

Universidad Pública de Navarra
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE
INGENIEROS AGRÓNOMOS

Nafarroako Unibertsitate Publikoa
NEKAZARITZAKO INGENIARIEN GOI
MAILAKO ESKOLA TEKNIKOA

ANÁLISIS DEL REGADÍO DE VALDETELLAS (TUDELA) Y ESTUDIO DE
MODERNIZACIÓN MEDIANTE IMPLEMENTACIÓN DE ENERGÍA
FOTOVOLTAICA

presentado por

PABLO ENRIQUE PAZ
(e)k

aurkeztua

Director/zuzendaria:

MIGUEL ÁNGEL CAMPO BESCOS

Codirector/Kozuzendaria:

JOAQUÍN PUIG ARRASTIA

MÁSTER EN INGENIERÍA AGRÓNOMA
MASTERRA NEKAZARITZA INGENIARITZAN

Febrero, 2019

Resumen/Abstract

Se plantea la modernización del regadío de Valdetellas (Tudela), el cual consta de una estación de bombeo, una balsa en altura y una red de distribución de 243 ha, mediante la implementación de un generador fotovoltaico (FV) que alimente los equipos de bombeo reemplazando así a la energía de la red eléctrica. Se ha estudiado el comportamiento del sistema en diferentes escenarios variando el número de bombas conectadas al generador FV y a la red. Por otra parte, se ha analizado la viabilidad de un sistema idéntico, pero sin balsa de acumulación. Los resultados muestran unos periodos de amortización de la inversión de entre 6 y 9 años, convirtiendo al riego con energía solar en una posible alternativa viable para las comunidades de regantes de Navarra frente al aumento del coste de la electricidad.

Palabras clave: Regadío, energía fotovoltaica, irradiación, bombeo, Valdetellas.

The modernization of the irrigation system of Valdetellas (Tudela), which is composed of a pumping station, an elevated raft and an irrigation grid, is proposed through implementing a photovoltaic (PV) generator that feeds the pumping equipment thus replacing the electric power grid. The system behaviour has been studied at different levels, varying the number of pumps grid or PV-connected. On the other hand, the viability of an identical system without an accumulation raft has been analysed. Results show amortization periods from 6 to 9 years, becoming solar energy in a possible viable alternative for the Navarre's irrigation communities.

Keywords: Irrigation, photovoltaic energy, irradiation, pumping, Valdetellas.

ÍNDICE

Resumen/Abstract	1
1. Introducción y antecedentes.....	7
1.1 Introducción	7
1.2 Justificación del proyecto.....	8
1.3 Experiencias similares	9
1.4 Objetivos	10
2. Material.....	11
2.1 Clima y entorno	11
2.2 Proyecto de transformación a regadío.....	13
2.3 Generador fotovoltaico.....	18
3. Métodos	20
3.1 Alternativa de cultivos.....	20
3.2 Irradiación recibida	22
3.3 Eficiencia de bombeo	23
3.4 Escenarios de estudio.....	23
3.5 Valoración de los escenarios	29
4. Resultados y discusión	32
4.1 Alternativa de cultivos.....	32
4.2 Irradiación recibida	34
4.3 Eficiencia de bombeo	37
4.4 Escenarios de estudio.....	40
4.5 Valoración de los escenarios	47
5. Conclusiones.....	51
6. Bibliografía	52

Índice de figuras

Figura 1: Usos del suelo en la Ribera de Navarra (Vicente, A. M., Donézar, M., Del Barrio, F., San Roque, M., 2004).....	11
Figura 2: Estación meteorológica de Tudela-Montes del Cierzo (Meteorología y climatología de Navarra, 2018).....	12
Figura 3: Esquema del regadío de Valdetellas (SOA, 2018)	14
Figura 4: Importe anual de las facturas eléctricas de Valdetellas (elaboración propia).....	18
Figura 5: Distribución de periodos tarifarios en el consumo mensual de término de energía (elaboración propia).....	18
Figura 6: ET ₀ mensual calculada con el método de Penman-Monteith en la estación meteorológica de Valdetellas (Gobierno de Navarra, 2018)	21
Figura 7: Comparativa de evapotranspiración mensual entre la alternativa propuesta, el registro de cultivos en Valdetellas y la alternativa de cultivos del proyecto original (elaboración propia).....	33
Figura 8: Evapotranspiración horaria en el año tipo (elaboración propia)	34
Figura 9: Irradiación recibida mensual media entre los años 2011 y 2016 (elaboración propia)	34
Figura 10: Irradiación recibida del día medio de los años 2009 a 2018 (elaboración propia)	35
Figura 11: Distribución de la irradiación recibida en los años de irradiación extrema de la serie (elaboración propia).....	35
Figura 12: Distribución horaria de la irradiación de los días menos favorables de agosto de 2015 (elaboración propia).....	36
Figura 13: Distribución horaria de la irradiación en los días menos favorables de agosto de 2016 (elaboración propia).....	36
Figura 14: Relación entre presión de bombeo (H) y caudal bombeo (Q) de las cuatro bombas actuales (elaboración propia)	37
Figura 15: Relación entre presión de bombeo (H) y potencia absorbida de las bombas actuales (elaboración propia).....	38
Figura 16: Comparativa de la ET de la alternativa de cultivos con el volumen de agua bombeado en base a las facturas eléctricas (elaboración propia).....	38
Figura 17: Balance anual de la balsa en el escenario 3S1E con bombas de caudal 92 l/s (elaboración propia).....	40
Figura 18: Balance anual de la balsa en el escenario 3S1E con bombas de caudal 75 l/s (elaboración propia).....	40
Figura 19: Balance anual de la balsa en el escenario 3S con bombas de caudal 92 l/s (elaboración propia).....	40
Figura 20: Balance anual de la balsa en el escenario 3S con bombas de caudal 75 l/s (elaboración propia).....	41
Figura 21: Balance anual de la balsa en el escenario 4S con bombas de caudal 92 l/s (elaboración propia).....	41
Figura 22: Balance anual de la balsa en el escenario 4S con bombas de caudal 75 l/s (elaboración propia).....	41
Figura 23: Comparativa de los balances diarios de la balsa en los meses de junio a agosto y en los escenarios 3S1E, 3S y 4S (elaboración propia)	42
Figura 24: Velocidad media horaria del viento en la estación meteorológica de Valdetellas en los meses de junio, julio y agosto (elaboración propia).....	44
Figura 25: Esquema del trazado de la tubería de impulsión en el escenario sin balsa (elaboración propia).....	45
Figura 26: Balance diario en los meses de junio a agosto para la alternativa sin balsa.....	46
Figura 27: Relación entre el volumen de la balsa y el coste unitario por metro cúbico de capacidad útil (elaboración propia)	49

Índice de tablas

Tabla 1: Superficie y ET de la alternativa de cultivo originales (Fiteni Rodríguez,F., 1985).....	15
Tabla 2: Historial de cultivos y superficies registradas en Valdetellas entre 2007 y 2017 (SOA, 2018)	16
Tabla 3: Precios del término de potencia (€/kW) y del término de energía (€/kWh) de la tarifa eléctrica 6.1ª (Ministerio de industria, energía y turismo, 2014)	17
Tabla 4: Potencias contratadas en Valdetellas (elaboración propia).....	17
Tabla 5: Porcentaje de consumo anual de término de energía por periodos tarifarios (elaboración propia).....	18
Tabla 6: Densidad aparente, capacidad de campo y punto de marchitez en función de la textura del suelo ((Urbano Terrón, P.,2002)	26
Tabla 7: Cultivos y superficies cultivadas en la alternativa de cultivos actualizada (elaboración propia)	32
Tabla 8: Evapotranspiración mensual en mm de la alternativa de cultivos (elaboración propia)	33
Tabla 9: Rendimiento de las bombas actuales del regadío (elaboración propia)	39
Tabla 10: VAU en la superficie regable de Valdetellas de acuerdo con las unidades cartográficas del suelo (elaboración propia)	43
Tabla 11: Nº de horas disponibles para bombeo sin balsa en los escenarios 3S1E, 3S y 4S.....	45
Tabla 12: Cálculo del periodo de retorno en el escenario con balsa 3S1E (elaboración propia)	48
Tabla 13: Cálculo del periodo de retorno en el escenario con balsa 3S (elaboración propia)....	48
Tabla 14: Cálculo del periodo de retorno en el escenario con balsa 4S (elaboración propia)....	49
Tabla 15: Resumen del periodo de retorno y TIR en los escenarios con balsa (elaboración propia)	49

1. Introducción y antecedentes

1.1 Introducción

El riego ha acompañado a la agricultura desde las primeras civilizaciones, constando los primeros registros del año 6000 a.C. en Egipto y Mesopotamia. Desde entonces, el ser humano ha intentado controlar el agua para aumentar el rendimiento de las cosechas y disponer de más cantidad y calidad de alimentos para la población. Actualmente, la agricultura de regadío es una de las bases del desarrollo rural y de la seguridad alimentaria, lo que la convierte sin duda en una pieza clave del sistema agroalimentario y de la sociedad.

Según cifras del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2018), la superficie regada en España supone un 14% de la superficie agraria útil y contribuye en más de un 50% de la producción final vegetal del país. En cifras económicas, el regadío emplea al 4% de la población ocupada y representa el 2,4% del Producto Interior Bruto (PIB) español.

Desde el inicio de la modernización de zonas regables, ha habido varios cambios de tendencia en los diseños de regadíos. Las primeras actuaciones llevadas a cabo en Navarra, entre las que se encuentra el regadío de Valdetellas, optaban por la construcción de una Balsa de acumulación elevada que se llenaba en los periodos de energía más barata, generalmente de noche) y con el agua acumulada se regaban los campos de cultivo.

Más adelante, con la incorporación de variadores de frecuencia en los equipos de bombeo, se empezaron a diseñar regadíos sin necesidad de construir una balsa de acumulación. Funcionaban con medidores de presión, que detectaban la demanda de los hidrantes en cada momento y modificaban las revoluciones de las bombas para adaptar el caudal a las necesidades instantáneas. Este modelo de gestión evitaba los costes derivados de la construcción de la balsa, pero generalmente implicaba usar algo de energía de red fuera de los periodos baratos de energía.

Según Carrillo Cobo, M.T., Camacho Poyato, E., Rodríguez Díaz, J. A., Berbel, J., Montesinos, P. (2014), uno de los principales retos de la ingeniería del riego hoy en día es afrontar el aumento de los costes energéticos. A consecuencia de las modernizaciones, los requerimientos de energía han aumentado y las tarifas energéticas también registran una tendencia ascendente. Ya se están haciendo importantes avances técnicos respecto al tema, reduciendo la presión nominal en riego por aspersión o reorganizando en turnos las comunidades de regantes.

Otra de las soluciones en aumento es el uso de energías renovables de acuerdo a Carrillo Cobo, M.T. et al. (2014), especialmente solar fotovoltaica (FV). Con esta tecnología se consigue no solo reducir el coste energético, sino tener más independencia frente a las oscilaciones del precio de la energía. Además, mediante el uso de fuentes renovables de energía se reduce la huella de carbono, ya que gran parte de la energía eléctrica consumida proviene de la combustión de combustibles fósiles. No obstante, hasta la fecha la mayoría de las actuaciones en regadío con energía FV se han aplicado a pequeña escala y ahora se están empezando a poner en marcha los primeros proyectos de más calibre.

Continuando con la evolución de los regadíos modernos en Navarra, la incorporación de un generador FV haría evolucionar la manera de gestión del riego. En caso de que se contara con una balsa de acumulación, esta se llenaría durante las horas de luz del día y se regaría principalmente de noche y en las horas del día que permitiera la potencia instalada. Por el contrario, en los casos sin balsa de acumulación, habría que adaptar el riego a las horas con más irradiación, donde el viento es más fuerte y la eficiencia del riego peor, pero se ahorraría el coste de construcción de una balsa.

Siguiendo la misma línea, este trabajo pretende analizar diferentes escenarios de modernización de riego mediante energía FV en el regadío de Valdetellas, perteneciente al

Ayuntamiento de Tudela, en la Comunidad Foral de Navarra. A través de este caso, se analizarán las ventajas e inconvenientes de la energía FV aplicada a los regadíos de Navarra.

1.2 Justificación del proyecto

A pesar de que la tecnología FV lleva 4 décadas prácticamente desarrollada, en los últimos dos años se ha empezado a aplicar al regadío porque la inversión empieza a ser rentable con periodos de amortización menores a 10 años. Este cambio es debido a dos factores: la subida del precio de la electricidad y de los combustibles fósiles y la bajada de precio de los equipos fotovoltaicos.

De acuerdo con Martínez, A. (2018), respecto a la subida en el precio de la luz, el término de potencia ha aumentado más de un 1.000% desde 2008, con una subida considerable en el año 2013, y el término de energía también tiende al alza, aunque de forma más moderada. Por otra parte, el precio de los equipos fotovoltaicos, especialmente de las placas solares ha caído en el mismo periodo de tiempo. Se calcula que producir un vatio pico (Wp) en 2008 costaba entre 5 y 8 €, mientras que en 2018 cuesta entre 0,7 y 0,8 €.

Ambos factores hacen que el uso de este tipo de energía resulte rentable por sí misma, es decir, sin ayudas económicas, y hace que se postule como una de las principales líneas de desarrollo en regadíos actualmente. Además, la generación y autoconsumo de energía fotovoltaica blindan al regante frente a decisiones externas como subidas de impuestos de la energía, normativas, etc.

En su análisis, Martínez, A. (2018) señala que la normativa de la energía FV en España desde los Reales Decretos 661/2007 y 436/2004 se ha basado en cuantiosas ayudas públicas y provocó que un gran número de personas vieran una oportunidad de negocio e invirtieran en generadores fotovoltaicos. Como la situación no era económicamente sostenible, el Gobierno aprobó en 2015 el RD 900/2015, comúnmente llamado “el impuesto al sol”, que prohíbe el vertido de energía a la red a instalaciones de más de 100kW de potencia. Por esa razón, la alternativa de generar energía extra en una comunidad de regantes y venderla no era llamativa por la gran cantidad de trámites administrativos que suponía y la mayoría de las comunidades que se planteaban un cambio hacia energía FV lo hacían en régimen de isla, es decir, aislados completamente de la instalación de red.

No obstante, el 5 de octubre de 2018 se modificó el RD 900/2015 mediante el Real Decreto-ley 15/2018, de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores. Uno de los principales cambios que se aprueba mediante esta normativa es que ya no se limita la potencia máxima a 100kW y las condiciones de acceso vienen limitadas por los requisitos técnicos establecidos en los RD 1699/2011, RD 1955/2000 y RD 413/2014, en función de la modalidad de autoconsumo a la que pertenezca la planta (Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2015). En otro apartado, explicita que “la energía auto consumida de origen renovable, cogeneración o residuos estará exenta de todo tipo de cargos y peajes”.

Esta derogación del “impuesto al sol” implica más facilidades legislativas para los sistemas conectados a la red eléctrica. Ahora, la rentabilidad de los proyectos conectados a red depende principalmente de criterios técnicos.

En el caso concreto del regadío que se va a estudiar, además de la problemática energética, es necesario tener en cuenta que lleva 30 años en funcionamiento, por lo que es posible que esté obsoleto y con eficiencias muy bajas.

Según los resultados de unas encuestas realizadas por INTIA S.A. (2016) a las comunidades de regantes, el Ayuntamiento de Tudela como propietario aseguraba que la balsa de regulación no tenía capacidad suficiente para abastecer las necesidades de riego desde mayo hasta octubre. Además, apunta que todas las tuberías están hechas de fibrocemento, material con

un alto coste de reparación de averías debido a que es necesario subcontratar a una empresa especializada. Por último, de forma más subjetiva, el responsable mencionaba la “imperiosa necesidad de invertir de nuevo en estas instalaciones” y aseguraba que había “un amplísimo margen de mejora de la eficiencia energética”

Por todo lo anteriormente mencionado tanto a escala general como particular, se cree que la actuación sobre el regadío de Valdetellas está justificada y que puede servir como ejemplo de funcionamiento para otras comunidades de regantes para así tender hacia un modelo más sostenible de energía.

1.3 Experiencias similares

Actualmente existen numerosos regadíos que utilizan instalaciones de energía FV para elevar el agua. Los primeros lugares en los que tuvo una gran repercusión esta fuente de energía para regadío fueron los países menos desarrollados, en zonas donde no llega la electricidad o los costes son excesivamente altos. De hecho, la FAO publicó en 2018 (Hartung, H., Pluschke, L., 2018) un documento en el que exponía los beneficios y riesgos de regar con energía FV a nivel global y cómo una buena gestión de este recurso podría repercutir en la agricultura y la sociedad a nivel global. Se centraba en las políticas que se están llevando a la práctica en Canadá, India, Kenia, México, Marruecos, Nepal y Senegal. Este documento pone el foco en la importancia que tiene la energía FV en el mundo, especialmente por dotar de agua a zonas poco desarrolladas.

En Europa, el proyecto europeo MASLOWATEN (2018) centra su investigación en el regadío solar y su comportamiento en diferentes emplazamientos y condiciones. Este proyecto tiene plantas piloto instaladas en Marruecos, Italia, Portugal y en España, en particular en Valencia y Valladolid, con potencias instaladas desde 40 kWp a 360 kWp, que funcionan tanto en isla como de forma híbrida con la red eléctrica o con generadores diesel. Aunque hace unos años usar un generador fotovoltaico implicaba regar a baja presión, actualmente se están haciendo sistemas diseñados para cualquier caudal y presión. Tampoco es absolutamente necesario disponer de una balsa de regulación, a pesar de que esta instalación ayuda a suplir la demanda en casos de averías o bajadas de rendimiento.

Una de las actuaciones más recientes que se han desarrollado en España es la de la comunidad de regantes de Las Planas, La Rioja. De acuerdo con la noticia publicada por E.P. (2018), este regadío abastece a 246 ha de terreno irregular y el proyecto ha tenido una inversión inicial de 320.000€. Toda la superficie está cultivada por viñedos y se riega completamente por riego por goteo. La obra se terminó en verano de 2018 y, tanto hidráulicamente como por extensión, tiene muchas similitudes con el regadío de Valdetellas.

Basándose en las experiencias mencionadas, se puede concluir que la energía FV es una tecnología que está suficientemente desarrollada como para ser instalada en comunidades de regantes con fines productivos y no sólo para investigación a pequeña escala. De acuerdo con la bibliografía consultada, Valdetellas sería el bombeo solar situado más al norte de España, por lo que resultaría sin duda interesante estudiar su comportamiento.

Por último, así como en otras comunidades autónomas ya hay regadíos de este tipo, en Navarra todavía no se ha instalado ninguno. No obstante, hay una voluntad de cambio hacia este sentido tanto de las instituciones públicas como, sobre todo, por parte de las comunidades de regantes, que ven cómo los costes de la electricidad aumentan cada año reduciendo sus beneficios. Por esa razón, se pretende modernizar el regadío de Valdetellas mediante energía FV de tal modo que sirva de referencia para otras comunidades de regantes, así como para establecer un banco de pruebas a escala real en la Comunidad Foral.

1.4 Objetivos

Por tanto, los objetivos del presente trabajo son los siguientes:

Analizar en profundidad la situación actual del Regadío de Valdetellas y comprender su comportamiento.

Estudiar diferentes escenarios de funcionamiento del regadío con energía solar fotovoltaica y evaluar la respuesta del sistema.

Estimar los resultados de un regadío sin balsa en un regadío homólogo al de Valdetellas.

2. Material

2.1 Clima y entorno

El principal activo con el que se va a trabajar es el regadío de Valdetellas. INTIA S.A. (2016) indica una superficie regable de 243,02 ha pertenece actualmente al Ayuntamiento de Tudela, el cual la alquila a vecinos para que la cultiven. Está situada en la segunda terraza del Río Ebro, a unos 4 km de distancia al noreste de la capital ribera.

A una escala un poco más amplia, se encuentra en la ribera de Navarra, merindad que destaca por su gran cantidad de tierras en regadío a ambas orillas del río Ebro, y cultivos en secano en las tierras más altas (Figura 1). La zona es de un alto interés agrícola y en especial hortícola, debido al clima favorable, la morfología llana del terreno y la alta actividad de industrias agroalimentarias de la zona. La producción hortícola que ha caracterizado a esta región históricamente se ha visto reforzada en la actualidad por el aumento de industrias congeladoras y conserveras y por la estrategia de diferenciación que se ha llevado a cabo con algunos productos típicos (espárrago, alcachofa, pimiento, tomate...).

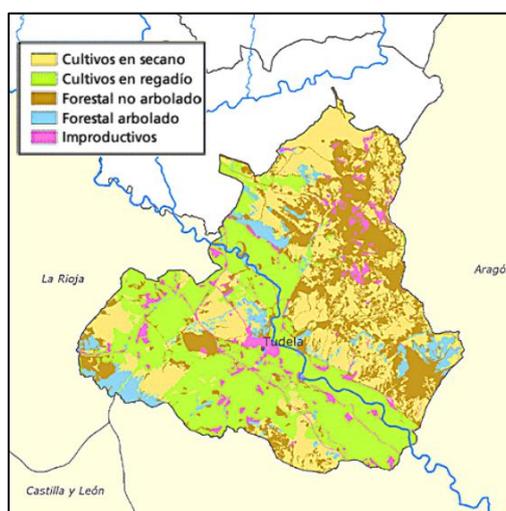


Figura 1: Usos del suelo en la Ribera de Navarra (Vicente, A. M., Donézar, M., Del Barrio, F., San Roque, M., 2004)

El clima de la zona del regadío, según la información disponible en el Servicio de Asesoramiento al Regante-SOA (2018), se caracteriza por su clima estepario semicálido, según la clasificación climática de Papadakis. El mes más cálido es agosto, con una temperatura media de 24°C y el más frío enero, con una temperatura de 6°C y una temperatura media de mínimas de 1,7°C. La temperatura media anual es de 15°C y se alcanzan máximas absolutas de 38°C. El periodo de heladas se extiende desde noviembre hasta mediados de abril y la precipitación media anual es de 326mm. Las precipitaciones se acumulan principalmente en las estaciones de primavera y otoño con 104 y 100 mm respectivamente.

Además, esta zona se caracteriza por sus elevadas rachas de viento, especialmente en las horas centrales del día en los meses de primavera y principios de verano.

Valdetellas cuenta con una estación climática automática propia desde octubre de 2003, propiedad del Ministerio de agricultura, pesca y alimentación (MAPA) y gestionada por INTIA S.A. Además, en las inmediaciones se encuentran también las estaciones manuales de Tudela (1986) y Cabanillas (1982) y las automáticas de Montes del Cierzo (1997) y Ablitas (2004). La información de las estaciones meteorológicas se consultó en Meteorología y climatología de Navarra (2018).

2.1.1 Series de datos climáticos

El origen de las series de datos utilizadas en el estudio varía en función de la variable climática que se quiera estudiar. Las series de datos climáticos se han obtenido desde Meteorología y climatología de Navarra (2018).

Precipitación

Se ha usado la serie histórica de precipitaciones mensuales de la estación de Cabanillas desde enero de 1982 hasta diciembre de 2017 porque es la serie más antigua de la zona y con menos datos sin registrar. La precipitación se registra en mm (l/m^2). Para dar seguridad al estudio, se han utilizado el percentil 25 de las precipitaciones mensuales para dicha serie de datos.

Temperatura

Se han usado los datos de temperatura diezminutales de la estación automática de Montes del Cierzo en grados centígrados ($^{\circ}C$).

Velocidad del viento

Se ha utilizado la velocidad del viento medida en la estación de Valdetellas registrada cada 30 minutos. Se registra en m/s.

Radiación

La radiación es el proceso de transmisión de ondas a través del espacio. Para cuantificarla, se usan dos términos.

- Irradiancia: Potencia de la radiación incidente sobre una superficie. Se expresa en W/m^2 .
- Irradiación: Energía por unidad de superficie a lo largo de un tiempo. Se expresa en Wh/m^2 .

Se han usado los datos de irradiancia diezminutales de la estación de Montes del Cierzo (Figura 2) desde 2011 hasta 2016 en vatios por metro cuadrado (W/m^2). La irradiación horaria se calcula acumulando los datos de irradiancia para cada hora (Wh/m^2).



Figura 2: Estación meteorológica de Tudela-Montes del Cierzo (Meteorología y climatología de Navarra, 2018)

2.1.2 Edafología

Desde un punto de vista geológico, se trata de una zona situada en la parte baja de una terraza media del río Ebro y en la parte superior hay arcillas con niveles de calizas del terrario marino con algún glacis.

Según el estudio detallado de suelos de la zona regable de Valdetellas elaborado por el Instituto navarro del suelo (1982) en esta zona, hay 5 unidades cartográficas. Las parcelas regables se incluyen principalmente en las unidades 1, 2 y 5. En el anejo 1vse describen las unidades de suelo y se representan gráficamente en el plano 3.

El agua en el suelo

Potencialmente, la capacidad de un suelo para contener agua es la suma del volumen de los poros. No obstante, no toda esa agua es aprovechable para las plantas. De acuerdo a Urbano, Terrón, P. (2002), el agua que se encuentra en los poros de mayor tamaño ($\phi < 8 \mu\text{m}$) no está retenida por la matriz del suelo y se drena fácilmente. El punto en el que el suelo ha finalizado su drenaje interno se denomina capacidad de campo (CC). Por otra parte, una fracción del agua está retenida a tal presión que las plantas no son capaces de absorberla a la velocidad suficiente como para mantener la presión de turgencia positiva. Esta agua queda retenida en los poros de menor tamaño ($\phi > 0,2 \mu\text{m}$). El agua retenida a una tensión de 30,6 atm se considera que marca el punto de marchitez (PM).

Por lo tanto, el volumen de agua utilizable (VAU) es el agua retenida en el intervalo comprendido entre la capacidad de campo y el punto de marchitez.

2.2 Proyecto de transformación a regadío

El proyecto de transformación a regadío de Valdetellas se enmarca dentro el acuerdo entre el MOPU y el Gobierno de Navarra para la creación de nuevas áreas de regadío, suscrito el 28 de enero de 1985. Las obras estuvieron financiadas según lo previsto por la Ley del 7 de julio de 1911 de transformación de secano a regadío, indicado por Riegos de Navarra S.A. (1990). El saldo de liquidación de la obra se firmó en noviembre de 1990 con un importe final de veinticuatro millones seiscientos catorce mil setecientas una pesetas.

El suministro de agua para el regadío es el Canal de Tauste, que a su vez se abastece del río Ebro. La toma de agua para Valdetellas se encuentra al comienzo del canal de Tauste, en el término municipal de Cabanillas. Hay una línea de alta tensión que conecta con la estación de bombeo con una tensión de suministro de 13.200-20.000 V. Para un posible suministro de gas, se conectaría con el polígono Centro de Servicios de Tudela (Servicio de Oferta Agroindustrial, 2018).

En 2015, debido a unas fuertes inundaciones, la estación de bombeo y el colector quedaron completamente inutilizados, por lo que se redactó otro proyecto para analizar el estado de las partes afectadas y reponer los elementos necesarios. Por lo tanto, tras el proyecto elaborado por Ranz Garrido, J. R. (2015) la instalación de baja tensión, el colector y las piezas de valvulería, quedaron modernizadas.

En la figura 3 se muestra un esquema del regadío de Valdetellas.

