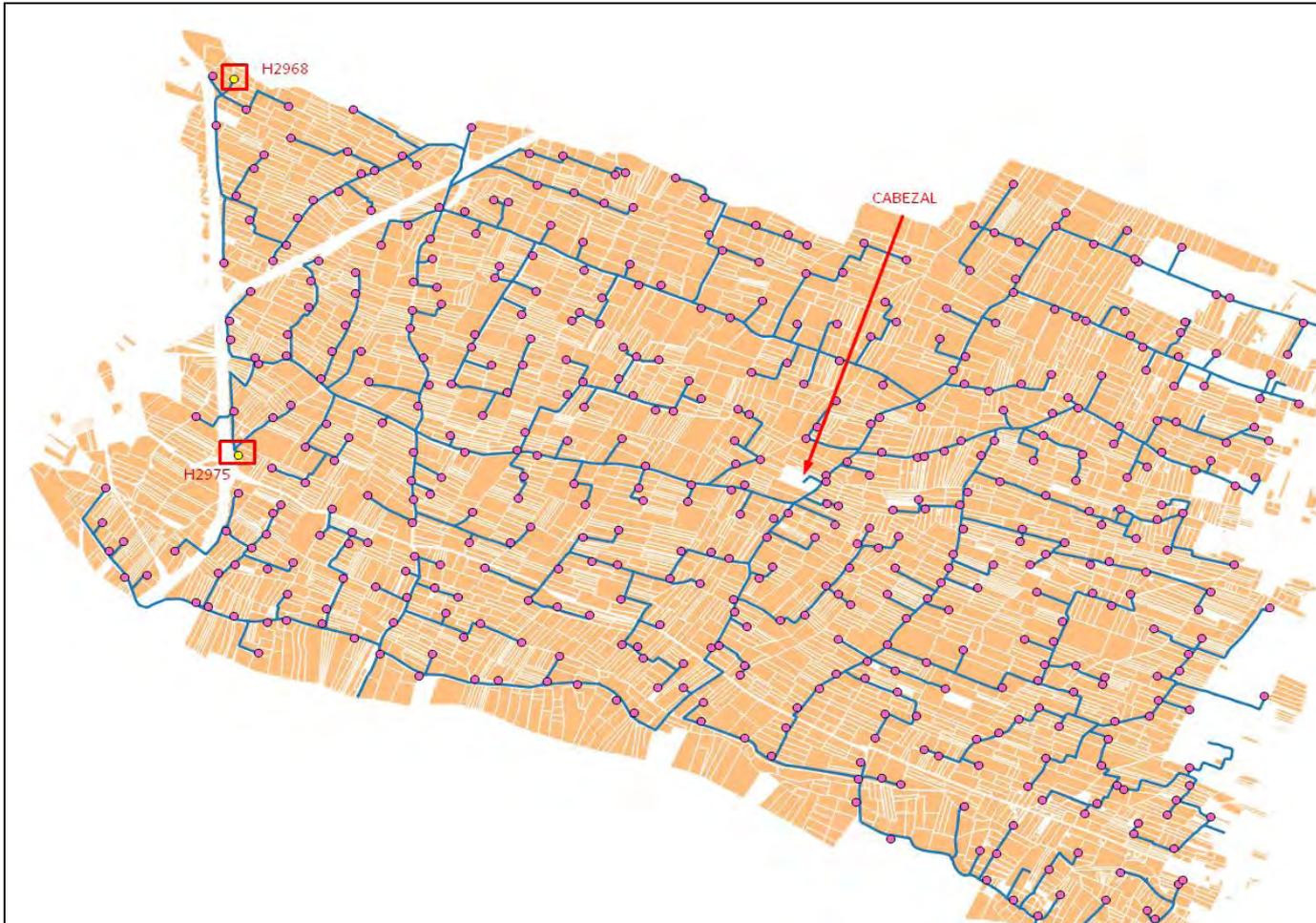
**Eficiencia energética: Normal**  
**Calificación: tipo C**

SITUACIÓN INICIAL



*Demanda de potencia inamovible durante toda la campaña de riego*

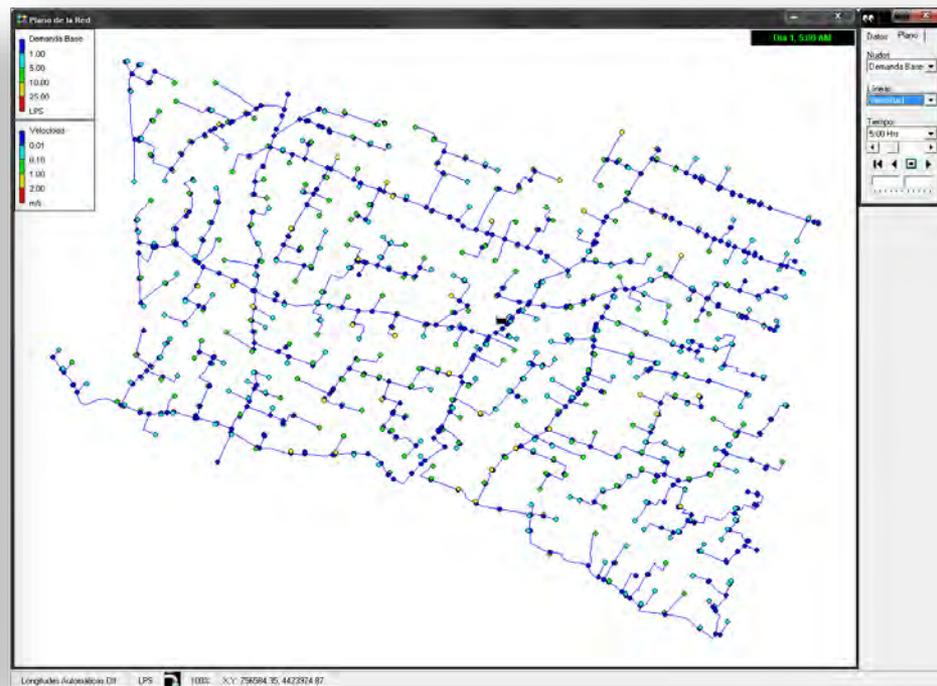
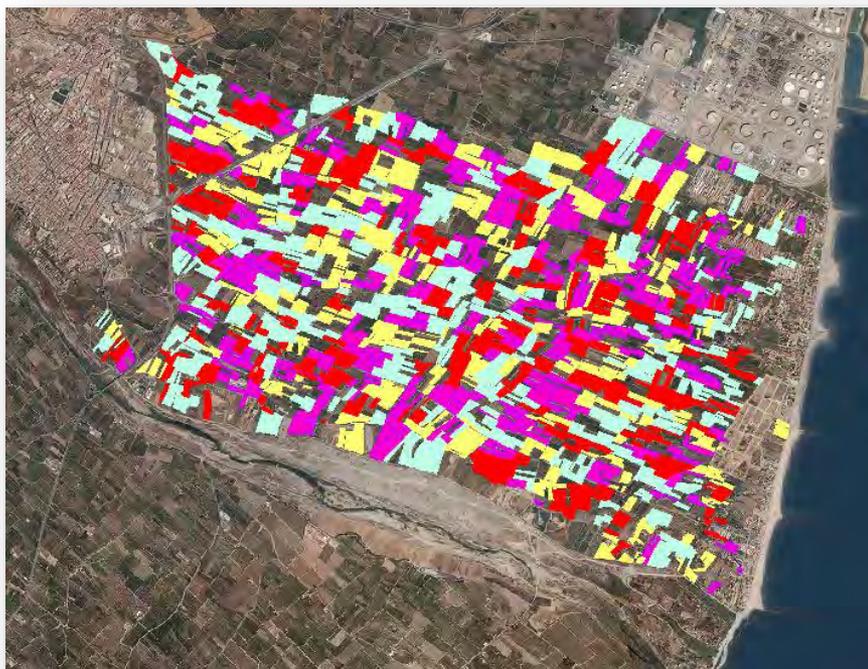
## SITUACIÓN INICIAL



**16 % hidrantes no recibe presión mínima requerida de 25 mca**

- Modelar la red de riego
- Implantar optimizar de riegos
- Aumentar los días de riego
- Metodología: Algoritmos genéticos
- Tiempo riego toma: (51 min a 107 min)
- Objetivo: reducir consumo energía, potencia y maximizar presiones hidrantes (calidad riego)

## MEJORA PROPUESTA



**Modelo hidráulico de la red**

# INTERFAZ OPTIMIZADOR DE RIEGO

Files/almassora.inp

Files/almassora\_con\_bombas.inp

Files/Input.csv

Archivo de modelo de red (.inp)

Archivo de modelo de red con bombas (.inp)

Archivo de peticiones (.csv)

### Opciones Estación de Bombeo

Presión de consigna libre  
 Presión de consigna fija  
 60.00  metros

### Opciones Riego

Riego programado  
 Riego por tumos  
 N° de tumos: 4   
 Duración turno (h): 2.0

### Opciones Algoritmo Genético

100000  N° de evaluaciones  
 500  Tamaño de población

### Laguna Funcionamiento Bombeo

Si  No

Instante Inicio

01/01/2017 00:00

Instante Fin

01/01/2017 00:00

Inicio jornada de riego

01/01/2017 00:00

Fin jornada de riego

01/01/2017 08:00

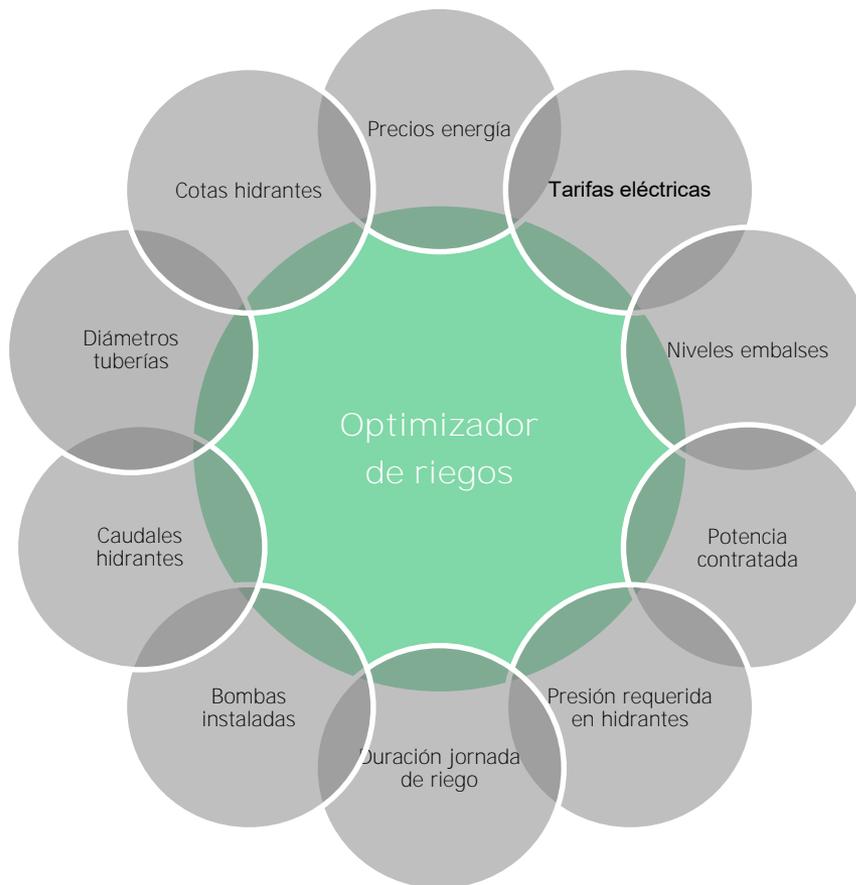
### Tarifa Eléctrica

	Término de Energía (€/kWh)	Potencia Contratada (kW)
P1	0.099348	15
P2	0.085908	655
P3	0.071468	655
P4	0.069096	655
P5	0.062117	655
P6	0.051257	655

### Impuestos

I.V.A. (%)	I.E.E. (%)
21	5.11

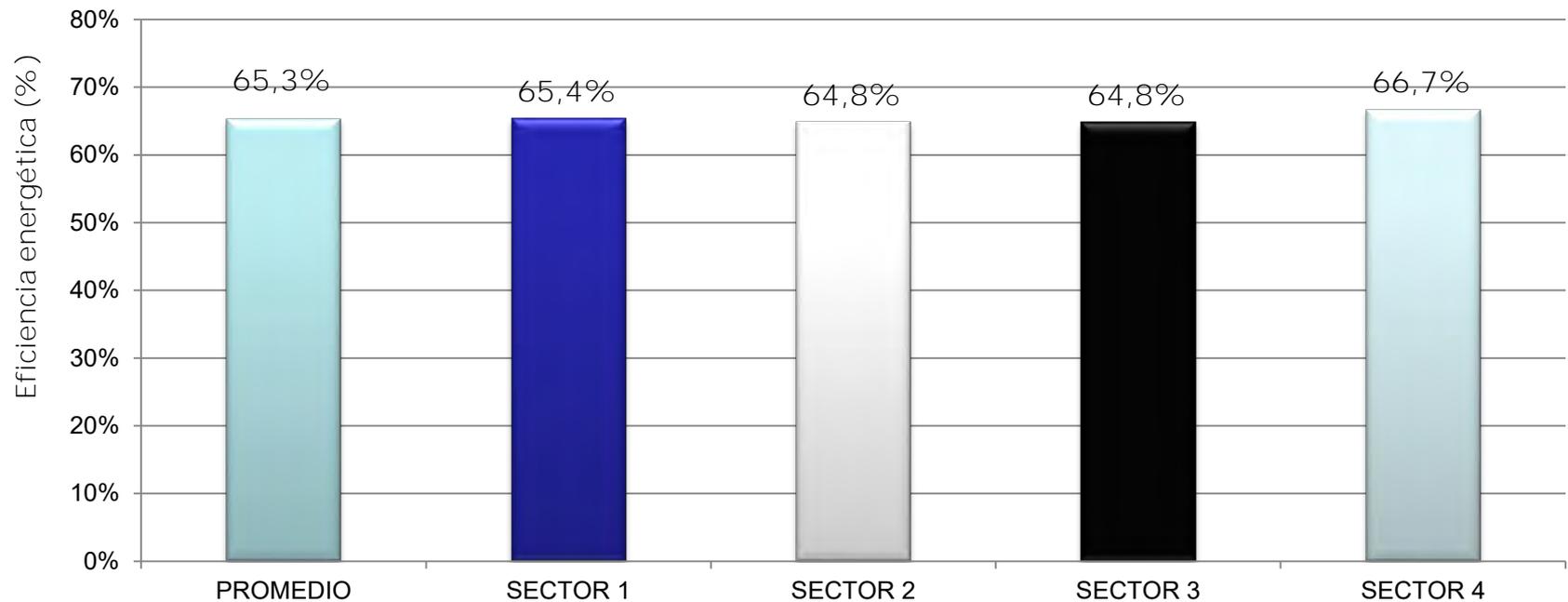
## ASPECTOS CONTEMPLADOS DE FORMA SIMULTÁNEA CON OPTIMIZADOR



***Imposible tenerlos en cuenta de forma manual***

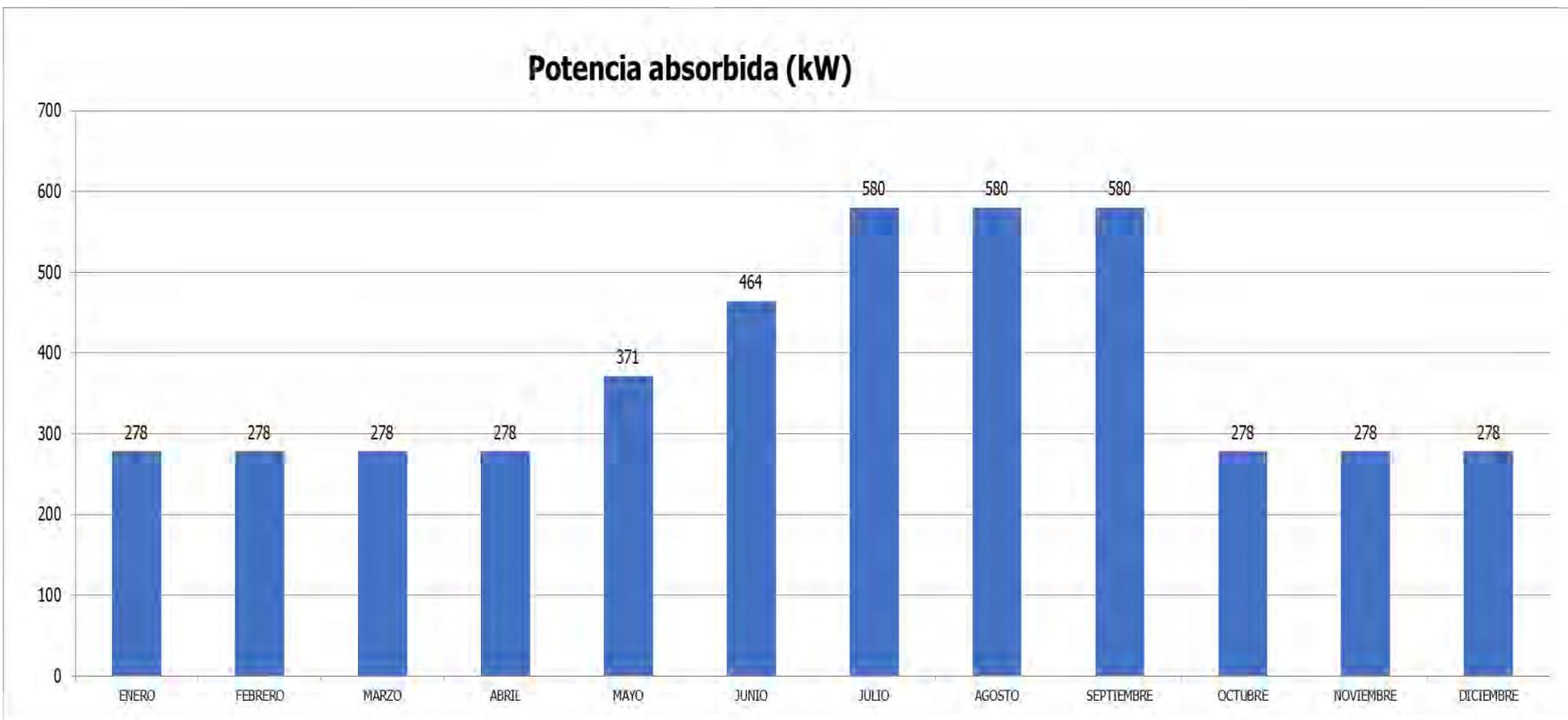
## RESULTADOS MEJORA

### EFICIENCIA ENERGÉTICA MEJORA PROPUESTA



**Eficiencia energética: Excelente**  
**Calificación: tipo A**

SITUACIÓN MEJORA



**Curva de potencia se parece mucho más a la curva de demanda de agua de los cultivos  
Además, pico potencia máximo reducido de 652 a 580 kW**

## RESUMEN AHORRO

PERIODO	ESCENARIO	
	Actual	Mejorado
1	15	15
2	655	15
3	655	15
4	655	15
5	655	15
6	655	655

