



**Universidad
Zaragoza**

Proyecto Fin de Carrera

Puesta en riego por aspersión con cobertura total
enterrada en el término municipal de Piracés
(Huesca)

Autor

Darío Testón Del Valle

Director

Jesús Guillén Torres

Titulación

Ingeniero Técnico Agrícola
(Esp. en explotaciones agropecuarias)

Escuela Politécnica Superior de Huesca
26-09-2012



Universidad
Zaragoza

Proyecto Fin de Carrera

Puesta en riego por aspersión con cobertura total
enterrada en el término municipal de Piracés
(Huesca)

DOCUMENTO 1: MEMORIA

MEMORIA

ÍNDICE DE LA MEMORIA

	Pág.
1. Antecedentes, objetivos y situación	5
1.1 Ubicación.....	5
1.2 Objetivos.....	5
1.3 Situación actual.....	6
1.4 Condiciones del promotor.....	6
2. Estudio climático.....	6
2.1 Temperatura.....	7
2.2 Régimen de heladas.....	7
2.3 Horas frío.....	8
2.4 Precipitación.....	9
2.5 Humedad relativa.....	9
2.6 Niebla y rocío.....	10
2.7 Viento.....	10
2.8 Radiación solar.....	11
2.9 Índices termopluviométricos.....	11
2.10 Cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP)	13
2.11 Cálculo de la evapotranspiración de referencia (ETO)	13
2.12 Cálculo de la evapotranspiración del cultivo (ETc)	13
3. Estudio edafológico	17

3.1	Resultados de los análisis	17
3.2	Conclusiones del estudio realizado	19
3.3	Cálculo de la enmienda húmica	20
3.4	Mantenimiento de las enmiendas orgánicas y nutrientes.....	20
4.	Estudio de la calidad del agua de riego.....	21
4.1	Resultados de los análisis.....	21
4.2	Índice de primer grado.....	22
4.3	Evaluación de la calidad del agua.....	23
4.4	Normas combinadas para caracterizar la calidad del agua de riego.....	24
5.	Rotación de cultivos.....	24
6.	Cálculo de las necesidades hídricas.....	25
6.1	Resultados de los análisis.....	25
6.2	Dimensionado del riego.....	26
7.	Justificación y características del sistema de riego.....	29
7.1	Marco de plantación de aspersores.....	30
7.2	Características de los aspersores.....	31
7.3	Organización del riego.....	32
7.4	Número máximo de aspersores por módulo de riego.....	33
8.	Cálculo hidráulico de la red de riego.....	34
8.1	Elección de los materiales.....	35
8.2	Método de cálculo utilizado.....	36
8.3	Movimiento de tierra.....	42

9. Elementos singulares de la red de riego.....	44
9.1 Válvulas.....	44
9.2 Codos.....	45
9.3 Reducciones.....	45
9.4 Filtros.....	45
9.5 Fertirrigación.....	45
9.6 Anclajes.....	45
9.7 Desagüe.....	46
9.8 Automatización.....	46
9.9 Equipo de inyección.....	46
9.10 Contadores.....	47
9.11 Grupo electrógeno.....	47
9.12 Programador de riego.....	47
9.13 Automatismo de la red de riego.....	47
10.Instalación de bombeo.....	48
10.1 Cálculo de la tubería primaria.....	48
10.2 Dimensionado de la instalación de bombeo.....	49
10.3 Potencia necesaria.....	51
10.4 Elección del equipo de bombeo.....	51
10.5 Estudio de cavitación.....	52
10.6 Cálculo del golpe de ariete en la instalación.....	52
11.Estudio de seguridad y salud.....	54
12.Presupuesto.....	56
13.Viabilidad económica.....	56
13.1 Situación actual.....	59

13.2 Conclusión.....	60
14.Documentos de los que consta este proyecto.....	60
15.Bibliografía.....	61

1. ANTECEDENTES, OBJETIVOS Y SITUACIÓN

1.1 Ubicación

La finca se sitúa en el término municipal de Piracés, ubicado en la parte más meridional de la Comarca Hoya de Huesca/Plana de Uesca, a 19km de Huesca en dirección sureste por la carretera A-131.

La parcela objeto de proyecto se encuentra a unos 3,5km de Piracés y a unos 2km de Tramaced, entre las zonas conocidas como Balsa Nueva y Los Planos, junto a la granja La Pardina.

1.2 Objetivos

El objetivo del presente proyecto es la transformación del sistema de riego de una finca de aproximadamente 42hectáreas de superficie en el término municipal de Piracés (Huesca), que actualmente es regada por inundación, a un regadío impulsado por aspersión con cobertura total enterrada con aguas de buena calidad procedente de los pantanos de La Sotonera y de El Grado.

Con esta transformación del sistema de riego se pretende obtener mejores rendimientos y mayor calidad en las cosechas, mejorar la comodidad en el manejo y aumentar la rentabilidad económica de la explotación agrícola.

Para ello se hacen necesarios toda una serie de estudios técnicos:

- Estudio climatológico.
- Estudio edafológico.
- Estudio de la calidad del agua.
- Rotación de cultivos.
- Cálculo de las necesidades de agua.
- Elección y justificación del sistema de riego.
- Cálculo hidráulico y diseño de la red de riego.
- Elementos singulares de la red de riego.
- Estación de bombeo.
- Estudio de viabilidad económica.

1.3 Situación actual

La finca objeto de proyecto tiene una superficie de 42 hectáreas aproximadamente, las cuales están declaradas en la actualidad como regadío (riego a manta) y son abastecidas con agua procedente de los pantanos de La Sotonera y de El Grado a través del canal del Flúmen hasta la acequia de La Lera.

Esta finca pertenece a la Comunidad de Riegos de Piracés a la cual nosotros le pedimos el agua de riego y ella se encarga de hacer las gestiones pertinentes de pedirla a confederación hidrográfica del Ebro y también del mantenimiento de la comunidad.

En estas parcelas se ha cultivado tradicionalmente cereal de invierno, alfalfa y maíz. Se ha decidido transformar la finca a riego por aspersión debido a las ventajas que reporta tales como mayor comodidad, aumento del rendimiento, ahorro de agua, etc.

1.4 Condiciones del promotor

El propietario de la finca, antes de realizar la transformación del regadío en la finca, establece las siguientes condiciones:

- Toda la finca se transforma a riego por aspersión con cobertura total enterrada, donde se procederá a la siembra de cultivos herbáceos extensivos u otros propios de la zona.
- El agua se recogerá en una balsa ya construida y ubicada junto a la finca, teniendo el riego asegurado en el momento oportuno o cuando el cultivo lo requiera.
- No es ningún problema el coste de la maquinaria y/o herramientas para el manejo de los cultivos ya que el promotor posee toda la maquinaria necesaria para el cultivo de extensivos así como los lugares de almacenaje para guardar tanto la maquinaria como la semilla antes de venderla en los períodos con el precio más elevado.
- La venta del producto de los cultivos extensivos está garantizada ya que son productos propios de la zona y su comercialización está asegurada.

2. ESTUDIO CLIMÁTICO

Los datos climáticos se han tomado de la estación meteorológica de Sariñena, y de Tardienta dado que son las más cercanas a la parcela objeto

de la transformación, cuyas coordenadas son 0º 09 minutos de Longitud Oeste y 41º 47 minutos de Latitud Norte, a una altura de 281 metros sobre el nivel del mar. Las coordenadas de la parcela son 0º 19 minutos y 37 segundos de Longitud Oeste y 41º 58 minutos y 38 segundos de Latitud Norte, a una altura de 365 metros sobre el nivel del mar. La serie de datos termopluviométricos tomados corresponden a un periodo de 21 años, entre 1989 y 2009.

2.1 Temperatura

Consideramos que la zona de La Hoya de Huesca, y más concretamente de Piracés y Tramaced, el clima se identifica como **mediterráneo continental** con temperaturas medias anuales de unos 15º C, temperaturas medias del mes más frío superiores a los 4º C, temperaturas medias en los meses más cálidos de unos 24º C y un periodo frío poco intenso pero de larga duración, entre 5 y 7 meses siendo enero el mes más frío y julio el mes más cálido.

RESUMEN DE LAS TEMPERATURAS (º C)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
tmm	4,9	6,9	10,7	12,7	17,7	21,7	24,4	24	19,3	14,6	8,6	5,8	14,3
Tm	9,6	12,5	17,1	19,1	23,9	28,7	31,7	30,8	24,9	20,1	13,6	9,2	20,1
tm	0,7	1,2	5,2	6,8	11,0	15,0	17,1	16,9	13,2	9,5	4	1,4	8,5
TMa	15,9	17,5	23,6	25,6	30,8	35,2	36,6	35,9	30,8	25,6	19,4	16	26,0
tma	-4,8	-4,1	-2,0	1,9	4,6	9,3	12,4	12,5	8,3	3,6	-1,4	-6,1	2,8

- **tmm:** temperatura media mensual
- **Tm:** temperatura media máxima
- **tm:** temperatura media mínima
- **TMa:** temperatura máxima absoluta
- **tma:** temperatura mínima absoluta

2.2 Régimen de heladas

El mayor periodo de helada queda comprendido entre el 4 de noviembre para la primera helada y el 25 de abril para la última helada, un total de 172 días con riesgo de heladas y 193 días sin riesgo de helada.

Según la propuesta de Emberger se hace un estudio del régimen de heladas para comprobar si en las épocas de bajas temperaturas podría haber algún impedimento para el establecimiento del cultivo. Se refleja en la siguiente tabla:

RIESGO	T. (°C)	INICIO	FIN	Nº DIAS
Seguro	T < 0°C	Ninguno	Ninguno	0
Frecuente	0°C < T < 3°C	Diciembre	Febrero	90
Poco frecuente	3°C < T < 7°C	Noviembre	Marzo	151
Muy poco frec.	T > 7°C	Octubre	Mayo	184

2.3 Horas frío

Para el cálculo de las horas de frío tomaremos como referencia a tres autores:

- Según **Weinberger**, el número de horas de frío es mayor a **1350 horas**.
- Según **Mota**, el número de horas de frío es **1566 horas**.
- Según **Tabuenca**, el número de horas de frío es **1707,16 horas**.

Los datos se encuentran en las tablas del anejo 2 estudio climático.

El método que se adopta en el valle del Ebro es el de Tabuenca que es una adopción del método de Mota. El número de horas mensuales bajo 7º C es el expresado en la siguiente tabla:

$$y = 700,1 - 48,6 x$$

Siendo x la temperatura mensual.

	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
X	8,6	5,8	4,9	6,9	10,7
Y	282,14	418,22	461,96	364,76	180,08

Σ y = 1707,16 horas de frío < 7º C.

2.4 Precipitación

Nos encontramos en una zona en donde las mayores precipitaciones se localizan en dos épocas del año que son en otoño y primavera siendo en primavera más intensas.

Los registros más bajos se dan en los meses de verano, aunque en este periodo tomado, las medias pluviométricas nos indican lo contrario. Hay que tener en cuenta que durante el verano los días de lluvia son menores pero estas caen con mayor intensidad debido a que se produce en forma de tormentas.

Todos los datos se encuentran resumidos en este cuadro:

Estación	Mes	Precipitación media (mm)	Días de lluvia	% Estación
Invierno	Diciembre	32,5	4,4	24,46
	Enero	28,7	5,3	
	Febrero	20,1	2,6	
Primavera	Marzo	17,4	3	28,63
	Abril	43	5,1	
	Mayo	42	6,3	
Verano	Junio	25,9	3,6	16,7
	Julio	23,7	2,3	
	Agosto	24,8	2,5	
Otoño	Septiembre	40,9	4,1	30,21
	Octubre	38,6	5,8	
	Noviembre	29,5	5,3	

2.5 Humedad relativa

La humedad relativa es un dato meteorológico imprescindible para el cálculo de la ETo. Se observa que la humedad relativa media anual está por encima del 55%.

Los meses que presentan mayor humedad relativa son los de invierno y otoño, más concretamente Enero 78,9% y Diciembre 82%. El menor valor

de humedad relativa media corresponde al mes de Julio con un valor de 48%.

HUMEDAD RELATIVA (%)

MES	MÍNIMA	MEDIA	MÁXIMA
ENERO	68,4	78,9	83,4
FEBRERO	61	70,1	81,7
MARZO	48,5	62,1	76,5
ABRIL	50,3	58,9	77,1
MAYO	47,2	55,8	75,9
JUNIO	40,7	49,1	70,3
JULIO	37,4	48	66,3
AGOSTO	38,3	50,9	67,9
SEPTIEMBRE	44,1	58,6	75,3
OCTUBRE	57,1	68,1	80,3
NOVIEMBRE	68,1	77,3	84,7
DICIEMBRE	71,8	82	86,5

2.6 Niebla y rocío

Los días de niebla y rocío son necesarios para la caracterización agroecológica. En el anejo 2 están los días de cada mes que hay niebla y rocío.

2.7 Viento

En la zona en la que se encuentra ubicada la finca predomina mucho el viento tanto el cierzo (viento normalmente frío y del noroeste), y el bochorno (viento del este o sureste normalmente cálido).

El total de días con viento es del 80,6% por lo que el periodo de calma es sólo de 19,4%.

En la zona, el cierzo es predominante.

VELOCIDADES MEDIAS DEL VIENTO (Km/día y m/s)

VEL	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Km/d	251	259	280	271	246	241	240	245	226	240	232	216
m/s	2,9	3	3,2	3,1	2,8	2,8	2,8	2,9	2,6	2,8	2,6	2,5

El viento supone una pérdida de uniformidad del riego por aspersión, con lo cual no será posible regar los días de mucho viento.

2.8 Radiación solar

Nos encontramos a una latitud norte de 42º y los datos de la tabla siguiente son la radiación solar mensual (**Ra**), el coeficiente de insolación (**n/N**) y el porcentaje diario de horas diurnas anuales (**p**), que van a depender de la latitud.

RADIACIÓN SOLAR Y NUBOSIDAD

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Ra (MJ/m²día)	9,4	10,6	11,9	13,4	14,6	15,2	14,9	13,9	12,9	11,1	9,8	9,1
p	0,21	0,24	0,27	0,3	0,33	0,34	0,33	0,31	0,28	0,25	0,22	0,21
n/N	0,44	0,53	0,58	0,57	0,57	0,65	0,74	0,73	0,64	0,58	0,50	0,41

2.9 Índices termopluviométricos

Los cálculos se encuentran en el anejo 2.

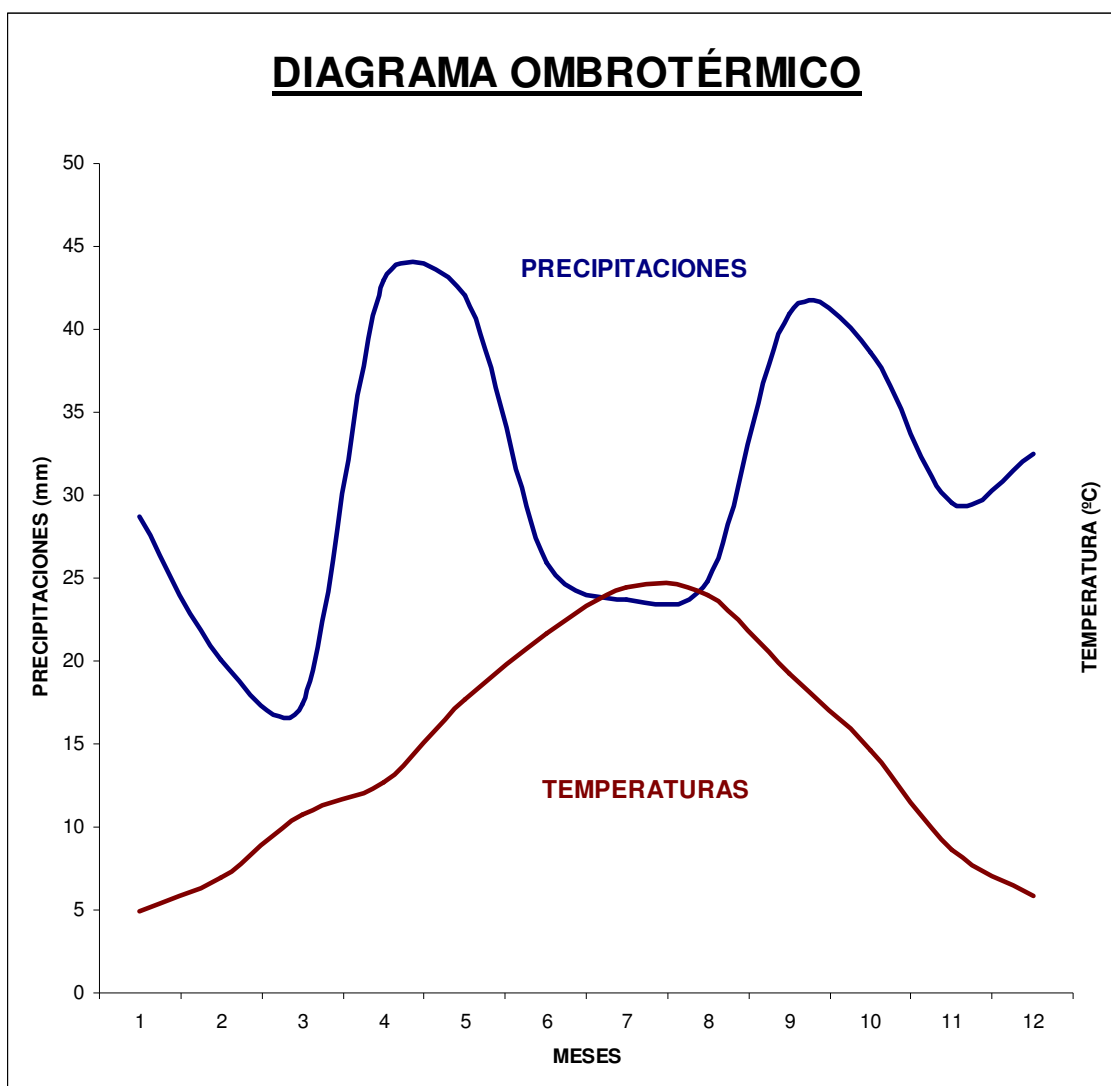
Índice de Lang: según este índice de Lang nos encontramos en una **zona árida**.

Índice de Martonne: según el índice de Martonne, nos encontramos en una zona características de **estepas y países secos mediterráneos**.

Índice de Dantin Cereceda y Revenga: según el índice de Dantin Cereceda y Revenga nos encontramos en una **zona semiárida**.

Índice de Emberger: según el índice Emberger nos encontramos en una **zona de clima mediterráneo semiárido**.

Diagrama ombrotérmico: es un índice que da una idea del periodo en que hay sequía.



Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
P (mm)	28,7	20,1	17,4	43	42	25,9	23,7	24,8	40,9	38,6	29,5	32,5
t (°C)	4,9	6,9	10,7	12,7	17,7	21,7	24,4	24	19,3	14,6	8,6	5,8

Se observa en el diagrama ombrotérmico un periodo seco en el que la curva pluviométrica está por debajo de la térmica, que lo comprenden los meses

de julio y agosto. Por lo tanto el clima en la zona de estudio se define como **monoxérico**.

2.10 Cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP)

La evapotranspiración potencial (ETP) se calcula mediante la fórmula de Thornthwaite. Los cálculos están expresados en el anejo 2.

La EPT total anual es de: **842,15 mm/año**

2.11 Cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET₀)

Éste es el parámetro que más va a condicionar el diseño de la red de riego, puesto que de él derivan las necesidades hídricas de los cultivos.

Para su cálculo se va a usar el método de **Blaney Cirdle**, cuya fórmula es:

$$ET_0 = a + b \cdot p \cdot (0,46 \cdot T_m + 8,13)$$

El resultado de la ET₀ anual obtenido es de **1244,8 mm**.

2.12 Cálculo de la evapotranspiración del cultivo (ET_c)

Una vez se han obtenido los datos de la ET₀ para los distintos meses del año, se procede a calcular la evapotranspiración del cultivo (ET_c) para los diferentes cultivos que se pondrán en la finca, para la cual se utiliza la siguiente ecuación:

$$ET_c = ET_0 \cdot K_c$$

A continuación se expone la evaporación mensual de cada cultivo en milímetros (mm):

CEBADA (*Hordeum vulgare*)

MES	ET ₀ (mm/mes)	K _c	ET _c (mm/mes)
Noviembre	23,45	0,72	16,88
Diciembre	14,13	0,73	10,31
Enero	14,47	0,86	12,44
Febrero	33,62	1,02	34,29
Marzo	79,32	1,10	87,25
Abril	98,25	1,10	108,07
Mayo	143,9	0,86	123,75
Junio	25,56	0,29	7,41

Total = 400,4mm

TRIGO (*Triticum aestivum*)

MES	ET ₀ (mm/mes)	K _c	ET _c (mm/mes)
Diciembre	14,13	0,74	10,45
Enero	14,47	0,79	11,43
Febrero	33,62	0,97	32,61
Marzo	79,32	1,09	86,45
Abril	98,25	1,10	108,07
Mayo	143,9	1,03	148,22
Junio	89,46	0,47	42,04

Total = 439,27mm

MAIZ (Zea mays)

MES	ET ₀ (mm/mes)	K _c	ET _c (mm/mes)
Mayo	143,9	0,53	76,26
Junio	191,67	0,75	143,75
Julio	234,98	1,08	253,77
Agosto	203,98	1,11	226,41
Septiembre	128,42	0,96	123,28
Octubre	9,52	0,62	5,9

Total = 829,37mm

GIRASOL (Helianthus annus)

MES	ET ₀ (mm/mes)	K _c	ET _c (mm/mes)
Mayo	95	0,51	48,45
Junio	191,67	0,71	136,08
Julio	224,74	1,00	224,74
Agosto	203,98	1,10	224,37
Septiembre	81,32	0,65	52,85

Total = 686,49mm

GUISANTE (Pisum sativum)

MES	ET ₀ (mm/mes)	K _c	ET _c (mm/mes)
Diciembre	6,9	0,73	5,03
Enero	14,47	0,78	11,28
Febrero	33,62	1,03	34,62
Marzo	79,32	1,09	86,45
Abril	98,25	1,09	107,09
Mayo	42,75	1,04	44,46

Total = 288,57mm

VEZA FORRAJERA (Vicia sativa)

MES	ET ₀ (mm/mes)	Kc	ET _c (mm/mes)
Octubre	73,78	0,63	46,48
Noviembre	27,97	0,76	21,25
Diciembre	14,13	0,99	13,98
Enero	14,47	1,02	14,75
Febrero	33,62	1,02	34,29
Marzo	79,32	1,02	80,90
Abril	98,25	1,02	100,21
Mayo	65	0,98	63,7

Total = 375,56mm

ALFALFA (Medicago sativa)

MES	ET ₀ (mm/mes)	Kc	ET _c (mm/mes)
Enero	14,47	0,89	12,87
Febrero	33,62	0,89	29,92
Marzo	79,32	0,89	70,56
Abril	98,25	0,89	87,44
Mayo	143,9	0,89	128,07
Junio	191,67	0,89	170,58
Julio	234,98	0,89	209,13
Agosto	203,98	0,89	181,54
Septiembre	128,72	0,89	114,29
Octubre	73,78	0,89	66,76
Noviembre	27,97	0,89	24,89
Diciembre	14,13	0,89	12,57

Total = 1108,62mm

3. ESTUDIO EDAFOLÓGICO

El suelo es el medio de sustento de la planta, como tal, es vital para el desarrollo de esta. Por esto es necesario conocer sus características para poder utilizarlo de forma adecuada.

Se han hecho unos análisis del suelo de la parcela, que a continuación se muestran los resultados y en el anejo 3.

3.1 Resultados de los análisis

Propiedades físicas

GRANULOMETRIA	
Elementos gruesos (> 2mm)	4,30%
Arena gruesa (0,5 – 2 mm)	11,70%
Arena fina (0,05 - 5 mm)	33,50%
Limo (0,002 – 0,05 mm)	30,90%
Arcilla (< 0,002 mm)	28,80%

Mirando con estos datos, en el triángulo de la clase textural, tenemos un suelo **franco-arcillo-arenoso**.

ESTRUCTURA	
Profundidad (m)	0,73
Densidad aparente (Tm/m ³)	1,29
Densidad real (Tm/m ³)	2,63
Porosidad (% volumen)	50,00%

Propiedades hídricas

Capacidad de campo (CC)	22,84%
Punto de marchitez (PM)	12,41%
Agua útil	10,85%
Velocidad de infiltración (mm/h)	42

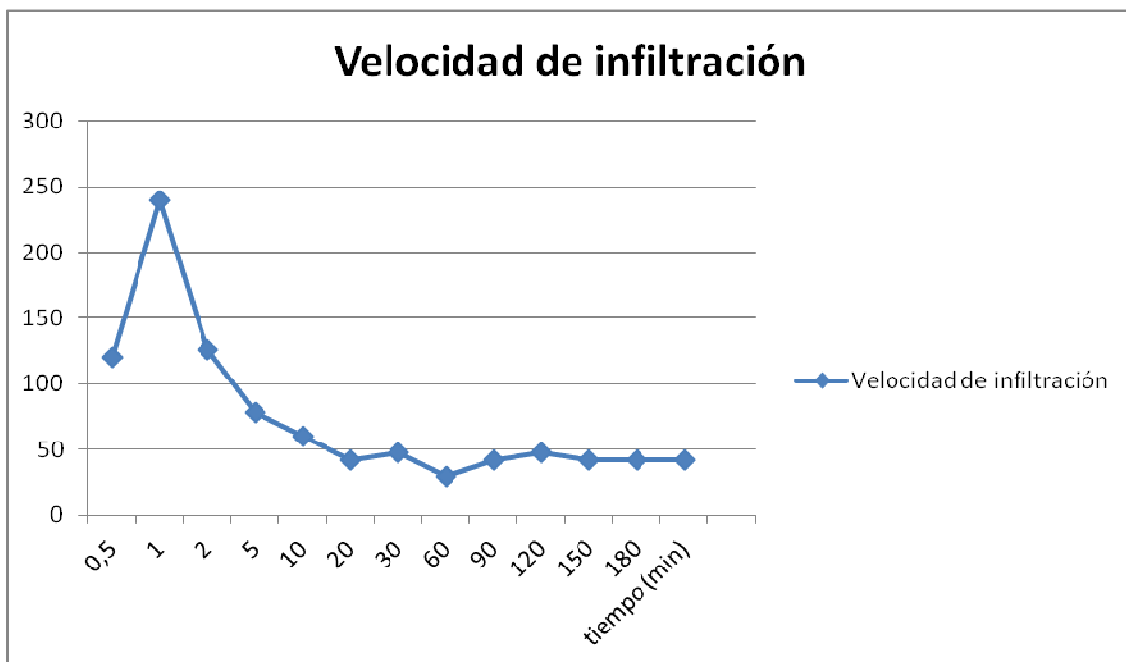
Velocidad de infiltración

La velocidad de infiltración se mide en campo mediante **el método de los anillos o de Muntz**.

El conocimiento de los datos de la infiltración del agua son necesarios para saber la dosis de riego necesaria que hay que aportar en la parcela para que las plantas cultivadas no sufran de sequía o por exceso de agua.

VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN

Tiempo (min)	H absoluta (cm)	ΔT (min)	ΔH (cm)	H acumulada (mm)	Infiltración (mm/h)
0	71,5	0	0	0	0
0,5	71,6	0,5	0,1	1	120
1	71,8	0,5	0,2	3	240
2	72,01	1	0,21	5,1	126
5	72,4	3	0,39	9	78
10	72,9	5	0,5	14	60
20	73,6	10	0,7	21	42
30	74,4	10	0,8	29	48
60	75,9	30	1,5	44	30
90	78	30	2,1	65	42
120	75,6	30	2,4	89	48
150	73,5	30	2,1	110	42
180	71,4	30	2,1	131	42



Propiedades químicas

FERTILIDAD	
pH	8
Materia orgánica (%)	1,9
Nitrógeno total (%)	0,14
Salinidad (CE dS/m)	0,63
Carbonatos totales (%)	22,2
Relación C/N	12
Fósforo Olsen (ppm)	9

CATIONES SOLUBLES MÁS INTERCAMBIABLES	
Magnesio (Meq/100g)	1,6
Sodio (Meq/100g)	7,5
Potasio (Meq/100g)	125,5

3.2 Conclusiones del estudio realizado

Conclusiones de carácter físico

Con los datos obtenidos respecto a la granulometría y a la estructura del suelo sacamos la conclusión de que es un suelo aceptable para los cultivos que deseamos poner, con una estructura **franco-arcillo-arenosa**.

La profundidad del suelo no va a presentar problemas para el cultivo. La densidad aparente y la densidad real, junto con la porosidad, están comprendidos dentro del rango de valores normales.

Conclusiones de carácter hídrico

Según los valores obtenidos de la velocidad de infiltración, nos encontramos dentro de unos valores moderados, con lo cual el suelo de la parcela es un suelo adecuado para el riego y no vamos a tener ninguna limitación al respecto.

La capacidad de campo y el punto de marchitez obtenidos analíticamente, nos dan unos valores que permiten que la capacidad de retención de agua útil en el suelo sea aceptable.

Conclusiones de carácter químico

El valor de **pH** obtenido es de **8 (pH básicos)**, con lo cual es un valor aceptable para nuestros cultivos.

La cantidad de **materia orgánica** es de **1,9%**, considerado un nivel ligeramente pobre. Resultaría necesario una enmienda húmica a partir del estiércol animal.

El **Ntotal** es del orden de un **0,14%**, por lo que se encuentra en un nivel adecuado.

La relación **C/N** se encuentra en torno a 12. Es un nivel normal.

El valor de la **salinidad** obtenido ha sido de **0,63 dS/m**, el cual es bajo y no tenemos ningún problema.

La cantidad de **fósforo es de 9 ppm**, con lo cual no necesitaremos realizar ningún aporte.

Los niveles de Sodio, Magnesio y Potasio son aceptados para el desarrollo de las plantas que vamos a cultivar.

3.3 Cálculo de la enmienda húmica

En suelos de regadío, los niveles óptimos de materia orgánica deben estar entre un 2% y un 3%. El nivel de materia orgánica de nuestro suelo es de un 1,9%, por lo que es necesario hacer una enmienda húmica.

La cantidad de humus que debemos aplicar en la parcela es de **15,48 Tm/ha.**

La cantidad de estiércol de vacuno que debemos aplicar a la parcela es de **134,61 Tm/Ha.**

3.4 Mantenimiento de las enmiendas orgánicas y nutrientes

Se recomienda, antes de sembrar algún cultivo, aportar las cantidades de materia orgánica calculadas en el apartado anterior, y a su vez, realizar una rotación de cultivos que combine especies de altas exigencias nutricionales con otras de exigencias menores, que aporten al suelo elementos nutritivos y cantidades importantes de materia seca, como restos de cosecha para que se vayan incorporando al complejo orgánico del suelo.

Se recomienda también, después de cada campaña, hacer un aporte de materia orgánica por medio de compost realizado de excrementos de animales explotados en extensivo y restos vegetales de cosechas como paja de cereales.

Sería interesante incluir en la rotación de cultivos ciertas leguminosas (veza, alfalfa), que aportarán una importante cantidad de nitrógeno al suelo

e incluso se puede dejar sin cosechar, y con una labor incorporarlos al suelo como enmienda húmica en verde.

4. ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO

La calidad del agua para uso de riego se ha definido en base a los criterios de salinidad, sodicidad y toxicidad.

El suministro de agua para este proyecto será de los pantanos de la Sotonera y del Grado y nos es llegada a través de la acequia del Flúmen.

Las analíticas son facilitadas por la red de control de aguas superficiales de la Confederación Hidrográfica del Ebro, ya que es la más cercana al lugar de toma del agua.

4.1 Resultados de los análisis

Se escogen las analíticas del mes de julio (por ser uno de los meses con menos caudal en los ríos y por tanto mayor concentración de sales llevará el agua) de años próximos.

PARÁMETROS	UNIDADES	CANTIDAD
pH	-	8
Conductividad a 25°C	µS/cm	358
Temperatura del agua	°C	22,1
Sólidos en suspensión	mg/L	16
Cationes		
Amonio Total	mg/L NH ₄	0,1
Calcio	mg/L Ca ²⁺	35,2
Magnesio	mg/L Mg ²⁺	16,6
Sodio	mg/L Na ⁺	8,3
Potasio	mg/L K ⁺	2,9
Otros iones		
Cobre	mg/L Cu	< 0,01

Hierro	mg/L Fe	0,03
Cromo	mg/L Cr	< 0,01
Aniones		
Cloruros	mg/L Cl ⁻	14,7
Sulfatos	mg/L SO ₄ ²⁻	31,4
Nitratos	mg/L NO ₃ ⁻	2,2
Fosfatos	mg/L PO ₄ ³⁻	0,07
Carbonatos	mg/L HCO ₃ ⁻	144,7

4.2 Índice de primer grado

SAR

Se define como la relación de adsorción de sodio. Hace referencia a la proporción relativa en que se encuentra el ion sodio y los iones calcio y magnesio.

Se obtiene un valor del **S.A.R. = 0,60**, con lo cual el agua que consumimos para el riego se puede considerar óptima. Porque hasta un valor de 10 no tenemos problemas de alcalinización.

Relación de sodio

Esta relación muestra el contenido de ion sodio que hay en un agua respecto a los restantes cationes. Se expresa en meq/l.

Se obtiene un valor de **0,131 meq/l.**

Relación de calcio

Esta relación muestra la proporción del contenido de calcio respecto a los restantes cationes. Se expresa en meq/L.

Obtenemos un valor de **0,538 meq/l.**

Dureza del agua

Índice que está referido al contenido de calcio y de magnesio que contiene el agua y se mide en grados Franceses.

Obtenemos un valor de **15,64 ° Franceses** con lo cual estamos hablando de un agua medianamente dulce, óptima para el riego.

Índice de Eaton o carbonato sódico residual (CSR)

Este índice nos indica la acción degradante del agua. Nuestra agua de riego nos sale un valor de **-0,76meq/l**, como es un valor menos a 1,25meq/l, consideramos que el agua es de buena calidad y utilizable para el riego.