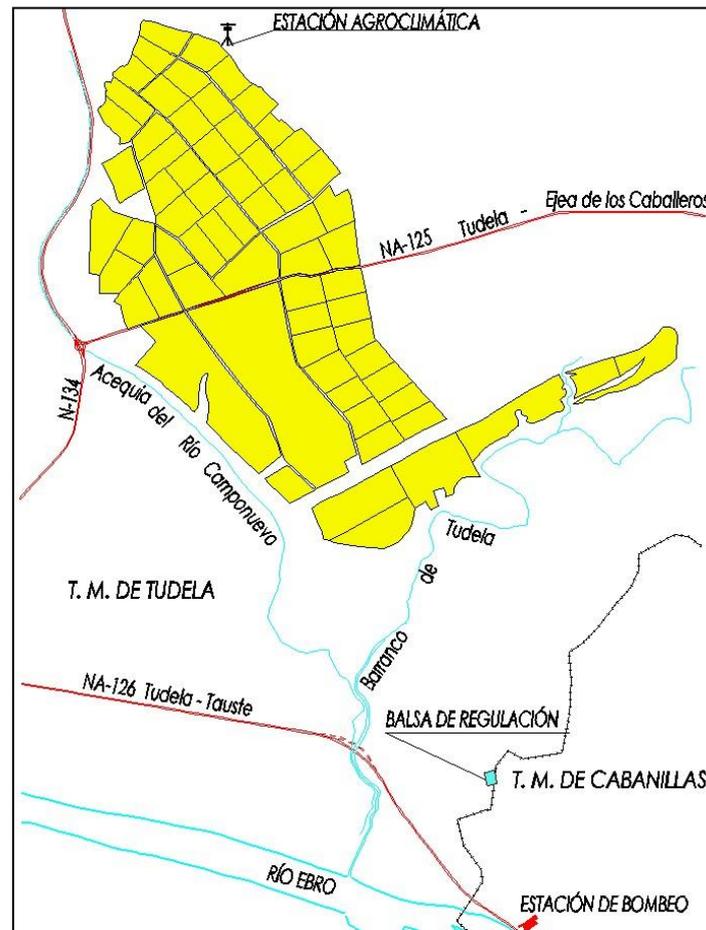


Figura 3: Esquema del regadío de Valdetellas (SOA, 2018)

El objetivo principal de esta transformación era abastecer con presión y caudal constante un riego a demanda a las 243 ha del regadío. Para ello, la solución final adoptada por Fiteni Rodríguez, F. (1985) en el proyecto original fue la siguiente:

En primer lugar, se llevó a cabo la obra de toma y la estación de bombeo. Desde la estación de bombeo, en coordenadas X=619,05 Y=4656,88 ETRS89 30N, se excavó un foso de bombeo de 7,30m de profundo en vertical. Por la parte inferior del foso, se comunica mediante una galería horizontal de 1.200 mm de diámetro hasta la orilla del canal de Tauste, donde se ejecutó la obra de toma. Esta obra cuenta con un sistema de rejas y compuertas que evitan la entrada de cuerpos flotantes al foso de bombeo.

Del foso, según el proyecto original, se abastecen 3 bombas verticales ITUR de caudal nominal de 90l/s (324m³/h). Además de esas tres, posteriormente se añadió una cuarta bomba dispuesta de forma similar, pero de caudal nominal de 120 l/s (432m³/h), de acuerdo con Ranz Garrido, J. R. (2015). Todas ellas trabajan a un régimen de 1480 rpm e impulsan el agua con una presión de 108 m.c.a., establecida en el proyecto original. Cada bomba trabaja con un motor eléctrico que se abastece desde la red eléctrica. La información de los equipos de bombeo se muestra en el anejo 2. Las cuatro bombas vierten al colector, que conecta con la tubería de impulsión. Esta tubería va soterrada desde que sale de la estación de bombeo y conduce el agua hasta una balsa que actúa como depósito regulador emplazada en una ladera 90 metros por encima de la cota de la estación de bombeo.

Ranz Garrido, J. R. (2015) proyectó el colector de las bombas tras las inundaciones en acero de $\varnothing 500$ mm y una presión nominal (PN) de 16 atm. El resto de tuberías aguas abajo de la estación de bombeo están ejecutadas en fibrocemento. La tubería de impulsión tiene $\varnothing 600$ mm

PN-12,5 atm con una longitud aproximada de 840 m. El trazado de la tubería de impulsión es paralelo al camino de tierra que asciende directamente desde la estación de bombeo hasta la balsa.

La balsa reguladora, construida en lo alto de una ladera próxima, se calculó geoméricamente una capacidad útil de 9.051,42 m³ entre la cota de desagüe y la cota de toma, a pesar de que se proyectó para tener 8.500m³. Según Riegos de Navarra S.A. (1996), se ejecutó en tierra con taludes 1,5:1 y revestida de PVC armado. Cuenta con un aliviadero que vierte a un desagüe en caso de que se rebase la cota máxima y así evitar que se sobre la balsa o posibles problemas de estabilidad del terreno.

Desde la balsa, la tubería de suministro principal desciende hasta el inicio de la red de distribución por la parte norte de la colina, según se muestra en el plano 1. A partir de ahí, se ramifica formando la red de distribución, compuesta por la tubería principal, 4 tuberías secundarias y sus ramificaciones. Toda la red está hecha de tuberías de fibrocemento. El esquema de la red de distribución se muestra en el plano 2.

2.2.1 Curvas de carga de las bombas

Tres de las cuatro bombas y motores que impulsan el agua en el regadío siguen siendo los que se instalaron originalmente en 1988, mientras que el cuarto conjunto se añadió en 2002. Tras el uso que se les ha dado la eficiencia de los aparatos se habrá visto reducido. Para cuantificar esta reducción, se realizó un ensayo en la estación de bombeo que dio como resultado las curvas de carga de las bombas actualizadas.

2.2.2 Alternativa de cultivos original

Los cálculos hidráulicos y el dimensionamiento de toda la infraestructura proyectados por Fiteni Rodríguez, F. (1985) se basaron en las necesidades hídricas de la alternativa de cultivos planteada. La alternativa original con las necesidades estimadas en mm de lámina de agua se muestra en la tabla 1. Se utilizó la fórmula de Hargreaves para el cálculo de la ET₀ y se tuvo en cuenta una eficiencia de riego de 0,75.

Tabla 1: Superficie y ET de la alternativa de cultivo originales (Fiteni Rodríguez, F., 1985)

Cultivo	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Alfalfa (30%)	0,0	0,0	0,0	8,4	20,4	49,6	69,6	59,8	35,6	4,0	0,0	0,0
Maíz (25%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16,0	58,0	57,0	34,4	0,0	0,0	0,0
Trigo (25%)	0,0	0,0	5,4	8,7	17,4	13,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Hortícolas (10%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,4	23,2	22,8	12,8	0,0	0,0	0,0
Frutales (10%)	0,0	0,0	0,0	0,0	2,7	13,6	23,2	20,4	9,9	0,0	0,0	0,0
TOTAL (mm)	0,0	0,0	5,4	17,1	40,5	98,6	174,0	160,0	92,7	4,0	0,0	0,0

La alternativa escogida se compone de 5 cultivos, de los cuales alfalfa, maíz y trigo suman el 80% de la superficie. Con esta base, el mes de más necesidades de agua es julio, con 174 mm. Se desconoce cuál fue el criterio para escoger dicha alternativa, ni la fuente de los datos usados para el cálculo.

2.2.3 Cultivos registrados

Además de la alternativa planteada en el proyecto original, se cuenta con los datos de los cultivos y las superficies cultivadas en Valdetellas desde el año 2007 hasta la actualidad. Los datos están disponibles en la página web del SOA (2018). Para el estudio, se utilizarán los datos de 2007 a 2017, resumidos en la tabla 2.

Tabla 2: Historial de cultivos y superficies registradas en Valdetellas entre 2007 y 2017 (SOA, 2018)

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Alcachofa	37	10	10	28	10	0	16	16	14	14	7
Alfalfa	18	36	43	75	75	60	60	53	53	21	2
Barbecho	0	4	3	27	15	41	34	30	17	0	15
Brócoli	75	83	75	62	126	54	32	19	89	35	148
Cebada	0	100	32	17	0	0	13	4	37	10	74
Coliflor	25	0	2	0	0	0	0	0	0	64	0
Espárrago	4	11	8	11	11	5	5	7	7	7	5
Guisante	21	7	64	21	0	0	0	0	14	94	19
Haba	0	0	0	0	27	0	0	0	15	0	0
Maíz grano	0	0	11	0	24	22	2	14	7	10	0
Maíz semilla	0	0	0	0	0	20	42	45	0	0	0
Manzano	10	10	10	8	6	12	10	8	8	8	8
Melocotón	45	36	36	24	24	24	24	24	22	22	22
Peral	13	15	15	15	14	11	10	10	10	5	5
Pimiento	0	0	0	3	0	7	10	12	0	9	8
Puerro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	5
Tomate	0	0	0	0	11	12	7	0	17	24	32
Trigo	0	0	0	0	0	0	0	8	2	5	10
Berenjena	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0
Calabaza	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0
Cereal invierno	0	65	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Espinaca	8	10	0	10	0	0	0	0	0	0	0
Maíz forragero	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
Nectarina	3	0	0	0	-	-	0	0	0	0	0
Viña	7	7	7	0	0	0	0	0	0	0	0
Maíz	21	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Suma sup. (ha)	287	420	316	305	348	268	265	252	312	332	360
Suma sup. (%)	118	173	130	126	143	110	109	104	128	137	148
Nº cultivos	13	14	13	13	12	11	13	14	14	15	14

En estos diez años se registraron un total de 25 cultivos diferentes sin contar la superficie de barbecho. No obstante, se observa que hay 8 de ellos (marcados en marrón) que apenas se cultivaron. Las especies que sí que se considera que tienen suficiente importancia en el conjunto de los años o que tienen una evolución creciente, se representan en una escala de verdes para visibilizar el gradiente de las superficies cultivadas en el tiempo. Todos los años la superficie cultivada supera a la superficie disponible. Esto se debe a que hay varios cultivos estacionales y se hace más de una campaña por año.

2.3.4 Facturas de electricidad

Otro de los materiales de partida son las copias de las facturas eléctricas desde enero de 2011 a julio de 2016, facilitadas por el Ayuntamiento de Tudela.

El importe total de las facturas eléctricas se descompone en dos conceptos, principalmente: término de potencia y término de energía. Las definiciones según el Ministerio para la transición ecológica (2018) son las siguientes:

- **Término de potencia:** El término de potencia es un precio fijo que resulta disponible en todo momento la potencia contratada. El precio se calcula multiplicando los días que engloba la factura por el precio de la potencia contratada y por el término de potencia del precio PVPC que el Ministerio de Energía Turismo y Agenda Digital establece.
- **Término de energía:** Es un precio que se compone del término de energía del peaje de acceso fijo (fijo) y del coste de producción de la energía eléctrica en cada periodo (variable).

Tarifa energética

En Valdetellas, de 2011 a 2015 se contrató la tarifa 6.1 y en febrero de 2016 se cambió a la 6.1A, ambas con seis periodos horarios. Este cambio fue promovido por la orden IET/2444/2014, del 19 de diciembre publicada por el Ministerio de industria, energía y turismo (2014), por la que se modifica la tarifa 6.1 y se divide en 6.1A y 6.1B. La 6.1 abarcaba desde 1kV hasta 36kV de tensión, mientras que la 6.1A es para tensiones de 1 a 30kV y la 6.1B de 30 a 36kV. El funcionamiento general del mercado energético y la explicación de las tarifas se explican en el anejo 3.

Los precios establecidos por el Ministerio de industria, energía y turismo (2014) del término de potencia (TP) (€/kW y año) y del término de energía (TE) (€/kWh) para la tarifa actual del regadío se muestran en la tabla 3.

Tabla 3: Precios del término de potencia (€/kW) y del término de energía (€/kWh) de la tarifa eléctrica 6.1ª (Ministerio de industria, energía y turismo, 2014)

		Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3	Periodo 4	Periodo 5	Periodo 6
6.1A	TP	39,139427	19,586654	14,334178	14,334178	14,334178	6,540177
	TE	0,026674	0,019921	0,010615	0,005283	0,003411	0,002137

Como se indica en el anejo 3, las potencias se deben contratar de forma ascendente, es decir, en cada periodo se tiene que contratar una potencia igual o superior al periodo anterior. En la tabla 4 se muestran las potencias contratadas por el regadío de Valdetellas en los años 2011 a 2016.

Tabla 4: Potencias contratadas en Valdetellas (elaboración propia)

P1	150 kW
P2	150 kW
P3	460 kW
P4	460 kW
P5	460 kW
P6	460 kW

Los gastos totales de electricidad para el regadío de Valdetellas, en base a las facturas, se muestran en la figura 4. En los años de estudio, el gasto medio de energía fue de 105.557,04 €.

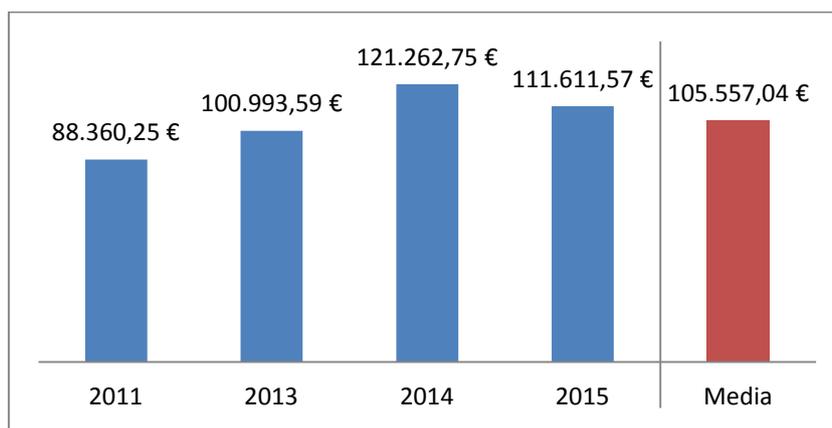


Figura 4: Importe anual de las facturas eléctricas de Valdetellas (elaboración propia)

La distribución del término de energía consumido en los diferentes periodos horarios se muestra en la figura 5.

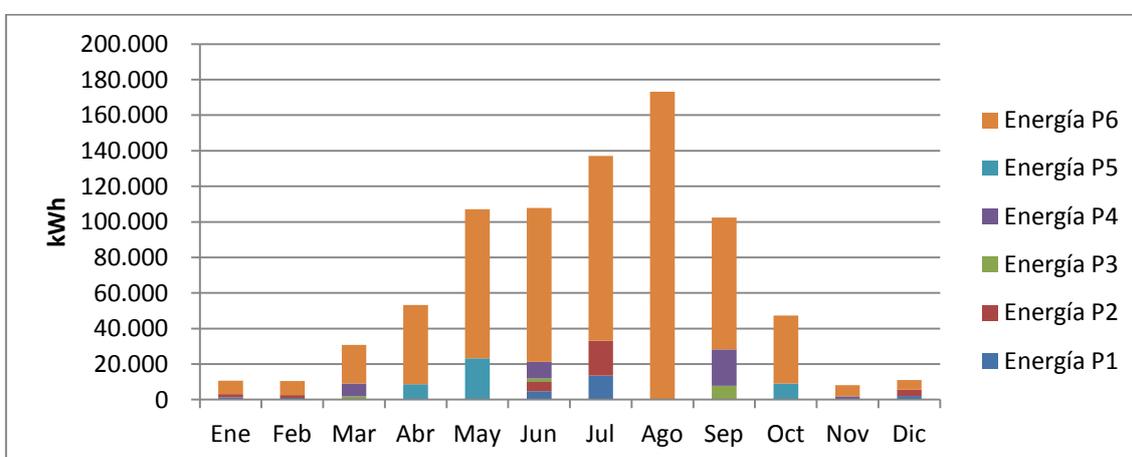


Figura 5: Distribución de periodos tarifarios en el consumo mensual de término de energía (elaboración propia)

El mayor consumo de energía se produjo en el mes de agosto. El porcentaje de uso total de periodos tarifarios se muestra en la tabla 5.

Tabla 5: Porcentaje de consumo anual de término de energía por periodos tarifarios (elaboración propia)

	P1	P2	P3	P4	P5	P6
% TE	2,508%	3,392%	1,473%	4,775%	5,675%	82,178%

2.3 Generador fotovoltaico

La principal función del generador FV es captar la energía recibida del sol en una determinada superficie y generar una corriente eléctrica con la que se alimenten los equipos de bombeo. El componente principal del generador son los módulos FV, los cuales se instalan sobre una estructura fija o sobre seguidores solares. Los diferentes tipos de módulos y de seguidores se detallan en el anejo 4.

El generador FV tiene que estar dimensionado para la suma de las potencias de los equipos a los que abastezca. Como se explica en el anejo 4, el rendimiento de los módulos disminuye si la irradiancia recibida no es suficiente o si la temperatura del módulo es alta. Por esa razón, a la hora de dimensionar el generador, se preverá un rendimiento de los módulos FV del 80% sobre la potencia nominal.

El emplazamiento del generador fotovoltaico, indicado en el plano 4, se escogió en base a la morfología del terreno y a la distancia a la caseta de bombeo. La forma del parque FV permite

colocar los seguidores solares en posición N-S y se adaptó a la superficie llana del terreno para evitar el movimiento de tierras en la obra de instalación.

2.3.1 Módulos FV

La selección de los modelos de módulos FV y de los seguidores solares sobre los que se instalan se ha hecho en función a las recomendaciones de una empresa eléctrica especializada.

En base a la relación calidad-precio de los aparatos, se ha seleccionado el panel solar modelo Q.PLUS L-G4.2 del fabricante Q cells (2019). La potencia nominal de este panel es de 345 Wp. Los paneles irán instalados de sobre estructuras que permiten el giro sobre un eje horizontal N-S. Cada estructura soporta 120 paneles distribuidos en dos filas. Las características técnicas de los módulos y el soporte seleccionados se muestran en el anejo 4.

3. Métodos

3.1 Alternativa de cultivos

La alternativa de cultivos del proyecto de transformación en regadío de Valdetellas, sobre la cual se basaron los cálculos originales, se considera que no se ajusta a la realidad actual del regadío. Por lo tanto, es necesario desarrollar otra alternativa de cultivos modernizada para tener una base sólida desde donde dimensionar las necesidades hídricas. Para ello, se utilizaron los datos del SOA mostrados en la tabla 2.

El resultado de la alternativa definitiva se hizo en base a las superficies medias para cada cultivo, aunque también se tuvo en cuenta la evolución de las superficies cultivadas en estos años. No se incluyeron en la alternativa final los cultivos que se consideraba que habían sido claramente minoritarios.

3.1.1 Cálculo Evapotranspiración (ET)

El cálculo de ET para la alternativa de cultivos propuesta se ha basado en las recomendaciones de la FAO elaboradas por Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M. (2006). La ecuación 1 es la fórmula general de la ET.

$$ET = ET_0 \cdot K_c \quad (1)$$

donde:

ET₀ evapotranspiración del cultivo de referencia
K_c coeficientes de cultivo

La ET menos la precipitación es la necesidad de riego del cultivo. En el caso de Valdetellas con la serie de precipitaciones registradas por la estación meteorológica de Cabanillas, el percentil 25 de precipitaciones diario es 0 en todos los casos. Además, suponiendo 0 mm de lluvia, se actúa por el lado de la seguridad. Por lo tanto, la ET diaria equivaldría a las necesidades de riego.

Como margen de seguridad, se sobredimensionará un 10% los resultados de ET obtenidos.

Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET₀)

Es la tasa de ET de una superficie de referencia que no tiene restricciones de agua y que corresponde a un cultivo hipotético de pasto (Allen, R. G. et al, 2006). Para hallar la ET₀ hay diferentes formulaciones posibles, las más conocidas son las de Hargreaves, Blannet-Cridle y Penman-Monteith. En el proyecto original se usó la fórmula de Hargreaves, que utiliza valores de temperatura y radiación solar.

La recomendada por la FAO y estandarizada es la de Penman-Monteith. Sánchez San Román, F. J. (2006) indica que esta formulación es la más completa y utiliza valores de temperatura, horas reales de sol, velocidad de viento y humedad relativa. La ecuación 2 muestra la fórmula completa de Penman-Monteith para el cálculo de la ET₀, que es la que se va a aplicar para el cálculo de las necesidades hídricas de la alternativa propuesta.

$$ET_0 = \frac{0,408 \Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34 u_2)} \quad (2)$$

donde:

ET₀ evapotranspiración del cultivo de referencia en mm/día
R_n radiación neta en la superficie de cultivo en MJ/m²·día
R_a radiación extraterrestre en MJ/m²·día

G	flujo del calor de suelo en MJ/m ² -día
T	temperatura media del aire a 2 m de altura en °C
u ₂	velocidad del viento a 2 m de altura en m/s
e _s	presión de vapor de saturación en kPa
e _a	presión real de vapor en kPa
e _s -e _a	déficit de presión de vapor en kPa
Δ	pendiente de la curva de presión de vapor en kPa/°C
γ	constante psicométrica en kPa/°C

El resultado de la ET₀ mensual para Valdetellas se indica por el Gobierno de Navarra (2018). En la figura 6 se muestran los valores de Penman-Monteith para la ET₀ y la estación meteorológica de Valdetellas, calculado para el periodo 2004-2017.

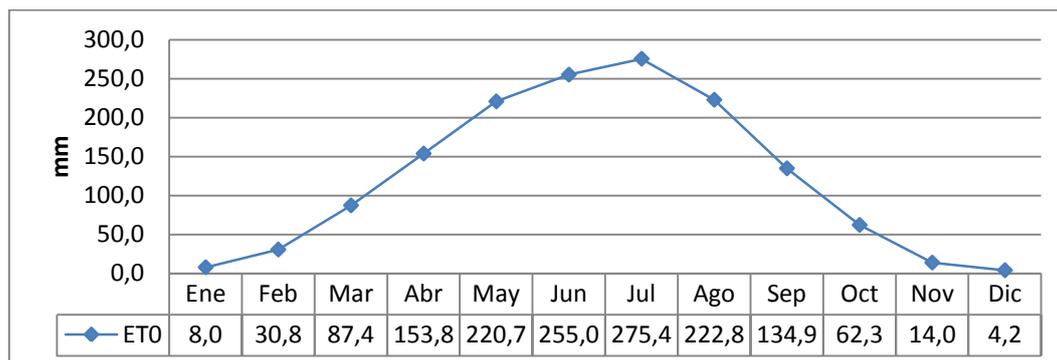


Figura 6: ET₀ mensual calculada con el método de Penman-Monteith en la estación meteorológica de Valdetellas (Gobierno de Navarra, 2018)

Coeficientes de cultivo (K_c)

El coeficiente de cultivo (K_c) integra los efectos de las características que distinguen a un cultivo de pasto referencia. Por lo tanto, varía en función del cultivo y del estado fenológico en el que este se encuentre (Allen, R. G. et al, 2006). Existen multitud de K_c estimados para cultivos tanto a nivel global como regional.

Para este estudio, se van a utilizar los coeficientes facilitados por el Servicio de Asesoramiento al Regante (SAR) de INTIA. Estos K_c están calculados para la zona de Tudela en periodos de 10 días y para cada cultivo. El único cultivo del que no se tienen datos del SAR es el puerro. En este caso, se tomará la K_c de un documento elaborado por García Vera, M. A., Martínez Cob, A., Coch Flotats, A. (2005) para la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE).

Cálculo de ET horaria

Los datos de ET₀ tienen una frecuencia diaria y los K_c se registran cada 10 días. Por lo tanto, para obtener los datos de ET diarios se multiplicará el dato ET₀ diario por el K_c del periodo en el que se encuentre.

Para convertir el dato diario en una curva horaria se usan los datos horarios de irradiación y se convierten en porcentajes, de tal forma que el valor máximo del día se corresponda a un 1. La ecuación 3 muestra la transformación aplicada.

$$\rho_h = \frac{Rad_h}{Rad_{max}} \quad (3)$$

donde:

ρ _h	tanto por uno de la irradiación para la hora h
Rad _h	irradiación horaria en kWh/m ²
Rad _{max}	irradiación de la hora de máxima irradiación del día en kWh/m ²

Para cada hora del día, se multiplica el valor diario de ET para la alternativa de cultivos por el tanto por uno de la hora en cuestión y se divide entre la suma de los tantos por uno de todas las horas de ese día. La ecuación 4 representa el cálculo aplicado.

$$ET_h = ET_d \cdot \frac{\rho_h}{\sum_{23}^0 \rho_h} \quad (4)$$

donde:

ET_h	evapotranspiración de la alternativa de cultivos en la hora h en mm
ET_d	evapotranspiración diaria de la alternativa de cultivos en mm
ρ_h	tanto por uno de la irradiación en la hora h

Esta metodología implica asumir que la ET de un cultivo está directamente relacionada con la irradiancia que recibe. Según Urbano Terrón, P. (2002), la transpiración estomática depende de la radiación directa e indirecta y de la diferencia de presión de vapor entre las cavidades subestomáticas y la atmósfera. A pesar de no tener en cuenta el efecto de la diferencia de presiones, la curva obtenida se considera que se ajusta al modelo del libro.

La serie de datos obtenida, de precisión horaria se usó para el balance hídrico de la balsa de acumulación. La precipitación no modifica el cálculo de las necesidades hídricas de la alternativa porque el percentil 25 de la serie de precipitación para los años estudiados en los meses de más demanda era prácticamente 0. Por esa razón, se supuso una precipitación 0 para la ET diaria.

3.2 Irradiación recibida

Es necesario cuantificar la irradiación que recibe el entorno en el que se va a situar el proyecto. De esta forma, también se puede calcular la potencia que va a generar un determinado modelo de panel solar y permite dimensionar el generador fotovoltaico para cubrir la demanda de energía por parte de los equipos de bombeo.

3.2.1 Estudio de días menos favorables

Para el estudio de Valdetellas, se estudió la irradiación solar en el mes más desfavorable, es decir, el que tenga mayores necesidades hídricas y requiera más horas de bombeo.

Para caracterizar la irradiación en ese mes, se utilizó la serie de datos diezminutales de dicho mes registrados por la estación climática de Tudela (Montes del Cierzo) desde 2009 hasta 2018. Para cada año de la serie, se hizo el promedio de los valores de irradiación horaria para determinar el día promedio del mes en cada año. Posteriormente, se seleccionaron los dos años más extremos, en el que hubo menos radiación promedio y en el que la radiación registrada sea más alta.

Para estos dos años, se compararon los datos de irradiación registrados cada día y se hizo un estudio de los días menos favorables, que se determinó que fueran los que no llegaron al 80% de la irradiación del día medio. Se cuantificó el número de días que no cumplían estas necesidades en ambos años y se estudiaron las posibles causas utilizando las gráficas de irradiación y temperatura.

3.2.2 Horas solar pico (HSP)

Para cuantificar la irradiancia en los proyectos de energía solar FV es común utilizar las unidades de HSP. Cada HSP equivale a 1.000 W/m^2 , es decir, que son el número de horas a las que el generador FV funciona a pleno rendimiento, sin tener en cuenta la temperatura de los paneles.

3.3 Eficiencia de bombeo

3.3.1 Curvas de carga de las bombas

El proceso seguido para actualizar las curvas de las bombas se hizo en la estación de bombeo y se realizó una repetición para cada equipo. En el carrete situado entre bomba se instaló un manómetro y un medidor de potencia eléctrica. No fue necesario instalar un caudalímetro porque se utilizó el aparato del colector general para medir el caudal.

En el ensayo se fue aumentando la presión de trabajo de las bombas desde 90 m.c.a. hasta la presión para la que el caudal era cero y se tomaron valores de caudal y potencia consumida.

Tras realizar las cuatro repeticiones, se pasaron los datos a una tabla y se interpolaron los valores de caudal y potencia para una altura de 108 m.c.a. Dividiendo el caudal entre la potencia, se calcula el factor de rendimiento, que indica los metros cúbicos por hora que se impulsan por cada kilovatio (m^3/kWh).

3.3.2 Eficiencia energética

A partir de las facturas eléctricas que se tienen, se pudieron estudiar por separado los diferentes componentes. El término de energía depende totalmente de las horas de uso de las bombas hidráulicas. Si se conoce la potencia de las bombas, se puede calcular por tanto los metros cúbicos que han salido de la estación de bombeo.

La ecuación 5 sirve para calcular el rendimiento energético de un sistema de bombeo.

$$\rho = \frac{E_{at}}{E_{ac}} \cdot 100 \quad (5)$$

donde:

E_{at}	energía anual teórica en kWh
E_{ac}	energía anual consumida en kWh
ρ_h	eficiencia energética en %

Por otro lado, la energía anual teórica se calculó según la ecuación 6.

$$E_{at} = \frac{(V_{año}/3,6) \cdot H \cdot 0,736}{75} \quad (6)$$

donde:

$V_{año}$	volumen anual de agua bombeada en m^3
H	altura manométrica de los equipos de bombeo en m.c.a.

