



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS
PRESURIZADOS DE RIEGO POR ASPERSIÓN

ANALYSIS AND DESIGN OF PRESSURIZED
SPRINKLER IRRIGATION SYSTEMS

Autor

Francisco Javier Aznárez Alastuey

Director

Mario Morales Hernández

Escuela de Ingeniería y Arquitectura

2018



(Este documento debe acompañar al Trabajo Fin de Grado (TFG)/Trabajo Fin de Máster (TFM) cuando sea depositado para su evaluación).

D./D^{ña}. Francisco Javier Aznárez Alastuey

con nº de DNI 73105501 R en aplicación de lo dispuesto en el art.

14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster)
Grado en Ingeniería Mecánica

ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS PRESURIZADOS DE RIEGO
POR ASPERSIÓN

ANALYSIS A DESIGN OF PRESSURIZED SPRINKLER IRRIGATION
SYSTEM

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada debidamente.

Zaragoza, 21 de Noviembre de 2018

Fdo: _____

ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS PRESURIZADOS DE RIEGO POR ASPERSIÓN

RESUMEN

La modernización de los sistemas de riego se ha convertido en una de las prácticas más habituales dentro de la agricultura en España. Los agricultores buscan aumentar la producción de sus productos porque se encuentran dentro de un mercado muy exigente que no deja de crecer. A pesar de que la instalación de nuevos sistemas de riego conlleva un alto desembolso inicial, éste se ve compensado, además de por el aumento productivo, por la cantidad de efectos positivos en los ámbitos hidrológico, económico y social.

El objetivo de este trabajo es diseñar dos redes de riego presurizadas orientadas a la modernización de dos parcelas localizadas en Sádaba (Zaragoza). Para elegir la instalación que se colocará en cada parcela, se analizarán diferentes alternativas energéticas y de sistemas de riego. Una vez elegido el sistema (riego por aspersión totalmente enterrado) se realiza un análisis del funcionamiento y características del sistema, explorando la posibilidad de instalación de riego de media presión y de baja presión. Para la elección más adecuada se diseñarán las redes de riego realizando los cálculos hidráulicos necesarios para satisfacer las demandas de presión y caudal en todos los puntos de la red. Se diseñará y se analizará la sectorización de cada una de las parcelas, así como la distribución óptima de los aspersores.

Una vez satisfechos los requerimientos técnicos de cada una de las posibles alternativas de instalación, la elección final del sistema se basará principalmente en la instalación que menores costes genere a largo plazo, para lo cual se calcularán sus necesidades y consumos, así como las pérdidas que se generen.

ÍNDICE

1. Introducción y objetivos.....	6
2. Modernización de las dos parcelas de regadío.....	7
3. Análisis de alternativas de instalación.....	9
3.1. Análisis de sistemas de riego	9
3.2. Análisis de sistemas energéticos.....	10
3.3. Selección del marco de riego	11
3.4. Elección de aspersores	12
4. Sectorización	14
4.1. Sectorización media presión de la finca 1.....	14
4.2. Sectorización media presión finca 2	15
4.3. Sectorización baja presión finca 1	16
4.4. Sectorización baja presión finca 2	17
5. Modelización de las tuberías de riego	20
5.1. Elección de materiales	20
5.2. Cálculo de los diámetros de las tuberías	20
5.3. Cálculo de las pérdidas de carga	21
6. Resultados	23
6.1. Cálculos hídricos.....	23
6.2. Estimación de presupuestos y costes	25
7. Conclusiones.....	30
8. Bibliografía	31
ANEXOS	32
A-1. Aspersores	32
A-2. Sectorización	35
A-3. Pérdidas de carga	41
A-4. Motobomba	50
A-5. Cálculos hídricos.....	53
A-6. Costes	55
A-7. Presupuestos.....	58

ÍNDICE DE IMÁGENES

Figura 1. Vista aérea de las fincas	7
Figura 2. Gráfica de la velocidad de viento anual en las Cinco Villas	12
Figura 3. Gráfica de los caudales por sector de media presión en la finca 1.....	15
Figura 4. Gráfica de los caudales por sector de baja presión en la finca 2.....	16
Figura 5. Gráfica de los caudales por sector de baja presión en la finca 1.....	17
Figura 6. Gráfica de los caudales por sector de baja presión en la finca 2.....	18
Figura 7. Gráfica comparativa de caudales medios de cada sistema y finca.....	18
Figura 8. Gráfica de las necesidades y aportes hídricos de la cebada.....	24
Figura 9. Gráfica de las necesidades y aportes hídricos del trigo.....	25
Figura 10. Desglose de los presupuestos de la finca 1	26
Figura 11. Desglose de los presupuestos de la finca 2	27
Figura 12. Gráfico comparativo de los presupuestos totales	28
Figura 13. Gráfico de presupuestos más costes anuales	29

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Análisis multicriterio de los sistemas de riego	10
Tabla 2. Análisis multicriterio de los sistemas energéticos	11
Tabla 3. Porcentaje de espaciamento por la velocidad del viento	11
Tabla 4. Aspersores elegidos.....	13
Tabla 5. Número de aspersores de media presión en la finca 1.....	14
Tabla 6. Número de aspersores de media presión en la finca 2.....	15
Tabla 7. Número de aspersores de baja presión en la finca 1.....	16
Tabla 8. Número de aspersores de baja presión en la finca 2.....	17
Tabla 9. Tipos de tuberías	20
Tabla 10. Pérdidas de carga totales de cada sistema y finca.....	22
Tabla 11. ETo mensual en las Cinco Villas.....	23
Tabla 12. Valores de KC de la cebada y el trigo.....	23
Tabla 13. Resultados hídricos totales de ambos cultivos	25
Tabla 13. Resultados hídricos totales de ambos cultivos	25
Tabla 14. Presupuestos totales de la finca 1.....	26
Tabla 15. Presupuestos totales de la finca 2.....	27
Tabla 16. Costes anuales por cultivo según el sistema utilizado en cada finca	28

1. Introducción y objetivos.

Aproximadamente el 15% de la superficie cultivada en España está ocupada por cultivos de regadío, lo que supone un 55% del producto total [1]. Esta diferencia en la producción se debe a que la agricultura de regadío permite reducir las posibles faltas de agua por la variabilidad meteorológica, obligando a regular y movilizar grandes cantidades de la misma.

El principal problema de los sistemas de riego no solo es la gran demanda de agua, sino también la baja eficiencia en su conducción y distribución, causado por la antigüedad de la mayoría de infraestructuras y por su gestión. Las pérdidas que provoca la baja eficiencia son debidas al transporte y la distribución en un tercio de las pérdidas totales. Otro tercio se pierde en la aplicación sobre la parcela y el resto se consume en la evapotranspiración de las plantas [2]. La modernización y la gestión eficiente del agua de riego permiten poder realizar un uso sostenible de los recursos hídricos y una mejora en el abastecimiento de agua con niveles de calidad, cantidad y presión adecuados.

La agricultura de regadío consume casi el 70% del agua del país lo que ha creado una apuesta de la Administración pública por su ahorro, invirtiendo en modernizar regadíos con el objetivo de ahorrar recursos [3]. El planteamiento inicial de la Administración en relación con las modernizaciones como vía de ahorro de agua se ha basado en generalizar ciertas premisas, siendo las más importantes el cambio en la aplicación del agua al cultivo. De esta manera se pretende reducir su consumo dentro de la parcela de regadío y reducir las pérdidas en el sistema antes de que el agua llegue al cultivo, derivando en un aumento de su disponibilidad para la cuenca hidrográfica [3].

Gracias a las inversiones de la administración, el regadío ha evolucionado, cambiando del 80% en 1980 al 29% de aplicación de riego superficial. Esta evolución ha permitido regar mediante riego localizado el 47% de la superficie total, siendo anteriormente el 2% únicamente. También el riego por aspersión ha crecido destacadamente hasta el 24% [3].

El presente proyecto tiene por objetivo el elaborar una mejora en dos explotaciones agrícolas, actualmente de secano, que se fundamenta en la modernización y mejora de la eficiencia del riego en ambas fincas con el mayor ahorro energético y de agua posible, en función de las características de las parcelas y las exigencias de los cultivos. Para conocer el sistema que menores gastos producirá, se analizarán diferentes sistemas de riego y energéticos para estas fincas, cuyas principales peculiaridades son la siembra de cereales y la imposibilidad de acceder a la red eléctrica. No solo se realizarán estas comparaciones de datos globales, sino que se calcularán los gastos energéticos derivados de las pérdidas de carga de cada instalación de riego por aspersión. Con el objetivo de reducir las pérdidas, se va a plantear la instalación de sistemas de media o baja presión, teniendo en cuenta no solo el consumo energético, sino también el consumo de agua, la inversión inicial y los costes anuales para cultivos como la cebada o el trigo.

2. Modernización de las dos parcelas de regadío

Las fincas a modernizar no constan de riego a presión actualmente, por lo que se pretende dotar a ambas con agua a presión, para lo cual será necesario crear una instalación de riego que permita distribuir el agua uniformemente. Las fincas en las que se pretende implantar del nuevo sistema de regadío se encuentran en diferentes parajes dentro del término municipal de Sádaba (Zaragoza). Sus características fundamentales son:

- Finca número 1, con una superficie cultivable de 7 hectáreas, corresponde al polígono 4, parcela 45 y se encuentra en el paraje *La Tejería*, cuyas coordenadas geográficas son [4]:
 - Latitud: 42° 15' 21" N.
 - Longitud: 1° 18' 17" O.
 - Altitud: 410 m.
- Finca número 2, cuya superficie cultivable es de 13 hectáreas corresponde al polígono 10, parcelas 30 y 31 y se encuentra en el paraje *La Bardena Baja* de Sádaba, sus coordenadas son [4]:
 - Latitud: 42° 14' 35" N.
 - Longitud: 1° 20' 30" O.
 - Altitud: 378 m.

A continuación, en la Figura 1 se pueden observar las fincas desde una vista aérea [5]. La imagen izquierda corresponde a la finca 1 y la derecha a la finca 2.



Figura 1. Vista aérea de las fincas

La escasez de lluvias en la zona obliga a buscar una solución para aumentar la producción de cereal en estas parcelas. A pesar de que la finca 1 es de regadío, en la actualidad es trabajada como finca de secano debido a la dificultad que implica su

riego superficial. Por otra parte, a pesar de que la finca 2 es de secano, se encuentra dentro del perímetro del sistema de riegos de Bardenas, cuya Comunidad General permite la puesta en riego y modernización de las fincas que se encuentran dentro de su dominio.

Los principales condicionantes a tener en cuenta en la explotación de las parcelas en régimen de regadío son que se utilizará el sistema de trabajo agrícola convencional y, como más importante, la reducción del consumo de energía y agua.

Otros condicionantes a tener en cuenta son los climáticos. Estas fincas se encuentran en la comarca de las Cinco Villas, donde el clima se puede considerar como mediterráneo continental, con temperaturas medias anuales de unos 15°C. En cuanto a la precipitación media anual se sitúa en 368,7 mm, y los vientos que predominan en esta zona son el cierzo y el bochorno. Éste será un dato importante a considerar, ya que la velocidad del viento tiene una gran influencia en la distribución uniforme del agua en la parcela [10].

Las fincas en el momento actual se encuentran dedicadas al cultivo principalmente de cereales, como seguirá ocurriendo tras la modernización, siendo los principales cultivos que se trabajarán la cebada y el trigo. En la finca 1 no existen edificaciones, mientras que en la finca 2 hay una pequeña caseta, que no dificultará la instalación. Ambas parcelas cuentan con acequias de riego que se encuentran en sus márgenes.

3. Análisis de alternativas de instalación

Este análisis tiene como finalidad encontrar la mejor solución al problema que se plantea en el proyecto: la mejora de la producción en dos explotaciones agrícolas reduciendo costes, consumo energético y agua.

3.1. Análisis de sistemas de riego

Para analizar el sistema de riego más idóneo para instalar en las fincas se van a tener en cuenta las características de las parcelas y las exigencias del proyecto, realizando un análisis multicriterio [7] para elegir la que mejor se adapte.

- **Sistema de riego por superficie**, es el sistema más utilizado en la zona por su pequeña inversión y porque no consume energía ya que el riego se realiza por gravedad. A pesar de estas ventajas, existen inconvenientes importantes como la necesidad de mucha mano de obra, una superficie perfectamente nivelada, además de requerir altos consumos de agua.
- **Sistema de riego por goteo**, también llamado riego localizado, es el más moderno. Tiene grandes ventajas como que el riego se realiza a baja presión, reduciendo el consumo de energía. En efecto, al aplicarse junto a la planta, el consumo de agua es menor y se puede realizar la fertilización mediante el riego. Este sistema tiene dos inconvenientes: la alta frecuencia de riego y el más importante, que no está adaptado para cultivos como la cebada o el trigo, los cuales se trabajan en estas fincas.
- **Sistema de pivó**, se encuentra muy extendido y está mayoritariamente adaptado a grandes extensiones de tierra. Proporciona un riego muy uniforme, necesita poca mano de obra y, a pesar de que la instalación se encuentra siempre presente en la parcela, supone obstáculos mínimos para realizar las labores. Sin embargo, con esta técnica suelen existir zonas que se quedan sin trabajar. Además, como el riego se realiza mediante movimiento circular relativamente rápido, la infiltración en el suelo no resulta óptima. Por último, para conseguir el movimiento del pivó, se necesita alto consumo de energía, siendo el coste de su instalación superior al de las instalaciones fijas.
- **Riego por aspersión superficial**. Al suprimir canales y acequias, se aprovecha la totalidad del terreno sin dificultar la mecanización. No necesita nivelación, se evita el movimiento de tierras y puede utilizarse en todos los suelos ya que se puede regular la pluviometría, obteniéndose una uniformidad de distribución de riego muy elevada. Los principales inconvenientes que este sistema plantea son la elevada mano de obra para su instalación y desmontaje. Además, se trata de un método más propenso a apelmazar el suelo, puesto que el golpeo de las gotas sobre la superficie provoca la denominada *costra*.
- **Riego por aspersión total enterrada**. Este sistema tiene unas ventajas e inconvenientes similares a la aspersión superficial, exceptuando que presenta una mano de obra mínima ya que los aspersores se encuentran fijos y la instalación está automatizada. Su principal inconveniente es la dificultad que requiere el trabajo de la finca, debido a que se han de esquivar los aspersores con la maquinaria agrícola,

además de no poder utilizarse máquinas con un tamaño mayor que la distancia entre líneas de aspersión.

Una vez conocidos los posibles sistemas de riego se establecen unos valores base para realizar el análisis multicriterio. Dichos valores se encuentran recogidos en la Tabla 1, en una escala del uno al diez y con una ponderación entre cero y uno, donde un valor más elevado corresponde a una importancia mayor para la dotación de agua y la eficiencia, mientras que para la mano de obra y la inversión el valor es inverso.

	Dotación de agua	Mano de obra	Eficiencia	Inversión	Total
Factor de ponderación	0,5	0,8	0,6	0,8	
Por superficie	4	2	5	8	13
Goteo	9	8	6	5	18,5
Pívor	5	9	6	3	15,7
Aspersión superficial	7	4	7	5	14,9
Aspersión total enterrada	7	8	7	4	17,3

Tabla 1. Análisis multicriterio de los sistemas de riego

A partir de los resultados obtenidos en este análisis, se considera el sistema de aspersión total enterrada como el más favorable para ambas fincas. A pesar de que el riego por goteo presenta una puntuación superior, se ha desestimado porque no es válido para el tipo de cultivos que se trabajan en esta finca.

3.2. Análisis de sistemas energéticos

La necesidad de dotar de agua a presión al sistema de riego pasa por elegir el sistema energético más adecuado para bombear el agua en la instalación. Esta decisión influye en la economía de la explotación, por lo que se estudiarán diferentes alternativas, eligiendo la más adecuada mediante un análisis multicriterio.