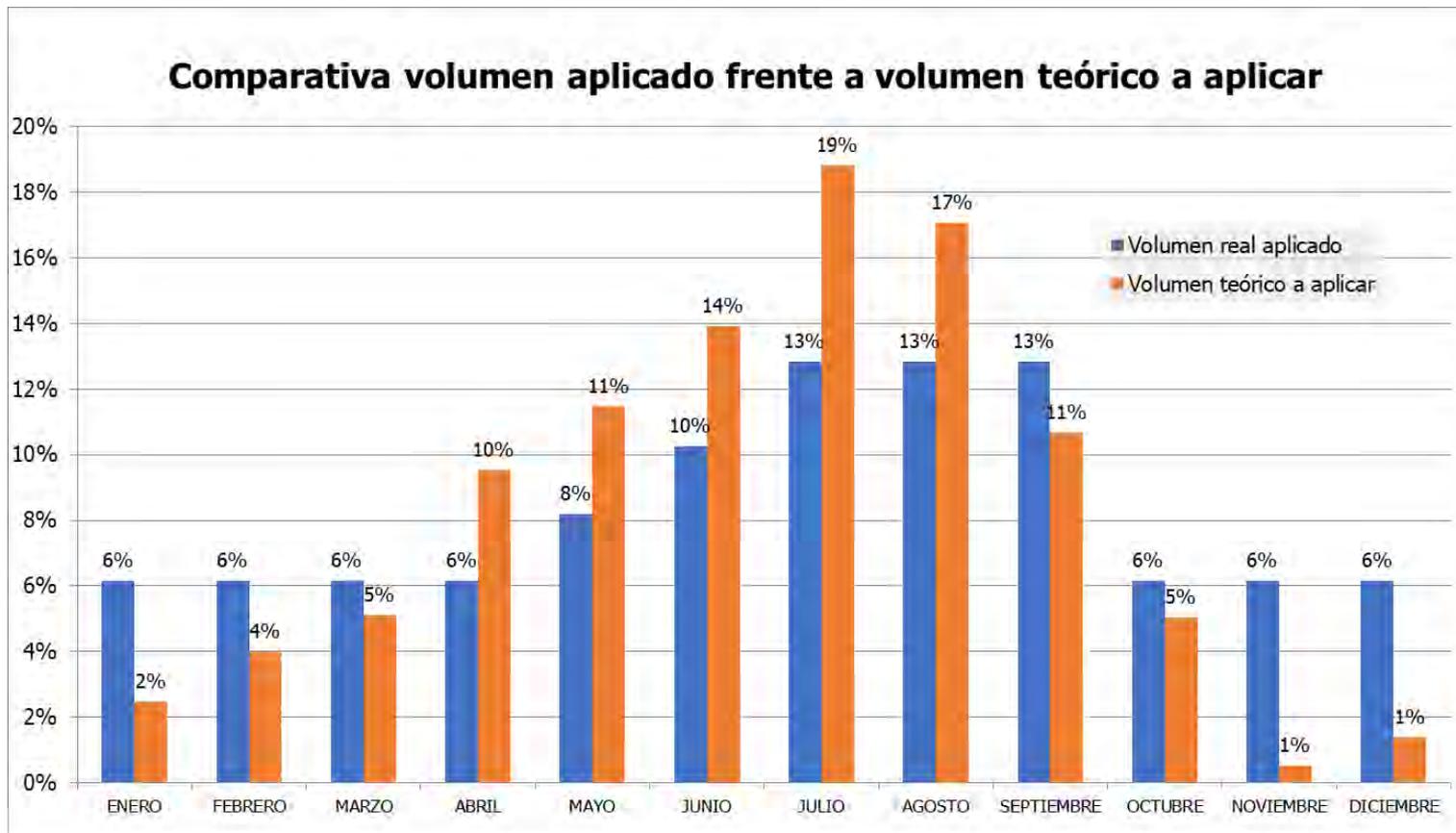
ESCENARIO	Energía	Energía	Potencia	Recargo potencia	Total
	(kWh/año)	(€/año)	(€/año)	(€/año)	(€/año)
INICIAL	916.475	63.130	58.337	224	121.691
MEJORADO	880.846	57.312	7.389	11.384	76.085
<b>AHORRO ABSOLUTO</b>	<b>35.629</b>	<b>5.818</b>	<b>50.948</b>	<b>-11.160</b>	<b>45.606</b>
<b>AHORRO RELATIVO</b>	<b>3,9%</b>	<b>9,2%</b>	<b>87,3%</b>	<b>-4982,1%</b>	<b>37,5%</b>

Todos los hidrantes reciben presión mínima requerida de 25 mca

**SIGUIENTES PASOS PARA TURNOS FIJOS**

Organizar turnos de riego para cada mes teniendo en cuenta simultáneamente:

- Necesidades de agua de los cultivos
- Tarifas eléctricas



**En, feb, mar, sep, oct, nov y dic: exceso riego**  
**Ab, may, jun, jul y ag: déficit riego**

**SIGUIENTES PASOS PARA TURNOS FIJOS**

Organizar turnos de riego para cada mes teniendo en cuenta simultáneamente:

- Necesidades de agua de los cultivos
- Tarifas eléctricas

**DISTRIBUCION HORARIA ANUAL DE TARIFAS DE ACCESO GENERALES DE ALTA TENSION EN 6 PERIODOS (ORDEN ITC/2794/2007)**

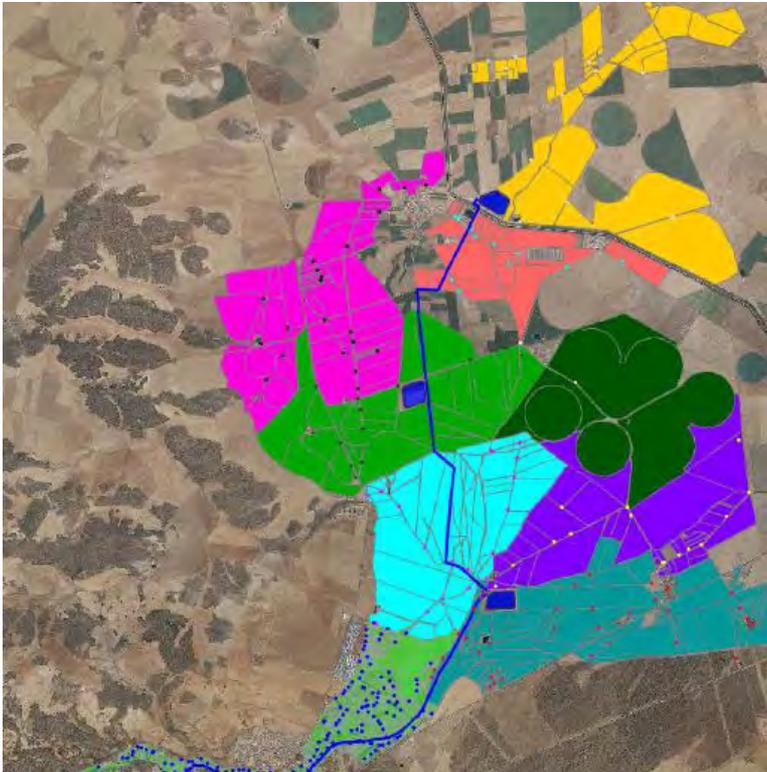
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio		Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
						1ª quincena	2ª quincena						
0	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
1	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
2	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
3	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
4	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
7	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
8	2	2	4	5	5	4	2	2	6	4	5	4	2
9	2	2	4	5	5	3	2	2	6	3	5	4	2
10	1	1	4	5	5	3	2	2	6	3	5	4	1
11	1	1	4	5	5	3	1	1	6	3	5	4	1
12	1	1	4	5	5	3	1	1	6	3	5	4	1
13	2	2	4	5	5	3	1	1	6	3	5	4	2
14	2	2	4	5	5	3	1	1	6	3	5	4	2
15	2	2	4	5	5	4	1	1	6	4	5	4	2
16	2	2	3	5	5	4	1	1	6	4	5	3	2
17	2	2	3	5	5	4	1	1	6	4	5	3	2
18	1	1	3	5	5	4	1	1	6	4	5	3	1
19	1	1	3	5	5	4	2	2	6	4	5	3	1
20	1	1	3	5	5	4	2	2	6	4	5	3	1
21	2	2	3	5	5	4	2	2	6	4	5	3	2
22	2	2	4	5	5	4	2	2	6	4	5	4	2
23	2	2	4	5	5	4	2	2	6	4	5	4	2

- En definitiva, para cada mes se debería optimizar los riegos teniendo en cuenta (necesidades agua y calendario tarifas eléctricas)
- Junio turno específico para la primera quincena

EJEMPLO ORGANIZACIÓN DE RIEGOS  
DIARIOS CAMBIANTES

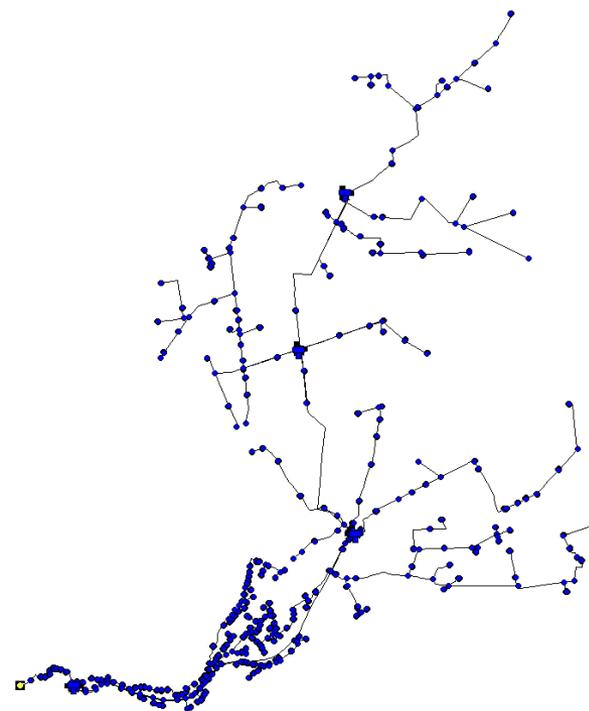
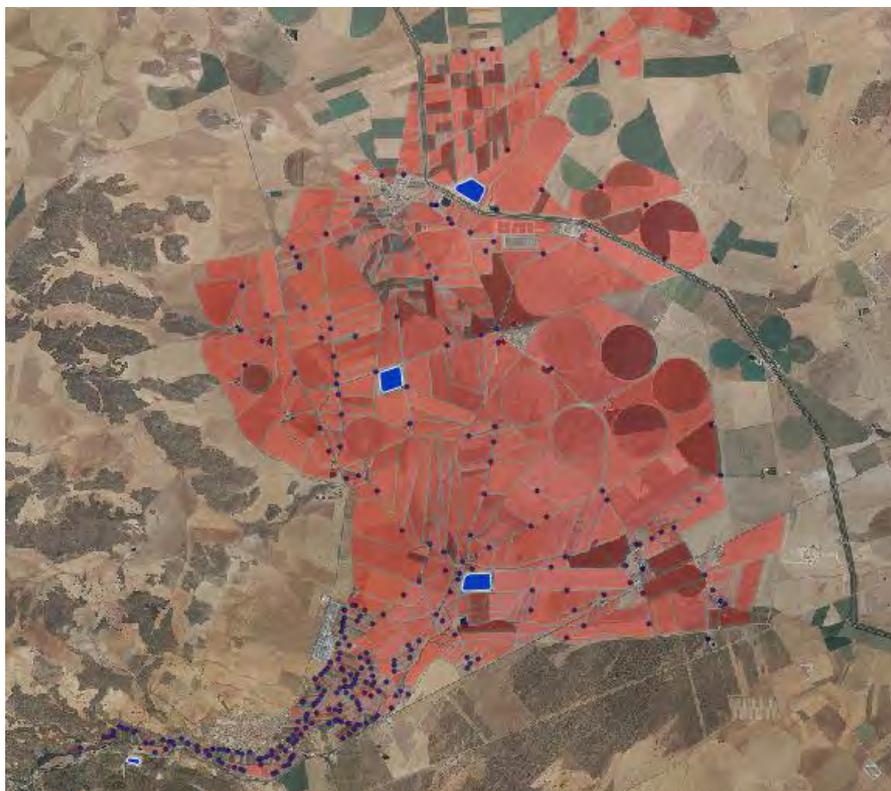
SITUACIÓN ACTUAL

- Mosaico de cultivos
- Organización riego: diario con recogida previa de peticiones
- Método organización riego: leal saber y entender
- Presión hidrante: variada (goteo, aspersión, llenado balsas, etc.)
- Tiempos de riego de cada toma: variable
- 9 sectores de riego independientes
- Altos recargos potencia, quejas calidad riego y altos costes unitarios



## MEJORA PROPUESTA

- Modelar la red de riego
- Implantar optimizar de riegos DIARIOS
- Metodología: Algoritmos genéticos
- Objetivo: reducir consumo energía, potencia y maximizar presiones hidrantes (calidad riego)



*Modelo hidráulico de la red*

# INTERFAZ OPTIMIZADOR DE RIEGO DIARIO

Files/Config/Balazote.inp

Buscar

Archivo de modelo de red (.inp)

Files/Config/Input.csv

Buscar

Archivo de peticiones (.csv)

**Opciones Estaciones de Bombeo**

Presión de consigna libre

Presión de consigna fija

Sector 1: 60.00 metros

Sector 2: 60.00 metros

Sector 3: 60.00 metros

Sector 4: 60.00 metros

Sector 5: 60.00 metros

Sector 6: 60.00 metros

Sector 8: 60.00 metros

Sector 9: 60.00 metros

**Opciones Riego**

Riego programado

Riego por tumos

Duración jornada de riego: 48

Inicio jornada de riego: 20/05/2019 00:00

Fin jornada de riego: 22/05/2019 00:00

**Estación bombeo cota constante**

Bomba 1

Bomba 2

**Opciones Algoritmo Genético**

100000 N° de evaluaciones

725 Tamaño de población

**Nivel Inicial Balsas**

Balsa 1: 1.2 metros

Balsa 2: 2 metros

Balsa 3: 1.25 metros

Balsa 4: 3.25 metros

**Consignas de caudal de entrada al sistema**

Balsa 2: 100 m3/h

Balsa 3: 100 m3/h

Balsa 4: 100 m3/h

**Tarifa Eléctrica**

	Término de Energía (€/kWh)	Potencia Contratada (kW)
P1	0.11898	40
P2	0.10125	400
P3	0.09087	400
P4	0.07925	400
P5	0.0706	2000
P6	0.06162	2000

**Impuestos**

I.V.A. (%): 21

I.E.E. (%): 0.77

Start

**Optimizador más completo por se sistema más complejo**

## FICHERO DE ENTRADA DE PETICIONES DE RIEGO AL OPTIMIZADOR

Hidrante	Q (m3/h)	Tiempo riego (h)	Hora inicio	Día riego	Presión mínima requerida (mca)	Riego (Modificable o fija)
H1_127A	2	1,0	0:00	22/05/2019	50	Modificable
H2_030D	3	1,0	0:00	22/05/2019	50	Modificable
H2_031B	8	1,0	0:00	22/05/2019	50	Modificable
H1_013C	83	1,0	0:00	22/05/2019	50	Modificable
H1_085D	23	1,0	0:00	22/05/2019	25	Modificable
H1_028D	46	2,0	0:00	22/05/2019	25	Modificable
H1_029A	44	2,0	0:00	22/05/2019	25	Modificable
H1_141C	16	2,0	0:00	22/05/2019	25	Modificable
H1_142A	37	2,0	0:00	22/05/2019	25	Modificable
H1_029B	18	2,0	2:00	22/05/2019	25	Modificable
H1_029C	28	2,0	2:00	22/05/2019	25	Modificable
H1_029D	25	2,0	2:00	22/05/2019	25	Modificable
H8_009C	69	2,0	6:00	22/05/2019	0	Modificable
H1_071A	51	2,0	0:00	23/05/2019	0	Modificable
H1_072A	50	2,0	0:00	23/05/2019	0	Modificable
H2_002B	2	2,0	0:00	23/05/2019	50	Modificable
H1_115B	3	3,0	0:00	22/05/2019	50	Modificable
H1_064B	8	3,0	0:00	22/05/2019	50	Modificable
H1_078C	83	3,0	0:00	22/05/2019	50	Modificable
H1_079A	23	3,0	0:00	22/05/2019	25	Modificable
H1_082C	46	3,0	0:00	22/05/2019	25	Modificable
H1_108B	44	3,0	0:00	22/05/2019	25	Modificable

1. Horario de riego de cada hidrante

Programación riego optimizada

HIDRANTE	FECHA Y HORA INICIO	FECHA Y HORA FIN
H1_013B	23/05/2019 22:30	24/05/2019 1:30
H1_013C	23/05/2019 0:00	23/05/2019 1:00
H1_024A	24/05/2019 3:30	24/05/2019 6:30
H1_024B	22/05/2019 7:30	22/05/2019 10:30
H1_025C	23/05/2019 23:30	24/05/2019 2:30
H1_026A	23/05/2019 17:00	23/05/2019 23:00
H1_028D	22/05/2019 9:30	22/05/2019 11:30
H1_029A	22/05/2019 8:00	22/05/2019 10:00
H1_029B	23/05/2019 20:30	23/05/2019 22:30
H1_029C	23/05/2019 5:00	23/05/2019 7:00
H1_029D	22/05/2019 9:00	22/05/2019 11:00
H1_062B	23/05/2019 18:00	24/05/2019 0:00
H1_064B	23/05/2019 18:30	23/05/2019 21:30
H1_071A	22/05/2019 9:00	22/05/2019 11:00
H1_072A	23/05/2019 17:30	23/05/2019 19:30
H1_073A	23/05/2019 4:30	23/05/2019 7:30
H1_077D	22/05/2019 16:00	22/05/2019 20:00
H1_078C	23/05/2019 1:00	23/05/2019 4:00
H1_079A	23/05/2019 17:00	23/05/2019 20:00
H1_080A	23/05/2019 1:00	23/05/2019 4:00
H1_082C	23/05/2019 23:00	24/05/2019 2:00

Importante telecontrol operativo

## 2. Resumen general del riego

	Escenario inicial	Solucion propuesta
N de hidrantes	129	129
Volumen total bombeado (m3)	205.445	205.445
Energia consumida (kWh)	55.801	49.152
Consumo especifico (kWh/m3)	0.272	0.239
Coste en energia (euros)	7.564	4.166
Coste especifico (centimos/m3)	3.68	2.03
Eficiencia energetica (%)	57.16	64.89
Calificacion energetica	C	B
Penalizacion E.P. (euros)	2.925	0
ID hidrante critico:	H8_008B	H8_008B
Presion hidrante critico (m.c.a)	41.54	52.14
Nº hidrantes con presión por debajo requerida	17	0
Penalizacion en P1 (euros)	0	0
Penalizacion en P2 (euros)	0	0
Penalizacion en P3 (euros)	0	0
Penalizacion en P4 (euros)	0	0
Penalizacion en P5 (euros)	981	0
Penalizacion en P6 (euros)	1.943	0
Tiempo de calculo	0:11:48	
Ahorro energetico (kWh)	6.649	
Ahorro energetico (%)	11,9%	
Ahorro economico (euros)	3.397	
Ahorro economico (%)	44,9%	

Sólo para una jornada de riego

## 3. Resumen por sector del riego

	Escenario inicial	Solucion propuesta
N de hidrantes	11	11
Volumen total bombeado (m3)	31.910	31.910
Presion de consigna (m)	60	60
Energia consumida (kWh)	8.678	7.578
Consumo especifico (kWh/m3)	0.272	0.238
Coste en energia (euros)	717	640
Coste especifico (centimos€/m3)	2.25	2.01
Eficiencia energetica (%)	58.27	66.79
Calificacion energetica	C	A
ID hidrante critico:	H4_002B	H4_002B
Presion hidrante critico (m.c.a)	57.71	58
Nº hidrantes con presión inferior a requerida	0	0