En función del rendimiento de los equipos de bombeo, se estudiará si siguen siendo funcionales o si es necesario reemplazarlos por grupos nuevos.

3.4 Escenarios de estudio

Uno de los puntos clave en el regadío de Valdetellas es la balsa de acumulación. Hasta ahora, esta infraestructura permitía bombear agua en las horas de P6 y los agricultores podían regar durante el día sin necesidad de pagar en las horas de energía más caras. Con el cambio a energía FV, la balsa permitiría un comportamiento similar, pero a la inversa. Las bombas movidas con energía solar podrían bombear agua a la balsa en las horas centrales del día al mismo tiempo que los regantes usan esa agua, por lo que la balsa supondría una batería hidráulica para el sistema.

A pesar de disponer de una balsa de acumulación operativa en el sistema, su comportamiento podría variar en función de las entradas y las salidas que tenga. Para evaluar si la capacidad de la balsa sería suficiente como para no vaciarse en ningún momento, en este estudio se quieren plantear diferentes escenarios variando el número de bombas conectadas al generador (bombas solares) y el número de bombas conectadas a la red eléctrica (bombas eléctricas).

Los escenarios planteados dentro de un **regadío con balsa** son los siguientes:

- Tres bombas solares y una bomba eléctrica (3S1E)
- Tres bombas solares (3S)
- Cuatro bombas solares (4S)

A nivel práctico, el escenario más viable hidráulica y económicamente de estas tres opciones sería la opción que se podría llevar a cabo en Valdetellas.

Por otro lado, hay regadíos que no están emplazados en un lugar que geográficamente permita la construcción de una balsa o regadíos de nueva construcción en los que esta infraestructura supone un incremento importante sobre el coste del proyecto. Por eso, en este estudio resultaría interesante estimar la viabilidad de un sistema idéntico al regadío de Valdetellas, pero **sin balsa de acumulación**. Dentro de este escenario, se evaluó la respuesta con 3S1E, 3S y 4S.

Ambos escenarios, con balsa y sin balsa, se evaluaron económicamente de forma independiente, ya que el escenario sin balsa es una utopía sobre el mismo regadío y no sería comparable con los escenarios con balsa.

3.4.1 Regadío con balsa de acumulación

Balance anual de la balsa

Para predecir el comportamiento de la balsa del regadío, se construyó un balance anual de la balsa. De esta forma, se pudieron condicionar o restringir los aspectos que se deseen para ver el comportamiento en los diferentes escenarios. Para establecer este modelo, se introdujo el volumen de agua de entrada y de salida cada hora del año tipo y se calcula el déficit.

Las salidas fueron determinadas por las necesidades de riego de la alternativa, es decir, la ET horaria y las entradas de agua a la balsa por el número de bombas en funcionamiento y el caudal que den estas.

En las bombas conectadas a la red eléctrica, se restringió su funcionamiento al periodo P6 de la tarifa eléctrica para comprobar si únicamente con estas horas sería suficiente para abastecer el riego. Si no fuera suficiente, se ampliaría al periodo P6 y P5 y así sucesivamente. Se consideró el máximo rendimiento de las bombas eléctricas desde el momento en el que empiezan a funcionar. El horario de P6 se aplicó a todo el mes de agosto, sábados y domingos del resto de meses y el resto de días del año de 0:00 a 8:00h. El periodo P6 no se aplicó al resto de días festivos porque es un parámetro con variaciones entre años.

El funcionamiento de las bombas conectadas al generador FV se consideró directamente ligado a la irradiancia y a las horas de sol. Solamente pueden estar en funcionamiento en las horas de luz y su rendimiento se consideró 0,5 la primera hora y la última hora de luz solar y 1 el resto de las horas intermedias. También se condicionó la activación o no de las bombas solares en función de la irradiación recibida en el generador, es decir, que solo se pueden activar las bombas que pueda mantener el generador FV.

Para la serie de irradiación que marca el comportamiento de las bombas solares, se trabajó con el percentil 25 de la irradiación horaria para los años 2011 a 2016. Para la estimación de la energía que capta el generador FV, se supuso un rendimiento del 16% de los paneles FV y una superficie útil de 3.589m², que se obtuvo al multiplicar el área de cada panel por el número de

paneles que se utilizan. A partir de esa potencia disponible, se dividió entre la potencia absorbida por el modelo de bomba a utilizar y se calcularon las bombas que el generador FV es capaz de mantener en funcionamiento cada hora.

Por último, se restringió el riego en las horas centrales del día debido a las fuertes rachas de viento que se dan en la zona que reducirían la eficiencia de riego considerablemente. Por ello, la simulación se hizo sin riego de 10 a 16h y la demanda de riego se repartió entre las horas restantes del día.

Esta restricción sería complicada de aplicar en la realidad porque no se cuenta con telecontrol y es difícil controlar las parcelas que se están regando. Además, únicamente no es recomendable regar con valores de viento superiores a 3,5 m/s y habrá días en los que el viento alcance esta velocidad o las rachas de viento se concentren en otros periodos horarios. No obstante, planteando el corte de riego durante estas horas se genera un escenario más desfavorable que si se regara de manera continua, por lo que se queda por el lado de la seguridad.

Comportamiento diario de la balsa

Para comprender mejor el comportamiento de la balsa en los periodos de máxima demanda de riego (junio-agosto), se estudió el día medio de estos meses en el balance de la balsa. Se plasmaron los valores del día medio de estos meses de volumen de la balsa, y salidas y entradas de caudal a la balsa.

3.4.2 Regadío sin balsa

El otro escenario que se quiso plantear fue regar un sistema homólogo, pero sin balsa. Para ello, habría que calcular la presión necesaria para garantizar una presión óptima en el hidrante más desfavorable. Si la presión de bombeo en este caso fuera menor que 108 m.c.a., este escenario supondría un ahorro de energía.

Por otra parte, al no disponer de una balsa de almacenamiento, la precisión en la aplicación del riego cobra más importancia. Solo se podría regar las horas en las que las bombas están funcionando, lo que supondría restringir el riego principalmente a las horas de sol y, en los casos que haya apoyo de red, algo de riego durante el periodo P6.

Es muy importante en este escenario comprobar que con el agua almacenada en el suelo y las restricciones de pluviometría de los emisores se pueda asegurar un correcto riego de la alternativa y del cultivo con más ET en las horas en las que se pueda regar.

Balance general

En primer lugar se estudió a nivel general en los meses de más demanda (junio, julio y agosto), cómo funcionaría el regadío y si el caudal de las bombas en las horas de riego supliría la demanda de ET de la alternativa de cultivos.

Volumen de agua utilizable del suelo

La ecuación 7, publicada por Urbano Terrón, P. (2002), se utilizó para calcular el VAU del suelo.

$$VAU = 10^4 \cdot p \cdot da \cdot \frac{(CC - PM)}{100} \quad (7)$$

donde:

VAU	volumen de agua utilizable en m ³ /ha
p	profundidad del horizonte en m
da	densidad aparente en t/m ³
CC	capacidad de campo en %
PM	punto de marchitez en %

Como las cualidades del suelo varían en función del horizonte, se calculó el VAU para cada horizonte y se sumaron posteriormente. El estudio del VAU del suelo se realizó en los primeros 50 cm del suelo, generalmente formados por el primer horizonte y parte del segundo.

Se consideró que 50 cm es la profundidad a la que las raíces de las especies hortícolas absorben agua del suelo. Es cierto que algunas especies, por ejemplo, frutales, desarrollan sistema radicular a profundidades mayores, con 50 cm de profundidad se unificó toda la superficie y se simplificaron los cálculos sin alterar significativamente el resultado.

Los valores de densidad aparente, capacidad de campo y punto de marchitez en función de la textura del suelo se muestran en la tabla 6, publicada por Urbano Terrón, P. (2002).

Tabla 6: Densidad aparente, capacidad de campo y punto de marchitez en función de la textura del suelo ((Urbano Terrón, P.,2002)

Tipo de suelo	Densidad aparente (t/m³)	Capacidad de campo (%)	Punto de marchitez (%)
Arenoso	1,60-1,75	5-7	1-3
Franco arenoso	1,44-1,60	7-12	3-6
Franco	1,28-1,44	12-18	7-11
Franco arcilloso	1,20-1,28	18-25	11-15
Arcilloso	1,12-1,20	25-45	15-25

Se asignó un determinado VAU en cada unidad de suelo. Mediante el mapa de unidades de suelo, se obtuvo la superficie de cada unidad dentro del regadío y se multiplicó por el VAU promedio de las calicatas incluidas en esa unidad de suelo. En el anejo 1 se muestra la relación de unidades de suelo y calicatas.

Estudio de viento

No disponer de una balsa de acumulación en un regadío impulsado con energía FV supondría regar únicamente las horas en las que hay energía suficiente. No obstante, en zonas con vientos moderados y fuertes, las horas centrales del día no es recomendable regar si el viento es superior a 3,5 m/s, según las recomendaciones del SAR.

En los escenarios con balsa se restringió teóricamente el riego de 10:00 a 16:00h como norma general, a pesar de que hay días en ausencia de viento en los que se podría regar. En un escenario sin balsa, por el contrario, restringir el riego totalmente en esas horas implicaría desperdiciar gran parte de la energía solar del día y, por lo tanto, no sería una buena solución.

Por esa razón, se analizó el comportamiento del viento en los días de junio, julio y agosto, donde las necesidades de riego son mayores. Se seleccionaron los datos de viento medio horario registrados en la estación climática de Valdetellas entre los años 2011 y 2018 y se contabilizaron el número de horas con viento superior a 3,5 m/s para el día percentil 75 de los años de la serie.

Presión de bombeo

Como ya se ha comentado, en este escenario uno de los factores diferenciales es la modificación de la presión de trabajo de las bombas. La ecuación 8 indica cómo se calculó la presión de bombeo. Todos los cálculos para dimensionar la presión se hicieron en base al método de Coutinho de Lencastre, A., Robles García, C. (1998).

$$H = h_{hidr.} + \Delta h_{caseta-hidrante} + h_{impulsión} + h_{rd} + h_{caseta} \quad (8)$$

donde:

H	presión de bombeo en m.c.a.
h_{hidr}	presión aguas arriba del hidrante más desfavorable en m.c.a.
$\Delta h_{estación-hidrante}$	diferencia de cota entre la estación de bombeo y el hidrante más desfavorable en m
$h_{impulsión}$	pérdida de carga en la tubería de impulsión en m.c.a.
h_{rd}	pérdida de carga en la red de distribución en m.c.a.
$h_{estación}$	pérdida de carga en la estación de bombeo en m.c.a.

Aguas arriba del hidrante se estimó una presión de 50 m.c.a., resultante de la suma de la presión de trabajo del emisor (35 m.c.a.), las pérdidas de carga en el hidrante (10 m.c.a.) y las pérdidas de carga de la instalación en parcela (5 m.c.a.).

Para la diferencia de cota, se toma como referencia la altura del eje de salida de la bomba porque la presión nominal de la bomba ya tiene en cuenta la distancia desde ahí hasta el punto de toma del foso. El hidrante más desfavorable se consideró el situado en la cota más alta, de acuerdo con el plano 3.

La tubería de impulsión que conecta la estación de bombeo con la red de distribución en el escenario sin balsa iría paralela a la carretera NA-126 hasta el PK 2,8, en el cual la tubería transcurriría paralela al camino que sale en ese punto y desde ahí conectaría con la red de distribución. La tubería de impulsión en este escenario sería de fundición de 600 mm de diámetro para que fuera similar a la tubería del proyectada originalmente para conectar la estación de bombeo con la balsa. La ecuación 9 muestra cómo se calcularon las pérdidas de carga lineales en la tubería de impulsión.

$$h_{impulsión} = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{U^2}{2g} \quad (9)$$

donde:

$h_{impulsión}$	pérdida de carga en la tubería de impulsión en m.c.a.
f	factor de resistencia
L	longitud de la tubería en m
D	diámetro hidráulico en m
U	velocidad del fluido en m/s
g	aceleración de la gravedad en m/s ²

Para obtener el factor de resistencia f para régimen turbulento en tubos rugosos, se utilizó el diagrama de Moody, donde f viene dado en función al número de Reynolds y de la rugosidad relativa ϵ/D .

Para las tuberías de acero remachadas en las juntas transversales con una tuberculización general de 1 a 3 mm, se indica una la rugosidad ϵ de 2,5 mm.

El número de Reynolds se obtuvo utilizando la ecuación 10.

$$Re = \frac{U \cdot D}{\nu} \quad (10)$$

donde:

Re	número de Reynolds
ν	viscosidad cinemática en m ² /s ($\nu=1,01 \cdot 10^{-6}$ para el agua a 20°C)

Por último, la ecuación 11, indica cómo se calculó la velocidad del fluido.

$$U = \frac{Q}{S} \quad (11)$$

donde:

U	velocidad del fluido en m/s
Q	caudal máximo de la tubería en m ³ /s
S	sección de la tubería en m ² (S=π·D ² /4 para tuberías circulares)

Las pérdidas de carga en la red de distribución están calculadas en el proyecto de ejecución del regadío de Valdetellas. Se tomó el valor de la suma de las pérdidas de carga de todos los tramos que conecten el hidrante más desfavorable y la conexión a la tubería de impulsión.

Como tantos años de uso de la red de distribución habrán empeorado las condiciones hidráulicas de las tuberías, se mayoró la pérdida de carga obtenida en la red en un 10%.

En la estación de bombeo se producen pérdidas de carga puntuales en los elementos de calderería, medición y control de agua. Se estimó que la suma de pérdidas de carga de todos los elementos de conducción de la estación de bombeo es de entre 5 y 10 m.c.a. Para estar por el lado de la seguridad, se trabajó con un valor de 10 m.c.a.

Balance diario

Utilizando los mismos datos que en el balance del escenario con balsa, se obtuvieron las bombas que el generador FV podría accionar al día y las horas de P6 diarias y se restaron las horas en las que el viento era superior al valor recomendado.

A partir de ahí, se calculó el volumen de agua diario máximo que se podría bombear en base al caudal de las bombas y suponiendo un rendimiento constante de 0,9 para no sobreestimar el caudal en horas con baja radiación.

Por otra parte, se obtuvieron los datos diarios de ET del conjunto de los cultivos y se calculó el balance entre el caudal y la ET. Para los tres meses con máxima demanda, se contabilizaron los días en los que la ET superó al caudal máximo que se podría bombear en cada uno de los tres subescenarios. También se calculó el balance global para los tres meses y se comprobó si el VAU del suelo sería suficiente para contrarrestar el déficit.

Riego por turnos

De acuerdo con la dotación de los hidrantes establecida por Fiteni Rodríguez, F. (1985) y el número de hidrantes de la red, se calculó cuál sería la demanda de caudal de la red en caso de que todos los hidrantes estuvieran abiertos. Si la demanda en este caso fuera mayor que el caudal del conjunto de las bombas, habría que establecer turnos de riego. El número de turnos de riego se calculó con la ecuación 12.

$$T_r = \frac{Q_h \cdot h}{Q_b \cdot b \cdot \mu} \quad (12)$$

donde:

T _r	nº de turnos de riego necesarios
Q _h	dotación del hidrante en m ³ /h
h	nº de hidrantes en la red de riego
Q _b	caudal nominal de las bombas en m ³ /h
b	nº de bombas
μ	factor de rendimiento medio (considerar 0,9)

El nº de turnos de riego necesarios se redondea al alza para situarse en el lado de la seguridad.

Comportamiento en parcela

No se pudieron obtener los planos de instalación de riego en parcela. Como alternativa, se calcularon los sectores de riego a partir de la dotación del hidrante y de los aspersores instalados.

Los emisores se colocaron en un marco de 15x18 m a tresbolillo, es decir que cada emisor cubre una superficie de 270 m². Por lo tanto, habrá como máximo 37,03 emisores por hectárea.

Los emisores instalados son de modelo SOMLO 30C y los aspersores circulares están equipados con una boquilla de 4,4 mm y otra de 2,4 mm. Según el fabricante, este modelo a 3,5 kg/cm², que es la presión habitual de funcionamiento, tiene una pluviometría de 1.794 l/h.

El modelo de los aspersores sectoriales es el mismo modelo que en los circulares, pero con la boquilla pequeña sellada y la grande de 4 mm. Con estas características, la pluviometría de los aspersores sectoriales es de 1.145 l/h según el fabricante. Se desconoce la relación entre el número de sectoriales y circulares. Para facilitar el cálculo, se consideró que todos los aspersores son circulares y se minoró en un 10% el valor de pluviometría obtenido.

La pluviometría en el regadío se calculó multiplicando el número de emisores por hectárea por el caudal de los mismos a 3,5 kg/cm².

Teniendo en cuenta que la unidad de riego (UR) media en el regadío de Valdetellas es de 2,6 ha según el proyecto original, se pudo determinar el caudal en litros por segundo que necesitaría la UR en caso de solo contar con un sector de riego. Dividiendo el caudal de la parcela entre la dotación del hidrante, se obtuvo el número de sectores que hacen falta para asegurar una buena uniformidad de riego en la parcela media.

Caracterización del riego

Al margen del balance global del regadío, hubo que comprobar que la dotación del hidrante y la pluviometría de los emisores fueran suficientes como para garantizar las necesidades hídricas del cultivo con mayor demanda.

Partiendo de las horas disponibles de riego, de los turnos de riego necesarios y del número de sectores de la parcela, se tuvo que comprobar que el cultivo más demandante de la alternativa se puede regar lo suficiente como para no agotar la reserva del suelo. Se estableció un tiempo mínimo de riego de 1 hora por sector, tiempo mínimo recomendado por técnicos de INTIA S.A. para garantizar un riego de calidad.

3.5 Valoración de los escenarios

3.5.1 Regadío con balsa

Dentro del escenario con balsa, se valorarán los diferentes subescenarios desde un punto de vista económico. Para evaluar y comparar la rentabilidad de la inversión de la implantación de las tres alternativas, se analizó el periodo de retorno de la inversión y la Tasa Interna de Retorno (TIR) de cada una de ellas.

Inversión inicial

La inversión inicial se compone del coste del generador FV y el cambio de los cuatro equipos de bombeo.

Dentro del generador FV se incluyó el precio de los paneles y de los seguidores solares, el precio de la explanación sobre la que se colocan los seguidores y el precio de los conductores y de los elementos eléctricos necesarios.

A falta de los datos concretos provistos por la empresa eléctrica, se realizó la siguiente estimación de la inversión inicial.

- Generador FV: Se estimó un coste de 0,8 €/W_p (Martínez, A., 2018)
- Conductores y equipamiento eléctrico: Como el generador se encuentra alejado de los equipos de bombeo, el coste de conductores es alto. Por el contrario, los armarios con la instalación en baja tensión se podrían aprovechar con alguna modificación. Se estimó un coste de 100.000€ en el escenario 4S y de 80.000€ en los escenarios con tres bombas solares.
- Equipos de bombeo: Según la oferta del proveedor, cada grupo motor-bomba instalado tendría un coste de 31.242,5 € y las pruebas necesarias más los portes más las pruebas costarían 7.102,88 €.
- Explanación previa: El m³ de terraplén compactado a 100% del proctor normal tiene un precio de 2,23 €, según las unidades de obra utilizadas en otras obras similares de INTIA S.A.

Como mantenimiento, se estimó un coste de 10.000 € al año para cubrir todo el mantenimiento habitual de la instalación más los materiales que haya que reparar o cambiar.

Energía ahorrada

En los escenarios 3S y 4S el sistema está totalmente desconectado de la red eléctrica, por lo que se ahorraría todo el gasto en electricidad.

Para los cálculos de amortización, se consideró que en el año 1 el gasto de energía fue el gasto medio anual de los años para los que se tienen datos de facturas (105.557,04 €). Se estimó un incremento del 10% anual del consumo eléctrico.

En el escenario 3S1E, el consumo eléctrico de red no se elimina por completo. No obstante, como no se podría definir un ahorro exacto de la energía de red, se estimó un ahorro de dos tercios de los gastos del año medio de los años para los que se tienen facturas eléctricas.

En este escenario, se tuvo en cuenta el consumo de la bomba eléctrica, tanto el término de potencia (TP) como el término de energía (TE). Como la bomba eléctrica se limitó al P6, el TP será 0 en el resto de periodos. En P6, el TP se calculó en función de los kW de potencia nominal absorbida por la bomba para los 12 meses del año. El precio del kW en P6 se indica en la tabla 3. El TE se calcularon usando las horas de funcionamiento de la bomba, obtenidas en el balance de la balsa, multiplicadas por la potencia de la bomba y por el precio del kWh en P6 (Tabla 3).

El precio del TE de la bomba conectada a red se incrementó un 3,5% al año, de acuerdo con el anejo 3, y el precio del TP se incrementó un 10% al año para seguir la tendencia actual del precio de la energía.

3.5.2 Regadío sin balsa

Para hacer una valoración económica de este escenario se calculará el número de bombas de las que habría que disponer para poder garantizar un riego a demanda. En función al número de bombas, se tendrá que dimensionar de nuevo la tubería de impulsión, el generador fotovoltaico.

Se estimará el sobre coste en la inversión inicial que supondrían las modificaciones para adaptar el sistema a un riego sin balsa a la demanda.

Por otro lado, se evitaría el coste de la balsa, por lo que se podría calcular si el sobre coste en la inversión inicial es más alto que el coste de la balsa para estimar si este escenario sería viable desde un punto de vista económico.

Para realizar una estimación de la inversión económica que supondría construir una balsa se utilizaron los presupuestos de dos balsas similares proyectadas en 2018 para regadíos de la zona sur de Navarra.

Con el volumen útil de la balsa y el coste de la infraestructura según el proyecto, se obtuvo el precio unitario por metro cúbico de almacenamiento. Los valores de ambas balsas se dispusieron en una gráfica en la que se trazó una línea de tendencia potencial entre ellas. Con eso, se pudo estimar el coste que tendría una balsa de la capacidad de la de Valdetellas si se construyera actualmente. Del presupuesto del proyecto de liquidación original se obtuvo el coste de la balsa con relación al precio del proyecto.

4. Resultados y discusión

4.1 Alternativa de cultivos

Los 17 cultivos que se seleccionaron para la alternativa de cultivos modernizada se muestran en la tabla 7.

Tabla 7: Cultivos y superficies cultivadas en la alternativa de cultivos actualizada (elaboración propia)

Cultivo	% promedio 2007-2017	% superficie alternativa	Superficie alternativa (ha)
Alcachofa	6,1	6,0	14,6
Alfalfa	18,6	15,0	36,5
Brócoli	29,9	35,0	85,1
Cebada	10,7	12,0	29,2
Coliflor	3,4	3,5	8,5
Espárrago	3,0	3,0	7,3
Guisante	9,0	10,0	24,3
Haba	1,6	2,0	4,9
Maíz grano	3,4	5,0	12,2
Maíz semilla	4,0	5,0	12,2
Manzano	3,7	3,5	8,5
Melocotón	11,3	10,0	24,3
Peral	4,6	2,0	4,9
Pimiento	1,8	3,5	8,5
Puerro	0,3	2,0	4,9
Tomate	3,9	13,0	31,6
Trigo	0,9	3,5	8,5
TOTAL	123,1%	137,0%	332,9 ha

En comparación con las superficies medias cultivadas entre 2007 y 2007 (SOA, 2018), la alternativa presenta algunas variaciones. Los cultivos que más aumentan porcentualmente son los que se destinan a industria principalmente. Especies como el tomate, el brócoli, el pimiento o el haba registran una tendencia creciente en las últimas temporadas y por eso tienen más peso dentro de la alternativa de cultivos. El maíz, el puerro y el trigo también aumentan la superficie con respecto a la media. Por el contrario, los cultivos que pierden superficie con respecto a la media en los años estudiados son la alfalfa y los frutales, aunque en menor medida.

4.1.1 Cálculo ET

Tras calcular la ET para cada uno de los meses de los cultivos seleccionados y ponderar el valor obtenido por la superficie que ocupa cada uno, se obtuvieron las necesidades hídricas de la alternativa. El resultado se muestra en la tabla 8. Se representaron en verde los meses que abarca la temporada de siembra o desarrollo temprano, en gris el tiempo de máximo desarrollo del cultivo y en naranja la época de cosecha o senescencia. Los cultivos que están presentes todo el año en las parcelas, se diferenciaron con un tono más claro aquellos meses cuyas necesidades hídricas son 0.

El cultivo que más agua demanda de la alternativa es la alfalfa (186,5 mm/año), seguido del tomate (115,7 mm/año). Entre los dos suman el 34,1% del agua total requerida por la alternativa.

Tabla 8: Evapotranspiración mensual en mm de la alternativa de cultivos (elaboración propia)

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Alcachofa	0,4	1,5	4,4	8,0	11,7	7,8	0,0	5,5	6,0	3,0	0,7	0,2
Alfalfa	0,0	0,0	10,5	18,5	26,5	34,4	39,2	31,7	18,2	7,5	0,0	0,0
Brócoli	2,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	31,2	28,3	18,5	4,9	1,5
Cebada	0,1	1,4	7,1	18,1	23,6	5,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Coliflor	0,0	0,0	2,4	4,3	6,2	0,0	0,0	3,1	2,8	1,9	0,5	0,0
Espárrago	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,8	7,2	6,0	2,9	0,1	0,0	0,0
Guisante	0,0	1,3	7,3	16,9	16,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Haba	0,0	0,4	1,3	2,9	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Maíz grano	0,0	0,0	0,0	1,5	4,7	10,4	15,1	12,0	3,0	0,0	0,0	0,0
Maíz semilla	0,0	0,0	0,0	1,5	4,7	10,4	15,1	12,0	3,0	0,0	0,0	0,0
Manzano	0,0	0,0	0,0	2,1	4,2	7,1	8,2	6,6	3,5	1,1	0,0	0,0
Melocotón	0,0	0,0	0,0	5,9	11,1	17,9	22,0	17,8	9,4	3,1	0,0	0,0
Peral	0,0	0,0	0,0	1,2	2,4	4,0	4,7	3,8	2,0	0,6	0,0	0,0
Pimiento	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1	6,4	9,6	7,8	4,5	0,0	0,0	0,0
Puerro	0,0	0,4	1,2	3,2	4,6	5,4	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Tomate	0,0	0,0	0,0	0,0	11,1	25,3	39,4	29,4	10,5	0,0	0,0	0,0
Trigo	0,0	0,4	2,1	5,6	7,4	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SUMA ET (MM)+10%	3,3	5,5	36,5	89,9	141,5	140,3	164,7	167,0	94,1	35,9	6,1	1,7

El conjunto del año acumula una ET de la alternativa del 886,4 mm. En comparación con lo planteado por Fiteni Rodríguez, F. (1985) es un tercio más en el conjunto del año. No obstante, los valores pico de ambas alternativas son similares, por lo que el dimensionamiento de la red hidráulica anual no se quedaría obsoleto con esta alternativa.

En la figura 7, se muestran las curvas de ET mensuales de la alternativa de cultivos propuesta, de las especies cultivadas entre 2007 y 2017 y de la alternativa del proyecto original.