- **Energía solar**, no es contaminante, es gratuita después de realizar la inversión inicial y la energía eléctrica generada proporciona un mayor rendimiento al motor. Los mayores problemas son el elevado coste de su instalación, la necesidad de instalar baterías para permitir el funcionamiento durante las horas nocturnas, así como la instalación de una infraestructura para albergar las placas, reduciendo el espacio de cultivo.
- **Energía eléctrica**. Este sistema presenta el inconveniente de que la línea más cercana a las fincas se encuentra a varios kilómetros, por lo que es inviable debido al elevado coste de la creación de la infraestructura.
- **Grupo electrógeno**, entendido como generador de electricidad que alimentará el motor eléctrico. Este sistema no necesita instalación y el valor de la inversión es bajo. En cambio, es muy contaminante y necesita combustible.
- **Motor de riego o motobomba**, alternativa que consiste en un sistema compuesto por un motor de combustión y una bomba de presión. No requiere instalación y

puede desplazarse, además de no requerir una alta inversión inicial. Los inconvenientes que presenta son un rendimiento menor que la energía eléctrica, un mayor mantenimiento que los otros sistemas energéticos, además de una necesidad alta combustible (con la contaminación que esto conlleva).

En la tabla 2 se muestran los criterios establecidos para la elección del sistema energético. Como en el anterior análisis, para cada criterio se proporciona un valor entre uno y diez en función de su importancia, teniendo en cuenta que el valor que se le da al sistema con respecto a la inversión y los costes es inverso a su importancia, al contrario que el medio ambiente.

	Inversión	Costes	Medio Ambiente	Total
Factor de ponderación	0,8	0,7	0,4	
Energía solar	2	9	8	11,1
Energía eléctrica	2	7	6	8,9
Grupo electrógeno	7	6	5	11,8
Motor de riego	9	5	5	12,7

Tabla 2. Análisis multicriterio de los sistemas energéticos

En la elección de este sistema hay que tener en cuenta que la energía eléctrica es inviable y la instalación solar puede generar problemas en las horas nocturnas. Por lo tanto, y a la vista de los resultados de la Tabla 2, se concluye que el motor de riego o motobomba es el sistema más adecuado.

3.3. Selección del marco de riego

Los aspersores se dispondrán en la parcela a una distancia denominada marco de riego, representada por dos cifras. La primera indica la distancia entre aspersores dentro de la línea (L) mientras que la segunda es la distancia entre líneas de aspersores (L'). Los marcos más utilizados en España son, en metros, 12x12, 12x15, 12x18, 15x15 y 18x18, así como 15x12, 15x18 y 21x18 triangular [8].

El espaciamiento entre aspersores es uno de los aspectos fundamentales en el diseño del sistema, ya que un aspersor no distribuye el agua de manera totalmente uniforme, de ahí que sea necesario solapar una parte de las áreas regadas para lograr mayor uniformidad de reparto de agua. El solape entre las áreas regadas por los aspersores se calcula según la velocidad media del viento, pues es el factor que más influye en la uniformidad del riego por aspersión [8]:

% de reducción	Velocidad viento (m/s)
10-12	3-6
18-20	7-9
20-30	>10

Tabla 3. Porcentaje de espaciamiento por la velocidad del viento

Además, se debe de tener en cuenta también el radio efectivo del aspersor, que será del 95% para aspersores de dos boquillas y del 90% para los de una boquilla. Para seleccionar el porcentaje de reducción que se debe aplicar se analiza el viento en la zona, con los datos obtenidos en [9], que se reflejan en la figura 2.

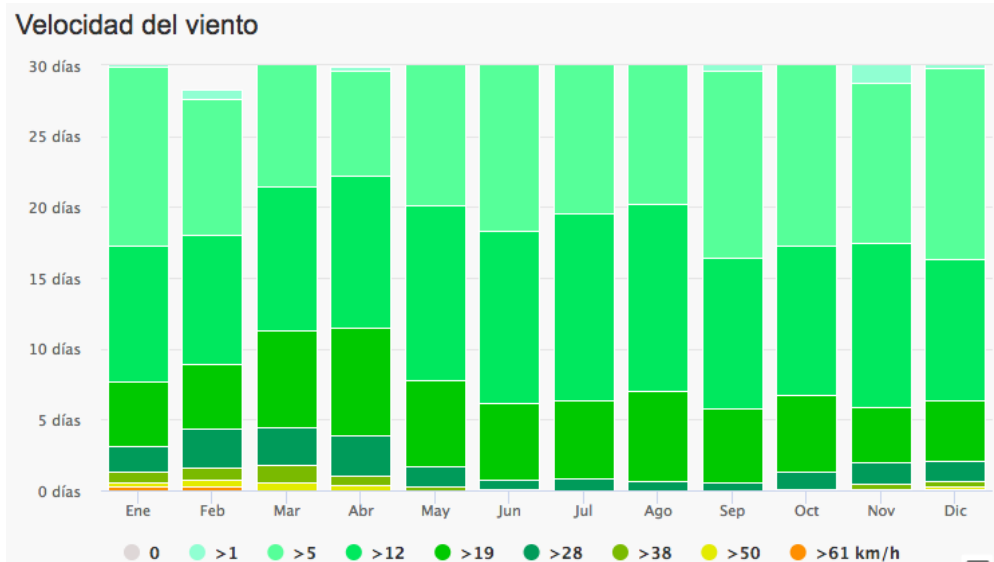


Figura 2. Gráfica de la velocidad de viento anual en las Cinco Villas

Como se puede observar, la frecuencia del número de días en los que el viento sopla entre 12 m/s y 28 m/s es alta durante la mayoría de los meses, teniendo una media mensual de 17 días (más de la mitad), por lo que el porcentaje de reducción que se aplicará será del 20%.

El marco de riego elegido es triangular, el cual permite intercambiar la distancia entre aspersores dentro de la línea con la distancia entre líneas. Según los datos de vientos, se eligen los siguientes marcos de riego:

- Media presión: 18×15 .
- Baja presión: 15×12 .

3.4. Elección de aspersores

Para elegir correctamente el aspersor debemos de tener en cuenta que su pluviometría debe de ser inferior a la permeabilidad del suelo. En este caso nos encontramos en unos terrenos arcillo-limosos, cuya permeabilidad ($P_m = \frac{q_a}{A_r}$) varía entre $2,6$ y $6,7 \text{ mm/h}$. Para calcular el máximo caudal que deberán aportar los aspersores, se utiliza el rango más restrictivo de permeabilidad junto con la siguiente fórmula:

$$q_a = P_m A_r \quad (1)$$

donde $A_r = L L'$ es el marco de riego en m^2 . Usando los valores aportados en el apartado anterior, se obtienen los siguientes caudales para la media (q_{amp}) y baja

presión (q_{abp})

$$q_{amp} = 6,7 \cdot (18 \cdot 15) = 1809 \text{ l/h} \quad (1)$$

$$q_{abp} = 6,7 \cdot (15 \cdot 12) = 1206 \text{ l/h} \quad (1)$$

Además, será necesario tener en cuenta el radio efectivo (R_e) de los aspersores, puesto que, a partir de los datos de viento de la Figura 2 y de los porcentajes de espaciamento indicados en la tabla 3, se deberá cumplir:

$$\text{Distancia entre laterales} \leq R_e \quad (2)$$

$$\text{Distancia entre aspersores} \leq 1,2 R_e \quad (3)$$

A partir de estos condicionantes, los aspersores elegidos son:

	Tipo	Modelo	Boquilla (mm)	Presión (Bar)	Caudal (l/h)	Radio (m)	Marco de riego (m)
Media presión	Circular	VYR-36	4,4x2,4	3,5	1790	15	18x15
	Sectorial	VYR-66	5/32"	3,5	1140	14	18x15
Baja presión	Circular	VYR-4000 ROTEC	4,8	2	1200	12,5	15x12
	Sectorial	VYR-67	3,5x2,6	2	1010	13	15x12

Tabla 4. Aspersores elegidos

4. Sectorización

Se denomina sector de riego a la superficie regada de manera conjunta que está controlada por una válvula. Cada uno de los sectores está constituido por una tubería secundaria, los ramales porta aspersores y la mencionada válvula hidráulica. La tubería secundaria de cada sector proviene de una tubería principal, la cual recorre toda la finca.

El objetivo es establecer un sistema que garantice que la presión al inicio de la instalación sea suficiente para el correcto funcionamiento del aspersor más desfavorable. Para realizar la sectorización se ha utilizado el archivo en AutoCad de la finca obtenido directamente de la sede electrónica del catastro [6]. El proceso que se ha seguido para poder colocar los aspersores de riego con AutoCad se detalla en el anexo 2.

Como la parcela no es un rectángulo perfecto, se producen variaciones de distanciamiento entre algunos aspersores circulares y sectoriales. Para solucionar las variaciones de distanciamiento se ha tomado una distancia de 20 m como medida máxima entre un aspersor sectorial y uno circular en aspersores de media presión y 18 m en aspersores de baja presión. En las zonas donde se ha producido un distanciamiento superior a dichos valores, se ha colocado un aspersor circular en una distancia media para poder cubrir la falta de pluviometría.

4.1. Sectorización media presión de la finca 1

Una vez colocados todos los aspersores, se ha realizado la sectorización. Para determinar el número de sectores que deberá tener la finca, se divide un consumo medio del sector, unos 70.000 l/h, entre el caudal de un aspersor circular, para conocer los aspersores por sector mediante la siguiente ecuación [8]:

$$N^{\circ} \text{ de asp. por sector} = \frac{70.000}{1790} = 39,1 \approx 40 \text{ aspersores} \quad (4)$$

A continuación, con el objetivo de determinar el número de sectores que deberá tener la finca, se divide el número total de aspersores entre los aspersores por sector:

Aspersores circulares	231
Aspersores sectoriales	82
Aspersores totales	313

Tabla 5. Número de aspersores de media presión en la finca 1

Conociendo el número de aspersores totales, se calculan los sectores que tendrá la finca mediante la siguiente situación:

$$N^{\circ} \text{ de sectores} = \frac{313}{40} = 7,8 \approx 8 \text{ sectores} \quad (5)$$

El resultado en planta se puede observar en el plano 1 del anexo 2. En la Figura 4 se muestran los caudales obtenidos por cada uno de los sectores.

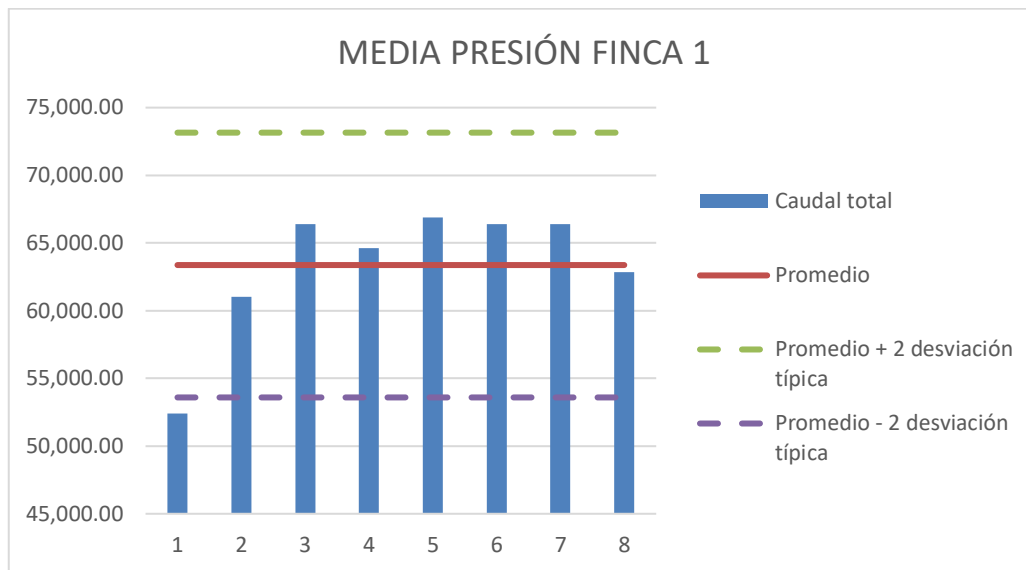


Figura 3. Caudales por sector de media presión en la finca 1

A la vista de la Figura 3, todos los sectores suministran un caudal promedio de 63.371,25 l/h, con una diferencia que no supera los 3.518,75 l/h (un 5,55% del caudal medio), a excepción del sector 1, que suministra 52.410 l/h, un 17,3% menos que el valor medio. Mediante la desviación típica se puede afirmar que todos sectores cumplen con la máxima diferencia respecto del valor medio a excepción del sector uno. Esta mayor diferencia no supone un problema, ya que la necesidad es menor a la media y la motobomba asignada no sufrirá problemas por ello.

4.2. Sectorización media presión finca 2

Siguiendo los cálculos expuestos para la finca 1 y, como el sistema a analizar es el sistema de media presión, se crearán sectores de 40 aspersores. En esta finca se han colocado los siguientes aspersores:

Aspersores circulares	483
Aspersores sectoriales	129
Aspersores totales	612

Tabla 6. Número de aspersores de media presión en la finca 2

Nuevamente calculamos cuántos sectores hemos de crear:

$$N^{\circ} \text{ de sectores} = \frac{612}{40} = 15,3 \approx 15 \text{ sectores} \quad (5)$$

La sectorización se muestra en el plano 2, en el anexo 2. En la Figura 4 se observan los caudales obtenidos en este caso:

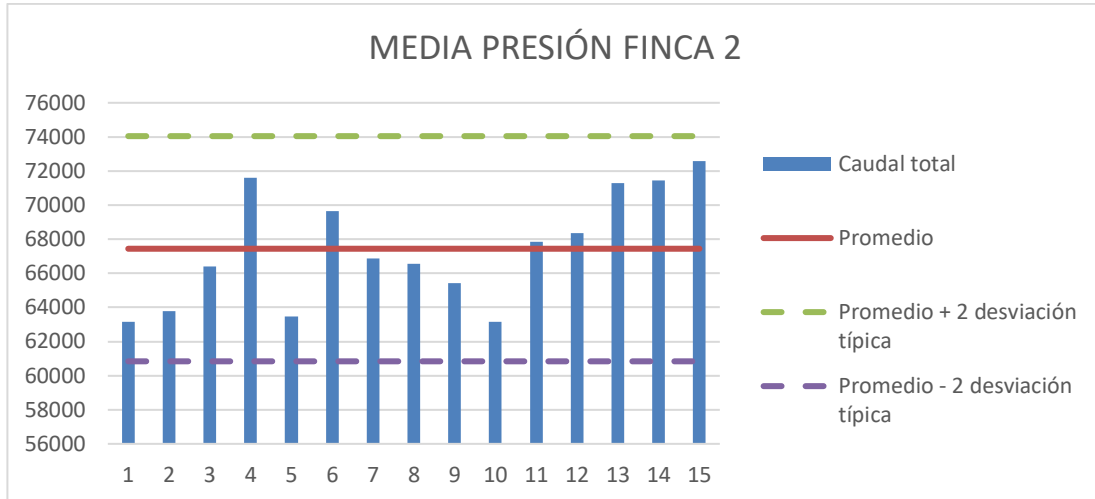


Figura 4. Caudales por sector de baja presión en la finca 2

El caudal promedio de los sectores en esta finca es 67.442 l/h , produciéndose una mayor variación de caudal de hasta 5.158 l/h , un $7,65\%$. Sin embargo, no se produce un pico mayor como ocurre en la finca 1 para este sistema de riego. En este caso todos los sectores se encuentran dentro del rango de dos veces la desviación típica que es de $6.602,65 \text{ l/h}$.