Tiempo de calculo	0:11:48
Ahorro energetico (kWh)	1.099
Ahorro energetico (%)	12,67
Ahorro economico (euros)	77,8
Ahorro economico (%)	10,83

### Parámetros estación de bombeo solucion propuesta

Instante	Altura	Caudal (l/s)	Potencia (kW)	Eficiencia (%)	Calificacion energ.	Consumo esp. (kWh/m3)	Coste esp. (centimos/m3)	N bombas
22/05/2019 0:00	57,8	200.59	165.33	68.8	A	0.229	1.41	1
22/05/2019 0:15	57,8	200.6	165.35	68.8	A	0.229	1.41	1
22/05/2019 0:30	57,8	200.59	165.36	68.8	A	0.229	1.41	1
22/05/2019 0:45	57,8	200.6	165.37	68.8	A	0.229	1.41	1
22/05/2019 1:00	57,8	200.59	165.38	68.8	A	0.229	1.41	1
22/05/2019 1:15	57,8	200.6	165.39	68.8	A	0.229	1.41	1
22/05/2019 1:30	57,8	200.59	165.4	68.8	A	0.229	1.41	1
22/05/2019 1:45	57,8	200.6	165.42	68.8	A	0.229	1.41	1

#### 4. Evolución niveles embalses

##### Evolucion del nivel de las balsas:

Instante	Balsa 1 (m)	Balsa 2 (m)	Balsa 3 (m)	Balsa 4 (m)
22/05/2019 0:00	2	4	3	3
22/05/2019 1:00	2	4	3	3
22/05/2019 2:00	2	3.99	2.99	2.99
22/05/2019 3:00	2	3.98	2.98	2.98
22/05/2019 4:00	2	3.97	2.97	2.97
22/05/2019 5:00	2	3.96	2.96	2.96
22/05/2019 6:00	2	3.95	2.95	2.95
22/05/2019 7:00	2	3.93	2.93	2.93
22/05/2019 8:00	2	3.91	2.89	2.92
22/05/2019 9:00	2	3.9	2.85	2.91
22/05/2019 10:00	2	3.88	2.8	2.9
22/05/2019 11:00	2	3.87	2.76	2.89
22/05/2019 12:00	2	3.85	2.73	2.87
22/05/2019 13:00	2	3.84	2.69	2.86
22/05/2019 14:00	2	3.82	2.65	2.85
22/05/2019 15:00	2	3.8	2.62	2.84
22/05/2019 16:00	2	3.78	2.59	2.82
22/05/2019 17:00	2	3.77	2.55	2.81
22/05/2019 18:00	2	3.75	2.52	2.8
22/05/2019 19:00	2	3.73	2.48	2.79
22/05/2019 20:00	2	3.71	2.45	2.78
22/05/2019 21:00	2	3.69	2.43	2.78
22/05/2019 22:00	2	3.66	2.42	2.77
22/05/2019 23:00	2	3.64	2.41	2.75
23/05/2019 0:00	2	3.62	2.4	2.75

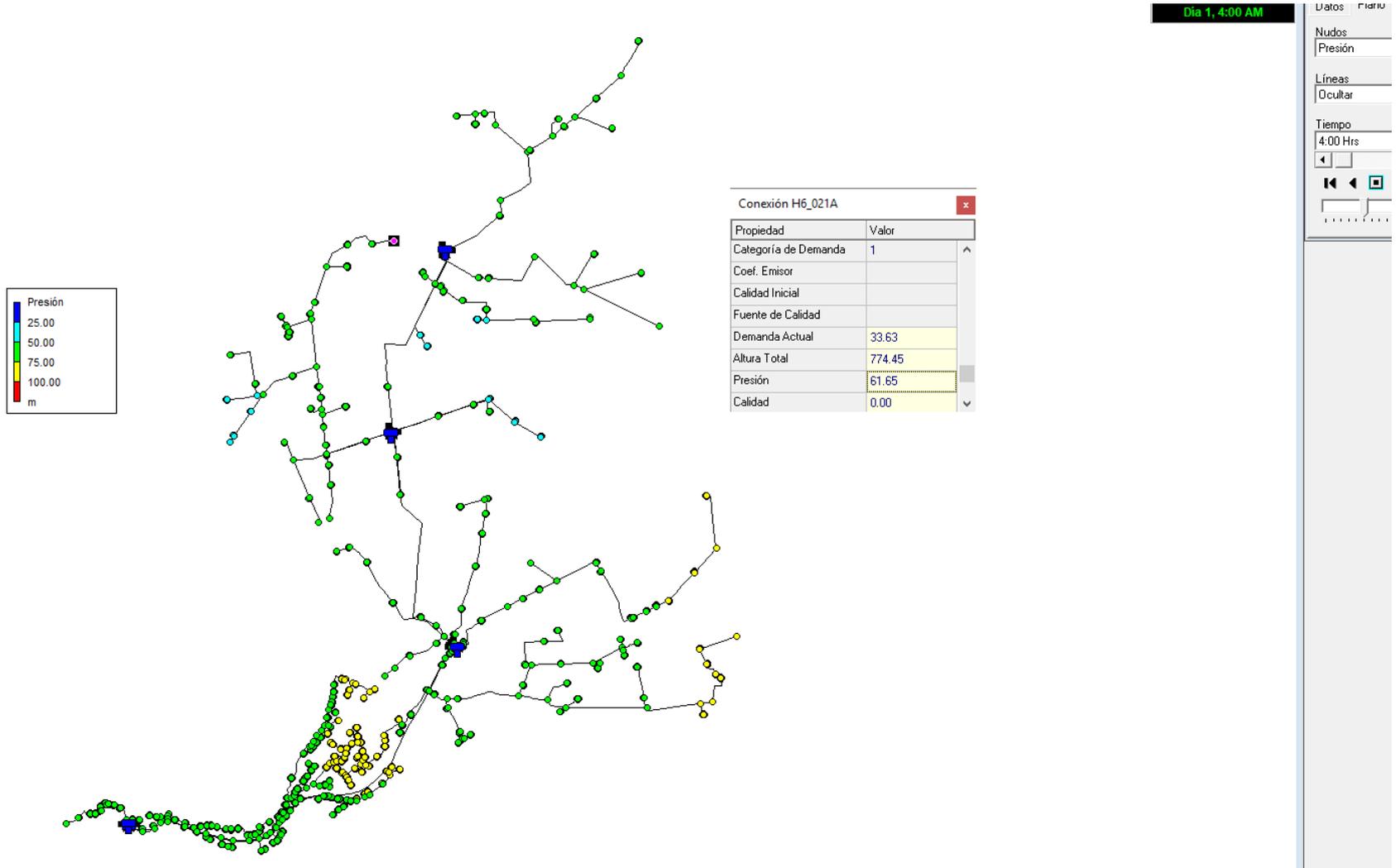
Confirmar  
disponibilidad agua

## 5. Evolución potencia absorbida

### Potencia absorbida total en cada instante

Instante	Periodo horario	Potencia demandada (kW)	Potencia contratada (kW)	Exceso (kW)
22/05/2019 0:00	P6	387.68	2000	0
22/05/2019 0:15	P6	387.71	2000	0
22/05/2019 0:30	P6	412.68	2000	0
22/05/2019 0:45	P6	412.71	2000	0
22/05/2019 1:00	P6	432.27	2000	0
22/05/2019 1:15	P6	432.31	2000	0
22/05/2019 1:30	P6	581.82	2000	0
22/05/2019 1:45	P6	581.86	2000	0
22/05/2019 2:00	P6	672.33	2000	0
22/05/2019 2:15	P6	672.4	2000	0
22/05/2019 2:30	P6	672.37	2000	0
22/05/2019 2:45	P6	672.45	2000	0
22/05/2019 3:00	P6	745.92	2000	0
22/05/2019 3:15	P6	745.99	2000	0
22/05/2019 3:30	P6	853.42	2000	0
22/05/2019 3:45	P6	853.53	2000	0
22/05/2019 4:00	P6	853.51	2000	0
22/05/2019 4:15	P6	853.61	2000	0
22/05/2019 4:30	P6	886.81	2000	0
22/05/2019 4:45	P6	886.86	2000	0
22/05/2019 5:00	P6	994.69	2000	0
22/05/2019 5:15	P6	994.57	2000	0
22/05/2019 5:30	P6	1025.23	2000	0
22/05/2019 5:45	P6	1025.36	2000	0
22/05/2019 6:00	P6	1061.63	2000	0
22/05/2019 6:15	P6	1061.73	2000	0
22/05/2019 6:30	P6	1032.65	2000	0
22/05/2019 6:45	P6	1032.74	2000	0
22/05/2019 7:00	P6	1040.78	2000	0
22/05/2019 7:15	P6	1040.9	2000	0
22/05/2019 7:30	P6	1126.67	2000	0
22/05/2019 7:45	P6	1126.89	2000	0
22/05/2019 8:00	P5	1118.93	2000	0
22/05/2019 8:15	P5	1119.09	2000	0
22/05/2019 8:30	P5	1145.57	2000	0

## 6. Modelo hidráulico (inicial y mejorada)



- Genere turnos automáticamente que puedan ser por gravedad
- Adaptación a bombeos abastecidos de energía solar (concentrar riegos en zonas de máxima generación solar)
- Integración sensores (caudalímetros y sondas presión) y telecontrol (caudales tomas) para supervisión riego en tiempo real

# RIEGOS A LA DEMANDA

- Bombas distinto tamaño en paralelo
- Algunas accionadas con variador velocidad
- Equipos dimensionados para demandas necesarias
- Si es demanda restringida, estudiar posibilidad de hacer subgrupos con consignas diferentes
- Regulación presión consigna (colector –sencillo- o puntos críticos red –más eficiente)



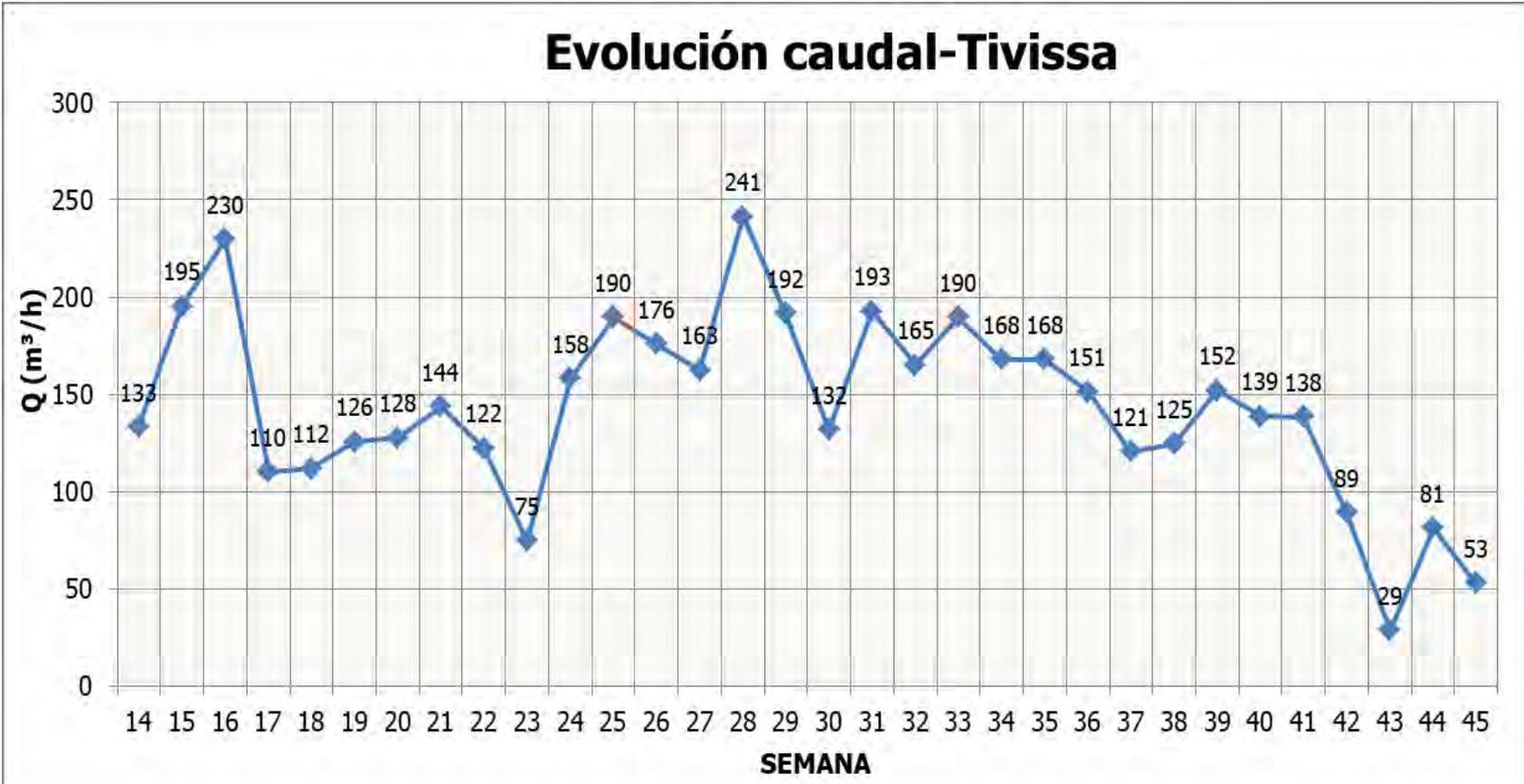
## EJEMPLO RIEGO A LA DEMANDA DE UNA RED EN FASE DE EXPLOTACIÓN

## SITUACIÓN ACTUAL

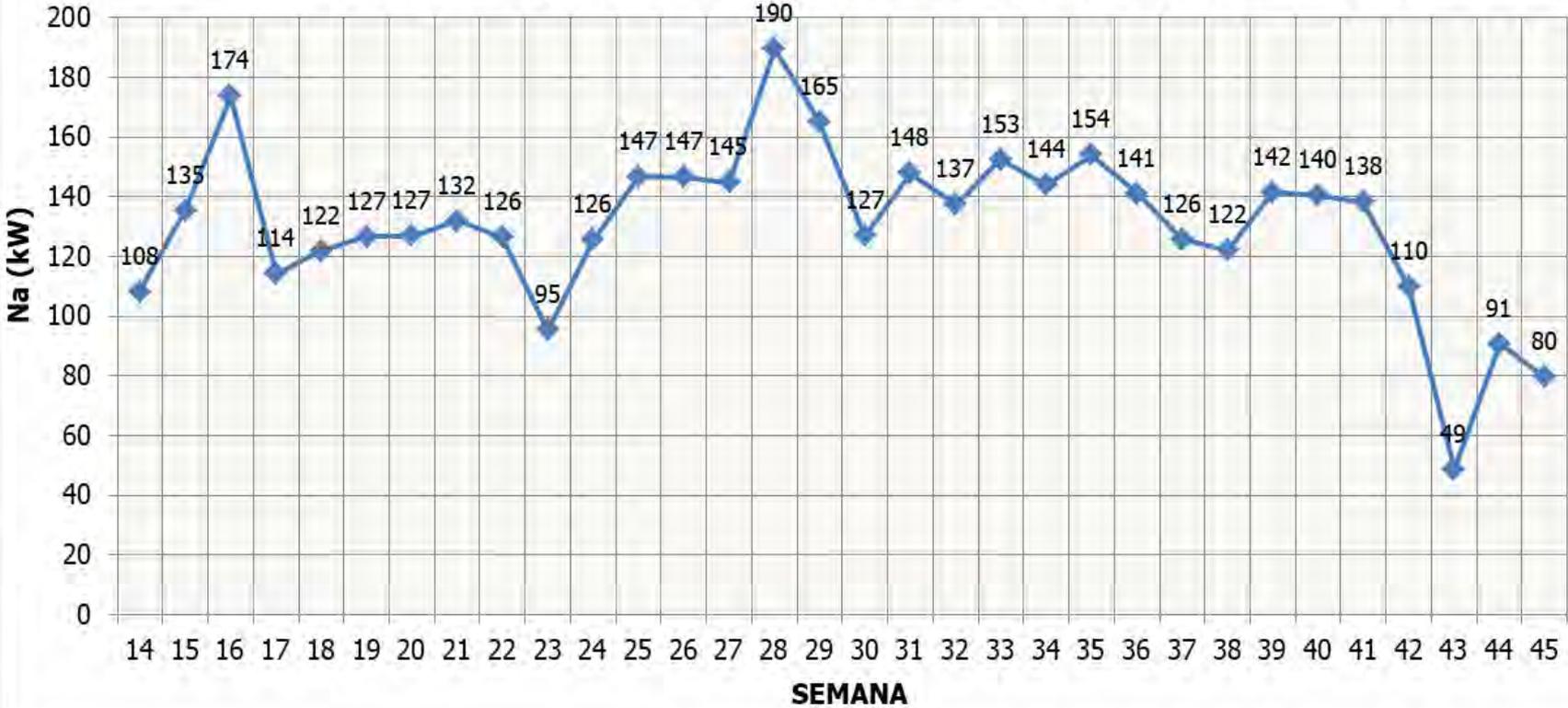
- Grupo de igual tamaño en paralelo (4 unidades)
- Riego a la demanda restringida
- Equipos sobredimensionados (altura y caudal)
- Regulación manométrica en colector impulsión
- Elevados episodios de arranque-paro
- Baja eficiencia energética
- Elevados roturas y costes asociados