4.3 Evaluación de la calidad del agua

Criterios de salinidad

- Clasificación de Richards

Los riesgos de la salinidad están en función de la conductividad eléctrica, con lo cual en nuestro caso la conductividad eléctrica tiene un valor de 358µS/cm, y según esta clasificación, **el riesgo de salinidad es medio.**

- Clasificación de la FAO

Como la conductividad de nuestra agua de riego analizada es de 0,358milimhos/cm, según esta clasificación, **no tendremos problemas de riesgo de salinidad.**

Criterios de sodicidad

- Clasificación de Richard

Como hemos obtenido un S.A.R. de 0,60, y una conductividad eléctrica de 35,8micromhos/cm, vemos que según esta clasificación **el riesgo de sodicidad es Bajo.**

Criterios de toxicidad

- Clasificación de la FAO

Según esta clasificación, **no tenemos ningún problema de toxicidad** usando esta agua para riego.

Efecto de alcalinidad

Se basa concretamente en la influencia que puede tener los bicarbonatos del agua de riego, a la hora de implantar un sistema de riego por aspersión: El agua de riego que nosotros empleamos para el riego tiene una concentración de Bicarbonato de **2,36meq/l** con lo cual según esta clasificación nos encontramos dentro del **nivel de problemas crecientes** aunque en niveles bajos casi próximos al nivel sin problemas.

4.4 Normas combinadas para caracterizar la calidad del agua de riego

Normas Riverside

Relacionan la conductividad eléctrica y el SAR. Según estos dos índices se establecen dieciséis clases de aguas en función del riesgo de alcalinización y salinización.

Con los valores de SAR = 0,60 y CE = 358micromhos/cm, se obtiene una clase de agua C2-S1, que indica un **riesgo medio de salinización** del suelo y **peligro de sodicidad bajo**.

Normas H.Greene – FAO

Esta norma toma como base la concentración total de las aguas expresada en meq/l, con relación al tanto por ciento de sodio.

Con el porcentaje de sodio con respecto a todos los demás cationes y la concentración total de cationes y de aniones. Llegamos a la conclusión de que el agua de riego es de **buena calidad**.

Normas L.V.Wilcox

Se consideran el tanto por cien de sodio respecto al total de cationes y la conductividad eléctrica.

El porcentaje de sodio es de 18,66% y la conductividad eléctrica a 25º C es de 358micromhos/cm.

Con estos dos datos, obtenemos que tenemos un agua de riego de **excelente a buena calidad**.

5. ROTACIÓN DE CULTIVOS

Realizamos una rotación de cultivos, la cual se va a desarrollar mejor en nuestra parcela, para la obtención de los mejores rendimientos posibles y maximizar la rentabilidad de nuestra parcela y de nuestro riego implantado.

Deberemos evitar una esquilmación del terreno y con lo cual deberemos cultivar en ocasiones leguminosas las cuales son mejoradoras del suelo y portadoras de nitrógeno.

Cultivos propuestos: Alfalfa, Maíz, Trigo, Cebada, Girasol, Guisante y Veza forrajera.

Factores que hay que tener en cuenta para la elección del cultivo:

- La capacidad del propietario de comercializar los productos.
- Cierta flexibilidad en la rotación para que el agricultor pueda introducir cultivos no previstos que interesen en un determinado momento.
- Adaptación de los cultivos en clima y suelo.
- La condición mejoradora o esquilante de los cultivos sobre el suelo.
- La combinación de distintas especies para evitar la proliferación de malas hierbas y parásitos específicos.
- La capacidad del parque de maquinaria que tenga el agricultor para el manejo de su explotación.

6. CÁLCULO DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS

Se va a calcular las necesidades de agua para el sistema de riego por aspersión y para todo el período vegetativo de los cultivos elegidos anteriormente.

Una vez que ya sabemos las necesidades de agua de cada cultivo (calculadas en el anejo 2) y la precipitación caída durante su periodo de crecimiento. Hacemos la diferencia entre estas y ya sabemos las necesidades que tenemos que cubrir con el riego.

6.1 Resultados de los análisis

Para el cálculo de las necesidades reales de los cultivos se tienen en cuenta las necesidades netas (N_n), la eficiencia de aplicación del sistema (E_a), y las necesidades de lavado de sales (FL).

En nuestro caso en la eficiencia de aplicación se incluyen las pérdidas de agua por evaporación.

La eficiencia de aplicación del riego para sistemas de riego por aspersión con cobertura total enterrada en climas de semiáridos a áridos es de 80%.

Las necesidades de cada cultivo para el mes más crítico se expresan en la tabla siguiente:

CULTIVO	Mes crítico	Necesidades (mm/mes)	Nº días del mes crítico	Necesidades (mm/día)
ALFALFA	Julio	192,87	31	6,22
MAÍZ	Julio	237,52	31	7,66
TRIGO	Mayo	125,58	31	4,05
CEBADA	Mayo	101,11	31	3,26
GIRASOL	Agosto	208,75	31	6,73
GUISANTE	Abril	83,91	30	2,80
VEZA FORRAJERA	Marzo	72,98	31	2,35

6.2 Dimensionado del riego

Se va a tener en cuenta el cultivo más exigente en el mes de máximas necesidades para poder dimensionar el proyecto de tal forma que se pueda regar sin problemas en el mes más desfavorable de todos, o lo que es lo mismo, en el de máximas necesidades hídricas. En nuestro caso es el Maíz con una ETc de 253,77mm en el mes de julio, con una profundidad media radicular de 60cm.

Dosis máxima de riego

La dosis máxima es el volumen de agua de riego por unidad de superficie y riego que es necesaria para elevar el contenido de humedad del suelo desde el punto de marchitez (PM) hasta capacidad de campo (CC).

CULTIVO	Dm (m³/ha*riego)	Dm (mm/riego)
ALFALFA	1614,56	161,456
MAÍZ	807,28	80,70
TRIGO	1076,37	107,637
CEBADA	1210,92	121,092
GIRASOL	1210,92	121,092
GUISANTE	538,18	53,818
VEZA FORRAJERA	672,73	67,273

Dosis útil

Es la efectividad con la que la planta extrae agua del suelo y depende del contenido en humedad del mismo.

Para evitar reducción en los rendimientos de los cultivos interesa mantener siempre el contenido de humedad del suelo muy por encima del punto de marchitez, y eso obliga a regar con dosis más pequeñas que la dosis máxima y regar con una frecuencia elevada.

Para evitar agotar toda la capacidad de agua del suelo hay que aplicar un factor reductor que es de 0,2, así nos aseguramos no llegar al punto de marchitez.

CULTIVO	Du (m³/ha riego)	Du (mm/riego)
ALFALFA	322,91	32,29
MAÍZ	161,45	16,14
TRIGO	215,27	21,52
CEBADA	242,18	24,22
GIRASOL	242,18	24,22
GUISANTE	107,63	10,76
VEZA FORRAJERA	134,54	13,45

Dosis real de riego

El agua aplicada por el riego aspersión a la planta no es aprovechada en su totalidad ya que hay unas pérdidas por evaporación y una mínima por percolación. Con lo cual hay que aplicar una dosis superior a la dosis útil para compensar dichas pérdidas y que la planta en la zona de las raíces tenga a su disposición la dosis útil que necesita, anteriormente calculada.

CULTIVO	Dr (m³/ha riego)	Dr (mm/riego)
ALFALFA	403,64	40,36
MAÍZ	201,81	20,18
TRIGO	269,08	26,90
CEBADA	302,72	30,27
GIRASOL	302,72	30,27
GUISANTE	134,54	13,45
VEZA FORRAJERA	168,17	16,81

Intervalo entre riegos

Se define como el tiempo transcurrido entre dos riegos consecutivos. Es el cociente entre la dosis útil y las necesidades netas diarias.

CULTIVO	T (días)
ALFALFA	5
MAÍZ	2
TRIGO	5
CEBADA	7
GIRASOL	3
GUISANTE	3
VEZA FORRAJERA	5

Número de riegos por mes

Es el cociente entre los días del mes de máximas necesidades y los días entre riegos.

CULTIVO	N (riegos/mes)
ALFALFA	6
MAÍZ	15
TRIGO	6
CEBADA	4
GIRASOL	10
GUISANTE	10
VEZA FORRAJERA	6

Densidad de aspersión

Se define como la cantidad de agua aportada por un aspersor por unidad de superficie y hora. También llamada intensidad de lluvia.

La intensidad de aspersión va referido a una superficie regada (S_a) por un aspersor.

Se opta por un marco de plantación de los aspersores de 18x18m, y se obtiene una superficie regada del aspersor de **324 m²**.

La densidad de aspersión en nuestro caso es de **6,098mm/h**.

Duración del riego

Se puede definir como el tiempo que debe estar en funcionamiento un aspersor para aplicarle al suelo la dosis real de riego.

CULTIVO	Tr (h)	Duración de riego
ALFALFA	6,62	6h y 37min
MAÍZ	3,31	3h y 18min
TRIGO	4,41	4h y 24min
CEBADA	4,96	4h y 57min
GIRASOL	4,96	4h y 57min
GUISANTE	2,20	2h y 12min
VEZA FORRAJERA	2,75	2h y 45min

Estos valores de duración de riego obtenidos se podrán ajustar en función de las necesidades del operador de riego de forma que le sea más sencillo el usar los programadores de riego.

Caudal característico y continuo de parcela

El caudal característico representa las necesidades reales de riego calculadas mes a mes (para todo el periodo de riegos), es decir, coincide con las necesidades reales de nuestro cultivo más exigente, en el mes crítico, expresadas en forma de caudal continuo en litros por segundo y hectárea.

El caudal característico es **0,88l/seg y Ha.**

El caudal continuo es **36,91l/seg.**

Estos dos caudales continuos son ficticios y no se aplican realmente a través del sistema de riego. Si se hiciera así, la instalación tendría que estar regando de formas continua durante todo el mes crítico.

Para evitarlo, en el proyecto de la red colectiva se elegiría la toma de riego con un caudal de **73,82l/s.**

Caudal real de proyecto

Para el cálculo del caudal real de proyecto vamos a tener en cuenta las necesidades del cultivo más exigente que son 7,88l/m² y día.

Por condicionantes de manejo se decide regar 4 días. Por lo tanto el caudal real será **67,96l/s.**

En la práctica, los caudales van de 12 en 12, por lo que nuestro **caudal real de proyecto es de 72l/seg.**

7. JUSTIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE RIEGO

La transformación de la parcela de riego a pie a riego por aspersión está justificada siempre que se obtenga una rentabilidad acorde con la inversión que hay que efectuar.

Los **factores que justifican** la transformación son los siguientes:

- La mano de obra es menor con lo cual un agricultor puede cultivar un mayor número de hectáreas.
- Mayores rendimientos.
- Es un suelo fértil, sin problemas de drenaje y salinidad.
- El agua de riego es de buena calidad.
- La pendiente es aproximadamente de 1%, no hay problemas de escorrentía.

Las **principales características** del riego por aspersión son:

- Distribución del agua en forma de lluvia, de manera uniforme sobre el suelo.
- Permite el riego de terrenos con pendiente sin la necesidad de realizar nivelaciones en el terreno.

- Conducción del agua por el interior de tuberías a presión, sin ningún tipo de pérdidas en su distribución.
- Distribución del agua sobre el terreno a medida que se va infiltrando, pudiendo aplicar solo las dosis necesarias para el cultivo, con el consiguiente ahorro de agua.
- Se evitan las pérdidas de agua por escorrentía, así se evita la erosión del suelo fértil.
- Con el propio sistema de riego se pueden aplicar tratamientos fitosanitarios, y aporte de fertilizantes.
- Se adapta a la mayoría de los cultivos incrementando su producción respecto a los sistemas de riego tradicionales.
- La exigencia de mano de obra disminuye en comparación con los sistemas de riego tradicionales.
- La eficiencia de riego es más alta que en riegos tradicionales.
- Evita infraestructuras superficiales que separan y enmarcan la parcela, y evita pérdidas en la superficie cultivada.

Pero el riego por aspersión también presenta **ciertos inconvenientes**:

- La mala compatibilidad del viento con la eficiencia de aplicación del riego, disminuyendo esta considerablemente, con lo que deberá evitarse el riego en días con velocidades del viento considerables.
- El coste elevado de implantación.

Principalmente se caracteriza por:

- Un elemento filtrante que se instalará en el edificio de control de mandos.
- Una válvula hidráulica en la entrada de cada módulo.
- Una red de tuberías de distintos diámetros que variarán en función del caudal que transporten.
- Un controlador de riego.

7.1 Marco de plantación de aspersores

Elegiremos la distribución del marco en forma triangular, ocupando los aspersores los vértices de una red de triángulos. Este tipo de disposición es el que mejor aprovecha el agua, pues la uniformidad de distribución del agua es mucho mejor cuando hay vientos dominantes.

En esta distribución triangular la distancia entre dos aspersores de un mismo lateral de riego será de 18 metros y la distancia entre dos laterales de riego sería de 18 metros también, lo que dará una red de triángulos equiláteros.

Este marco es elegido por su uniformidad y la gran adaptabilidad a las herramientas, para trabajar con anchuras múltiples a 3 metros. Otro aspecto

que tenemos que controlar es que los extremos de las parcelas coinciden normalmente distancias irregulares de los aspersores a las márgenes de las mismas.

7.2 Características de los aspersores

Aspersor circular:

- Caudal emitido por el aspersor: **1976l/h**
- Presión nominal: **3kg/cm²**
- Boquilla aspersor: **3/16" (4,76mm)**
- Boquilla pequeña con chorro lateral (ranura vertical): **3/32" (2,38mm)**
- Alcance: **14,5m**
- Velocidad rotación: **1.070rpm**
- Coeficiente de uniformidad 18 x 18T: **81.76%**
- Grado de pulverización (índice de Tenda): $K = 4,76\text{mm} / 30\text{mca} \equiv$
0,1587
- Índice de Poggi: $14.5\text{m} / 30\text{mca} =$ **0,4833**
- Densidad de aspersión: **7,04mm/h**

Aspersor sectorial:

- Caudal emitido por el aspersor: **1757l/h.**
- Presión nominal: **3kg/cm²**
- Boquilla aspersor: **13/64" (5,15mm)**
- Alcance: **15,2m**
- Velocidad rotación: **0,54rpm**
- Coeficiente de uniformidad 18 x 18T: **80.99%**
- Grado de pulverización (índice de Tenda): $K = 5.15\text{mm} / 30\text{mca} =$
0,1716
- Índice de Poggi: $15,2\text{m} / 30\text{mca} =$ **0,5066**
- Densidad de aspersión: **5,42mm/h**

Porta aspersores :

Los porta-aspersores circulares tendrán una altura máxima de 2,5metros.

Los porta-aspersores sectoriales tendrán una altura máxima de 2,5metros y estarán dotados de un deflector, que consiste en una chapa atornillada en cabeza del porta-aspersor para evitar que vaya el agua a carreteras o caminos.

Se dotarán de válvulas de bola o grifos a aquellos porta-aspersores que los necesiten para cortar el caudal y realizar las reparaciones u operaciones que sean oportunas.

Los porta-aspersores serán de acero galvanizado de 3/4".

7.3 Organización del riego

Para la organización del riego nos vamos a centrar en el cultivo más exigente que en nuestro caso es el maíz.

- Periodo de tiempo crítico (con mayores necesidades hídricas), que es julio con **237,52mm/mes.**
- Nº de riegos teóricos a aportar en dicho mes, que son **15.**
- Dosis real de riego, **20,18mm/riego.**
- Nº de horas por riego, 3,31 h/riego. = **3h y 18 minutos.**

La pluviometría del aspersor es de **7,04mm/h** para los aspersores circulares y de **5,42mm/h** para los aspersores sectoriales.

$$\text{Nº de horas de riego (t}_r\text{)} = D_r / \text{intensidad de aspersión}$$

- Aspersor circular= (20,18mm/riego) / (7,04mm/h) = **2,86h/riego.**
- Aspersor sectorial= (20,18mm/riego) / (5,42mm/h) = **3,72h/riego.**

En ambos casos se considera una duración del riego de 3,72 horas que equivale a 3 horas y 43 minutos.

El riego se organiza a la demanda, comenzando a regar primeramente por el módulo de riego más alejado y una vez finalizado comenzará el siguiente, y así sucesivamente hasta el último.

Por lo tanto, según los cálculos teóricos, la postura del riego para el maíz es de 3,72 horas, suponiendo que se riega todo el día regaríamos al día unos 6,45 sectores y teniendo en cuenta que el espaciamiento entre riegos es de 2 días, tendríamos un total de 12 módulos en nuestra finca. Pero en la práctica esto no es factible, ya que tendría que estar teóricamente el riego en funcionando durante todo el mes crítico.

Así pues, en la práctica y debido a la experiencia en otros proyectos de este tipo y a su buen funcionamiento, se opta por regar 8 horas en vez de 3,72 y así descansar durante 2,66 días, es decir 2 días y 15 horas, para volver a empezar de nuevo el período de riego. Con esto tenemos que regando 8 horas por módulo regaremos 3 módulos por día, por 4,33 días de riego (aprox. 4 días), con lo que tendríamos un total de 12 módulos de riego en nuestra finca (se consideraría una más para el buen funcionamiento de la

instalación ya que con el número de aspersores totales quedan mejor repartidos de esta manera).

7.4 Número máximo de aspersores por módulo de riego

El sistema de riego a dimensionar debe poder permitir el funcionamiento individual de un módulo, y una vez acabado este módulo comenzará el siguiente módulo y así sucesivamente ya que se trata de un sistema de riego a la demanda.

A la hora de determinar el número máximo de aspersores por unidad de riego, se considerará como unidad de riego el conjunto de todos los aspersores abastecidos por una misma toma de riego.

Así pues, para saber el número de aspersores por módulo se establece una división entre el número de aspersores totales y el número de módulos o sectores de riego:

$$1367/13 = \mathbf{105 \text{ aspersores por módulo}}$$

Esto en la realidad no es así, ya que el número máximo de aspersores por módulo viene dado por el caudal real de proyecto, que es de 72l/seg, tendríamos un máximo de aspersores por módulo de **131 aspersores/módulo**

No todos podrán tener el mismo número de aspersores por lo que los módulos variarán entre 81 y 112 aspersores, como viene indicado en la tabla siguiente:

Módulo	Nº de aspersores sectoriales	Nº de aspersores circulares	Nº de aspersores totales
A	21	83	104
B	9	85	94
C	9	99	108
D	9	98	107
E	15	94	109
F	32	49	81
G	17	88	105
H	8	104	112
I	8	104	112
J	8	104	112
K	8	104	112
L	8	104	112
M	8	91	99

8. CÁLCULO HIDRÁULICO DE LA RED DE RIEGO

El cálculo de las pérdidas de carga se realiza primeramente a nivel de sector o módulo de riego, para saber la presión necesaria en la entrada de dicho módulo. Posteriormente y con el caso más desfavorable o más exigente en presión o caudal, se han calculado las pérdidas de la red de tuberías secundarias hasta llegar al edificio de control que es donde se regulan las presiones.

La alimentación de la red de riego se va a realizar mediante bombeo desde una balsa de riego construida en un extremo de la parcela, por lo que se va a realizar el cálculo de las pérdidas de carga en toda la red y así con ello poder establecer la presión y caudal necesarios para el bombeo.

Como ya hemos dicho en el punto 7.3 el intervalo entre riegos es de 3,66días (aprox. 4días), para que se cubran todas las necesidades de riego, los aspersores que tenemos por módulo de riego y el caudal de cada uno de ellos es:

Módulo	Nº total de aspersores (ud)	Nº de aspersores sectoriales (ud)	Caudal unitario de aspersor sectorial (l/h)	Nº de aspersores circulares (ud)	Caudal unitario de aspersor circular (l/h)	Caudal total del módulo (l/s)
A	104	21	1757	83	1976	55,81
B	94	9	1757	85	1976	51,05
C	108	9	1757	99	1976	58,73
D	107	9	1757	98	1976	58,18
E	109	15	1757	94	1976	58,92
F	81	32	1757	49	1976	42,51
G	105	17	1757	88	1976	56,60
H	112	8	1757	104	1976	60,99
I	112	8	1757	104	1976	60,99
J	112	8	1757	104	1976	60,99
K	112	8	1757	104	1976	60,99
L	112	8	1757	104	1976	60,99
M	99	8	1757	91	1976	53,85

Se puede observar que el sector que más caudal requiere son por igual los módulos H, I, J, K y L, cada uno de los cuales necesita en total 60,99l/s.

8.1 Elección de los materiales

Los materiales utilizados en la red de distribución son el polietileno (PE) de alta densidad, para los laterales de riego y el policloruro de vinilo (PVC) para las tuberías, tanto secundarias, terciarias y primaria.

La elección de materiales plásticos como son el polietileno y el policloruro de vinilo para la red de riego se justifican por sus características:

- El polietileno presenta la ventaja de ser flexible, con lo que puede amoldarse a las curvas sin perder sección útil.
- El funcionamiento hidráulico de estos plásticos presenta coeficientes de fricción bajos, reduciendo los diámetros de las tuberías.
- Presentan una gran facilidad de reparación ya que existe una gran cantidad de piezas especiales en el mercado que facilitan estas operaciones.
- Las tuberías plásticas permiten el montaje fuera de zanja, con lo que el coste del mismo es mínimo.

Diámetros comerciales

Se encuentran en el anejo 8 las tablas de los diámetros nominales y sus presiones nominales.

Timbrado de las tuberías

La presión máxima que encontraremos en la red para el correcto funcionamiento del sistema el de 45mca mientras que la presión mínima será de unos 30mca en la base de los aspersores.

Por lo tanto el timbrado que se adopta para todas las tuberías es de 6atm, es decir tuberías de presión nominal 0,6MPa.

Con este timbrado se pretende, por un lado hacer frente a posibles sobrepresiones en la red, y por otro evitar el problema de que se produzcan deformaciones de las tuberías como consecuencia de la presión que el terreno ejerce en las tuberías.

Uniones

Optamos por la unión mediante junta elástica para la tubería de PVC.

Las tuberías de PE deberán ser unidas mediante soldadura por termofusión o por accesorios de ajuste mecánico.

Sobrepresiones en la red de riego

Éstas se producen principalmente por las siguientes causas:

- Cierre de válvulas de mariposa que aíslan los ramales.
- Cierre de un hidrante.
- Acumulación de aire en la red.

- Llenado de la red.

Las medidas que se toman para evitar o reducir las posibles sobrepresiones son las siguientes:

- Para evitar la sobrepresión por el cierre rápido de las válvulas (golpe de ariete) se colocan válvulas de cierre lento.
- Para evitar las acumulaciones de aire en las conducciones se colocan ventosas en los puntos más altos de la conducción.
- Para evitar fuertes sobrepresiones en el llenado de la red, el caudal se limitará a 1/10 del caudal nominal.

8.2 Método de cálculo utilizado

En primer lugar se fija la velocidad del agua circulante por las tuberías en 2m/s obteniendo de esta forma un diámetro de predimensionado mediante la ecuación de continuidad:

$$Q = A * V = \pi * (D^2 / 4) * V$$

Donde:

- **Q** = Caudal
- **D** = Diámetro de la conducción
- **V** = Velocidad del fluido

Con ese diámetro se elige el diámetro comercial de la tubería cuyo diámetro interior se ajuste al obtenido en el predimensionado.

A partir de aquí se calculan las pérdidas de carga por rozamiento continuo en la tubería.

Pérdidas de carga por rozamiento continuo

Para el cálculo de las pérdidas de carga en la tubería por rozamiento continuo se utiliza la fórmula general propuesta por **Darcy-Weisbach**, que responde a la siguiente expresión:

$$h_r = J * L = f * (L / D) * (V^2 / 2g)$$

Donde:

- **hr** = Pérdidas de carga por rozamiento continuo, en mca.
- **J** = Pérdida de carga unitaria, en m/m.
- **L** = Longitud de la conducción, en m.
- **f** = Factor de fricción.
- **V** = Velocidad del fluido dentro de la tubería, en m/s.
- **D** = Diámetro interior de la conducción, en m.
- **g** = Aceleración de la gravedad, en m/s².

El factor de fricción “f” se ha calculado con la fórmula logarítmica de **Jain** para régimen turbulento en zona de transición:

$$1 / \sqrt{f} = -2 \log [(5,73 / Re^{0,9}) + (K / (3,71 * D))]$$

Donde:

- **Re**: Número de Reynolds.
- **K**: Rugosidad absoluta de la conducción que depende del tipo de material de que se trate, en mm (para PE la K = 0,002 mm y para PVC la K = 0,02 mm).
- **D**: Diámetro de la conducción, en mm.

Pérdidas de carga accidentales o singulares

Los elementos singulares dispuestos a lo largo de la red de distribución de agua provocan también una pérdida de carga en la conducción.

Ésta se denomina pérdida de carga singular (hs), para su cálculo se ha mayorado la pérdida de carga por rozamiento en un 20% (se ha tomado este valor basándose en la experiencia de otros proyectos).

Cálculo de las pérdidas de carga en los laterales de riego y las tuberías terciarias

Los módulos pertenecen a un sistema fijo de cobertura total enterrada, su dimensionado debe hacerse aplicando la regla de Christiansen: “La variación máxima de caudal entre dos aspersores de una unidad de riego ha de ser menor o igual al 10 % del caudal nominal del aspersor”.

Esta regla llevada a la relación entre caudal y presión indica que la variación máxima de presión entre dos aspersores dentro de la misma unidad de riego no puede superar el 20% de la presión nominal del aspersor.

Estos módulos están constituidos por una tubería central que es la **tubería terciaria**, será de **PVC** con tramos telescópicos en función del caudal a transportar y de distancias variables según el caso.

A ambos lados lleva laterales de riego de **PEBDØ32** en los cuales se colocan los porta-aspersores (normalmente se colocan de 3 ó 4).

Algún módulo está realizado en parte mediante tuberías de PVC y sobre ellas se colocan los aspersores. Se ha adoptado este método porque permite una mejor instalación de la cobertura para la resolución de los módulos que caen en esquinas o módulos que por su longitud el sistema de inyección de polietileno resulta inviable.

Para calcular las pérdidas de carga en cada módulo se ha seguido el siguiente procedimiento:

- 1) Se aplica la regla de **Christiansen** indicada anteriormente, así se determina la variación máxima de presión admisible en la unidad de riego.

$$\left(\frac{\Delta P}{\gamma} \right)_{UD} = 0,2 \cdot \frac{P_n}{\gamma} = 0,2 \cdot 30 \text{ mca} = 6 \text{ mca}$$

- 2) Se determinan las causas de la variación de presión en la unidad de riego. Las causas de la ΔP son las pérdidas de carga y la diferencia de cotas pero en este caso al tratarse de una parcela llana, solo afecta a la variación de presión las pérdidas de carga.

De esta forma se determinan las pérdidas de carga admisibles

$$(AP / \gamma)_{UD} = (a * hr)_{UD}$$

En este caso se igualan las dos expresiones anteriores, y entonces la pérdida de carga total admisible en la unidad de riego es de:

$$(a * hr)_{UD} = 6 \text{ m.c.a.}$$

Tomando z positiva cuando la pendiente es ascendente y z negativa cuando la pendiente es descendente.

- 3) Se trasladan las pérdidas de carga admisibles en la unidad a las tuberías que forman los laterales de riego y la tubería terciaria.

$$(a \cdot hr)_{UD} = (a \cdot hr)_{TT} + (a \cdot hr)_{LR} = 6 \text{ m.c.a.}$$

A partir de esta fórmula y una vez conocidas las pérdidas de carga en los laterales de riego obtenemos las pérdidas de carga admisibles en la tubería terciaria por rozamiento continuo.

Las pérdidas de carga en el lateral de riego vienen determinadas por el diámetro de la tubería de la instalación que es el PEØ32 con un diámetro interior de 28mm.

Estas pérdidas se calculan utilizando la ecuación de continuidad de donde se determina la velocidad del agua (calculando el número de Reynolds) y posteriormente se determina el factor de fricción mediante la fórmula logarítmica de **Jain**.

Una vez conocido todo lo anterior se calculan las pérdidas de carga mediante la ecuación de **Darcy-Weisbach**.

- 4) Una vez determinadas las pérdidas de carga en el último lateral de riego y conocida la pérdida de carga admisible en la unidad, se obtienen las pérdidas de carga admisibles en la tubería terciaria.
- 5) Determinadas las pérdidas de carga máximas en la tubería terciaria y conociendo la longitud de cada módulo se calcula la pérdida de carga unitaria.
- 6) A partir de la pérdida de carga unitaria, se procede al cálculo hidráulico de la tubería terciaria tramo a tramo.

Cálculo de las pérdidas de carga en los laterales de riego y en los porta aspersores

Se calculan utilizando la fórmula de **Scobey**, que es la indicada en el caso de tuberías de acero y aluminio. De esta forma las pérdidas de carga que se presentan en un porta-aspersor son:

$$h_r = 0,717 * K * L * (Q^{1,9} / D^{4,9})$$

Donde:

- **hr**: Pérdida de carga, en m.c.a.
- **K**: Coeficiente para acero = 0,42
- **D**: Diámetro hidráulico, en mm.
- **Q**: Caudal, en l/h.
- **L**: Longitud de la tubería (en este caso del porta-aspersor) en m.

Sustituyendo los valores correspondientes en la expresión anterior con los datos que nos facilita el fabricante del porta aspersor de acero galvanizado de 3/4" y aspersor elegidos en el anejo 7:

$$hr = 0,717 * 0,42 * 2,5 * (1976^{1,9} / 19^{4,9}) = 0,75 \text{ m.c.a.}$$

A este valor hay que sumarle la altura del porta-aspersor que es de 2,5m por lo que las pérdidas de carga totales en los porta-aspersores es de 3,25mca.

Cálculo de las tuberías terciarias

Para el cálculo de las tuberías terciarias de cada módulo se ha tenido en cuenta el cumplimiento de la regla de **Christiansen**, por lo que la máxima pérdida de carga admisible en la unidad de riego no debe ser mayor del 20% de la presión nominal del aspersor.

$$\left(\frac{\Delta P}{\gamma} \right)_{UD} = 0,2 \cdot \frac{P_n}{\gamma} = 0,2 \cdot 30 \text{ mca} = 6 \text{ mca}$$

Se determinan las causas de la variación de presión en la unidad de riego. Las causas de la ΔP son las pérdidas de carga y la diferencia de cotas pero en este caso, al tratarse de una parcela llana, solo afecta a la variación de presión las pérdidas de carga. De esta manera se determinan las pérdidas de carga admisibles en la unidad de riego.

$$(AP / \gamma)_{UD} = (a \cdot hr)_{UD}$$

En este caso se igualan las dos expresiones anteriores, y entonces la pérdida de carga total admisible en la unidad de riego es de:

$$(a \cdot hr)_{UD} = 6 \text{ mca}$$

Se trasladan las pérdidas de carga admisibles en la unidad a las tuberías que forman los laterales de riego y la tubería terciaria.

$$(a \cdot hr)_{UD} = (a \cdot hr)_{TT} + (a \cdot hr)_{LR} = 6 \text{ m.c.a.}$$

A partir de esta fórmula y una vez conocidas las pérdidas de carga en los laterales de riego obtenemos las pérdidas de carga admisibles en la tubería terciaria por rozamiento continuo.

$$(H_{rmax})_{TT} = (a \cdot h_r) / 1,2 \quad (a = 1,2)$$

En el anejo 8 se encuentran los resultados de las pérdidas de carga.

La presión necesaria al comienzo de cada módulo se ha calculado sumando a la presión de funcionamiento de los aspersores (30mca) las pérdidas de carga que se producen en el módulo (las del tramo más desfavorable), más las pérdidas de carga singular (piezas especiales) y las del porta-aspersor.

En el anejo 8 se muestran las pérdidas de carga que se producen en cada módulo y submódulo, así como la presión necesaria en el origen de cada uno de ellos, que será la del submódulo que tenga mayores pérdidas de carga y esa será la presión necesaria en el origen de la unidad de riego.

Cálculo de las tuberías secundarias

Una vez dimensionadas estas tuberías y conociendo sus pérdidas de carga, sumadas a la presión necesaria en la entrada para cada módulo se puede calcular la presión a la que debe funcionar la red. Además, para el correcto dimensionado se deben tener en cuenta los diversos elementos singulares tales como válvulas, filtros, codos, derivaciones, etc.

El dimensionado de estas tuberías se realiza utilizando la fórmula empírica de **Veronese**, que es la que se utiliza para el PVC.

Para ello se parte de la condición de que en toma de riego debe haber una presión de 45mca. A partir de este dato, y conociendo la presión de los módulos (en este caso se toma la mayor), se conoce la pérdida de carga máxima para esa tubería secundaria.

Una vez conocida la pérdida de carga se establece la pérdida unitaria mínima que se puede presentar, y a partir de este dato se calcula el diámetro teórico (dependiente del caudal a transportar) de la tubería en cuestión. Una vez determinado este diámetro se ajusta al comercial. Adoptamos tuberías de PVC PN 0,6MPa.

El proceso seguido es el siguiente:

$$\text{Veronese} \rightarrow (h_r / L) = J = 0,365 * (Q^{1,8} / D^{4,8}) \rightarrow \\ D_{\text{terico}} = (0,365 * (Q^{1,8} / J))^{1/4,8} \rightarrow D_{\text{comercial}}$$

Una vez conocidas las máximas pérdidas que pueden darse, se procede a la determinación de la pendiente hidráulica J. Los resultados pueden verse en la siguiente tabla:

Tramo	(hr+hs)LR (m)	(hr+hs)TT (m)	Pn/Y (m)	hr Porta (m)	Po/Y (m)	Jmax TS (m)	J (m/m)	Dteórico (mm)	Dnominal TS(mm)
B1	2,50	2,87	30	3,25	38,62	6,3783	0,0300	122,22	140
C2	2,46	2,73	30	3,25	38,44	6,5588	0,0092	167,04	180

8.3 MOVIMIENTO DE TIERRA

Los volúmenes de tierra a mover variaran en función de la tubería a colocar y de las longitudes de los tramos. Las dimensiones correspondientes son:

Diámetro exterior de la tubería (mm)	Anchura de la zanja (m)	Profundidad de la zanja (m)
$\varnothing \leq 200$	$\varnothing \text{ (m)} + 0,6$	$\varnothing \text{ (m)} + 0,9$
$\varnothing > 200$	$\varnothing \text{ (m)} + 0,7$	$\varnothing \text{ (m)} + 0,9$

La sección tipo de la tubería se compone de una cama de arena de espesor $10 + \varnothing/10\text{cm}$. Desde la generatriz inferior hasta 30cm por encima de la generatriz superior, se rellenara con material seleccionado de tamaño menor de 2cm. La parte superior se rellena con material procedente de la excavación.