4.3. Sectorización baja presión finca 1

Para realizar el cálculo en el sistema de baja presión se estima nuevamente un caudal medio de 70.000 l/h . En este caso el caudal de los aspersores circulares es de 1200 l/h , por lo que aplicando la ecuación (1) se conocerá el número de aspersores por sector:

$$N^{\circ} \text{ de asp. por sector} = \frac{70.000}{1.200} = 58,3 \approx 60 \text{ aspersores} \quad (4)$$

A continuación, para determinar el número de sectores, se debe de conocer el total de aspersores instalados en la finca:

Aspersores circulares	350
Aspersores sectoriales	97
Aspersores totales	447

Tabla 7. Número de aspersores de baja presión en la finca 1

Conocido el total de aspersores se aplica la ecuación:

$$N^{\circ} \text{ de sectores} = \frac{447}{60} = 7,4 \approx 7 \text{ sectores} \quad (5)$$

La distribución de los sectores se encuentra en el plano 3 en el anexo 2. En la figura 5 se observan los caudales obtenidos en cada sector:

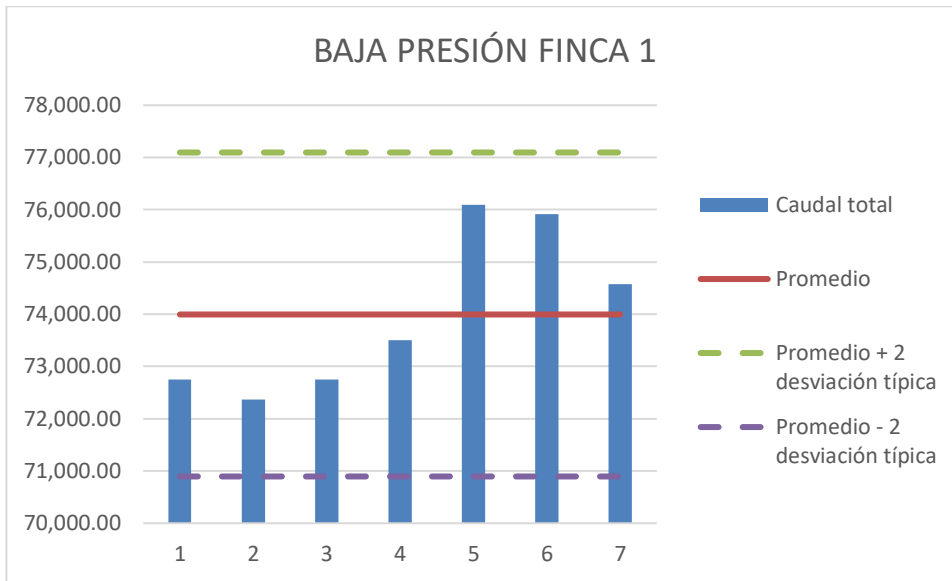


Figura 5. Caudales por sector de baja presión en la finca 1

En el sistema de baja presión en la finca 1 existe un caudal promedio de $73.995,71 \text{ l/h}$, con una variabilidad máxima de $2.104,28 \text{ l/h}$, un $2,84\%$, menos que con el sistema de media presión en esta misma finca, encontrándose más alejado este caudal del máximo permitido por dos veces desviación típica ($3.100,15 \text{ l/h}$). Por lo tanto, la variación de la dosis suministrada por la motobomba no deberá ser muy amplia.

4.4. Sectorización baja presión finca 2

Finalmente, para realizar esta sectorización se tiene en cuenta que los sectores tendrán 60 aspersores como el caso anterior, siendo el total de aspersores en la finca:

Aspersores circulares	686
Aspersores sectoriales	162
Aspersores totales	848

Tabla 8. Número de aspersores de baja presión en la finca 2

Para conocer el número de sectores que deberá tener la finca utilizamos la siguiente ecuación:

$$N^{\circ} \text{ de sectores} = \frac{848}{60} = 14,1 \approx 14 \text{ sectores} \quad (5)$$

La sectorización definitiva de la finca 2 con el sistema de baja presión se muestra en el plano 4 en el anexo 2. Con esos datos, se han obtenido los caudales de consumo para cada uno de los sectores, reflejados en la Figura 6.

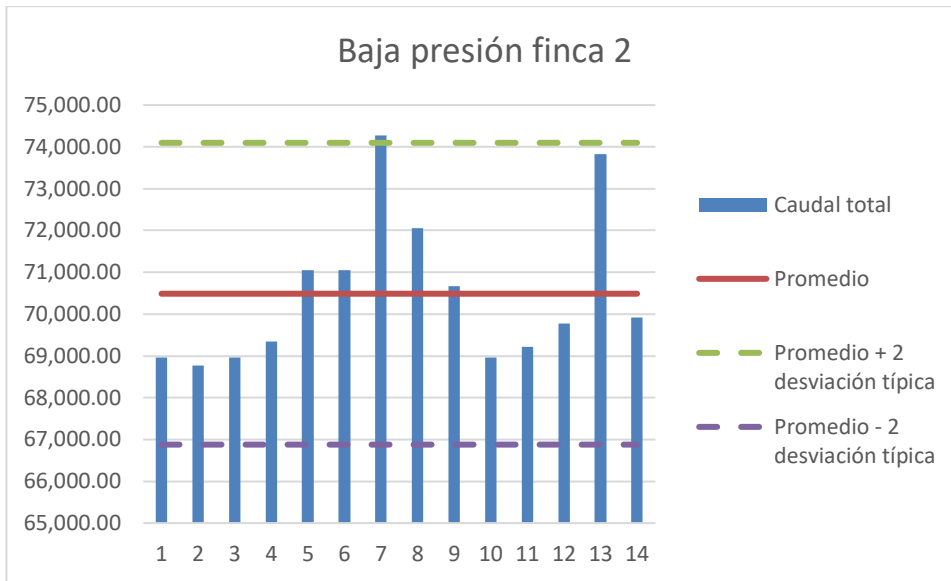


Figura 6. Caudales por sector de baja presión en la finca 2

A diferencia del sistema de media presión en esta finca la variación de caudal se reduce hasta un máximo del 5,37%, 3.782,86 l/h, siendo el caudal medio de 70.487,14 l/h. La máxima diferencia de caudal se produce en el sector 7, superando el máximo margen otorgado por dos veces la desviación típica (cuyo valor es de 3.609,85 l/h.). Para solventar este problema y que el caudal alcance 74.270 l/h se deberán aumentar las revoluciones de funcionamiento de la motobomba, práctica habitual con este tipo de sistemas eléctricos.

Finalmente, se puede observar en la figura 8 la comparativa entre los consumos medios de agua de los dos sistemas en cada finca.

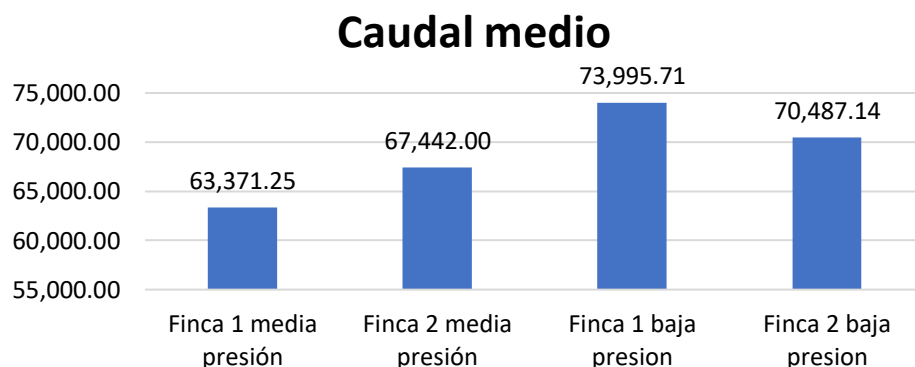


Figura 7. Comparación de caudales medios de cada sistema y finca

Se observa que en la finca 1 el caudal promedio es inferior en la instalación de media presión que en la de baja presión. Esto se produce debido al número de

aspersores instalados por sector y a la forma de la finca (que ha obligado a crearlos de mayor tamaño que el estimado a pesar de que los aspersores instalados suministran menos caudal). En cambio, en la finca 2, el consumo medio disminuye en el sistema de baja presión.

5. Modelización de las tuberías de riego

5.1. Elección de materiales

Los materiales utilizados en la red de distribución serán polietileno de alta densidad (PEAD) y PVC. El primero presenta la ventaja de ser flexible sin perder sección útil en las curvas, facilitando la adaptabilidad al terreno y se utilizará para los porta-aspersores mientras que el PVC se utilizará para las tuberías secundarias y la general. El funcionamiento hidráulico de este tipo de material presenta coeficientes de fricción bajos, reduciendo así las pérdidas de carga [7].

La presión máxima que encontraremos será de 58,44 metros de columna de agua (m.c.a.) Para las tuberías principales se eligen tuberías de PVC con una presión nominal de 10 Bar; para las tuberías secundarias se elige PVC de 6 Bar; y para las porta-aspersores de PEAD de 10 Bar.

5.2. Cálculo de los diámetros de las tuberías

El diámetro de las tuberías se obtendrá según el caudal que transportan. En primer lugar, se fija la velocidad máxima del agua, que será de 1,6 m/s en las tuberías principales y secundarias y de 2 m/s en las tuberías porta-aspersores [7] para obtener un diámetro de predimensionado mediante la siguiente ecuación:

$$Q = V S = V \frac{D^2 \pi}{4} \rightarrow D = \sqrt{\frac{Q 4}{V \pi}} \quad (6)$$

siendo:

- Q el caudal que circula por la tubería en m^3/s .
- V la velocidad del agua en el interior de la tubería en m/s .
- A la sección interna de la tubería en m^2 .
- D el diámetro de la tubería en m.

Las tuberías que se utilizarán serán las siguientes:

Uso	Material	D_e (mm)	D_e (mm)	Presión nominal (mca)
Porta-aspersores	PEAD	32	28	100
Tubería secundaria	PVC	63	59,2	100
	PVC	75	70,6	60
	PVC	90	86,7	60
	PVC	110	103,6	60
Tubería principal	PVC	140	131,7	100

Tabla 9. Tipos de tuberías

5.3. Cálculo de las pérdidas de carga

El principal objetivo es lograr que la dosis de agua aportada por los aspersores sea lo más uniforme posible. Para ello se debe conseguir la menor variación de presión entre los aspersores que se encuentren en un mismo ramal. La variación de presión deberá ser menor del 20% de la presión de trabajo de los aspersores, por lo que las pérdidas de carga admisibles serán:

- Media presión:

$$hr \text{ admisible} = 0,2 P_t = 0,2 \cdot 3,5 = 0,7 \text{ Bar} = 7 \text{ m. c. a.} \quad (7)$$

- Baja presión:

$$hr \text{ admisible} = 0,2 P_t = 0,2 \cdot 2 = 0,4 \text{ Bar} = 4 \text{ m. c. a.} \quad (8)$$

siendo P_t la presión de trabajo de un aspersor. Para calcular las pérdidas de carga, el tipo de tubería es un factor importante ya que las ecuaciones de cálculo varían según el material. Las pérdidas de carga en el ramal porta-aspersores se determinarán mediante la fórmula de Blasius [7], comprendidas con un número de Reynolds entre 3000 y 100000. Por lo tanto, y previo al cálculo de las pérdidas, es necesario calcular el número de Reynolds para comprobar que la fórmula es válida y precisa.

$$Re = \frac{v D}{\vartheta} \quad (9)$$

donde:

- Re es el número de Reynolds (adimensional)
- ϑ es la viscosidad cinemática del agua a 18°C ($1,136 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$)

Además es necesario conocer la velocidad del agua dentro de la tubería mediante la siguiente fórmula:

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{Q 4}{D^2 \pi} \quad (10)$$

Se calcula el número de Reynolds para la situación más desfavorable, que es cuando la tubería alimenta a dos aspersores circulares (para media y baja presión)

- Media presión:

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{Q 4}{D^2 \pi} = \frac{0,000994 \cdot 4}{0,028^2 \cdot \pi} = 1,61 \text{ m/s} \quad (10)$$

$$Re = \frac{v D}{\vartheta} = \frac{1,61 \cdot 0,028}{1,136 \cdot 10^{-6}} = 39.683,1 \quad (9)$$

- Baja presión:

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{Q 4}{D^2 \pi} = \frac{0,000667 \cdot 4}{0,028^2 \cdot \pi} = 1,08 \text{ m/s} \quad (10)$$

$$Re = \frac{vD}{\nu} = \frac{1,08 \cdot 0,028}{1,136 \cdot 10^{-6}} = 26.619,72 \quad (9)$$

Las pérdidas de carga singulares se estimarán en un 15% de las pérdidas de carga continuas [7]. Por lo tanto, para simplificar la fórmula, se elige una longitud ficticia (L_f) equivalente a un 15% de la longitud del ramal porta-aspersores (L). Por lo tanto, las pérdidas de carga totales en el ramal porta-aspersores se expresarán [7]:

$$hr = 0,473 \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} (L + L_f) \quad (11)$$

Se debe de cumplir que hr (11) $\leq hr$ admisible. Todas las pérdidas en el ramal porta-aspersores cumplen con esta condición como se refleja en el anexo 3.

Las tuberías secundarias serán de PVC, por lo que en este caso la fórmula más adecuada para este cálculo es la de Veronesse-Datei [7]. A diferencia de las pérdidas de carga en los ramales, la longitud ficticia es el 10% de la longitud real de la tubería [7]. De este modo, las pérdidas de carga totales quedarán [7]:

$$hr = \frac{0,00092}{D^{4,8}} Q^{1,8} (L + L_f) \quad (12)$$

Para la tubería principal, las pérdidas de carga se calcularán de manera análoga a las tuberías secundarias, usando la fórmula (12).

Las pérdidas de carga más desfavorables en cada finca se muestran en la Tabla 10, dependiendo del sistema de riego.

Sistema de riego	Finca 1 media presión	Finca 1 baja presión	Finca 2 media presión	Finca 2 baja presión
Pérdidas de carga (m.c.a.)	33,1	16,22	58,44	44,52

Tabla 10. Pérdidas de carga totales de cada sistema y finca

Con los resultados obtenidos se puede concluir que las pérdidas de carga obtenidas en ambas fincas son menores si se instala el sistema de media presión. Esto se debe a que los aspersores de baja presión trabajan con 15 m.c.a. menos que los de media presión. La diferencia en la finca 2 entre ambos sistemas de riego es mayor que en la finca 1 debido a que, a pesar de reducirse la presión necesaria para el funcionamiento de los aspersores, la distancia respecto de la motobomba introduce pérdidas por fricción que compensan dicha reducción.

6. Resultados

6.1. Cálculos hídricos

El cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos se detalla en este apartado. Por un lado es necesario considerar que en las fincas se va a sembrar un solo cultivo al año, por lo que no habrá que distinguir diferentes dosis de riego según el sector. Sin embargo, al realizarse rotación de cultivos se deben calcular las necesidades hídricas de los cultivos que se trabajarán en dichas fincas: cebada y trigo.

Las necesidades hídricas de los cultivos están representadas por la suma de la evaporación directa de agua desde el suelo más la transpiración de la planta, considerándose conjuntamente como evapotranspiración. Para calcular la evapotranspiración de cada cultivo (ET_c) es necesario conocer la evapotranspiración de referencia (ET_o) y el coeficiente de cultivo (K_c).

La evapotranspiración de referencia es un parámetro relacionado con el clima que expresa la capacidad que tiene la atmósfera para evaporar el agua [8]. Los datos en la zona se muestran en la Tabla 11 [10]:

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
ET_o (mm/mes)	14	34	79	98	147	191	225	204	128	75	28	14

Tabla 11. ET_o mensual en las Cinco Villas

El coeficiente de cultivo K_c es un valor que incluye las variaciones de la cantidad de agua que es extraída del suelo por las plantas desde la siembra hasta la cosecha. Los valores de los diferentes cultivos se han obtenido del cuadro 12 del documento FAO 56 [8] y se resumen en la siguiente tabla:

Cultivo	K_c inicial	K_c media	K_c final
Cebada	0,3	1,15	0,25
Trigo	0,4	1,15	0,3

Tabla 12. Valores de K_c de la cebada y el trigo

Una vez obtenidos los datos necesarios se utiliza la siguiente fórmula:

$$ET_c = ET_o K_c \quad (13)$$

La cantidad de agua que necesita el cultivo se calcula como la diferencia entre la evapotranspiración del cultivo y la precipitación efectiva, valor que se estima como el 80% de las precipitaciones de la zona en un periodo de tiempo determinado:

$$N_n = ET_c - (P \cdot 0,8) = ET_c - PE \quad (14)$$

Para el diseño agronómico se considera al suelo como un "almacén". El agua que es capaz de almacenar el suelo, y que será utilizada por el cultivo, se denomina

dosis neta. Dicha dosis neta es la cantidad de agua que se aplica para cubrir las necesidades netas del cultivo y se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$D_n = IHD \cdot NAP \cdot z \quad (15)$$

donde:

- IHD es el intervalo de humedad disponible, en mm/m. Se trata de un valor dependiente del tipo de suelo puesto que hace referencia a la cantidad de agua que teóricamente está a disposición para las plantas.
- NAP es el nivel de agotamiento permisible, adimensional, que depende del cultivo. Se define como la cantidad de agua que el suelo debería tener para que la producción sea la máxima posible.
- z es la profundidad radial efectiva de las raíces, en metros.