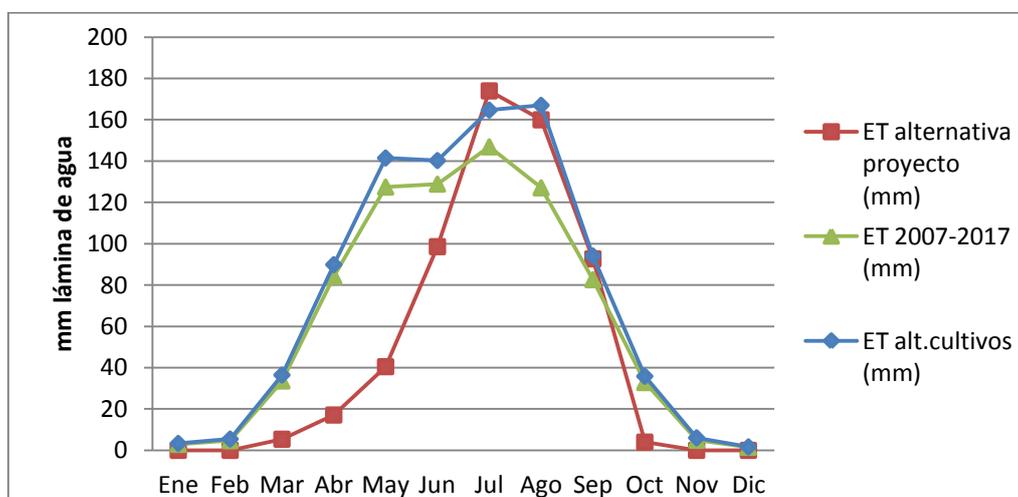


Figura 7: Comparativa de evapotranspiración mensual entre la alternativa propuesta, el registro de cultivos en Valdetellas y la alternativa de cultivos del proyecto original (elaboración propia)

Como se observa, las curvas verde y azul tienen una distribución muy similar, ya que la alternativa propuesta está basada sobre el registro de cultivos entre los años 2007 y 2017. La ET es sensiblemente mayor en todo el año debido al 10% que se sobredimensiona. Los meses de mayor ET de la alternativa son agosto y julio, mientras que el máximo de la alternativa elaborada por Fiteni Rodríguez, F. (1985) se sitúa en julio. Otra diferencia significativa entre el proyecto original y este estudio es que en los meses de marzo a junio (ambos incluidos) la ET estimada para la alternativa actual es considerablemente mayor. Este comportamiento se puede deber a la implementación de nuevos cultivos hortícolas cuya demanda hídrica en primavera es alta.

Cálculo de ET horaria

Los valores de la ET horaria se resumen en la figura 8.

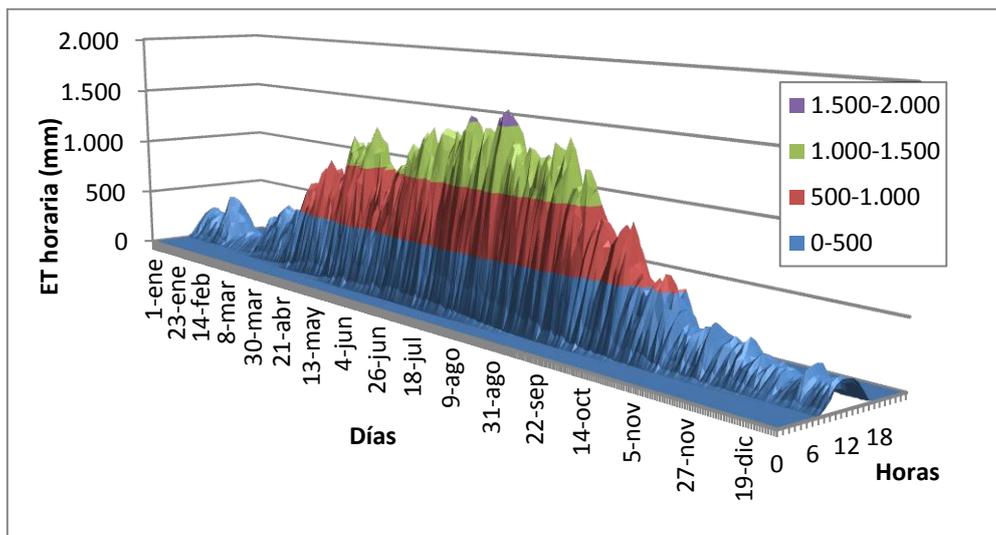


Figura 8: Evapotranspiración horaria en el año tipo (elaboración propia)

Como la curva horaria se ha hecho en base a la radiación horaria, por lo que los valores más altos se concentran en las horas centrales del día y en los meses centrales. El mes con más ET es agosto.

4.2 Irradiación recibida

La irradiación mensual media entre los años 2011 y 2016 se muestra en la figura 9.

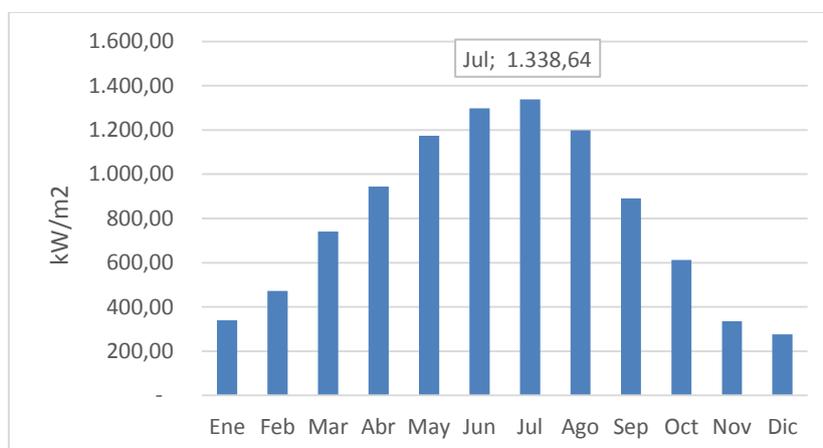


Figura 9: Irradiación recibida mensual media entre los años 2011 y 2016 (elaboración propia)

4.2.1 Estudio de días menos favorables

El estudio de los días menos favorables se hizo para el mes de agosto, porque es el mes con mayor ET para la alternativa de cultivos y no registra la máxima irradiación, por lo que agosto se consideró el más limitante para las bombas fotovoltaicas. En la figura 10, se muestran los valores de irradiación para el mes de agosto. En la figura 11, se muestra la distribución de la irradiación horaria de agosto para el año menos favorable (2015) y más favorable (2016).

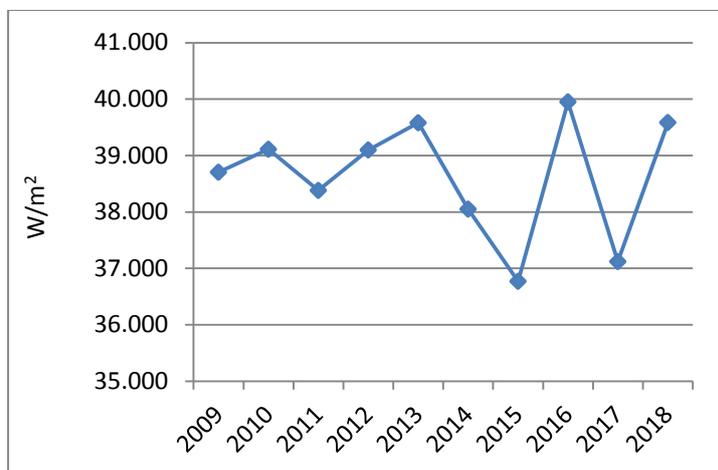


Figura 10: Irradiación recibida del día medio de los años 2009 a 2018 (elaboración propia)

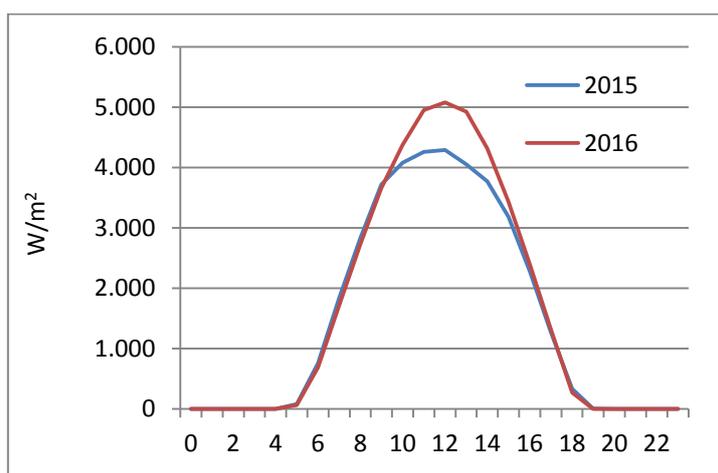


Figura 11: Distribución de la irradiación recibida en los años de irradiación extrema de la serie (elaboración propia)

Como se aprecia en la figura 10, en los últimos diez años, parece que los valores de irradiación cada vez son más extremos, mientras que, al principio de la serie, las radiaciones recibidas eran similares entre año y año. Entre el día medio de 2015 y el de 2016 hay una diferencia de 1.000 Wh/m² entre el máximo de ambos años.

En el año menos favorable (2015), hay 5 días en el mes cuya irradiación es inferior al 80% de la media. La figura 12 representa la distribución de la irradiación horaria esos días (8, 12, 14, 22, 31).

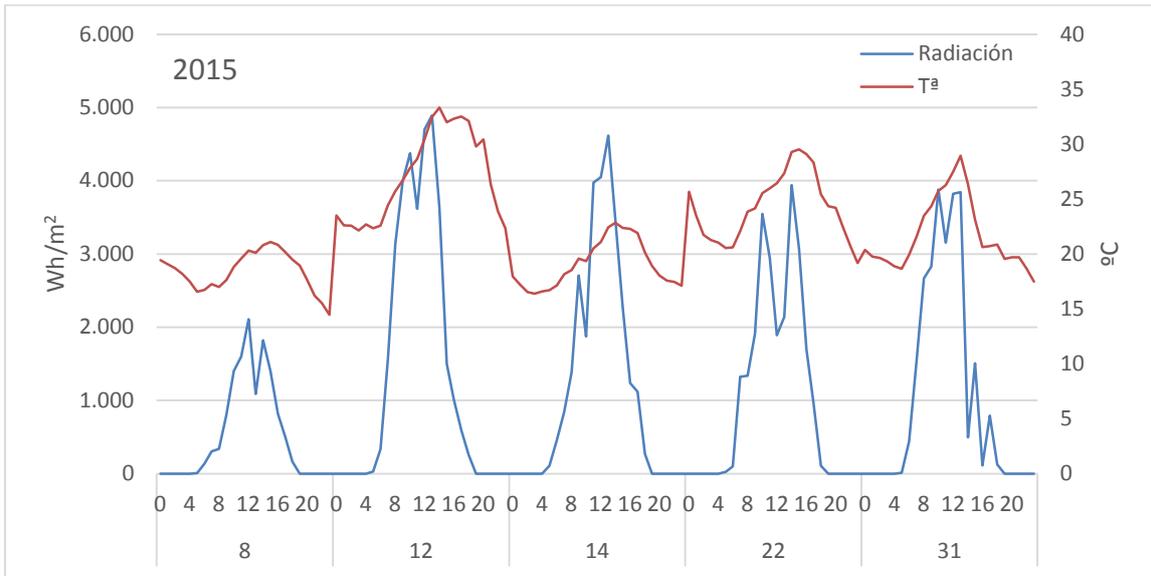


Figura 12: Distribución horaria de la irradiación de los días menos favorables de agosto de 2015 (elaboración propia)

El año más favorable (2016) hay 4 días de irradiación inferior al 80% de la media. En la figura 13 se representan estos días (20, 27, 28, 29).

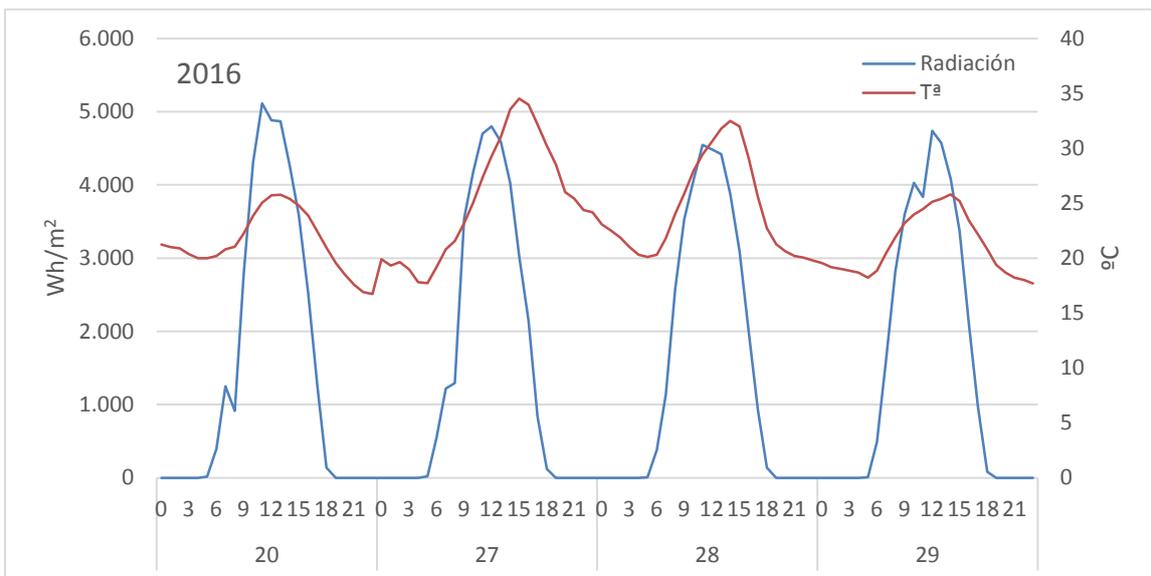


Figura 13: Distribución horaria de la irradiación en los días menos favorables de agosto de 2016 (elaboración propia)

En 2015 la irradiación en los días menos favorables es más intermitente que en 2016. Por lo que se observa, los días con menores irradiaciones de 2015 son días con un paso de nube intermitente, salvo el 8 de agosto, que se registraron valores muy bajos que indican que fue un día muy nublado y con temperaturas bajas.

Por el contrario, los días de menor irradiación de 2016 la distribución es más suave y con menos intermitencias. Los valores de irradiación son más altos, por lo que se puede deducir que los días menos favorables de 2016 fueron debidos a una nubosidad leve y uniforme durante todo el día.

El resto de días de agosto tienen un comportamiento favorable para la instalación de placas FV porque siguen una distribución uniforme y con valores altos de irradiación.

Los días menos favorables de agosto de 2015 reciben una media de 24,9 HSP, mientras que la media de agosto de 2015 fue de 36,7 HSP. En 2016 los días menos favorables, recibieron de

media 35,7 HSP, mientras que la media para junio de 2014 fue de 39,9 HSP. Según lo indicado en el anexo 3, estos valores se consideran apropiados para un buen rendimiento del generador fotovoltaico.

Con la energía que no se usa para accionar las bombas solares, se podría proyectar la conexión a red para venta. La opción de vender energía no se contempla en este estudio. No obstante, sería interesante comprobar si los ingresos obtenidos de la venta de energía serían mayores que la inversión inicial de los equipos eléctricos necesarios para vender la energía compensaría

4.3 Eficiencia de bombeo

4.3.1 Curvas de carga de las bombas

La figura 14, muestra las curvas de caudal que resultaron del ensayo de las bombas en función de la presión (H). El ensayo se realizó en un margen más amplio de presiones y dio como resultado una curva, pero al mostrar únicamente el fragmento de la curva entre 100 y 115 m.c.a., se consideró que la progresión fue lineal en este tramo. Las bombas B1, B2 y B3 son las más antiguas y la B4 es la más moderna. Las gráficas muestran el fragmento del ensayo para la presión de trabajo habitual de los equipos (108 m.c.a.).

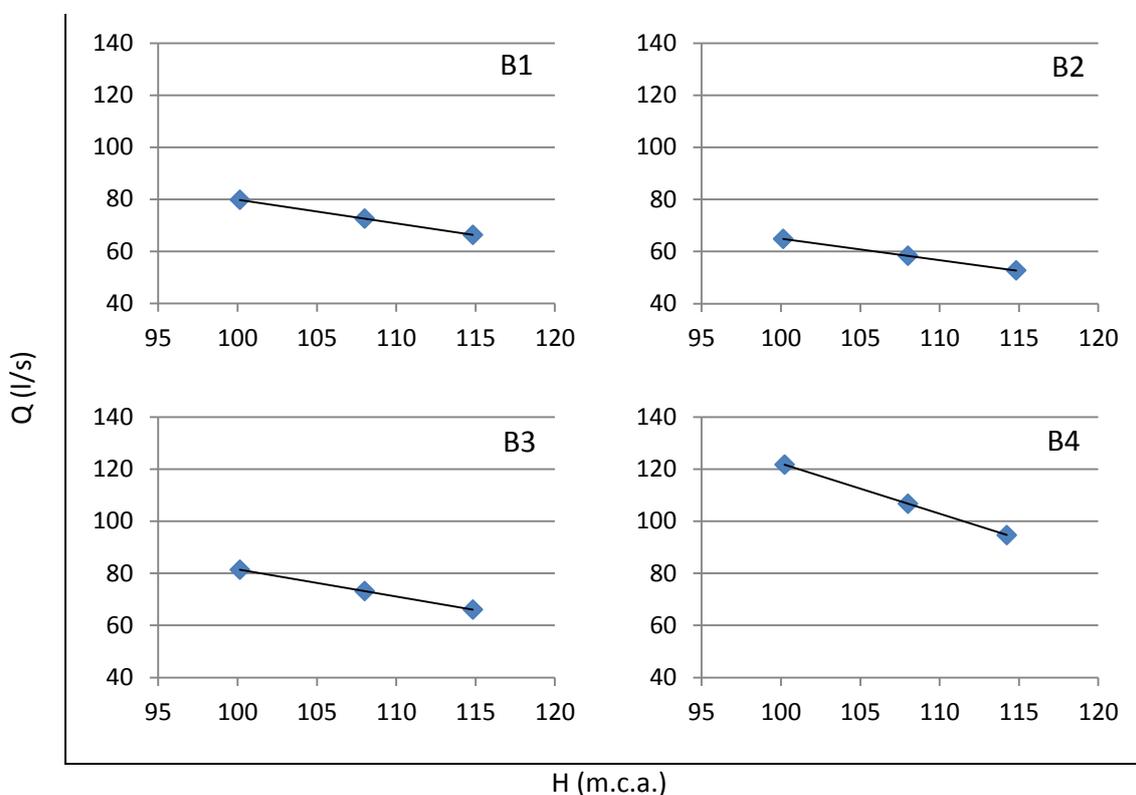


Figura 14: Relación entre presión de bombeo (H) y caudal bombeo (Q) de las cuatro bombas actuales (elaboración propia)

En la figura 15, se muestran las curvas de la potencia absorbida por las cuatro bombas en función de la presión.

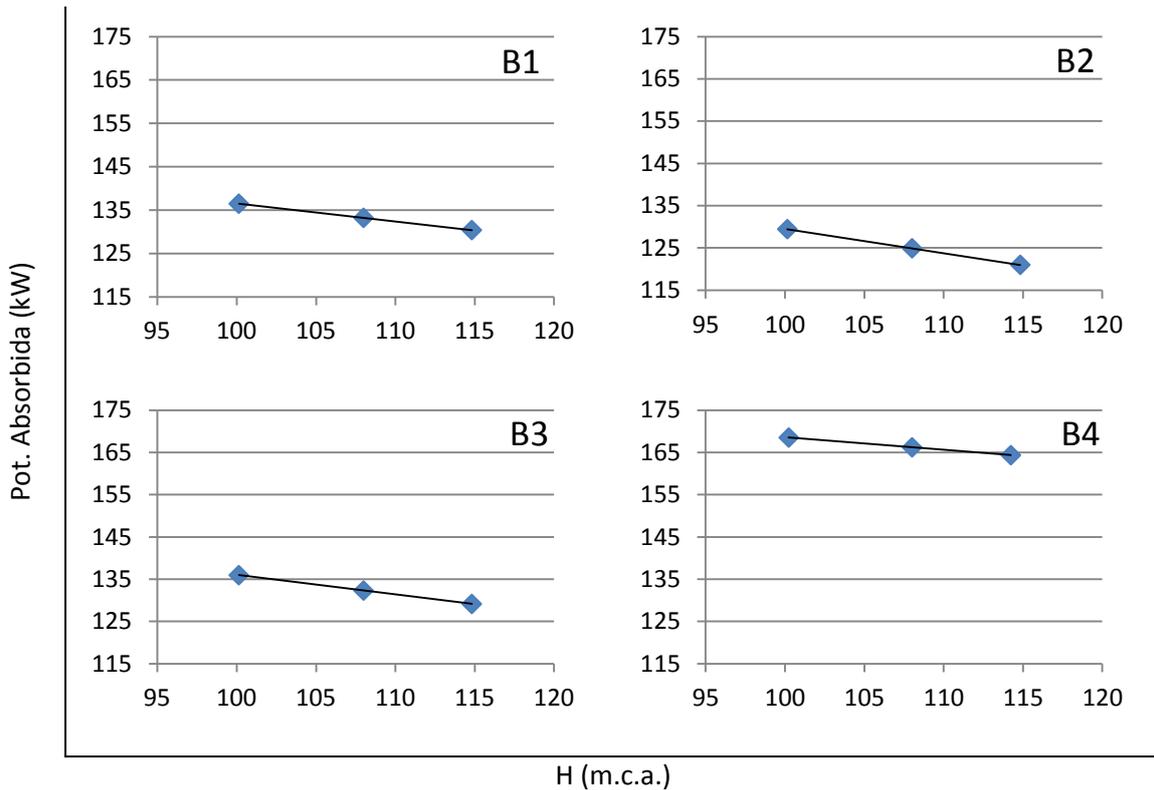


Figura 15: Relación entre presión de bombeo (H) y potencia absorbida de las bombas actuales (elaboración propia)

Hay una diferencia clara de rendimiento entre las bombas 1, 2 y 3 con respecto a la 4. La media de los factores de rendimiento de B1, B2 y B3 es de $1,88 \text{ m}^3/\text{kWh}$, y el de la B4 es de $2,31 \text{ m}^3/\text{kWh}$. Según el gestor del regadío, normalmente se utilizan dos de las bombas antiguas y la bomba más moderna. Por lo tanto, el factor de rendimiento del conjunto del equipo de bombeo es de $2,049 \text{ m}^3/\text{kWh}$.

A través de estos factores, se convierte el término de energía de las facturas disponibles en caudal. La figura 16, representa el caudal según las facturas eléctricas.

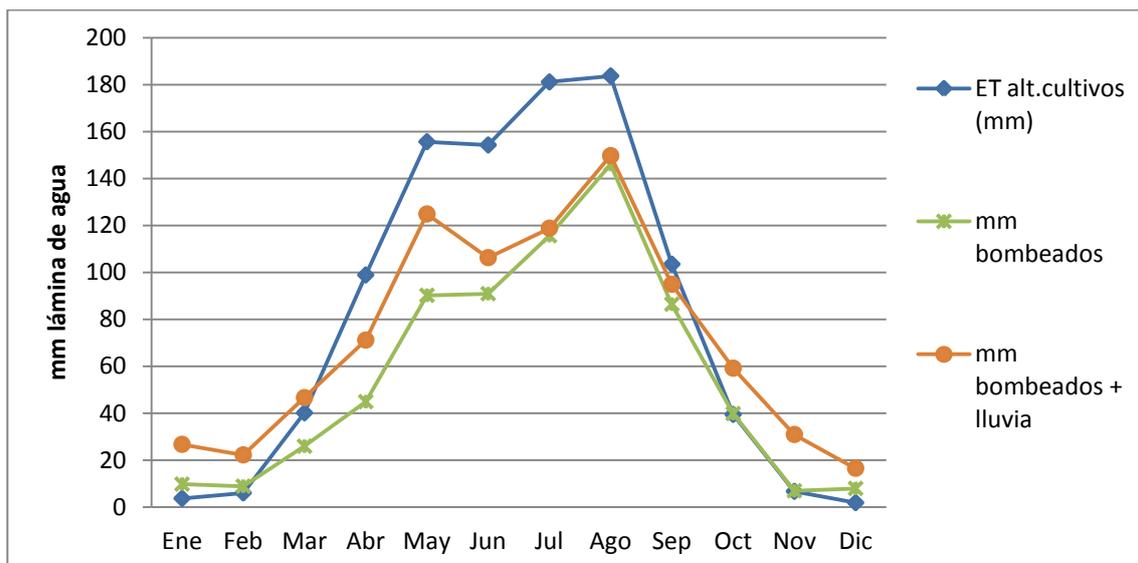


Figura 16: Comparativa de la ET de la alternativa de cultivos con el volumen de agua bombeado en base a las facturas eléctricas (elaboración propia)

Como se puede observar, la curva de la estimación de la ET de la alternativa y la del agua aportada (m^3 bombeados más precipitaciones) tienen una distribución similar. En los meses

centrales del año, la ET supera al agua aportada hasta un máximo de 45,9 mm de diferencia en julio. En realidad, el agua aportada debería de ser igual o superior a la ET debido a posibles fugas o ineficiencias del sistema. No obstante, la ET es una estimación, los años de estudio no coinciden exactamente entre las facturas y los cultivos y se ha aumentado un 10% la ET, lo que provoca las diferencias entre ambas curvas.

4.3.2 Eficiencia energética

Aplicando la ecuación 5 con los factores de rendimiento extraídos de las figuras 14 y 15, se obtienen los rendimientos de las bombas que se muestran en la tabla 9.

Tabla 9: Rendimiento de las bombas actuales del regadío (elaboración propia)

B1	57,72%
B2	49,53%
B3	58,64%
B4	68,03%
Conjunto equipo	60,33%

Se aprecia que las bombas 1 y 3 tienen unos rendimientos similares. Por el contrario, la B2, tiene aproximadamente un 9% menos de rendimiento que las anteriores, estando las tres en condiciones idénticas desde su instalación. No hay información suficiente para justificar esta diferencia, pero puede ser debido a que la B2 se ha utilizado más horas que sus homólogas. La B4 incrementa aproximadamente un 10% su rendimiento con respecto a la B1 y B2 porque lleva menos años de funcionamiento.

Según técnicos de INTIA S.A. con experiencia en regadío, se puede considerar que el rendimiento de una bomba es malo cuando es inferior al 70%, por lo que los rendimientos de las tres primeras están claramente por debajo del umbral y sería totalmente recomendable sustituirlas por nuevos modelos. La B4 tiene un rendimiento ligeramente cercano al umbral, por lo que se podría plantear su sustitución. Se estima que la B4 podría alargar su vida útil 5 años más con un rendimiento aceptable.

Finalmente, se decide sustituir las 4 bombas por nuevos modelos. El rendimiento de las tres primeras bombas justifica la inversión económica y la B4 se decide reemplazar por mal rendimiento a medio plazo y practicidad de ejecución.

Se ha elegido la bomba VG-142/6 del catálogo de bombas IDEAL unida a un motor SIEMENS IE3. El grupo motor-bomba se ha adaptado al proyecto de Valdetellas para optimizar el caudal y la presión de bombeo. Las características técnicas de la bomba y del motor y las curvas de la bomba se muestran en el anejo 2. El caudal nominal del modelo a 108 m.c.a. de presión es de 92 l/s con un rendimiento hidráulico del 82% en dichas condiciones. Ese rendimiento implica que bombea 2,785 m³/kWh.

En base a las necesidades hídricas, el sistema funcionaría hidráulicamente regando 12 horas al día y 7 días a la semana con 4 bombas de 80 l/s de caudal. No obstante, al ser un sistema pionero y destinado en parte para investigación y pruebas, se mantendrían las bombas de 92 l/s para poder realizar ensayos con únicamente con 3 bombas o ver el comportamiento del sistema con diferentes caudales. Además, sobredimensionando el caudal se contrarrestan las pérdidas de rendimiento de los primeros años sin poner en riesgo la funcionalidad del sistema.

Con una variación de 12 l/s es muy probable que el modelo de bomba óptima sea el mismo para ambos caudales, y solamente se cambie el modelo de rodete de la bomba. Por esta razón,

se considera que en el aspecto económico no supondría una gran diferencia instalar bombas de 92 l/s.

4.4 Escenarios de estudio

4.4.1 Regadío con balsa

Balance anual de la balsa

Las figuras 17 a 22 representan el balance anual de la balsa en los tres escenarios planteados en el estudio. Para evaluar la sensibilidad de los escenarios, dentro de cada escenario se representó el comportamiento con caudales de 92 l/s por bomba y con caudales de 75 l/s por bomba.