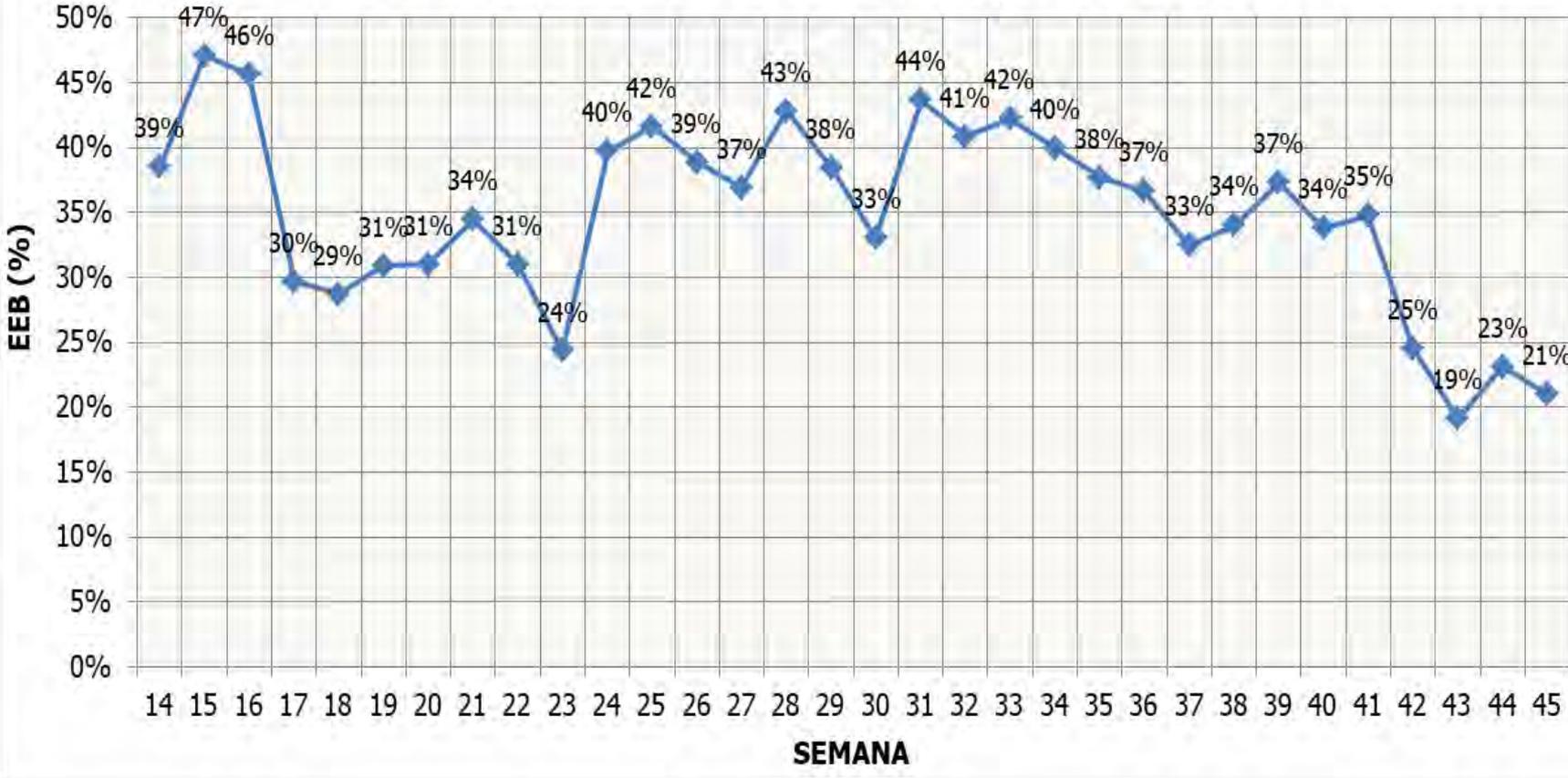
BOMBEO	Caudal (m <sup>3</sup> /h)	Desviación estándar caudal (m <sup>3</sup> /h)	Coefficiente variación caudal (%)	Altura (mca)	Potencia hidráulica (kW)	Potencia absorbida (kW)	Eficiencia energética (%)	Energía unitaria (kWh/m <sup>3</sup> )	Intensidad energética (Wh/m <sup>3</sup> mca)
TI	151,0	±78,3	51,8	126,6	51,8	136,9	37,8	0,9066	7,16



### Evolución potencia eléctrica absorbida-Tivissa



### Evolución eficiencia energética-Tivissa



BOMBEO	Hm nominal (mca)	Hm registrada (mca)	Sobredimensionado Altura (%)	Caudal nominal bomba actual (m <sup>3</sup> /h)	Caudal registrado (m <sup>3</sup> /h)	Sobredimensionado caudal (%)	Número de bombas necesarias
TI	142	127	<b>12%</b>	202	151	<b>25%</b>	0,7

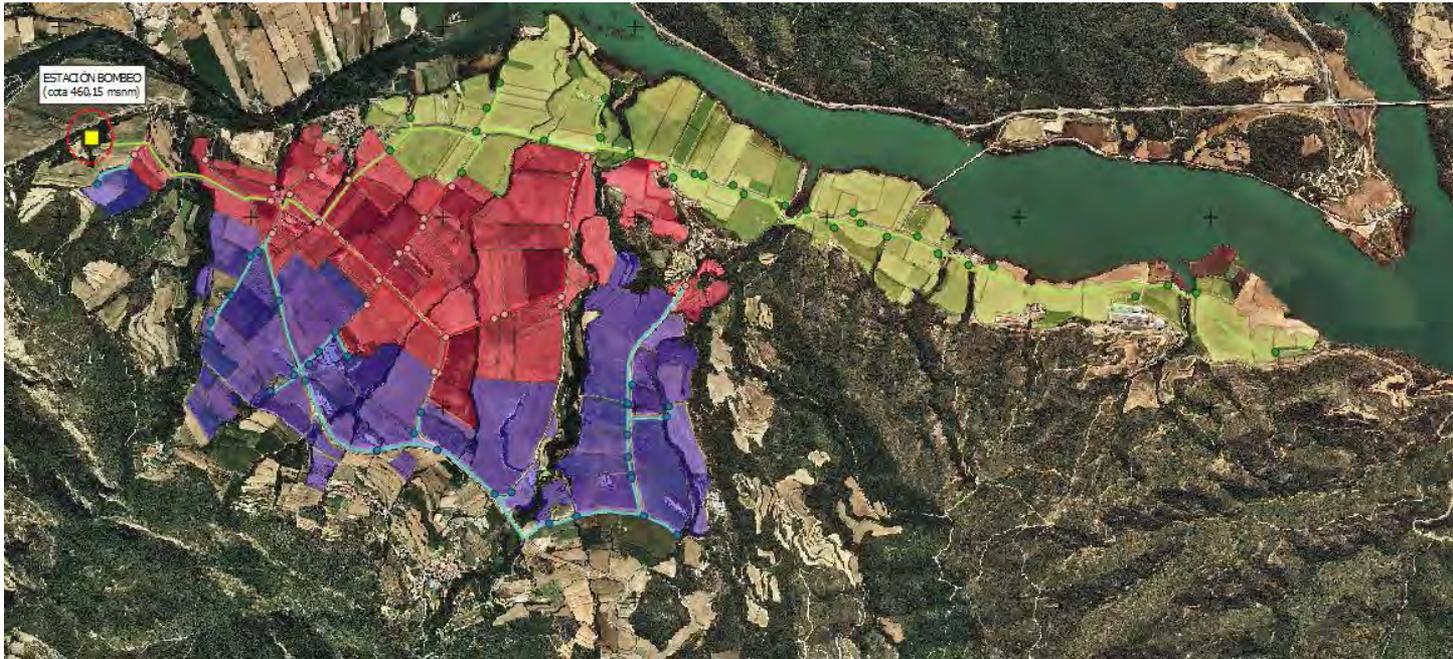
- Instalar equipos de bombeo ajustados a las exigencias reales del regadío
- Instalar 3 unidades (2+1)
- Programar arranque secuencial de bombas y regulación compartida
- Espaciar unos minutos arranque de bombes que comparten contratos
- Reducir potencia para ajustar a la nueva situación

- Eficiencia energética (%): 65,1
- Ahorro energético (kWh/año): 138.941 (38,4 %)
- Ahorro económico (€/año): 20.551 (19,1 %)
- Inversión (€): 57.980
- Plazo amortización (años): 2,8



EJEMPLO RIEGO A LA DEMANDA DE UNA  
RED PARCIALMENTE CONSTRUIDA

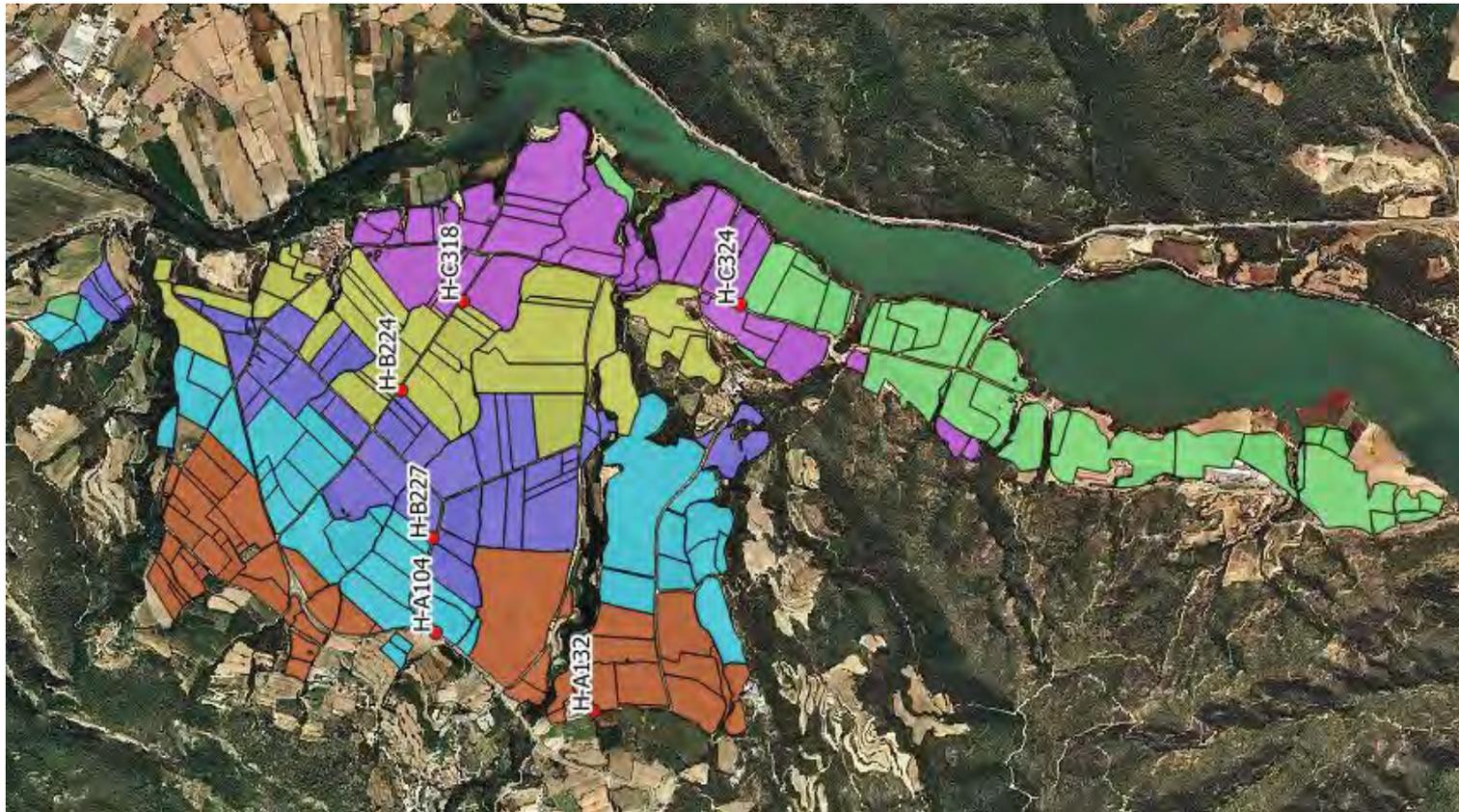
- Infraestructura parcialmente ejecutada, salvo bombeos (no riego aún)
- Sale licitación y se invita a proponer proyecto variante (no se pueden tocar trazados)

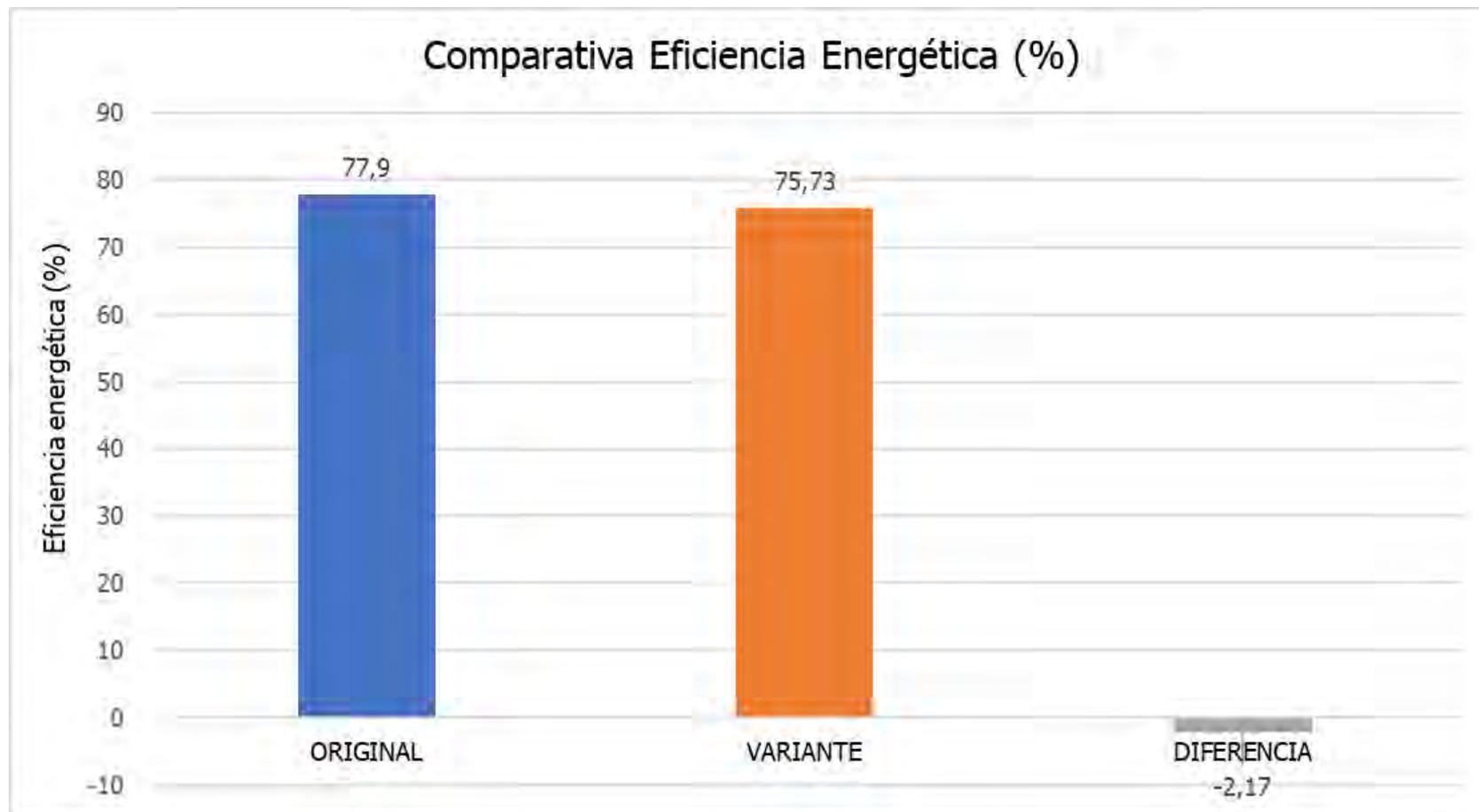


- Se ha estructurado en 3 sectores independientes
- Todos los grupos son del mismo tamaño
- Misma presión de consigna para todo el sector
- Regulación en consigna colector impulsión
- Se exige elevadas cotas de eficiencia de las bombas, pero **no se exige garantizar un buen aprovechamiento de la energía**

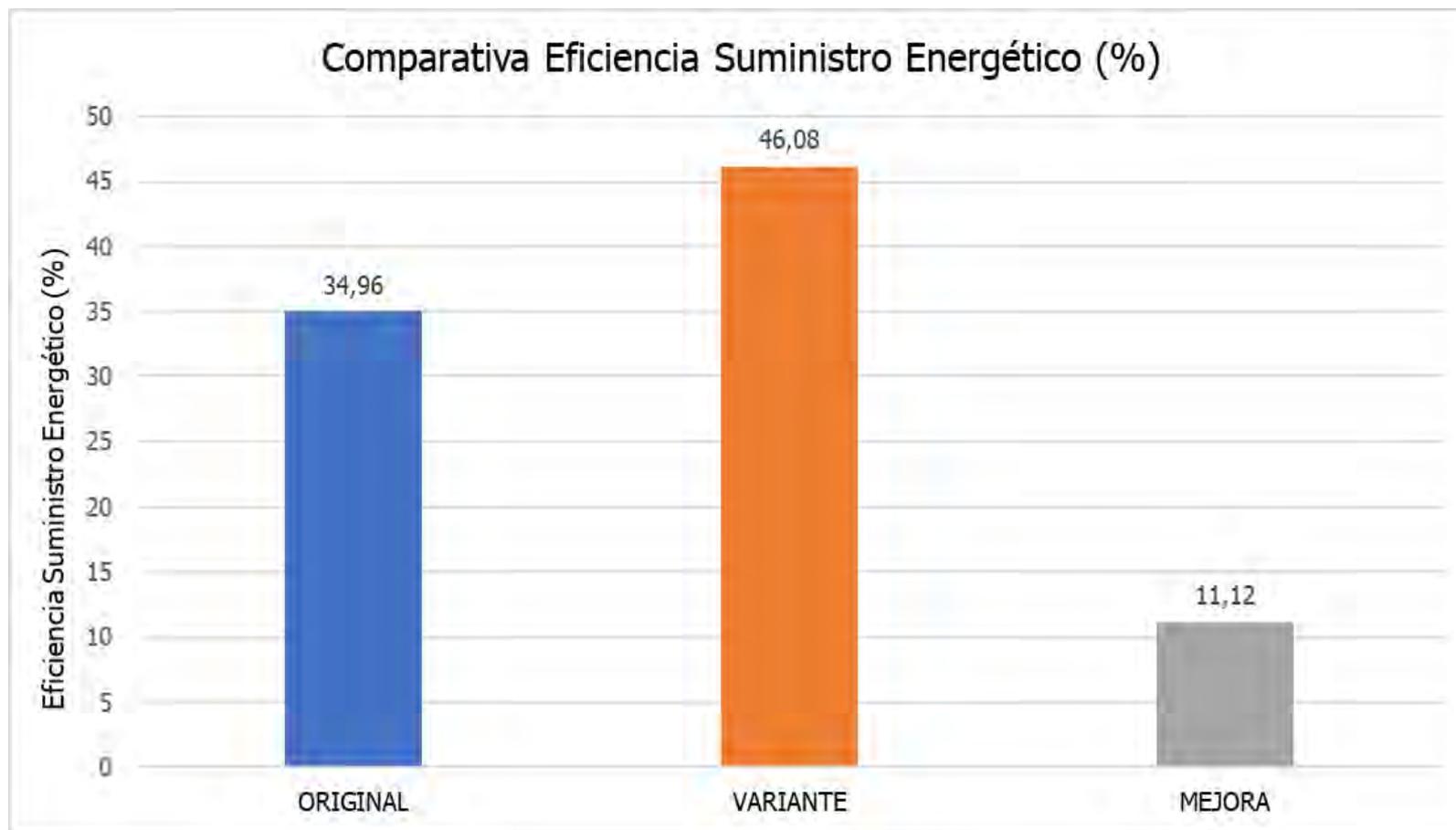
## PROPUESTA MEJORA

- Subdividir los sectores en dos subsectores
- Instalar 4 bombas en paralelo (3+1)
- Regulación presión en puntos críticos (no en colector)