Los laterales o ramales de riego que se componen en su totalidad por PEBDØ32, ha sido inyectado por medio de una oruga subsolador, a una profundidad de 0,9metros.

Módulo	Longitud(m) PEBDØ32
A	1364,56
B	1288,49
C	1468,97
D	1448,84
E	1477,63
F	992,91
G	1321,79
H	1512
I	1512
J	1512
K	1512

L	1512
M	1278
TOTAL	18201,19

El volumen de tierra movido para las tuberías terciarias es el siguiente:

PVC 0,6 MPa	Anchura de la zanja (m)	Prof de la zanja (m)	TT	Volumen excavación TT
Ø nominal (m)	Ø + 0,6	Ø + 0,9	Longitud total (m)	(m3)
0,032	0,632	0,932	26,36	15,53
0,04	0,64	0,94	36,23	21,80
0,05	0,65	0,95	99,5	61,44
0,063	0,663	0,963	525,96	335,81
0,075	0,675	0,975	326,44	214,84
0,09	0,69	0,99	652,5	445,72
0,11	0,71	1,01	1156,94	829,64
0,125	0,725	1,025	1035,28	769,34
0,14	0,74	1,04	977,42	752,22
0,16	0,76	1,06	1290,17	1039,36
0,18	0,78	1,08	1069,52	900,96
			TOTAL	5386,67

El volumen de tierra movido para las tuberías secundarias es el siguiente:

PVC 0,6 MPa	Anchura de la zanja (m)	Prof de la zanja (m)	TS	Volumen excavación TS
Ø nominal (mm)	Ø + 0,6	Ø + 0,9	Longitud total (m)	(m3)
0,16	0,76	1,06	212,71	171,36
0,18	0,78	1,08	712,3	600,04
			TOTAL	771,40

El volumen de tierra movido para la tubería primaria es el siguiente:

PVC 0,6 MPa	Anchura de la zanja (m)	Prof de la zanja (m)	TP	Volumen excavación TP
Ø nominal (mm)	Ø + 0,6	Ø + 0,9	Longitud total (m)	(m3)
0,25	0,85	1,15	238,37	233,01
			TOTAL	233,01

Los metros totales de PEBD Ø32 inyectados en la totalidad de la parcela son **18201,19m**, y los metros cúbicos que se han excavado de zanja en toda la finca son **6331,27m³**.

9. ELEMENTOS SINGULARES DE LA RED DE RIEGO

Los elementos singulares que se disponen a lo largo de la red de riego tienen la misión de control y regulación de los caudales circulantes, así como el control y mantenimiento de la presión en la red de riego, el filtrado del agua y la evacuación de aire.

9.1 Válvulas

Válvulas hidráulicas

Una de las principales funciones va a ser poder abrir y cerrar el paso del agua a un módulo de riego determinado, para lo cual se ha de instalar una válvula en cada conexión de cada módulo con la tubería secundaria. Elegiremos 11 válvulas de 6".

Válvulas de esfera

Hay un tipo de válvula de esfera que se instala, la cual es:

- Válvulas de esfera de PVC, para la instalación de fertirrigación, serán necesarias una por cada depósito y además las necesarias para dirigir el fertilizante por las tuberías correspondientes.

Válvulas de ventosa

Son piezas destinadas a realizar el control de la presencia de aire en las conducciones hidráulicas. El tipo de válvula ventosa elegido es la válvula de doble efecto o trifuncional.

Válvulas de retención

La función de estas válvulas es permitir el flujo de agua en una única dirección, impidiendo la inversión del mismo.

Se instalará la válvula de 6", que irá instalada justo después del grupo moto-bomba (para evitar el golpe de ariete). La pérdida de carga esta entorno a los 0,2mca.

Válvulas de mariposa

Se han colocado válvulas de mariposa, una delante y otra detrás del filtro en la tubería primaria, en la caseta de bombeo. Son colocadas para en caso de limpiar el filtro o tener que desarmarlo, se cierran las dos válvulas y así no se va todo el agua de las tuberías por el suelo y se queda dentro de las tuberías.

9.2 Codos

Los codos son piezas especiales destinadas a conseguir las alineaciones de la tubería deseadas. Dependiendo de la curva que describa la tubería se colocarán codos de 45 o 90°.

9.3 Reducciones

Los cambios de sección de la tubería a lo largo de la red se consiguen mediante la colocación de piezas tronco-cónicas que sirven de conexión entre las tuberías de distinto diámetro.

La relación entre la longitud de la pieza y la diferencia entre los diámetros de las tuberías tiene que ser lo mayor posible para reducir las pérdidas de carga singulares en estos elementos.

9.4 Filtros

Los filtros son necesarios para evitar la obturación de los aspersores.

Se ha elegido filtro de mallas autolimpiables que realizan un tamizado superficial del agua, reteniendo las partículas mayores que los orificios de la malla y evitándose así la obturación de las boquillas, y será instalado en la caseta de bombeo. Se optará por uno de 6".

9.5 Fertirrigación

Consiste en el aporte de abonos junto con el agua de riego, en los momentos más idóneos para el desarrollo de las plantas.

9.6 Anclajes

En determinados puntos de la red como son los cambios de sección, cambios de dirección, derivaciones en té y tapones terminales se producen empujes en la tubería debido a la presión hidrostática. Para evitar el

desplazamiento de la tubería en estos puntos, se han colocado macizos de hormigón que sirven de anclaje a la conducción.

9.7 Desagüe

Desagües de la red de riego

Para el vaciado de la red o de tramos aislados, se han colocado desagües a lo largo de la red de distribución.

Desagües fin de tramo

Al final de cada tramo de la tubería terciaria de cada módulo se colocará una prolongación de la misma con salida al exterior consistente en doble codo 90º con 1m de tubería de 50mm de diámetro, con tape final macho roscado, todo en PVC.

Este desagüe permite la expulsión de elementos extraños en la red durante los primeros riegos al comenzar la campaña de riego para evitar obturaciones en los emisores, al igual que el vaciado de la red en caso de ser necesario.

9.8 Automatización

Como el sistema de riego está automatizado la solución más idónea para controlar la cantidad del producto a inyectar es la de instalar un contador de productos químicos. Este transmitirá la información al programa de riego, el cual tendrá fijada en una base de datos la cantidad de producto químico a inyectar. Una vez fijada dicha cantidad, el programador actuará sobre la electroválvula instalada en la tubería de alimentación del motor hidráulico del inyector, cerrándola, con lo que finalizará la inyección.

9.9 Equipo de inyección

En nuestro caso, como el depósito de fertilizante es móvil (cubeta remolque) se utilizara una bomba hidráulica que sea de fácil montaje.

9.10 Contadores

Para la automatización de la fertilización, es necesario un contador de productos químicos a la salida del inyector.

9.11 Grupo electrógeno

Tanto la bomba sumergida, la bomba inyectora como el programador de riego vienen alimentados por un grupo electrógeno.

Se instalará un grupo electrógeno de gasoil que tenga una potencia de **120Kw (150 Kva).**

9.12 Programador de riego

El programador de riego elegido permite realizar el control total de la red de riego, activando de forma automática cada uno de los sectores de riego, ya sea en base volumétrica o temporal. Asimismo, controla la fertilización y la apertura o cierre de la instalación.

Almacena los diferentes parámetros de riego, tanto actuales como acumulados.

Este se alimenta a 240 V CA y opcionalmente a 12 V DC. Se colocará en la caseta de bombeo.

9.13 Automatismo de la red de riego

Están formados por todo el conjunto de elementos que hacen que las válvulas se abran y cierren de forma automática por medio de la orden del programador de riego, o la diferencia de presión entre dos presostatos.

Por lo que por cada válvula se necesitan los siguientes elementos:

- Llave de tres vías.
- Solenoide.
- Microtubos de comando.

10. INSTALACIÓN DE BOMBEO

El bombeo se va a realizar desde la balsa de riego que tenemos dispuesta. La bomba será instalada en el fondo de la balsa, a nivel de cota mínima del embalse que es de 323,27m. Para ello se instalará una bomba sumergida y un motor que irán fijados en una plataforma. Mediante unas ruedas dicha plataforma será guiada sobre raíles compuestos por vigas de acero IPE 100. Las vigas estarán ancladas al suelo con hormigón armado, dejando una separación de 3 m entre anclaje y anclaje. Los anclajes tendrán un metro de profundidad, donde irá soldada la viga. La bomba irá unida a los tubos de la tubería primaria que serán de hierro hasta la caseta de bombeo. Si la bomba se estropea o por cualquier circunstancia fuera necesario retirarla del fondo de la balsa, se tirará de estos y la bomba subirá mediante el rail.

Los tubos de la tubería primaria que van desde la bomba a la caseta de bombeo serán de hierro y desde la caseta de bombeo a la tubería secundaria será de PVC.

Al inicio de la tubería primaria después de la bomba irá colocada una válvula de retención. En la caseta de bombeo colocaremos una válvula de mariposa, un filtro de malla y una segunda válvula de mariposa, en ese orden, para que si hay que quitar el filtro alguna vez, se cierra la válvula de mariposa y ya no sale el agua de la tubería.

El caudal de agua a impulsar es de 60,99 l/s, que corresponde al módulo de riego que requiere mayor caudal.

La oscilación de cotas del embalse (cuya cota mínima es de 323,27m y su cota máxima es de 328,27m) es de 5m.

La longitud de la tubería primaria es de 238,37m.

10.1 Cálculo de la tubería primaria

Teniendo en cuenta que el caudal a impulsar es de 0,06099m³/s y que la velocidad dentro de la tubería sea de 2m/s aplicamos la siguiente fórmula:

$$D = \sqrt{[(4 * Q) / (\pi * V)]}$$

Se obtiene un diámetro teórico de 197,5mm, por lo que se usará una tubería de hierro desde la bomba hasta la caseta de bombeo y otra de PVC desde la caseta hasta la tubería secundaria. Ésta última tubería será de PVCØ250 PN 6 (diámetro interior de 235,4mm).

La velocidad real con la tubería elegida será de 1,4m/s.

10.2 Dimensionado de la instalación de bombeo

Tenemos que determinar la altura manométrica de elevación. Esta altura se expresa mediante la expresión siguiente:

$$H_{me} = H_a + h_a + H_i + h_i$$

Al tratarse de una bomba sumergida donde la cota de aspiración coincide con el eje de la bomba, tendremos una $H_a = 0$ y por lo tanto las pérdidas de carga producidas por la aspiración (h_a) se pueden despreciar.

La altura geométrica de la impulsión (H_i) es 5 m.

Conociendo que las pérdidas totales de carga producidas en la impulsión (h_i) son la suma de las pérdidas producidas por rozamiento continuo (h_{ri}) y singulares (h_{si}) procedemos a continuación al cálculo de las mismas.

Cálculo de h_{ri}

1) Se calcula el nº de Reynolds a partir de los datos de velocidad (1,4m/s), diámetro de tubería (0,2354m) y viscosidad del agua a 15º C ($1,14 \cdot 10^{-6}$):

$$Re = (D \cdot V) / \nu = (0,2354 \cdot 1,4) / 1,14 \cdot 10^{-6} = 289367$$

$$Re = 289367$$

2) Una vez calculado el número de Reynolds se procede al cálculo del factor de fricción (f) mediante la fórmula logarítmica de Jain (para el hierro, $K = 0,15\text{mm}$):

$$1 / \sqrt{f} = -2 \log ((5,73 / Re^{0,9}) + (K / (3,71 * D)))$$

$$1 / \sqrt{f} = -2 \log (5,73 / 289367^{0,9}) + (0,15 / (3,71 * 0,2354))$$

$$f = 0,015$$

- 3) Ahora se pasa al cálculo de las pérdidas de carga por rozamiento continuo (hri) mediante la fórmula universal de Darcy-Weisbach:

$$h_{ri} = J * L = f * (L / D) * (V^2 / 2g)$$

$$h_{ri} = 0,015 * (238,37 / 0,2354) * (1,4^2 / 2 * 9,81) = 1,5579mca$$

$$h_{ri} = 1,558mca$$

Cálculo de hsi

Las pérdidas de carga singulares se estiman en un 10% de las pérdidas debidas al rozamiento continuo cuando la equidistancia media entre piezas singulares es menos que mil veces el diámetro de la tubería:

$$h_{si} = 0,1 * 1,5579 = 0,1558mca$$

Así pues, las pérdidas de carga totales producidas por la impulsión (hi):

$$h_i = h_{ri} + h_{si} = 1,558 + 0,1558 = 1,7136mca$$

Finalmente pasamos a determinar la altura manométrica de elevación (Hme) que, como se ha dicho anteriormente, la calculamos mediante la siguiente expresión:

$$H_{me} = H_a + h_a + H_i + h_i$$

$$H_{me} = 0 + 0 + 5 + 1,7136 = 6,7136mca$$

A este dato hay que añadir los 45mca que necesitamos para el buen funcionamiento de la instalación en la caseta de control de mandos, los 0,2mca procedentes de las pérdidas de carga ocasionadas por la válvula de retención y los 4mca procedentes de las pérdidas de carga ocasionadas por el equipo de filtración situado en la tubería primaria:

$$H_{me} = 6,7136 + 45 + 0,2 + 4 = 55,9136mca$$

10.3 Potencia necesaria

1) Potencia útil del grupo motobomba (N_u):

$$N_u = (Q * \rho * H_{me}) / 75$$

$$N_u = (0,06099 * 1000 * 55,9136) / 75 = 45,47CV$$

2) Para que la bomba pueda aportar la potencia útil del grupo motobomba (N_u) es necesario que reciba una potencia algo superior en su eje de accionamiento de tal manera que se puedan compensar los rendimientos.

Potencia en el eje de la bomba (N_{eje}):

$$N_{eje} = N_u / \mu_B$$

$$N_{eje} = 45,47 / 0,80 = 56,84CV$$

3) Para que el motor de accionamiento deje disponible una potencia en el eje de la bomba (N_{eje}) igual a la calculada anteriormente es necesario que absorba una potencia eléctrica superior de manera que se compensen los rozamientos mecánicos y las pérdidas eléctricas en ese motor, rendimiento del motor (η_m).

Potencia del motor (N_{motor}):

$$N_{motor} = N_{eje} / \eta_m$$

$$N_{motor} = 56,84 / 0,75 = 75,78CV$$

10.4 Elección del equipo de bombeo

Para cubrir las necesidades de la instalación tanto en caudal como en altura manométrica se necesita un equipo de bombeo que proporcione un caudal

total de **219,56m³/h**, una altura manométrica de **55,91mca** y una potencia de motor de **75,78CV** aproximadamente 76CV.

Con estos datos vamos a los diferentes catálogos comerciales y elegimos las electrobombas con la siguiente potencia calculada a continuación:

$$75,78CV / 0,735 = 103,03kw \rightarrow 103,03kw / 0,8 = \underline{\underline{128,79Kw}}$$

Los catálogos consultados son de **Bombas Zeda**.

La bomba que necesitamos es la de **100/200**.

10.5 Estudio de cavitación

Para realizar este cálculo se necesita conocer la temperatura máxima a la que se estima puede funcionar la bomba en servicio normal, se estima en 10º C.

Se calcula el NPSH(A) en la elevación: Y

$$\text{NPSH(A)} = (\text{Patm} / Y) - H_a - h_a - h_v - h_t$$

Ha en nuestro caso siempre será un valor positivo o cero en el peor de los casos, es decir las bombas están en carga. Así pues:

$$\text{NPSH(A)} = 10 - 0 - 2 - 0,5 - 0 = 7,5 \text{ mca.}$$

No existe cavitación en el caso de que $\text{NPSH(A)} > \text{NPSHr}$. En nuestro caso ($\text{NPSH(A)} = 7,5 \text{ mca}$) $>$ ($\text{NPSHr} = 6$). Con lo cual no existe cavitación.

10.6 Cálculo del golpe de ariete en la instalación

Cálculo del tiempo de parada de la bomba

La expresión de **E. Mendiluce** nos define el tiempo de parada de la bomba (T) de la siguiente manera:

$$T = ((K * L * V) / (g * H_{me})) + C$$

$$T = ((2 * 58,58 * 1,71) / (9,81 * 54,97)) + 0,5 = 0,87 \text{ segundos}$$

Cálculo de la celeridad de onda y de la longitud crítica

Con la siguiente expresión definimos la celeridad de la onda y la velocidad a la cual se propaga:

$$a = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + K \frac{D}{e}}}$$

$$a = 9900 / \sqrt{((48,33) + (33,3 * 188,20 / 11,8))} = 411,28 \text{ m/s}$$

En este caso ($2L/a = (2 * 58,58) / 411,28 = 0,284\text{s}$) y ($T = 0,87\text{s}$) por lo tanto ($T > 2L/a$) se trata de un cierre lento por lo que se utiliza la fórmula de Michaud.

Longitud crítica de la onda (L_c):

$$L_c = (a * T) / 2$$

$$L_c = (411,28 * 0,87) / 2 = 178,91\text{m}$$

Se trata pues de una impulsión corta, ya que la longitud de la primaria es menor que la longitud crítica.

Cálculo de la sobrepresión debida al golpe de ariete

Utilizamos la fórmula de Michaud:

$$AH = (2 * L * V) / (g * T)$$

$$AH = (2 * 58,58 * 1,71) / (9,81 * 0,87) = 23,47 \text{ m. c. a}$$

Con lo cual la presión máxima que se produce en la tubería cuando se para la bomba es de:

$$P_{max} = H_{me} + \Delta H = 54,97 + 23,47 = 78,44 \text{ m.c.a.}$$

Elección del timbraje

La válvula de retención se sitúa al inicio de la tubería primaria por ello la presión estática máxima coincide con la diferencia de cota que ha de vencer la bomba. Disponiendo de un timbraje de 0,6MPa sería suficiente para que no hubiera problemas causados por un exceso de presión dado que la presión máxima que se produce en la tubería cuando se paren las bombas es de **78,44mca.**

Absorción del golpe de ariete

Colocaremos una válvula de retención de 200mm de diámetro de disco partido de PN6 en el comienzo de la tubería primaria a la salida de la bomba. De esta manera protegeremos la conducción contra las posibles sobrepresiones de una manera fácil y económica y minimizamos el golpe de ariete aunque en nuestro caso es mínimo.

11. ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD

En conformidad con el REAL DECRETO 1627/1997, Capítulo II, Artículo 4, apartado 2, "el promotor estará obligado a que en la fase del redacción del proyecto se elabore un estudio básico de seguridad y salud en la obra".

Medidas preventivas y protecciones colectivas

- Orden y limpieza de las vías de circulación de la obra. (Permanente)
- Orden y limpieza de los lugares públicos. (Permanente)
- Recubrimiento o distancia de seguridad (1m) a líneas eléctricas de B.T. (Permanente)
- No permanecer en el radio de acción de las máquinas. (Permanente)
- Vallas de limitación y protección. (Permanente)
- Señales de tráfico. (Permanente)
- Señales de seguridad. (Permanente)
- Cinta y conos de balizamiento (Alternativa la vallado)
- Topes de desplazamiento de vehículo. (Permanente)
- Jalones de señalización. (Ocasional)
- Balizamiento luminoso. (Permanente)
- Extintores de polvo seco. (Permanente)

- Interruptores diferenciales. (Permanente)
- Tomas de tierra. (Permanente)
- Evacuación de escombros. (Permanente)
- Información específica. (Para riesgos concretos)
- Cursos y charlas de formación. (Frecuente)

Equipos de protección individual (empleo)

- Cascos de seguridad. (Permanente)
- Calzado protector. (Permanente)
- Ropa de trabajo. (Permanente)
- Ropa impermeable o de protección. (Con mal tiempo)
- Gafas de seguridad (Frecuente)

Formación

Todo el personal debe recibir al ingresar en la obra, una exposición de los métodos de trabajo y los riesgos que éstos pudieran entrañar, junto con las medidas de seguridad que deberá emplear.

Se impartirá formación en materia de seguridad y salud laboral, al personal de la obra.

Medidas preventivas y primeros auxilios

Se prevé la instalación de un botiquín.

Se deberá informar a la obra del emplazamiento de los diferentes Centros Médicos.

Todo el personal que empiece a trabajar en la obra, deberá pasar un reconocimiento médico previo al trabajo, y que será repetido en el periodo de un año.

Dicho estudio se encuentra ampliamente desarrollado, en el Estudio de Seguridad y Salud.

12. PRESUPUESTO

A continuación se refleja los costes de cada capítulo de obra:

Capítulo 1: MOVIMIENTO DE TIERRAS.....	7.208,72€ (4,82%)
Capítulo 2: TUBERIAS.....	97.799,71€ (65,39%)
Capítulo 3: ASPERSORES Y ACCESORIOS.....	21.025,90€ (14,06%)
Capítulo 4: ACCESORIOS PVC.....	5.123,00€ (3,43%)
Capítulo 5: COLLARINES.....	1.569,21€ (1,05%)
Capítulo 6: VALVULAS Y ACCESORIOS.....	9.847,22€ (6,58%)
Capítulo 7: AUTOMATIZACION DEL RIEGO.....	3.033,85€ (2,03%)
Capítulo 8: FERTIRRIGACION.....	593,44€ (0,40%)
Capítulo 9: ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD.....	3.362,76€ (2,25%)
 TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL.....	 149.563,81€
 13,00% Gastos generales.....	 19.443,30€
6,00% Beneficio industrial.....	8.973,83€
 SUMA DE G.G. y B.I.....	 28.417,13€
 18,00%I.V.A.....	 32.036,57€
 TOTAL PRESUPUESTO CONTRATA.....	 210.017,51€
 TOTAL PRESUPUESTO GENERAL.....	 210.017,51€

13. VIABILIDAD ECONÓMICA

Para analizar la viabilidad económica del proyecto, calculamos una serie de ratios como son el V.A.N. (Valor actual neto), T.I.R. (Tasa interna de rentabilidad). Son indicadores de rentabilidad absoluta y rentabilidad relativa respectivamente.

El **VAN** nos dice si una inversión es rentable, cuando el valor es mayor de cero.

El **TIR** es el tipo de interés que hace que el VAN de la inversión sea igual a cero, nos representa las unidades monetarias que se ganan por cada unidad monetaria invertida y año.

Para calcular los ratios citados anteriormente, se considera una vida útil de la inversión de 25 años, sobre el cual se define la corriente de pagos y cobros analizando toda su superficie en conjunto.

La rotación de cultivos se repite cada 10 años, como bien se indica en el anejo 5 con lo cual será 2,5 ciclos.

Los precios de los productos pertenecen a datos de las campañas de los años anteriores; se tendrán en cuenta los ingresos provenientes de la PAC previstos por la AGENDA 2010.

El ingreso que se recibe de la PAC es el llamado pago único que tiene un valor de 260€/ha. Este cobro es recibido indistintamente de lo que se siembre, es siempre esa cantidad, hasta que no haya una reforma de la PAC.

El flujo destruido es el valor de los rendimientos que se obtienen en la situación actual. Se calcula a partir de los costes de producción y de los ingresos que se obtienen.

En la tabla siguiente se muestran los resultados:

Cultivo	Coste (€/ha)	Ingresos (€/ha)	Flujo destruido (€/ha)	Total destruido (€)
Trigo	441,5	1034,12	592,62	24856,26
Cebada	427,8	879,10	451,30	18928,88
Maíz	979	2240,00	1261,00	52890,12
Girasol	413,6	711,30	297,70	12486,43
Alfalfa (los 5 años)	3013,89	6510,00	3496,11	146637,35
TOTAL				255799,04

Costes del agua de riego

Canon, derramas y cuotas de la comunidad de regantes es de 34 €/ha, como nuestra explotación tiene 41,94ha, el coste anual del canon, derramas y cuotas es de 1426,06€.

El precio del agua consumida es de 5 € por cada 1000m3 de agua.

De esta forma realizando un estudio de los consumos de combustible así como el mantenimiento de la estación de elevación, supone 9 €/1000 m3.

Se establece que el precio del agua consumida es de 14 €/1000 m3.

Estudio de la rentabilidad de la inversión

A continuación se resume los gastos e ingresos a lo largo de los diez años que dura la rotación de los cultivos que vamos a cultivar en la parcela.

Año	Cultivo	Necesidad de agua (m3/ha)	Coste agua (€/ha)	Coste producción (€/ha)	Coste(€)	Ingresos (€/ha)	Ingresos (€)
1	Alfalfa	10700	149,80	602,78	25282,32	1760	73819,68
				Costes totales	25282,32	Ingresos totales	73819,68

Año	Cultivo	Necesidad de agua (m3/ha)	Coste agua (€/ha)	Coste producción (€/ha)	Coste(€)	Ingresos (€/ha)	Ingresos (€)
2	Alfalfa	10700	149,80	602,78	25282,32	1760	73819,68
				Costes totales	25282,32	Ingresos totales	73819,68

Año	Cultivo	Necesidad de agua (m3/ha)	Coste agua (€/ha)	Coste producción (€/ha)	Coste(€)	Ingresos (€/ha)	Ingresos (€)
3	Alfalfa	10700	149,80	602,78	25282,32	1760	73819,68
				Costes totales	25282,32	Ingresos totales	73819,68

Año	Cultivo	Necesidad de agua (m3/ha)	Coste agua (€/ha)	Coste producción (€/ha)	Coste(€)	Ingresos (€/ha)	Ingresos (€)
4	Alfalfa	10700	149,80	602,78	25282,32	1760	73819,68
				Costes totales	25282,32	Ingresos totales	73819,68

Año	Cultivo	Necesidad de agua (m3/ha)	Coste agua (€/ha)	Coste producción (€/ha)	Coste(€)	Ingresos (€/ha)	Ingresos (€)
5	Alfalfa	10700	149,80	602,78	25282,32	1760	73819,68
				Costes totales	25282,32	Ingresos totales	73819,68

Año	Cultivo	Necesidad de agua (m3/ha)	Coste agua (€/ha)	Coste producción (€/ha)	Coste(€)	Ingresos (€/ha)	Ingresos (€)
6	Maíz	9000	126,00	979	41062,20	2420	101502,06
				Costes totales	41062,20	Ingresos totales	101502,06

Año	Cultivo	Necesidad de agua (m3/ha)	Coste agua (€/ha)	Coste producción (€/ha)	Coste(€)	Ingresos (€/ha)	Ingresos (€)
7	Guisante	2691	37,67	597	25039,97	1687,4	70774,62
	Girasol	3632	50,85	413,6	17347,63	1049,7	44027,57
				Costes totales	42387,60	Ingresos totales	114802,19

Año	Cultivo	Necesidad de agua (m3/ha)	Coste agua (€/ha)	Coste producción (€/ha)	Coste(€)	Ingresos (€/ha)	Ingresos (€)
8	Cebada	2422	33,91	427,8	17943,22	948,61	39787,55
				Costes totales	17943,22	Ingresos totales	39787,55

Año	Cultivo	Necesidad de agua (m3/ha)	Coste agua (€/ha)	Coste producción (€/ha)	Coste(€)	Ingresos (€/ha)	Ingresos (€)
9	Veza	3289,1	46,05	334,44	14027,42	540	22649,22
	Maíz	9000	126,00	979	41062,20	2420	101502,06
				Costes totales	55089,62	Ingresos totales	124151,28

Año	Cultivo	Necesidad de agua (m3/ha)	Coste agua (€/ha)	Coste producción (€/ha)	Coste(€)	Ingresos (€/ha)	Ingresos (€)
10	Trigo	3228	45,19	441,5	18517,83	1112,12	46645,65
				Costes totales	18517,83	Ingresos totales	46645,65

El presupuesto total de la inversión asciende a 210017,51€. Requeriremos un préstamo de 100.000 € de cuota constante a 10 años y con un interés del 5%.

Para la modernización del regadío de la finca, se recibe una ayuda del 17% del presupuesto total de la inversión. Que es de 37746,77€ y será recibida el año 1.

Estudio de la rentabilidad de la inversión

Una vez calculados los flujos de caja, se han calculado los índices de rentabilidad que se exponen a continuación:

Valor Actual Neto (VAN): **190297,84**

Tasa Interna de Rentabilidad: **21,7%**

Pay Back: **16años**

13.1 Situación actual

En la actualidad la finca objeto de modernización se cultiva trigo blando, cebada, maíz, alfalfa, girasol. Ya que nos encontramos en una zona con climatología adecuada para los cultivos, y una zona de regadío aunque es riego a manta. Los rendimientos son buenos aunque son inferiores comparándolo si el riego fuera por aspersión, como deseamos que sea una vez hecho este proyecto.

13.2 Conclusión

El valor de la inversión es de 149563,81€ más un 13% por gastos generales y más un 6% debido al beneficio empresarial, más el 18% de IVA, así el valor total de la inversión es de 210017,51€.

Desde el punto de vista del VAN se observa que la inversión es rentable. El TIR es superior al tipo de interés utilizado, por lo tanto la inversión también es rentable.

Para este estudio de rentabilidad se ha considerado la rotación de cultivos expuesta en el anejo 5.

14. DOCUMENTOS DE LOS QUE CONSTA ESTE PROYECTO

1. Memoria

Anejos a la memoria

- Nº1 Objetivo y antecedentes.
- Nº2 Estudio climático.
- Nº3 Estudio edafológico.
- Nº4 Calidad del agua.
- Nº5 Rotación de cultivos.
- Nº6 Cálculo de necesidades hídricas.
- Nº7 Justificación y características del sistema de riego elegido.
- Nº8 Cálculo hidráulico.
- Nº9 Elementos singulares de la red de riego.
- Nº10 Cálculo de la estación de bombeo.
- Nº11 Estudio de viabilidad económica

2. Planos

- Nº1 Situación y emplazamiento.
- Nº2 Topografía.
- Nº3 Módulos de riego.
- Nº4 Automatización.
- Nº5 Toma de riego tipo.
- Nº6 Detalle de zanja.
- Nº7 Derivación.
- Nº8 Detalles de anclaje.
- Nº9 Detalles de aspersores.
- Nº10 Detalles de la bomba de impulsión.

3. Pliego de condiciones

4. Presupuesto

- 4.1 Cuadro de mediciones
- 4.2 Cuadro de precios unitarios.
- 4.3 Cuadro de precios descompuestos.
- 4.4 Presupuesto general.
- 4.5 Resumen del presupuesto.

5. Estudio de seguridad y salud

15. BIBLIOGRAFÍA

1. Fernández, Julián; Riegos manual práctico con todas las técnicas más modernas; Editorial De Vecchi, S.A-Barcelona.(1984).
2. Montalvo, López, Teodoro; Riego localizado diseño de instalaciones; Ediciones: VJ (2005).
3. Moya, Talens, J.A; Riego localizado y fertirrigación; Ediciones Mundi-Prensa (2002).
4. Thompson, L.M y Troeh, F.R; Los suelos y su fertilidad; Editorial: Reverté, S.A.(1988).
5. Urbano, Terrón, P.; Fitotecnia (Ingeniería de la producción vegetal); Ediciones Mundi-Prensa (2002).
6. Villalobos, F. , Mateos, L. , Orgaz, F. , Fereres, E. ; Fitotecnia (Bases y tecnologías de la producción agrícola; Ediciones Mundi-Prensa (2002).
7. Nogués, Navarro, Jesús; Mapa de suelos de Barbués y Torres de Barbués (Huesca). Aplicaciones para modernización de regadíos; Edita: Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón (2002).
8. Catálogos **Bombas Zeda**.
9. Apuntes de Hidrología, Cultivos, Oficina, Ingeniería, Economía, Fitotecnia, etc.
10. Catálogos aspersores **Vyrsa**.
11. Mapas De clases Agrológicas.
12. Otras revistas y catálogos.

En Huesca 27 de agosto de 2012

Fdo. Darío Testón Del Valle

Ingeniero Técnico Agrícola Especialidad Explotaciones Agropecuarias



Universidad
Zaragoza

Proyecto Fin de Carrera

Puesta en riego por aspersión con cobertura total
enterrada en el término municipal de Piracés
(Huesca)

ANEJOS A LA MEMORIA

ÍNDICE DE LOS ANEJOS

ANEJO 1. OBJETIVO Y ANTECEDENTES

ANEJO 2. ESTUDIO CLIMATOLÓGICO

ANEJO 3. ESTUDIO EDAFOLÓGICO

ANEJO 4. CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO

ANEJO 5. ROTACIÓN DE CULTIVOS

ANEJO 6. CÁLCULO DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS

ANEJO 7. JUSTIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE RIEGO ELEGIDO

ANEJO 8. CÁLCULO HIDRÁULICO

ANEJO 9. ELEMENTOS SINGULARES DE LA RED DE RIEGO

ANEJO 10. CÁLCULOS DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO

ANEJO 11. ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA



Universidad
Zaragoza

Proyecto Fin de Carrera

Puesta en riego por aspersión con cobertura total
enterrada en el término municipal de Piracés
(Huesca)

ANEJO 1. OBJETIVO Y ANTECEDENTES

OBJETIVO Y ANTECEDENTES

ÍNDICE DEL ANEJO 1

	Pág.
1. Objetivo del proyecto.....	2
2. Condiciones del promotor.....	3
3. Situación de la parcela.....	4
3.1 Ubicación.....	4
3.2 Vías de comunicación.....	5
3.3 Superficie.....	5

1. Objetivo del proyecto

El objetivo del presente proyecto es la transformación del sistema de riego de una finca de aproximadamente 42 hectáreas de superficie en el término municipal de Piracés (Huesca).