Una vez calculada la dosis neta, se obtiene la dosis bruta que se debe aplicar en el riego, teniendo en cuenta las pérdidas:

$$D_b = \frac{D_n}{E_a} \quad (16)$$

siendo E_a la eficiencia de aplicación, relacionada con el porcentaje de agua que se pierde cuando se riega. Se suele estimar en un valor alrededor del 80% [8] Finalmente, para calcular los aportes necesarios se multiplica la dosis por el número de riegos que se realicen durante 10 días.

Las Figuras 8 y 9 muestran un resumen sobre las necesidades de los cultivos, el número de riegos por cada diez días y los aportes que recibirán, para cebada y trigo respectivamente. Asimismo, la Tabla 13 contiene la información integrada en la temporada de riegos para cada uno de los cultivos.

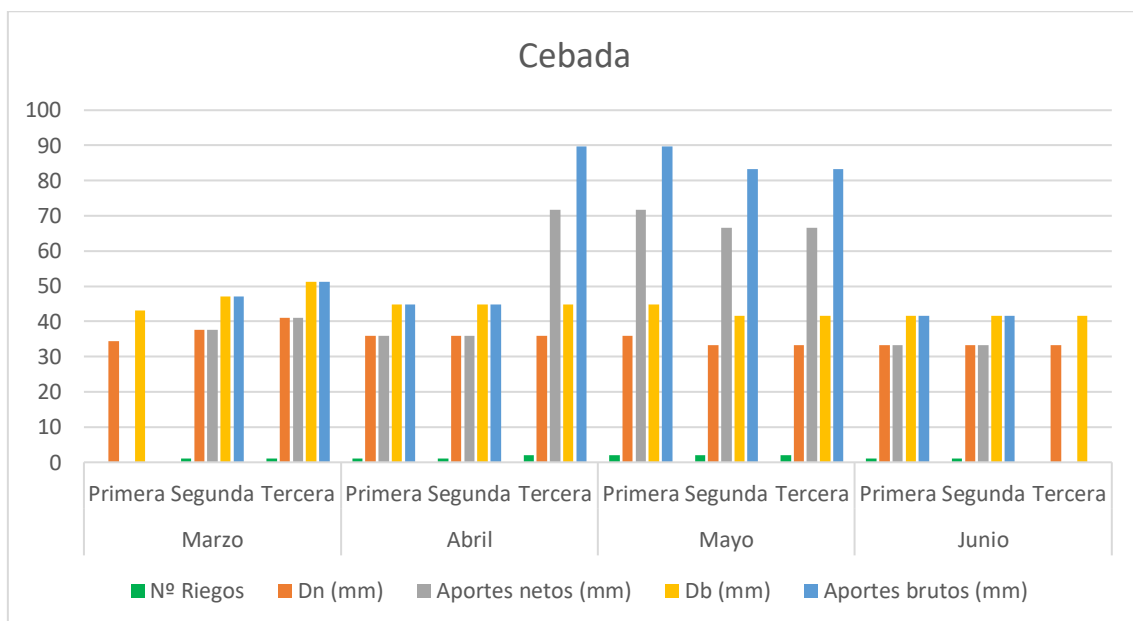


Figura 8. Necesidades y aportes hídricos de la cebada

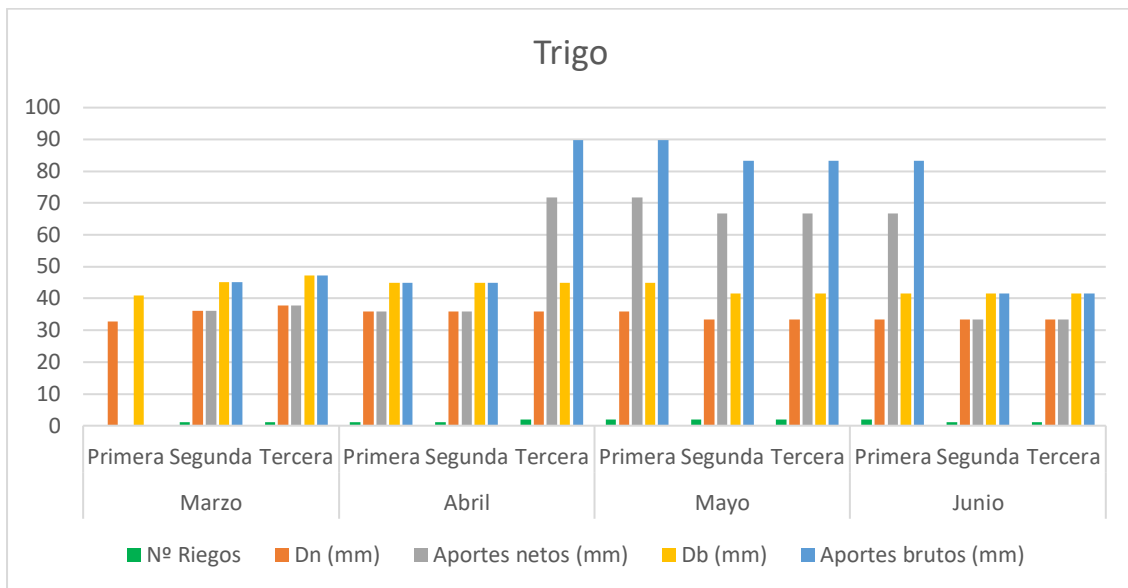


Figura 9. Necesidades y aportes hídricos del trigo

Cultivo	Nº Riegos	D_n (mm)	Aportes netos (mm)	D_b (mm)	Aportes brutos (mm)
Cebada	14	432,22	493,85	529,03	617,31
Trigo	16	383,86	479,83	555,55	694,44

Tabla 13. Resultados hídricos totales de ambos cultivos

A lo largo de la campaña, si el cultivo que se está trabajando, en el trigo se realizarán dos riegos más ya que su ciclo de vida es más largo y su recolección se realiza a partir de la primera decena o los primeros quince días de julio.

Por otra parte, la cosecha de la cebada se realiza los últimos días de junio o incluso los primeros de julio. Aunque en el gráfico de la cebada aparezcan necesidades por parte de la cebada en la última decena de junio, esta necesidad ha sido saciada anteriormente aumentando el número de riegos. Como indica la tabla 13 donde aparecen los resultados finales, las necesidades hídricas de los cultivos están totalmente resueltas porque los aportes superan las necesidades mínimas.

6.2. Estimación de presupuestos y costes

En este apartado se realiza una estimación de los presupuestos y los costes con el objetivo de analizar cuál es el mejor sistema a instalar en cada finca, teniendo en cuenta las diferencias en los consumo. De esta manera se podrán comprobar otras hipótesis, como si la diferencia de tamaño de las parcelas influye en el consumo de energía y agua por hectárea. Los datos detallados se pueden consultar en el anexo 7.

El presupuesto que se refleja en este apartado indica únicamente el presupuesto parcial referido al coste de la instalación de riego. En este presupuesto se

estimaré el coste del replanteo en el terreno de los ramales porta-aspersores, el movimiento de tierras para poder instalar las tuberías y los accesorios mecánicos, el coste de las tuberías, de los accesorios mecánicos y del equipamiento de riego. Las figuras 10 y 11 muestran dichos desgloses presupuestarios para media y baja presión respectivamente en cada una de las fincas.

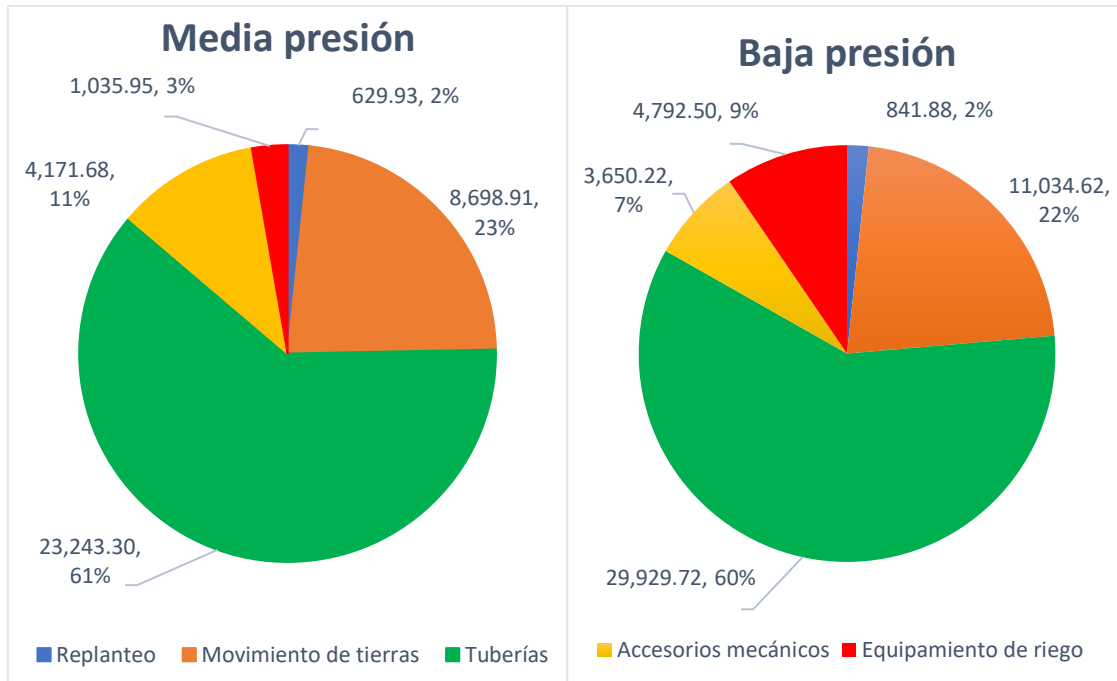


Figura 10. Desglose de los presupuestos de la finca 1

En la tabla 14 se encuentran los presupuestos totales de la finca 1 según el sistema de riego instalado.

Media presión		Baja presión	
Total	Total por hectárea	Total	Total por hectárea
37.779,77	5.397,11	48.949,35	6.992,76

Tabla 14. Presupuestos totales de la finca 1

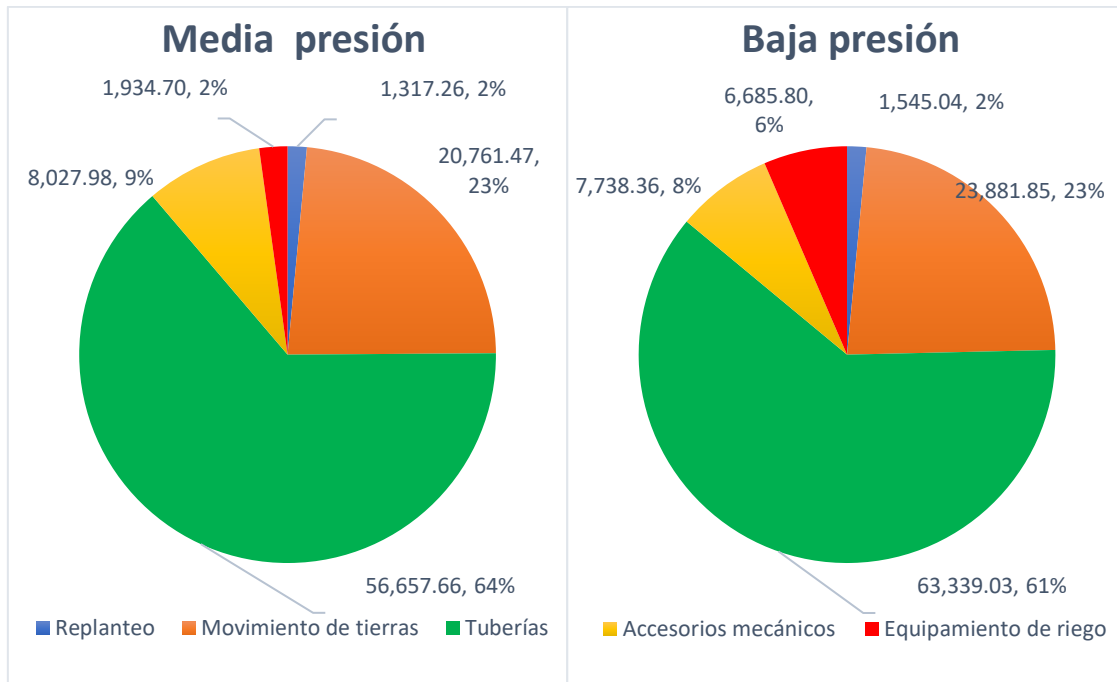


Figura 11. Desglose de los presupuestos de la finca 2

Los presupuestos totales de la finca 2 de media y baja presión se incluyen en la tabla 15.

Media presión		Baja presión	
Total	Total por hectárea	Total	Total por hectárea
88.699,07	6.823	103.190,07	7.937,70

Tabla 15. Presupuestos totales de la finca 2

La figura 12 refleja el presupuesto total y total por hectárea de cada una de las opciones para cada finca, de manera que se puede obtener una comparativa visual inmediata de cómo influye la instalación de cada sistema en cada una de las fincas. Se observa que el tamaño de la finca crea un aumento del presupuesto total. Sin embargo, ese incremento no es proporcional en el coste por hectárea.

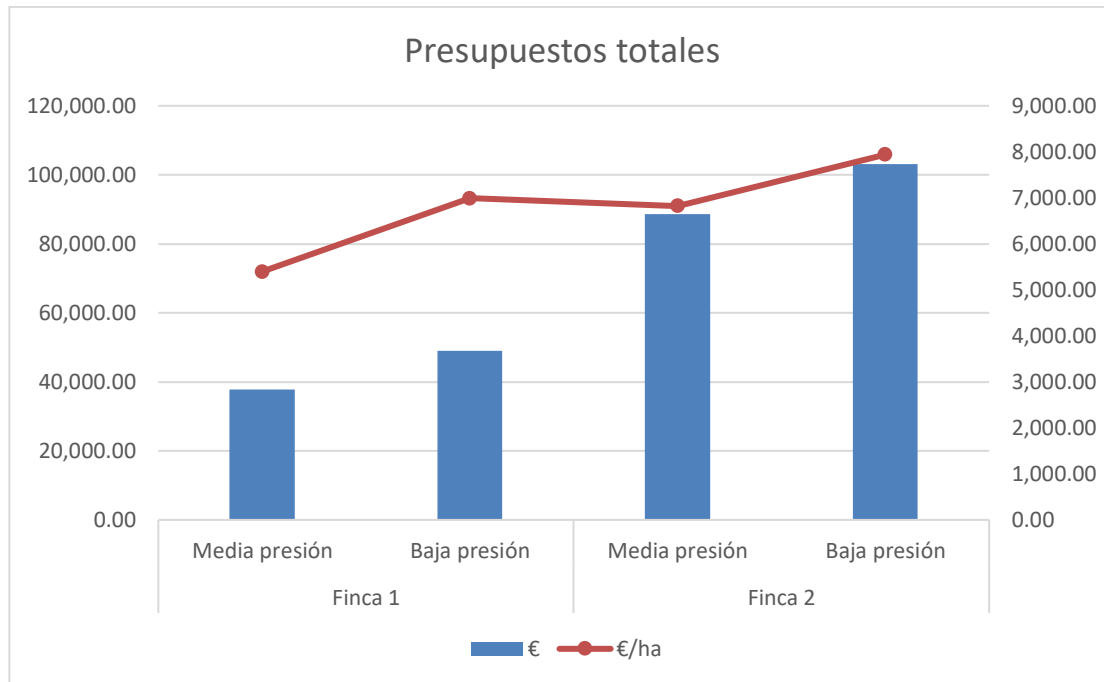


Figura 12. Gráfico comparativo de los presupuestos totales

El presupuesto total de la finca 1 es inferior en ambos sistemas que el de la finca 2 por la diferencia de tamaño de las fincas, ya que la finca 2 necesita más trabajo, materiales y accesorios. En cuanto el coste por hectárea es inferior en el sistema de media presión en ambas fincas, llegando a ser menor el coste por hectárea en el sistema de media presión en la finca 2 que el de baja en la finca 1. Esto se debe a que en el sistema de baja presión se deben de instalar más aspersores y de mayor coste, lo que implica mayor gasto en el movimiento de tierras y en la cantidad de tuberías que deberán colocarse.

Una vez calculados los presupuestos de las dos fincas y los posibles sistemas de trabajo, se calculan los gastos anuales que producirá cada finca, agrupando por el tipo de cultivo y el modelo de riego para cada una de las fincas. Estos costes se han calculado teniendo en cuenta los gastos por el uso de la motobomba, el consumo de agua y la mano de obra (ver anexos 5 y 6). Dichos gastos se reflejan en la Tabla 16.