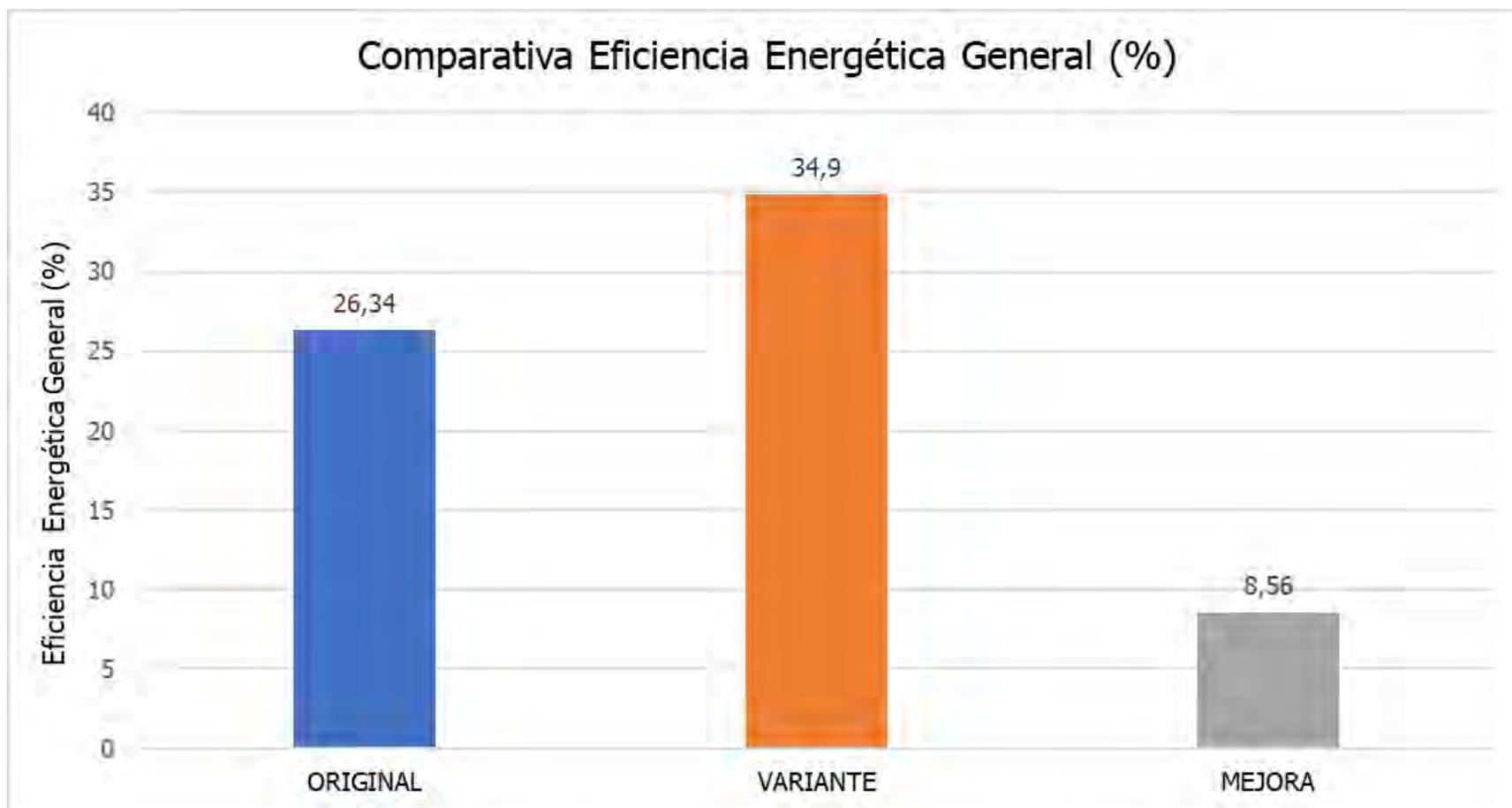




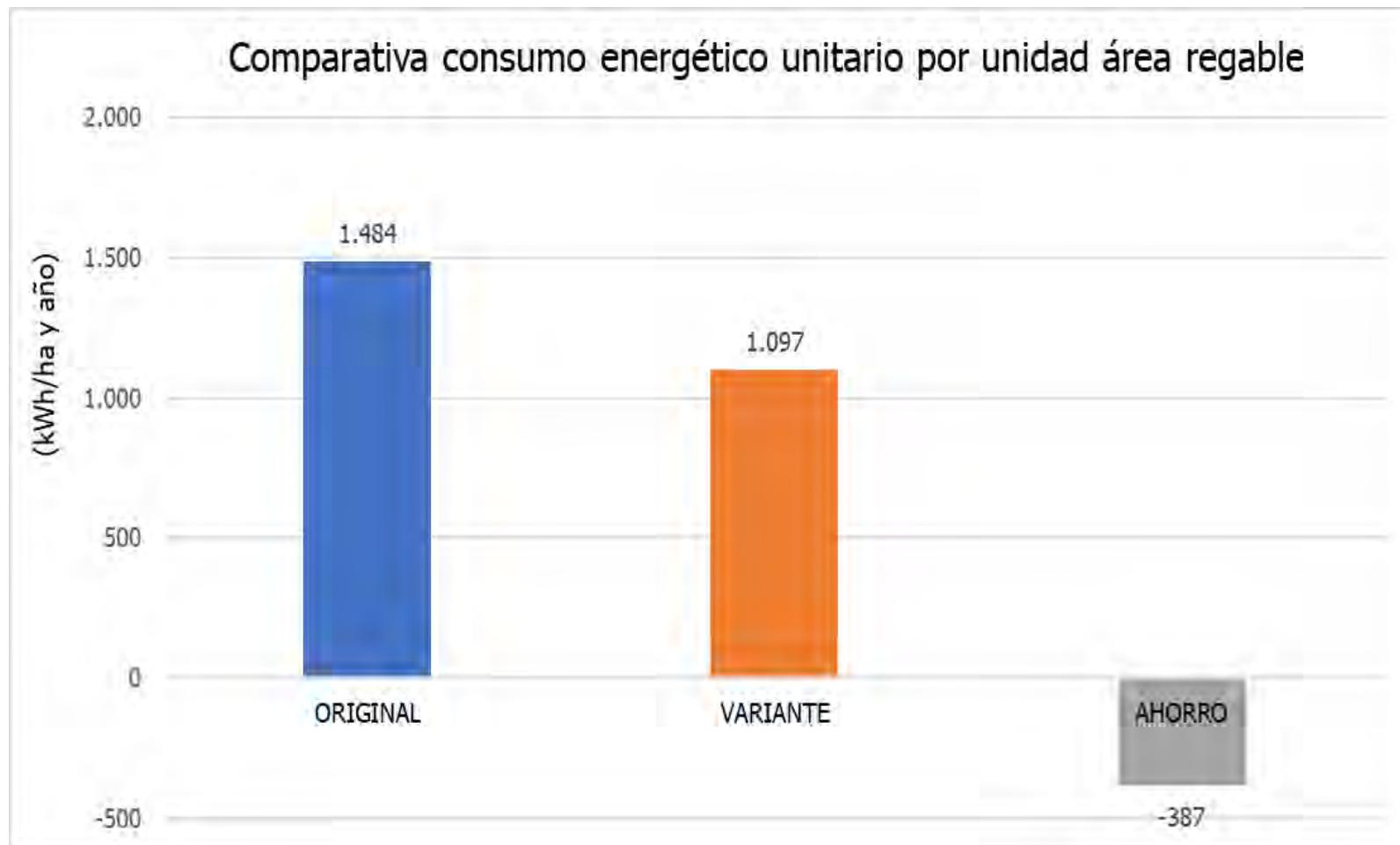
En ambos casos tipo A (Excelente)



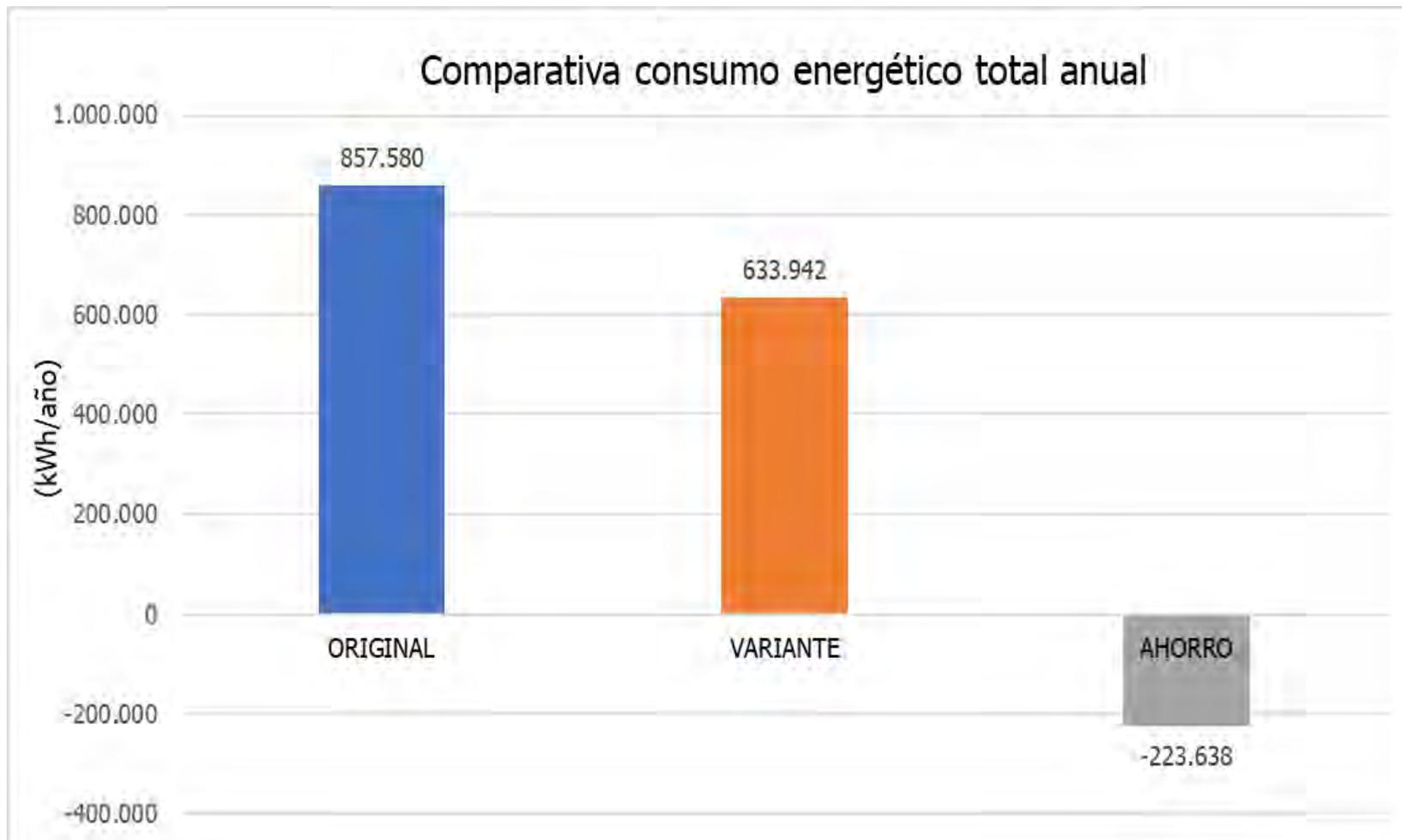
Mejoraría en 11,1 puntos porcentuales, lo que supone un incremento relativo del 31,8 %.



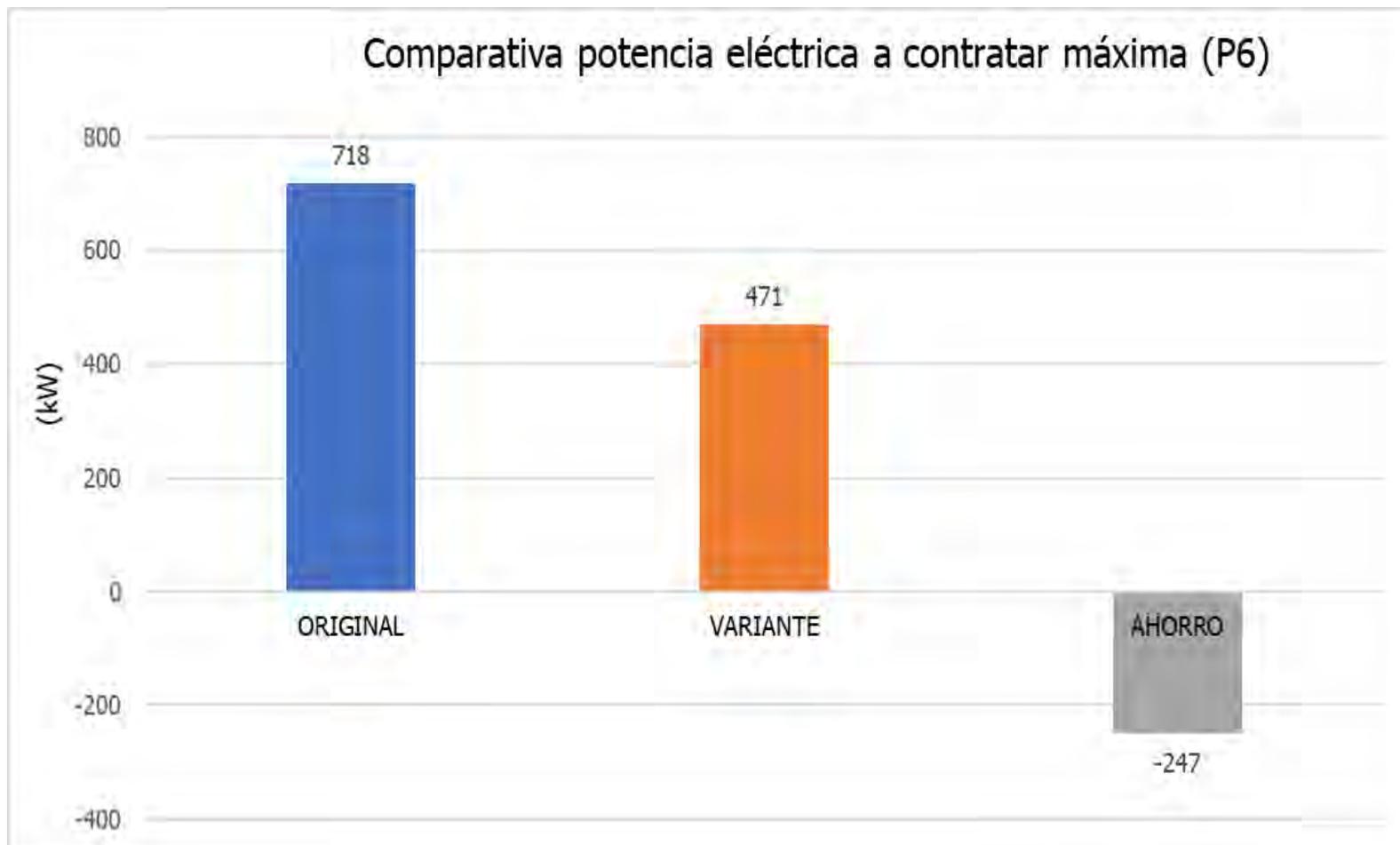
Mejoraría en 8,6 puntos porcentuales, lo que supone un incremento relativo del 32,5 %



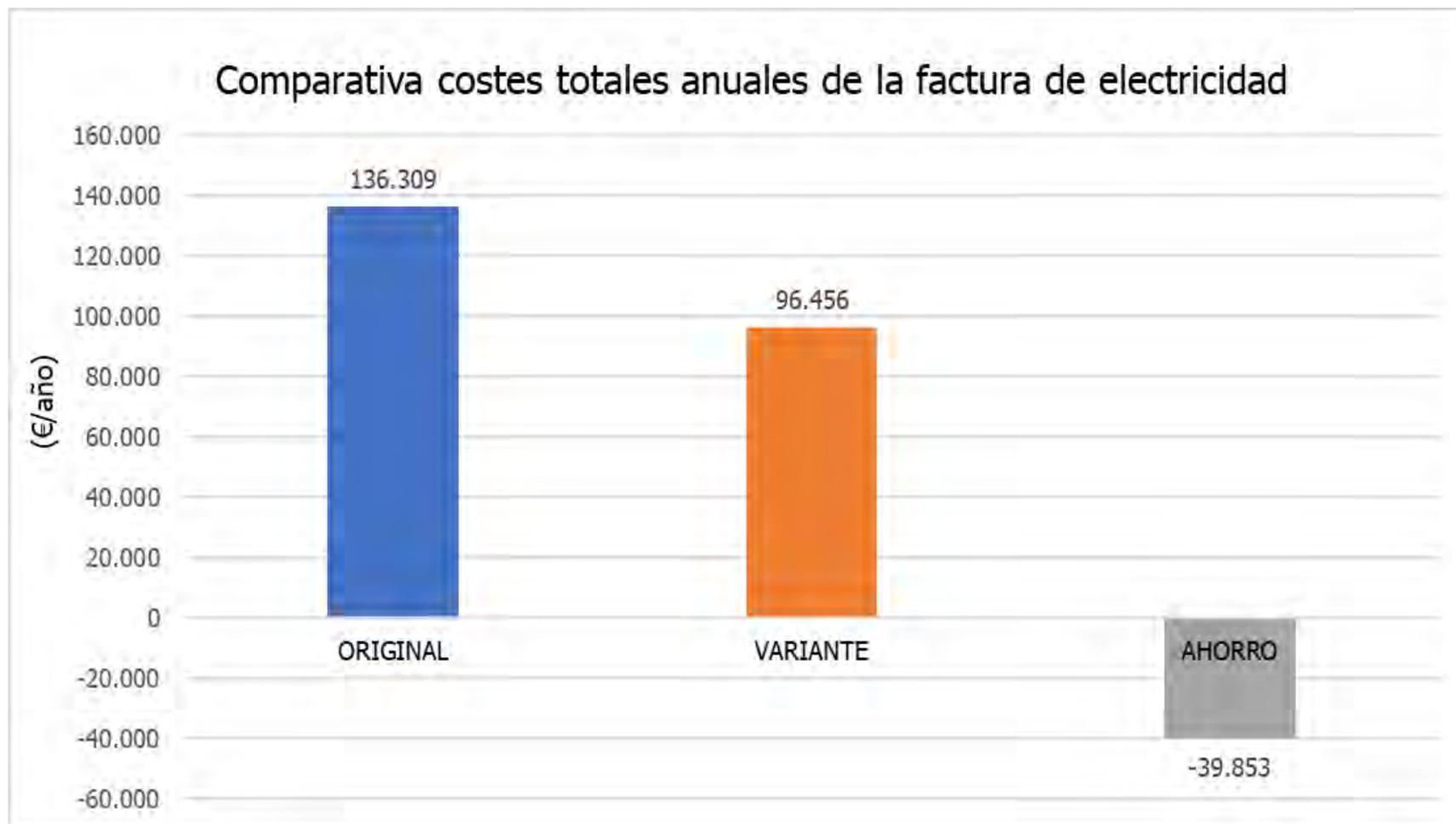
Ahorro relativo del 26,1 %.