Actualmente la finca es regada por inundación. Se quiere transformar el sistema de irrigación a un regadío impulsado por aspersión con cobertura total enterrada. Para ello se aprovecha la disponibilidad de las aguas de buena calidad recogida por los pantanos de La Sotonera y de El Grado, que se unen en el abrazo de Tardienta y transcurren por el Canal del Flúmen hasta nuestra zona. Del canal principal salen otras acequias secundarias, entre ellas la acequia de La Lera, que es la que nos lleva el agua directamente hasta una balsa de riego, construida previamente y situada junto a la parcela para almacenar el agua y satisfacer las necesidades de riego cuando los cultivos lo requieran.

Con esta transformación del sistema de riego se pretende:

- obtener mejores rendimientos y mayor calidad en las cosechas,
- minimizar los costes de producción,
- mejora de la comodidad en el manejo,
- aumentar la rentabilidad económica de la explotación agrícola.

Para llevar a cabo dicha transformación se hacen necesarios toda una serie de estudios técnicos y el diseño de las conducciones de agua en un trabajo previo de campo y oficina. Solo entonces se procederá a la instalación de tuberías y sistemas de riego a nivel de parcela. También se diseñará un centro de control de mandos para manejar el riego como el usuario final decida en cada supuesto.

Los estudios necesarios para el desarrollo del presente proyecto se enuncian a continuación:

- Estudio climatológico, para estimar los periodos de sequía o lluvias, riesgos de heladas y régimen de temperaturas entre otros y poder calcular la evapotranspiración de los cultivos o prevenir las averías por heladas.
- Estudio edafológico, para determinar las características principales del suelo, sus factores limitantes y otros parámetros y después escoger los cultivos que mejor se adapten sabiendo las dosis necesarias de agua a aplicar.
- Estudio de la calidad del agua, proveniente de los pantanos de La Sotonera y de El Grado, para determinar su grado de calidad e idoneidad para el riego.

- Rotación de cultivos, se estudiarán los diferentes cultivos a implantar y sus posibles combinaciones a lo largo del tiempo para elaborar un calendario de rotaciones.
- Cálculo de las necesidades de agua de los diferentes cultivos a implantar en la parcela para llevar a cabo una correcta planificación y establecer la rotación de cultivos definitiva y sus alternativas.
- Elección y justificación del sistema de riego, para implementar el sistema más eficiente posible.
- Cálculo hidráulico, diseño y caracterización de la red de riego.
- Elementos singulares de la red de riego, cálculo y elección.
- Estación de bombeo, elección y cálculos de la bomba de impulsión.
- Estudio de viabilidad económica, cálculos de rentabilidad de la inversión.

Cada uno de los citados estudios se ha descrito, analizado y calculado para resolver los condicionantes propios del proyecto y se encuentran a continuación en sus respectivos anejos.

Con la puesta en riego transformamos el sistema tradicional de agricultura, condicionado por el riego a manta, a un sistema moderno de regadío por aspersión, basado en la producción de variados cultivos extensivos como pueden ser cereales, hortalizas o forrajeras.

De esta manera, como ya se ha expuesto, se pretende un aumento en la rentabilidad de la explotación al mejorar rendimientos y calidad en las cosechas y disminuir los costes de explotación y mano de obra.

Todo ello se hará posible gracias a una importante inversión económica, la cual será estudiada en su anejo correspondiente.

2. Condiciones del promotor

El propietario de la finca, antes de realizar la transformación del regadío en la finca, establece las siguientes condiciones:

- Toda la finca se transforma a riego por aspersión con cobertura total enterrada, donde se procederá a la siembra de cultivos herbáceos extensivos u otros propios de la zona.
- El agua se recogerá en una balsa ya construida y ubicada junto a la finca, teniendo el riego asegurado en el momento oportuno o cuando el cultivo lo requiera.

- No es ningún problema el coste de la maquinaria y/o herramientas para el manejo de los cultivos ya que el promotor posee toda la maquinaria necesaria para el cultivo de extensivos así como los lugares de almacenaje para guardar tanto la maquinaria como la semilla antes de venderla en los períodos con el precio más elevado.
- La venta del producto de los cultivos extensivos está garantizada ya que son productos propios de la zona y su comercialización está asegurada.

3. Situación de la parcela

La finca objeto de proyecto tiene una superficie de 42hectáreas aproximadamente, las cuales están declaradas en la actualidad como regadío (riego a manta) y son abastecidas con agua procedente de los pantanos de La Sotonera y de El Grado a través del canal del Flúmen hasta la acequia de La Lera.

En estas parcelas se ha cultivado tradicionalmente cereal de invierno, alfalfa y maíz. Se ha decidido transformar la finca a riego por aspersión debido a las ventajas que reporta tales como mayor comodidad, aumento del rendimiento, ahorro de agua, etc.

3.1. Ubicación

La finca se sitúa casi en su totalidad en el término municipal de Piracés, perteneciendo el resto al término municipal de Tramaced, ambos ubicados en la parte más meridional de la Comarca Hoya de Huesca/Plana de Uesca, a unos 20kilómetros de Huesca, contando con una centena de habitantes cada municipio.

La parcela objeto de proyecto se encuentra a unos 3,5km de Piracés y a unos 2km de Tramaced, entre las zonas conocidas como Balsa Nueva y Los Planos, junto a la granja La Pardina.

3.2. Vías de comunicación

La finca se sitúa casi en su totalidad en el término municipal de Piracés, perteneciente a la Comarca Hoya de Huesca/Plana de Uesca, como ya se ha dicho. El término municipal de Piracés está situado a 19km. de Huesca en dirección sureste por la carretera A-131. A su vez, Piracés y Tramaced distan 5,5km entre si y están unidos por la HU-V-8111.

3.3. Superficie

La finca se componía de múltiples parcelas que han sido unificadas para facilitar su puesta en riego por aspersión. En conjunto forman un total de 41,94hectáreas.

Hay una balsa ya construida junto a la finca, la cual se aprovechara para el almacenamiento del agua de riego. La mencionada balsa abarca una superficie de 0,91hectáreas. Y de la cual cogeremos el agua nosotros para el riego de la parcela.



Universidad
Zaragoza

Proyecto Fin de Carrera

Puesta en riego por aspersión con cobertura total
enterrada en el término municipal de Piracés
(Huesca)

ANEJO 2. ESTUDIO CLIMATOLÓGICO

ESTUDIO CLIMATOLÓGICO

ÍNDICE DEL ANEJO 2

	Pág.
1. Introducción.....	3
2. Temperaturas.....	3
2.1 Régimen de heladas.....	9
2.2 Horas de frío.....	11
3. Elementos hídricos.....	12
3.1 Precipitaciones.....	12
3.2 Humedad relativa.....	15
3.3 Niebla y rocío.....	17
4. Viento.....	18
5. Radiación solar.....	20
6. Índices termopluviométricos.....	21
6.1 Índice de Lang.....	21
6.2 Índice de Martonne.....	22
6.3 Índice de Dantin Cereceda y Revenga.....	23
6.4 Índice de Emberger.....	23
6.5 Diagrama ombrotérmico.....	24
7. Cálculo de la evapotranspiración.....	26

7.1	Cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP).....	26
7.2	Cálculo de la evapotranspiración de referencia (Eto).....	27
7.3	Cálculo de la evapotranspiración de cultivo (Etc).....	28

1. Introducción

Las características y el dimensionado de la instalación de riego por aspersión de cualquier finca dependen de la climatología de la zona en la que se encuentra ubicada dicha finca y del cultivo que se va a implantar en la finca. El crecimiento de los diferentes cultivos va a depender del clima, entre otros factores, con lo cual es fundamental realizar un estudio detallado del clima de la zona.

Los datos climáticos se han tomado de la estación meteorológica de Sariñena, y de Tardienta dado que son las más cercanas a la parcela objeto de la transformación, cuyas coordenadas son 0º 09 minutos de Longitud Oeste y 41º 47 minutos de Latitud Norte, a una altura de 281 metros sobre el nivel del mar. Las coordenadas de la parcela son 0º 19 minutos y 37 segundos de Longitud Oeste y 41º 58 minutos y 38 segundos de Latitud Norte, a una altura de 365 metros sobre el nivel del mar.

La serie de datos termopluviométricos tomados corresponden a un periodo de 21 años, entre 1989 y 2009, que será suficiente para aceptar el estudio climático y así, de esta manera, poder obtener la máxima precisión a la hora de determinar los datos climáticos necesarios para la elaboración de este proyecto.

Los elementos climáticos que vamos a estudiar son los que nos van a afectar en la implantación del cultivo y en el sistema de riego. Estas variables son: temperatura, precipitación, viento, radiación solar y humedad relativa.

2. Temperaturas

En función de los datos obtenidos de las estaciones meteorológicas citadas anteriormente se han realizado las siguientes tablas, que sirven de base para el estudio del clima.

Consideramos que la zona de La Hoya de Huesca, y más concretamente de Piracés y Tramaced, el clima se identifica como **mediterráneo continental**. A grandes rasgos, las temperaturas medias y los periodos de frío son:

- Temperaturas medias anuales de unos 15º C.
- Temperaturas medias del mes más frío superiores a los 4º C.
- Temperaturas medias en los meses más cálidos de unos 24º C.
- El periodo frío es poco intenso pero de larga duración, alrededor de 5 a 7 meses, siendo enero el mes más frío y julio el mes más cálido.

TEMPERATURAS MEDIAS (° C)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
1989	5,5	7,8	12,4	11,7	18,1	21,7	25,2	24,9	19,5	13,8	7,1	9,4	14,8
1990	3,4	11	11,1	13,1	16,3	22,3	24,6	24,3	20,1	14,2	7,8	5,1	14,4
1991	3,9	6,4	8,6	11,9	14,9	20,5	24,3	25,2	18,2	12,4	9,2	6,2	13,5
1992	5,9	5,2	10	13,4	18,5	17,2	23,9	23,7	19,4	13,2	8,1	6,3	13,7
1993	4,5	5,7	11,5	11,9	18,1	21,4	22,4	24,6	18,1	12,4	7,8	6,6	13,8
1994	6,4	8,6	12,2	11,7	17,4	21,3	25,8	24,9	17,6	14,7	10,3	5,9	14,7
1995	6,4	8,7	9,9	13,3	17,3	20,7	24,7	23,1	17,9	16,9	10,7	6,6	14,7
1996	7,8	6,4	9,8	13	16,6	21,5	23,5	22,1	18,2	14,3	9,6	6,7	14,1
1997	6,7	8,8	12	14	17,3	20	22,9	23,4	20,2	16,7	9,3	6,6	14,8
1998	6,7	7,2	11,4	11,2	16,3	21,9	24	23,6	20,5	14,1	8,3	4,2	14,1
1999	5,7	6,7	10,7	12,4	18,7	21,5	25,2	25,2	17,9	15,5	5,8	4,7	14,2
2000	2,9	9,9	11,3	12,6	22,5	22,5	23,7	24,4	20,6	15,2	9,1	7,9	15,2
2001	4,2	7,6	12,1	13,4	18,6	22,2	23,8	23,9	18,8	13,7	7,7	8	14,5
2002	2,5	8,8	11,6	14,2	17,8	23,1	24,1	25,1	19,2	15,1	9,1	7,9	14,9
2003	5,5	5,7	11,1	13,6	16,9	25	25,1	26,1	18,7	12,7	8,4	4,2	14,4
2004	5,6	3,2	6,6	9,9	15,8	22,6	22,8	23,1	20,5	15	6,3	4,3	13,0
2005	1	2,3	9,7	12,2	17,9	23,6	24,2	22,7	19,2	15,5	8,3	1,8	13,2
2006	4	4,7	10,8	14,4	18,3	22	25,9	21,4	20,1	16,2	10,9	3	14,3
2007	4,7	5,6	10,2	13,4	16,9	21,8	26,1	23,4	20	15,8	10,5	3,2	14,3
2008	5,1	6,1	10,5	12,9	17,8	22,1	26	24,1	20,2	16,3	10,8	4,1	14,6
2009	4,2	7,2	9,2	11,8	19,1	23,2	24,8	25,5	20,3	16,6	10,3	4,3	14,7
MEDIA	4,9	6,9	10,7	12,7	17,7	21,7	24,4	24	19,3	14,6	8,6	5,8	14,3

TEMPERATURAS MEDIAS MÁXIMAS (° C)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
1989	10,5	14,5	16,8	16,8	25,1	28,3	30,9	29,4	22,6	22,1	13,5	12,5	20,3
1990	9,9	16,4	17,9	20,1	24,6	27,7	31,7	32,5	23,5	18,9	14,6	10,1	20,7
1991	8,5	11,5	18,2	16,4	21,2	24,6	31,3	32,4	22,9	20,1	12,6	8,9	19,1
1992	10,3	10,7	15,7	20,1	24,7	22,6	33,5	29,8	24,7	16,9	13,6	9,5	19,3
1993	9,1	11,5	16,1	19,4	23,7	27,7	29,2	30,1	23,2	16,4	11,6	10,3	19,0
1994	11,5	13,6	19,2	17,3	23,3	28,4	32,7	31,2	22,4	18,6	13,7	9	20,1
1995	11,6	14,6	16,5	20,2	23,3	26,8	31,5	29,5	23,6	22,9	15,5	10	20,5
1996	11	11,1	15,6	19	22,8	28,1	30,5	28,2	24,4	20,5	14,1	9,9	19,6
1997	11,5	15	20,1	20,7	23,4	25,5	32,5	29,8	26,5	23,1	14,3	11	21,1
1998	11,1	12,6	18,2	16,8	22,2	28,7	31,3	31,3	26	19,9	13,7	8,3	20,0
1999	10,4	12,5	16,4	24,7	23,6	30,8	33,1	29,7	25,7	19,5	10,4	9,5	20,5
2000	8,3	16,4	18,1	17,8	24,9	29,6	29,9	31,5	27,3	20,3	13,6	11,9	20,8
2001	7,5	13,5	17,5	19,8	25,3	29,7	30,6	31,6	25,2	18,9	13,1	5,1	19,8
2002	9,3	14,6	17,2	21	25,1	31,1	32,5	32,9	24,9	20,8	15,5	11,5	21,4
2003	10,1	10,5	17,7	19,9	22,6	33	32,9	34,2	24,7	17,7	13	8,2	20,4
2004	10,6	7,8	13	15,9	22,9	30,7	30,2	30,2	27,2	21	11,9	8,4	19,2
2005	5,1	8,9	16,8	17,9	24,5	31	31,7	29,5	25,5	20,3	12,7	6,2	19,2
2006	7,7	10,1	16,2	21	25,3	29,6	33,3	28,5	25,5	21,4	15,2	6,4	20,0
2007	8	10,5	16,8	20,8	25,4	29,1	32,8	29,1	24,9	20,1	15,1	7,2	19,9
2008	8,1	10,9	16,7	20,9	25,1	29,5	33	29,5	25,1	20,6	14,9	7,6	20,1
2009	7,8	12,8	17,2	18	26	30,6	33,2	28,9	27,2	22,3	15,8	8	20,7
MEDIA	9,6	12,5	17,1	19,1	23,9	28,7	31,7	30,8	24,9	20,1	13,6	9,2	20,1

TEMPERATURAS MEDIAS MÍNIMAS (° C)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
1989	0,6	2,1	3,4	6,5	11	15	17,1	16,7	13,7	8,9	1,5	6,2	8,6
1990	1	5,7	4,2	7,8	10,9	16,7	16,9	18,5	12,7	9,3	4,8	0,5	9,1
1991	2,1	1,2	2,5	7,4	8,5	14,1	17,2	18,1	13,2	10,1	3,1	-0,7	8,1
1992	1,9	-3	4,2	6,8	12,3	11,9	18,1	17,8	14,1	9,4	2,3	3,1	8,2
1993	-0,8	0	3,9	7,1	12,6	15	15,5	16,9	13	8,3	3,9	2,8	8,2
1994	1,1	3,6	5,1	6	11,5	14,2	18,8	18,5	12,6	10,7	6,9	2,7	9,3
1995	1,1	2,8	3,3	6,2	11,1	14,4	17,9	16,7	12,1	10,9	5,9	3,2	8,8
1996	4,6	1,6	4	7	10,4	14,7	16,4	15,8	12	8,1	5,1	3,5	8,6
1997	1,8	2,6	4,6	7,5	11,5	14,5	16,5	17,5	14,3	11,4	5,2	2,7	9,2
1998	2,3	1,8	4,5	5,4	10,4	15	16,7	15,9	14,9	8,2	3	0	8,2
1999	1	0,8	4,9	6,9	12,7	14,9	16,9	15,8	13,1	9,4	1,2	-0,2	8,1
2000	-2,7	3,2	4,6	7,4	9,9	15,4	17,4	17,3	13,9	10,1	4,6	3,8	8,7
2001	0,1	1,6	3,1	7	11,7	14,6	17	18	12,2	7,9	2,2	-3,5	7,7
2002	-0,1	2,9	5,9	7,4	12,1	16,7	18,1	16,1	12,9	9,3	5,8	4,3	9,3
2003	0,8	0,9	4,4	7,2	10,2	17	17,3	17,9	12,5	7,7	3,9	0,2	8,3
2004	0,5	-1,4	0,3	3,8	8,6	14,5	15,3	16	13,5	8,8	0,7	0,1	6,7
2005	-3,2	-4,3	2,6	6,5	11,3	16,1	16,7	15,9	12,8	10,6	3,9	-2,6	7,2
2006	0,4	-0,8	5,3	7,7	11,3	14,4	18,4	14,3	14,6	11	6,6	-0,4	8,6
2007	0,7	0,9	4,1	6,8	11,4	15,2	17,9	14,9	13,6	11,2	5,3	0,5	8,5
2008	0,8	0,7	4,3	6,9	11,9	14,9	17,6	15,3	13,9	10,9	5,8	0,8	8,6
2009	-0,2	1,6	3,1	6,3	12	15,7	17,3	17,9	13,3	9,8	5,1	1,4	8,6
MEDIA	0,7	1,2	5,2	6,8	11,0	15,0	17,1	16,9	13,2	9,5	4	1,4	8,5

TEMPERATURAS MÁXIMAS ABSOLUTAS (° C)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
1989	13,2	15,9	22,9	20,9	30,6	33,4	35	37	30,1	24,8	16,9	18	24,9
1990	14,5	21,5	26,4	23,1	32,1	39,7	37,5	36,4	29	22,2	21,1	15,9	26,6
1991	16,7	17,2	24,6	22,4	30,2	38,4	36	36,5	27,9	24	18,5	16,4	25,7
1992	11,5	16,3	22,6	28,3	31,8	29,3	38,5	37,2	31,2	23,6	19,3	15,1	25,4
1993	15,8	15,5	21,7	27,2	29,7	33,7	35,9	36,1	29,5	23,1	17,2	16,2	25,1
1994	16,3	18,1	24,1	27,7	29,6	35,3	35,5	35,9	30	22,3	19,6	16	25,9
1995	17,7	20,1	22,3	25,6	31,1	32,5	36	34,9	29,2	27,8	23,3	17,4	26,5
1996	14,4	15,4	21,4	24,2	30,3	33,6	36,2	32,9	29,4	26	20,4	17,5	25,1
1997	17,2	19,4	25,4	25,6	31,1	30,6	36,1	33,6	32,6	29,9	19,5	16	26,4
1998	16,7	19,2	22,8	23,5	26,6	34,1	35,8	36,2	32,5	24	21,2	15,7	25,7
1999	15,8	19,3	21,4	28,5	30,7	35,9	34,9	38,1	31,9	26,6	17,5	19,3	26,7
2000	17,4	19,6	23,7	26	30,3	35,2	38,5	35,4	32,7	25,7	18,4	15,5	26,5
2001	14,8	18,5	24,6	24,8	35,3	37,8	36,5	37,5	29,7	24,5	19,2	13,5	26,4
2002	13,7	18,3	27,7	30,1	31,6	37,5	38,1	38,4	29,9	25,3	22,6	16,8	27,5
2003	21,1	14,5	21,8	26,3	28,9	38,2	37,3	38,3	28,6	25,6	18	15,2	26,2
2004	17,3	13,3	21,6	23,1	29,2	36,5	36,4	35,7	32,1	29,2	17,3	13,1	25,4
2005	16,7	15,5	23,6	29	30	35,5	38,1	34,5	32,7	27,4	19,3	13,6	26,3
2006	15,3	16,9	24,2	24,7	33,5	34	36,4	32	33,6	25,9	19,9	18,1	26,2
2007	15,5	17,1	24,1	24,9	32,9	34,5	36,5	33,1	32,9	25,8	20,1	18,2	26,3
2008	15,8	17,4	24,2	25,3	33,1	34,8	36,3	33,5	33,1	25,7	19,9	18,3	26,4
2009	17	18	25	26	33	37	37	37	33	29	19	14	27,1
MEDIA	15,9	17,5	23,6	25,6	30,8	35,2	36,6	35,9	30,8	25,6	19,4	16	26,0

TEMPERATURAS MÍNIMAS ABSOLUTAS (° C)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
1989	-0,7	-1,1	0,2	3	4,7	7,3	14,4	15,2	7,1	3,8	-2,1	-0,3	4,3
1990	-6	1,5	-3,2	2	3,4	6,2	10,8	12,9	12,3	4,6	-0,6	-3,9	3,3
1991	0	-5	-2,1	5	1,8	7,5	12,1	14,9	10,3	4,1	1,2	-4,3	3,8
1992	-1,1	-5,2	-1,6	2,7	4,7	8,8	13,5	11,8	11,7	2,9	-3,3	-3,9	3,4
1993	-5,4	-6,1	-3,1	3,1	2,1	10	11,1	12,1	6	0,9	-1,8	-0,2	2,4
1994	-6,7	-1,8	1,1	0,7	5,5	7,9	15,5	14,9	6,9	5	3,5	-5,8	3,9
1995	-5,3	-4	-1,6	1,1	3,6	8,9	12,1	10,5	5,3	7	-0,1	-34	0,3
1996	-0,8	-1,9	-1,4	-1,2	4,7	7,8	10	10,8	8,2	1,3	-2,5	-4,3	2,6
1997	-3,1	-2,4	1,1	3,6	4,2	10,2	12,7	11,6	11,1	2,8	-0,5	-4,1	3,9
1998	-4,4	-2,9	-2,2	-0,1	4,7	9,9	11,8	9,5	10,1	3,8	-6	-5	2,4
1999	-4,2	-7,7	1,3	2,7	9,5	8,8	11,3	14,1	9,5	3,2	-5,5	-6,7	3,0
2000	-6,8	-2	-0,7	1,3	3,8	9,6	14,2	12,9	7,8	4,3	-0,9	0	3,6
2001	-6,9	-2,3	-0,6	2	3	9,7	12,7	13,8	5,9	5,2	-3,2	-12,8	2,2
2002	-2,8	-2,2	-0,8	2,7	5,1	11,4	14,3	14,2	6,1	4,4	1	-0,8	4,4
2003	-6,5	-7,4	-0,8	-0,2	4,2	13,2	12,7	14,3	9,2	1,9	-0,6	-4	3,0
2004	-5,6	-5,8	-7,2	-0,7	2,5	9	9	10,3	6,8	2	-6,1	-6,7	0,6
2005	-13,1	-13,7	-10,7	2,6	7,4	12,1	11,9	10,5	4,9	4,4	-1,3	-8,3	0,6
2006	-5,6	-4,9	-4,1	3,8	5,9	6,6	13,9	10,6	8,7	7,3	1,7	-5,6	3,2
2007	-5,2	-4,5	-3,9	2,8	5,5	7,1	13,5	10,9	8,8	6,9	1,5	-4,2	3,3
2008	-4,9	-4,4	-3,1	2,9	5,8	7,9	14,2	11,4	9,1	6,5	1,2	-4,8	3,5
2009	-7	-2	-1	3	6	11	13	13	11	0	0	-3	3,3
MEDIA	-4,8	-4,1	-2,0	1,9	4,6	9,3	12,4	12,5	8,3	3,6	-1,4	-6,1	2,8

RESUMEN DE LAS TEMPERATURAS (° C)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
tmm	4,9	6,9	10,7	12,7	17,7	21,7	24,4	24	19,3	14,6	8,6	5,8	14,3
Tm	9,6	12,5	17,1	19,1	23,9	28,7	31,7	30,8	24,9	20,1	13,6	9,2	20,1
tm	0,7	1,2	5,2	6,8	11,0	15,0	17,1	16,9	13,2	9,5	4	1,4	8,5
TMa	15,9	17,5	23,6	25,6	30,8	35,2	36,6	35,9	30,8	25,6	19,4	16	26,0
tma	-4,8	-4,1	-2,0	1,9	4,6	9,3	12,4	12,5	8,3	3,6	-1,4	-6,1	2,8

- **tmm:** temperatura media mensual
- **Tm:** temperatura media máxima
- **tm:** temperatura media mínima
- **TMa:** temperatura máxima absoluta
- **tma:** temperatura mínima absoluta

2.1. Régimen de heladas

A partir de la serie climática de 21 años, de 1989 a 2009, se establecen los siguientes periodos de heladas:

INTERVALO	PRIMERA HELADA	ULTIMA HELADA
89-90	22/11/10	12/03/10
90-91	30/11/10	21/03/10
91-92	22/11/10	25/03/10
92-93	23/11/10	25/04/10
93-94	16/11/10	22/02/10
94-95	16/12/10	09/03/10
95-96	04/11/10	04/04/10
96-97	15/11/10	17/02/10
97-98	24/11/10	14/04/10
98-99	17/11/10	15/03/10
99-00	09/11/10	04/04/10

00-01	10/11/10	15/03/10
01-02	09/11/10	03/03/10
02-03	07/12/10	04/04/10
03-04	05/11/10	13/04/10
04-05	08/11/10	13/03/10
05-06	28/11/10	03/03/10
06-07	02/12/10	18/03/10
07-08	29/11/10	12/03/10
08-0,9	11/12/10	10/03/10
MEDIA	18/11/10	20/03/10

El mayor periodo de helada queda comprendido entre el 4 de noviembre para la primera helada y el 25 de abril para la última helada, un total de 172 días con riesgo de heladas y 193 días sin riesgo de helada.

El menor periodo de heladas está comprendido entre el 16 de diciembre y el 17 de febrero con 63 días con riesgo de heladas y 302 días libre de heladas.

El periodo medio de heladas está comprendido entre el 18 de noviembre y el 20 de marzo, en total 122 días de riesgo de heladas y 243 días libre de heladas.

Según la propuesta de Emberger se hace un estudio del régimen de heladas para comprobar si en las épocas de bajas temperaturas podría haber algún impedimento para el establecimiento del cultivo.

Divide el año en periodos según la probabilidad de producirse heladas, utiliza la media de las temperaturas mínimas con el siguiente criterio:

- A) Período seguro de heladas.** Se produce cuando la temperatura media de las mínimas es inferior a 0º C.
- B) Período frecuente de heladas.** Se produce cuando la temperatura media de las mínimas está comprendida entre 0º C y 3º C.
- C) Período poco frecuente de heladas.** Cuando la temperatura media de las mínimas está comprendida entre 3º C y 7º C.
- D) Período con heladas muy poco frecuentes.** Cuando la temperatura media de las mínimas es superior a 7º C.

Observados y estudiados todos los datos se puede deducir:

RIESGO	T. (°C)	INICIO	FIN	Nº DIAS
Seguro	T < 0°C	Ninguno	Ninguno	0
Frecuente	0°C < T < 3°C	Diciembre	Febrero	90
Poco frecuente	3°C < T < 7°C	Noviembre	Marzo	151
Muy poco frec.	T > 7°C	Octubre	Mayo	184

2.2. Horas de frío

Para el cálculo de las horas de frío tomaremos como referencia a tres autores.

Según Weinberger, el número de horas bajo 7°C puede determinarse mediante el cuadro siguiente. Donde "T" es la media aritmética de las temperaturas de diciembre y enero.

T	13,2	12,3	11,4	10,6	9,8	9	8,3	7,6	6,9	6,3
Hora < 7°C	450	550	650	750	850	950	1050	1150	1250	1350

$$T = (4,9 + 5,8) / 2 = 5,35$$

Por lo tanto el número de horas de frío es mayor a **1350h.**

Según Mota, el número mensual de horas menor a 7°C puede calcularse por la fórmula:

$$y = 485,1 - 28,5 x$$

Siendo x la temperatura media mensual.

	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril
X	14,6	8,6	5,8	4,9	6,9	10,7	12,7
Y	69	240	319,8	345,45	288,45	180,15	123,15

$$\Sigma y = \mathbf{1566 \text{ horas}} \text{ de frío} < 7^{\circ}\text{C}$$

Según **Tabuena** (es una adaptación del método de Mota para el valle del Ebro). Calcula las horas frío entre el 1 de noviembre y el 1 de abril:

$$y = \mathbf{700,1 - 48,6 x}$$

Siendo x la temperatura mensual.

	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
X	8,6	5,8	4,9	6,9	10,7
Y	282,14	418,22	461,96	364,76	180,08

$$\Sigma y = \mathbf{1707,16 \text{ horas}} \text{ de frío} < 7^{\circ}\text{C}$$

3. Elementos hídricos

3.1. Precipitaciones

Nos encontramos en una zona en donde las mayores precipitaciones se localizan en dos épocas del año que son en otoño y primavera siendo en primavera más intensas.

Los registros más bajos se dan en los meses de verano, aunque en este periodo tomado, las medias pluviométricas nos indican lo contrario. Hay que tener en cuenta que durante el verano los días de lluvia son

menores pero estas caen con mayor intensidad debido a que se produce en forma de tormentas.

En las siguientes tablas se muestran las precipitaciones medias mensuales y los días de lluvia de cada mes del año 1989 a 2009.

PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1989	38,2	27	28,6	14,7	78,4	11,1	60,6	0	2,2	33,8	22,5	49,5	366,6
1990	22,9	41,1	4,1	73	37,9	2,3	21,2	9,4	115	79,1	55,5	21,6	483,1
1991	57,7	26,8	1,2	34,6	52,4	3,1	41	2	27	46,8	31,2	32,8	356,6
1992	59,8	15	0,8	136,9	24,7	41,7	6	0	0	10	30,6	2,3	327,8
1993	8,5	38,5	1,6	48,9	40	88,5	60,1	69,4	41,3	17,3	22,3	67,2	503,6
1994	8,7	3,7	0	17,3	67,8	87	0,6	36	113	71,8	30	13	448,9
1995	12	18	44,9	18,1	5,6	6,3	8,1	1	54	55,5	37,6	11,5	272,6
1996	17	14,8	6,5	8,1	64,7	78,3	15	44,8	30	59,7	2	23,3	364,2
1997	0	12,1	10,3	59,4	55,1	14,9	0	81,3	42,7	70,1	10,9	0,9	357,7
1998	2	18	3	19,2	74	0	20	13,9	119,8	65,4	37,6	8,3	381,2
1999	5	31,9	3,2	28,1	10,8	6,8	17,7	6,9	11,6	13,5	38,1	70	243,6
2000	107,3	21,6	14,4	44,5	31,4	27,4	1,8	34,4	7	4,5	77,8	107	479,1
2001	95	26	0	64,1	17,6	61,6	21	37,7	10,7	9,8	42,5	62,6	448,6
2002	8,8	6,2	5,5	36,7	27	1,5	16,5	20,4	40,2	6	9	16,6	194,4
2003	6,3	12,6	73,2	38,7	38,1	6	37,1	29,1	40	33,8	20,9	0	335,8
2004	30,0	16,9	13,2	42,8	41,7	29,1	21,8	26,0	43,6	38,5	31,2	32,4	367,19
2005	38,2	27,0	28,6	14,7	78,4	11,1	60,6	3,5	2,2	33,8	22,5	49,5	370,1
2006	6,3	12,6	73,2	38,7	38,1	6,0	37,1	29,1	40,0	33,8	20,9	0,0	335,8
2007	9,1	15,2	13,4	58,1	47,2	38,3	4	21,3	22	15,3	8,8	15,7	268,4
2008	31,4	21	14,9	61,8	72,5	50,8	12,7	11,4	24,8	42,3	37,5	41,8	422,7
2009	22,1	13	20,1	84,3	13,8	6,9	3,5	28,1	37,3	51,5	17,1	51,5	349,2
MEDIA	28,7	20,1	17,4	43	42	25,9	23,7	24,8	40,9	38,6	29,5	32,5	367,1

NÚMERO DE DIAS DE LLUVIA MENSUALES

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1989	9	2	5	7	9	6	2	0	2	5	9	8	64
1990	3	1	7	6	8	0	4	4	6	8	6	3	56
1991	6	5	0	8	6	3	7	4	6	7	5	6	63
1992	3	1	1	5	8	6	1	0	0	6	5	1	37
1993	5	1	1	3	5	7	2	3	2	5	2	6	42
1994	8	1	0	6	7	4	1	6	4	9	3	7	56
1995	3	6	9	5	5	5	1	1	7	7	6	4	59
1996	5	3	3	5	11	2	3	3	4	8	1	6	54
1997	0	1	2	8	6	6	0	1	8	8	5	1	46
1998	2	5	2	5	9	0	1	1	6	12	6	5	54
1999	3	3	2	2	8	1	2	1	3	2	6	7	40
2000	13	4	4	5	4	2	1	1	2	2	8	3	49
2001	12	1	0	4	5	7	1	7	4	5	12	4	62
2002	6	2	2	3	6	0	2	0	6	3	3	4	37
2003	3	2	7	8	2	3	5	5	7	5	3	0	50
2004	6	3	3	5	7	5	2	3	4	6	5	4	53
2005	4	2	1	2	4	1	3	2	1	3	6	3	32
2006	3	2	3	4	1	2	3	2	2	4	7	3	36
2007	2	8	3	10	7	7	4	7	4	2	2	4	60
2008	9	5	8	9	13	5	7	6	6	7	9	6	90
2009	7	5	5	6	8	3	3	5	3	5	4	8	62
MEDIA	5,3	2,6	3	5,1	6,3	3,6	2,3	2,5	4,1	5,8	5,3	4,4	50,3

El mes que presenta una mayor pluviometría es Abril con una media de 43mm. En cambio el mes menos lluvioso es marzo, con una precipitación media de 17,4mm, siguiéndole febrero y Julio con 20,1 y 23.7mm de medias respectivamente.