		Cebada		Trigo	
		Media presión	Baja presión	Media presión	Baja presión
Coste anual (€)	Finca 1	4.028,79	3.615,71	4.235,04	3.798,25
	Finca 2	7.508,56	7.904,21	7.904,21	7.356,87

Tabla 16. Costes anuales por cultivo según el sistema utilizado en cada finca

Asimismo, se realiza una comparativa del gasto que supondría cada sistema de riego en las fincas para el agricultor. Para ello se estima que la rotación de cultivos será uno-uno, es decir, un año cebada y al siguiente trigo. A este gasto se le suma el equivalente al pago anual del presupuesto inicial según el sistema de riego instalado en cada finca. Todo esto se condensa en la Figura 13.

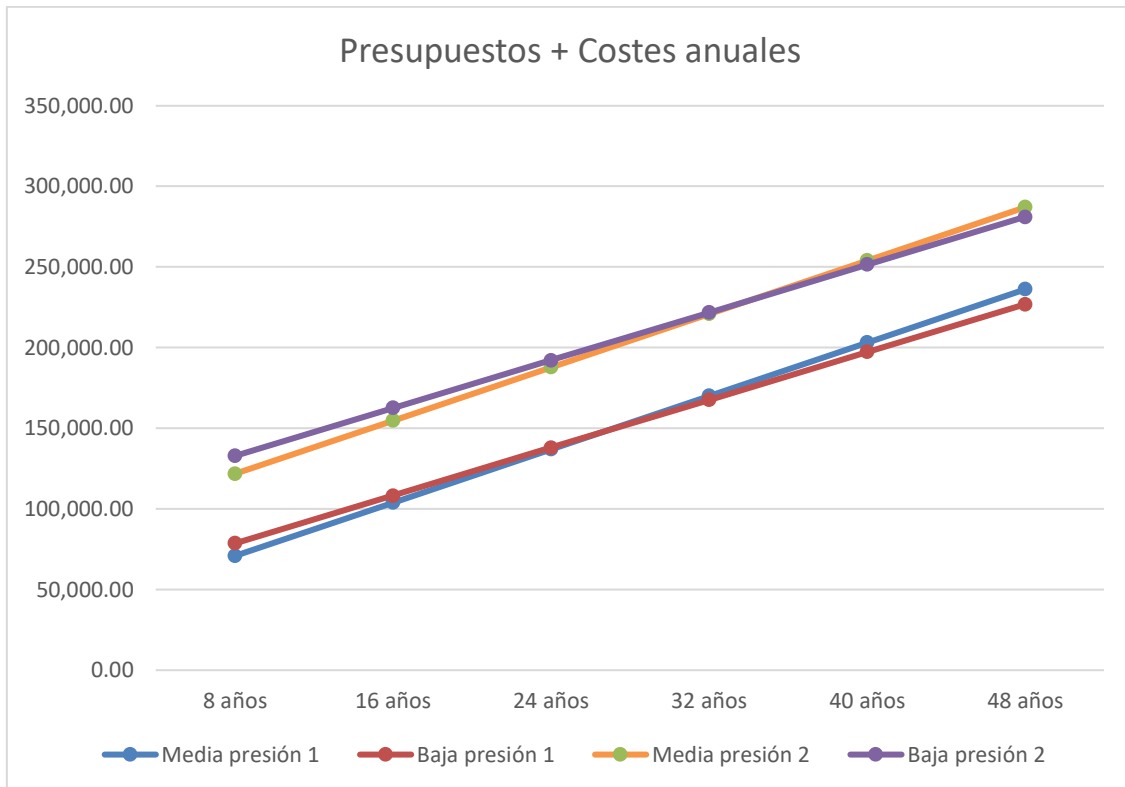


Figura 13. Gráfico de presupuestos más costes anuales

La vida aproximada de un sistema de riego por aspersión se estima en unos 32 años, ya que a partir de entonces comienzan a aparecer defectos y averías por desgaste y fatiga de los elementos que lo componen. Además, también se debe de tener en cuenta la posibilidad del cambio de la normativa por parte de la administración, así como las ayudas que se pueden facilitar al agricultor ante nuevas tecnologías para reducir el impacto sobre el medio ambiente.

Teniendo en cuenta la estimación de vida de 32 años, para la finca 1 se elige la instalación de baja presión, ya que el desembolso realizado durante este tiempo es inferior que si se instalase el sistema de media presión. En cambio, para la finca 2 la instalación que se realizará será la de media presión debido a que el gasto total es inferior, ya que el equivalente al pago anual del presupuesto es superior a los gastos anuales de la finca.

7. Conclusiones

Se ha realizado un estudio comparativo para la instalación de diferentes sistemas de riego en dos fincas agrícolas en Sádaba (Zaragoza), con el objetivo de acometer una modernización de secano a regadío. Los resultados finales, después de todos los análisis, han permitido concluir que el sistema de riego a utilizar será el de riego por aspersión totalmente enterrada de baja presión para la finca 1 y el de riego por aspersión totalmente enterrada de media presión para la finca 2.

Para llegar a estas elecciones, se han analizado diferentes sistemas de riego, eligiendo la aspersión como instalación más adecuada. Este sistema proporciona un riego uniforme de la parcela, permitiendo controlar la presión que se le aporta al agua y la presión de funcionamiento. Además, reduce la utilización de mano de obra y permite aprovechar el total de la superficie de la finca, aunque provoque una pequeña dificultad a la hora de la mecanización con la maquinaria agrícola por las características finales de las calles que forman los aspersores.

También se ha analizado el mejor sistema energético para bombear el agua, diferenciando entre energía solar, el uso de la red eléctrica, un grupo electrógeno o una motobomba. Por la situación de la finca y los horarios en los que es necesario aporte energético se ha elegido la motobomba, descartando finalmente el grupo electrógeno por sus costes.

Se ha realizado la sectorización completa de las dos fincas, incluyendo la posibilidad de instalar sistemas de riego de media y baja presión. Una vez elegidos los marcos de riego y los aspersores, se ha procedido a diseñar los planos para cada uno de los sistemas y fincas, realizando los cálculos necesarios y evaluando los caudales de consumo requeridos. Para poder evaluar la mejor opción se ha realizado un análisis de pérdidas de carga totales, incluyendo las pérdidas generadas por el rozamiento con las tuberías principales, secundarias y en los porta-aspersores. Asimismo se han evaluado las pérdidas generadas debido a la diferencia de altura entre la motobomba y cada sector, evaluando la presión necesaria para el correcto funcionamiento del aspersor.

Por último, se han tenido en cuenta las necesidades hídricas de la cebada y el trigo, cultivos que realizan la rotación. Estos datos permiten conocer los consumos de aguas y las horas necesarias de riego, y resultan necesarios para poder realizar un análisis de los costes anuales, que junto con los presupuestos iniciales se han utilizado para la elección final.

8. Bibliografía

[1] Úrbez Ayneto Izquierdo. “Calibración de una herramienta informática de control de compuertas en un canal para sistemas de riego”. Trabajo Fin de Grado Universidad de Zaragoza (2016).

[2] José Liria. “Canales Hidráulicos. Proyecto, construcción, gestión y modernización”, Colegio Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Madrid. ISBN: 8438001874 (2001).

[3] Julio Berbel, Carlos Gutierrez Martín. “Efectos de la modernización de regdíos en España”. Cajamar Caja Rural. ISBN-13: 978-84-95531-83-4. (2017)

[4] Sádaba, Zaragoza. Google Earth. Junio 2011

[5] Sistema de Información Geográfico de Parcelas Agrícolas (SIGPAC). Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. <http://sigpac.mapa.es/fega/visor/>

[6] Sede Electrónica del Catastro. Ministerio de Hacienda. <https://www1.sedecatastro.gob.es/CYCBienInmueble/OVCBusqueda.aspx>

[7] Alfonso Serna Vian. “Proyecto de diseño e instalación de un sistema de riego de 32 ha de tubería total enterrada en Frómista (Palencia)”. Trabajo de Fin de Grado. Universidad de Valladolid. (2017)

[8] Miguel Ángel Monge Redondo. “Diseño agronómico e hidráulico de riegos agrícolas a presión”. Editorial Agrícola Española. ISBN: 978-84-92928-88-0. (2018)

[9] [Forecast data by meteoblue https://www.meteoblue.com/es/tiempo/pronostico/modelclimate/cinco-villas_esp%C3%B1a_3125019](https://www.meteoblue.com/es/tiempo/pronostico/modelclimate/cinco-villas_esp%C3%B1a_3125019)

[10] Javier Nocito Pérez. “Transformación en regadío de 42 ha en el término municipal de Luna (Zaragoza) orientada a la alimentación de una explotación ovina ya existente de 1300 cabezas”. Trabajo Fin de Carrera. Universidad de Zaragoza. (2017)

ANEXOS





A-1. Aspersores

La marca elegida para los aspersores es Vyrsa, por su amplia gama de modelos que permiten adaptarse a múltiples características de presión y caudal y por su bajo coste. Esta marca ha sido recomendada por la empresa Riegos Ruiz S. L., Alfaro (La Rioja), esta empresa se dedica al diseño e instalación de riegos presurizados.

Para los aspersores circulares de media presión se va a utilizar el modelo VYR-36. Este es un aspersor de medio caudal, fabricado en plástico con conexiones macho o hembra de 3/4". Con dos boquillas, la principal de 25° y la secundaria también de 25° pero con ranura deflectora de cario corto. Estas boquillas pueden ser de latón o de plástico nylon. La pala cuenta con dos contrapesos inyectados para una mejor impulsión de giro.

Es uno de los aspersores más estándar en el riego por aspersión a nivel mundial, y su uso habitual es en marcos de 15x18 m (el marco elegido anteriormente) o 18x18 m trabajando a 3,5 BAR con caudal medio de 1800 l/h. Es muy utilizado en todo tipo de cultivos de extensión: cereal, remolacha, alfalfa, hortalizas, etc, principales cultivos que se trabajan en esta finca.

A partir de los siguientes datos que nos facilitados por el fabricante se ha elegido la boquilla del aspersor.

BOQUILLA	P (Bar)	Q (l/h)	D (m) Radio	Espaciamiento (m) / Precipitación (mm/h)					
				12x12 Rect.	12x15 Rect.	15x15 Rect.	15x15 Triang.	15x18 Triang.	18x18 Rect.
 3,6 x 2,4 mm.	3	1226	14	8,5	6,8	5,4	5,0	3,7	3,8
	3,5	1324	14	9,2	7,4	5,9	5,4	4,0	4,1
	4	1416	14,5	9,8	7,9	6,3	5,8	4,3	4,4
 4,0 x 2,4 mm.	3	1425	15	9,9	7,9	6,3	5,9	4,3	4,4
	3,5	1540	15	10,7	8,6	6,8	6,3	4,7	4,8
	4	1646	15	11,4	9,1	7,1	6,8	5,0	5,1
 4,4 x 2,4 mm.	3	1650	15	12,2	9,9	7,3	7,0	5,8	4,8
	3,5	1790	15	13,1	10,8	7,1	7,5	6,0	5,0
	4	1890	15,5	14,0	11,9	8,3	8,0	7,2	5,4
 4,8 x 3,2 mm.	3	2180	15,5	15,1	12,1	9,7	9,0	6,6	6,7
	3,5	2354	16	16,3	13,1	10,5	9,7	7,1	7,3
	4	2517	16	17,5	14,0	11,2	10,3	7,6	7,8

P: Presión D: Distancia. Radio de alcance
 Q: Caudal en Prueba Real

CU < 85% CU 85-88% CU 88-92% CU > 92%

Fijándonos en el marco elegido de 15x18m buscamos el caudal que suministrará el aspersor para una presión de 3,5 Bar y a partir de esto elige la boquilla que deberá de contener el aspersor para suministrar el caudal más adecuado además de cumplir el radio mínimo de riego. En este caso se elige la boquilla de 4,4x2,4 mm, que suministra un caudal de 1790 l/h y un radio de 15 m.

El modelo elegido para los aspersores circulares de media presión es el VYR-4000 ROTEC. Es un aspersor rotativo de baja presión con toma de 3/4" macho.

Tecnología de freno de silicona. Cuenta con platos de doble y una salida. Además, cuenta con un sistema de ajuste de velocidad de giro con un motor regulable en dos velocidades. Los ángulos de las boquillas son de 25° y 15°. Este aspersor es un modelo de bajo-medio caudal y baja presión apto para explotaciones agrícolas de hasta 15 metros entre laterales y cabezales. Proporciona un coeficiente de uniformidad superior al 90% en marcos de riego de 12x12T, 12x15T y 15x15T.

A partir de los siguientes datos que nos facilita el fabricante se elige la boquilla del aspersor:

BOQUILLA	P (Bar)	Q (l/h)	D (m) Radio	Espaciamiento (m) / Precipitación (mm/h)					
				10X12 T	12X12 R	12X12 T	12X15 R	12X15 T	15X15 T
3,6 mm.	2	570	9,5	4,4	4,0	3,3	3,6	3,0	2,5
	2,5	612	10	4,9	4,4	3,7	4,0	3,3	2,7
	3	672	11	5,2	4,7	3,9	4,3	3,5	3,0
4,0 mm.	2	660	10,5	5,6	5,0	4,2	4,5	3,8	3,1
	2,5	732	11	6,1	5,5	4,6	5,0	4,1	3,4
	3	810	11	6,5	5,9	4,9	5,3	4,4	3,7
4,4 mm.	2	966	11,5	6,8	6,1	5,1	5,5	4,6	3,8
	2,5	1020	12	7,4	6,7	5,6	6,0	5,0	4,2
	3	1128	12	8,0	7,2	6,0	6,5	5,4	4,5
4,8 mm.	2	1200	12,5	7,9	7,1	5,9	6,4	5,3	4,4
	2,5	1368	13	8,7	7,8	6,5	7,0	5,9	4,9
	3	1536	14	9,4	8,5	7,1	7,6	6,4	5,3

P: Presión **D:** Distancia. Radio de alcance
Q: Caudal en Prueba Real















CU < 85% CU 85-88% CU 88-92% CU > 92%

A partir del marco elegido para el sistema de baja presión, de 12x15m, se busca el caudal que nos suministrará el aspersor para una presión de 2 Bar y a partir de esto elegiremos la boquilla que deberá de contener el aspersor para suministrar el caudal más adecuado además de cumplir el radio mínimo de riego. En este caso elegimos la boquilla de 4,8 mm, que nos suministran un caudal de 1200 l/h y un radio de 12,5 m.

El aspersor sectorial de media presión elegido es el VYR-66, que cuenta con dos referencias de conexión 3/4" macho y hembra. Este aspersor está diseñado para trabajar bajo unos rangos de caudal entre 800 y 3270 l/h, a una presión nominal entre 1,75 y 5 BAR y con un alcance de cobertura entre los 12 y 19 metros de diámetro. El aspersor VYR-66 puede trabajar con una o dos boquillas; la boquilla principal tiene 30º grados de inclinación respecto al plano horizontal y la secundaria 11º. Su tiempo medio de rotación es de aproximadamente unos 25 seg. /360 (3 BAR, 4,40x2, 40mm). El uso más común dado a este aspersor agrícola es el riego de cereales o alfalfa.

Este aspersor ofrece dos variables, boquilla radio largo + tapón o boquilla radio largo + boquilla radio corto. Para esta finca se va a elegir el aspersor de boquilla radio largo + tapón.