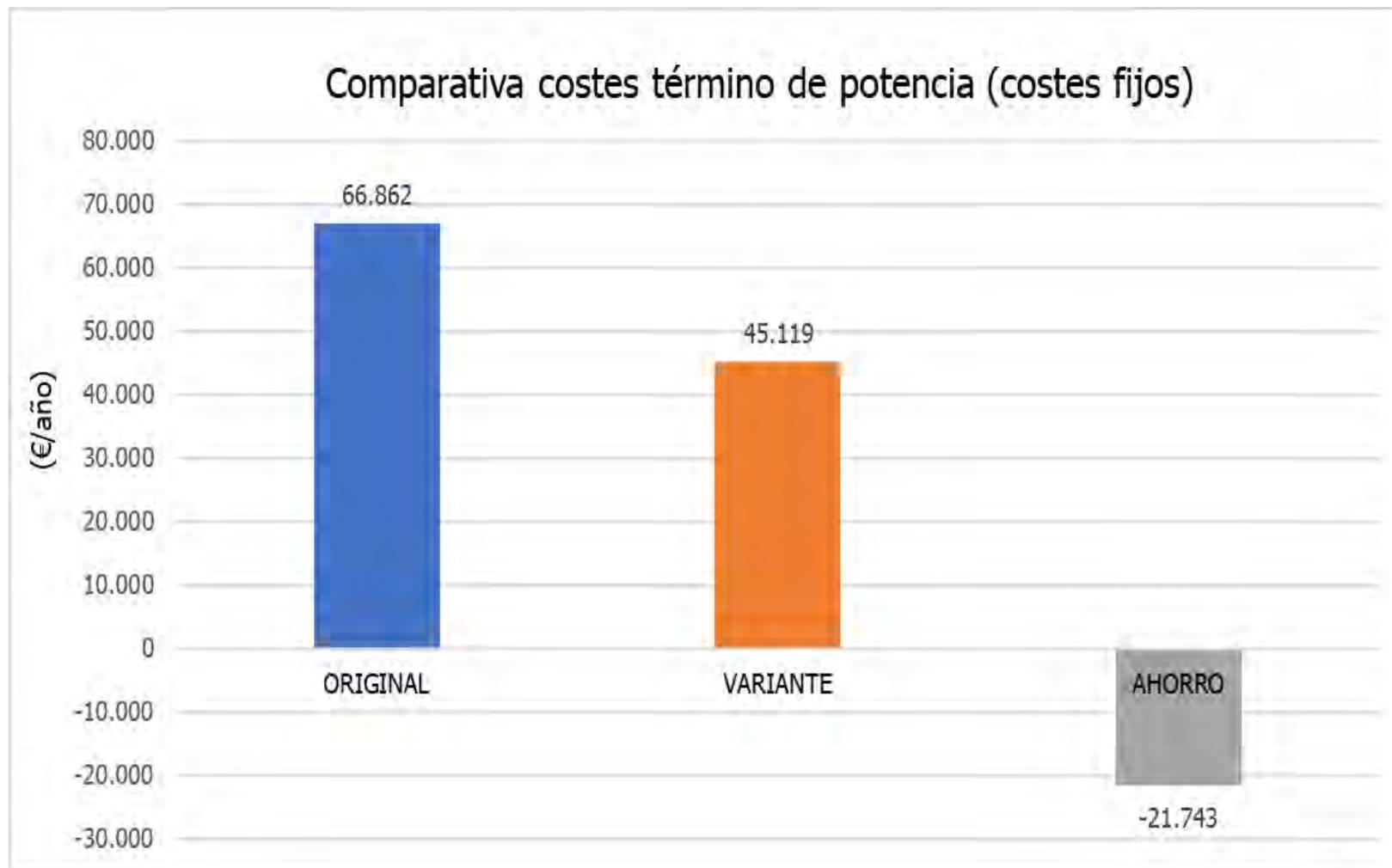
Ahorro relativo del 26,1 %



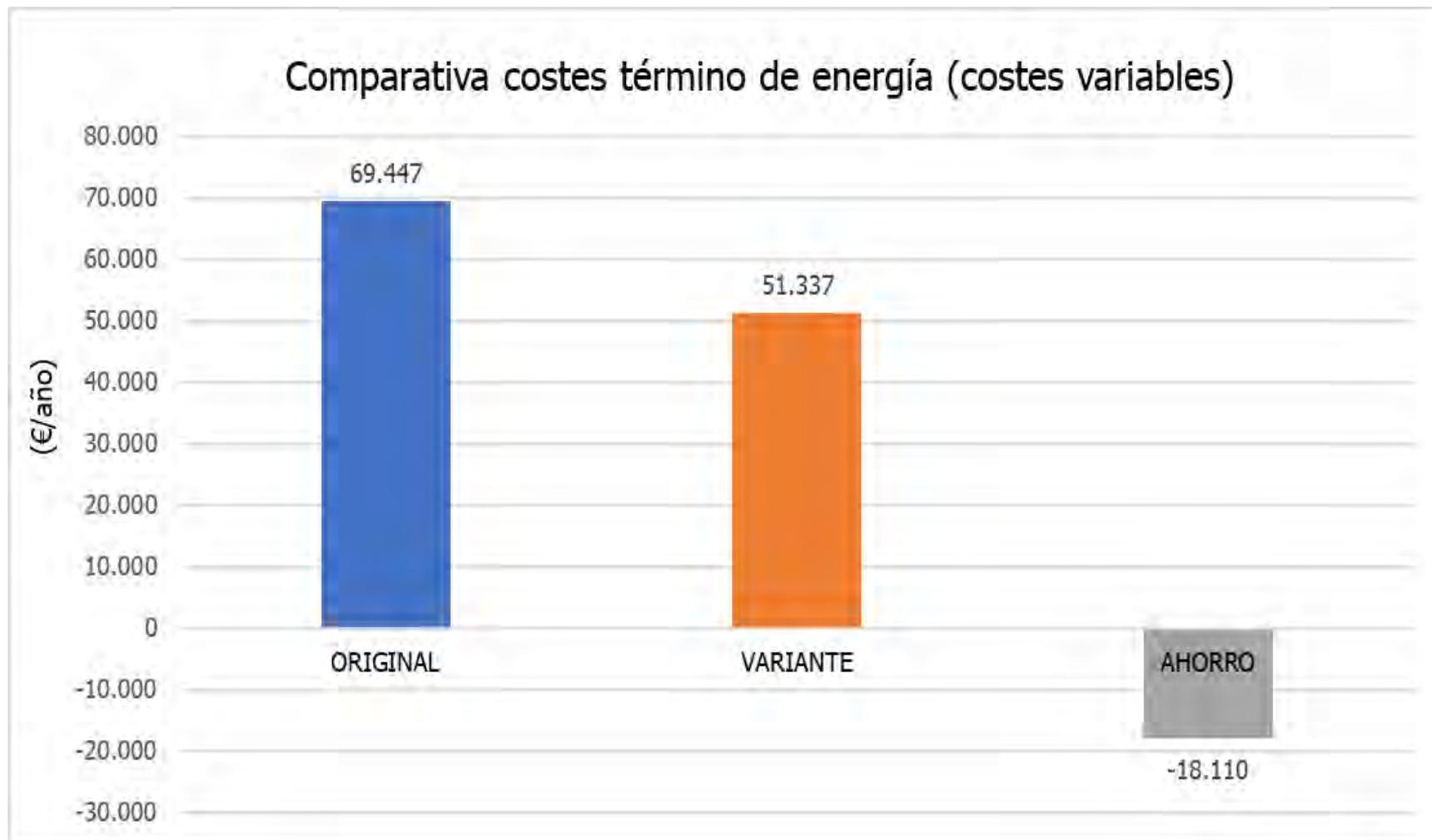
Reducción de la potencia a contratar máxima del 34,4 %.



Ahorro costes electricidad del 29,2 %



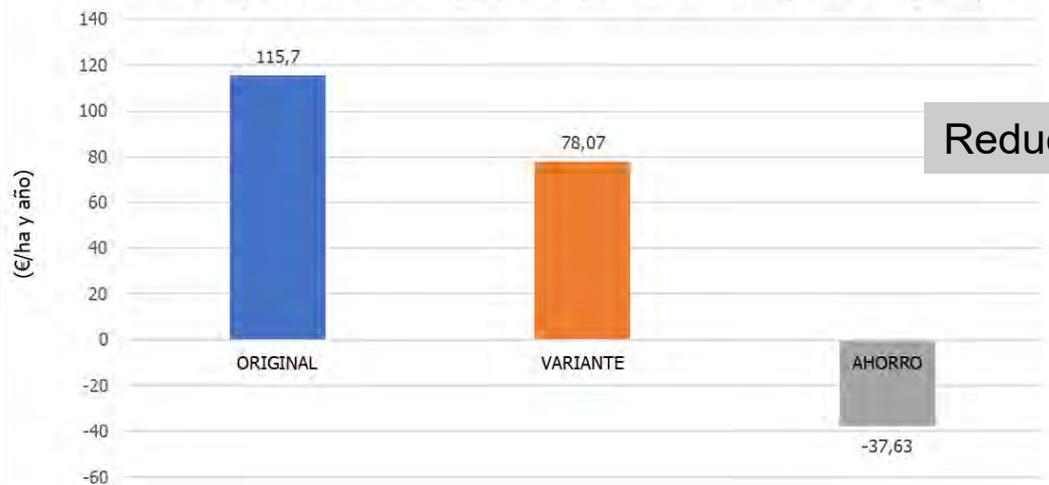
Ahorro costes fijos potencia del 32,5 %



Ahorro término energía (costes variables) del 26,1 %

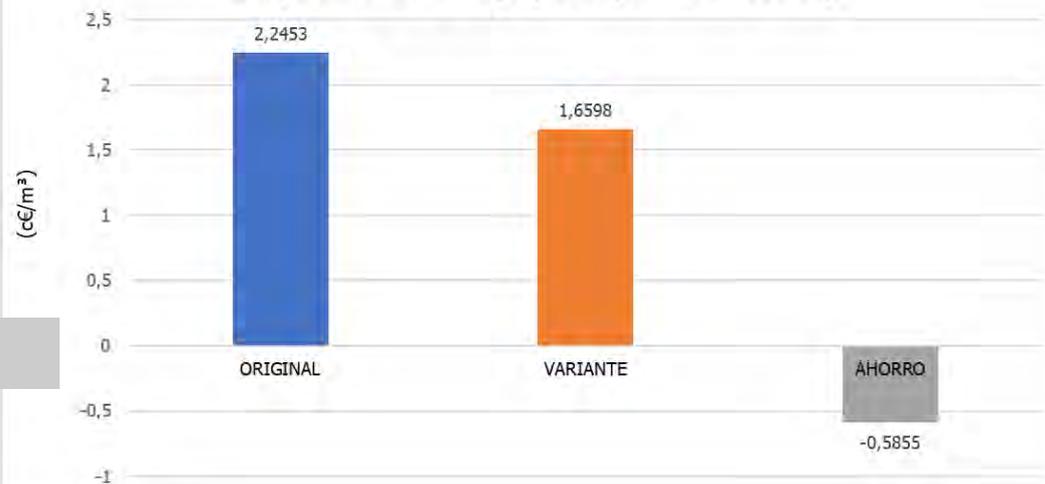
*COMPARATIVA PROYECTO ORIGINAL FRENTE A PROYECTO VARIANTE*

Comparativa tarifa riego (cuota por unidad de superficie regable)



Reducción del 32,5 %

Comparativa tarifa riego (coste por metro cúbico)



Reducción del 26,1 %

# POZOS PROFUNDOS

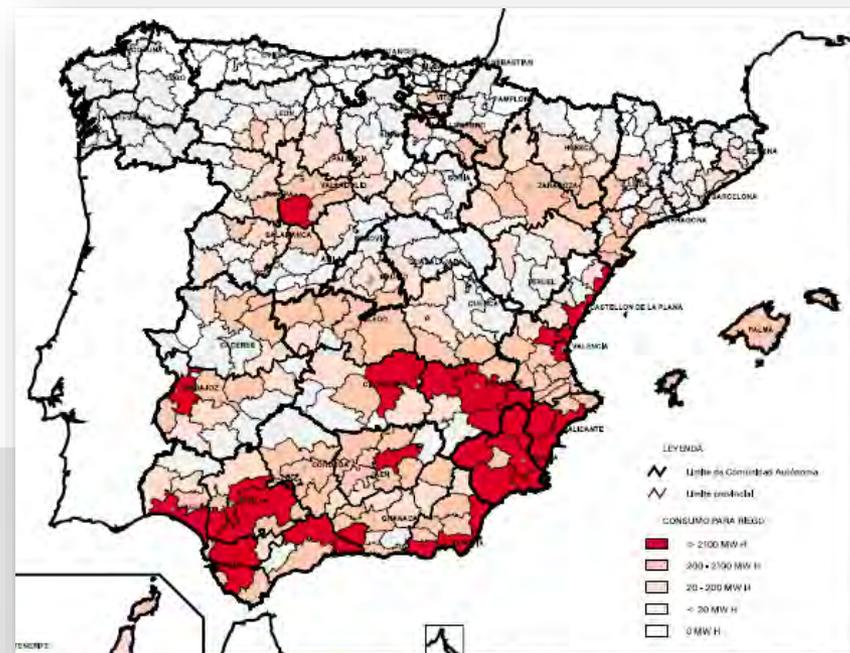
## IMPORTANCIA DE LOS POZOS

Fuente recursos hídricos

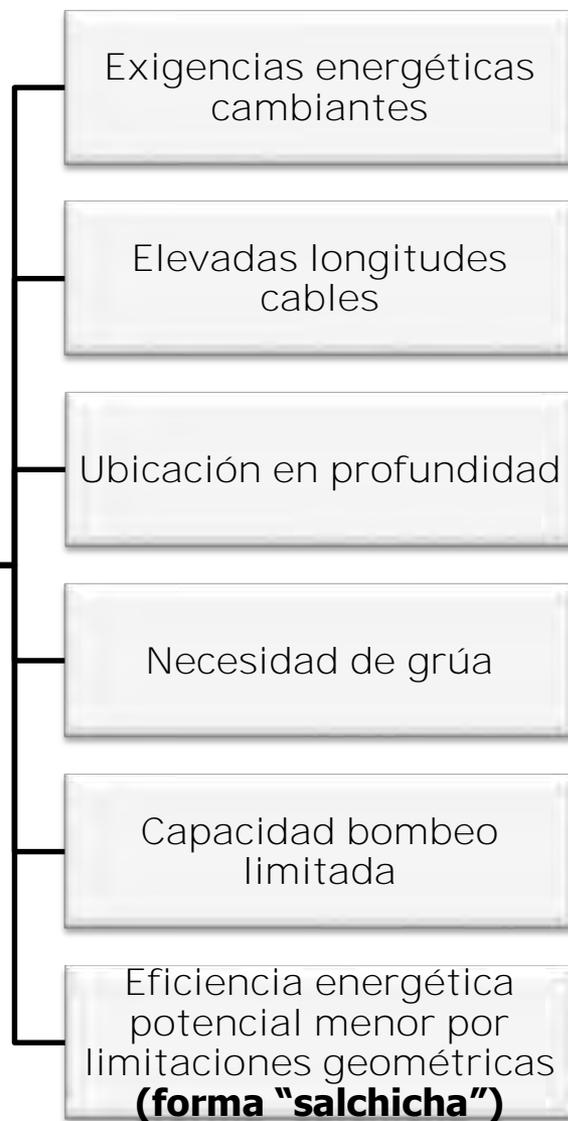
- 20 % necesidades agua riego
- 28 % superficie
- 38 % producción agraria
- Única fuente en algunas áreas

Sumidero recursos energéticos

- Dependencia energética 100 %
- Bombeos pozos concentra el 80 % consumo energético del subsector del regadío



SINGULARIDADES  
INSTALACIONES DE POZO



## POR LA SINGULARIDAD DE LOS POZOS ES ESPECIALMENTE RELEVANTE DIAGNOSTICAR DÓNDE ESTÁ EL PROBLEMA

### INDICADORES COMPLEMENTARIOS PARA DIAGNOSTICAR INSTALACIONES DE POZO

Coeficiente de funcionamiento global (CFG)

Coeficiente de funcionamiento hidráulico (CFH)

Coeficiente de diseño y manejo (CDM)

Coeficiente de altura suministrada (CAS)

Coeficiente del cable (CC)

Todos indicadores se han clasificado en 5 categorías siguiendo la estructura PAECCRR de 2008



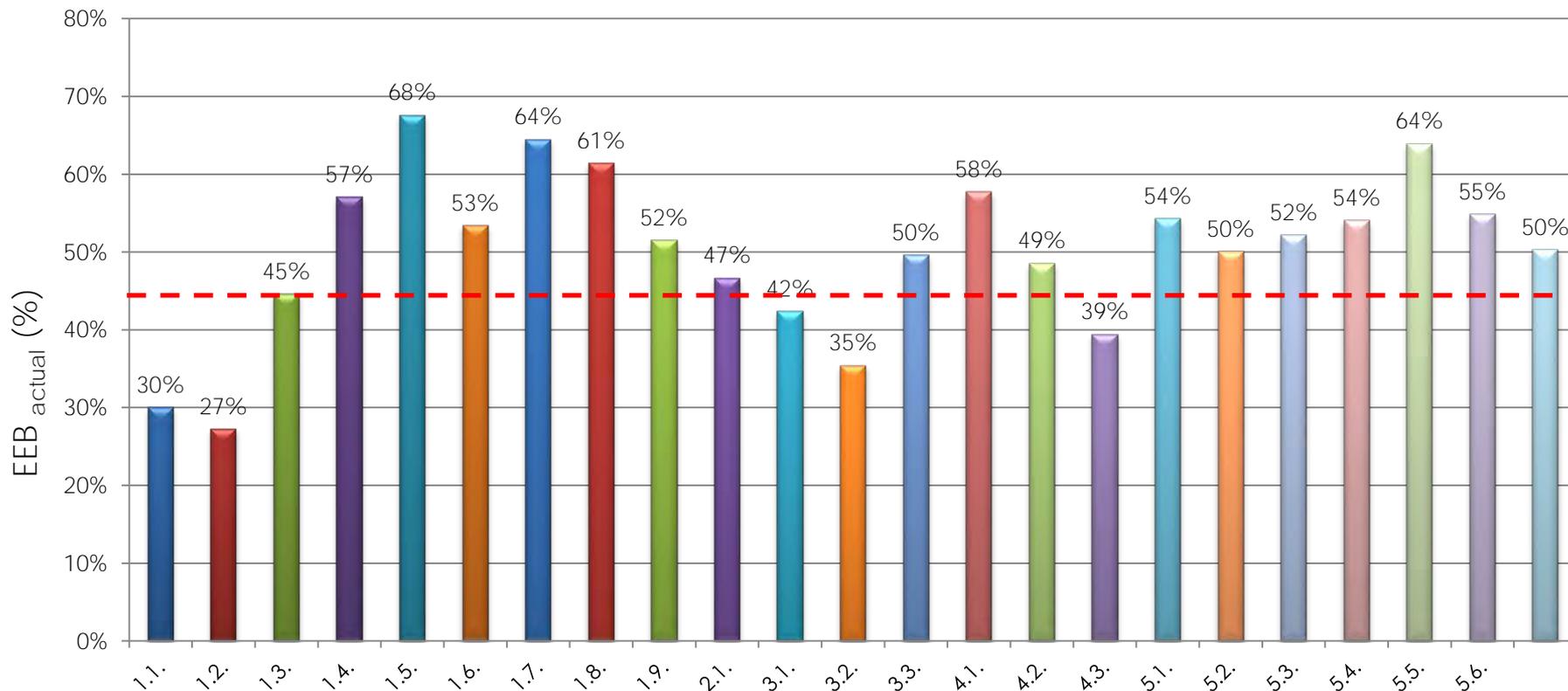
EJEMPLO APLICACIÓN MASIVA DE  
INDICADORES COMPLEMENTARIOS DE DIAGNÓSTICO



# EJEMPLO APLICACIÓN MASIVA DE INDICADORES DE DIAGNÓSTICO



## EFICIENCIA ENERGÉTICA



EEB<sub>act</sub> = 50,2 ± 10,6 %

Descripción: NORMAL

Calificación: TIPO C

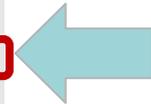
POTENCIAL DE AHORRO

OBJETIVO ALCANZABLE: 60 %

Calificación: TIPO B

• COEFICIENTE FUNCIONAMIENTO GLOBAL (CFG)