En cuanto a las precipitaciones anuales la máxima pluviometría registrada corresponde al año 1993 con un total de 503,6mm totales, y el año menos lluvioso es el 2002 con 194,4mm totales.

La mayor pluviometría mensual queda registrada en el mes de abril de 1992 con 136,9mm.

El mes con mayor número de días de lluvia es mayo con 6,3 días de mayo y el que presenta menor número de días de lluvia es julio con 2,3.

La precipitación media anual es de 367,1mm repartida por estaciones de la siguiente manera:

- Invierno: 24.64%
- Primavera: 28.63%
- Verano: 16.7%
- Otoño: 30.21%

Todos los datos se encuentran resumidos en este cuadro:

Estación	Mes	Precipitación media (mm)	Días de lluvia	% Estación
Invierno	Diciembre	32,5	4,4	24,46
	Enero	28,7	5,3	
	Febrero	20,1	2,6	
Primavera	Marzo	17,4	3	28,63
	Abril	43	5,1	
	Mayo	42	6,3	
Verano	Junio	25,9	3,6	16,7
	Julio	23,7	2,3	
	Agosto	24,8	2,5	
Otoño	Septiembre	40,9	4,1	30,21
	Octubre	38,6	5,8	
	Noviembre	29,5	5,3	

3.2 Humedad relativa

La humedad relativa es un dato meteorológico imprescindible para el cálculo de la ETo. En las tablas siguientes se muestran los datos de las humedades relativas medias mensuales expresadas en % de los últimos 21 años de la zona en la que se encuentra la finca.

HUMEDAD RELATIVA (%)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
1989	84	65	55	62	51	44	45	53	59	59	80	80	61,4
1990	88	70	51	58	48	54	40	46	59	69	74	75	61,0
1991	70	67	71	56	45	43	38	41	58	65	74	79	58,9
1992	83	68	62	50	55	59	48	51	60	74	80	84	64,5
1993	87	66	62	54	59	47	43	48	55	71	82	81	62,9
1994	70	69	61	56	59	48	52	47	58	80	87	86	64,4
1995	65	68	55	51	53	52	45	51	55	62	71	85	59,4
1996	82	68	63	61	58	49	49	55	58	60	77	84	63,7
1997	82	68	57	60	62	58	62	57	60	67	82	80	66,3
1998	77	78	62	63	61	53	53	55	65	69	71	78	65,4
1999	75	69	60	61	56	51	45	53	57	68	74	78	62,3
2000	85	76	67	69	65	58	57	58	64	76	83	88	70,5
2001	81	73	74	59	58	44	52	51	60	69	70	84	64,6
2002	82	67	66	60	59	48	50	55	57	73	76	85	64,8
2003	75	74	62	61	59	45	47	48	65	76	84	81	64,8
2004	74	83	69	67	60	46	50	53	57	65	75	81	65,0
2005	78	61	57	57	47	42	43	50	52	69	77	81	59,5
2006	83	68	63	55	47	44	41	44	54	60	74	85	59,8
2007	81	72	58	56	49	46	48	51	56	62	76	86	61,7
2008	79	75	61	57	52	48	46	49	58	63	73	81	61,8
2009	80	74	59	58	50	47	47	52	61	62	78	82	62,5
MEDIA	78,9	70,1	62,1	58,9	55,8	49,1	48	50,9	58,6	68,1	77,3	82	63,3

Se observa que la humedad relativa media anual está por encima del 55%.

Los meses que presentan mayor humedad relativa son los de invierno y otoño, más concretamente Enero 78,9% y Diciembre 82%. El menor valor de humedad relativa media corresponde al mes de Julio con un valor de 48%.

En el siguiente cuadro se recogen los valores de la humedad relativa mínima, media y máxima de cada mes:

HUMEDAD RELATIVA (%)

MES	MÍNIMA	MEDIA	MÁXIMA
ENERO	68,4	78,9	83,4
FEBRERO	61	70,1	81,7
MARZO	48,5	62,1	76,5
ABRIL	50,3	58,9	77,1
MAYO	47,2	55,8	75,9
JUNIO	40,7	49,1	70,3
JULIO	37,4	48	66,3
AGOSTO	38,3	50,9	67,9
SEPTIEMBRE	44,1	58,6	75,3
OCTUBRE	57,1	68,1	80,3
NOVIEMBRE	68,1	77,3	84,7
DICIEMBRE	71,8	82	86,5

3.3. Niebla y rocío

Los días de niebla y rocío son necesarios para la caracterización agroecológica.

En la tabla siguiente se muestran los días de niebla y rocío de cada mes a lo largo de la serie.

NÚMERO DE DÍAS DE NIEBLA Y ROCÍO DE CADA MES

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1989	7	9	1	0	0	0	0	0	0	1	0	17	35
1990	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	12	13	29
1991	4	5	1	0	0	0	0	0	0	0	2	6	18
1992	8	13	6	1	0	0	0	2	0	2	10	23	65
1993	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	9	30
1994	19	8	13	2	0	0	0	0	0	5	9	26	82
1995	20	0	12	2	0	0	0	0	0	4	11	14	63
1996	24	22	0	0	0	0	0	0	2	0	4	13	65
1997	25	13	3	0	0	0	0	0	0	1	3	12	57
1998	12	5	13	2	8	0	0	0	2	1	15	15	73
1999	7	2	9	7	0	0	0	0	0	14	9	11	59
2000	6	2	0	3	0	0	0	0	6	9	8	9	43
2001	7	10	9	4	2	1	0	0	0	11	6	5	55
2002	9	18	7	0	0	0	0	0	0	4	3	10	51
2003	10	1	1	0	0	0	0	0	7	14	11	7	51
2004	17	8	5	2	0	0	0	0	3	4	9	3	51
2005	21	10	4	0	1	0	0	0	0	5	8	18	67
2006	16	11	3	1	0	0	0	0	2	8	13	9	63
2007	17	8	4	2	1	0	0	0	0	6	4	11	53
2008	16	10	3	0	0	0	0	0	1	6	8	10	54
2009	18	9	3	1	0	0	0	0	1	4	5	9	50
MEDIA	13	7,9	4,6	1,3	0,6	0,1	0,0	0,1	1,1	4,7	7,8	11,9	53

4. Viento

El viento es un factor que influye en gran medida en los cultivos, tanto por su fuerza, como por su dirección.

En la zona en la que se encuentra ubicada la finca predomina mucho el viento tanto el cierzo (viento normalmente frío y del noroeste), y el bochorno (viento del este o sureste normalmente cálido).

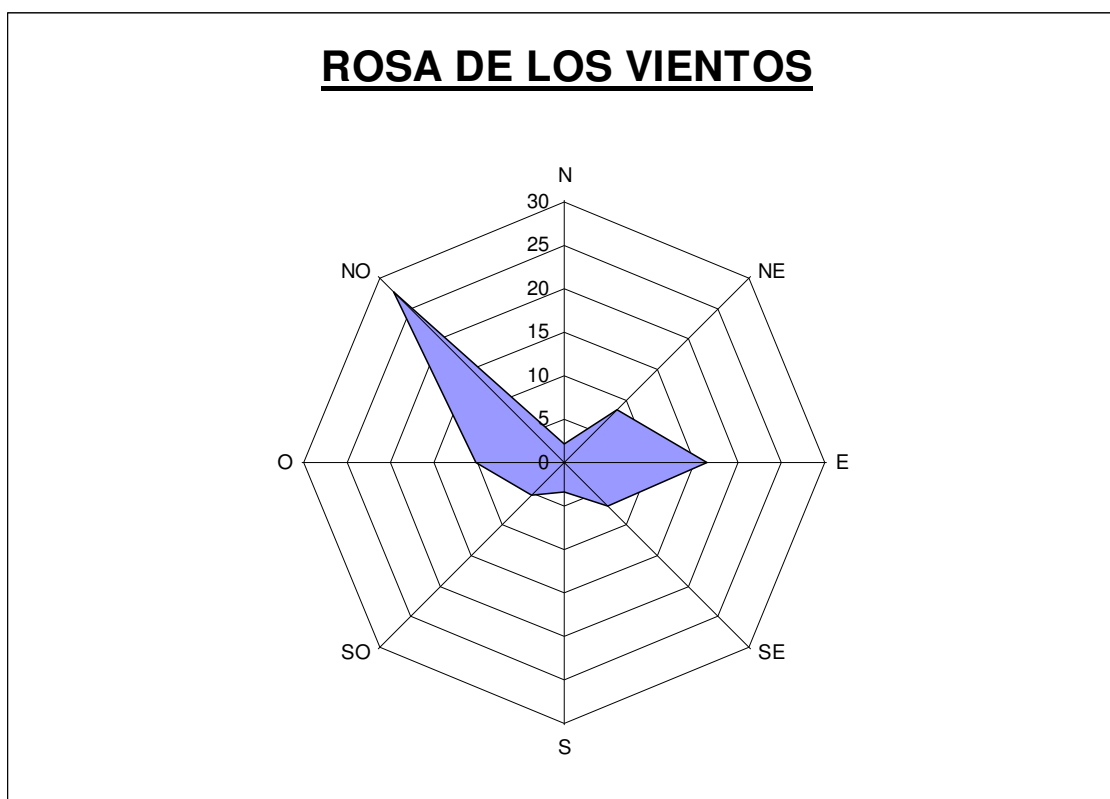
Los datos de los vientos se representan en las siguientes tablas (el sumatorio del número de veces que ha soplado el viento en una dirección dividido por los 12 meses del año da el porcentaje de veces que se ha observado con respecto al resto de direcciones).

DÍAS DE VIENTO MENSUALES (%)

MES	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	CALMA
ENE	1	5,6	5,3	1,8	5	7,6	8,4	25	40,3
FEB	2,3	12,5	14	4,6	3,3	5,2	11	32,4	14,7
MAR	3,5	10,8	12,5	5	2,9	6,1	8,4	31,4	19,4
ABR	2,6	13,4	15	3,6	0,8	5	9,6	38,4	11,6
MAY	2,8	16,4	17,3	3,8	4,2	7	9,6	30,2	8,7
JUN	3	9,3	16,8	11	3,1	4,3	13,7	28	10,8
JUL	2,3	1,5	22,4	24,8	1,5	5,8	17,3	17,2	7,2
AGO	0,5	2,8	29	11	3,5	2,1	5,6	31,2	14,3
SEP	3	8,5	30	7,9	2,5	3,5	7,5	21,1	16
OCT	2,3	10,8	18,6	5,4	3,9	7,4	8,7	23,7	19,2
NOV	0,8	7,1	9,7	4,2	7,2	5,7	9,2	25,7	30,4
DIC	1,7	7,8	5,8	2,3	3,2	3,9	11,8	24,5	39
AÑO	2,2	8,6	16,4	7,1	3,4	5,3	10,1	27,5	19,4

El total de días con viento es del 80,6% por lo que el periodo de calma es sólo de 19,4%.

Si representamos estos datos en un gráfico de frecuencias radiales, se obtiene la denominada "rosa de los vientos" de la zona:



Como se puede observar de manera muy clara, el cierzo es predominante.

VELOCIDADES MEDIAS DEL VIENTO (Km/día y m/s)

VEL	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Km/d	251	259	280	271	246	241	240	245	226	240	232	216
m/s	2,9	3	3,2	3,1	2,8	2,8	2,8	2,9	2,6	2,8	2,6	2,5

El viento supone una pérdida de uniformidad del riego por aspersión, con lo cual habrá que tenerlo en cuenta a la hora de diseñar el sistema de tuberías. La idea es prever periodos en los que no será posible regar debido al viento.

5. Radiación solar

Éste es otro parámetro necesario en muchas fórmulas de cálculo de evapotranspiración de referencia. Interesa conocer tanto la radiación extraterrestre recibida sobre la zona (que es función exclusivamente de la

latitud) que se expresa como R_a , como la media mensual del coeficiente de insolación n/N , donde n son las horas diarias de sol reales (parámetro que depende de la nubosidad), y N las horas diarias de sol teóricas (parámetro que depende de la latitud). También es necesario conocer el porcentaje diario de horas diurnas anuales p , que va a depender de la latitud.

Tanto R_a como n/N y p son valores que están tabulados en tablas, por Doorembos y Pruitt, y se pueden obtener a partir de la latitud.

Nos encontramos a una latitud norte de 42° , por lo tanto los datos de radiación mensuales en nuestro caso según dichos autores son los siguientes:

RADIACIÓN SOLAR Y NUBOSIDAD

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
R_a (MJ/m²día)	9,4	10,6	11,9	13,4	14,6	15,2	14,9	13,9	12,9	11,1	9,8	9,1
p	0,21	0,24	0,27	0,3	0,33	0,34	0,33	0,31	0,28	0,25	0,22	0,21
n/N	0,44	0,53	0,58	0,57	0,57	0,65	0,74	0,73	0,64	0,58	0,50	0,41

6. Índices termopluviométricos

Se van a calcular unos índices que intentan caracterizar al clima en cuestión.

6.1. Índice de Lang

Este índice se calcula con la fórmula:

$$I_L = P/T$$

Donde " I_L " es el índice de Lang, " P " la precipitación anual media en milímetros, y " T " la temperatura media anual en $^\circ\text{C}$.

Lang propone la siguiente clasificación:

- Si I_L está entre 0 y 20, se clasifica como desierto.
- Si I_L está entre 20 y 40, se clasifica la zona como árida.
- Si I_L está entre 40 y 60, la zona es húmeda de estepa o sabana.
- Si I_L está entre 60 u 100, es una zona húmeda de bosques.
- Si I_L está entre 100 y 160, es una zona de bosques densos.
- Si I_L supera el valor de 160, estamos en una zona muy húmeda de prados.

Calculado el índice de Lang en nuestra zona de estudio, resulta:

$$IL = 367,1 / 14,3 = 25,67$$

Se trata, por tanto, de una **zona árida** según el índice de Lang.

6.2. Índice de Martonne

Se expresa con la fórmula:

$$I_M = P / (T + 10)$$

Donde " I_M " es el índice de Martonne, " P " la precipitación anual media en mm, y " T " la temperatura media anual en ° C.

Martonne propone la siguiente clasificación:

- Si I_M está entre 0 y 5, se clasifica como desierto.
- Si I_M está entre 5 y 10, se clasifica la zona como semidesértica.
- Si I_M está entre 10 y 20, la zona es estepas y países secos mediterráneos
- Si I_M está entre 20 y 30, es una zona de regiones del olivo y de los cereales
- Si I_M está entre 30 y 40, es una zona subhúmedas de prados y bosques
- Si I_M supera el valor de 40, estamos en una zona de húmeda a muy húmeda.

Calculado el índice de Martonne en nuestra zona de estudio, resulta:

$$I_M = 367,1 / (14,3 + 10) = \underline{15,11}$$

Se trata, por tanto, de una zona característica de **estepas y países secos mediterráneos** según el índice de Martonne.

6.3 Índice de Dantin Cereceda y Revenga

Con objeto de destacar la importancia de la aridez de una zona climática, se propone utilizar otro índice termopluviométrico, que se define con la siguiente formula:

$$I_{DR} = 100 * T / P$$

"I_{DR}" es el índice de Dantin Cereceda y Revenga, "P" la precipitación anual media en mm, y "T" la temperatura media anual en ° C.

El criterio que sigue es el siguiente:

- Si I_{DR} es menor que 2, entonces implica zonas húmedas y subhúmedas
- Si I_{DR} está entre 2 y 4, la zona se clasifica como semiárida.
- Si I_{DR} es mayor que 4, entonces la zona se clasifica como árida

Calculado el índice de Dantin Cereceda y Revenga en nuestra zona de estudio, resulta:

$$I_{DR} = 100 * 14,3 / 367,1 = \underline{3,89}$$

Se trata por tanto de una **zona semiárida**, según el índice de Dantin Cereceda y Revenga.

6.4 Índice de Emberger

Se calcula según la siguiente formula:

$$Q = 100 * p / (M2 + m2)$$

Donde:

- **P** = Precipitación media anual en mm.
- **M** = Temperatura media máxima del mes más cálido
- **m** = Temperatura media mínima del mes más frío.

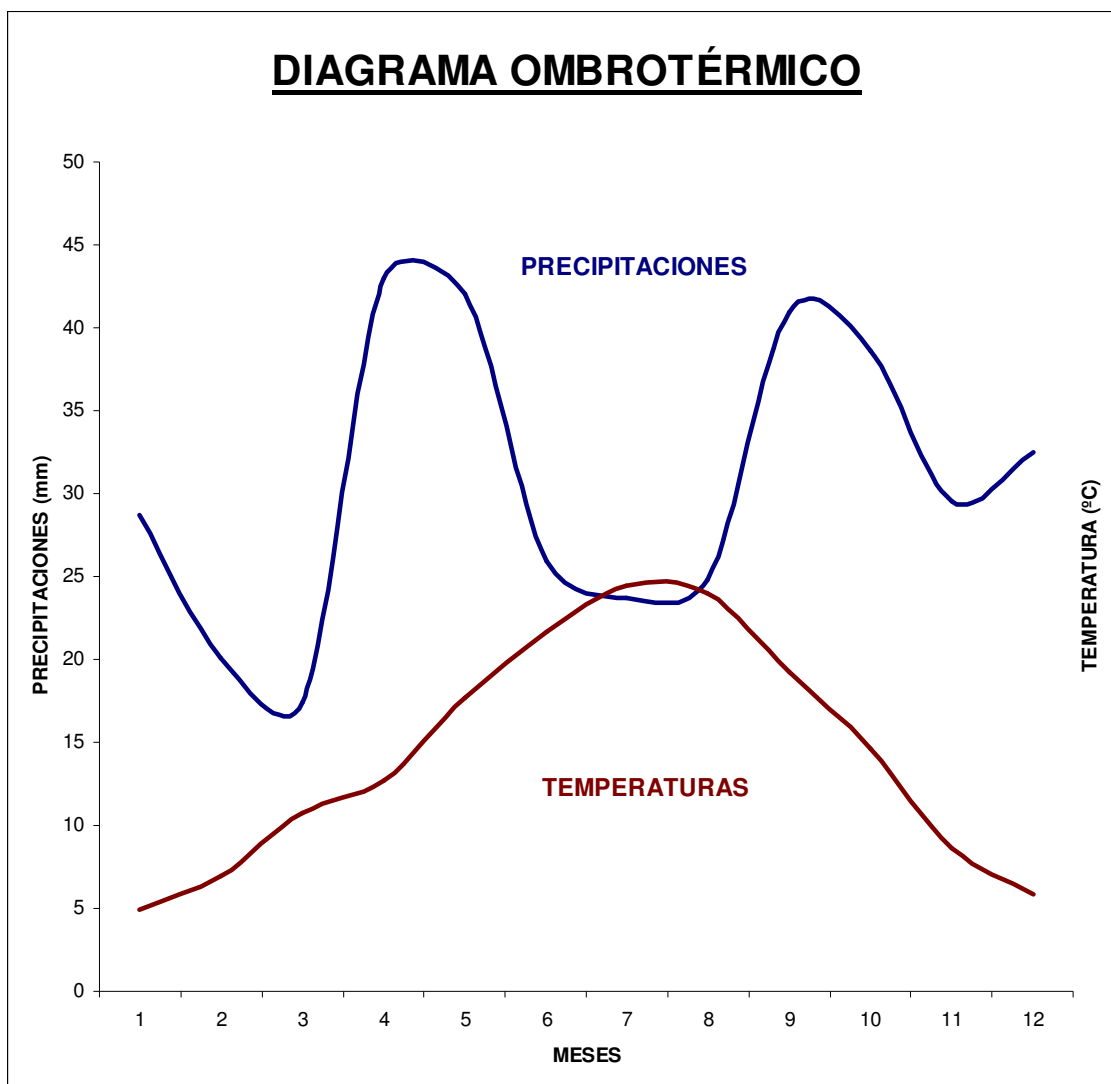
Sustituyendo en la expresión:

$$Q = 100 * 367,1 / ((31,7)^2 + (0,70)^2) = \underline{\underline{36,52}}$$

Este valor corresponde a un clima **mediterráneo semiárido**.

6.5 Diagrama ombrotérmico

Es un índice que da una idea del periodo en que hay sequía. Los meses se clasifican como secos si $P < 2T$, y como subsecos si $2T < P < 3T$. Representando las precipitaciones y las temperaturas (éstas a doble escala) obtenemos el diagrama ombrotérmico de la zona.



La aridez puede clasificarse mediante estos diagramas según el siguiente criterio:

- Axérico: la curva pluviométrica va siempre por encima de la térmica.
- Monoxérico: solamente aparece un periodo seco a lo largo del año.
- Bixérico: aparecen dos periodos secos a lo largo del año.

Se observa en el diagrama ombrotérmico un periodo seco en el que la curva pluviométrica está por debajo de la térmica, que lo comprenden los meses de julio y agosto. Por lo tanto el clima en la zona de estudio se define como **monoxérico**.

7. Cálculo de la evapotranspiración

7.1 Cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP)

La evapotranspiración potencial (ETP) se calcula mediante la fórmula de Thornthwaite, expuesta a continuación:

$$\text{ETP ajustada} = 16 \left(\frac{10 * t}{I} \right)^a$$

Donde:

- **t^a** : Temperatura media mensual.
- **I** : Índice de calor anual. Se obtiene aplicando la siguiente fórmula:

$$I = \sum_{i=1}^{12} i$$

$$i = (t/5)^{1,514}$$

$$a = 6,75 * 10^{-7} * I^3 - 7,71 * 10^{-5} * I^2 + 1,79 * 10^{-2} * I + 0,49$$

$$\text{ETP} = (\text{mm/mes}) \text{ ETP ajustada} * K$$

$$K = (d/30) * (N/12)$$

Donde:

- **K** : Coeficiente de corrector
- **D**: nº días del mes
- **N**: nº máximo horas de sol (depende de la latitud).

Los resultados se recogen en la siguiente tabla:

MESES	t^a media	d (días)	i	I	a	ETPajustada	K	ETP
Enero	4,9	31	0,97	63,96	1,554	10,58	0,81	8,56
Febrero	6,9	28	1,63	63,96	1,554	18,00	0,82	14,75
Marzo	10,7	31	3,17	63,96	1,554	35,59	1,02	36,29
Abril	12,7	30	4,10	63,96	1,554	46,45	1,12	52,03
Mayo	17,7	31	6,78	63,96	1,554	77,82	1,26	98,03
Junio	21,7	30	9,23	63,96	1,554	106,81	1,27	135,64
Julio	24,4	31	11,02	63,96	1,554	128,16	1,28	163,99
Agosto	24	31	10,75	63,96	1,554	124,91	1,20	149,83
Septiembre	19,3	30	7,73	63,96	1,554	89,02	1,08	96,14
Octubre	14,6	31	5,06	63,96	1,554	57,69	0,96	55,39
Noviembre	8,6	30	2,27	63,96	1,554	25,34	0,82	20,78
Diciembre	5,8	31	1,25	63,96	1,554	13,74	0,78	10,72

La EPT total anual es de: **842,15 mm/año**

7.2 Cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET₀)

Éste es el parámetro que más va a condicionar el diseño de la red de riego puesto que de él derivan las necesidades hídricas de los cultivos.

Existen varios métodos para el cálculo de la evaporación de referencia, y aunque muchos son válidos aquí se va a usar el método de Blaney Cirdle, que es de los más usados.

Este método se basa en la ecuación formulada por Blaney-Criddle modificada por Doorembos y Pruitt (1977) para la FAO, esta ecuación es:

$$ET_0 = a + b \cdot p \cdot (0,46 \cdot T_m + 8,13)$$

Donde:

- **ET₀** = Media mensual de evapotranspiración de referencia en mm/día. Es la tasa de evapotranspiración de una superficie extensiva, de 8 a 15 cm de alta, cubierta de gramíneas verdes en crecimiento activo, de altura uniforme, que cubre completamente el terreno y no padece falta de agua.
- **T_m** = Temperatura media.
- **p** = Porcentaje diario de horas diurnas.
- **a** = 0,0043 HR_{min} - (n/N) - 1,41.
- **HR_{min}** = Humedad relativa mínima en %.
- **n/N** = media mensual del coeficiente de insolación.
- **b** = 0,81917 - 0,0040922 · HR_{mín} + 1,0705 · (n/N) + 0,065649 · Ud - 0,0059684 · HR_{mín} · (n/N) - 0,0005967 x HR_{mín} · Ud.

- **Ud** = Media mensual de la velocidad diurna del viento en m/s a 2 metros sobre el suelo.

Con estos parámetros se calcula la ETo para cada mes del año. Los resultados se recogen en la siguiente tabla:

EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA (ET₀)

MES	Tm	HR _{min}	n/N	p	a	b	Ud	Et ₀ (mm/día)	Et ₀ (mm/mes)
Ene	4,9	68,4	0,44	0,21	-1,6	0,9	3,9	0,47	<u>14,47</u>
Feb	6,9	61	0,53	0,24	-1,7	1,1	4,0	1,20	<u>33,62</u>
Mar	10,7	48,5	0,58	0,27	-1,8	1,2	4,3	2,56	<u>79,32</u>
Abr	12,7	50,3	0,57	0,3	-1,8	1,2	4,2	3,27	<u>98,25</u>
May	17,7	47,2	0,57	0,33	-1,8	1,2	3,8	4,64	<u>143,9</u>
Jun	21,7	40,7	0,65	0,34	-1,9	1,3	3,7	6,39	<u>191,67</u>
Jul	24,4	37,4	0,74	0,33	-2,0	1,5	3,7	7,58	<u>234,98</u>
Ago	24,0	38,3	0,73	0,31	-2,0	1,4	3,8	6,58	<u>203,98</u>
Sep	19,3	44,1	0,64	0,28	-1,9	1,3	3,5	4,29	<u>128,72</u>
Oct	14,6	57,1	0,58	0,25	-1,7	1,1	3,7	2,38	<u>73,78</u>
Nov	8,6	68,1	0,5	0,22	-1,6	1,0	3,6	0,93	<u>27,97</u>
Dic	5,8	71,8	0,41	0,21	-1,5	0,9	3,3	0,46	<u>14,13</u>

Se obtiene una ETo anual de **1244,8 mm.**

7.3 Cálculo de la evapotranspiración de cultivo (ET_c)

Una vez se han obtenido los datos de la ETo para los distintos meses del año, se procede a calcular la evapotranspiración del cultivo (ET_c) para los diferentes cultivos que se pondrán en la finca (como se describen en el anejo 5 de rotación de cultivos), para la cual se utiliza la siguiente ecuación:

$$ET_c = ET_0 \cdot K_c$$

Donde:

- **Kc** = Es un parámetro adimensional que representa el llamado coeficiente de cultivo y es función de cada planta y del estado de desarrollo de ésta (a veces puede considerarse constante, como en la alfalfa).

A lo largo del tiempo, suele variar según el siguiente gráfico:



Los valores iniciales, máximos y finales de K_c para cada cultivo, y la duración de cada etapa, se encuentran tabulados por Faci en Evaporación y necesidades de riego de los principales cultivos en las comarcas de Aragón, donde se ha realizado un estudio por comarcas de las necesidades de riego. Se ha empleado para su cálculo las fechas de siembra y recolección de cada cultivo.

A continuación se expone la evaporación mensual de cada cultivo en milímetros (mm):

CEBADA (*Hordeum vulgare*)

Para la cebada se establece la siembra el día 5 de noviembre y la recolección el día 5 de junio. Los periodos de nascencia, crecimiento, madurez, y agostamiento se valoran en 45-70-72-25 días, obteniendo una duración total del ciclo de 212 días.

MES	ET ₀ (mm/mes)	K _c	ET _c (mm/mes)
Noviembre	23,45	0,72	16,88
Diciembre	14,13	0,73	10,31
Enero	14,47	0,86	12,44
Febrero	33,62	1,02	34,29
Marzo	79,32	1,10	87,25
Abril	98,25	1,10	108,07
Mayo	143,9	0,86	123,75
Junio	25,56	0,29	7,41

Total = 400,4mm

TRIGO (*Triticum aestivum*)

El trigo es muy similar a la cebada, siendo la siembra el día el 1 de diciembre y la recolección el 15 de junio. Los periodos del ciclo vegetativo se distribuyen en 40-55-76-25 días, dando una duración total al ciclo de 196 días.

MES	ET ₀ (mm/mes)	K _c	ET _c (mm/mes)
Diciembre	14,13	0,74	10,45
Enero	14,47	0,79	11,43
Febrero	33,62	0,97	32,61
Marzo	79,32	1,09	86,45
Abril	98,25	1,10	108,07
Mayo	143,9	1,03	148,22
Junio	89,46	0,47	42,04

Total = 439,27mm

MAIZ (Zea mays)

El maíz se siembra el 1 de mayo y el ciclo acabará el 5 de octubre, siendo los periodos de 30-40-62-25 días y acumulando una duración total de 157 días.

MES	ET ₀ (mm/mes)	K _c	ET _c (mm/mes)
Mayo	143,9	0,53	76,26
Junio	191,67	0,75	143,75
Julio	234,98	1,08	253,77
Agosto	203,98	1,11	226,41
Septiembre	128,42	0,96	123,28
Octubre	9,52	0,62	5,9

Total = 829,37mm

GIRASOL (Helianthus annus)

Se considera su siembra el 10 de mayo y el fin del ciclo el 20 de septiembre. Los periodos característicos del cultivo se valoran en 25-35-48-25 días, sumando una duración total del ciclo de 133 días.

MES	ET ₀ (mm/mes)	K _c	ET _c (mm/mes)
Mayo	95	0,51	48,45
Junio	191,67	0,71	136,08
Julio	224,74	1,00	224,74
Agosto	203,98	1,10	224,37
Septiembre	81,32	0,65	52,85

Total = 686,49mm

GUISANTE (*Pisum sativum*)

Se considera su siembra el 15 de diciembre y su recolección el 10 de mayo. Los periodos característicos del cultivo se valoran en 30-35-71-10 días, sumando una duración total del ciclo de 146 días.

MES	ET ₀ (mm/mes)	Kc	ET _c (mm/mes)
Diciembre	6,9	0,73	5,03
Enero	14,47	0,78	11,28
Febrero	33,62	1,03	34,62
Marzo	79,32	1,09	86,45
Abril	98,25	1,09	107,09
Mayo	42,75	1,04	44,46

Total = 288,57mm

VEZA FORRAJERA (*Vicia sativa*)

Se considera su siembra el 1 de octubre y su recolección el 15 de mayo. Los periodos característicos del cultivo se valoran en 30-45-141-10 días, sumando una duración total del ciclo de 226 días.

MES	ET ₀ (mm/mes)	Kc	ET _c (mm/mes)
Octubre	73,78	0,63	46,48
Noviembre	27,97	0,76	21,25
Diciembre	14,13	0,99	13,98
Enero	14,47	1,02	14,75
Febrero	33,62	1,02	34,29
Marzo	79,32	1,02	80,90
Abril	98,25	1,02	100,21
Mayo	65	0,98	63,7

Total = 375,56mm

ALFALFA (*Medicago sativa*)

Para el cultivo de alfalfa se considera un K_c constante durante todo el año ya que se trata de un cultivo herbáceo extensivo que una vez sembrado permanece en la parcela varios años.

MES	ET₀ (mm/mes)	K_c	ET_c (mm/mes)
Enero	14,47	0,89	12,87
Febrero	33,62	0,89	29,92
Marzo	79,32	0,89	70,56
Abril	98,25	0,89	87,44
Mayo	143,9	0,89	128,07
Junio	191,67	0,89	170,58
Julio	234,98	0,89	209,13
Agosto	203,98	0,89	181,54
Septiembre	128,72	0,89	114,29
Octubre	73,78	0,89	66,76
Noviembre	27,97	0,89	24,89
Diciembre	14,13	0,89	12,57

Total = 1108,62mm



Universidad
Zaragoza

Proyecto Fin de Carrera

Puesta en riego por aspersión con cobertura total
enterrada en el término municipal de Piracés
(Huesca)

ANEJO 3. ESTUDIO EDAFOLÓGICO

ESTUDIO EDAFOLÓGICO

ÍNDICE DEL ANEJO 3

	Pág.
1. Introducción.....	2
2. Muestreo.....	2
3. Caracterización general del suelo.....	3
3.1 Propiedades físicas.....	3
3.2 Propiedades hídricas.....	4
3.3 Velocidad de infiltración.....	5
3.4 Propiedades químicas.....	7
4. Conclusiones del estudio realizado.....	7
4.1 Conclusiones sobre las propiedades físicas.....	7
4.2 Conclusiones sobre las propiedades hídricas.....	8
4.3 Conclusiones sobre las propiedades químicas.....	8
5. Cálculo de la enmienda húmica.....	9
6. Mantenimiento de las enmiendas orgánicas y nutrientes.....	11

1. Introducción

El suelo es el medio de sustento de la planta y, como tal, es vital para el desarrollo de ésta. Por ello es necesario conocer sus características principales, además de sus posibles factores limitantes, para poder manejarlo de forma adecuada.

El estudio que se realiza en el presente anejo tiene por objeto determinar y mostrar las principales características agronómicas del suelo, de cara a demostrar la viabilidad de la transformación desde el punto de vista edáfico.

A nivel de investigación, cualquier tipo de estudio que tenga en consideración el medio físico y biótico, requiere conocer los suelos y sus propiedades (la mineralogía, la granulometría, el contenido en materia orgánica, la profundidad, la capacidad de retención de agua, el drenaje, la capacidad de aceptar residuos, la erosionabilidad, etc.).

Este conocimiento nos permite conocer cuáles son las respuestas esperables frente a cambios de uso, conseguir una mayor precisión en nuestros estudios y transferir las recomendaciones según las características suelo-objetivo.

2. Muestreo

Para la toma de muestras de suelo para la realización del análisis, se le indica al propietario que deberá dividir la parcela total en subparcelas de una superficie aproximada de cinco hectáreas, tomando una muestra en el centro de cada subparcela.

La muestra obtenida de cada subparcela será mezclada con la del resto lo más homogéneamente posible, y de la mezcla realizada se tomará una muestra de aproximadamente tres kilos, que será la que se lleve al laboratorio para su análisis.