A partir de los siguientes datos facilitados por el fabricante:

														
	1/8" 3,2 mm.		9/64" 3,6 mm.		5/32" 4,0 mm.		11/64" 4,4 mm.		3/16" 4,8 mm.		13/64" 5,2 mm.		7/32" 5,6 mm.	
Bars	Lit./h.	Ø mts.	Lit./h.	Ø mts.	Lit./h.	Ø mts.	Lit./h.	Ø mts.	Lit./h.	Ø mts.	Lit./h.	Ø mts.	Lit./h.	Ø mts.
2,5	620	26,0	790	26,5	970	27,5	1.160	29,0	1.390	31,0	1.640	31,5	1.720	33,0
3,0	680	26,0	860	26,5	1.050	28	1.270	29,5	1.510	32,0	1.790	32,5	1.880	34,0
3,5	740	26,5	930	27,0	1.140	29,5	1.380	31,0	1.640	33,0	1.930	33,5	2.140	35,0
4,0	790	26,5	1.000	28,0	1.220	29,5	1.470	32,0	1.750	33,5	2.060	34,5	2.240	36,0
4,5	840	27,0	1.060	29,0	1.290	30,0	1.550	32,5	1.860	34,0	2.180	35,0	2.410	36,5
5,0	880	27,50	1.120	29,5	1.360	30,5	1.640	33,0	1.960	34,5	2.290	35,5	2.520	37,5
5,5	930	28,0	1.170	30,0	1.430	31,0	1.720	34,0	2.060	36,0	2.380	36,0	2.640	39,0

Para la presión de 3,5 Bar, como en el aspersor circular, se va a elegir la boquilla de 5/32" y un tapón de 4 mm de diámetro. Esta boquilla proporciona un caudal de 1140 l/h y un radio de 15 m.

En el caso del sistema de baja presión, el modelo para los aspersores sectoriales es el VYR-67, un aspersor sectorial que por su diseño y dinamismo ofrece una perfecta adaptación a un amplio rango de tipos de riego. Se trata de un aspersor de 3/4" fabricado casi íntegramente en plástico a excepción de los muelles, eje y arandelas. Cuenta con dos boquillas de tipo bayoneta fabricadas en plástico y codificadas con diferentes colores para la rápida y sencilla diferenciación de las medidas, cumpliendo los estándares internacionales. Este modelo tiene la opción de ser montado con o sin contrapesos en su pala, dependiendo de la presión de trabajo que se vaya a utilizar.

A diferencia de los aspersores sectoriales de la finca 1 se utiliza el sistema boquilla radio largo + boquilla corta en lugar de boquilla radio largo + tapón. A partir de los datos facilitados por el fabricante elegiremos una boquilla que cumpla con nuestras necesidades.

														
	9/64 x 3/24" 3,6 x 2,6 mm.		5/32 x 3/32" 4,0 x 2,4 mm.		5/32 x 3/24" 4,0 x 2,6 mm.		11/64 x 3/24" 4,4 x 2,6 mm.		3/16 x 1/8" 4,8 x 3,2 mm.		13/64" x 1/8" 5,2 x 3,2 mm.		7/32 x 1/8" 5,6 x 3,2 mm.	
Bars	Lit./h.	Ø mts.	Lit./h.	Ø mts.	Lit./h.	Ø mts.	Lit./h.	Ø mts.	Lit./h.	Ø mts.	Lit./h.	Ø mts.	Lit./h.	Ø mts.
2,0	1.010	26,0	1.205	27	1.230	26,5	1.375	27,5	1.770	29,0	1.980	31,0	2.190	32,5
2,5	1.115	26,0	1.320	27,5	1.390	26,5	1.535	28	2.010	29,5	2.210	32,0	2.460	33,5
3,0	1.220	26,5	1.450	28	1.535	27,0	1.715	29,5	2.230	31,0	2.430	33,0	2.730	34,5
3,5	1.320	26,5	1.560	29,5	1.655	28,0	1.860	29,5	2.375	32,0	2.660	33,5	2.915	35,0
4,0	1.430	27,0	1.670	29,5	1.770	29,0	1.990	30,0	2.550	32,5	2.845	34,0	3.035	35,5
4,5	1.500	27,50	1.770	30,0	1.860	29,5	2.100	30,5	2.730	33,0	3.000	34,5	3.170	36,0

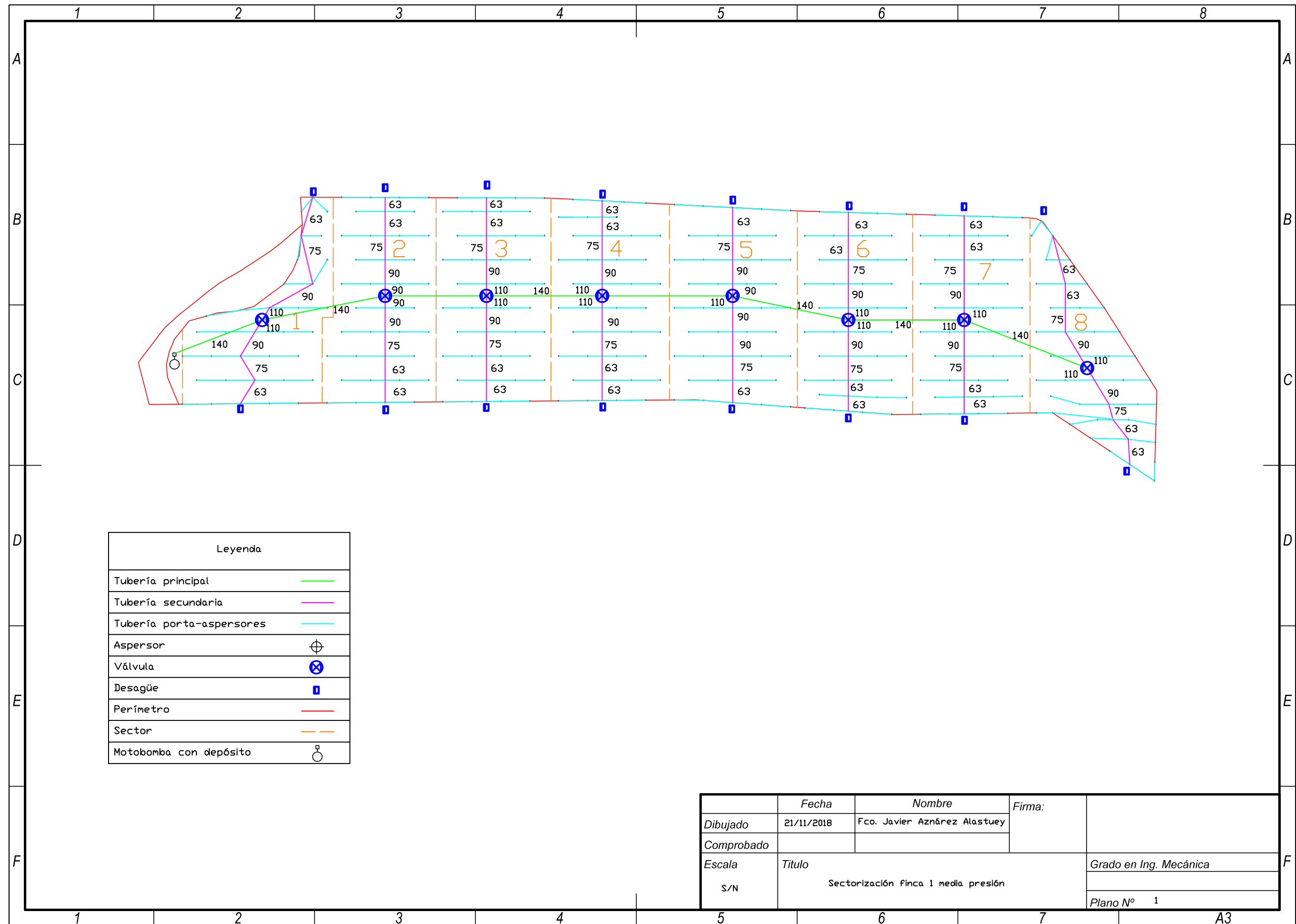
Lo primero que a tener en cuenta es la presión a la que deberá trabajar el aspersor, en este caso a 2 BAR. Para esta presión, la boquilla que proporciona el caudal más adecuado para nuestro sistema de riego es la boquilla 3,5x2,6 mm, que proporcionará un caudal de 1010 l/h con un radio de 13 m.

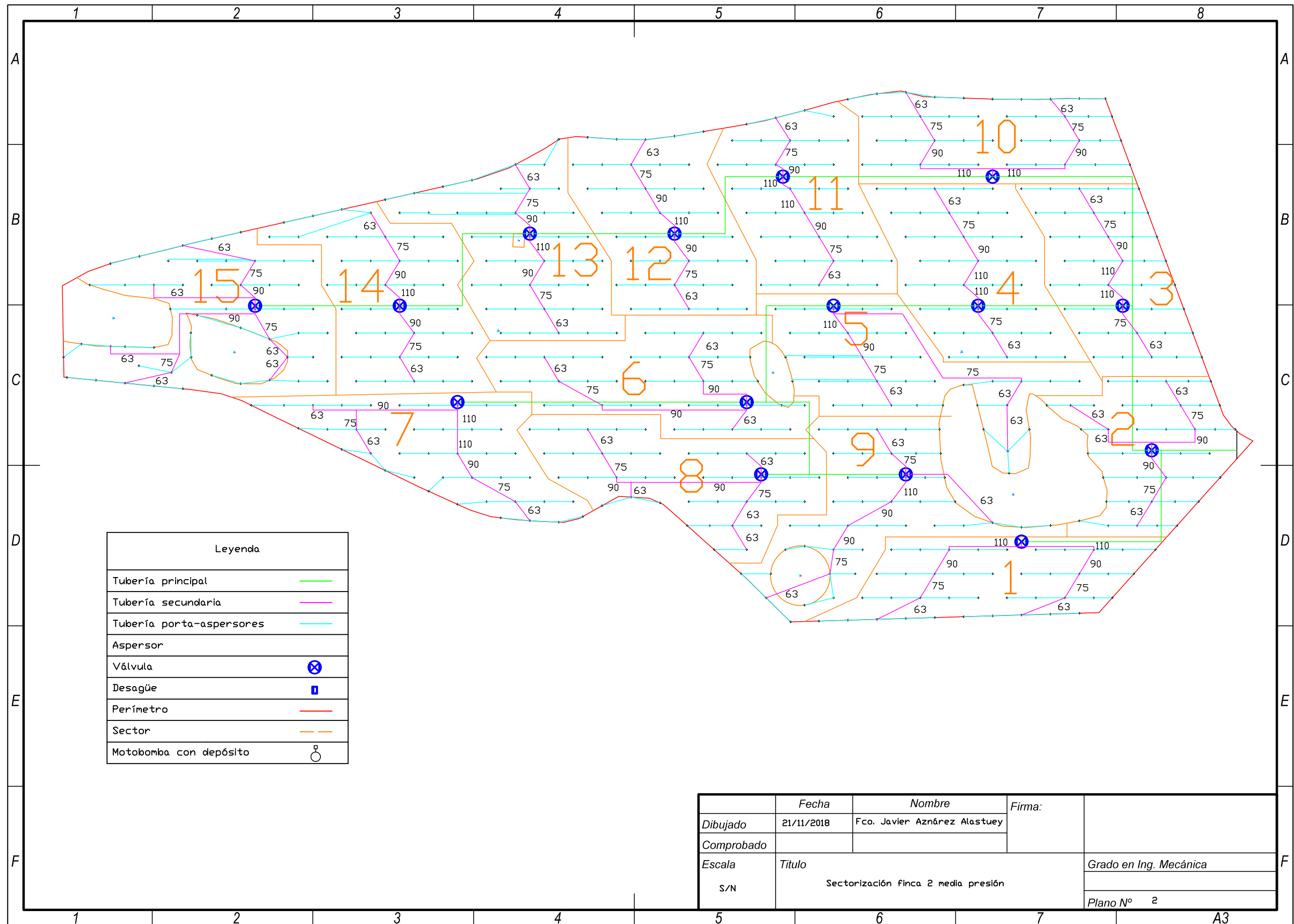
A-2. Sectorización

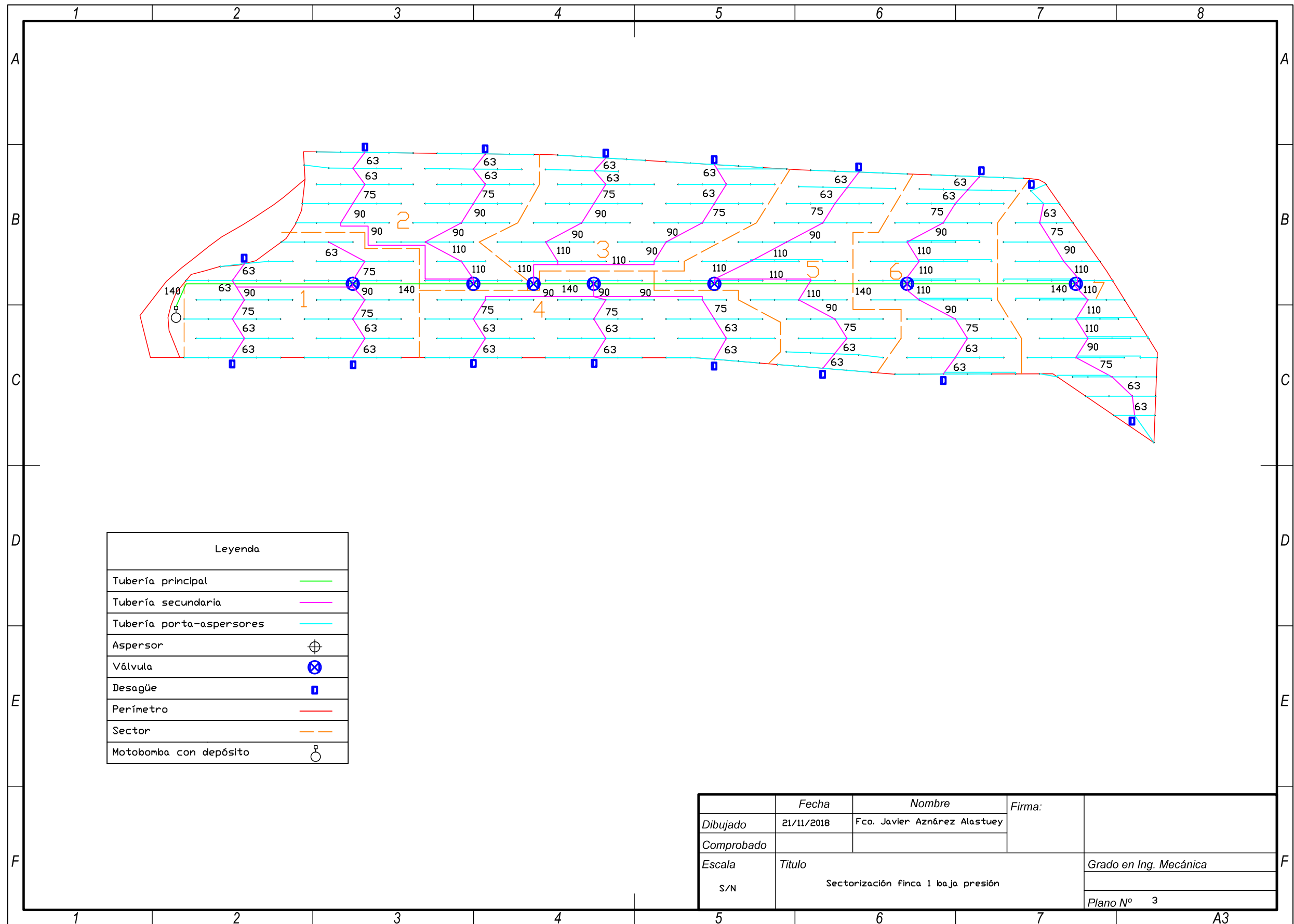
A partir del archivo descargado, se transforma en un bloque el perímetro de la finca (mediante la orden BLOCK) para facilitar el trabajo con él, y se gira (mediante la orden ROTATE) hasta que el largo de la parcela queda paralelo con el eje OX. A continuación, se crea una geometría circular con una cruz dentro que identifica un aspersor y se transforma en bloque nuevamente. A partir del aspersor creado se genera una malla de aspersores (mediante la orden ARRAY), una vez activada esta orden se selecciona el aspersor y se coloca en el punto desde el que se iniciará la malla (una de las esquinas de la finca). Seguidamente el programa pide introducir la distancia entre columnas, en este caso equivale a la distancia entre aspersores de la misma línea, por lo que se introduce el valor L del marco de riego elegido. En el siguiente paso el programa pide introducir la distancia entre filas, pasando a introducir $2L'$. La malla coloca los aspersores en forma rectangular, pero como el marco elegido es a *tresbolillo* se realizará otra. El primer aspersor se coloca a una distancia en dirección OX de $L/2$ y de L' en dirección OY respecto al que ha sido colocado el primero en la anterior malla. Nuevamente se activa la orden ARRAY, se selecciona el aspersor y se realiza el proceso explicado anteriormente. Una vez realizadas ambas mallas se selecciona un aspersor de cada una y se ejecuta la orden EXPLODE para poder trabajar con cada aspersor individualmente y poder modificar la posición de cada uno según interese mediante la orden MOVE.