Instalación	EEB <sub>act</sub> (%)	EEB <sub>pot</sub> (%)	CFG	CALIFICACIÓN	ESPECIFICACIÓN
1.1.	30,0	62,4	0,48	E	NO ACEPTABLE
1.2.	27,2	60,3	0,45	E	NO ACEPTABLE
1.3.	44,6	65,2	0,68	E	NO ACEPTABLE
1.4.	57,1	68,2	0,84	D	ACEPTABLE
1.5.	67,6	68,3	0,99	A	EXCELENTE
1.6.	53,4	59,8	0,89	C	NORMAL
1.7.	64,4	70,1	0,92	B	BUENA
1.8.	61,4	70,0	0,88	C	NORMAL
1.9.	52,5	68,7	0,76	E	NO ACEPTABLE
2.1.	46,6	51,1	0,91	B	BUENA
3.1.	42,2	59,4	0,71	E	NO ACEPTABLE
3.2.	35,4	59,3	0,60	E	NO ACEPTABLE
3.3.	49,6	49,0	1,0	A	EXCELENTE
4.1.	57,7	65,2	0,88	C	NORMAL
4.2.	48,5	66,0	0,73	E	NO ACEPTABLE
4.3.	39,4	65,3	0,60	E	NO ACEPTABLE
5.1.	53,2	61,3	0,87	C	NORMAL
5.2.	50,4	65,3	0,77	E	NO ACEPTABLE
5.3.	52,2	63,8	0,82	D	ACEPTABLE
5.4.	53,9	69,0	0,78	E	NO ACEPTABLE
5.5.	64,1	67,7	0,95	B	BUENA
5.6.	52,3	68,9	0,76	E	NO ACEPTABLE
Promedio	50,2	63,8	0,79	E	NO ACEPTABLE



- EQUIPOS OBSOLETOS. NECESARIA REFORMA INTEGRAL





## EJEMPLO APLICACIÓN MASIVA DE INDICADORES DE DIAGNÓSTICO

## • COEFICIENTE FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO (CFH)

Pozo	$Q_{act}$ (m <sup>3</sup> /h)	$Q_{pot}$ (m <sup>3</sup> /h)	CFH	CALIFICACIÓN	ESPECIFICACIÓN
1.1.	67,4	173,8	0,39	E	NO ACEPTABLE
1.2.	78,9	174,4	0,45	E	NO ACEPTABLE
1.3.	178,6	292,9	0,61	E	NO ACEPTABLE
1.4.	230,9	270	0,86	C	NORMAL
1.5.	250	244,7	1,0	A	EXCELENTE
1.6.	250,1	261,8	0,96	A	EXCELENTE
1.7.	300,8	320,9	0,94	B	BUENA
1.8.	395,1	418,1	0,94	B	BUENA
1.9.	534,8	600	0,89	C	NORMAL
2.1.	106,6	319,7	0,33	E	NO ACEPTABLE
3.1.	44,5	88	0,51	E	NO ACEPTABLE
3.2.	42,7	138	0,31	E	NO ACEPTABLE
3.3.	59,85	60	1,00	A	EXCELENTE
4.1.	567	720	0,79	E	NO ACEPTABLE
4.2.	538,8	725	0,74	E	NO ACEPTABLE
4.3.	468,3	715	0,65	E	NO ACEPTABLE
5.1.	101,5	110	0,92	B	BUENA
5.2.	182,2	240	0,76	E	NO ACEPTABLE
5.3.	210,6	260	0,81	D	ACEPTABLE
5.4.	221,4	275	0,81	D	ACEPTABLE
5.5.	283,7	284	1,00	A	EXCELENTE
5.6.	337	337	1,00	A	EXCELENTE
Promedio	247,8	319,5	0,78	E	NO ACEPTABLE

- COEFICIENTE FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO

Fuga en la columna de impulsión



Pozo 1.7.



# EJEMPLO APLICACIÓN MASIVA DE INDICADORES DE DIAGNÓSTICO

- COEFICIENTE FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO

Problema arrastre sólidos por deficiente ejecución sondeo



Pozo 3.2.

Solución mitigar arrastre sólidos



Pozo 1.6.

- COEFICIENTE DISEÑO Y MANEJO (CDM)

Instalación	EEB <sub>pot</sub> (%)	EEB <sub>nom</sub> (%)	CDM	CALIFICACIÓN	ESPECIFICACIÓN
1.1.	62,4	71,5	0,87	C	NORMAL
1.2.	60,3	71,5	0,84	D	ACEPTABLE
1.3.	65,2	69,8	0,93	B	BUENA
1.4.	68,2	69,8	0,98	A	EXCELENTE
1.5.	68,3	74,1	0,92	B	BUENA
1.6.	59,8	64,4	0,93	B	BUENA
1.7.	70,1	69,8	1,00	A	EXCELENTE
1.8.	70,0	73,3	0,96	A	EXCELENTE
1.9.	68,7	70,6	0,97	A	EXCELENTE
2.1.	51,1	68,9	0,74	E	NO ACEPTABLE
3.1.	59,4	66,6	0,89	C	NORMAL
3.2.	59,3	68,3	0,87	C	NORMAL
3.3.	49,0	68,3	0,72	E	NO ACEPTABLE
4.1.	65,2	69,1	0,94	B	BUENA
4.2.	66,0	69,1	0,96	A	EXCELENTE
4.3.	65,3	69,1	0,95	B	BUENA
5.1.	61,3	68,2	0,90	B	BUENA
5.2.	65,3	66,5	0,98	A	EXCELENTE
5.3.	63,8	66,5	0,96	A	EXCELENTE
5.4.	69,0	71,7	0,96	A	EXCELENTE
5.5.	67,7	72,5	0,93	B	BUENA
5.6.	68,9	73,3	0,94	B	BUENA
Promedio	63,8	69,7	0,92	B	BUENA

• COEFICIENTE DE ALTURA SUMINISTRADA (CAS)

CAS > 1  
Descenso irreversible  
niveles  
(infradimensionados)

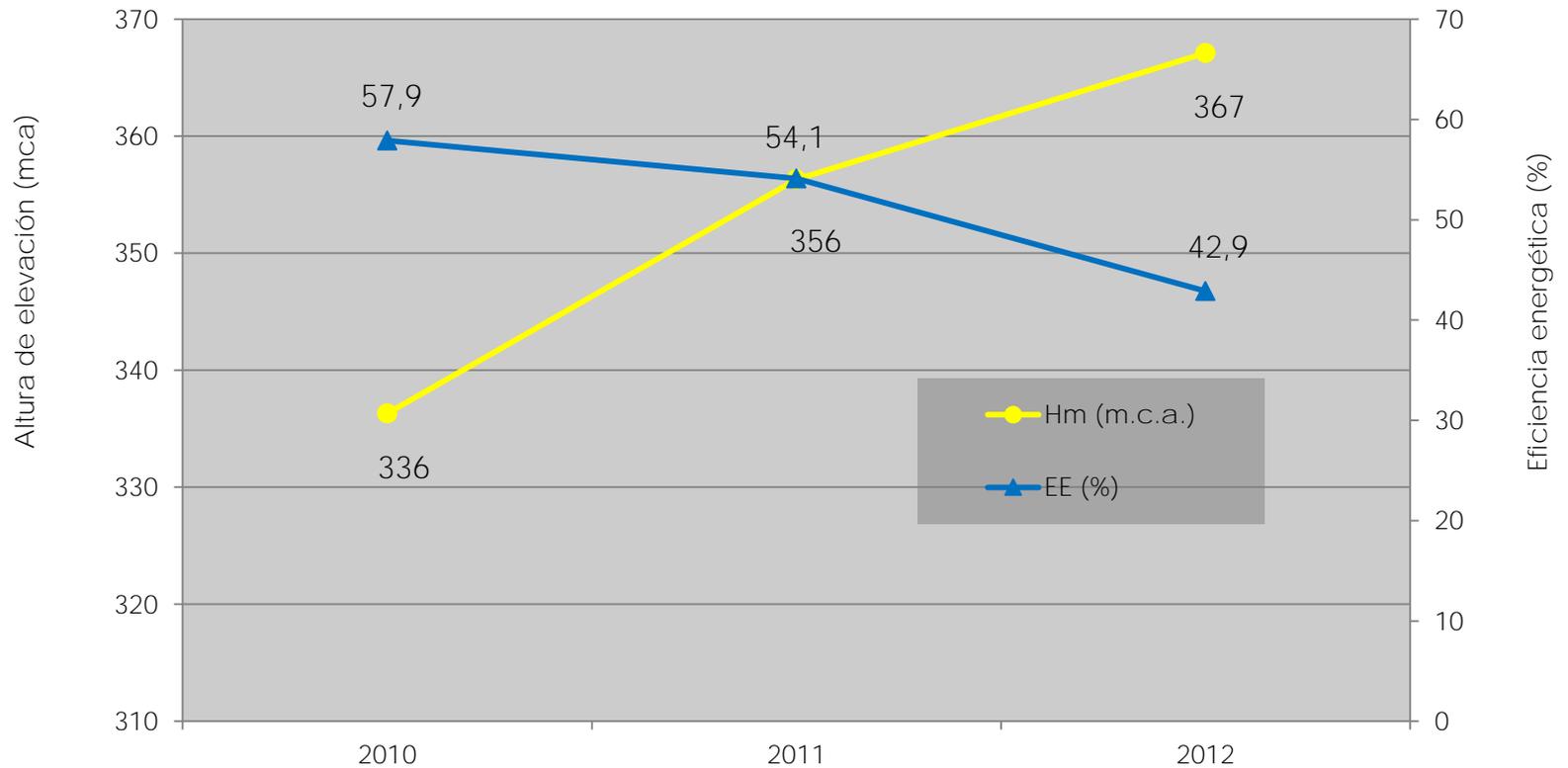
Instalación	H <sub>m act</sub> (mca)	H <sub>m nom</sub> (mca)	CAS	CALIFICACIÓN	ESPECIFICACIÓN
1.1.	237,5	200	1,19	D	ACEPTABLE
1.2.	267,2	160	1,67	E	NO ACEPTABLE
1.3.	326,5	298	1,10	B	BUENA
1.4.	111,2	115	0,97	A	EXCELENTE
1.5.	308,9	260	1,19	D	ACEPTABLE
1.6.	339,1	301	1,13	C	NORMAL
1.7.	372,7	357	1,04	A	EXCELENTE
1.8.	250,3	297	0,84	C	NORMAL
1.9.	112,4	103	1,10	B	BUENA
2.1.	107,1	200	0,54	E	NO ACEPTABLE
3.1.	58,3	90	0,65	E	NO ACEPTABLE
3.2.	75,4	83	0,91	B	BUENA
3.3.	78,2	62	1,26	E	NO ACEPTABLE
4.1.	153,3	155	0,99	A	EXCELENTE
4.2.	151,1	155	0,97	A	EXCELENTE
4.3.	154,5	120	1,29	E	NO ACEPTABLE
5.1.	233,5	180	1,30	E	NO ACEPTABLE
5.2.	215	230	0,93	B	BUENA
5.3.	198,3	230	0,86	C	NORMAL
5.4.	234,2	220	1,06	B	BUENA
5.5.	158,5	150	1,06	B	BUENA
5.6.	240,5	250	0,96	A	EXCELENTE
Promedio	199,3	191,6	1,04	A	EXCELENTE

CAS < 1  
(sobredimensionado)

# EJEMPLO APLICACIÓN MASIVA DE INDICADORES DE DIAGNÓSTICO

- DESCENSO IRREVERSIBLE NIVELES DINÁMICOS

EVOLUCIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA A MEDIDA QUE SE INCREMENTA LA ALTURA DE ELEVACIÓN





## EJEMPLO APLICACIÓN MASIVA DE INDICADORES DE DIAGNÓSTICO

## • COEFICIENTE DEL CABLE (CC)

Instalación	$N_{m \text{ act}}$ (kW)	$N_{a \text{ act}}$ (kW)	CC	CALIFICACIÓN	ESPECIFICACIÓN
1.1.	142,7	145,3	0,98	B	BUENA
1.2.	204,6	210,9	0,97	C	NORMAL
1.3.	342,1	356,4	0,96	D	ACEPTABLE
1.4.	121,0	122,6	0,99	A	EXCELENTE
1.5.	307,0	311,4	0,99	A	EXCELENTE
1.6.	405,2	432,9	0,94	E	NO ACEPTABLE
1.7.	466,4	474	0,98	B	BUENA
1.8.	432,3	438,9	0,99	A	EXCELENTE
1.9.	302,4	311,8	0,97	C	NORMAL
2.1.	65,1	66,7	0,98	B	BUENA
3.1.	15,4	16,7	0,92	E	NO ACEPTABLE
3.2.	23,3	24,8	0,94	E	NO ACEPTABLE
3.3.	24,3	25,7	0,95	E	NO ACEPTABLE
4.1.	450,2	457,1	0,99	A	EXCELENTE
4.2.	452,1	457,1	0,99	A	EXCELENTE
4.3.	496,0	500,5	0,99	A	EXCELENTE
5.1.	117,4	120,5	0,97	C	NORMAL
5.2.	206,1	211,8	0,97	C	NORMAL
5.3.	212,8	218	0,98	B	BUENA
5.4.	252,3	262	0,96	D	ACEPTABLE
5.5.	185,3	191,2	0,97	C	NORMAL
5.6.	416,5	422,0	0,99	A	EXCELENTE
Promedio	142,7	145,3	0,97	C	NORMAL



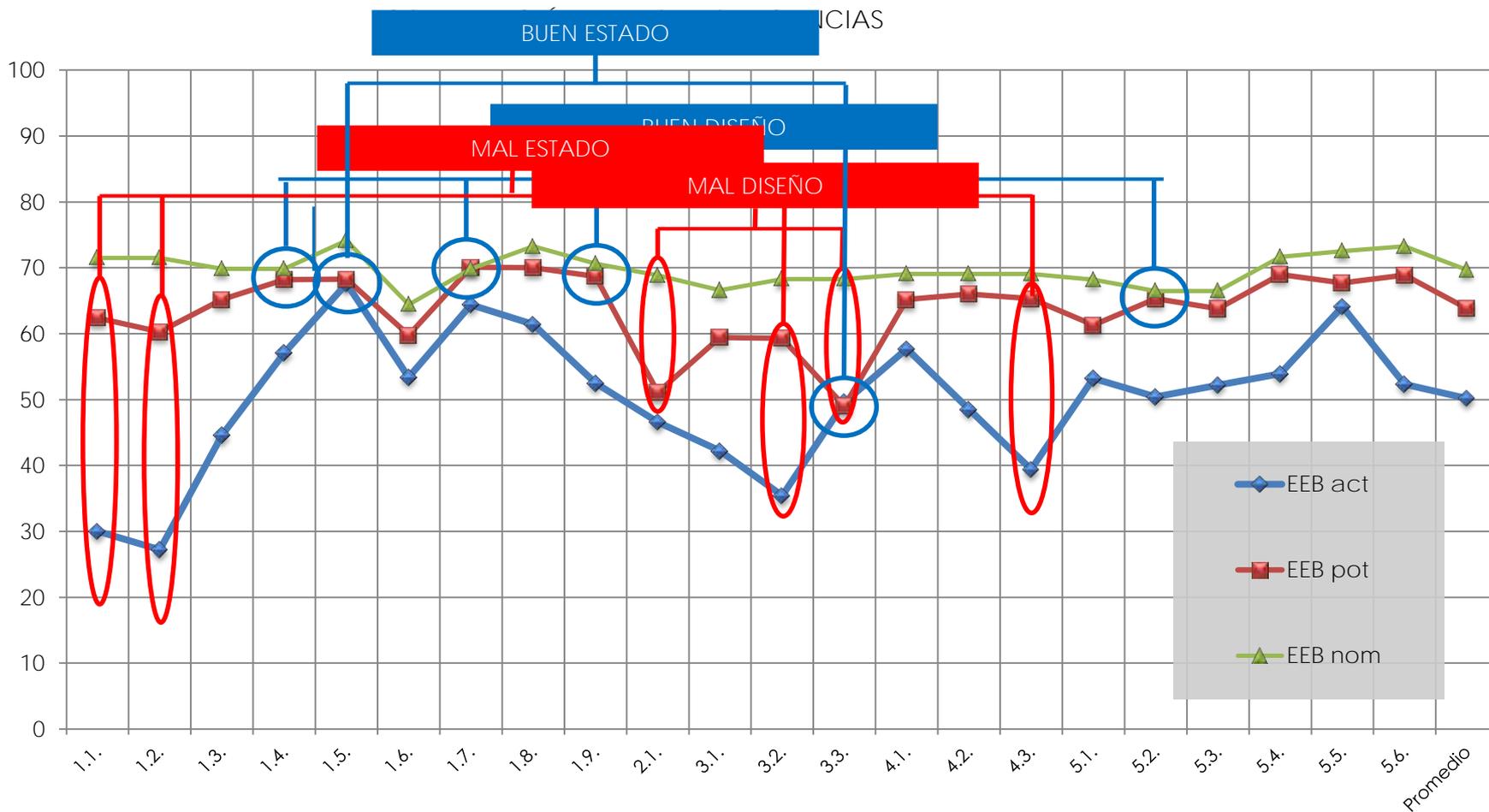
- COEFICIENTE DEL CABLE



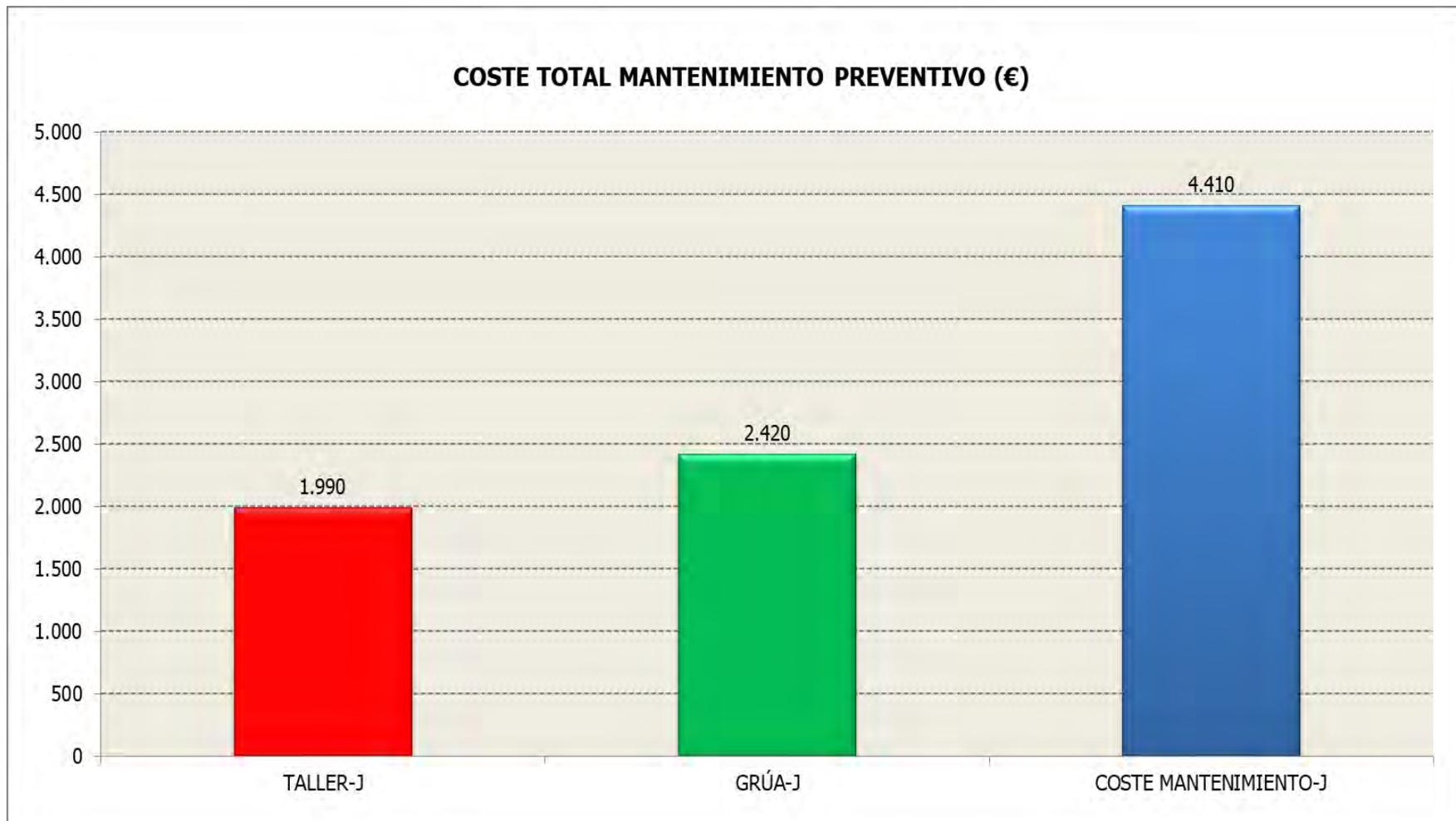
Pozo 1.6.