El estudio de infiltración se realizará dividiendo la parcela total en subparcelas de unas veinte hectáreas, procediendo a realizar el ensayo en el centro de cada una de ellas, obteniendo los correspondientes datos, y realizando la media de todos ellos para obtener los datos que se utilizarán para el cálculo del proyecto definitivo.

3. Caracterización general del suelo

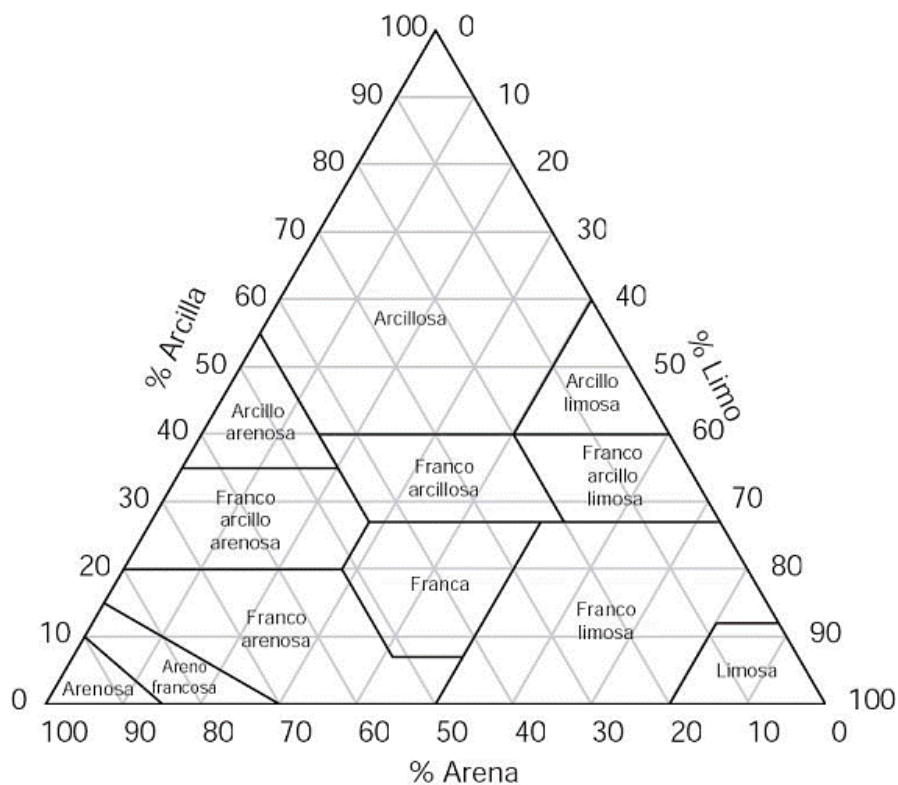
3.1. Propiedades físicas

La descripción de la textura del suelo, se realiza especificando los porcentajes de partículas totales, cuyo tamaño está comprendido entre unos límites determinados, según diversas escalas. Nos basaremos en la clasificación de la ISSS (Sociedad Internacional de la Ciencia).

Resultados según la USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos):

GRANULOMETRIA	
Elementos gruesos (> 2mm)	4,30%
Arena gruesa (0,5 – 2 mm)	11,70%
Arena fina (0,05 – 5 mm)	33,50%
Limo (0,002 – 0,05 mm)	30,90%
Arcilla (< 0,002 mm)	28,80%

CLASES TEXTURALES



Con los datos obtenidos se determina la clase textural del suelo. Para ello se entra en el triángulo superior de las clases texturales con los valores correspondientes y nos da un tipo de suelo **franco-arcillo-arenoso**.

En cuanto a la estructura del suelo se han obtenido los siguientes datos:

ESTRUCTURA	
Profundidad (m)	0,73
Densidad aparente (Tm/m ³)	1,29
Densidad real (Tm/m ³)	2,63
Porosidad (% volumen)	50,00%

3.2. Propiedades hídricas

Capacidad de campo (CC)	22,84%
Punto de marchitez (PM)	12,41%
Agua útil	10,85%
Velocidad de infiltración (mm/h)	42

La capacidad de campo (CC) es la cantidad de agua máxima que un suelo retiene una vez ha finalizado el drenaje interno. Este contenido de humedad se expresa en porcentaje de peso de suelo seco. Se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$CC = 0,5 \cdot \text{Arcilla} + 0,16 \cdot \text{Limo} + 0,02 \cdot \text{Arena} + 2,6$$

Sustituyendo en la expresión,

- $CC = 0,5 \cdot 28,8 + 0,16 \cdot 30,9 + 0,02 \cdot 45,2 + 2,6 = \mathbf{22,84\%}$

El punto de marchitez (PM): Si el contenido en humedad del suelo descende de un modo progresivo, las plantas encontrarán cada vez mayores dificultades para extraer el agua del suelo, llegando al punto en el que se iniciarán fenómenos de marchitez, es entonces cuando el nivel del agua del suelo ha llegado a su punto de marchitez. Se expresa en porcentaje de peso de suelo seco.

Se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$PM = 0,3 \cdot \text{Arcilla} + 0,1 \cdot \text{Limo} + 0,015 \cdot \text{Arena}$$

Sustituyendo en la expresión,

- $PM = 0,3 \cdot 28,8 + 0,1 \cdot 30,9 + 0,015 \cdot 45,2 = \underline{\underline{12,41\%}}$

El agua útil es la diferencia entre la capacidad de campo y el punto de marchitez, es decir, es el agua que puede ser asimilada por la planta.

Agua útil = CC – PM

Sustituyendo en la expresión,

- $\text{Agua útil} = CC - PM = 22,84 - 12,41 = \underline{\underline{10,43\%}}$

3.3. Velocidad de infiltración

La velocidad de infiltración se mide en campo mediante el método de los anillos o de Muntz. Dicho método consta de dos anillos cilíndricos de metal de distinto diámetro que se colocan uno dentro del otro de forma concéntrica. En el anillo interior se medirá la infiltración del agua mediante un flotador y una regla, mientras que en el anillo exterior se mantendrá un nivel de agua constante para controlar la infiltración lateral.

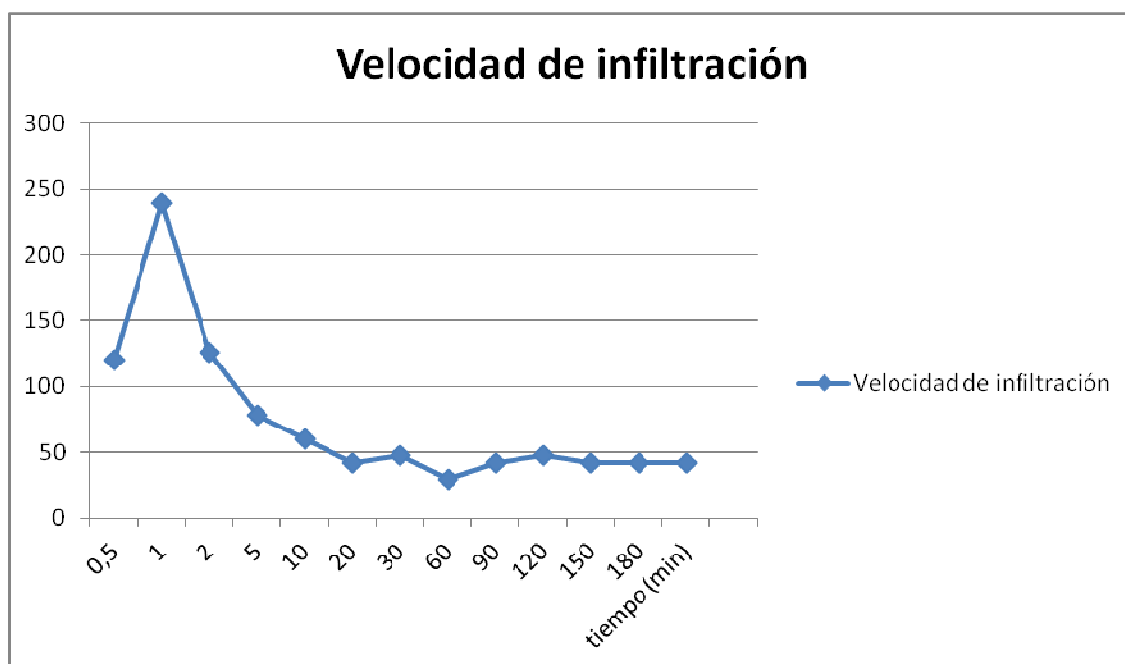
El estudio se realizará dividiendo la parcela total en subparcelas más pequeñas de unas 10 hectáreas, procediendo a realizar el ensayo en el centro de cada una de ellas, obteniendo los correspondientes datos, y realizando la media de todos ellos para obtener los datos que se utilizarán para el cálculo del proyecto definitivo.

El conocimiento de los datos de la infiltración del agua son necesarios para saber la dosis de riego necesaria que hay que aportar en la parcela para que las plantas cultivadas no sufran de sequía o por exceso de agua.

Los datos del ensayo se recogen en la siguiente tabla:

VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN

Tiempo (min)	H absoluta (cm)	ΔT (min)	ΔH (cm)	H acumulada (mm)	Infiltración (mm/h)
0	71,5	0	0	0	0
0,5	71,6	0,5	0,1	1	120
1	71,8	0,5	0,2	3	240
2	72,01	1	0,21	5,1	126
5	72,4	3	0,39	9	78
10	72,9	5	0,5	14	60
20	73,6	10	0,7	21	42
30	74,4	10	0,8	29	48
60	75,9	30	1,5	44	30
90	78	30	2,1	65	42
120	75,6	30	2,4	89	48
150	73,5	30	2,1	110	42
180	71,4	30	2,1	131	42



3.4. Propiedades químicas

FERTILIDAD	
pH	8
Materia orgánica (%)	1,9
Nitrógeno total (%)	0,14
Salinidad (CE dS/m)	0,63
Carbonatos totales (%)	22,2
Relación C/N	12
Fósforo Olsen (ppm)	9

CATIONES SOLUBLES MÁS INTERCAMBIABLES	
Magnesio (Meq/100g)	1,6
Sodio (Meq/100g)	7,5
Potasio (Meq/100g)	125,5

4. Conclusiones del estudio realizado**4.1 Conclusiones sobre las propiedades físicas**

Con los datos obtenidos respecto a la granulometría y a la estructura del suelo sacamos la conclusión de que es un suelo aceptable para los cultivos que deseamos poner. Es un suelo con una estructura **franco arcillo arenosa**.

La profundidad del suelo no va a presentar problemas para el cultivo ya que permite cualquier desarrollo de raíz de los posibles cultivos a implantar, descritos en el anejo de rotación de cultivos.

La densidad aparente y la densidad real, junto con la porosidad, están comprendidos dentro del rango de valores normales por lo que no se encuentra ningún factor limitante en este apartado para el cultivo y no tendremos ningún problema para el desarrollo de los cultivos que vamos a cultivar.

4.2 Conclusiones sobre las propiedades hídricas

Según los valores obtenidos de la velocidad de infiltración, nos encontramos dentro de unos valores moderados. Por lo tanto el suelo de la parcela es adecuado para el riego y no vamos a tener ninguna limitación al respecto.

La capacidad de campo y el punto de marchitez obtenidos analíticamente, nos dan unos valores que permiten que la capacidad de retención de agua útil en el suelo sea aceptable. No se encuentran factores limitantes para ninguno de los cultivos que deseamos implantar en la parcela.

4.3 Conclusiones sobre las propiedades químicas

FERTILIDAD

- **PH:** El valor de pH obtenido es de 8 (pH básicos), esto es debido a la cantidad de carbonatos que hay en el suelo, dado que le dan al suelo un cierto carácter alcalino. El valor obtenido es un valor aceptado para nuestros cultivos.
- **Materia orgánica:** El valor obtenido es de 1,9%, el cual se considera un nivel ligeramente pobre. Resultaría necesario una enmienda húmica a partir del estiércol animal que se calculará más adelante y así incrementar los niveles a largo plazo hasta un 2-2,5% que es un nivel normal.
- **Nitrógeno total:** Es del orden de un 0,14%, por lo que se encuentra en un nivel adecuado y no será necesario realizar aportes extras.
- **La relación C/N:** Se encuentra en torno a 12. Es un nivel normal para un suelo de estas características, hay una buena liberación de nitrógeno por parte de la materia orgánica.
- **La salinidad:** La medida en el extracto de pasta saturada se calcula midiendo la conductividad eléctrica (en dS/m). El valor obtenido ha sido de 0,63 dS/m, el cual es bajo, y como se consideran suelos no salinos aquellos con niveles de CE < 4dS/m, la influencia sobre los cultivos va a ser inapreciable (todos los cultivos pueden soportarla), y el desarrollo de estos será normal. Por lo tanto no se deberá tomar ninguna medida al respecto, incluso ésta cantidad se verá reducida con la frecuencia de riego.

- **El fósforo:** Obtenido por el método Olsen en ppm tiene un valor de 9 ppm. Por lo que no será necesaria la realización de ningún aporte al encontrarse en cantidad suficiente.

CATIONES SOLUBLES MÁS INTERCAMBIABLES

Los niveles de Sodio, Magnesio y Potasio obtenidos están medidos con las unidades de meq/100g. Y los valores obtenidos son aceptados para el desarrollo de las plantas que vamos a cultivar. Con lo cual no necesitaremos realizar ninguna corrección.

5. Cálculo de la enmienda húmica

Los aportes necesarios de materia orgánica que debemos realizar a la parcela para tener los niveles óptimos para el desarrollo de las plantas cultivadas, los vamos a calcular en este apartado.

En suelos de regadío, los niveles óptimos de materia orgánica deben estar entre un 2% y un 3%. El nivel de materia orgánica de nuestro suelo es de un 1,9%, por lo que es necesario hacer una enmienda húmica de corrección para elevar el contenido inicial que tenemos, hasta aproximadamente un 2,5%, con lo cual el contenido existente de materia orgánica deberá aumentarse en un 0,6% como mínimo.

El cálculo de la cantidad de materia orgánica a aplicar se realiza mediante la siguiente formula:

$$\Delta MO = 10^4 \cdot p \cdot Da \cdot \frac{(MO_f - MO_i)}{100}$$

Donde:

- **p** = Profundidad del suelo considerada para elevar el contenido de MO, expresada en metros.
- **Da** = Densidad aparente expresada en Tm/m³.
- **MO_i** = Porcentaje de materia orgánica inicial.
- **MO_f** = Porcentaje de materia orgánica final.
- **ΔMO** = Cantidad de humus, en Tm/ha.

Calculamos la cantidad de humus que debemos aplicar en la parcela:

$$\Delta MO = 10^4 \cdot 0,2 \cdot 1,29 \cdot \frac{2,5-1,9}{100} = \underline{\underline{15,48 \text{ Tm/ha}}}$$

Para realizar dicha corrección húmica se utiliza estiércol de vacuno, cuya composición es:

- Materia seca = 23%
- Contenido en nitrógeno = 0,34%
- Contenido en P_2O_5 = 0,16%
- Contenido en K_2O = 0.4%

El estiércol utilizado está descompuesto y tiene un valor de **K = 0,5**.

La cantidad de estiércol que es necesario aplicar por hectárea para conseguir el equilibrio húmico se calcula mediante la siguiente expresión:

$$C = \frac{\Delta MO}{K \cdot \%Ms}$$

Donde:

- **C** = Cantidad de estiércol que hay que suministrar expresado en Tm/Ha.
- **MO** = Cantidad de materia orgánica
- **Ms** = Porcentaje de materia seca del estiércol (en %).
- **K** = 0,5.

La cantidad de estiércol que debemos aplicar a la parcela es:

$$C = \frac{15,48}{0,5 \cdot 0,23} = \underline{\underline{134,61 \text{ Tm/Ha de estiércol.}}}$$

6. Mantenimiento de las enmiendas orgánicas y nutrientes

Como ya se ha podido observar en el anterior punto, la cantidad de materia orgánica en el suelo es un poco baja a partir de cierta profundidad, a los cuales no se les ha realizado ninguna enmienda húmica en muchos años.

Se recomienda, antes de sembrar algún cultivo, aportar las cantidades de materia orgánica calculadas en el apartado anterior, y a su vez, realizar una rotación de cultivos que combine especies de altas exigencias nutricionales con otras de exigencias menores, que aporten al suelo elementos nutritivos y cantidades importantes de materia seca, como restos de cosecha para que se vayan incorporando al complejo orgánico del suelo.

Se recomienda también, después de cada campaña, hacer un aporte de materia orgánica por medio de compost realizado de excrementos de animales explotados en extensivo y restos vegetales de cosechas como paja de cereales. Este aporte debe ser realizado en relación con los análisis que se hagan del suelo para aportar las cantidades necesarias.

Sería interesante incluir en la rotación de cultivos ciertas leguminosas (veza, alfalfa), que aportarán una importante cantidad de nitrógeno al suelo, e incluso se puede dejar sin cosechar, y con una labor incorporarlos al suelo como enmienda húmica en verde.



Universidad
Zaragoza

Proyecto Fin de Carrera

Puesta en riego por aspersión con cobertura total
enterrada en el término municipal de Piracés
(Huesca)

ANEJO 4. CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO

CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO

ÍNDICE DEL ANEJO 4

	Pág.
1. Introducción.....	3
2. Resultados de los análisis.....	4
3. Índices de primer grado.....	5
3.1 pH.....	5
3.2 Contenido total de sales.....	5
3.3 Presión osmótica del agua.....	6
3.4 Iones.....	6
3.5 Sales existentes en el agua de riego.....	7
4. Índices de segundo grado.....	7
4.1 S.A.R.....	8
4.2 Relación de sodio.....	9
4.3 Relación de calcio.....	9
4.4 Dureza del agua.....	9
4.5 Índice de Eatón o carbonato sódico residual (CSR).....	10
5. Evaluación de la calidad del agua.....	11
5.1 Criterios de salinidad.....	11
5.2 Criterios de sodicidad.....	12
5.3 Criterios de toxicidad.....	13

5.4	Efectos por alcalinidad.....	13
6.	Clasificaciones.....	14
6.1	Normas Riverside.....	14
6.2	Normas H. Greene – FAO.....	15
6.3	Normas L. V. Wilcox.....	16
7.	Conclusiones.....	16

1. Introducción

El agua es elemento principal para la nutrición de las plantas. Como en ella se pueden encontrar diversas concentraciones de sustancias disueltas, y de estas concentraciones depende la calidad de la misma para su uso, es imprescindible un análisis de calidad del agua.

Los suelos contienen sales solubles que provienen de la descomposición de las rocas de donde se originan y también de las aguas superficiales utilizadas para el riego y de las aguas provenientes del subsuelo. Las aguas de riego aportan sales al suelo y las aguas de drenaje las eliminan. Cuando la cantidad de sales incorporadas al suelo es mayor que la cantidad eliminada se incrementa el nivel de salinidad, pudiendo llegar a límites peligrosos.

Cuanto mayor es el contenido de sales en la disolución del suelo, tanto mayor es el esfuerzo que la planta tiene que hacer para absorber el agua, con lo cual la capacidad de la planta para obtener el agua disminuye a medida que aumenta la concentración de sales. Además, algunas sales deterioran las buenas cualidades físicas del suelo, son tóxicas para los cultivos u ocasionan desequilibrios en la absorción de nutrientes.

La calidad del agua para uso de riego se ha definido en base a los criterios de salinidad, sodicidad y toxicidad. Se hace muy importante determinar la calidad del agua que se va a usar para el riego, ya que dependiendo de los resultados que se obtengan será factible o no la puesta en riego.

El suministro de agua para este proyecto será de los pantanos de la Sotonera y del Grado y nos es llegada a través de la acequia del Flúmen.

Este anejo es sumamente importante, pues dependiendo del resultado que en él se obtenga, se podrá aconsejar la puesta en riego o no.

Por lo general, todos los métodos que vamos a utilizar para determinar la calidad del agua se basan en el contenido en sales solubles, sin considerar las relaciones que se establecen entre el agua y el medio en el que será consumida.

La mayoría de las aguas consideradas peligrosas tienen un contenido actual de sales que en sí mismo no es demasiado perjudicial; el problema se presenta cuando esas aguas evolucionan en el suelo.

Las analíticas son facilitadas por la red de control de aguas superficiales de la Confederación Hidrográfica del Ebro, ya que es la más cercana al lugar de toma del agua.

2. Resultados de los análisis

Se dispone de muchas analíticas, de las cuales se han escogido como representativas unas del mes de julio (por ser uno de los meses con menos caudal en los ríos, y por tanto, mayor concentración de sales llevara el agua) de años próximos.

Los resultados varían muy poco de un año a otro (siempre que se estudie el mismo mes), así que no se comete un gran error por no estudiar una serie completa de análisis.

PARÁMETROS	UNIDADES	CANTIDAD
pH	-	8
Conductividad a 25°C	µS/cm	358
Temperatura del agua	°C	22,1
Sólidos en suspensión	mg/L	16
Cationes		
Amonio Total	mg/L NH ₄	0,1
Calcio	mg/L Ca ²⁺	35,2
Magnesio	mg/L Mg ²⁺	16,6
Sodio	mg/L Na ⁺	8,3
Potasio	mg/L K ⁺	2,9
Otros iones		
Cobre	mg/L Cu	< 0,01
Hierro	mg/L Fe	0,03
Cromo	mg/L Cr	< 0,01
Aniones		
Cloruros	mg/L Cl ⁻	14,7
Sulfatos	mg/L SO ₄ ²⁻	31,4
Nitratos	mg/L NO ₃ ⁻	2,2
Fosfatos	mg/L PO ₄ ³⁻	0,07
Carbonatos	mg/L HCO ₃ ⁻	144,7

3. Índices de primer grado

3.1. pH

El valor óptimo de pH para el agua de riego se encuentra entre 7,5 y 8,5 por lo que en nuestro caso, con un pH de 8 y consideramos que el agua empleada es apta para el riego.

3.2 Contenido total de sales

La cantidad de sales disueltas es proporcional a la conductividad eléctrica según la siguiente expresión:

$$S.T. = C.E. * K$$

Donde:

- S.T. = Concentración de sales totales en ppm o mg/l.
- C.E. = Conductividad eléctrica a 25°C en $\mu S/cm$.
- K = Constante de proporcionalidad (0,0717 si la conductividad se expresa en $\mu S/cm$).

Se obtiene que:

$$S.T. = 358 * 0,64 = 229,12 \text{ ppm} \Rightarrow \underline{\underline{0,2291 \text{ gr/l}}}$$

Como estamos por debajo del valor de 0,5gr/l, consideramos que el agua que empleamos para regar es de **buena calidad**.

3.3 Presión osmótica del agua

La presión osmótica depende de la concentración de sales que contiene el agua. A mayor concentración de sales que hay en el agua, mayor es la presión osmótica que ejerce el agua. Se calcula con la siguiente expresión:

$$P_o = K \cdot CE$$

Donde:

- **P_o** = Presión osmótica en atmósferas.
- **CE** = Conductividad eléctrica a 25° C en µS/cm.
- **K** = Constante de proporcionalidad (0,00036 si la conductividad se expresa en µS/cm).

Se obtiene:

$$P_o = 0,00036 \cdot 358 = \underline{\underline{0,128atm}}$$

3.4 Iones

A continuación se enumeran los iones más importantes que presenta el agua en disolución, expresados en meq/l.

Cationes	meq/l	Aniones	meq/l
Calcio	1,75	Cloruros	0,42
Magnesio	1,37	Sulfatos	0,65
Sodio	0,75	Bicarbonatos	2,36
Potasio	0,15	Nitratos	0,04
Total	4,02	Total	3,91

Para que el agua sea de una buena calidad la suma de aniones debe coincidir aproximadamente con la de cationes, ambas expresadas en meq/l. Se permite un error del 7%, tanto por defecto como por exceso.

$$\text{Error cometido} = ((4,02 - 3,91)/4,02) \cdot 100 = \underline{\underline{2,73\%}}$$

Con lo cual el agua es de **buena calidad**, porque el error que sale es menor al 7%.

3.5 Sales existentes en el agua de riego

Las sales que generalmente contiene el agua de riego son:

- Cloruro sódico y magnésico (NaCl , MgCl_2).
- Sulfatos sódico, cálcico y magnésico (Na_2SO_4 , CaSO_4 , MgSO_4).
- Carbonato sódico (Na_2CO_3).
- Bicarbonato cálcico y magnésico [$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$].

Para determinar estas sales se aplicarán las siguientes reglas:

1) Sumar por separado los mili equivalentes de calcio y magnesio, y los de sulfatos y bicarbonatos. La menor de estas sumas se toma como representativa del contenido en bicarbonatos más sulfatos de calcio y magnesio:

- $\Sigma (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) = 1,75 + 1,37 = \mathbf{3,12\text{meq/l}} = A_1$
- $\Sigma (\text{SO}_4^{2-} + \text{HCO}_3^-) = 0,65 + 2,36 = \mathbf{3,01\text{meq/l}} = A_2$
- $A_2 = \text{CaSO}_4 + \text{MgSO}_4 + \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 + \text{Mg}(\text{HCO}_3)_2 = \mathbf{3,01\text{meq/l}}$

2) Si en las sumas anteriores los cationes superan a los aniones el exceso se atribuye a cloruro magnésico (MgCl_2) y se interpreta que no hay sulfato sódico (Na_2SO_4).

- $\text{MgCl}_2 = A_1 - A_2 = 3,12 - 3,01 = \mathbf{0,11\text{meq/l}}$
- $\text{Na}_2\text{SO}_4 = \mathbf{0,0\text{meq/l}}$.

3) Si hubiese carbonatos (CO_3^{2-}), todos ellos se atribuyen a carbonato sódico.

4) La diferencia entre los cloruros (Cl^-) dados por el análisis y los posibles MgCl_2 calculados en la regla 2, se atribuyen a cloruro sódico (NaCl).

- $\text{NaCl} = \text{Cl}^- - \text{MgCl}_2 = 0,42 - 0,11 = \mathbf{0,31\text{ meq/l}}$.

En definitiva, las sales que estarían probablemente presentes en el agua analizada serían:

- **Cloruro sódico y magnésico (NaCl y MgCl_2).**
- **Sulfatos cálcico y magnésico (CaSO_4 y MgSO_4).**
- **Bicarbonatos cálcico y magnésico ($\text{Ca}(\text{HCO})_2$ y $\text{Mg}(\text{HCO})_2$).**

4. Índices de segundo grado

4.1 S.A.R

Se define como la relación de adsorción de sodio. Hace referencia a la proporción relativa en que se encuentra el ión sodio, los iones calcio y magnesio.

Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}{2}}}$$

Las concentraciones de los cationes se expresan en meq/l.

Cuando al analizar un agua se encuentran valores de SAR mayores a 10, se puede decir que esa agua es muy alcalina (tiene un pH elevado), siendo mayor el riesgo de alcalinización cuanto mayor es este valor.

En este caso se obtiene un valor de SAR de:

$$\text{SAR} = \frac{0,75}{\sqrt{\frac{1,75 + 1,37}{2}}} = 0,60$$

Por lo tanto se obtiene un **S.A.R. = 0,60** y el agua se puede considerar **óptima para el riego**.

4.2 Relación de sodio

Esta relación muestra el contenido de ión sodio que hay en un agua respecto a los restantes cationes. Se expresa en meq/l, y se calcula mediante la expresión siguiente:

$$RS = \frac{Na^{+}}{Ca^{2+} + Na^{+} + Mg^{2+}}$$

Sustituimos los valores en la expresión anterior y obtenemos un valor:

$$RS = 0,75 / ((1,75)^2 + 0,75 + (1,37)^2) = \underline{\underline{0,131 \text{ meq/l}}}$$

4.3 Relación de calcio

Esta relación muestra la proporción del contenido de calcio respecto a los restantes cationes. Se expresa en meq/L y se calcula mediante la siguiente expresión:

$$RC = \frac{Ca^{2+}}{Ca^{2+} + Na^{+} + Mg^{2+}}$$

Sustituimos los valores en la expresión anterior y obtenemos un valor:

$$RS = (1,75)^2 / ((1,75)^2 + 0,75 + (1,37)^2) = \underline{\underline{0,538 \text{ meq/l}}}$$

4.4 Dureza del agua

Es un índice que está referido al contenido de calcio y de magnesio que contiene el agua y se mide en **grados franceses** (°fH), mediante la siguiente expresión:

$$F = \frac{([Ca^{2+}] \cdot 2,5) + ([Mg^{2+}] \cdot 4,12)}{10}$$

Donde $[Ca^{2+}]$ y $[Mg^{2+}]$ son la concentración de los cationes calcio y magnesio respectivamente, expresada en mg/l.

En la siguiente tabla se representan los tipos de agua en función de los grados franceses:

Tipo de Agua	Grados Franceses
Muy dulce	Menos de 7
Dulce	7 - 14
Medianamente dulce	14 - 22
Medianamente dura	22 - 32
Dura	32 - 54
Muy Dura	Más de 54

Sustituyendo en la expresión anterior las concentraciones de Calcio y de Magnesio en (mg/l) obtenemos el valor de la dureza del agua de riego:

$$F = \frac{(35,2 \cdot 2,5) + (16,6 \cdot 4,12)}{10} = \underline{\underline{15,64^{\circ}fH}}$$

Según el valor que nos ha salido, de **15,64^{°fH}**, consideramos que es un agua **medianamente dulce**, óptima para el riego.

4.5 Índice de Eatón o carbonato sódico residual (CSR)

Este índice nos indica la acción degradante del agua y es calculado mediante la siguiente expresión:

$$\text{C.S.R.} = ([CO_3^{2-}] + [HCO_3^-]) - ([Ca^{2+}] + [Mg^{2+}])$$

Según el C.S.R. las aguas son:

- Recomendables, si **C.S.R. < 1,25 meq/l.**

- Poco recomendables, si $1,25 < \text{C.S.R.} < 2,5 \text{ meq/l}$.
- No recomendables, si $\text{C.S.R.} > 2,5 \text{ meq/l}$.

Para nuestro caso tenemos:

$$\text{C.S.R.} = (0 + 2,36) - (1,75 + 1,37) = \underline{\underline{-0,76 \text{ meq/l}}}$$

Como el valor obtenido es menor a $1,25 \text{ meq/l}$ consideramos que el agua es **buena y utilizable para el riego**.

5. Evaluación de la calidad del agua

En este apartado se estudia la toxicidad del agua dependiendo de la salinidad y sodicidad.

5.1. Criterios de salinidad

- **Clasificación de Richard**

En la tabla siguiente se muestra el riesgo de salinidad en función de la conductividad eléctrica según Richard:

C.E. ($\mu\text{S/cm}$)	Riesgo de salinidad
100 - 250	Bajo
250 - 750	Medio
750 - 2250	Alto
>2250	Muy alto

Como la conductividad eléctrica de nuestra agua de riego es de $358 \mu\text{S/cm}$, según esta clasificación el riesgo de **salinidad es medio**.

- **Clasificación de la FAO**

Según esta clasificación los riesgos de salinidad son los siguientes:

C.E. (milimhos/cm)	Riesgo de salinidad
--------------------	---------------------

< 0,75	Sin problemas
0,75 - 3,0	Problemas crecientes
> 3,0	Problemas serios

Como la conductividad de nuestra agua de riego analizada es de 0,358milimhos/cm, según esta clasificación **no tendremos problemas de riesgo de salinidad.**

5.2 Criterios de sodicidad

La clasificación de la calidad de las aguas para su uso en riego con respecto al peligro por sodicidad es más complicada que la clasificación en el caso del peligro por salinidad.

Se puede considerar el problema desde el punto de vista del grado probable de que un suelo absorba el sodio del agua de riego así como la velocidad a la que tiene lugar dicha absorción al aplicar el agua.

El porcentaje de sodio intercambiable (PSI) que tendrá el suelo cuando éste y el agua de riego estén en equilibrio se puede pronosticar aproximadamente conociendo el valor de la relación de absorción de sodio (S.A.R.) del agua.

Clasificación de Richard

Según esta clasificación tenemos los siguientes grados de riesgo de sodicidad:

Clasificación del riesgo de sodicidad	S.A.R. CE 100micromhos/cm	S.A.R. CE 750micromhos/cm
S.1 Baja sodicidad	0 - 10	0 - 6
S.2 Media sodicidad	10 - 18	6 - 12
S.3 Alta sodicidad	18 - 26	12 - 18
S.4 Muy alto sodicidad	>26	>18

Como hemos obtenido un S.A.R. de 0,6 y una conductividad eléctrica de 35,8micromhos/cm vemos que según esta clasificación el **riesgo de sodicidad es S.1, baja sodicidad.**

5.3 Criterios de toxicidad

Clasificación de FAO

Según esta clasificación tenemos las siguientes conclusiones:

Ión (meq/l)	Sin problemas	Problemas crecientes	Problemas graves
Na	< 3	3-9	> 9
Cl	< 4	4-10	> 10
B	< 0,7	0,7-2	> 2

Los resultados obtenidos en los análisis son los siguientes:

- Na = 0.75 meq/l
- Cl = 0.42 meq/l
- B = Inapreciable

Por lo tanto según esta clasificación **no tenemos problemas de toxicidad** usando esta agua para riego.