A continuación, se detalla mediante cuatro planos cómo queda la sectorización y la situación final de los aspersores en cada finca.

- **Plano 1, sectorización media presión finca 1**
- **Plano 2, sectorización media presión finca 2**
- **Plano 3, sectorización baja presión finca 1**
- **Plano 4, sectorización baja presión finca 2**

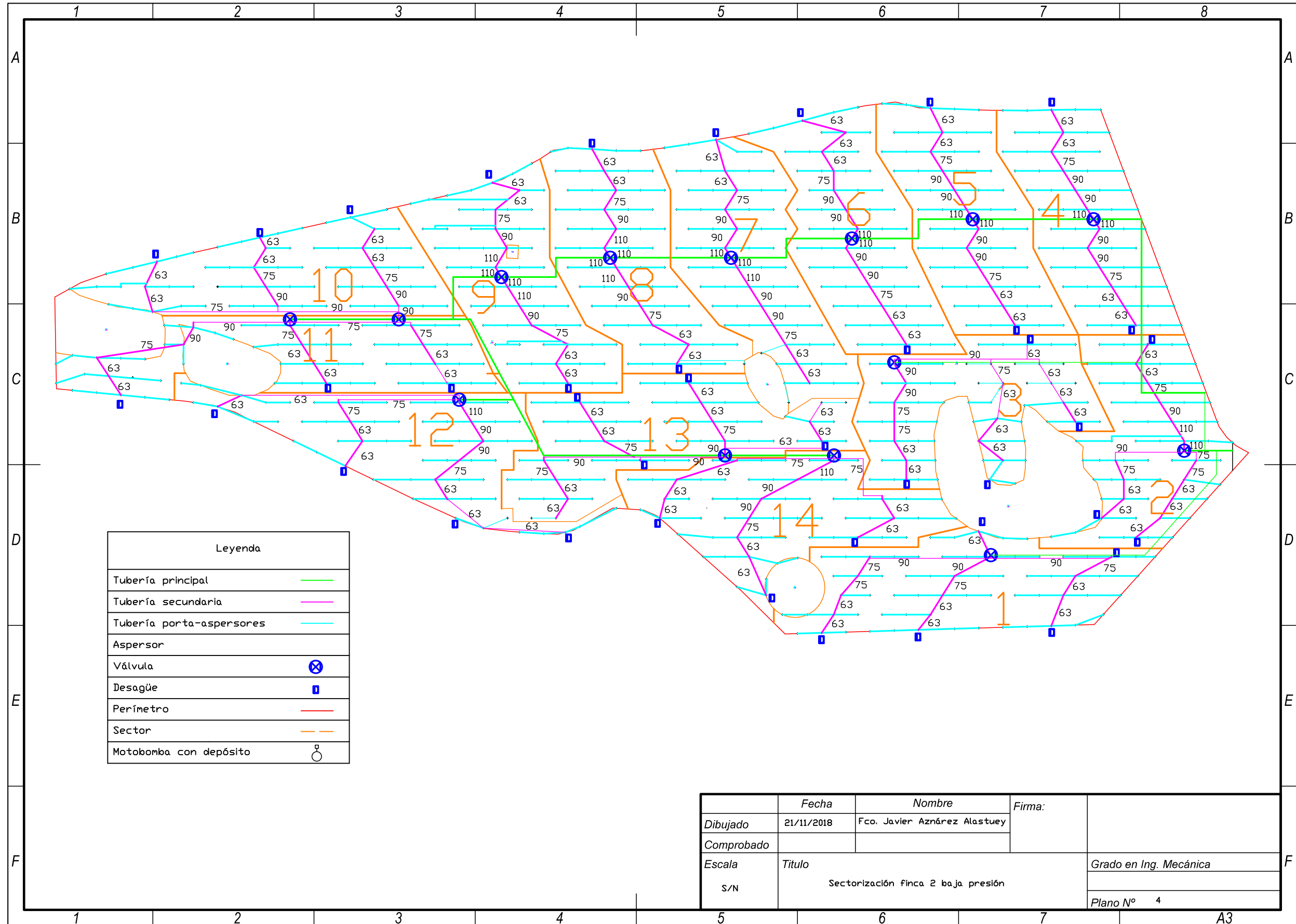






Leyenda	
Tubería principal	
Tubería secundaria	
Tubería porta-aspersores	
Aspersor	
Válvula	
Desagüe	
Perímetro	
Sector	
Motobomba con depósito	

	Fecha	Nombre	Firma:	
Dibujado	21/11/2018	Fco. Javier Aznárez Alastuey		
Comprobado				
Escala	Titulo			Grado en Ing. Mecánica
S/N	Sectorización finca 1 baja presión			Plano N° 3



A-3. Pérdidas de carga

Para conocer el sector más desfavorable en cada finca para cada sistema de riego se han calculado las pérdidas de carga totales de todos los sectores.

En las pérdidas totales, a las pérdidas de carga por fricción se le suman las pérdidas en la tubería de aspiración, estimándola en 0.2 m.c.a. [7], la diferencia de nivel desde la motobomba hasta la válvula del sector [4] y la presión de funcionamiento del aspersor que se utilice en ese sistema de riego.

A continuación se detallan los cálculos de los sectores más desfavorables para cada caso.

- Media presión finca 1

Sector	1
Caudal sector (l/h)	52410

TUBERIA TERCIARIA/RAMAL PORTA-ASPERSORES										
Tramo	Material	P. Non. (mca)	De (mm)	Di (mm)	Caudal tramo (l/h)	Longitud tramo (m)	L. Ficticia (m)	Velocidad (m/s)	Nº Reynolds	hr (mca)
1	PEAD	100	32	28,38	1790	18	2,70	0,79	19636,76	0,60
2	PEAD	100	32	28,38	3580	18	2,70	1,57	39273,53	2,03
									Perdida de carga total	2,64

TUBERIA SECUNDARIA										
Tramo	Material	P. Non. (mca)	De (mm)	Di (mm)	Caudal tramo (l/h)	Longitud tramo (m)	L. Ficticia (m)	Velocidad (m/s)	Nº Reynolds	hr (mca)
1	PVC	6	63	59,2	5700	17,5	1,75	0,58	29976,60	0,13
2	PVC	6	75	70,6	14650	17,5	1,75	1,04	64604,42	0,30
3	PVC	6	90	86,7	23600	17,5	1,75	1,11	84746,58	0,26
4	PVC	6	110	103,6	32550	8,7	0,87	1,07	97818,39	0,10
									Perdida de carga total	0,78

TUBERIA PRINCIPAL										
Tramo	Material	P. Non. (mca)	De (mm)	Di (mm)	Caudal sector (l/h)	Longitud tramo (m)	L. Ficticia (m)	Velocidad (m/s)	Nº Reynolds	hr (mca)
1	PVC	6	140	131,7	52410	57,3	5,73	1,07	123896,11	0,48
									Perdida de carga total	0,48

Resumen de pérdidas	
Ramal porta-aspersores (mca)	2,64
Tubería secundaria (mca)	0,78
Tubería primaria (mca)	0,48
Tubería aspiración (mca)	0,20
Altura caña aspersor (m)	2,00
Diferencia de nivel (m)	-8,00
P. aspersor (mca)	35,00
Pérdidas totales (mca)	33,10

- Media presión finca 2

Sector	13
Caudal sector (l/h)	71280

TUBERIA TERCIARIA/RAMAL PORTA-ASPERSORES										
Tramo	Material	P. Non. (mca)	De (mm)	Di (mm)	Caudal tramo (l/h)	Longitud tramo (m)	L. Ficticia (m)	Velocidad (m/s)	Nº Reynolds	hr (mca)
1	PEAD	100	32	28,38	1790	18	2,70	0,79	19636,76	0,60
2	PEAD	100	32	28,38	3580	18	2,70	1,57	39273,53	2,03
									Perdida de carga total	2,64

TUBERIA SECUNDARIA										
Tramo	Material	P. Non. (mca)	De (mm)	Di (mm)	Caudal tramo (l/h)	Longitud tramo (m)	L. Ficticia (m)	Velocidad (m/s)	Nº Reynolds	hr (mca)
1	PVC	6	63	59,2	8950	17	1,70	0,90	47068,53	0,28
2	PVC	6	75	70,6	17900	17	1,70	1,27	78936,45	0,41
3	PVC	6	90	86,7	26850	17	1,70	1,26	96417,19	0,32
4	PVC	6	110	103,6	35800	16,5	1,65	1,18	107585,21	0,22
									Perdida de carga total	1,23

TUBERIA PRINCIPAL										
Tramo	Material	P. Non. (mca)	De (mm)	Di (mm)	Caudal sector (l/h)	Longitud tramo (m)	L. Ficticia (m)	Velocidad (m/s)	Nº Reynolds	hr (mca)
1	PVC	6	140	131,7	71280	504	50,40	1,45	168504,38	7,37
									Perdida de carga total	7,37

Resumen de pérdidas	
Ramal porta-aspersores (mca)	2,64
Tubería secundaria (mca)	1,23
Tubería primaria (mca)	7,37
Tubería aspiración (mca)	0,20
Altura caña aspersor (m)	2,00
Diferencia de nivel (m)	10,00
P. aspersor (mca)	35,00
Pérdidas totales (mca)	58,44

- Baja presión finca 1

Sector	1
Caudal sector (l/h)	72750

TUBERIA TERCIARIA/RAMAL PORTA-ASPERSORES										
Tramo	Material	P. Non. (mca)	De (mm)	Di (mm)	Caudal tramo (l/h)	Longitud tramo (m)	L. Ficticia (m)	Velocidad (m/s)	Nº Reynolds	hr (mca)
1	PEAD	100	32	28,38	1200	18	2,70	0,53	13164,31	0,30
2	PEAD	100	32	28,38	2400	18	2,70	1,05	26328,62	1,01
									Perdida de carga total	1,31

TUBERIA SECUNDARIA										
Tramo	Material	P. Non. (mca)	De (mm)	Di (mm)	Caudal tramo (l/h)	Longitud tramo (m)	L. Ficticia (m)	Velocidad (m/s)	Nº Reynolds	hr (mca)
1	PVC	6	63	59,2	5050	14,1	1,41	0,51	26558,22	0,08
2	PVC	6	63	59,2	11050	14,1	1,41	1,12	58112,54	0,33
3	PVC	6	75	70,6	17050	14,1	1,41	1,21	75188,08	0,31
4	PVC	6	90	86,7	23050	81,9	8,19	1,08	82771,56	1,17
									Perdida de carga total	1,90

TUBERIA PRINCIPAL										
Tramo	Material	P. Non. (mca)	De (mm)	Di (mm)	Caudal sector (l/h)	Longitud tramo (m)	L. Ficticia (m)	Velocidad (m/s)	Nº Reynolds	hr (mca)
1	PVC	6	140	131,7	72750	119,2	11,92	1,48	171979,43	1,81
									Perdida de carga total	1,81

Resumen de pérdidas	
Ramal porta-aspersores (mca)	1,31
Tubería secundaria (mca)	1,90
Tubería primaria (mca)	1,81
Tubería aspiración (mca)	0,20
Altura caña aspersor (m)	2,00
Diferencia de nivel (m)	-11,00
P. aspersor (mca)	20,00
Pérdidas totales (mca)	16,22

- Baja presión finca 2

Sector	9
Caudal sector (l/h)	70670

TUBERIA TERCIARIA/RAMAL PORTA-ASPERSORES										
Tramo	Materi al	P. Non. (mca)	De (mm)	Di (mm)	Caudal tramo (l/h)	Longitud tramo (m)	L. Ficticia (m)	Velodidad (m/s)	Nº Reynolds	hr (mca)
1	PEAD	100	32	28,38	1200	18	2,70	0,53	13164,31	0,30
2	PEAD	100	32	28,38	2400	18	2,70	1,05	26328,62	1,01
									Perdida de carga total	1,31

TUBERIA SECUNDARIA										
Tramo	Materi al	P. Non. (mca)	De (mm)	Di (mm)	Caudal tramo (l/h)	Longitud tramo (m)	L. Ficticia (m)	Velodidad (m/s)	Nº Reynolds	hr (mca)
1	PVC	6	63	59,3	6000	14,1	1,41	0,60	31501,11	0,11
2	PVC	6	63	59,2	12000	14,1	1,41	1,21	63108,64	0,39
3	PVC	6	75	70,6	19200	25,5	2,55	1,36	84669,27	0,70
4	PVC	6	90	86,7	25200	14,1	1,41	1,19	90492,11	0,24
5	PVC	6	90	86,7	31200	14,1	1,41	1,47	112037,85	0,35
6	PVC	6	110	103,6	37200	7	0,70	1,23	111792,45	0,10
									Perdida de carga total	1,88

TUBERIA PRINCIPAL										
Tramo	Material	P. Non. (mca)	De (mm)	Di (mm)	Caudal sector (l/h)	Longitud tramo (m)	L. Ficticia (m)	Velocidad (m/s)	Nº Reynolds	hr (mca)
1	PVC	6	140	131,7	70670	633,7	63,37	1,44	167062,36	9,13
									Perdida de carga total	9,13

Resumen de pérdidas	
Ramal porta-aspersores (mca)	1,31
Tuberia secundaria (mca)	1,88
Tuberia primaria (mca)	9,13
Tuberia aspiracion (mca)	0,20
Altura caña aspersor (m)	2,00
Diferencia de nivel (m)	10,00
P. aspersor (mca)	20,00
Pérdidas totales (mca)	44,52

A-5. Cálculos hídricos

Tras conocer las necesidades hídricas y los aportes hídricos se calcula el tiempo de riego por bloque mediante la siguiente ecuación [8]:

$$T_{rb} = \frac{A_b}{P_{ms}}$$

A continuación, se calcula el tiempo de riego total de cada finca multiplicando T_{rb} por el número total de sectores obteniendo T_F .