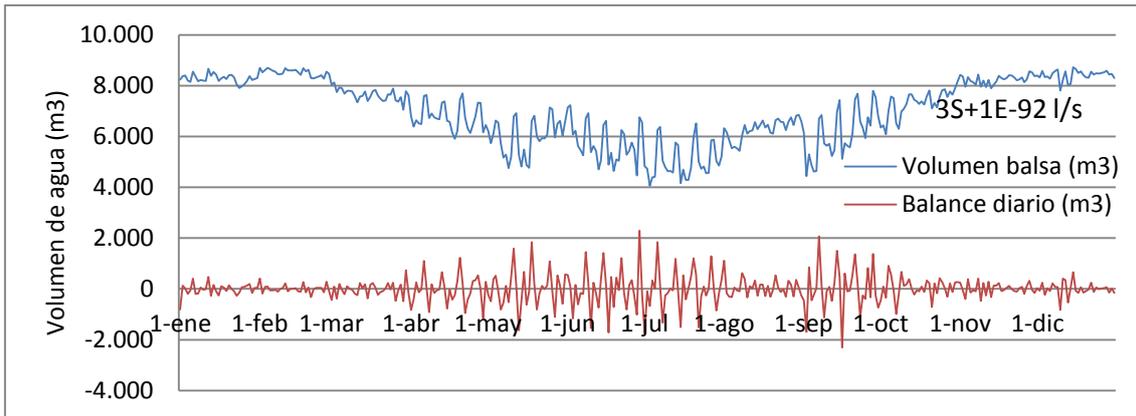


Figura 17: Balance anual de la balsa en el escenario 3S1E con bombas de caudal 92 l/s (elaboración propia)

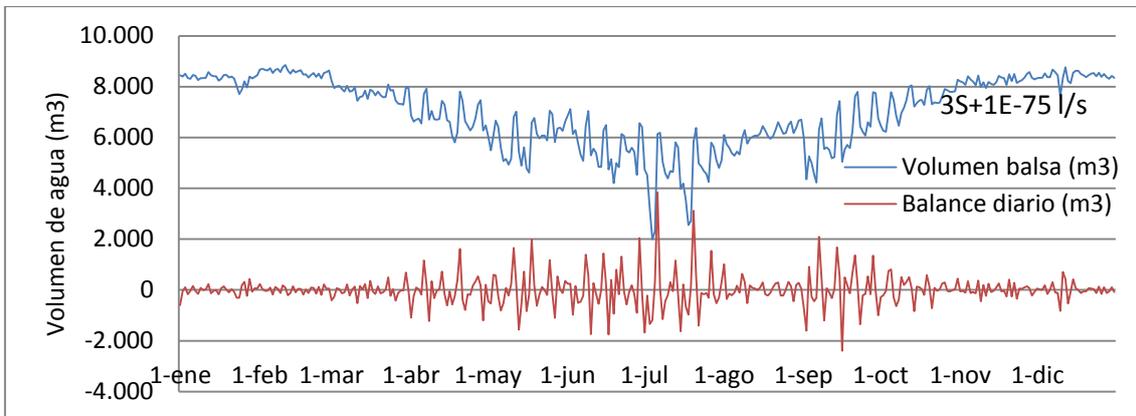


Figura 18: Balance anual de la balsa en el escenario 3S1E con bombas de caudal 75 l/s (elaboración propia)

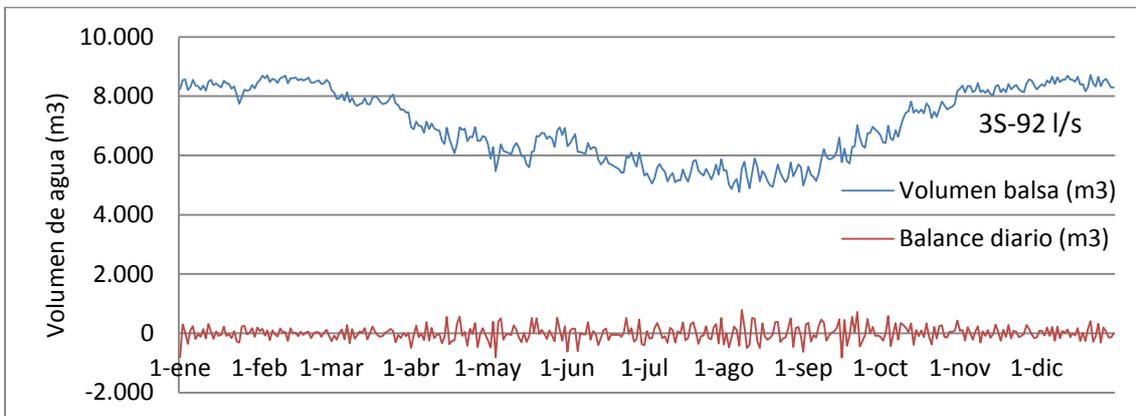


Figura 19: Balance anual de la balsa en el escenario 3S con bombas de caudal 92 l/s (elaboración propia)

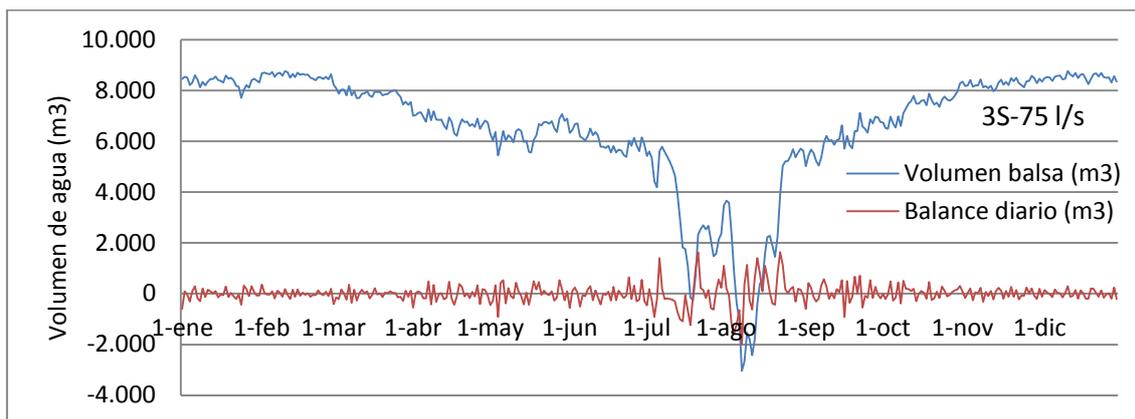


Figura 20: Balance anual de la balsa en el escenario 3S con bombas de caudal 75 l/s (elaboración propia)

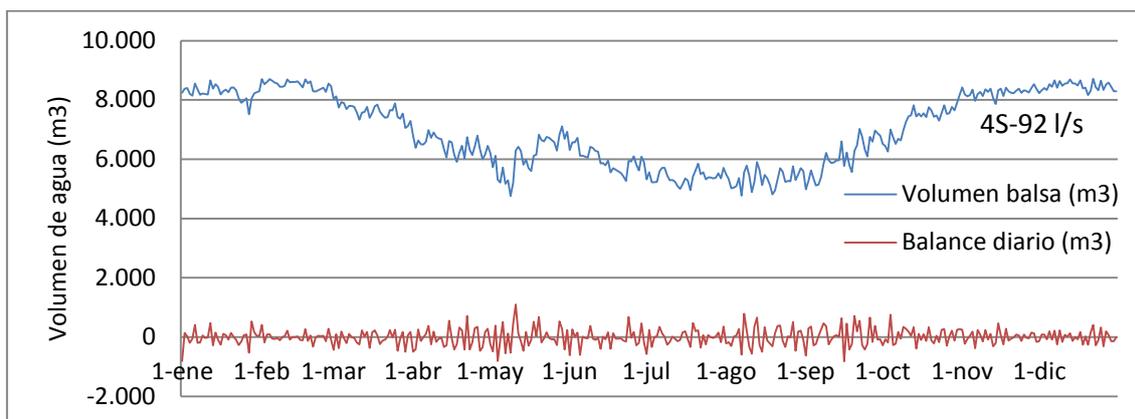


Figura 21: Balance anual de la balsa en el escenario 4S con bombas de caudal 92 l/s (elaboración propia)

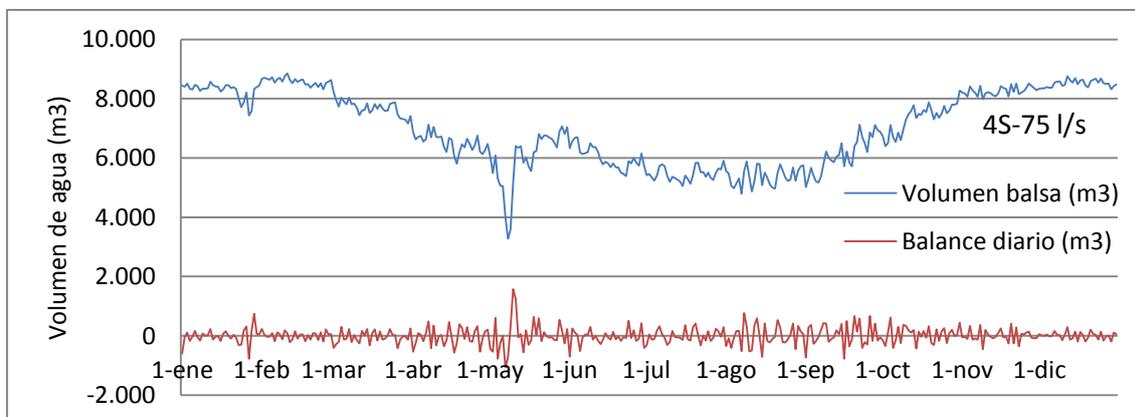


Figura 22: Balance anual de la balsa en el escenario 4S con bombas de caudal 75 l/s (elaboración propia)

El escenario 3S1E se aprecian más picos, tanto con las bombas de 75 como con las de 92 l/s. Esto es debido a las horas extras de bombeo eléctrico que se disponen los fines de semana, en los que el P6 dura todo el día. Los picos en la curva relevan que la balsa iría bajando el nivel los días laborables y los fines de semana se recuperaría. En el 3S1E el sistema aguantaría con las bombas de 75 l/s, aunque las diferencias entre periodos de P6 y el resto de horas se agravarían. En ambos casos, durante el mes de agosto la tendencia es más estable porque no hay limitación horaria de la bomba conectada a red.

El escenario 3S es sin duda el más desfavorable de los tres desde un punto de vista hidráulico debido a que cuenta con una bomba menos. A pesar de ello, con los equipos de 92 l/s el nivel de la balsa se mantendría estable durante todo el año gracias al sobredimensionamiento de las

bombas. Por el contrario, con los equipos de 75 l/s la demanda es muy superior a los aportes en los meses de julio y agosto y el volumen de la balsa no sería suficiente.

El escenario 4S parece el modelo más estable, especialmente en los meses de verano, cuando las horas útiles de sol son superan a las horas de P6. Sin embargo, al no tener un apoyo eléctrico, en el mes de mayo sí que se nota que el nivel de la balsa decrece. En este mes la energía solar es menor y la ET ya es más alta que en invierno, por lo que si hay una serie días consecutivos de con nubes, es posible que el sistema se debilite. Se aprecia especialmente en el escenario con 75 l/s de caudal de bombas.

Comportamiento diario de la balsa

La figura 23 muestra el comportamiento de la balsa en los diferentes escenarios para la temporada de junio a agosto. En el escenario 3S1E se divide en junio y julio y agosto, porque cambian las condiciones de P6. Se ha realizado el estudio para un caudal de bomba de 92 l/s.

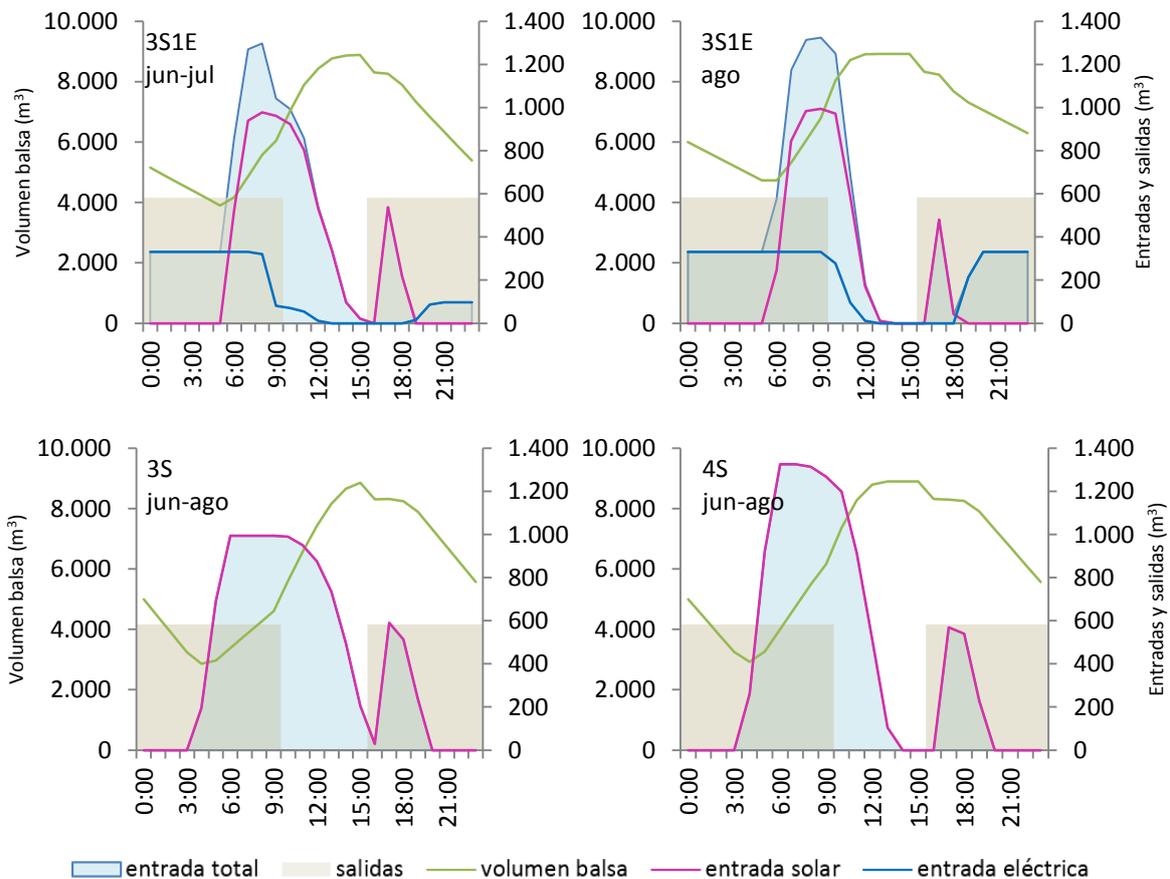


Figura 23: Comparativa de los balances diarios de la balsa en los meses de junio a agosto y en los escenarios 3S1E, 3S y 4S (elaboración propia)

En todos los escenarios, la balsa sigue un patrón similar en los meses de verano. Durante la noche se vacía hasta un 30-50% de su capacidad y por la mañana se vuelve a llenar. En las horas centrales del día, cuando el riego se corta (de 10 a 16h), la balsa está llena y no se puede bombear más agua, por lo que las bombas se paran. Al retomar el riego a las 16h, vuelve a haber una demanda de agua y las bombas vuelven a funcionar. En el caso de las bombas solares se aprovechan las últimas horas de luz y la bomba eléctrica sigue en funcionamiento toda la noche. En la alternativa 3S1E el vaciado durante la noche es más suave, ya que la bomba eléctrica está accionada en P6. Por esa razón, el nivel de la balsa apenas baja de los 4.000 m³ mientras que sólo con las bombas solares la balsa alcanza un nivel mínimo de 3.000 m³.

En los escenarios 3S y 4S el modelo de funcionamiento de la balsa es prácticamente idéntico. La principal diferencia es que el 3S cuenta con menos caudal, por lo que le cuesta algo más llenarse a la balsa y cuando se consigue alcanzar el nivel máximo se abre de nuevo el tiempo de riego por la tarde. Esto provoca que las bombas del escenario 3S estén paradas menos tiempo en las horas centrales del día, pero los niveles de la balsa son similares. El total de los m³ bombeados en el modelo 3S y 4S son los mismos en todo el año. Como los datos de ET son idénticos, los equipos bombean el mismo volumen de agua siempre y cuando haya horas de energía disponible.

A priori, se podría decir que la eficiencia en el modelo 3S es mayor que en el 4S, ya que se consiguen resultados similares con una bomba menos y la diferencia económica que eso conlleva. No obstante, como ya se ha comprobado en la figura 20, frente a pérdidas de rendimiento en los años posteriores o escenarios accidentales como averías, el escenario 4S presenta una mayor estabilidad y garantiza más seguridad para el sistema.

En caso de que no se cortara el riego de 10:00 a 16:00h, por ejemplo, si se aumentara la superficie de riego por goteo, la demanda de agua continuaría durante estas horas y la balsa tardaría más en llenarse o no se llenaría por completo. Por esa razón, las bombas solares no se pararían cuando la balsa está llena y se aprovecharían más horas de energía solar. Otra consecuencia de este cambio de planteamiento sería que el volumen de agua de riego se distribuiría en más horas y por lo tanto resultaría en un caudal menor. El modelo 3S en ese caso podría ser más apropiado que el 4S porque con cuatro bombas el sistema podría estar excesivamente sobredimensionado.

4.4.2 Regadío sin balsa

Volumen de agua utilizable

La tabla 10 muestra las superficies para cada unidad cartográfica de suelos, el volumen de agua utilizable por hectárea y en total.

Tabla 10: VAU en la superficie regable de Valdetellas de acuerdo con las unidades cartográficas del suelo (elaboración propia)

Unidad cartográfica de suelo	Superficie (ha)	Superficie ponderada (ha)	VAU (m ³ /ha)	VAU (m ³)
1	135,53	132,28	394,76	52.216,92
2	87,89	85,78	323,43	27.743,15
3	0,44	0,43	609,00	261,52
4	8,76	8,55	418,28	3.576,09
5	15,40	15,03	385,46	5.793,48
6	0,98	0,96	527,20	504,25
SUMA	249,00	243,02	-	90.095,41

Como se puede apreciar, la suma de la superficie de las unidades de suelo es superior a la superficie de regadío (243,02 ha). Esto se debe a que se ha tenido en cuenta toda la superficie dentro del contorno del regadío, incluyendo caminos, lindes de las parcelas no cultivados, etc. Por esa razón, se ha reducido en un 2,4% la superficie de cada una de las unidades, asumiendo que todas las unidades cartográficas pierden la misma proporción de superficie.

La máxima cantidad de agua disponible para las plantas en la superficie total de riego es de 90.095,41 m³, lo que de media suponen 370,77 m³/ha. Este valor se considera alto con respecto a otros suelos, lo que supone que el suelo tiene mucha capacidad de amortiguación

frente a las posibles fluctuaciones en el suministro de agua. Más del 88% del agua almacenada en el suelo reside en las unidades cartográficas 1 y 2.

Estudio de viento

Los resultados del análisis del viento en la estación climática de Valdetellas, se muestran en la figura 24.

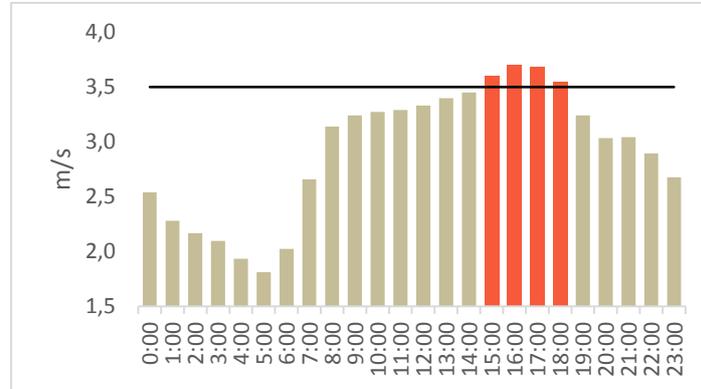


Figura 24: Velocidad media horaria del viento en la estación meteorológica de Valdetellas en los meses de junio, julio y agosto (elaboración propia)

Hay 4 horas al día, de 15:00 a 19:00h, en las que el viento supera los 3,5 m/s. En esas horas no sería recomendable regar porque la eficiencia del riego por aspersión disminuye. En un sistema de riego por goteo el viento no sería un impedimento para regar en estas 4 horas.

Presión de bombeo

La presión aguas arriba del hidrante es de 50 m.c.a.

El caudal máximo que transportaría la tubería de impulsión es la suma de las 4 bombas de 92,2 l/s, es decir $0,368 \text{ m}^3/\text{s}$. Si el diámetro interior de la tubería fuera de 0,6 m, la sección sería de $0,28 \text{ m}^2$. Por lo tanto, la velocidad máxima del agua (U) sería de 1,31 m/s.

El R_e para esa velocidad y diámetro y suponiendo que el agua estuviera a 20°C sería de $0,78 \cdot 10^6$. La rugosidad relativa (ϵ/D) para una tubería del material descrito en métodos y 0,6 m es de $4,17 \cdot 10^{-3}$. Con esos valores, el diagrama de Moody indica un $f=0,029$. Este factor se dentro de lo habitual, según Coutinho de Lencastre, A., Robles García, C. (1998).

El trazado de la tubería sería el indicado en la figura 25 y mediría 2.158 m de longitud en planta.



Figura 25: Esquema del trazado de la tubería de impulsión en el escenario sin balsa (elaboración propia)

Por lo tanto, las pérdidas de carga en la tubería de impulsión son de:

$$h_{impulsión} = 0,029 \cdot \frac{2.158}{0,6} \cdot \frac{1,31^2}{2 \cdot 9,81} = 9,12 \text{ mca}$$

Según los planos originales de instalación de las bombas, la estación de bombeo está en cota 257,00 m y la altura hasta el eje de salida de la bomba es de 0,21 m. Por lo tanto, la cota de la estación de bombeo se considera 257,21 m. Por otra parte, el hidrante más alto el H-7, situado a 292,66 m de cota. La diferencia de cota entre ambos puntos es de:

$$\Delta cota = 292,66 - 257,21 = 35,45 \text{ mca}$$

Las pérdidas de carga en el tramo de la red de distribución que conecta la tubería de impulsión con el H-7 son de 7,72 m.c.a., tal y como indican los cálculos hidráulicos del proyecto original. Con el 10% estimado de pérdida por el desgaste del material de las tuberías y las pérdidas de carga localizadas, las pérdidas de carga en el tramo de la red de distribución son de 8,49 m.c.a. El 10% añadido

Por lo tanto, la presión de bombeo en el escenario sin balsa es de:

$$H = 50 + 35,45 + 9,12 + 8,49 + 10 = 113,06 \text{ mca}$$

Como se puede observar, el valor de presión en el escenario sin balsa es 5,02 m.c.a. superior a los 108 m.c.a. fijados en el proyecto original. Se considera que este valor no es significativo, ya que la diferencia podría ser una modificación del cálculo de las pérdidas de carga lineales en la tubería de impulsión o una estimación errónea en las pérdidas de carga del hidrante o de la estación de bombeo. Por lo tanto, se podría decir que los equipos de impulsión tendrían que trabajar a la misma presión de consigna que en los escenarios con balsa.

Balance diario

En la tabla 11 se muestran las horas máximas disponibles para bombeo sin balsa en los meses de junio, julio y agosto para cada escenario.

Tabla 11: Nº de horas disponibles para bombeo sin balsa en los escenarios 3S1E, 3S y 4S

	3S1E	3S	4S
Horas	3.830	2.506	3.287

El escenario en el que más horas hay disponibles es el 3S1E porque la bomba eléctrica cuenta con todas las horas de P6, por lo que en agosto una cuarta parte del bombeo funcionaría ininterrumpidamente. Con 3 bombas solares, el número de horas es claramente menor que en los otros dos escenarios.

En la figura 26 se representa el balance diario entre el volumen máximo disponible de acuerdo con las horas de riego y la ET.

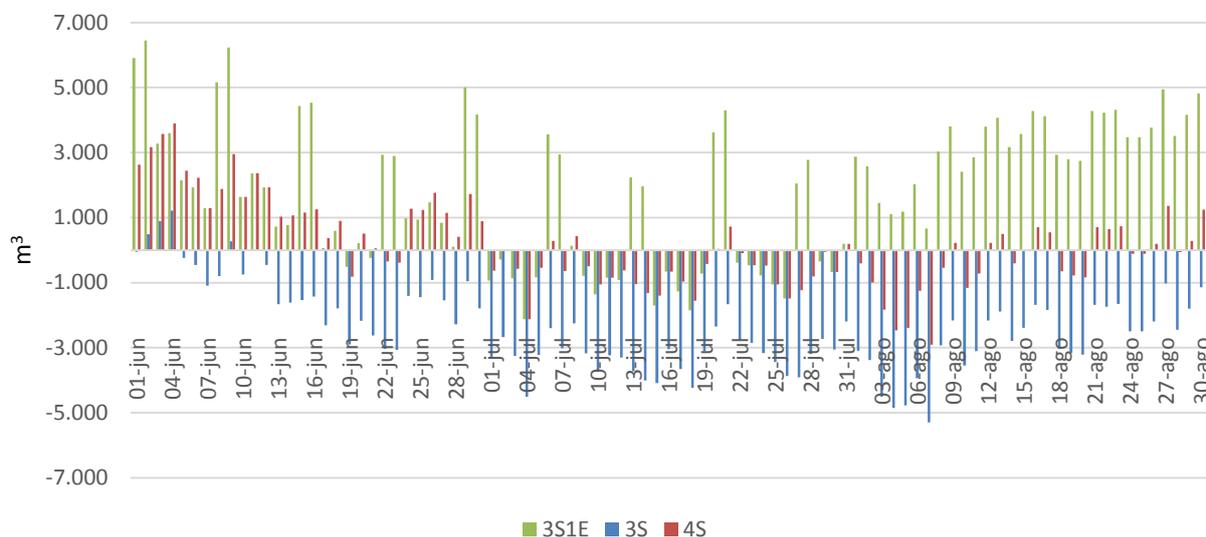


Figura 26: Balance diario en los meses de junio a agosto para la alternativa sin balsa

El mes más crítico es agosto, en el que los escenarios con solo bombas solares tienen grandes pérdidas con respecto a la ET. En el conjunto de los 3 meses, el escenario 3S agotaría el VAU del suelo con un déficit total de -218.459 m^3 con respecto a la ET. El escenario 4S se ajustaría a la ET, bombeando un 1,5% por encima de las necesidades hídricas. Por último, el 3S1E sería la opción más holgada y bombearía como máximo un 18,3% más que el volumen de ET.

Riego por turnos

Los turnos de riego se calcularon para 4 bombas, ya que la opción del regadío con 3 bombas se comprobó que no era viable.

El caudal de dotación en el hidrante fijada por el proyecto original es de 10 l/s ($36 \text{ m}^3/\text{h}$). El número de turnos necesarios es:

$$\frac{36 \cdot 97}{331,2 \cdot 4 \cdot 0,9} = 2,92$$

Es decir, que sería necesario organizar a los regantes en 3 turnos para que el sistema funcionara con 4 bombas del modelo establecido.

Comportamiento en parcela

De acuerdo con el marco de riego y con el modelo de aspersor instalados en Valdetellas, la pluviometría en el regadío suponiendo que todos los aspersores fueran circulares sería de $6,6 \text{ l/m}^2\cdot\text{h}$. Reduciendo el 10% relacionado con los aspersores sectoriales se fijó una pluviometría de $6 \text{ l/m}^2\cdot\text{h}$.

La UR media necesitaría un caudal de $43,33 \text{ l/s}$, lo que equivale a 5 sectores de riego para no sobrepasar la dotación del hidrante.

El cultivo más demandante es el tomate en julio, con una ET de $39,4 \text{ l/m}^2$.

Con una pluviometría de $6 \text{ l/m}^2 \cdot \text{h}$ y $243,02 \text{ ha}$ y 5 sectores por unidad de riego, si estuvieran regando todas las parcelas al mismo tiempo se generaría una demanda de $2.916 \text{ m}^3/\text{h}$. Con las 4 bombas funcionando a pleno rendimiento, harían falta 2,2 turnos de riego, que de manera más práctica serían 3 turnos. Si funcionaran solo 3 bombas, serían necesarios 2,9 turnos de riego, que también serían 3 turnos en la práctica. Por lo tanto, con cuatro bombas habría tres turnos de riego con un caudal máximo de $1.324,8 \text{ m}^3/\text{h}$ y con tres bombas habría tres turnos de riego con un caudal máximo de $993,6 \text{ m}^3/\text{h}$.