5.4 Efectos por alcalinidad

Este apartado se basa en la influencia que pueden tener los bicarbonatos presente en el agua de riego a la hora de implantar un sistema de riego por aspersión:

Sin problemas	< 1,5meq/l
Problemas crecientes	1,5 – 8,5meq/l
Problemas graves	> 8,5meq/l

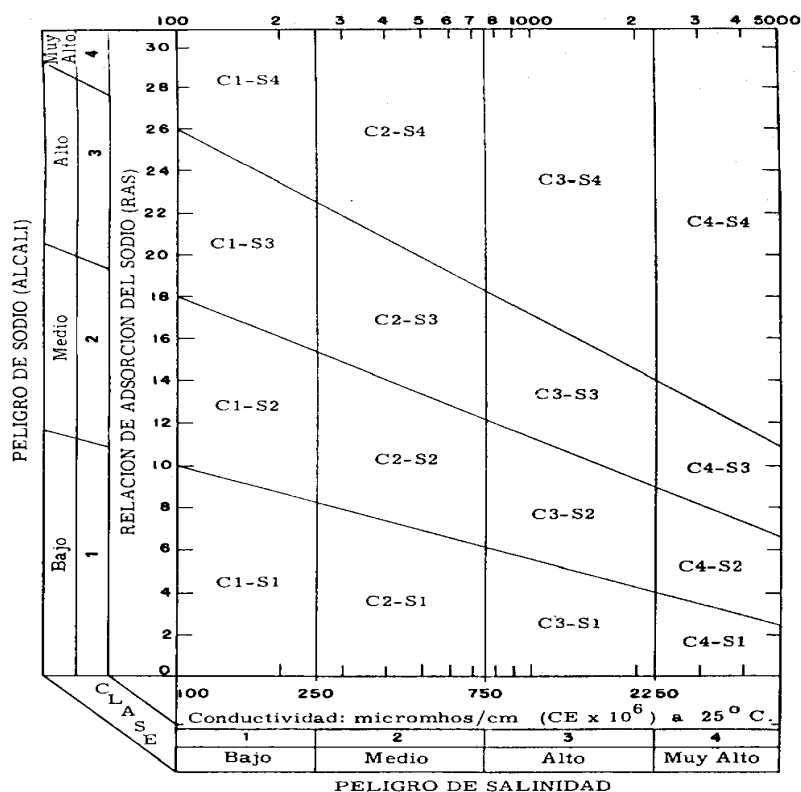
El agua de riego que nosotros empleamos para el riego tiene una concentración de bicarbonatos de **2,36meq/l** con lo cual según esta clasificación nos encontramos dentro del **nivel de problemas crecientes pero en niveles bajos, casi próximos al nivel sin problemas.**

6. Clasificaciones

6.1. Normas Riverside

Relacionan la conductividad eléctrica (CE) y la relación de absorción de sodio (S.A.R.). Según estos dos índices se establecen 16 clases de aguas en función del riesgo de alcalinización y salinización.

Utilizando los dos parámetros anteriores, el agua se caracteriza mediante una fórmula tipo C, S en la que los valores de C son los correspondientes a la CE y los valores de S son los del SAR. Los subíndices varían entre 1 y 4.



Normas de Riverside. Diagrama para la clasificación de aguas de riego. (U. S. Soil Salinity Laboratory).

Entrando en el siguiente diagrama con los valores de SAR = 0,60 y CE = 358micromhos/cm se obtiene una **clase de agua C2-S1**, que indica un **riesgo medio de salinización** del suelo y un **peligro de sodicidad bajo**.

6.2 Normas H. Greene – FAO

Esta norma toma como base la concentración total de sales de las aguas, expresada en meq/l, con relación al tanto por ciento de sodio.

Calculamos el porcentaje de sodio con respecto a todos los demás cationes con la siguiente expresión:

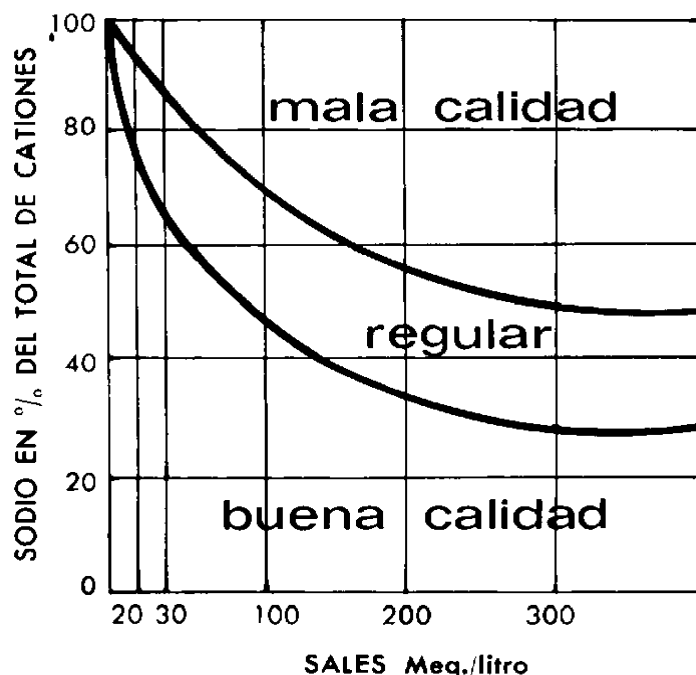
$$\% [\text{Na}] = [\text{Na}] / [\Sigma \text{Cationes}] * 100$$

$$\% [\text{Na}] = (0,75 / 4,02) * 100 = \underline{\underline{18,66 \%}}$$

Calculamos la concentración total de cationes y de aniones:

$$\Sigma [\text{Cationes}] + \Sigma [\text{Aniones}] = 4,02 + 3,91 = \underline{\underline{7,93 \text{ meq/l}}}$$

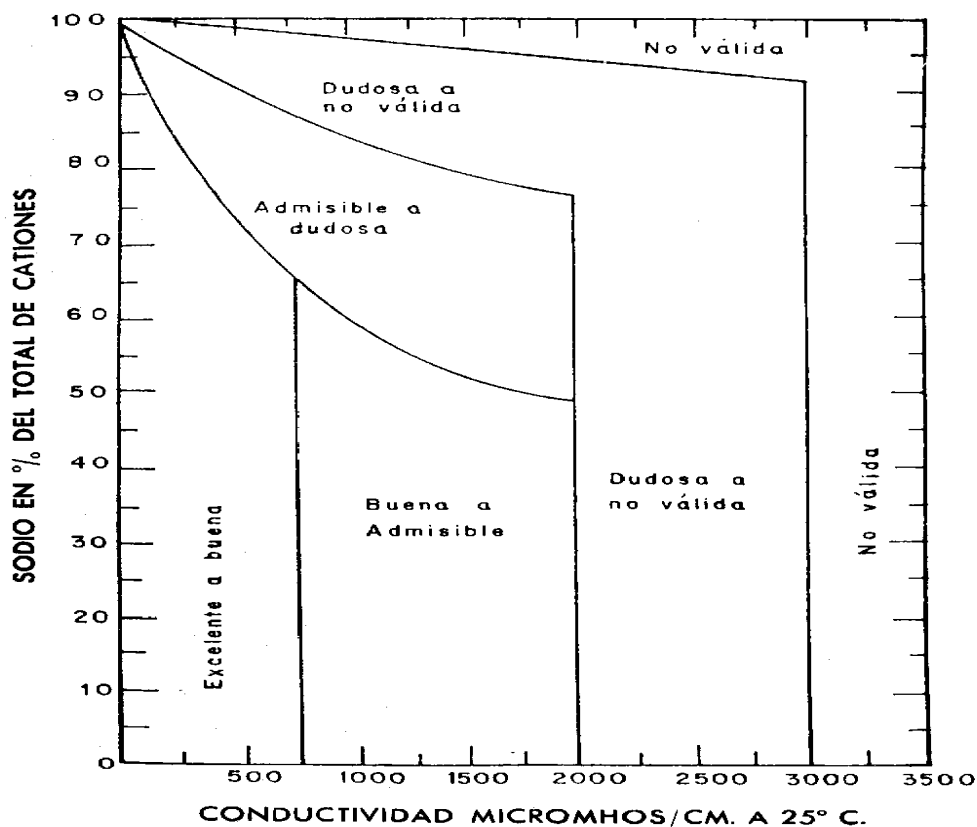
Con estos dos resultados entramos en la siguiente gráfica y sacamos la conclusión de que el agua que empleamos para riego es de **buena calidad**.



6.3 Normas L. V. Wilcox

Este autor considera como índice para la clasificación de las aguas de riego el tanto por ciento de sodio respecto al total de cationes y la conductividad eléctrica.

El porcentaje de sodio que hemos calculado en el aparatado anterior es de 18,66% y la conductividad eléctrica a 25° C es de 358micromhos/cm.



Con estos dos datos interpretamos la gráfica anterior y obtenemos un resultado que nos da un agua de riego de **excelente a buena calidad**.

7. Conclusiones

Con todo lo expuesto en este anejo sacamos la conclusión de que el agua de riego no causará ningún problema sobre el desarrollo de los cultivos ni sobre el suelo de la parcela ya que **reúne todos los requisitos mínimos de calidad**.

Con lo cual diremos que el agua con la cual regamos es **óptima para el riego sin ninguna limitación** y se aconseja que se desarrolle el presente proyecto.



Universidad
Zaragoza

Proyecto Fin de Carrera

Puesta en riego por aspersión con cobertura total
enterrada en el término municipal de Piracés
(Huesca)

ANEJO 5. ROTACIÓN DE CULTIVOS

ROTACIÓN DE CULTIVOS

ÍNDICE DEL ANEJO 5

	Pág.
1. Introducción.....	2
2. Cultivos propuestos para la rotación.....	2
3. Parámetros de rotación y de la alternancia.....	3
4. Cuadro de rotación de cultivos.....	3

1. Introducción

En este anejo vamos a tratar los cultivos que mejor se van a desarrollar en nuestra parcela para la obtención de los mejores rendimientos posibles y maximizar la rentabilidad de nuestra parcela y de nuestro riego implantado. Para ello deberemos hacer una distribución adecuada de los cultivos a implantar.

Debemos evitar el agotamiento del terreno, desde el punto de vista de los nutrientes y minerales disponibles para las plantas, por lo tanto se propone cultivar en ocasiones especies de la familia de las leguminosas, las cuales mejoran el suelo fijando el nitrógeno atmosférico al suelo.

La alternativa de los cultivos que se va a realizar debe tener un carácter elástico para poder reaccionar ante las posibles fluctuaciones del mercado durante el transcurso de los años.

Cada cultivo que implantemos tendrá unas necesidades de agua diferentes que debemos conocer para el correcto dimensionamiento del riego a instalar.

2. Cultivos propuestos para la rotación

Los cultivos que se proponen son cultivos típicos de la zona bien por su importancia económica o por su buen comportamiento respecto al clima y suelos de la zona.

Para estos cultivos se calculan las necesidades hídricas en el anejo 6.

Los cultivos son los que se muestran en la tabla siguiente. En ella también se reflejan las fechas de siembra y de recolección de forma aproximada. Estas fechas dependerán del clima de la zona, la variedad que se cultive, etc.

CULTIVO	FECHA DE SIEMBRA	FECHA DE RECOLECCIÓN
Alfalfa	15 de septiembre	De marzo a noviembre
Maíz	1 de mayo	5 de octubre
Trigo	1 de diciembre	15 de junio
Cebada	5 de noviembre	5 de junio
Girasol	10 de mayo	20 de septiembre
Guisante	15 de diciembre	10 de mayo
Veza forrajera	1 de octubre	15 de mayo

Para la elección de los cultivos se deben tener en cuenta los siguientes factores:

- La capacidad del propietario de comercializar los productos.
- Cierta flexibilidad en la rotación para que el agricultor pueda introducir cultivos no previstos que interesen en un determinado momento.
- Adaptación de los cultivos al clima y suelo.
- La condición mejoradora o esquilante de los cultivos sobre el suelo.
- La combinación de distintas especies para evitar la proliferación de malas hierbas y parásitos específicos.
- La capacidad del parque de maquinaria que tenga el agricultor para el manejo de su explotación.

3. Parámetros de rotación y de la alternancia

Con los datos de permanencia de cada cultivo en campo y teniendo en cuenta los requerimientos de cada cultivo y las condiciones nutricionales del suelo se puede realizar una correcta distribución de los cultivos a través del tiempo.

Hay que combinar aquellos cultivos con altas necesidades nutricionales con otros menos exigentes y que además aporten una importante cantidad de material vegetal tras la cosecha o incluso aporten al suelo macronutrientes esenciales como es el caso de las especies de la familia de las leguminosas como son la alfalfa, la veza forrajera y el guisante entre otras. También alternaremos cultivos de raíces profundas con cultivos de raíces superficiales.

4. Cuadro de rotación de cultivos

La rotación de cultivos que planteamos a continuación es de manera orientativa para el agricultor y podrá ser modificada por el mismo si lo cree conveniente, si obtiene una mejor rentabilidad o si logra unos mejores rendimientos.

AÑO 6												AÑO 7												AÑO 8												AÑO 9												AÑO 10											
E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D												
				MAÍZ					GUISANTE				GIRASOL					CEBADA						VEZA				MAÍZ					TRIGO					ALFALFA																					



Universidad
Zaragoza

Proyecto Fin de Carrera

Puesta en riego por aspersión con cobertura total
enterrada en el término municipal de Piracés
(Huesca)

ANEJO 6. CÁLCULO DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS

CÁLCULO DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS

ÍNDICE DEL ANEJO 6

	Pág.
1. Introducción.....	2
2. Necesidades de riego.....	2
2.1 Necesidades netas.....	2
2.2 Necesidades reales.....	3
2.2.1 Pérdidas por percolación.....	7
3. Dimensionado del riego por aspersión.....	9
3.1 Dosis máximas de riego.....	9
3.2 Dosis útil.....	10
3.3 Dosis real de riego.....	11
3.4 Cálculo del riego.....	12
3.4.1 Intervalo entre riegos.....	12
3.4.2 Número de riegos por mes.....	13
3.4.3 Densidad de aspersión.....	14
3.4.4 Duración del riego.....	15
3.4.5 Caudal característico y continuo de la parcela.....	16

1. Introducción

En este anejo se van a calcular las necesidades de agua para el sistema de riego por aspersión y para todo el período vegetativo de los cultivos elegidos en el anejo anterior de rotación de cultivos.

Las precipitaciones son parte del agua necesaria para cubrir las necesidades de los cultivos, pero no son suficientes. Por lo tanto es necesario un aporte de agua mediante el riego, el cual es aportado hoy en día mediante riego a pie y se quiere transformar a riego por aspersión, el cual se diseñará a partir de los datos obtenidos de este anejo.

Para conocer las cantidades de agua que hay que aportar, es necesario conocer las necesidades de la planta para que su desarrollo tenga lugar, y la cantidad de agua que puede aportar la lluvia durante el periodo de crecimiento. La diferencia entre las necesidades del cultivo y la cantidad de agua aportada por la lluvia (calculada en el anejo 2) es la que ha de ser cubierta por el riego.

$$\text{Necesidades de riego} = \text{Necesidades del cultivo} - \text{Precipitación}$$

Una vez tengamos estos valores se podrá proceder al dimensionado de las instalaciones de riego.

2. Necesidades de riego

Para el cálculo de las necesidades hídricas partimos de la disposición del agua del pantano de La Sotonera y de El Grado la cual presenta una calidad determinada y que es óptima para el riego como hemos demostrado en el anejo 4.

2.1 Necesidades netas

En la práctica, las expresiones complejas que recogen los balances hídricos del suelo no se suelen utilizar, dado la complejidad de las fórmulas. Así pues, una fórmula más sencilla que se emplea para calcular las necesidades netas de agua de riego es la siguiente:

$$N_n = ET_c - PE$$

Donde:

- **N_n** = Necesidades netas mensuales
- **ET_c** = Evapotranspiración mensual del cultivo
- **PE** = Precipitación efectiva

La precipitación efectiva, desde el punto de vista agronómico, es la proporción de lluvia que sirve para satisfacer las necesidades de consumo de agua del cultivo y depende de varios factores como la intensidad de la precipitación, del contenido de humedad del suelo, la velocidad de infiltración del agua en el mismo, etc.

Esta precipitación efectiva se obtiene mediante la fórmula:

$$PE = 0,7 \cdot P_{Total} \cdot f.c.$$

Donde:

- **PE** = Precipitación efectiva
- **P_{total}** = Precipitación total
- **f.c.** = Factor de corrección en función de la evapotranspiración.
-

Eto (mm/día)	f.c.
< 3	0,60 - 0,70
3 - 5	0,70 - 0,84
5 - 7	0,84 - 0,96
> 7	0,96 - 1,00

2.2 Necesidades reales

Para el cálculo de las necesidades reales de los cultivos se tienen en cuenta las necesidades netas (N_n), la eficiencia de aplicación del sistema (E_a) y las necesidades de lavado de sales (FL).

En la eficiencia de aplicación se incluyen las pérdidas de agua por percolación, evaporación y escorrentía, además del coeficiente de uniformidad del sistema de riego elegido. En nuestro caso, como es un riego

por aspersión, sólo existen pérdidas por evaporación y unas pérdidas mínimas por percolación.

La eficiencia de aplicación del riego para sistemas de riego por aspersión con cobertura total enterrada en climas de semiáridos a áridos, como es nuestro caso, esta entorno al 75% - 80%. Nosotros haremos los cálculos con 80%.

La fracción o necesidades de lavado de sales se calculan como $(1 - F_L)$ y solo se aplica fuera de los meses de máximas necesidades para no sobredimensionar la red de riego y no causar de esta manera un gasto innecesario en la instalación.

Las necesidades reales se pueden calcular mediante la siguiente expresión:

$$N_r = \frac{N_n}{Ea \cdot (1 - F_L)}$$

Donde:

- **N_r** = Necesidades reales (mm/mes).
- **N_n** = Necesidades netas (mm/mes).
- **Ea** = Eficiencia de aplicación.
- **F_L** = Fracción de lavado de sales.

El análisis de suelos nos indica que no existe problema de salinidad. Aún así es necesario calcular la fracción de lavado debido a la concentración de sales del agua para evitar el depósito y acumulación de las mismas. La fracción de lavado se calcula mediante la siguiente expresión:

$$F_L = \frac{CE_w}{5 \cdot CE_e - CE_w}$$

Donde:

- **F_L** = Necesidad de lavado, en tanto por uno.
- **CE_w** = Conductividad eléctrica del agua de riego, en mmhos/cm.
- **CE_e** = Conductividad eléctrica del extracto de pasta saturada del suelo (máxima salinidad que tolera un cultivo determinado sin que se produzca reducción del rendimiento de cosecha), en mmhos/cm.

Así pues, aplicando la fórmula anterior para cada cultivo, se obtienen los siguientes valores de necesidades de lavado:

Cultivo	CE_w (mmhos/cm)	CE_e (mmhos/cm)	F_L
Alfalfa	0,358	2	0,037
Maíz	0,358	1,7	0,043
Trigo	0,358	6	0,012
Cebada	0,358	8	0,009
Girasol	0,358	1,5	0,050
Guisante	0,358	1	0,077
Veza forrajera	0,358	1	0,077

Después de haber calculado las necesidades de lavado de cada cultivo vamos a calcular las necesidades reales de cada cultivo durante su periodo vegetativo.

ALFALFA					
Meses	P_T (mm)	PE (mm)	Et_c (mm/día)	Nn (mm/mes)	N_r (mm/mes)
Enero	28,7	13,06	12,87	-0,19	-0,24
Febrero	20,1	9,15	29,92	20,77	26,99
Marzo	17,4	7,92	70,56	62,64	81,31
Abril	43	23,18	87,44	64,26	83,42
Mayo	42	22,64	128,07	105,43	136,85
Junio	25,9	16,32	170,58	154,26	200,23
Julio	23,7	16,26	209,13	192,87	250,35
Agosto	24,8	15,63	181,54	165,91	215,36
Septiembre	40,9	22,05	114,29	92,24	119,73
Octubre	38,6	17,56	66,76	49,2	63,86
Noviembre	29,5	13,42	24,89	11,47	14,89
Diciembre	32,5	14,79	12,57	-2,22	-2,88

MAIZ					
Meses	P_T (mm)	PE (mm)	Et_c (mm/día)	Nn (mm/mes)	N_r (mm/mes)
Mayo	42	22,63	76,26	53,63	70,05
Junio	25,9	16,32	143,75	127,43	166,44
Julio	23,7	16,25	253,77	237,52	310,24
Agosto	24,8	15,64	226,41	210,77	275,30
Septiembre	40,9	22,04	123,28	101,24	132,24
Octubre	38,6	17,51	5,9	-11,61	-15,16

TRIGO					
Meses	P_T (mm)	PE (mm)	Et_c (mm/día)	Nn (mm/mes)	N_r (mm/mes)
Diciembre	32,5	14,78	10,45	-4,33	-5,48
Enero	28,7	13,06	11,43	-1,63	-2,06
Febrero	20,1	9,14	32,61	23,47	29,69
Marzo	17,4	7,92	86,45	78,53	99,35
Abril	43	23,18	108,07	84,89	107,40
Mayo	42	22,64	148,22	125,58	158,88
Junio	25,9	16,32	42,04	25,72	32,54

CEBADA					
Meses	P_T (mm)	PE (mm)	Et_c (mm/día)	Nn (mm/mes)	N_r (mm/mes)
Noviembre	29,5	13,42	16,88	3,46	4,36
Diciembre	32,5	14,78	10,31	-4,48	-5,65
Enero	28,7	13,06	12,44	-0,62	-0,78
Febrero	20,1	9,14	34,29	25,15	31,72
Marzo	17,4	7,92	87,25	79,33	100,06
Abril	43	23,17	108,07	84,9	107,09
Mayo	42	22,64	123,75	101,11	127,53
Junio	25,9	16,32	7,41	5,24	6,61

GIRASOL					
Meses	P_T (mm)	PE (mm)	Et_c (mm/día)	Nn (mm/mes)	N_r (mm/mes)
Mayo	42	22,64	48,45	25,81	33,96
Junio	25,6	16,13	136,08	119,95	157,83
Julio	23,7	16,26	224,74	208,48	274,32
Agosto	24,8	15,62	224,37	208,75	274,67
Septiembre	40,9	22,04	52,85	30,81	40,54

GUISANTE					
Meses	P_T (mm)	PE (mm)	Et_c (mm/día)	Nn (mm/mes)	N_r (mm/mes)
Diciembre	32,5	14,79	5,03	-9,76	-13,22
Enero	28,7	13,06	11,28	-1,78	-2,41
Febrero	20,1	9,14	34,62	25,48	34,50
Marzo	17,4	7,92	86,45	78,53	106,35
Abril	43	23,18	107,09	83,91	113,63
Mayo	42	22,64	44,46	21,82	29,55

VEZA FORRAJERA					
Meses	P_T (mm)	PE (mm)	Et_c (mm/día)	Nn (mm/mes)	N_r (mm/mes)
Octubre	38,6	17,56	46,48	28,92	39,16
Noviembre	29,5	13,42	21,25	7,83	10,60
Diciembre	32,5	14,79	13,98	-0,81	-1,09
Enero	28,7	13,06	14,75	1,69	2,29
Febrero	20,1	9,14	34,29	25,15	34,06
Marzo	17,4	7,92	80,9	72,98	98,83
Abril	43	33,11	100,21	67,11	90,88
Mayo	42	22,64	63,7	41,06	55,60

2.2.1 Pérdidas por percolación

El análisis de suelos que hemos realizado en el anejo 3 nos indica que no existen problemas de salinidad. Aun así es necesario calcular la fracción de lavado debido a la concentración de sales del agua para evitar el daño a los cultivos que producirían el depósito y acumulación de las mismas.

Las pérdidas por percolación se calculan mediante las siguientes expresiones:

$$\text{Pérdidas por percolación} = N_r - N_n$$

- Para el caso de la **alfalfa** en el mes con mayores necesidades, que es julio, las **pérdidas por percolación** = $N_r - N_n = 250,35 - 192,87 = \underline{\underline{57,48 \text{ mm/mes}}}$.
- Para el caso del **maíz** en el mes de mayores necesidades, que es julio, las **pérdidas por percolación** = $N_r - N_n = 310,24 - 237,52 = \underline{\underline{72,72 \text{ mm/mes}}}$.
- Para el caso del **trigo** en el mes de mayores necesidades, que es mayo, las **pérdidas por percolación** = $N_r - N_n = 158,88 - 125,58 = \underline{\underline{33,30 \text{ mm/mes}}}$.
- Para el caso de la **cebada** en el mes de mayores necesidades, que es mayo, las **pérdidas por percolación** = $N_r - N_n = 127,53 - 101,11 = \underline{\underline{26,42 \text{ mm/mes}}}$.
- Para el caso del **girasol** en el mes de mayores necesidades, que es agosto, las **pérdidas por percolación** = $N_r - N_n = 274,67 - 208,75 = \underline{\underline{65,92 \text{ mm/mes}}}$.

- Para el caso del **guisante** en el mes de mayores necesidades, que es abril, las **pérdidas por percolación** = $N_r - N_n = 113,63 - 83,91 = \underline{29,72 \text{ mm/mes.}}$
- Para el caso de la **veza forrajera** en el mes de mayores necesidades, que es marzo, las **pérdidas por percolación** = $N_r - N_n = 98,83 - 72,98 = \underline{25,85 \text{ mm/mes.}}$

Estas pérdidas por percolación nos favorecen para el lavado de las sales, que nos pueda aportar el agua de riego.

Las necesidades totales de riego para el caso más desfavorable, para cubrir las demandas de evapotranspiración y lixiviación son:

$$N_t = N_n / (1 - FL)$$

- Para la alfalfa: $N_t = N_n / (1 - FL) = 192,87 / (1 - 0,037) = \underline{200,28 \text{ mm/mes.}}$
- Para el maíz: $N_t = N_n / (1 - FL) = 237,52 / (1 - 0,043) = \underline{248,19 \text{ mm/mes.}}$
- Para el trigo: $N_t = N_n / (1 - FL) = 125,58 / (1 - 0,012) = \underline{127,10 \text{ mm/mes.}}$
- Para la cebada: $N_t = N_n / (1 - FL) = 101,11 / (1 - 0,009) = \underline{102,03 \text{ mm/mes.}}$
- Para el girasol: $N_t = N_n / (1 - FL) = 208,75 / (1 - 0,050) = \underline{219,74 \text{ mm/mes.}}$
- Para el guisante: $N_t = N_n / (1 - FL) = 83,91 / (1 - 0,077) = \underline{90,91 \text{ mm/mes.}}$
- Para la veza: $N_t = N_n / (1 - FL) = 72,98 / (1 - 0,077) = \underline{79,07 \text{ mm/mes.}}$

Las necesidades de lixiviación son:

$$\text{Necesidades de Lixiviación} = N_t - N_n$$

- Para el alfalfa: necesidades de lixiviación = $N_t - N_n = 200,28 - 192,87 = \underline{7,41 \text{ mm/mes.}}$
- Para el maíz: necesidades de lixiviación = $N_t - N_n = 248,19 - 237,52 = \underline{10,67 \text{ mm/mes.}}$
- Para el trigo: necesidades de lixiviación = $N_t - N_n = 127,10 - 125,58 = \underline{1,52 \text{ mm/mes.}}$
- Para la cebada: necesidades de lixiviación = $N_t - N_n = 102,03 - 101,11 = \underline{0,92 \text{ mm/mes.}}$

- Para el girasol: necesidades de lixiviación= $N_t - N_n = 219,74 - 208,75 = 10,99 \text{ mm/mes}$.
- Para el guisante: necesidades de lixiviación= $N_t - N_n = 90,91 - 83,81 = 7,1 \text{ mm/mes}$.
- Para la veza: necesidades de lixiviación= $N_t - N_n = 79,07 - 72,98 = 6,09 \text{ mm/mes}$.

A partir de estos datos queda ampliamente justificado el no tener en cuenta las necesidades de lixiviación ya que son ampliamente compensadas por las pérdidas por percolación.

3. Dimensionado del riego por aspersión

En este apartado vamos a dimensionar el riego por aspersión con cobertura total enterrado que deseamos poner en la parcela.

Como se explica en el apartado 2.2 de este anejo, las tablas anteriores no se tendrán en cuenta para los meses críticos por lo que de ahora en adelante se realizarán los cálculos para el cultivo más exigente en el mes de máximas necesidades hídricas para poder dimensionar la instalación del riego de tal forma que se pueda irrigar sin problemas el mes más desfavorable de todos o, lo que es lo mismo, en el mes de máximas necesidades hídricas.

Siendo el maíz el cultivo más exigente en el riego por aspersión con una ET_c de 253,77mm en el mes de julio, con una profundidad media radicular de 60cm.

3.1 Dosis máximas de riego

La dosis máxima de riego es el volumen de agua de riego por unidad de superficie y riego que es necesaria para elevar el contenido de humedad del suelo desde el punto de marchitez permanente (PM) hasta la capacidad de campo (CC).

La expresión para calcular la dosis máxima es la siguiente:

$$Dm = 10.000 \cdot p \cdot \frac{CC - PM}{100} \cdot Da$$

Donde:

- **Dm** = Dosis máxima, en m³/ha y riego.
- **p** = Profundidad radicular del cultivo, en m.
- **CC** = Capacidad de campo, en % de peso.
- **PM** = Punto de marchitez permanente, en % de peso.
- **Da** = Densidad aparente del suelo, en Tm/m³.

CULTIVO	P (m)	CC (%)	PM (%)	Da (Tm/m ³)	Dm (m ³ /ha*riego)	Dm (mm/riego)
ALFALFA	1,2	22,84	12,41	1,29	1614,56	161,456
MAÍZ	0,6	22,84	12,41	1,29	807,28	80,70
TRIGO	0,8	22,84	12,41	1,29	1076,37	107,637
CEBADA	0,9	22,84	12,41	1,29	1210,92	121,092
GIRASOL	0,9	22,84	12,41	1,29	1210,92	121,092
GUISANTE	0,4	22,84	12,41	1,29	538,18	53,818
VEZA FORRAJERA	0,5	22,84	12,41	1,29	672,73	67,273

3.2 Dosis útil

La dosis útil de riego es la efectividad con la que la planta extrae agua del suelo y depende del contenido de humedad del mismo. A mayor contenido en humedad del suelo mayor es la efectividad en la extracción del agua.

Por ello, para evitar una reducción en los rendimientos de los cultivos, interesa mantener siempre el contenido de humedad del suelo muy por encima del punto de marchitez permanente y ello obliga a regar con unas dosis más pequeñas que la dosis máxima y, además, regar con una frecuencia relativamente elevada. De esta manera se evita un descenso del rendimiento en los cultivos.

Para evitar agotar toda la capacidad de agua del suelo hay que aplicar un factor reductor. Así nos aseguramos de no llegar al punto de marchitez permanente.

La dosis útil se calcula con la siguiente expresión:

$$Du = a * Dm$$

Siendo:

- **Du** = Dosis útil de riego en m³/ha y riego.
- **a** = Factor reductor que toma el valor de 0,2 para sistemas fijos.
- **Dm** = Dosis máxima en m³/ha y riego.

CULTIVO	Dm (m ³ /ha riego)	a	Du (m ³ /ha riego)	Du (mm/riego)
ALFALFA	1614,56	0,2	322,91	32,29
MAÍZ	807,28	0,2	161,45	16,14
TRIGO	1076,37	0,2	215,27	21,52
CEBADA	1210,92	0,2	242,18	24,22
GIRASOL	1210,92	0,2	242,18	24,22
GUISANTE	538,18	0,2	107,63	10,76
VEZA FORRAJERA	672,73	0,2	134,54	13,45

3.3 Dosis real de riego

El agua aplicada por el riego mediante aspersión a los cultivos no es aprovechada en su totalidad por la planta ya que hay unas pérdidas, en nuestro caso de evaporación y de percolación mínimas.

Las pérdidas por escorrentía se consideran nulas en riego por aspersión ya que no se aplica ese exceso de agua como para que haya escorrentía como en un riego a pie. Con lo cual hay que aplicar una dosis superior a la dosis útil para compensar dichas pérdidas por evaporación y percolación para que la planta en la zona de las raíces tenga a su disposición la dosis útil anterior calculada.

La relación entre la dosis útil y la real es la eficiencia de aplicación de riego, que ya hemos visto antes, y tiene un valor para nuestro caso del 80%.

Por lo tanto la dosis real queda expresada por la siguiente fórmula:

$$Dr = Du / Ea$$

Siendo:

- **Dr**= Dosis real de riego, en m³/ha y riego.
- **Du**= Dosis útil de riego, en m³/ha y riego.
- **Ea**= Eficiencia de aplicación para riego por aspersión, 80% en nuestro caso.

Los resultados se expresan en la siguiente tabla:

CULTIVO	Du (m ³ /ha riego)	Ea	Dr (m ³ /ha riego)	Dr (mm/riego)
ALFALFA	322,91	0.80	403,64	40,36
MAÍZ	161,45	0.80	201,81	20,18
TRIGO	215,27	0.80	269,08	26,90
CEBADA	242,18	0.80	302,72	30,27
GIRASOL	242,18	0.80	302,72	30,27
GUISANTE	107,63	0.80	134,54	13,45
VEZA FORRAJERA	134,54	0.80	168,17	16,81

3.4 Cálculo del riego

Para el cálculo de las necesidades netas mensuales se desprecia la precipitación ya que hay que ponerse siempre en el caso más desfavorable. De esta manera el dimensionamiento de la instalación queda del lado de la seguridad.

$$\text{Necesidades (mm/día)} = \text{Necesidades (mm/mes)} / (\text{Nº de días/mes})$$

Las necesidades de cada cultivo para el mes más crítico se expresan en la tabla siguiente:

CULTIVO	Mes crítico	Necesidades (mm/mes)	Nº días del mes crítico	Necesidades (mm/día)
ALFALFA	Julio	192,87	31	6,22
MAÍZ	Julio	237,52	31	7,66
TRIGO	Mayo	125,58	31	4,05
CEBADA	Mayo	101,11	31	3,26
GIRASOL	Agosto	208,75	31	6,73
GUISANTE	Abril	83,91	30	2,80
VEZA FORRAJERA	Marzo	72,98	31	2,35

3.4.1 Intervalo entre riegos

Se define como el tiempo transcurrido entre dos riegos consecutivos, se define con la letra "T" y se mide en días.

Se expresa con la fórmula siguiente:

$$T = Du / Nn$$

Donde:

- **T**= Intervalo entre riegos, en días
- **Du**= Dosis útil almacenada en cada riego, en mm/riego.
- **Nn**= Necesidades netas diarias consumidas en el proceso de ETc para el cultivo más exigente, maíz en nuestro caso, en el mes de máximas necesidades, en mm/día.

Los resultados obtenidos se expresan en la tabla siguiente:

CULTIVO	Du (mm/riego)	Necesidades (mm/día)	T (días)
ALFALFA	32,29	6,22	5
MAÍZ	16,14	7,66	2
TRIGO	21,52	4,05	5
CEBADA	24,22	3,26	7
GIRASOL	24,22	6,73	3
GUISANTE	10,76	2,80	3
VEZA FORRAJERA	13,45	2,35	5

3.4.2 Número de riegos por mes

Es el cociente entre los días del mes de máximas necesidades y los días entre riegos.