Para conocer el consumo total de la finca se debe conocer el caudal de la finca, este valor se obtiene multiplicando el caudal del aspersor colocado en cada sistema por el número total de aspersores de la finca [8]:

$$Q_F = N_a Q_a$$

Una vez obtenido el valor del caudal de cada finca se obtiene el volumen total consumido por la finca [8]:

$$V_F = Q_F T_F$$

- Cebada

Aportes brutos (mm)	0,00	47,15	51,25	44,84	44,84	89,69	89,69	83,28	83,28	41,64	41,64	0,00	617,31
Trb (15x18)(h)	0,00	7,11	7,73	6,76	6,76	13,53	13,53	12,56	12,56	6,28	6,28	0,00	93,11
Trb (12x15)(h)	0,00	7,07	7,69	6,73	6,73	13,45	13,45	12,49	12,49	6,25	6,25	0,00	92,60
Tiempo F1 15x18	0,00	56,90	61,84	54,11	54,11	108,23	108,23	100,50	100,50	50,25	50,25	0,00	744,91
Tiempo F2 15x18	0,00	106,68	115,96	101,46	101,46	202,92	202,92	188,43	188,43	94,21	94,21	0,00	1396,70
Tiempo F1 12x15	0,00	49,51	53,81	47,09	47,09	94,17	94,17	87,45	87,45	43,72	43,72	0,00	648,17
Tiempo F2 12x15	0,00	99,02	107,63	94,17	94,17	188,34	188,34	174,89	174,89	87,45	87,45	0,00	1296,34
Caudal F1 15x18 (m3/h)	66,89	66,89	66,89	66,89	66,89	66,89	66,89	66,89	66,89	66,89	66,89	66,89	668,90
Caudal F2 15x18 (m3/h)	72,60	72,60	72,60	72,60	72,60	72,60	72,60	72,60	72,60	72,60	72,60	72,60	726,00
Caudal F1 12x15 (m3/h)	71,10	71,10	71,10	71,10	71,10	71,10	71,10	71,10	71,10	71,10	71,10	71,10	711,00
Caudal F2 12x15 (m3/h)	71,68	71,68	71,68	71,68	71,68	71,68	71,68	71,68	71,68	71,68	71,68	71,68	716,80
Volumen F1 15x18 (m3)	0,00	3805,78	4136,72	3619,63	3619,63	7239,25	7239,25	6722,16	6722,16	3361,08	3361,08	0,00	49826,75
Volumen F2 15x18 (m3)	0,00	7744,98	8418,46	7366,15	7366,15	14732,30	14732,30	13679,99	13679,99	6840,00	6840,00	0,00	101400,31
Volumen F1 12x15 (m3)	0,00	3519,98	3826,07	3347,81	3347,81	6695,62	6695,62	6217,36	6217,36	3108,68	3108,68	0,00	46085,00
Volumen F2 12x15 (m3)	0,00	7097,40	7714,56	6750,24	6750,24	13500,48	13500,48	12536,16	12536,16	6268,08	6268,08	0,00	92921,88

- Trigo

Aportes brutos (mm)	0,00	45,10	47,15	44,84	44,84	89,69	89,69	83,28	83,28	83,28	41,64	41,64	694,44
Trb (15x18)(h)	0,00	6,80	7,11	6,76	6,76	13,53	13,53	12,56	12,56	12,56	6,28	6,28	98,47
Trb (12x15)(h)	0,00	6,77	7,07	6,73	6,73	13,45	13,45	12,49	12,49	12,49	6,25	6,25	97,92
Tiempo F1 15x18	0,00	54,42	56,90	54,11	54,11	108,23	108,23	100,50	100,50	100,50	50,25	50,25	787,73
Tiempo F2 15x18	0,00	102,04	106,68	101,46	101,46	202,92	202,92	188,43	188,43	188,43	94,21	94,21	1477,00
Tiempo F1 12x15	0,00	47,36	49,51	47,09	47,09	94,17	94,17	87,45	87,45	87,45	43,72	43,72	685,44
Tiempo F2 12x15	0,00	94,71	99,02	94,17	94,17	188,34	188,34	174,89	174,89	174,89	87,45	87,45	1370,87
Caudal F1 15x18 (m3/h)	66,89	66,89	66,89	66,89	66,89	66,89	66,89	66,89	66,89	66,89	66,89	66,89	668,90
Caudal F2 15x18 (m3/h)	72,60	72,60	72,60	72,60	72,60	72,60	72,60	72,60	72,60	72,60	72,60	72,60	726,00
Caudal F1 12x15 (m3/h)	71,10	71,10	71,10	71,10	71,10	71,10	71,10	71,10	71,10	71,10	71,10	71,10	711,00
Caudal F2 12x15 (m3/h)	71,68	71,68	71,68	71,68	71,68	71,68	71,68	71,68	71,68	71,68	71,68	71,68	716,80
Volumen F1 15x18 (m3)	0,00	3640,31	3805,78	3619,63	3619,63	7239,25	7239,25	6722,16	6722,16	6722,16	3361,08	3361,08	52691,43
Volumen F2 15x18 (m3)	0,00	7408,24	7744,98	7366,15	7366,15	14732,30	14732,30	13679,99	13679,99	13679,99	6840,00	6840,00	107230,09
Volumen F1 12x15 (m3)	0,00	3366,94	3519,98	3347,81	3347,81	6695,62	6695,62	6217,36	6217,36	6217,36	3108,68	3108,68	48734,55
Volumen F2 12x15 (m3)	0,00	6788,81	7097,40	6750,24	6750,24	13500,48	13500,48	12536,16	12536,16	12536,16	6268,08	6268,08	98264,21

A-6. Costes

Para la estimación de los costes anuales se tiene en cuenta el coste de la motobomba por hora:

Costes de la motobomba		
Datos	Valor inicial (€)	3000
	Valor residual (% sobre Vo)	0,2
	Vida útil (años)	16
	Horas de trabajo anuales (h/año)	1021,53
	Precio del combustible (€/l)	0,82
	Consumo (l/h)	2,5
	Reparaciones (% sobre Vo)	0,35
Costes fijos	Amortización	150
	Interés	56,25
	Alojamiento	50
	Seguros e impuestos	0
Total costes fijos (€/año)		256,25
Costes variables	Combustible (€/h)	2,05
	Lubricantes (€/h)	0,91
	Reparaciones (€/h)	0,31
Total costes variables (€/h)		3,27
Coste horario (€/h)		3,52

Para el coste del consumo de agua se ha obtenido el dato que cobra la comunidad de regantes de Bardenas de su página web, con un valor de mantenimiento de 30,99 €/ha y 0,01937 €/m³. Para el coste de la mano de obra se estima un valor de 8€/h. Los costes obtenidos varían según el cultivo, la finca y el sistema de riego instalado.

Cultivo	Finc	Modelo de riego	Motobomba			Agua					Mano de obra			Precio final	
			Coste horario (€/h)	Horas de trabajo	Coste (€)	Necesidad (m3)	Precio (€/m3)	Mantenimiento por hectárea (€/ha)	Hectáreas	Coste (€)	Coste (€/h)	Horas de trabajo	Coste (€)	Coste total (€)	Coste por ha (€/ha)
Cebada	1	Media presión	3,52	744,91	262,72	49826,75	0,01937	30,99	7,00	118,207	8,00	28,00	224,00	4028,79	575,54
		Baja presión	3,52	648,17	228,11	46085,00	0,01937	30,99	7,00	110,960	8,00	28,00	224,00	3615,71	516,53
	2	Media presión	3,52	1396,70	491,57	101400,31	0,01937	30,99	13,00	236,699	8,00	28,00	224,00	7508,56	577,58
		Baja presión	3,52	1296,34	456,22	92921,88	0,01937	30,99	13,00	220,277	8,00	28,00	224,00	6990,98	537,77
Trigo	1	Media presión	3,52	787,73	277,48	52691,43	0,01937	30,99	7,00	123,756	8,00	28,00	224,00	4235,04	605,01
		Baja presión	3,52	685,44	241,33	48734,55	0,01937	30,99	7,00	116,092	8,00	28,00	224,00	3798,25	542,61
	2	Media presión	3,52	1477,00	520,29	107230,09	0,01937	30,99	13,00	247,992	8,00	28,00	224,00	7904,21	608,02
		Baja presión	3,52	1370,87	482,63	98264,21	0,01937	30,99	13,00	230,625	8,00	28,00	224,00	7356,87	565,91

A-7. Presupuestos

Presupuesto finca 1 media presión

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe	
CAP01.01 Replanteo						
1.1	M	Marcado mecánico del terreno				
			Total m:	4199,5	0,15	629,93
					Total CAP01.01 Replanteo	629,93
CAP01.02 Movimiento de tierras						
1.2	M	Modelado mecánico de terreno suelto				
			Total m:	4199,5	0,59	2.477,71
1.3	M	Excavación zanja a máquina terreno disgregado				
			Total m:	1084,15	2,41	2.612,80
1.4	M	Excavación zanja a máquina terreno compacto				
			Total m:	579,02	4,9	2.837,20
1.5	U	Excavación hoyo a máquina				
			Total u:	313	1,44	450,72
1.6	M	Relleno/Cierre zanja y pozos				
			Total m:	2289,17	0,14	320,48
					Total CAP01.02 Movimiento de tierras	8.698,91
CAP01.03 Tubería						
1.7	M	Tub. PEAD enterrado PE 100 PN10 D=32 mm				
			Total m:	4199,5	1,65	6.929,18
1.8	M	Conduc. PVC JUNT.ELÁST.PN 6 DN=63 mm				
			Total m:	397,5	5,56	2.210,10
1.9	M	Conduc. PVC JUNT.ELÁST.PN 6 DN=75 mm				
			Total m:	253,25	6,75	1.709,44
1.10	M	Conduc. PVC JUNT.ELÁST.PN 6 DN=90 mm				
			Total m:	300,9	8,64	2.599,78

1.11	M	Conduc. PVC JUNT.ELÁST.PN 6 DN=110 mm			
		Total m:	132,5	9,73	1.289,23
1.12	M	Conduc. PVC JUNT.ELÁST.PN 6 DN=140 mm			
		Total m:	579,02	12,91	7.475,15
1.13	M	Conduc.Poliet.PE40 PN6 BN=8 mm			
		Total m:	2513,27	0,41	1.030,44
Total CAP01.03 Tubería					23.243,30

CAP01.04 Accesorios mecánicos

1.14	U	Valv.Hidraul.Fundic.D=4"			
		Total u:	8	469,94	3.759,52
1.15	U	Desagüe de PVC D=50 mm			
		Total u:	16	25,76	412,16
Total CAP01.034 Accesorios mecánicos					4.171,68

CAP01.05 Equipamiento de riego

1.16	U	Aspersor circular			
		Total u:	231	2,55	589,05
1.17	U	Aspersor sectorial			
		Total u:	82	5,45	446,90
Total CAP01.035 Equipamiento de riego					1.035,95

Total finca 1 media presión: 37.779,77

Presupuesto finca 1 baja presión

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe	
CAP01.01 Replanteo						
1.1	M	Marcado mecánico del terreno				
			Total m:	5612,55	0,15	841,88
Total CAP01.01 Replanteo					841,88	
CAP01.02 Movimiento de tierras						
1.2	M	Modelado mecánico de terreno suelto				
			Total m:	5612,55	0,59	3.311,40
1.3	M	Excavación zanja a máquina terreno disgregado				
			Total m:	1602,18	2,41	3.861,25
1.4	M	Excavación zanja a máquina terreno compacto				
			Total m:	569,21	4,9	2.789,13
1.5	U	Excavación hoyo a máquina				
			Total u:	447	1,44	643,68
1.6	M	Relleno/Cierre zanja y pozos				
			Total m:	3065,39	0,14	429,15
Total CAP01.02 Movimiento de tierras					11.034,62	
CAP01.03 Tubería						
1.7	M	Tub. PEAD enterrado PE 100 PN10 D=32 mm				
			Total m:	5612,55	1,65	9.260,71
1.8	M	Conduc. PVC JUNT.ELÁST.PN 6 DN=63 mm				
			Total m:	424,83	5,56	2.362,05
1.9	M	Conduc. PVC JUNT.ELÁST.PN 6 DN=75 mm				
			Total m:	237,77	6,75	1.604,95
1.10	M	Conduc. PVC JUNT.ELÁST.PN 6 DN=90 mm				
			Total m:	630,57	8,64	5.448,12
1.11	M	Conduc. PVC JUNT.ELÁST.PN 6 DN=110 mm				

		Total m:	309,01	9,73	3.006,67
1.12	M	Conduc. PVC JUNT.ELÁST.PN 6 DN=140 mm			
		Total m:	569,21	12,91	7.348,50
1.13	M	Conduc.Poliet.PE40 PN6 BN=8 mm			
		Total m:	2192	0,41	898,72
		Total CAP01.03 Tubería			29.929,72
 CAP01.04 Accesorios mecánicos					
1.14	U	Valv.Hidraul.Fundic.D=4"			
		Total u:	7	469,94	3.289,58
1.15	U	Desagüe de PVC D=50 mm			
		Total u:	14	25,76	360,64
		Total CAP01.034 Accesorios mecánicos			3.650,22
 CAP01.05 Equipamiento de riego					
1.16	U	Aspersor circular			
		Total u:	350	8,4	2.940,00
1.17	U	Aspersor sectorial			
		Total u:	97	5,7	552,90
		Total CAP01.035 Equipamiento de riego			3.492,90
		Total finca 1 baja presión:			48.949,35

Presupuesto finca 2 media presión

Nº	U d	Descripción	Medición	Precio	Importe
----	--------	-------------	----------	--------	---------

CAP01.01 Replanteo

1.1	M	Marcado mecánico del terreno				
			Total m:	8781,76	0,15	1.317,26
Total CAP01.01 Replanteo						1.317,26

CAP01.02 Movimiento de tierras

1.2	M	Modelado mecánico de terreno suelto				
			Total m:	8781,76	0,59	5.181,24
1.3	M	Excavación zanja a máquina terreno disgregado				
			Total m:	2819,51	2,41	6.795,02
1.4	M	Excavación zanja a máquina terreno compacto				
			Total m:	1455,92	4,9	7.134,01
1.5	U	Excavación hoyo a máquina				
			Total u:	612	1,44	881,28
1.6	M	Relleno/Cierre zanja y pozos				
			Total m:	5499,43	0,14	769,92
Total CAP01.02 Movimiento de tierras						20.761,47

CAP01.03 Tubería

1.7	M	Tub. PEAD enterrado PE 100 PN10 D=32 mm				
			Total m:	8781,76	1,65	14.489,90
1.8	M	Conduc. PVC JUNT.ELÁST.PN 6 DN=63 mm				
			Total m:	961,62	5,56	5.346,61

1.9	M	Conduc. PVC JUNT.ELÁST.PN 6 DN=75 mm	Total m:	676,56	6,75	4.566,78
1.1 0	M	Conduc. PVC JUNT.ELÁST.PN 6 DN=90 mm	Total m:	762,83	8,64	6.590,85
1.1 1	M	Conduc. PVC JUNT.ELÁST.PN 6 DN=110 mm	Total m:	418,5	9,73	4.072,01
1.1 2	M	Conduc. PVC JUNT.ELÁST.PN 6 DN=140 mm	Total m:	1455,9 2	12,91	18.795,93
1.1 3	M	Conduc.Poliet.PE40 PN6 BN=8 mm	Total m:	6818,5	0,41	2.795,59
Total CAP01.03 Tubería						56.657,6 6

CAP01.04 Accesorios mecánicos

1.1 4	U	Valv.Hidraul.Fundic.D=4"	Total u:	15	469,9 4	7.049,10
1.1 5	U	Desagüe de PVC D=50 mm	Total u:	38	25,76	978,88

Total CAP01.034 Accesorios mecánicos 8.027,98

CAP01.05 Equipamiento de riego

1.1 6	U	Aspersor circular
----------	---	-------------------

Total u: 483 2,55 1.231,65

1.1
7 U Aspersor sectorial

Total u: 129 5,45 703,05

Total CAP01.035 Equipamiento de riego 1.934,70

Total Presupuesto finca 2 media presión 88.699,07

Presupuesto finca 2 baja presión

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe	
CAP01.01 Replanteo						
1.1	M	Marcado mecánico del terreno				
			Total m:	10300,24	0,15	1.545,04
Total CAP01.01 Replanteo					1.545,04	
CAP01.02 Movimiento de tierras						
1.2	M	Modelado mecánico de terreno suelto				
			Total m:	10300,24	0,59	6.077,14
1.3	M	Excavación zanja a máquina terreno disgregado				
			Total m:	3533,54	2,41	8.515,83
1.4	M	Excavación zanja a máquina terreno compacto				
			Total m:	1455,48	4,9	7.131,85
1.5	U	Excavación hoyo a máquina				
			Total u:	848	1,44	1.221,12
1.6	M	Relleno/Cierre zanja y pozos				
			Total m:	6685,02	0,14	935,90
Total CAP01.02 Movimiento de tierras					23.881,85	
CAP01.03 Tubería						
1.7	M	Tub. PEAD enterrado PE 100 PN10 D=32 mm				
			Total m:	10300,24	1,65	16.995,40
1.8	M	Conduc. PVC JUNT.ELÁST.PN 6 DN=63 mm				
			Total m:	1509,06	5,56	8.390,37
1.9	M	Conduc. PVC JUNT.ELÁST.PN 6 DN=75 mm				
			Total m:	816,5	6,75	5.511,38
1.10	M	Conduc. PVC JUNT.ELÁST.PN 6 DN=90 mm				
			Total m:	992,53	8,64	8.575,46
1.11	M	Conduc. PVC JUNT.ELÁST.PN 6 DN=110 mm				

		Total m:	215,45	9,73	2.096,33
1.12	M	Conduc. PVC JUNT.ELÁST.PN 6 DN=140 mm			
		Total m:	1455,48	12,91	18.790,25
1.13	M	Conduc.Poliet.PE40 PN6 BN=8 mm			
		Total m:	7267,93	0,41	2.979,85
Total CAP01.03 Tubería					63.339,03
 CAP01.04 Accesorios mecánicos					
1.14	U	Valv.Hidraul.Fundic.D=4"			
		Total u:	14	469,94	6.579,16
1.15	U	Desagüe de PVC D=50 mm			
		Total u:	45	25,76	1.159,20
Total CAP01.034 Accesorios mecánicos					7.738,36
 CAP01.05 Equipamiento de riego					
1.16	U	Aspersor circular			
		Total u:	686	8,4	5.762,40
1.17	U	Aspersor sectorial			
		Total u:	162	5,7	923,40
Total CAP01.035 Equipamiento de riego					6.685,80
Total Presupuesto finca 2 baja presión					103.190,07