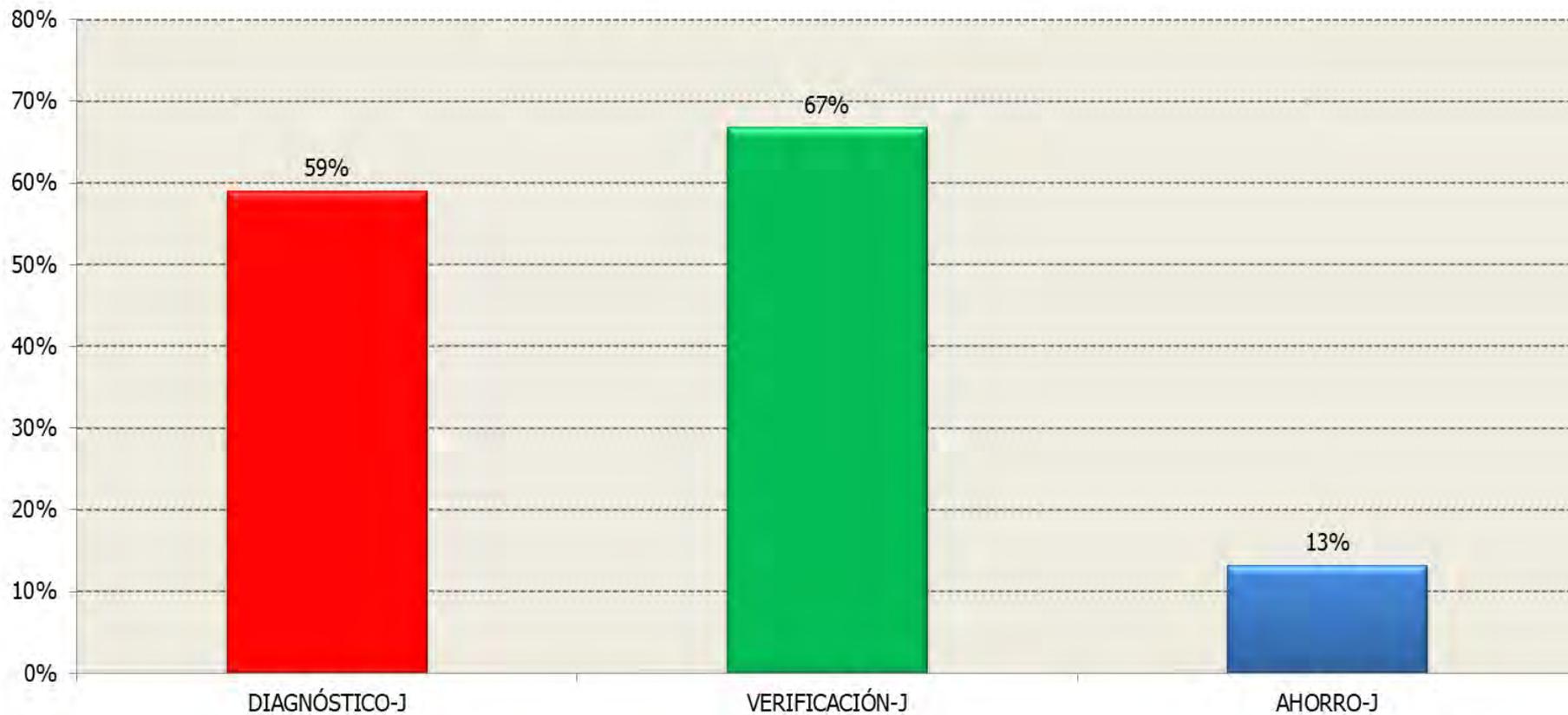
# EJEMPLO APLICACIÓN MASIVA DE INDICADORES DE DIAGNÓSTICO



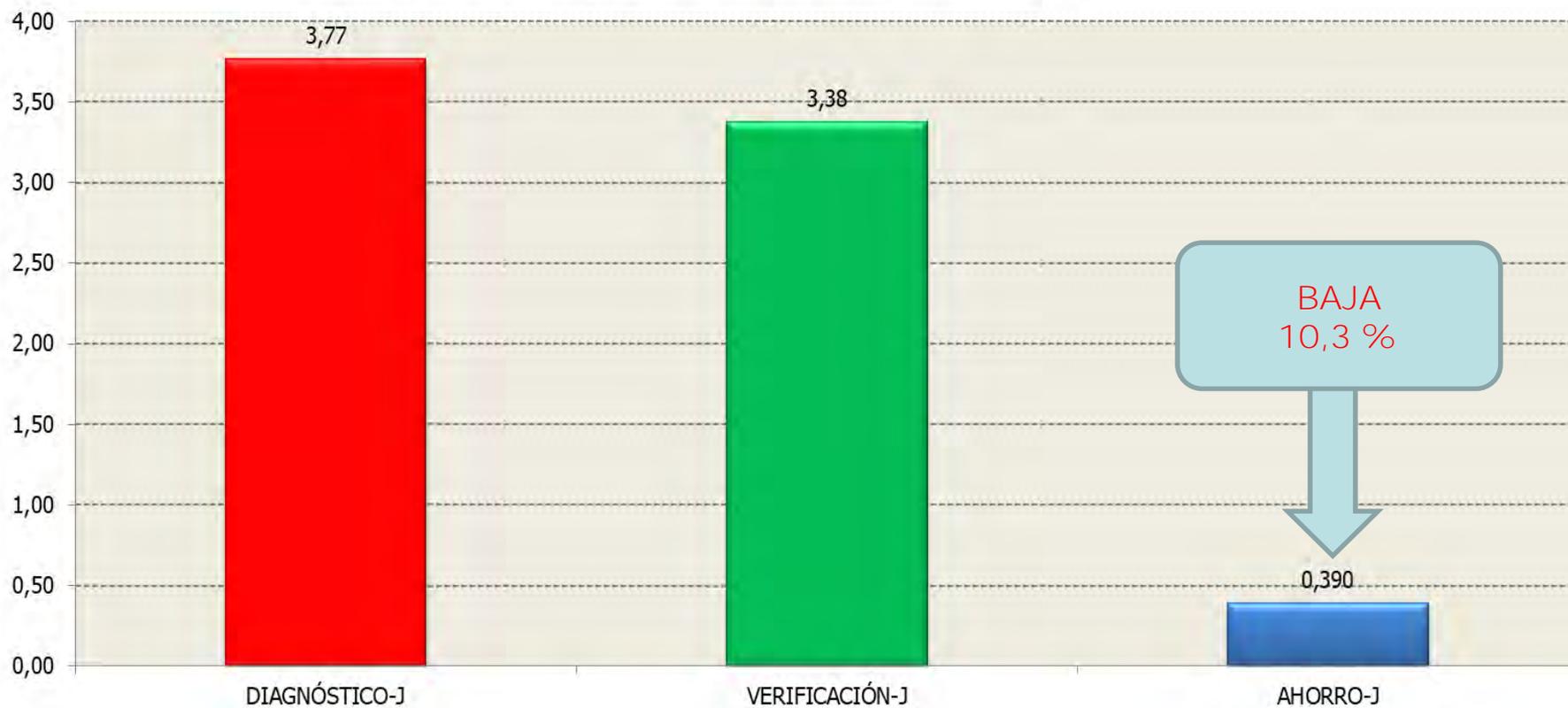
EJEMPLO IMPACTO DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO  
EN UN BOMBEO DE POZO PROFUNDO



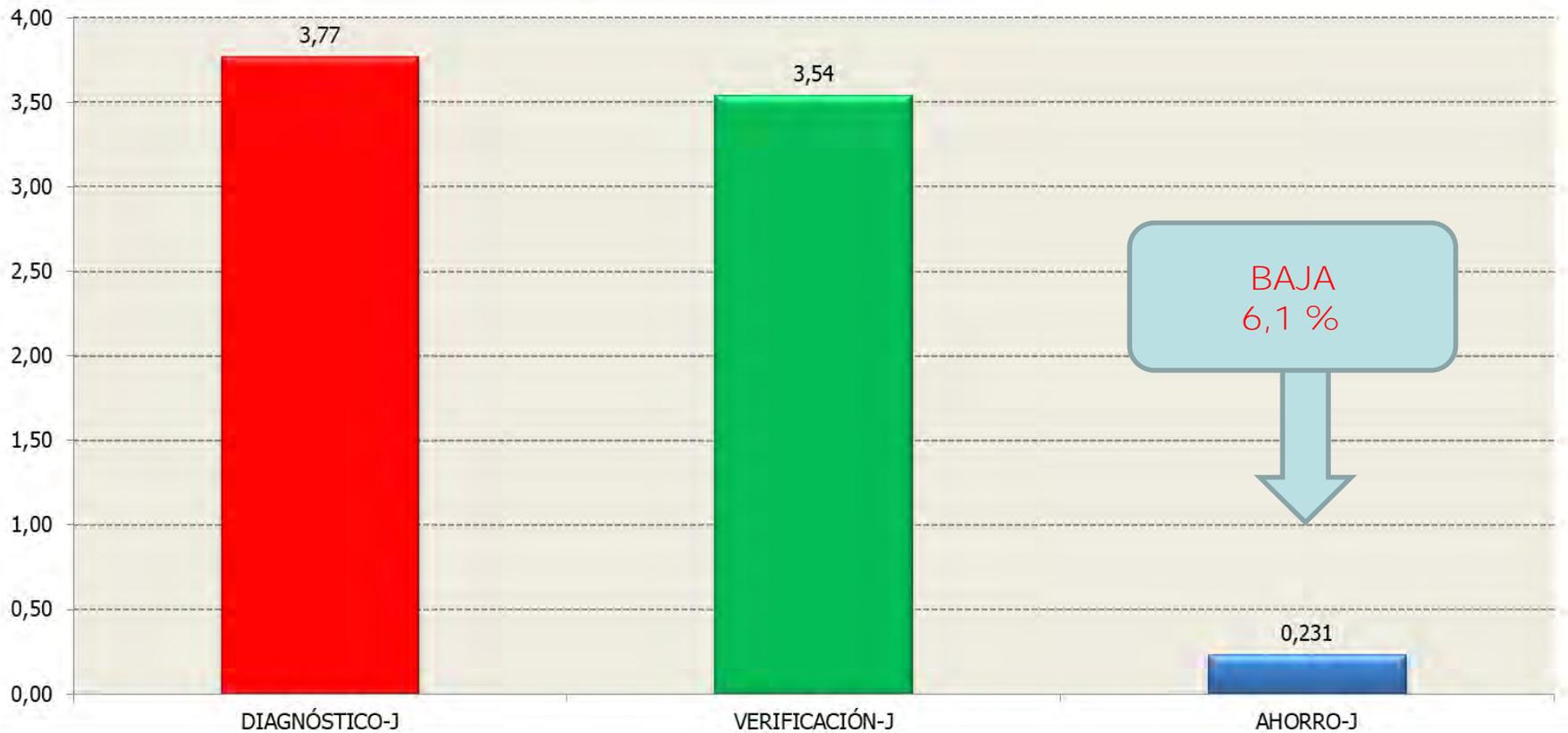
## IMPACTO EN LA EFICIENCIA ENERGÉTICA GLOBAL



### IMPACTO EN COSTE UNITARIO DE ELEVACIÓN (c€/m<sup>3</sup>)



### IMPACTO EN COSTE DE OPERACIÓN (c€/m<sup>3</sup>)



- TRABAJOS DE MANTENIMIENTO DEL POZO





- TRABAJOS DE MANTENIMIENTO DEL POZO



- TRABAJOS DE MANTENIMIENTO DEL POZO



# 3 PRINCIPALES BARRERAS PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL REGADÍO

# PRINCIPALES BARRERAS

BAJA CALIDAD INFORMACIÓN PARTIDA

- No censos (cultivos, parcelas, etc.)
- No inventario red
- No registros históricos de volúmenes

COMPLEJIDAD DEL PROCESO PARA PRESTACIÓN SERVICIO AGUA RIEGO

- Elevada superficie
- Muchos agentes implicados
- Alta estacionalidad

BAJA VISIÓN ESTRATÉGICA M Y LP

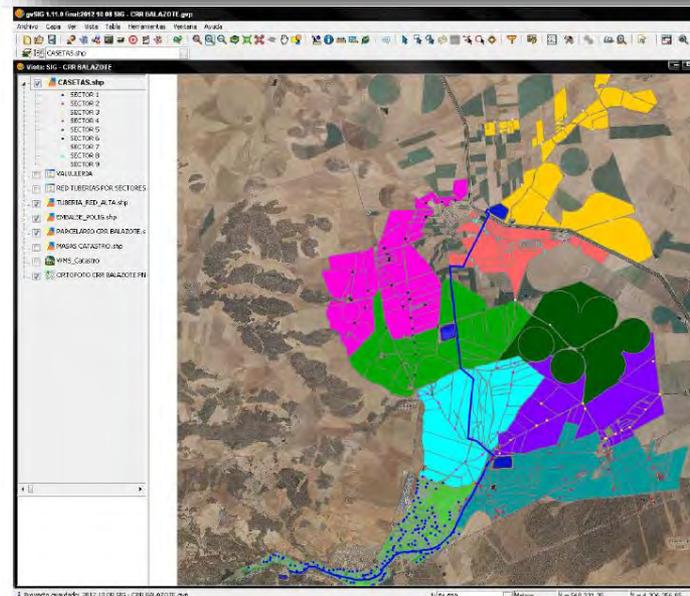
- Confusión: Gasto  $\neq$  Inversión

SISTEMAS TELECONTROL

- Algunos no funcionan y limitan la red

POCOS EQUIPOS DE MEDIDA INSTALADOS

- Requiere inversión Necesarios para verificar



6 RETOS

SUSTIUIR  
"CULTURA REPARACIÓN"  
POR LA  
"CULTURA DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO"

EXTENDER MANTENIMIENTO A TODOS EQUIPOS INTERVIENEN

DOTAR LOS BOMBEO DE INSTRUMENTACIÓN PARA MONITORIZAR DE FORMA CONTINUA AGUA Y ENERGÍA

PLAN RENOVE REGADÍOS MADUROS

PONER EN MARCHA DIFERENTES ALTERNATIVAS DE FINANCIACIÓN DE MEJORAS ENERGÉTICAS (NO SÓLO PÚBLICAS)

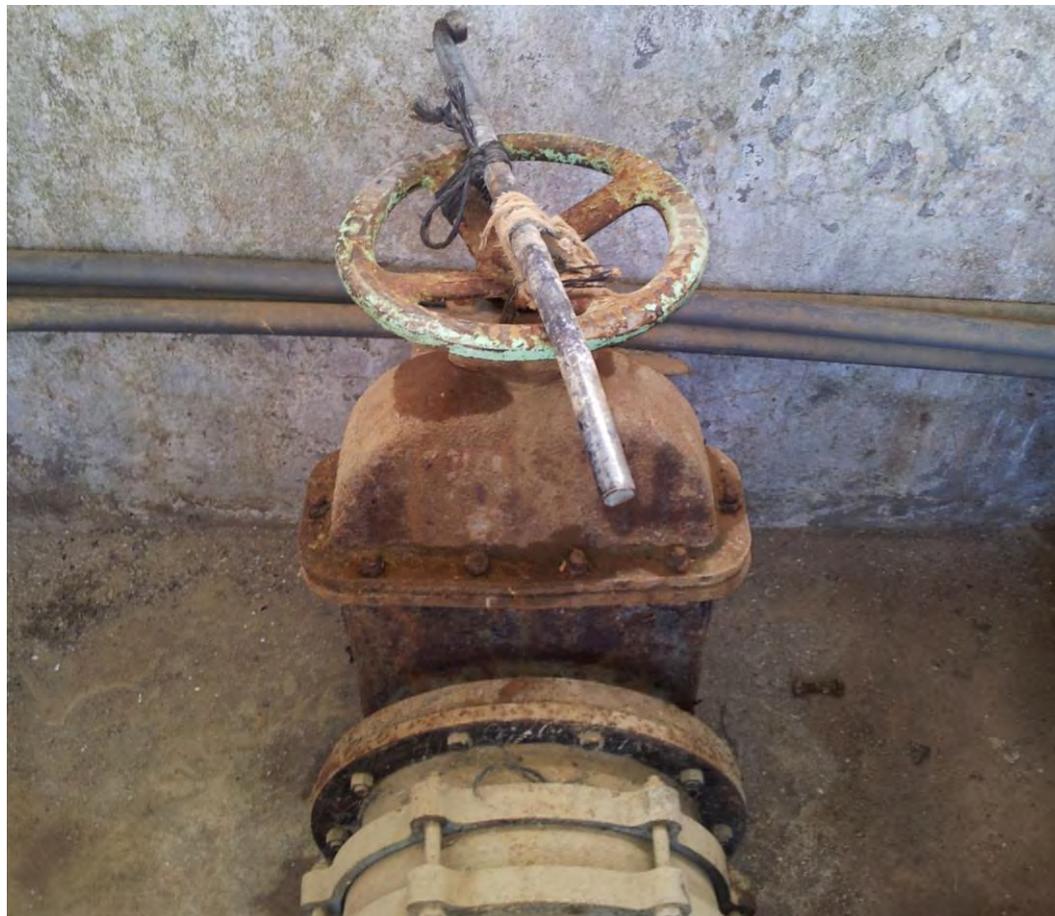
INTRODUCIR ENERGÍAS RENOVABLES



**HAY MARGEN DE MEJORA...**



## EJEMPLO DE INGENIO



Los trabajadores tienen que tener unas herramientas mínimas para operar

## EJEMPLO DE INGENIO



Los trabajadores tienen que tener unas herramientas mínimas para operar



## EJEMPLO RELIQUIA





## EJEMPLO DE..... REFRIGERACIÓN



## JORNADA TÉCNICA SOBRE EFICIENCIA HÍDRICA Y ENERGÉTICA EN REGADÍO

### EJEMPLOS DE MEJORAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA IMPLANTADAS EN COMUNIDADES DE REGANTES



**MUCHAS GRACIAS**

Miguel Mora Gómez  
Dr. Ingeniero Agrónomo  
Gerente  
mmora@moval.es

[www.moval.es](http://www.moval.es)