La máxima demanda horaria de agua se obtiene en el día 7 de agosto, con una demanda de $1.026,20 \text{ m}^3/\text{h}$. Con el escenario sin balsa y 4 bombas solares, se podría suplir esta demanda, mientras que con 3 bombas de 92 l/s no sería suficiente. Aplicando una hora de riego por sector, el sistema sería viable hidráulicamente con 5 riegos al mes.

Caracterización del riego

El cultivo con mayor ET en el mes punta (julio) es el tomate, con $39,4 \text{ mm}$ acumulados en todo el mes. Con 1 hora de riego por sector, el sistema sería sostenible con un periodo entre riegos de 6 días y la unidad de riego tardaría 5 horas en regar todos los sectores.

Esto implica que en un escenario con 3 turnos de riego, es decir que se los agricultores podrían regar uno de cada tres días, y con una ventana en verano de 10 horas de luz solar para el riego, los escenarios sin balsa podrían dar un riego de calidad a la parcela más exigente. Por lo tanto, todos los demás cultivos se podrían regar con un sistema sin balsa y estas condiciones.

4.5 Valoración de los escenarios

4.5.1 Regadío con balsa

Inversión inicial

La estimación de la inversión inicial se indica a continuación:

- Generador FV:
 - o Escenario 3S1E y 3S: $525.000 W_p \cdot 0,8 \text{ €/}W_p = 420.800 \text{ €}$
 - o Escenario 4S: $621.000 W_p \cdot 0,8 \text{ €/}W_p = 496.800 \text{ €}$
- Conductores y equipamiento eléctrico: 100.000 € en 4S y 80.000 € en 3S1E y en 3S.
- Equipos de bombeo:
 - o Escenarios 3S1E y 4S: $4 \cdot 31.242,5 + 7.102,88 = 132.072,88 \text{ €}$
 - o Escenario 3S: $3 \cdot 31.242,5 + 7.102,88 = 100.830,38 \text{ €}$
- Explanación previa:
 - o Escenarios 3S1E y 3S: $11.600 \text{ m}^2 \cdot 0,4 \text{ m (espesor)} = 4.640 \text{ m}^3$
 $4.640 \text{ m}^3 \cdot 2,23 \text{ €/m}^3 = 10.347,20 \text{ €}$.
 - o Escenario 4S: $10.100 \text{ m}^2 \cdot 0,4 \text{ m (espesor)} = 4.040 \text{ m}^3$
 $4.040 \text{ m}^3 \cdot 2,23 \text{ €/m}^3 = 9.009,20 \text{ €}$.

La inversión inicial es de:

- Escenario 3S1E: $643.220,08 \text{ €}$
- Escenario 3S: $611.977,58 \text{ €}$
- Escenario 4S: $737.882,08 \text{ €}$

Energía ahorrada

En el escenario 3S1E, el ahorro de energía del año uno se estima en 70.000 € .

La bomba conectada a red tiene una potencia absorbida de 140 kW a régimen nominal, por lo que el TP en este escenario será de 150 kW en P6, es decir, que tendrán un coste de 11.772 € en el año 1. Según el balance de la balsa, la bomba eléctrica está funcionando 2.318 h al año todas en P6, por lo que el TE es de $693,49 \text{ €}$ en el año uno.

Con estos valores, el cálculo del periodo de retorno de los tres escenarios se muestra en las tablas 12 a 15.

Tabla 12: Cálculo del periodo de retorno en el escenario con balsa 3S1E (elaboración propia)

3S1E					
Año	Inversión	Mantenimiento	TP BE	TE BE	Ahorro 3S1E
0	643.220	-	-	-	-
1	595.685	10.000	11.772	693	70.000
2	542.352	10.000	12.949	718	77.000
3	482.639	10.000	14.244	743	84.700
4	415.907	10.000	15.669	769	93.170
5	341.451	10.000	17.235	796	102.487
6	258.498	10.000	18.959	824	112.736
7	166.196	10.000	20.855	852	124.009
8	63.608	10.000	22.940	882	136.410
9	-50.295	10.000	25.234	913	150.051
10	-176.649	10.000	27.758	945	165.056

Tabla 13: Cálculo del periodo de retorno en el escenario con balsa 3S (elaboración propia)

3S			
Año	Inversión	Mantenimiento	Ahorro 3S
0	611.977	-	-
1	516.977	10.000	105.000
2	411.477	10.000	115.500
3	294.427	10.000	127.050
4	164.672	10.000	139.755
5	20.941	10.000	153.731
6	-138.162	10.000	169.104
7	-314.176	10.000	186.014
8	-508.791	10.000	204.615
9	-723.868	10.000	225.077
10	-961.453	10.000	247.585

Tabla 14: Cálculo del periodo de retorno en el escenario con balsa 4S (elaboración propia)

4S			
Año	Inversión	Mantenimiento	Ahorro 4S
0	737.882	-	-
1	642.882	10.000	105.000
2	537.382	10.000	115.500
3	420.332	10.000	127.050
4	290.577	10.000	139.755
5	146.847	10.000	153.731
6	-12.257	10.000	169.104
7	-188.271	10.000	186.014
8	-382.886	10.000	204.615
9	-597.963	10.000	225.077
10	-835.548	10.000	247.585

Tabla 15: Resumen del periodo de retorno y TIR en los escenarios con balsa (elaboración propia)

	TIR año 9	TIR año 6	Año amortización
3S1E	1,28%	-12,11%	9
3S	16,28%	5,62%	6
4S	11,84%	0,44%	6

Desde un punto de vista económico, los tres escenarios son viables para invertir. El escenario que conseguiría devolver la inversión en menos tiempo es el 3S, con un periodo de amortización de 6 años y una TIR de 16,28% en el año 9. El escenario 4S tiene un periodo de retorno similar, con una TIR de 11,84% en el año 9. El escenario 3S1E amortizaría la inversión en 9 años porque no se ahorraría el total del coste eléctrico y tendría que seguir alimentando la bomba eléctrica con energía de red, a pesar de tener una inversión inicial similar a la de los otros dos escenarios.

4.5.2 Regadío sin balsa

Coste de la balsa

En la figura 27 se muestran los precios por m³ de las dos balsas similares a la de Valdetellas proyectadas en 2018, una de 6.000 m³ y otra de 15.000 m³. De esos valores se ha extrapolado el precio para una balsa de la capacidad de la de Valdetellas.

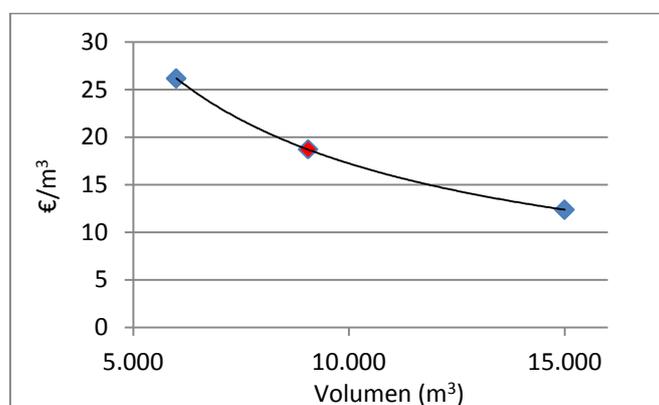


Figura 27: Relación entre el volumen de la balsa y el coste unitario por metro cúbico de capacidad útil (elaboración propia)

Según esta relación, la balsa de acumulación de Valdetellas, tendría un coste de 169.377 € actualmente.

En el proyecto original, la balsa tuvo un precio de ejecución material de 11.983.005,68 ptas y el total del proyecto de 160.645.754,51 ptas. Es decir, que supuso el 7,45% del precio de ejecución material del proyecto.

Coste inversión inicial sin balsa

Si se quisiera regar con riego a la demanda sin balsa de acumulación y suponiendo que pueden estar abiertos el 80% de los hidrantes, harían falta 9 bombas de 92 l/s de caudal u 6 bombas de 130 l/s.

La inversión económica de 11 equipos bomba-motor nuevos iguales a los que se han seleccionado para la alternativa con balsa sería de 248.000€ aproximadamente. Una bomba de 130 l/s tendría un precio aproximado de 43.000€, lo que supondría 258.000€ solamente en equipos de bombeo.

Además de eso, habría que añadirle a la inversión el coste de aumentar al doble la superficie de parque fotovoltaico y el coste de la tubería de impulsión. Para poder transportar ese caudal con una velocidad de 1,5 m/s, la tubería tendría que ser de $\varnothing 1.000$ y ser fabricada en hormigón.

A pesar de que en la opción con balsa se tendría que descontar el coste de las tuberías de impulsión y suministro, comparando ambas opciones, se deduce que el coste de la balsa es muy inferior que la inversión que supondría adaptar el sistema para regar a la demanda sin balsa.

5. Conclusiones

El emplazamiento del regadío de Valdetellas resulta muy favorable para la implementación de un generador FV que alimente los equipos de bombeo.

En un escenario con balsa de acumulación en Valdetellas, la opción más favorable sería reemplazar las bombas actuales por otros equipos nuevos y alimentar los 4 equipos con energía fotovoltaica (escenario 4S). Con esta alternativa, la inversión inicial es mayor que si solo se contaran con 3 bombas solares, pero aumenta la seguridad del sistema en momentos de máxima demanda o ante caídas en el rendimiento de los equipos de bombeo. El escenario con 3 bombas solares y 1 eléctrica (3S1E) no se considera que aporte más estabilidad al sistema con respecto al el 4S y el periodo de amortización de la inversión es 3 años más alto.

En un escenario sin balsa, el sobrecoste que tendría garantizar un riego a la demanda sería excesivo, por lo que se considera más viable dividir la superficie en turnos de riego. Para el regadío de Valdetellas, serían necesarios tres turnos para que fuera sostenible hidráulicamente con 4 bombas de 92 l/s.

En un escenario sin balsa, un sistema únicamente con 3 bombas solares no bastaría para cubrir la ET en los meses de máxima demanda y agotaría la reserva de agua del suelo, por lo que se descartaría. Entre los escenarios 4S y 3S1E, ambos funcionarían hidráulicamente, pero se considera que el apoyo de la bomba eléctrica le aporta fiabilidad al sistema y lo blindo frente a caídas de rendimiento. En el caso de Valdetellas, el escenario más apropiado para riego sin balsa sería con 3 bombas solares y una eléctrica y dividiendo la red en tres turnos de riego.

6. Bibliografía

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M. (2006). *Estudio de riegos y drenajes-Evapotranspiración del cultivo*. Roma: FAO.
- Hammad, B., Al-Sardeah, A., Al-Abed, M., Nijmeh, S., Al-Ghandoor, A. (2017). Performance and economic comparison of fixed and tracking photovoltaic systems in Jordan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 80, 827-839.
- Carrillo Cobo, M.T., Camacho Poyato, E., Rodríguez Díaz, J. A., Berbel, J., Montesinos, P. (2014). Innovación en el regadío con energías renovables. En *XIII Congreso nacional de comunidades de regantes de España (Palos de la frontera del 12 al 16 de mayo de 2014)*
- Coutinho de Lencastre, A., Robles García, C. (1998). *Manual de Ingeniería Hidráulica*. Pamplona: Universidad Pública de Navarra.
- E. P. (4 de agosto de 2018). Alfaró instala el primer riego fotovoltaico en una comunidad de regantes. *La Rioja*. Recuperado de: <https://www.larioja.com/comarcas/alfaro/alfaro-instala-primer-20180803000506-ntvo.html>
- España. Ministerio de Industria, Energía y Turismo (2015). *Real Decreto 900/2015, de 9 de octubre, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y de producción con autoconsumo*. Madrid: BOE
- España. Ministerio de industria, energía y turismo. (2014). *Orden IET/2444/2014, de 19 de diciembre, por la que se determinan los peajes de acceso de energía eléctrica para 2015*. Madrid: BOE.
- España. Ministerio de interior. (2001). *Real Decreto 1164/2001, de 26 de octubre, por el que se establecen las tarifas de acceso a las redes de transporte y distribución de energía eléctrica*. Madrid: BOE
- European Commission. (2017). Overview of PVGIS data sources and calculation methods. Rescatado de: http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_static/methods.html
- Fiteni Rodríguez, F. (1985). *Proyecto de transformación de secano en regadío en la zona de Valdetellas (Tudela-Navarra)*. Zaragoza: Ministerio de obras públicas y urbanismo-Confederación Hidrográfica del Ebro.
- García Vera, M. A., Martínez Cob, A., Coch Flotats, A. (2005). Revisión de las necesidades hídricas netas de los cultivos de la cuenca del Ebro. Zaragoza: Ministerio de medio ambiente.
- Gestión sostenible de regadíos (2018). En *Ministerio de agricultura, pesca y alimentación*. Recuperado de: <https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/gestion-sostenible-regadios/>
- Gobierno de Navarra (2018) En *Estudio climático de Navarra*. Recuperado de: <http://estudioclimatico.navarra.es/>
- Hartung, H., Pluschke, L. (2018). *The benefits and risks of solar-powered irrigation – a global view*. Roma: FAO.
- Instituto navarro del suelo. (1982). *Estudio detallado de suelos de la zona regable de: Valdetellas*.
- INTIA S.A. (2016). *Encuestas a comunidades de regantes de Navarra, Ayuntamiento de Tudela*.
- Martínez, A. (2018). Energías renovables en el sector agrario: el coste de la tecnología suma, el BOE resta. *Agricultura* (1020), 6-10.
- Martínez, V. (20 de octubre de 2015). El precio de la luz sube en España el doble que en el resto de la UE. *El Mundo*. Recuperado de: <https://www.elmundo.es/economia/2015/10/20/5626187fca474195608b45c7.html>

- MASLOWATEN. (2018). Sistemas de riego fotovoltaico de alta potencia. Recuperado de: <https://maslowaten.eu>
- Meteorología y climatología de Navarra (2018) Gobierno de Navarra. Recuperado de: <http://meteo.navarra.es/>
- Ministerio para la transición ecológica. (2018). En *Controlas tu energía*. Recuperado de: <http://www.controlastuenergia.gob.es/factura-electrica/factura/Paginas/conceptos-factura.aspx>
- OMIE (2019). *OMIE*. Recuperado de: <http://www.omie.es/inicio/mercados-y-productos/conoces-nuestro-mercado-de-electricidad>
- Q Cells. (2019). *Q.PLUS L-G4.2*. Recuperado de: https://www.q-cells.com/au/main/products/solar_modules/utility/utility02.html
- Ranz Garrido, J. R. (2015). *Proyecto de colector de Valdetellas en Tudela (Navarra)*. Tudela: Cintec S.L.
- Riegos de Navarra S.A. (1996). *Estudio de caracterización del regadío de Valdetellas del ayuntamiento de Tudela*.
- Riegos de Navarra S.A. (1990). *Proyecto de liquidación del proyecto de transformación en regadío de Valdetellas en Tudela*. Pamplona: Riegos de Navarra S.A.
- Sánchez San Román, F. J. (2006). *Evapotranspiración*. Dpto. Geología Universidad de Salamanca. Recuperado de: http://meteo.fisica.edu.uy/Materias/climatologia/peactico_climatologia_2010/P-3/
- Servicio de Oferta Agroindustrial-SOA (2018). En INTIA S.A. Recuperado de: <https://www.intiasa.es/0AppAgroindustrial/?request=zonas&zona=vald>
- Soto Sepúlveda, E. (12 de junio de 2019). La promesa de los módulos fotovoltaicos bifaciales. *Phineal*. Recuperado de: <https://www.phineal.com/es/la-promesa-de-los-modulos-fotovoltaicos-bifaciales/>
- Urbano Terrón, P. (2002). *Fitotecnia-Ingeniería de la producción vegetal*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
- Vicente, A. M., Donézar, M., Del Barrio, F., San Roque, M. (2004). *Mapa de cultivos y aprovechamientos de Navarra: Memoria*. Pamplona: Gobierno de Navarra.

ANEJO 1: UNIDADES CARTOGRÁFICAS DEL SUELO

El estudio de suelos de la zona regable de Valdetellas, redactado por el Instituto navarro del suelo (1982). Como se aprecia en la figura A1.1, la zona regable se emplaza en la terraza 8 del Ebro y contiene glaciis más aluviales en la zona de los afluentes. Los materiales subyacentes son gravas, arenas, limos y arcillas.

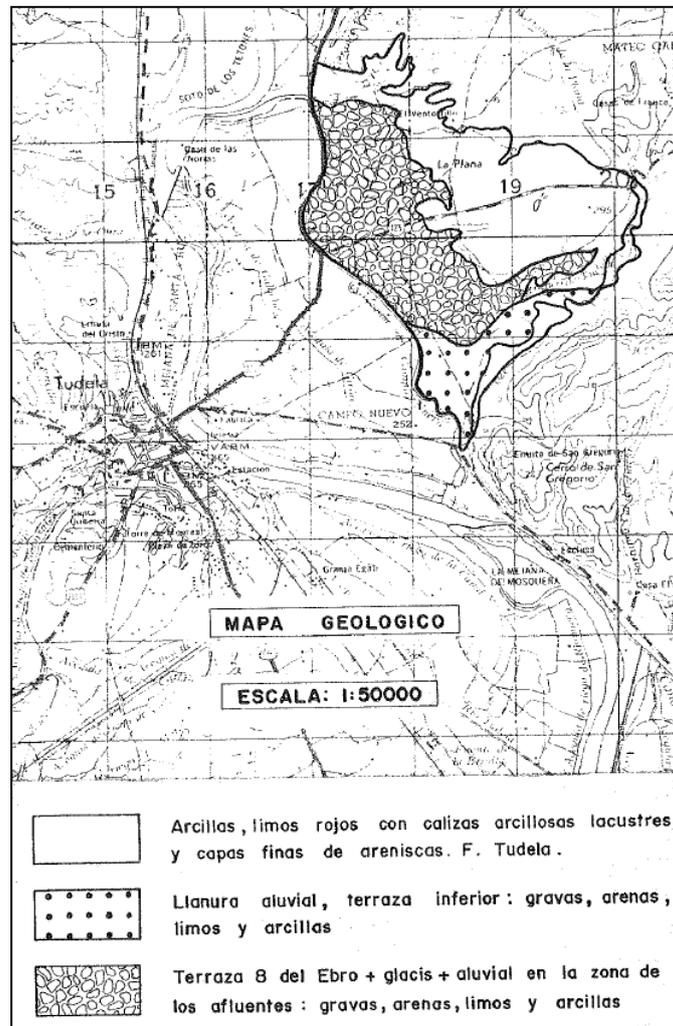


Figura A1.1: Mapa geológico del área regable de Valdetellas

El estudio edafológico se basa en 36 puntos de muestreo distribuidos por toda la superficie. En cada punto se realizó una calicata. Es estudio concluye con 6 unidades cartográficas de suelos.

- Unidad 1: Terrazas medias-bajas del Ebro.
- Unidad 2: Sobre terrazas medias-bajas del Ebro. Pedregosas.
- Unidad 3: Replanos sobre margas y calizas.
- Unidad 4: Laderas de acumulación sobre alternancias de margas y calizas.
- Unidad 5: Laderas de erosión sobre alternancias de margas y calizas.
- Unidad 6: Fondos de vaguadas entre alternancia de margas y calizas.

A continuación, se presenta la información detallada sobre las clases de suelos.

5.2.- UNIDADES DE SUELOS

Hoja N.º 51.....

5.2.1.- UNIDAD 1

Clasificación:

XEROLLIC CALCIORTHID, familia franca fina, caliza.

Resulta importante comentar las diferencias y relaciones con la Unidad 2 (pedregosa). Para ello, los puntos más importantes a consultar son:

- Esta Unidad corresponde a aquellos lugares donde sobre una gravera existe un espesor importante de material fino. Por el contrario, en el caso de la Unidad 2, el porcentaje de gravas es alto hasta la superficie. Evidentemente, existen multitud de casos intermedios que dan lugar a impurezas en ambas Unidades.
- En ambos casos, la presencia del horizonte cálcico es manifiesta.
- De acuerdo con la heterogeneidad de los depósitos de terraza, es frecuente encontrar lentejones bien de gravas, bien de arena. Esto da lugar, en esta Unidad 1, a impurezas de carácter textural, existiendo cierto porcentaje de la familia textural franca gruesa.
- En esta Unidad se ha incluido, también, una franja en la que sobre la terraza se encuentra un cierto espesor (menor de 50 cms.) de material coluvial procedente de las áreas margosas superiores. Son características principales de este área el relieve ligeramente inclinado (hasta el 5 % de pendiente) y la presencia de cantos angulosos en la parte superior del perfil.
- Aun cuando, en general, se puede decir que

la potencia de los depósitos de terraza es grande, digamos mayor de 3 m., en algunos casos esto no sucede y el espesor de los depósitos es muy inferior (éste es el caso de los afloramientos de margas blandas y duras bajo un recubrimiento cuyo espesor - desciende hasta unos 40 cm. y que se puede observar en el corte de la carretera junto al Ventonillo).

- Geomorfología: Terraza media - baja del Ebro.
- Relieve: Presenta un relieve casi plano, con pendientes inferiores al 1 % salvo en la parte superior (con aporte coluvial) que puede llegar al 5 %.
- Salinidad: Libre. CE menor de 2 mmhos/cm.
- Alcalinidad: No.
- Erosión: Hídrica laminar ligera.
- Aptitud regadío: Buena. No presenta limitaciones con respecto al sistema de riego a emplear. Tampoco se presentan limitaciones a los cultivos propios de la zona, a excepción de los sensibles a carbonatos.
- Dedicación actual: Cereal año y vez. Producciones medias de 2.700 - Kg/Ha.
- Observaciones: 212, 213, 214, 215, 219, 222, 226, 228, 229, 231, 234, 236, 237, 243, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 253, 255, 258, 265, 314, 315, 316, 318, 319.
- Superficie: 145,2 Ha.

5.2.2.- UNIDAD 2

- Clasificación:** XEROLLIC CALCIORTHID, familia esquelética, franco caliza.
- En la descripción de la Unidad 1 se han incluido la mayor parte de los comentarios correspondientes a esta Unidad así como la relación que existe entre ambas. Sin embargo, además de lo allí expuesto conviene añadir que la clasificación textural de la matriz del suelo contiene menos arcilla que en la Unidad 1 y estaría incluida entre las franco gruesas. Esto resulta de importancia frente a la futura transformación en riego. También es de destacar que en las zonas cultivadas y en la profundidad explorada por las raíces no encontramos secciones control de carácter fragmental.
- Geomorfología:** Terraza media - baja del Ebro.
- Relieve:** Ligera, de hasta 2-3 %. En parte de la zona presenta un relieve casi plano. También, es frecuente encontrar un relieve ligeramente ondulado.
- Salinidad:** Libre.
- Erosión:** Hídrica laminar moderada.
- Aptitud regadío:** Media. La limitación en la elección del sistema de riego a emplear viene condicionada por la alta pedregosidad, lo que determina una baja capacidad de retención de agua por el suelo.
- Dedicación actual:** Cereal año y vez. Producciones medias próximas a 2.500 Kg/Ha.; Almendro: variedades más frecuentes

Común, Desmayo rojo y Desmayo blanco (Largueta).
Producciones medias de 2.500 Kg/Ha.

Viña: ocupa sólo pequeñas parcelas; en una buena parte de la superficie que ocupaba hace algunos años hoy se plantan cultivos de almendro. Las producciones medias se acercan a los 3.000 Kg/Ha. A menudo la pedregosidad es tan abundante que algunas parcelas están siendo explotadas como graveras.

Observaciones: 204, 205, 206, 207, 208, 217, 218, 220, 224, 225, 227, 230, 232, 233, 244, 252, 254, 256, 257, 260, 262.

Superficie: 91,2 Ha.

5.2.3.- UNIDAD 3
Clasificación:

XERIC TORRIORTHENT, familia franca fina, caliza. Conviene hacer algunos comentarios a esta Unidad Evidentemente, estos replanos están mantenidos - por capas de caliza dura a diferentes profundidades, estando la más superficial a menos de 50 cm. (en algunos casos aparece en superficie y entonces no se cultivan y constituyen afloramientos). Sin embargo, en general, podemos decir que la capa de caliza más superficial está algo alterada y las raíces la atraviesan a través de las fracturas. Esta alteración se ha acentuado con el laboreo. Por supuesto, ésta posible alteración apoyada por el laboreo depende, también, del espesor de la capa de caliza. Si es pequeño este espesor la alteración es mayor. Este es el caso de las áreas cultivadas y ésta es la razón por la que no los hemos clasificado como Lithic. Encontramos en el área en estudio replanos a diferentes niveles que son restos de otros más extensos. Esto hace que frecuentemente se presenten en forma de cerros aislados. En relación con la clasificación textural, estamos en el límite con las texturas arcillosas. Inicialmente la incluimos en las francas finas.

Geomorfología:

Replano alto sobre alternancia de margas y calizas.

Relieve:

Casi plano, en casos ligeramente ondulado debido a la erosión. Pendientes inferiores al 2 %.

Salinidad:

No. CE < 2 mmhos/cm.

Alcalinidad: No.

Erosión: Laminar, hídrica, moderada, acentuándose en los bordes.

Aptitud regadío: Baja, por razones de suelo y de situación geográfica (frecuentemente se presenta en forma de cerros aislados).

Dedicación actual: Cereal año y vez. Producciones de hasta 2.500 - Kg/Ha. siendo estas áreas, por sus condiciones - de suelo, muy sensibles a la falta de agua (en - estos años de sequía se ha llegado a no cosechar)

Observaciones: 242, 270, 280, 288, 289, 290, 295, 299, 300.

Superficie: 36,3 Ha.

5.2.4.- UNIDAD 4

- Clasificación:** XEROLLIC CALCIORTHID, familia franca fina, caliza.
 Una característica importante de esta Unidad es la presencia a profundidad variable de calizas - fracturadas. Es una constante de todas las Unidades sobre margas.
- Geomorfología:** Laderas de acumulación sobre alternancia de margas y calizas.
- Relieve:** Suavemente ondulado. Con pendientes de hasta 3-4 %. Estas condiciones proporcionana un buen drenaje natural.
- Salinidad:** No. CE < 2 mmhos/cm.
- Erosión:** Hídrica, laminar, moderada. En determinados lugares se produce también acumulación.
- Aptitud regadío:** Bastante buena. Si se utilizara riego por gravedad, sería necesario un capaceo cuidadoso debido a la presencia de un horizonte cálcico y de posibles capas duras de caliza.
- Dedicación actual:** Cereal en régimen de año y vez con producciones de hasta 2.700 Kg/Ha. Es un área donde la cosecha está asegurada hasta en años secos.
- Observaciones:** 209, 210, 221, 238, 239, 241, 267, 268, 271, 277, 286, 287, 291, 293, 294, 296, 297, 301, 308, 310, 317.
- Superficie:** 84,3 Ha.

5.2.5.- UNIDAD 5

Clasificación:

XEROLLIC CALCIORTHID, familia franca fina, carbónica.

En esta Unidad se han diferenciado dos fases muy relacionadas con la pendiente, división que está claramente reflejada en el uso actual. En la fase normal, las pendientes permiten un cultivo habitual mientras que en la fase erosionada, la pendiente impide el cultivo y se encuentra, por falta de medidas conservacionistas, profundamente degradada (claramente acaravada).

Texturalmente, la unidad se encuentra en el límite entre las arcillosas y las francas finas. Inicialmente los incluimos en estas últimas.

Una característica de esta Unidad es la presencia a profundidad variables de capas de calizas fracturadas. Esto es fácil de comprender si se imagina el corte de un plano inclinado (la superficie del suelo) con planos más o menos horizontales (que corresponden a las capas de caliza).

Por supuesto, la pendiente de ese plano inclinado es consecuencia del espesor de marga existente entre calizas. Esto da lugar a impurezas dentro de la Unidad.

Otro detalle de interés, muy relacionado con el punto anterior, será el de la pedregosidad superficial. Esta aparece, principalmente, en las áreas situadas inmediatamente por debajo de los afloramientos de caliza.

Fuera de esta Unidad se han considerado los taludes que, por supuesto, representan las condiciones extremas de pendiente.

Nunca se han cultivado

Geomorfología: Laderas de erosión sobre alternancia de margas y calizas. En algún caso corresponde a la ladera de erosión sobre amrgas existente entre dos niveles de terrazas.

Relieve: Fase normal: Ondulado, con pendientes de hasta el 12 %.
Fase erosionada: Fuertemente ondulado y colinado con pendientes superiores al 12 % y que alcanzan valores de hasta el 25 %.

Salinidad: No. CE < 2 mmhos/cm.

Alcalinidad: No.

Erosión: Fase normal: Laminar, hídrica, fuerte.
Fase erosionada: Laminar y en cárcavas, muy intensa. Resultan de especial interés las labores de conservación de suelos.

Aptitud regadío: Fase normal: Baja, por razones de topografía y suelo. En cualquier caso, no deberá utilizarse nunca el riego por gravedad.
Fase erosionada: Nula.

Dedicación actual: Fase normal: En años buenos se pueden alcanzar hasta 2.500 Kg/Ha. (año y vez). En años secos las producciones bajan sensiblemente.
Fase erosionada: Improductiva

Observaciones: 211, 251, 259, 264, 266, 269, 272, 276, 283, 284, 292, 298, 299, 309, 313, 320.

Superficie: Fase normal: 90,8 Ha.
Fase erosionada: 21,1 Ha.

5.2.6.- UNIDAD 6

Clasificación: XERIC TORRIFLUVENT, familia franca fina, caliza. Estos suelos presentan condiciones de fluvent y un contenido en carbonatos próximo al 40 %. Apenas tienen pedregosidad. Resulta importante comentar que sólo hemos encontrado las condiciones de fluvent (dejando a un lado las áreas cercanas al Barranco de Tudela, no incluidas en el proyecto) en áreas muy localizadas (vaguadas estrechas).

Geomorfología: Fondos de vaguada estrecha entre alternancia de margas y calizas. Tienen cierta pendiente longitudinal, lo que proporciona un buen drenaje.

Relieve: En ligera pendiente, de hasta 2-3 %.

Salinidad: No. $CE < 2$ mmhos/cm.

Alcalinidad: No.

Erosión: Laminar, hídrica ligera. También deposición.

Aptitud regadío: Media, por condiciones de suelo y por deposición geográfica de la Unidad (vaguadas estrechas).

Dedicación actual: Cereal en régimen de año y vez. Producciones de hasta 2.700 Kg/Ha. Aún en años de sequía.

Observaciones: 240, 278, 279.

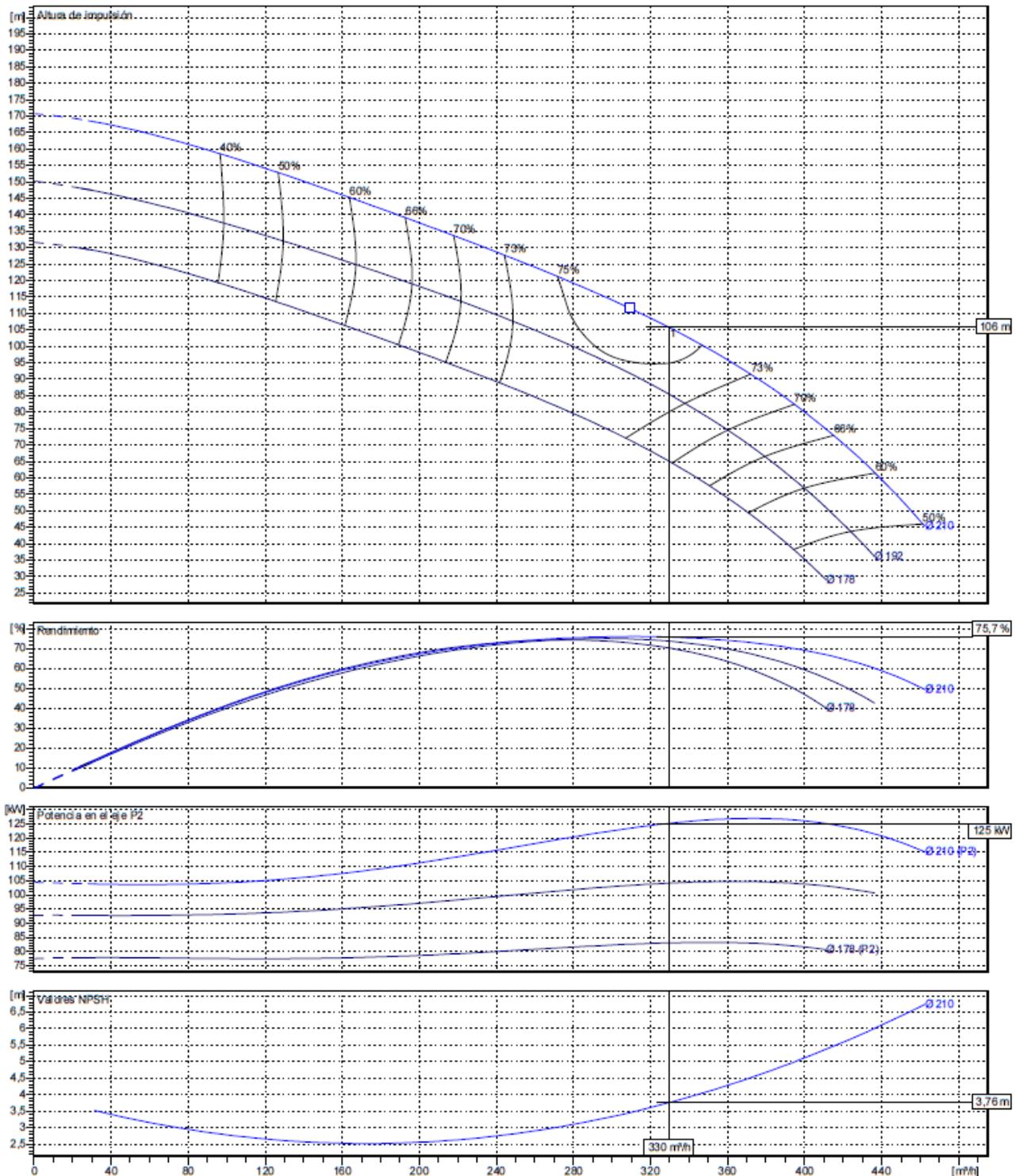
Superficie: 3,6 Ha.

ANEJO 2: CARACTERÍSTICAS BOMBAS Y MOTORES

Equipos existentes

A partir de los datos registrados en la prueba de carga de las bombas después de su instalación en 1989, El fabricante reconstruyó las curvas de las bombas B1, B2 y B3 en el momento de la instalación. Las curvas se muestran a continuación:

Datos de potencia para: Agua limpia [100%] ; 20°C; 1kg/dm³; 1mm²/s



La figura A2.1 muestra la placa de la B1. La B2 y B3 son idénticas.



Figura A.2.1: Placa de las bombas originales

En la figura A2.2 muestra la placa de los motores de las bombas B1, B2 y B3.

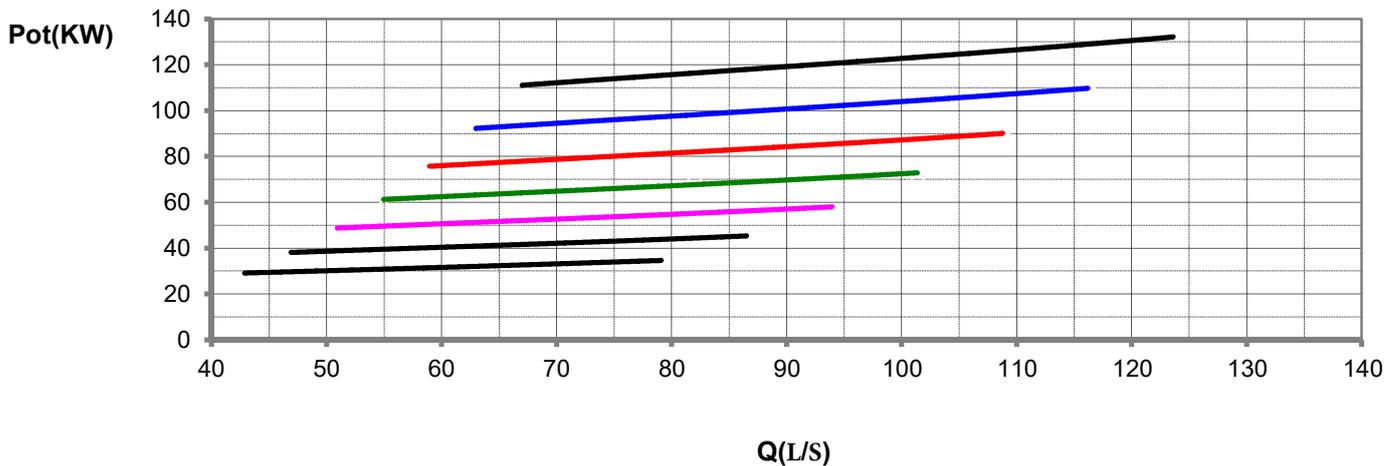
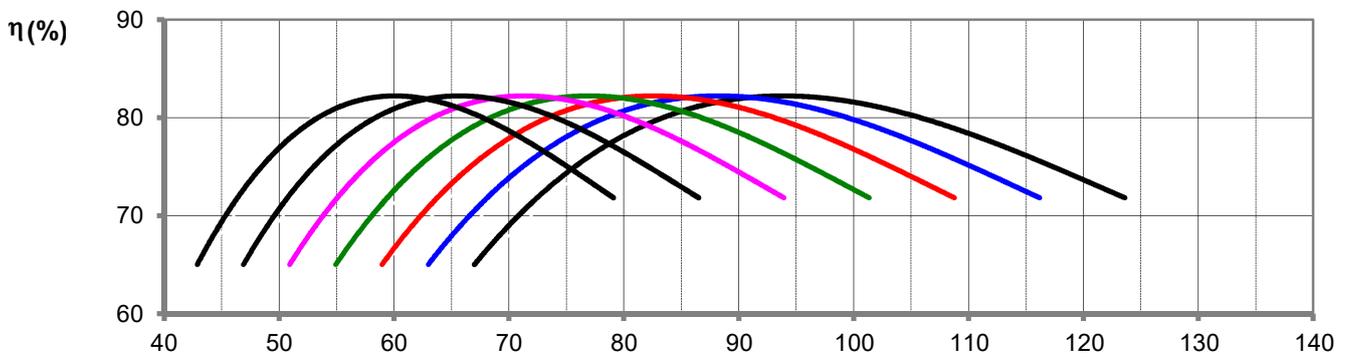
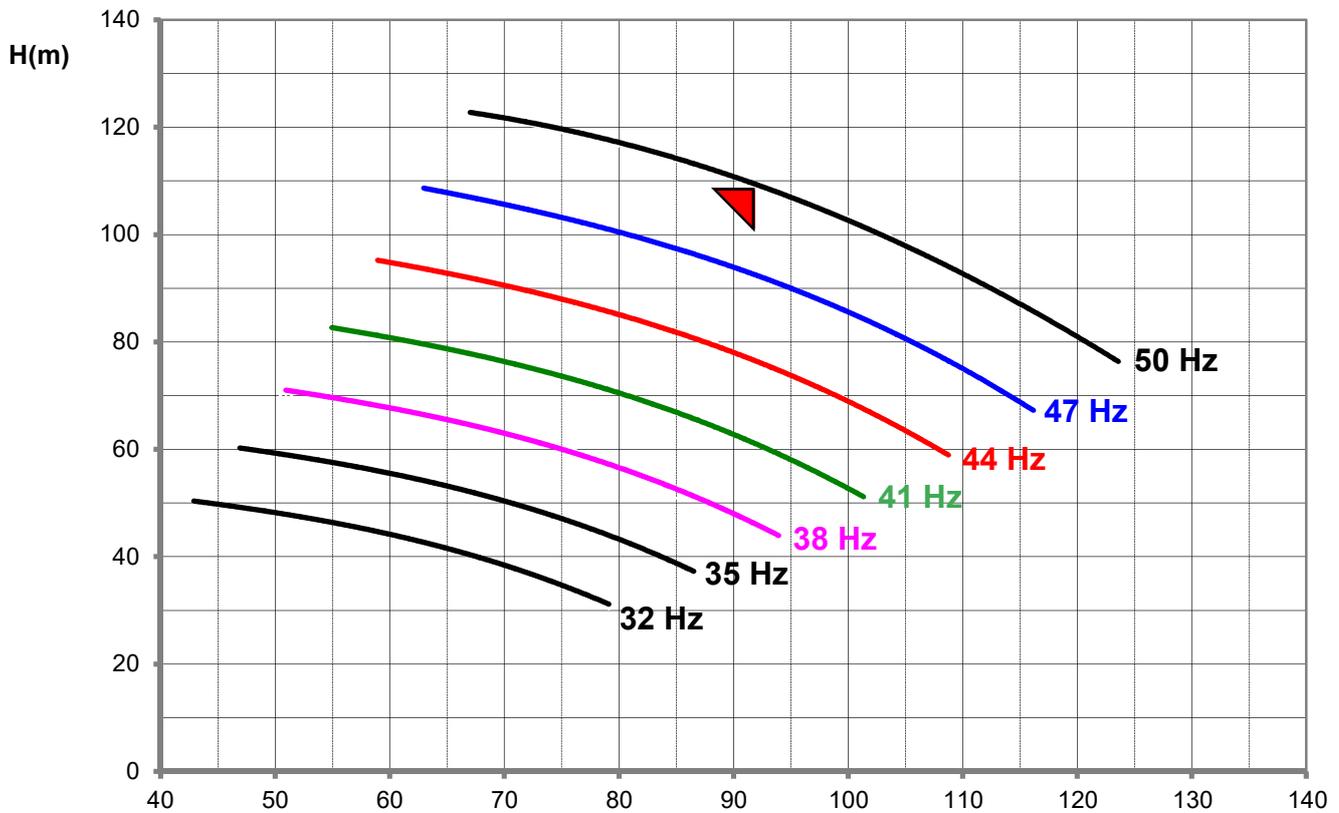


Figura A.2.2: Placa de los motores de las bombas 1, 2 y 3

La cuarta bomba (B4), se instaló en 2002. Las placas de la bomba y del motor conectado a la misma, se muestran en las figuras A2.3 y A2.4.

RODETE Ø : 279/263 mm

1450 RPM





MLFB-Ordering data: **1LE1503-3AB23-4FH4-Z**
B02+L51+Q02+Q72+S02

Motor type: **1CV3312B**

Client order no.:

Item no.:

Order no.:

Consignment no.:

Offer no.:

Project:

Remarks:

U [V]	Δ/Y	f [Hz]	P		I [A]	n [1/min]	M [Nm]	NOM. EFF at ... load [%]			Power factor at ... load			I _A /I _N I _A /I _N	M _A /M _N T _f /T _N	M _k /M _N T _B /T _N	IE-CL
			[kW]	[hp]				4/4	3/4	2/4	4/4	3/4	2/4				
400	Δ	50	132.00	- / -	230.00	1490	846.0	95.6	95.9	95.9	0.87	0.85	0.77	7.3	2.8	3.0	IE3
690	Y	50	132.00	- / -	134.00	1490	846.0	95.6	95.9	95.9	0.87	0.85	0.77	7.3	2.8	3.0	IE3
460	Δ	60	152.00	- / -	225.00	1788	812.0	96.2	96.5	96.3	0.88	0.86	0.79	7.2	2.7	2.8	IE3
460	Δ	60	132.00	- / -	198.00	1790	704.0	96.2	96.3	95.8	0.87	0.84	0.76	8.2	3.1	3.2	IE3
IM B5 / IM 3001		FS 315 M		960 kg		IP55		IEC/EN 60034		IEC, DIN, ISO, VDE, EN							

Mechanical data			Terminal box													
Sound pressure level 50Hz/60Hz (load)	73 dB(A) ¹⁾	78 dB(A) ¹⁾	Terminal box position	top												
Moment of inertia	2.90 kg m ²		Material of terminal box	cast iron												
Bearing DE NDE	6319 C3	6319 C3	Type of terminal box	TB1 Q01												
Relubrication interval/quantity	40 g 40 g 6000 h		Contact screw thread	M12												
Lubricants	Esso Unirex N3		Max. cross-sectional area	240.0 mm ²												
Regreasing device	Yes (standard)		Cable diameter from ... to ...	38.0 mm - 45.0 mm												
Grease nipple	M10x1 DIN 3404 A		Cable entry	2xM63x1,5-2xM20x1,5												
Type of bearing	Locating bearing DE		Cable gland	4 plugs												
Condensate drainage holes	Yes (standard)		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Special design (5)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>B02</td> <td>Acceptance test certificate 3.1 acc. to EN 10204</td> </tr> <tr> <td>L51</td> <td>Bearing insulation NDE</td> </tr> <tr> <td>Q02</td> <td>Anti-condensation heating for 230 V (2 terminals)</td> </tr> <tr> <td>Q72</td> <td>2 PT100 screw-in resistance thermometers in a basic connection (2 terminals)</td> </tr> <tr> <td>S02</td> <td>Special paint finish C3</td> </tr> </tbody> </table>		Special design (5)		B02	Acceptance test certificate 3.1 acc. to EN 10204	L51	Bearing insulation NDE	Q02	Anti-condensation heating for 230 V (2 terminals)	Q72	2 PT100 screw-in resistance thermometers in a basic connection (2 terminals)	S02	Special paint finish C3
Special design (5)																
B02	Acceptance test certificate 3.1 acc. to EN 10204															
L51	Bearing insulation NDE															
Q02	Anti-condensation heating for 230 V (2 terminals)															
Q72	2 PT100 screw-in resistance thermometers in a basic connection (2 terminals)															
S02	Special paint finish C3															
External earthing terminal	Yes (standard)															
Vibration severity grade	A															
Insulation	155(F) to 130(B)															
Duty type	S1															
Direction of rotation	bidirectional															
Frame material	cast iron															
Data of anti condensation heating	230 V, 109 W															
Coating (paint finish)	Special paint finish C3															
Color, paint shade	RAL7030															
Motor protection	(H) 3 resistance thermometers PT100 (6 terminals)															
Method of cooling	IC411 - self ventilated, surface cooled															

Environmental conditions	
Ambient temperature	-20 °C - +40 °C
Altitude above sea level	1000 m

Notes	
I _A /I _N = locked rotor current / current nominal	M _k /M _N = break down torque / nominal torque
M _k /M _N = locked rotor torque / torque nominal	1) Value is valid only for DOL operation with motor design IC411

ANEJO 3: MERCADO ENERGÉTICO Y TARIFAS

Funcionamiento general mercado energético

El mercado de la energía funciona de forma compleja y los precios varían en función de la oferta y la demanda. La producción de energía es bastante constante y las grandes plantas no tienen la suficiente agilidad como para adaptar la oferta a la demanda de cada hora. Por eso, hay momentos en los que se produce más energía de la que se consume y, por lo tanto, los precios bajan para favorecer la compra. De la misma manera, hay momentos en los que se consume más energía de la que se está generando y esto provoca un aumento del precio.

Estos aumentos siguen un patrón diario muy claro, con mayor demanda y precios altos por el día, especialmente durante la mañana y al anochecer, y precios moderados especialmente por la madrugada, cuando se demanda menos energía.

A lo largo del año también se aprecian variaciones que se repiten de forma periódica, aunque los años no se parecen tanto entre sí como a nivel diario. Normalmente, en primavera hay mayor producción de energía debido a los desembalses de agua en las centrales hidroeléctricas, mientras que a final de verano y principio de otoño se produce una subida en la demanda y en el precio que se mantiene o incrementa durante el invierno.

A pesar de que las variaciones de los precios de la energía varían de manera periódica, hay una tendencia al alza en España del coste para los usuarios. En 1998 el precio medio fue de 25,06 €/MWh y en 2017 de 52,24 €/MWh. Como se aprecia en la figura A3.1 publicada por OMIE (2019), en ese intervalo ha habido variaciones del precio, pero se observa una tendencia general al alza, con un aumento medio lineal de 3,14% al año. Esta subida también la abala el artículo de Martínez, V. (2015), donde se apunta también que la subida en España del precio del TE es el doble que la subida media en el resto de Europa.

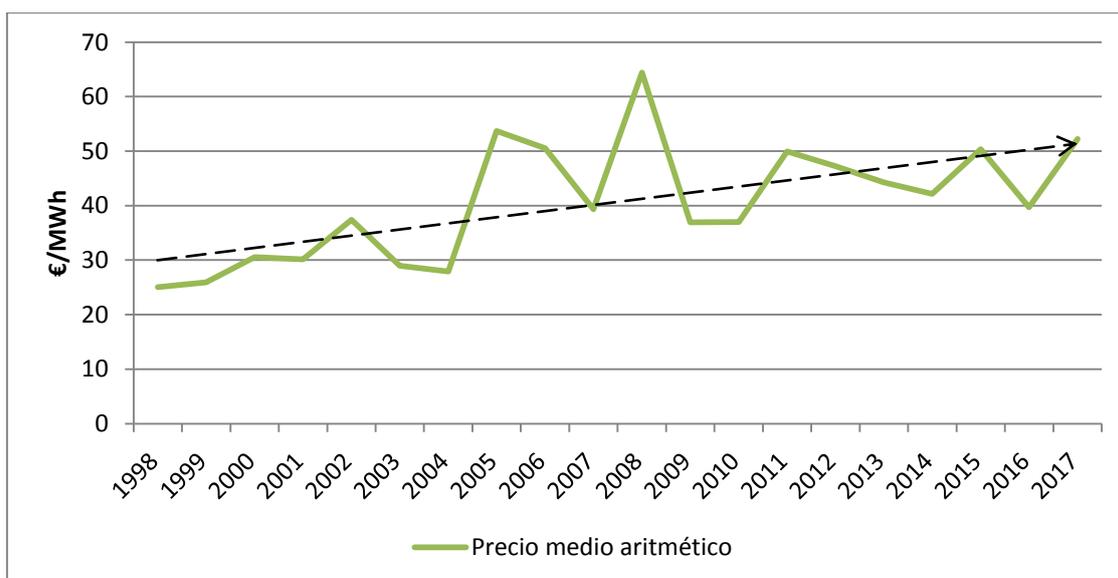


Figura A3.1: Evolución del precio del término de energía

Periodos tarifarios

En el Real Decreto 1164/2001 se establecieron los periodos tarifarios para las tarifas eléctricas. El objetivo de esta división horaria es regular mejor las fluctuaciones de energía a lo largo del día y del año. Es decir, establecer un precio más bajo en los periodos de menos demanda y uno más elevado para los periodos de más demanda.

El número de periodos existentes en un día varía en función de la tarifa. En primer lugar, hay tarifas de dos periodos que las horas se dividen en horas punta y llano y en horas valle. Todos los días a lo largo del año siguen la misma distribución, siendo el periodo valle de 0:00 a 8:00.

Lo modalidad de tres periodos hace una distinción más que la anterior, es decir, hay horas punta, llano y valle. La distribución se hace según la tabla A3.1. La zona 1 corresponde a todas las comunidades autónomas de la península, la 2 a Baleares, la 3 a Canarias y la zona 4 es para las ciudades de Ceuta y Melilla. El cambio de verano a invierno y viceversa está determinado por el cambio horario (Ministerio de Interior, 2001).

Tabla A3.1: Descripción de los horarios de horas punta, valle y llano en función de la zona geográfica para la tarifa de tres periodos

Zona	Invierno			Verano		
	Punta	Llano	Valle	Punta	Llano	Valle
1	18-22	8-18 22-24	0-8	9-13	8-9 13-24	0-8
2	18-22	8-18 22-24	0-8	19-23	0-1 9-19 23-24	1-9
3	18-22	8-18 22-24	0-8	19-23	0-1 9-19 23-24	1-9
4	19-23	8-19 23-24	0-8	20-24	0-1 9-20	1-9

Por último, existe la tarifa de 6 periodos tarifarios, que es el modelo que se tiene contratado en Valdetellas. Esta modalidad divide en día en seis periodos que varían a lo largo del año. Para establecerlos, divide el año eléctrico en los siguientes tipos de días: (Ministerio de Interior, 2001)

- Tipo A: De lunes a viernes no festivos de temporada alta.
- Tipo B: De lunes a viernes no festivos de temporada media.
- Tipo C: De lunes a viernes no festivos de temporada baja, excepto agosto en el sistema peninsular y el mes correspondiente a de mínima demanda en cada uno de los sistemas aislados extra peninsulares e insulares.
- Tipo D: Sábados, domingos, festivos y agosto en el sistema peninsular o el mes de menor demanda en los sistemas aislados extra peninsulares.

Para la península, la temporada alta comprende los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero, la temporada media los de marzo, abril, julio y octubre y la temporada baja los de mayo, junio, agosto y septiembre.

Con ambas distinciones se delimitan los periodos tarifarios para esta modalidad, como se muestra en la tabla A3.2.

Tabla A3.2: Delimitación de los periodos tarifarios para las tarifas de 6 periodos

Período tarifario	Tipo de día			
	Tipo A	Tipo B	Tipo C	Tipo D
1	De 16 a 22	—	—	—
2	De 8 a 16 De 22 a 24	—	—	—
3	—	De 9 a 15	—	—
4	—	De 8 a 9 De 15 a 24	—	—
5	—	—	De 8 a 24	—
6	De 0 a 8	De 0 a 8	De 0 a 8	De 0 a 24

Actualmente, para cada periodo tarifario, el cliente puede fijar un término de potencia diferente dos veces al año. Se debe cumplir también que la potencia contratada tiene que ir en aumento de P1 a P6, es decir, que la potencia contratada en P(n+1) tiene que ser igual o mayor que en Pn.

ANEJO 4: PANELES FOTOVOLTAICOS Y SEGUIDORES SOLARES

A pesar de que existen multitud de tipos y de componentes de módulos FV, actualmente existe una cierta uniformidad en el uso de silicio para su fabricación. Prácticamente todos los fabricantes aseguran un rendimiento superior al 80% dentro de los primeros 25 años de uso y una vida útil de al menos 30 años.

Dentro de los paneles de silicio, se distinguen dos tipos:

- **Monocristalinos:** Requieren más energía en su fabricación, pero son ligeramente más eficientes en condiciones estándar. No obstante, a temperaturas altas, su rendimiento decrece más rápidamente.
- **Policristalinos:** De apariencia más clara que los monocristalinos. Tienen un coste menor ya que se necesita menos energía en su proceso de fabricación y su rendimiento es algo menor. Recomendados para climas con temperaturas altas.

Además de la composición de las células de los módulos, también influye en el rendimiento la forma en la que se disponen los mismos. En cuanto a los seguidores solares en los que se colocan los módulos FV, se distinguen tres variantes principales:

- **Fijos:** Los paneles se colocan en soportes fijos con una inclinación determinada y óptima (normalmente entre 36 y 40º con respecto al horizonte).
- **Giro sobre 1 eje:** Se colocan sobre plataformas que rotan los paneles sobre el eje horizontal norte-sur, de tal manera que los paneles siguen la trazada este-oeste del sol. Sobre una misma estructura de giro, se pueden colocar alineados varios módulos. También existen plataformas de giro sobre el eje vertical, pero son menos comunes.
- **Giro sobre 2 ejes:** Se colocan sobre plataformas que los rotan sobre el eje vertical y horizontal. De esta forma, los paneles están en una posición óptima con respecto al sol en todo momento.

De acuerdo con Hammad, B., Al-Sardeah, A., Al-Abed, M., Nijmeh, S., Al-Ghandoor, A. (2017), se aprecia una diferencia de rendimiento notable entre los paneles en estructura fija o en seguidores a 2 ejes porque en los seguidores las horas de máximo rendimiento aumentan y la distribución a lo largo del día tiene forma de meseta frente a una distribución normal en las estructuras fijas. El estudio concluye que los seguidores fijos son más rentables que los seguidores a dos ejes. No obstante, el estudio no incluye seguidores de giro en un eje horizontal. Este último tipo, según profesionales del sector, actualmente resulta la mejor opción en cuanto a aprovechamiento de la radiación y el coste.

Aunque de manera tradicional los paneles solo aprovechan la radiación directa que incide por una de sus dos caras, actualmente ya hay tecnología que permite aprovechar la radiación indirecta y se están desarrollando los paneles bifaciales. La única diferencia entre ambos es que, en los bifaciales, ambas caras están acabadas con un cristal, por lo que también se genera electricidad mediante la radiación indirecta reflejada en el suelo. Según Soto Sepúlveda, E.

(2019), se obtiene un incremento de los valores diarios de generación de energía superiores al 25%.

Potencia nominal

El principal parámetro que define a un módulo FV es su potencia nominal, normalmente expresada en vatios pico (W_p). Este factor indica la energía que genera el panel en un determinado periodo de tiempo. Hay que tener en cuenta que la potencia pico se determina en las condiciones de laboratorio determinadas por la IEC-60904-1. Estas condiciones son las siguientes:

- Irradiancia de 1.000 W/m^2 en toda la superficie del módulo. En condiciones de funcionamiento habituales, solo se alcanzaría este valor en un día totalmente despejado y en las horas centrales del día.
- La temperatura del módulo de 25°C
- El espectro de la luz debe estar 40° por encima del horizonte y con una inclinación del módulo de 40° respecto al horizonte y mirando al sol.

Potencia real

Observando las condiciones en las que se mide la potencia nominal, se deduce que no son condiciones fácilmente extrapolables al exterior. Por lo tanto, es lógico que la potencia real no se corresponda con la potencia nominal. Según European Commission (2017), la eficiencia de un panel FV es prácticamente constante para valores superiores a 400W/m^2 . La curva de la eficiencia con respecto a la irradiancia y la relación entre rendimiento y aumento de la temperatura se muestran en la figura A4.1.

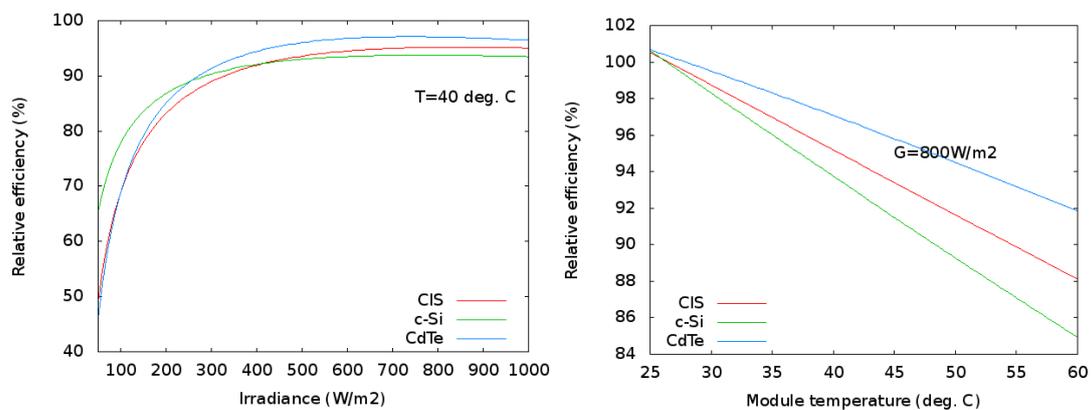


Figura A4.1: Variación del rendimiento de los módulos solares en función de la irradiancia y de la temperatura del módulo FV

Como combinación de las pérdidas de rendimiento causadas por la baja irradiancia y la temperatura del módulo, se puede considerar un rendimiento del 80%.

Las características técnicas de los modelos de paneles FV y de seguidores solares, se muestran a continuación:



Q.PLUS L-G4.2 340-350

Q.ANTUM SOLAR MODULE

The **Q.ANTUM** solar module **Q.PLUS L-G4.2** is the strongest module of its type on the market globally. Powered by 72 Q CELLS solar cells **Q.PLUS L-G4.2** was specially designed for large solar power plants to reduce BOS costs. Only Q CELLS offers German engineering quality with our unique Yield Security.



Q.ANTUM TECHNOLOGY: LOW LEVELIZED COST OF ELECTRICITY

Higher yield per surface area and lower BOS costs thanks to higher power classes and an efficiency rate of up to 17.8%.



INNOVATIVE ALL-WEATHER TECHNOLOGY

Optimal yields, whatever the weather with excellent low-light and temperature behaviour.



ENDURING HIGH PERFORMANCE

Long-term yield security with Anti PID Technology¹, Hot-Spot Protect and Traceable Quality Tra.Q™.



EXTREME WEATHER RATING

High-tech aluminium alloy frame, certified for high snow (5400 Pa) and wind loads (2400 Pa).



A RELIABLE INVESTMENT

Inclusive 12-year product warranty and 25-year linear performance warranty².



THE IDEAL SOLUTION FOR:



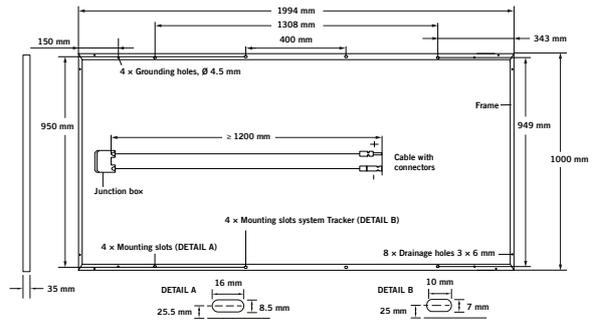
Engineered in **Germany**

¹ APT test conditions according to IEC/TS 62804-1:2015, method B (-1500V, 168h)

² See data sheet on rear for further information.

MECHANICAL SPECIFICATION

Format	1994 mm × 1000 mm × 35 mm (including frame)
Weight	23 kg
Front Cover	3.2 mm thermally pre-stressed glass with anti-reflection technology
Back Cover	Composite film
Frame	Anodised aluminium
Cell	6 × 12 Q.ANTUM solar cells
Junction box	85-115 × 60-80 × 15-19 mm, Protection class ≥ IP67, with bypass diodes
Cable	4 mm ² Solar cable; (+) ≥ 1200 mm, ≥ (-) 1200 mm
Connector	Multi-Contact MC4-EVO2, JMTHY PV-JM601A or Amphenol UTX; IP68

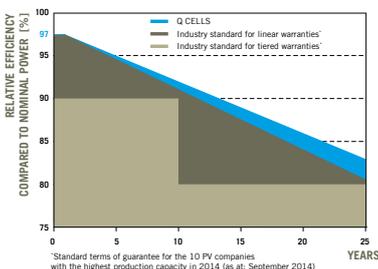


ELECTRICAL CHARACTERISTICS

POWER CLASS		340	345	350	
MINIMUM PERFORMANCE AT STANDARD TEST CONDITIONS, STC ¹ (POWER TOLERANCE +5 W / -0 W)					
Minimum	Power at MPP¹	P_{MPP}	340	345	350
	Short Circuit Current¹	I_{SC}	9.54	9.59	9.64
	Open Circuit Voltage¹	V_{OC}	46.34	46.58	46.82
	Current at MPP	I_{MPP}	9.03	9.10	9.16
	Voltage at MPP	V_{MPP}	37.65	37.93	38.20
	Efficiency¹	η	≥ 17.1	≥ 17.3	≥ 17.6
MINIMUM PERFORMANCE AT NORMAL MODULE OPERATING TEMPERATURE, NMOT ²					
Minimum	Power at MPP	P_{MPP}	253.4	257.1	260.9
	Short Circuit Current	I_{SC}	7.69	7.73	7.77
	Open Circuit Voltage	V_{OC}	43.51	43.74	43.97
	Current at MPP	I_{MPP}	7.10	7.15	7.21
	Voltage at MPP	V_{MPP}	35.71	35.95	36.19

¹Measurement tolerances P_{MPP} ± 3%; I_{SC}, V_{OC} ± 5% at STC: 1000 W/m², 25 ± 2 °C, AM 1.5 G according to IEC 60904-3 - ²800 W/m², NMOT, spectrum AM 1.5 G

Q CELLS PERFORMANCE WARRANTY

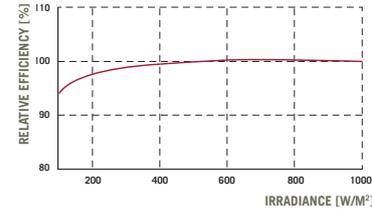


At least 97% of nominal power during first year. Thereafter max. 0.6% degradation per year.
At least 92% of nominal power up to 10 years.
At least 83% of nominal power up to 25 years.

All data within measurement tolerances. Full warranties in accordance with the warranty terms of the Q CELLS sales organisation of your respective country.

¹Standard terms of guarantee for the 10 PV companies with the highest production capacity in 2014 (as at: September 2014)

PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE



Typical module performance under low irradiance conditions in comparison to STC conditions (25 °C, 1000 W/m²).

TEMPERATURE COEFFICIENTS

Temperature Coefficient of I_{SC}	α	[%/K]	+0.04	Temperature Coefficient of V_{OC}	β	[%/K]	-0.29
Temperature Coefficient of P_{MPP}	γ	[%/K]	-0.40	Normal Module Operating Temperature	NMOT	[°C]	43 ± 3 °C

PROPERTIES FOR SYSTEM DESIGN

Maximum System Voltage	V_{sys}	[V]	1500	Safety Class	II
Maximum Reverse Current	I_R	[A]	20	Fire Rating	C / TYPE 1
Max. Design Load, Push / Pull		[Pa]	3600/1600	Permitted Module Temperature On Continuous Duty	-40 °C up to +85 °C
Max. Test Load, Push / Pull		[Pa]	5400/2400		

QUALIFICATIONS AND CERTIFICATES

IEC 61215:2016; IEC 61730:2016, Application class A
This data sheet complies with DIN EN 50380.



PACKAGING INFORMATION

Number of Modules per Pallet	29
Number of Pallets per 40' High Cube Container	22
Number of Modules per 40' High Cube Container	638

NOTE: Installation instructions must be followed. See the installation and operating manual or contact our technical service department for further information on approved installation and use of this product.

Hanwha Q CELLS Australia Pty Ltd
1402, 20 Berry St., North Sydney NSW 2060, Australia | TEL +61 (0) 29016 3033 | FAX +61 (0) 29016 3032 | EMAIL q-cells-australia@q-cells.com | WEB www.q-cells.com.au

Engineered in Germany

STI-H250

Seguidor de un eje horizontal

Ficha técnica

Dual Row - Descentralizado



Adaptación al terreno



Carga de viento



Carga de nieve



Carga de sismo



Libre de engrase & mínimo mantenimiento



Túnel de viento



10 years

Garantía



Patentado

Diseño

- Accionamiento rotativo electromecánico irreversible con motor reductor de alta eficiencia de únicamente 100W de potencia.
- Self power con panel PV externo desde el string o alimentado desde la red.
- Amplio recorrido de giro: $110^\circ (\pm 55^\circ)$.
- Tolerancia a las pendientes elevadas.
- Gran adaptación a terrenos irregulares.
- Disponibilidad superior al 99,9%.
- Compatible con diferentes soluciones de cimentación: hincas metálicas, micropilotes, zapatas, pre-taladros, tornillo.
- Compatible con todo tipo de paneles (con marco, glass-glass, thin-film, bifacial).

Operación y Mantenimiento

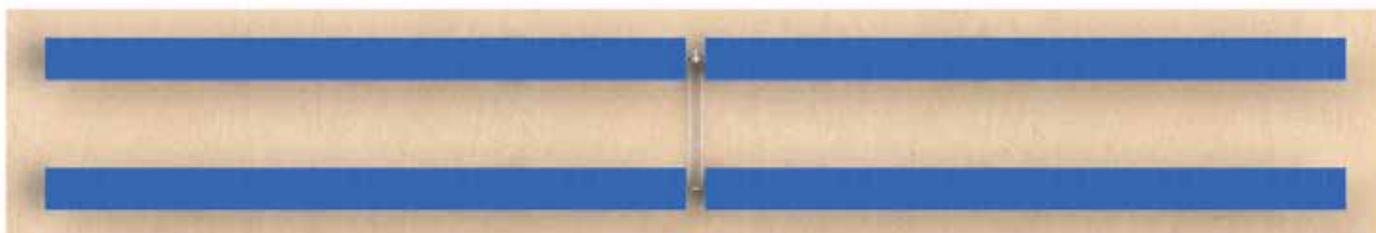
- Acceso libre para limpieza de paneles.
- Mínima inversión en labores de O&M gracias al reducido número de componentes, la sencillez y robustez del sistema.
- Mantenimiento mínimo.
- Elementos de rotación libres de lubricación.

Sistema de control

- Alta fiabilidad de operación.
- Gestión de alarma completamente configurable por el cliente.
- Incrementando de producción gracias al Algoritmo de Backtracking personalizado a cada seguidor solar STI-H250 (evitando sombras).
- Fácil integración en el sistema de comunicaciones y SCADA de la planta gracias al sistema Zigbee®.
- Sistema de comunicación Wireless Zigbee®.
- Monitorización remota y mantenimiento predictivo (evita paradas y aumenta la disponibilidad).
- Rápida puesta en marcha & herramientas de backtracking.

Montaje

- Mínimo tiempo de instalación, rápido y simple.
- Altas tolerancias al error de posicionamiento de cimentación, tanto en los tres ejes (X,Y,Z) como al giro en los ejes Y y Z.
- Altura baja del panel para un fácil montaje.
- Conexiones 100% atornilladas. Sin perforación, corte o soldadura en el sitio.



CARACTERÍSTICAS GENERALES

Tipo de seguidor	Seguidor de un eje horizontal (HSAT). Descentralizado. DUAL-ROW
Ratio de cobertura en el suelo (GCR)	Configurable según proyecto, standard 33%
Área de seguidor	Aprox. 250 m2

DIMENSIONES (seguidor ESTÁNDAR con módulos de 72 cél. y 1/GCR = 3)*

Módulos por viga de torsión	60
Número de filas	2
Potencia pico instalada (con módulo de 350Wp)	42 Kwp
Número de postes por seguidor	18 / 19
Altura de módulo. Seguidor en posición horizontal 0°	Aprox. 1.35m
Altura de módulo. Seguidor en posición de 55°	Aprox. 2.25m

ACCIONAMIENTO DE GIRO

Tipo de accionamiento	Actuador Electromecánico rotativo
Alimentación conjunto de accionamiento	LiFe P04 Batería o alimentado desde la red
Consumo eléctrico conjunto de accionamiento	< 0.45Kwh/day
Potencia motor	100W / 24VDC self-powered

ESPECIFICACIONES MECÁNICAS

Rango de giro	110° (+/-55°)
V max. viento (en posición horizontal)	140km/h (*)
Estructura	Acero S275, S355 o equivalente
Normativa	Grounding bonding UL2703/Diseño estructural ASCE7-10 o Eurocódigo
Topografía	15% N-S / 10% E-W

SISTEMA DE CONTROL

Control de seguimiento	NREL SOLPOS algoritmo astronómico con PLC (Exactitud ±0.01°)
Gestión de sombras	Algoritmo Backtracking personalizado
Gestión de viento	Gestión de abanderamiento personalizable
Estándar de comunicaciones	Modbus RS485 or Modbus Wireless option (Zigbee®)

MANTENIMIENTO

Mantenimiento	Mínimo (Revisión anual)
---------------	-------------------------

GARANTÍA

Estructural / Accionamiento y motores	10 años estructural / 5 años Accionamiento y Motores
---------------------------------------	--

(*) Configurable según proyecto. Disponibles otras opciones.

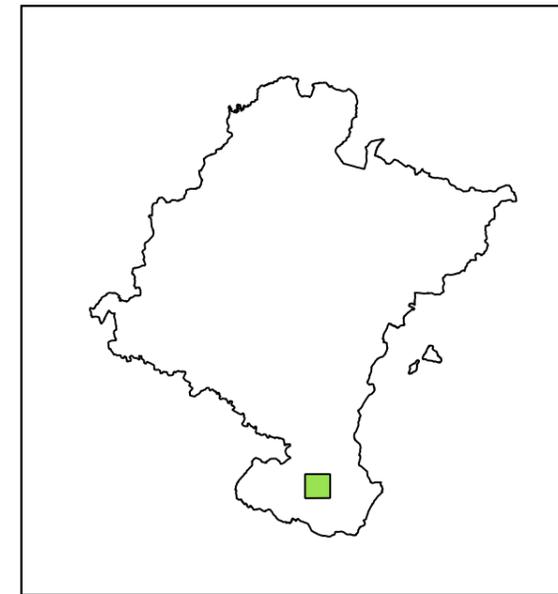
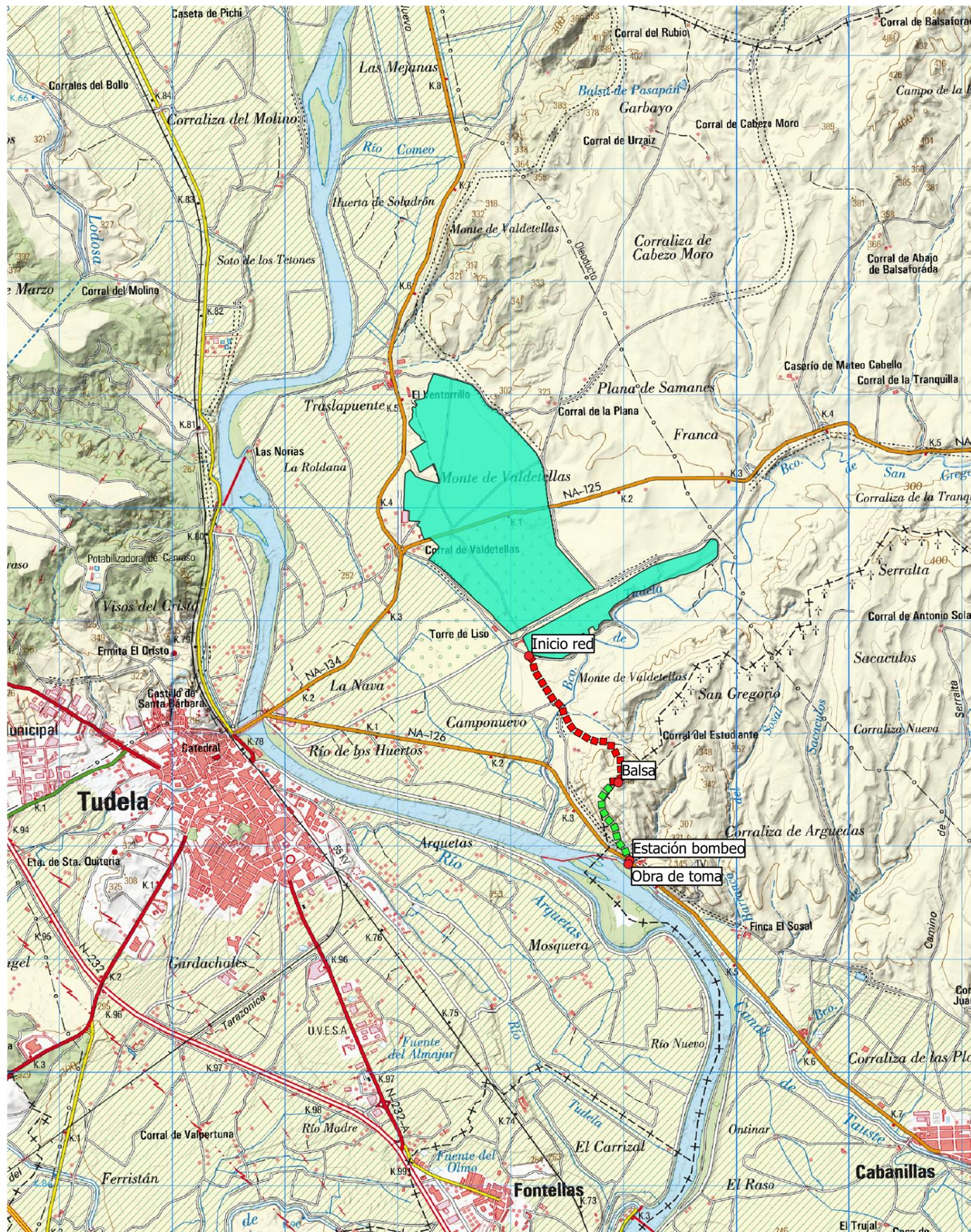
Planos

PLANO 1: Plano de localización

PLANO 2: Red de distribución del regadío de Valdetellas

PLANO 3: Unidades cartográficas de la superficie regable de Valdetellas

PLANO 4: Emplazamiento del generador fotovoltaico



Leyenda

- Zona regable Valdetellas
- Tubería impulsión
- Tubería suministro

upna

Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

TÍTULO
Análisis del regadío de Valdetellas (Tudela) y estudio de modernización mediante implementación de energía fotovoltaica

NOMBRE DE PLANO
Plano de localización

Nº PLANO
1/4

FECHA
febrero 2019

ESCALA
1:40.000

ESCALA GRÁFICA
ENRIQUE PAZ, PABLO



Hidrante	Cota (m)	Hidrante	Cota (m)	Hidrante	Cota (m)	Hidrante	Cota (m)
Inicio red	258,52	26	268,86	51	265,13	76	278,46
1	275,53	27	268,28	52	265,42	77	284,65
2	281,44	28	269,18	53	265,22	78	285,4
3	285	29	271,36	54	257,38	79	285,93
4	284,03	30	269,83	55	266,55	80	282,82
5	283,46	31	265,83	56	265,08	81	277,11
6	291,27	32	266,51	57	265,37	82	265,42
7	292,66	33	269,26	58	265,7	83	261,56
8	282,98	34	269,77	59	266,21	84	260,64
9	285,23	35	270,03	60	266,86	85	269,35
10	272,07	36	269,7	61	268,31	86	269,3
12	278,59	37	267,43	62	270,52	87	270,72
13	276,89	38	267,71	63	270,79	88	273,04
14	277,09	39	267,12	64	270,23	89	277,52
15	277,29	40	268,28	65	269,99	90	277,93
16	277,11	41	268,38	66	269,55	91	281,15
17	275,62	42	267,98	67	268,95	92	280,87
18	269,65	43	267,12	68	268,82	93	280,67
19	269,7	44	268,14	69	269,01	94	285,35
20	270,19	45	266,65	70	269,8	95	278,26
21	269,35	46	266,25	71	269,95	96	262,77
22	270,23	47	266,93	72	270,2	97	261,71
23	271,55	48	266,09	73	270,65		
24	272,45	49	264,56	74	270,61		
25	267,84	50	266	75	282,79		

Leyenda

Hidrantes

RED_DISTR

- Arteria principal
- Ramales secundarios
- Ramales terciarios
- Ramales cuaternarios

upna

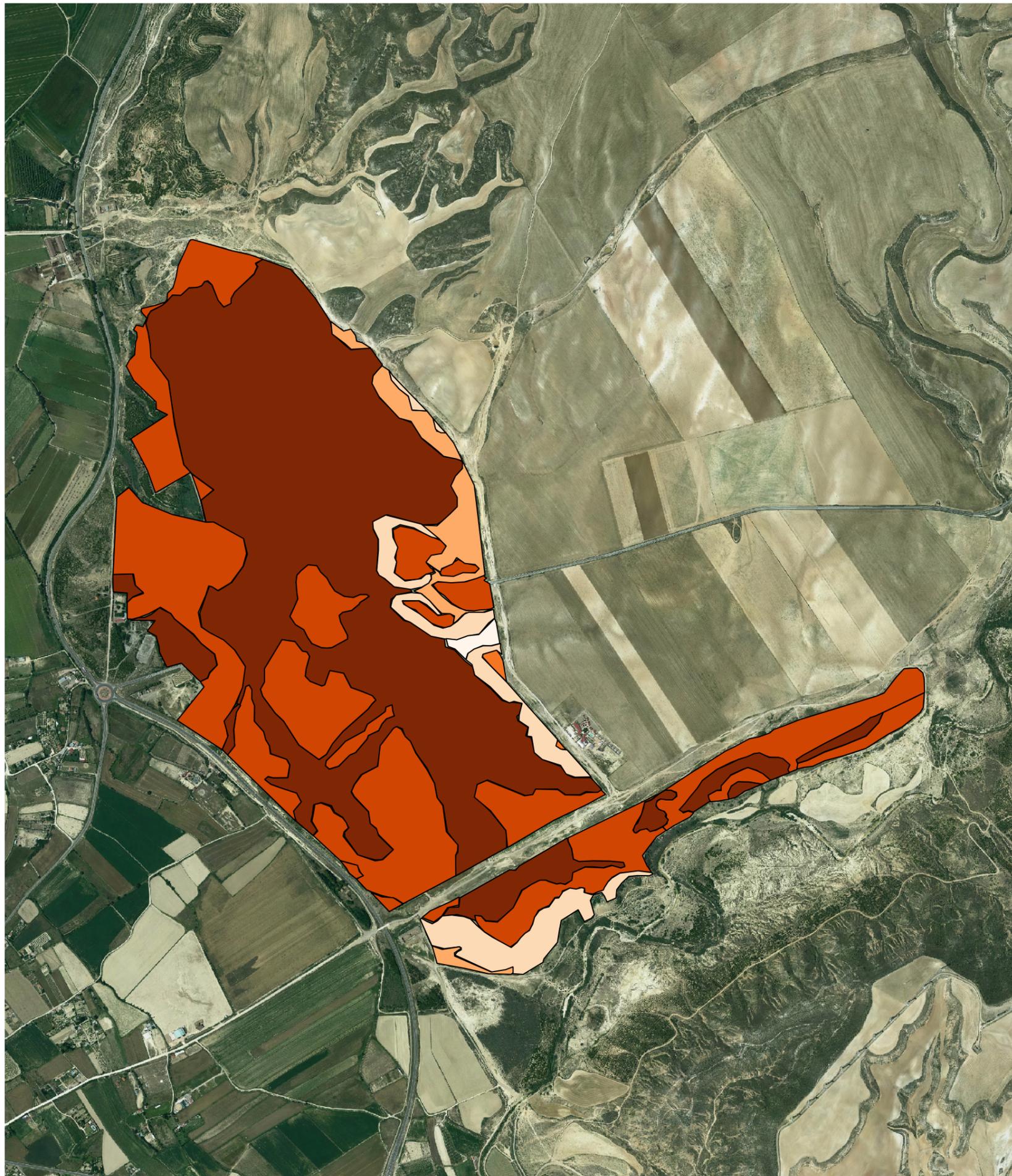
Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

TÍTULO
Análisis del regadío de Valdetellas (Tudela) y estudio de modernización mediante implementación de energía fotovoltaica

NOMBRE DE PLANO
Red de distribución del regadío de Valdetellas

Nº PLANO 2/4	FECHA febrero 2019	ESCALA 1:10.000
-----------------	-----------------------	--------------------

ESCALA GRÁFICA
ENRIQUE PAZ, PABLO



Leyenda

Unidades cartográficas de suelo

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6

UD suelo	Superficie (ha)
1	135,53
2	87,89
3	0,44
4	8,76
5	15,40
6	0,98
TOTAL	249,00

upna

Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

TÍTULO
Análisis del regadío de Valdetellas (Tudela) y estudio de modernización mediante implementación de energía fotovoltaica

NOMBRE DE PLANO
Unidades cartográficas de la superficie regable de Valdetellas

Nº PLANO
3/4

FECHA
febrero 2019

ESCALA
1:15.000

ESCALA GRÁFICA
ENRIQUE PAZ, PABLO



Leyenda

- Situación generador FV
- Conductor
- Camino de acceso

upna

Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

TÍTULO **Análisis del regadío de Valdetellas (Tudela) y estudio de modernización mediante implementación de energía fotovoltaica**

NOMBRE DE PLANO **Emplazamiento generador fotovoltaico**

Nº PLANO	FECHA	ESCALA
4/4	febrero 2019	1:5.000

ESCALA GRÁFICA **ENRIQUE PAZ, PABLO**