Se calcula con la siguiente expresión:

$$n = N / T$$

Donde:

- **n** = Número de riegos por mes.
- **N** = Los días del mes de máximas necesidades.
- **T** = El intervalo entre riegos.

Los resultados se expresan en la tabla siguiente:

CULTIVO	N	T (días)	N (riegos/mes)
ALFALFA	31	5	6
MAÍZ	31	2	15
TRIGO	31	5	6
CEBADA	31	7	4
GIRASOL	31	3	10
GUISANTE	30	3	10
VEZA FORRAJERA	31	5	6

3.4.3 Densidad de aspersión

Se define como la cantidad de agua aportada por un aspersor por unidad de superficie y hora. También llamada intensidad de lluvia. La intensidad de aspersión va referido a una superficie regada (S_a) por un aspersor.

Se calcula con la siguiente formula:

$$i = q / S_a$$

Donde:

- i = Densidad de aspersión.
- q = Caudal nominal del aspersor, en l/h.
- S_a = Superficie asignada a cada aspersor, en m².

Así pues, la superficie regada (S_a) es:

$$S_a = S_m \times S_l$$

Se opta por un marco de plantación de los aspersores de 18x18 m, y se obtiene una superficie regada del aspersor:

$$S_a = 18 \cdot 18 = \underline{\underline{324\text{m}^2}}$$

El caudal del aspersor es de **1976L/h**, elegido en el anejo de justificación y características del sistema de riego.

Por lo tanto, la densidad de aspersión en nuestro caso es:

$$i = q / Sa$$

$$i = 1976/324 = \underline{\underline{6,098\text{mm/h}}}$$

El valor se encuentra dentro de los valores para no causar escorrentía.

3.4.4 Duración del riego

Se puede definir como el tiempo que debe estar en funcionamiento un aspersor para aplicarle al suelo la dosis real de riego.

Lo calculamos mediante la siguiente expresión:

$$T_r = D_r / i$$

Donde:

- **tr** = Duración de riego, en horas.
- **Dr** = Dosis real de riego, en mm/riego.
- **i** = Densidad de aspersión, en mm/h.

En la tabla siguiente expresamos la duración del riego para los distintos cultivos que vamos a plantear.

CULTIVO	Dr (mm/riego)	i (mm / h)	Tr (h)	Duración de riego
ALFALFA	40,36	6,098	6,62	6h y 37min
MAÍZ	20,18	6,098	3,31	3h y 18min
TRIGO	26,90	6,098	4,41	4h y 24min
CEBADA	30,27	6,098	4,96	4h y 57min
GIRASOL	30,27	6,098	4,96	4h y 57min
GUISANTE	13,45	6,098	2,20	2h y 12min
VEZA FORRAJERA	16,81	6,098	2,75	2h y 45min

Estos valores de duración de riego obtenidos se podrán ajustar en función de las necesidades del operador de riego de forma que le sea más sencillo el usar los programadores de riego.

Son tiempos teóricos ya que la densidad de aspersión calculada es también teórica y no será la misma que la del propio aspersor que elijamos

para la puesta en riego, que vendrá definida por el fabricante y depende de cada modelo de aspersor.

3.4.5 Caudal característico y continuo de la parcela

El caudal característico representa las necesidades reales de riego calculadas mes a mes (para todo el periodo de riegos), es decir, coincide con las necesidades reales de nuestro cultivo más exigente en el mes crítico, expresadas en forma de caudal continuo, es decir, en litros/segundo y hectárea.

Simplemente haciendo un cambio de unidades para **N_r** sacamos **q_c** aplicando la siguiente expresión:

$$q_c = N_r * [10000m^2/1ha] * [1día/24h] * [1h/3600seg]$$

Aplicando la expresión anterior para el cultivo más exigente en el mes de máximas necesidades hídricas, que es el maíz en el mes de julio, se obtiene el siguiente valor de caudal característico:

$$q_c = 7,66 * (10000m^2 / 1ha) * (1día / 24h) * (1h / 3600seg)$$

$$q_c = 0,88l/seg \text{ y ha}$$

El caudal continuo en la parcela se obtiene multiplicando el caudal característico por la superficie de la parcela y está directamente relacionado con el caudal en toma:

$$Q_c = S \cdot q_c$$

$$Q_c = S \cdot q_c = 41,94ha * 0,88l/seg \text{ y ha} = 36,91l/seg$$

Estos dos caudales continuos son ficticios y no se aplican realmente a través del sistema de riego. Si se hiciera así, la instalación tendría que estar regando de forma continua durante todo el mes crítico.

Para evitarlo, en el proyecto de la red colectiva se escogerán la toma de riego con un caudal tal que:

$$Q_t = 2 * Q_c = 2 * 36,91 = \underline{\underline{73,82\text{l/s}}}$$

Por lo tanto las necesidades quedan cubiertas en menos de la mitad del tiempo del mes crítico.

Caudal real de proyecto

Para el cálculo del caudal real de proyecto vamos a tener en cuenta las necesidades del cultivo más exigente en el mes más crítico, es decir, el maíz en julio, que es 7,88l/m² y día.

Éstas son las necesidades del maíz en julio regando continuamente los 7 días de la semana. Pero por condicionantes de manejo y experiencia en otros proyectos se decide regar 4 días y dejar 3 días libres cada semana. Por lo tanto el caudal real que necesitaré si riego 4 días y descanso 3, en vez de regar los 7 días seguidos, será:

$$7,88\text{litros/m}^2 \text{ y día} * 7 \text{ días} / 4 \text{ días} = 13,79\text{litros/m}^2 \text{ y día}$$

Como la superficie de la parcela son 419430,01m², el total de riego al día será:

$$419430,01\text{m}^2 * 13,79\text{litros/m}^2 \text{ y día} * (1\text{m}^3/1000\text{litros}) = 5781,87\text{m}^3/\text{día}$$

Como la superficie de la parcela son 419430,01m², y se riega durante 4 días, la superficie a regar cada día será de:

$$419430,01\text{m}^2 / 4\text{días} = 104857,5\text{m}^2/\text{día}$$

Por condicionantes de proyecto, se decide regar 8 horas en lugar de 3,73. Por tanto, cada día se riegan (24/8=3) tres sectores, posturas o módulos de riego. La superficie de cada postura (m²/postura) sería un tercio de la superficie total regada cada día, ya que se riegan 3 posturas cada día, por tanto:

$$104857,5\text{m}^2 / 3\text{módulos} = 34952,5\text{m}^2/\text{módulo}$$

Las necesidades para cada sector (l/módulo y semana), si regásemos continuamente los 7 días de la semana, serían:

$$34952,5\text{m}^2/\text{módulo} * 7,88\text{l}/\text{m}^2 \text{ día} * 7\text{días} = 1927288,92\text{l}/\text{módulo semana}$$

El caudal teórico total necesario (l/s) sería:

$$1927288,92\text{l}/\text{módulo semana} / (7,88\text{l}/\text{m}^2 \text{ día} * 3600) = 67,96\text{l}/\text{s}$$

En la práctica, los caudales van de 12 en 12, por lo que nuestro caudal real de proyecto es de 72l/seg.

Número máximo de aspersores por módulo

Si el caudal de los aspersores con más consumo es de 1976l/h, tendríamos un máximo de aspersores por módulo de:

$$72\text{l}/\text{seg} / 1976\text{l}/\text{h} * 1\text{h}/3600\text{seg} = \underline{131 \text{ aspersores}/\text{módulo}}$$



Universidad
Zaragoza

Proyecto Fin de Carrera

Puesta en riego por aspersión con cobertura total
enterrada en el término municipal de Piracés
(Huesca)

ANEJO 7. JUSTIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE RIEGO ELEGIDO

JUSTIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE RIEGO ELEGIDO

ÍNDICE DEL ANEJO 7

	Pág.
1. Introducción.....	2
2. Justificación de la conversión a riego por aspersión.....	2
2.1 Mano de obra.....	2
2.2 Rendimiento de la cosecha (producción).....	3
2.3 Edafología.....	3
2.4 Agua de riego.....	3
2.5 Topografía y contorno de la parcela.....	3
3. Características generales del riego por aspersión.....	4
3.1 Características de la cobertura total enterrada.....	5
3.1.1 Ventajas e inconvenientes.....	5
3.1.2 Elección del marco de colocación de los aspersores.....	6
3.1.3 Elección del aspersor.....	7
3.1.4 Características de los aspersores.....	7
4. Organización del riego.....	10
5. Número máximo de aspersores por módulo de riego.....	12

1. Introducción

En este anejo se va a justificar el sistema de riego elegido y también se van a explicar las ventajas e inconvenientes que presenta dicho sistema de riego. Además se indicarán las características de los elementos que constituyen el tipo de sistema.

2. Justificación de la conversión a riego por aspersión

La transformación de la parcela de riego a pie a riego por aspersión está justificada siempre que se obtenga una rentabilidad acorde con la inversión que hay que efectuar y que estará condicionada por los siguientes factores:

- Mano de obra
- Rendimiento de la cosecha (producción)
- Edafología
- Agua de riego
- Topografía y contorno de la parcela

2.1 Mano de obra

El manejo de una explotación con riego a pie es muy sacrificada debido a que hay que estar pendiente del agua día y noche durante los días de riego.

Transformar una finca a riego por aspersión es una ventaja debido a que no hay que estar pendiente del riego en todo momento porque el sistema está automatizado.

También se aumenta la rentabilidad de la explotación y aumentamos el rendimiento de la cosecha.

La mano de obra es menor con lo cual un agricultor puede cultivar un mayor número de hectáreas.

2.2 Rendimiento de la cosecha (producción)

Para obtener un máximo rendimiento de cosecha es fundamental un correcto aporte hídrico tanto en cantidad como en homogeneidad. Este aporte debe estar bien repartido a lo largo del ciclo vegetativo del cultivo para lograr una buena producción.

La transformación que vamos a realizar en este proyecto de riego a pie a riego por aspersión es debido al buen reparto del agua de riego y la homogeneidad a nivel de parcela que tiene el riego por aspersión en comparación al riego a pie que tenemos ahora y de ello dependerá el rendimiento de la cosecha que se vaya a obtener en la parcela.

2.3 Edafología

Se trata de un suelo en general **fértil**, con una profundidad suficiente para los cultivos que se pretende implantar.

Posee una textura **franco-arcillo-arenosa** sin problemas de drenaje ni de salinidad.

Respecto a la velocidad de infiltración, el valor obtenido se encuentra en un intervalo de **infiltración moderada**, lo que hace al suelo adecuado para el riego.

2.4 Agua de riego

El agua proviene de los pantanos de La Sotonera y de El Grado. Tras el estudio realizado en el anejo 4 deducimos que es un agua de buena calidad y no presenta ningún problema. Con lo cual el riego por aspersión no va a presentar ningún problema con respecto a la calidad del agua.

2.5 Topografía y contorno de la parcela

La parcela en la que se va a instalar el riego pertenece al sector V de la acequia del Flúmen. Es una parcela de aproximadamente 42 hectáreas, tiene un contorno bastante regular.

Las pendientes son aproximadamente de un 1 % con lo cual es un terreno casi llano.

Por lo tanto no se va a presentar limitación alguna a la hora de realizar la elección del sistema de riego a implantar en la parcela ya que la escorrentía que se pudiera producir por elevadas pendientes es mínima.

3. Características generales del riego por aspersión

La transformación que vamos a realizar es de riego a pie a riego por aspersión con cobertura total enterrada, ya que las características técnicas hacen posible esta transformación.

El aporte de agua a las plantas mediante este sistema de riego por aspersión es en forma de lluvia artificial empleando emisores rotativos. Los aspersores son los elementos encargados de la distribución del agua en la parcela, necesitando de una cierta presión para que salga a través de los orificios o boquillas de los mismos.

Sus principales **ventajas** son:

- Distribución del agua en forma de lluvia, de manera uniforme sobre el suelo.
- Permite el riego de terrenos con pendiente sin la necesidad de realizar nivelaciones en el terreno.
- Conducción del agua por el interior de tuberías a presión, sin ningún tipo de pérdidas en su distribución.
- Distribución del agua sobre el terreno a medida que se va infiltrando, pudiendo aplicar solo las dosis necesarias para el cultivo, con el consiguiente ahorro de agua.
- Se evitan las pérdidas de agua por escorrentía, así se evita la erosión del suelo fértil.
- Con el propio sistema de riego se pueden aplicar tratamientos fitosanitarios, y aporte de fertilizantes.
- Se adapta a la mayoría de los cultivos incrementando su producción respecto a los sistemas de riego tradicionales.
- La exigencia de mano de obra disminuye en comparación con los sistemas de riego tradicionales.
- La eficiencia de riego es más alta que en riegos tradicionales.

Pero el riego por aspersión también presenta ciertos **inconvenientes**:

- La mala compatibilidad del viento con la eficiencia de aplicación del riego, disminuyendo esta considerablemente, con lo que deberá evitarse el riego en días con velocidades del viento considerables.
- El coste elevado de implantación.

3.1 Características de la cobertura total enterrada

3.1.1 Ventajas e inconvenientes

Además de las características antes citadas, la cobertura total enterrada evita infraestructuras superficiales que separan y enmarcan la parcela y evita pérdidas en la superficie cultivada.

Principalmente se caracteriza por constar de:

- **Un elemento filtrante** que se instalará en el edificio de control de mandos y estará compuesto por filtros de mallas automáticos.
- **Una válvula hidráulica** en la entrada de cada módulo (conjunto de emisores de riego que funcionan al mismo tiempo) comandada por una llave de tres vías, la cual puede ser accionada manualmente con tres posiciones, la tercera se corresponde al modo automático.
- **Una red de tuberías** de distintos diámetros que variarán en función del caudal que transporten. Ésta se encuentra totalmente enterrada a mayor profundidad que la de la labor de los aperos, saliendo solo a superficie el porta-emisor, que puede ser de diferentes medidas, y el emisor o aspersor que también puede ser de diversos tipos.
- **Un controlador de riego** que controlará el conjunto del equipo de riego y estará instalado en el edificio de mandos.

3.1.2 Elección del marco de colocación de los aspersores

El marco de colocación de los aspersores en red viene dado por las distancias existentes, por un lado entre dos ramales contiguos de aspersores, y por otro lado por la distancia entre dos aspersores consecutivos dentro de un mismo ramal.

Es muy importante la distribución de los aspersores. Se suelen colocar siguiendo generalmente tres disposiciones: en rectángulo, en cuadrado y en triángulo o tresbolillo.

Elegiremos la distribución del marco en forma triangular ocupando los aspersores los vértices de una red de triángulos. Este tipo de disposición es la que mejor aprovecha el agua pues la uniformidad de distribución del agua es mucho mejor cuando hay vientos dominantes.

En esta distribución triangular la distancia entre dos aspersores de un mismo lateral de riego será de 18metros y la distancia entre dos laterales de riego sería de 18metros también lo que dará una red de triángulos equiláteros.

Este marco triangular de los aspersores es elegido por dos características:

- Principalmente por la uniformidad que garantiza.
- Por la adaptabilidad a la gran mayoría de herramientas, con lo cual se trabaja con anchuras múltiples a tres metros.

Otro aspecto que tenemos que controlar es que los extremos de las parcelas coinciden normalmente distancias irregulares de los aspersores a las márgenes de las mismas. Por ello se tomará la medida de retirar el aspersor hacia la parte interna de la parcela hasta una distancia de 12metros y se colocará un aspersor más en la margen de la parcela (para no perder uniformidad en el riego) siguiendo la trayectoria del ramal de aspersores si la distancia se encuentra entre 9 y 12metros de la margen. Si la distancia a la margen es inferior a 9metros este aspersor será retirado hacia la margen siguiendo la trayectoria del ramal de aspersores del cual se alimenta.

De esta manera se consigue que las cabeceras de las parcelas tengan mayor maniobrabilidad quedando una anchura asegurada de 12metros.

3.1.3 Elección del aspersor

Los factores que se han tenido en cuenta para la elección del aspersor han sido los siguientes:

- Un tipo de aspersor con cuyo caudal se redujeran costes en el ancho de las calles.
- La densidad de aspersión debe estar por debajo de la velocidad de infiltración del agua en el suelo de la parcela.
- La presión de funcionamiento del aspersor ha de ser la necesaria para que haya una buena uniformidad del riego.
- El recubrimiento del aspersor deberá estar comprendido entre el 55 y el 65%.
- El coeficiente de uniformidad debe estar por encima del 80% con vientos de hasta 2,5m/s, según la regla de Christiansen.
- El grado de pulverización debe tener un valor comprendido entre 0,1 y 0,3. Para medir el grado de pulverización se usa el índice de Tenda ($K=D/h$; donde "D" es el diámetro de la boquilla y "h" la presión de trabajo, en metros de columna de agua).
- La eficiencia del aspersor es la relación entre el alcance, en metros, y la presión en la boquilla, también en metros. Debe estar por debajo del valor de 0,7 para las gotas finas, según la fórmula de Poggi.

En función de todas las características técnicas del aspersor anteriormente descritas y teniendo en cuenta el aspecto económico se definen los aspersores que se van a colocar.

3.1.4 Características de los aspersores

1) CAUDAL DEL ASPERSOR

El caudal del aspersor está íntimamente relacionado con el diámetro de la boquilla (o de las boquillas) y con la presión de funcionamiento. Los caudales usuales de los aspersores varían desde 1000 a 3000litros/hora.

2) ALCANCE DEL ASPERSOR

El alcance del aspersor, que determina el radio de área mojada, depende del ángulo de inclinación de la boquilla y de la presión de

funcionamiento. Se obtiene un valor máximo del radio del área mojada cuando el ángulo de inclinación de la boquilla es de 45°. Sin embargo, este ángulo no suele utilizarse debido a que el chorro sería muy afectado por el viento disminuyendo la uniformidad de riego.

3) GRADO DE PULVERIZACIÓN

El tamaño de las gotas de agua que arroja el aspersor es un factor importante en el riego ya que si no es el adecuado puede afectar a las plantas, al suelo y a la uniformidad de riego:

- En cultivos delicados, el impacto de gotas gruesas puede producir daños que afectan a la producción.
- Las gotas gruesas provocan la compactación de determinados suelos y la consiguiente disminución de la velocidad de infiltración.
- La eficiencia de los riegos disminuye cuando las gotas son demasiado finas ya que aumenten las pérdidas por evaporación.
- La uniformidad de los riegos se ve más fácilmente afectada por el viento a medida que el tamaño de las gotas se hace menor.

4) PLUVIOMETRÍA O PRECIPITACIÓN DEL ASPERSOR

La pluviometría o precipitación de un aspersor expresa la intensidad de riego por aspersión y se mide por altura de la capa de agua recibida por la tierra durante un tiempo determinado. Generalmente se expresa en mm/h.

La pluviometría más frecuente en riego por aspersión oscila entre 3 y 20 mm/h. Hay que tener en cuenta que la pluviometría debe ser inferior a la permeabilidad del terreno ya que en caso contrario podrían producirse encharcamientos y erosiones.

La pluviometría de un aspersor se calcula mediante la fórmula:

$$P = Q/S$$

Donde:

- **P** = pluviometría, en mm/h.
- **Q** = caudal del aspersor, en l/h.
- **S** = superficie útil de riego, en metros cuadrados.

5) CORRECTO ESPACIAMIENTO DE LOS ASPERSORES EN CONDICIONES ESPECÍFICAS DE VIENTO

Espaciamiento en triángulo	Velocidad del viento	Distancia entre laterales
	Sin viento	70% de diámetro
	2m/seg.	70% de diámetro
	3,5m/seg.	60% de diámetro
	Más de 3,5m/seg.	35% de diámetro

CARACTERÍSTICAS DEL ASPERSOR CIRCULAR

- Caudal emitido por el aspersor: **1976l/h.**
- Presión nominal: **3 kg/cm².**
- Boquilla aspersor: **3/16" = 4,76mm.**
- Boquilla pequeña con chorro lateral (ranura vertical): **3/32" = 2,38mm.**
- Alcance: **14,5m.**
- Velocidad rotación: **1070rpm.**
- Coeficiente de uniformidad 18 x 18T: **81.76%.**
- Grado de pulverización (índice de Tenda):

$$K = 4,76\text{mm}/30\text{mca} = \mathbf{0,1587}$$

- Índice de Poggi:

$$14.5 \text{ m}/30\text{mca} = \mathbf{0,4833}$$

- Densidad de aspersión: **7,04mm/h.**

CARACTERÍSTICAS DEL ASPERSOR SECTORIAL

- Caudal emitido por el aspersor: **1757l/h.**
- Presión nominal: **3kg/cm².**
- Boquilla aspersor: **13/64" = 5,15mm.**

- Alcance: **15,2m.**
- Velocidad rotación: **0,54rpm.**
- Coeficiente de uniformidad 18 x 18T: **80.99%.**
- Grado de pulverización (índice de Tenda):

$$K = 5.15\text{mm}/30\text{mca} = \mathbf{0,1716}$$

- Índice de Poggi:

$$15.2 \text{ m}/30\text{mca} = \mathbf{0,5066}$$

- Densidad de aspersión: **5,42mm/h.**

CARACTERÍSTICAS DE LOS PORTA ASPERSORES

- Los porta aspersores circulares tendrán una altura máxima de 2,5metros.
- Los porta aspersores sectoriales tendrán una altura máxima de 2,5metros y estarán dotados de un deflector, que consiste en una chapa atornillada en cabeza del porta-aspersor para evitar que vaya el agua a carreteras o caminos.
- Se dotarán de válvulas de bola o grifos a los porta - aspersores que los necesiten para cortar el caudal y realizar las reparaciones u operaciones que sean oportunas.
- Los porta aspersores serán de acero galvanizado de 3/4".

4. Organización del riego

Para la organización del riego nos vamos a centrar en los siguientes factores:

- Cultivo más exigente (con mayores necesidades hídricas), que **es el maíz.**
- Periodo de tiempo crítico (con mayores necesidades hídricas), que es julio con **237,52 mm/mes.**

- Nº de riegos teóricos a aportar en dicho mes, que son **15**.
- Dosis real de riego, **20,18 mm/riego**.
- Nº de horas por riego, **3,31 h/riego. = 3h y 18 minutos**

La pluviometría del aspersor es de **7,04mm/h** para los aspersores circulares y de **5,42mm/h** para los aspersores sectoriales.

Con esto pasamos a calcular el número de horas de riego:

$\text{Nº de horas de riego (t}_r\text{)} = \text{Dr} / \text{intensidad de aspersión}$

- Aspersor circular= (20,18mm/riego) / (7,04mm/h) = **2,86h/riego**.
- Aspersor sectorial= (20,18mm/riego) / (5,42mm/h) = **3,72h/riego**.

En ambos casos se considera una duración del riego de 3,72 horas que equivale a 3 horas y 43 minutos.

El riego se organiza a la demanda, comenzando a regar primeramente por el módulo de riego más alejado y una vez finalizado comenzará el siguiente, y así sucesivamente hasta el último.

Por lo tanto, según los cálculos teóricos, la postura del riego para el maíz es de 3,72 horas, suponiendo que se riega todo el día regaríamos al día unos 6,45 sectores y teniendo en cuenta que el espaciamiento entre riegos es de 2 días, tendríamos un total de 12 módulos en nuestra finca. Pero en la práctica esto no es factible, ya que tendría que estar teóricamente el riego en funcionando durante todo el mes crítico.

Así pues, en la práctica y debido a la experiencia en otros proyectos de este tipo y a su buen funcionamiento, se opta por regar 8 horas en vez de 3,72 y así descansar durante 2,66 días, es decir 2 días y 15 horas, para volver a empezar de nuevo el período de riego. Con esto tenemos que regando 8 horas por módulo regaremos 3 módulos por día, por 4,33 días de riego (aprox. 4 días), con lo que tendríamos un total de 12 módulos de riego en nuestra finca (se consideraría una más para el buen funcionamiento de la instalación ya que con el número de aspersores totales quedan mejor repartidos de esta manera).

5. Número máximo de aspersores por módulo de riego

El sistema de riego a dimensionar debe poder permitir el funcionamiento individual de un módulo, y una vez acabado este módulo comenzará el siguiente módulo y así sucesivamente ya que se trata de un sistema de riego a la demanda.

A la hora de determinar el número máximo de aspersores por unidad de riego, se considerará como unidad de riego el conjunto de todos los aspersores abastecidos por una misma toma de riego. Para establecer dicho número de aspersores por unidad de riego o módulo se calculara de forma que se puedan regar todos los sectores cubriendo todas las necesidades de cada cultivo.

Así pues, para saber el número de aspersores por módulo se establece una división entre el número de aspersores totales y el número de módulos o sectores de riego (calculado en el apartado anterior):

- N° total de aspersores= **1367 [Superficie parcela/superficie aspersor)**
- N° de módulos= **13**

$$1367/13= \underline{\underline{\mathbf{105 \text{ aspersores por módulo}}}}$$

Esto en la realidad no es así, ya que el número máximo de aspersores por módulo viene dado por el caudal total, como se vio en el último apartado del anejo 6: "Número máximo de aspersores por módulo"

Si el caudal de los aspersores con más consumo es de 1976l/h, y el caudal real de proyecto es de 72l/seg, tendríamos un máximo de aspersores por módulo de:

$$72\text{l/seg} / 1976\text{l/h} * 1\text{h}/3600\text{seg} = \underline{\underline{\mathbf{131 \text{ aspersores/módulo}}}}$$

Teniendo en cuenta la forma y geometría de la parcela y también la división de los sectores de riego no todos podrán tener el mismo número de aspersores por lo que los módulos variarán entre 81 y 112 aspersores, como viene indicado en la tabla siguiente:

Anejo 7. Justificación y características del sistema de riego elegido

Módulo	Nº de aspersores sectoriales	Nº de aspersores circulares	Nº de aspersores totales
A	21	83	104
B	9	85	94
C	9	99	108
D	9	98	107
E	15	94	109
F	32	49	81
G	17	88	105
H	8	104	112
I	8	104	112
J	8	104	112
K	8	104	112
L	8	104	112
M	8	91	99



Universidad
Zaragoza

Proyecto Fin de Carrera

Puesta en riego por aspersión con cobertura total
enterrada en el término municipal de Piracés
(Huesca)

ANEJO 8. CÁLCULO HIDRÁULICO

CÁLCULO HIDRÁULICO

ÍNDICE DEL ANEJO 8

	Pág.
1. Introducción.....	3
2. Distribución de caudales y número de módulos en la red de riego.....	3
3. Elección de los materiales.....	4
3.1 Diámetros comerciales.....	5
3.2 Timbrado de las tuberías.....	6
3.3 Uniones.....	7
3.4 Sobrepresiones de la red de riego.....	7
4. Cálculo hidráulico de la red de riego.....	8
4.1 Método de cálculo utilizado.....	8
4.2 Cálculo de las pérdidas de carga en los laterales de riego y en las tuberías terciarias.....	9
4.2.1 Cálculo en los módulos de riego.....	9
4.2.2 Pérdidas de carga en los laterales de riego y en los porta aspersores.....	11
4.2.3 Cálculo de las tuberías terciarias.....	17
4.2.4 Cálculo de las tuberías secundarias.....	33
5. Movimiento de tierras.....	35
5.1 Definición de zanjas.....	35
5.2 Excavación de la zanja de los laterales de riego.....	35

5.3	Excavación de la zanja de las tuberías terciarias.....	36
5.4	Excavación de la zanja de las tuberías secundarias.....	37
5.5	Excavación de la zanja de la tubería primaria.....	37
5.6	Resumen del movimiento de tierras.....	37

1. Introducción

En el presente anejo se van a calcular las pérdidas de carga que existen en la red de riego y así como el dimensionamiento de la red. Para el cálculo de las pérdidas de carga y la elección de los diámetros de las tuberías se emplea una hoja de cálculo diseñada concretamente para estos cálculos.

El cálculo de las pérdidas de carga se realiza primeramente a nivel de sector o módulo de riego, para saber la presión necesaria en la entrada de dicho módulo. Posteriormente y con el caso más desfavorable o más exigente en presión o caudal, se han calculado las pérdidas de la red de tuberías secundarias hasta llegar al edificio de control que es donde se regulan las presiones.

La alimentación de la red de riego se va a realizar mediante bombeo desde una balsa de riego construida en un extremo de la parcela, por lo que se va a realizar el cálculo de las pérdidas de carga en toda la red y así con ello poder establecer la presión y caudal necesarios para el bombeo.

2. Distribución de caudales y número de módulos en la red de riego

El sistema de riego a dimensionar debe permitir el funcionamiento individual de un módulo, y una vez que ha acabado éste comience el siguiente módulo y así sucesivamente, ya que se trata de un riego con cobertura total a la demanda.

Para establecer el número de aspersores por unidad de riego se calculara de forma que se pueda regar todos los sectores cubriendo las necesidades de cada cultivo.

El cultivo que requiere unas mayores necesidades es el maíz, que según lo expuesto en el anejo 6, tiene un intervalo entre riegos de 2 días, por lo que en teoría habrá que regar la totalidad de la finca en 2 días. Debido a la experiencia en otros proyectos con estos cultivos y en la zona en cuestión (como ya se ha explicado en el anejo 7), se aconseja tomar como intervalo entre riegos 3,66 días, es decir 4 días ya que se sabe que tiene buen funcionamiento y además no se sobredimensiona la red de riego.

Por lo tanto con un intervalo de riego de 4 días, los aspersores que tenemos por módulo de riego y sus caudales son los siguientes:

Módulo	Nº total de aspersores (ud)	Nº de aspersores sectoriales (ud)	Caudal unitario de aspersor sectorial (l/h)	Nº de aspersores circulares (ud)	Caudal unitario de aspersor circular (l/h)	Caudal total del módulo (l/s)
A	104	21	1757	83	1976	55,81
B	94	9	1757	85	1976	51,05
C	108	9	1757	99	1976	58,73
D	107	9	1757	98	1976	58,18
E	109	15	1757	94	1976	58,92
F	81	32	1757	49	1976	42,51
G	105	17	1757	88	1976	56,60
H	112	8	1757	104	1976	60,99
I	112	8	1757	104	1976	60,99
J	112	8	1757	104	1976	60,99
K	112	8	1757	104	1976	60,99
L	112	8	1757	104	1976	60,99
M	99	8	1757	91	1976	53,85

Se puede observar que el sector que más caudal requiere son por igual los módulos H, I, J, K y L, cada uno de los cuales necesita en total 60,99l/s.

A cada módulo se le asigna una letra y dentro de cada módulo se encuentra una serie de submódulos, a los cuales se les asigna la letra del módulo al que corresponde y el número, según la posición en la que se encuentran dentro de cada módulo.

3. Elección de los materiales

Los materiales utilizados en la red de distribución son el polietileno de alta densidad (PE) para los laterales de riego y el policloruro de vinilo (PVC) para las tuberías primaria, secundaria y terciaria.

La elección de materiales plásticos como el polietileno y el policloruro de vinilo para la red de riego se justifican por sus características:

- El polietileno presenta la ventaja de ser flexible, con lo que puede amoldarse a las curvas sin perder sección útil.
- El funcionamiento hidráulico de estos plásticos presenta coeficientes de fricción bajos, reduciendo los diámetros de las tuberías.
- Presentan una gran facilidad de reparación ya que existe una gran cantidad de piezas especiales en el mercado que facilitan estas operaciones.

- Las tuberías plásticas permiten el montaje fuera de zanja, con lo que el coste de dicho montaje es mínimo.

3.1 Diámetros comerciales

Los diámetros comerciales existentes de tubería de P.V.C. según la norma U.N.E. 53-112 son:

PVC	Serie de presiones nominales			
	0,4 MPa	0,6 MPa	1 MPa	1,6 MPa
Diámetro nominal (mm)	Diámetro interior (mm)	Diámetro interior (mm)	Diámetro interior (mm)	Diámetro interior (mm)
16	-	-	-	13,60
20	-	-	-	17,00
25	22,60	22,60	22,00	21,20
32	29,60	29,60	20,40	27,20
40	37,20	36,40	36,00	34,00
50	47,20	46,40	45,20	42,60
63	59,40	59,20	57,00	53,60
75	71,40	70,60	67,80	63,80
90	86,40	86,60	81,40	76,60
110	105,60	103,60	99,40	93,60
125	120,00	117,60	113,00	106,40
140	134,40	131,80	126,60	119,20
160	153,60	150,60	144,60	136,20
180	172,80	169,40	162,80	153,20
200	192,00	188,20	180,80	170,40
250	240,20	235,40	226,20	213,00
315	302,60	296,60	285,00	268,20
400	384,20	376,60	361,80	340,60
500	480,40	470,80	452,20	425,80

Los diámetros comerciales existentes de tubería de P.E. son:

PE	Serie de presiones nominales			
	0,4 MPa	0,6 MPa	1 MPa	1,6 MPa
Diámetro nominal (mm)	Diámetro interior (mm)	Diámetro interior (mm)	Diámetro interior (mm)	Diámetro interior (mm)
25	-	-	21,00	20,40
32	-	-	28,00	26,20
40	-	36,00	35,20	32,60
50	-	46,00	44,00	40,80
63	-	58,20	55,40	51,40
75	-	69,20	66,00	61,40
90	-	83,00	79,20	73,60
110	-	101,60	96,80	90,00
125	118,80	115,40	110,20	102,20
140	133,00	129,20	123,40	114,60
160	152,00	147,60	141,00	127,60
180	171,20	166,20	158,60	150,80
200	190,20	184,60	176,20	163,60
225	118,00	207,80	198,20	184,00
250	237,60	230,80	220,40	204,60
280	266,20	258,60	246,80	229,20
315	299,60	290,80	277,60	257,80
355	337,60	327,80	312,80	290,40
400	380,40	369,40	352,60	327,20
450	428,00	415,60	396,60	368,00
500	475,40	461,80	440,80	409,00
560	532,60	517,20	493,60	458,20
630	599,20	581,80	555,20	515,40
710	675,20	655,60	626,00	-
800	760,80	738,80	705,20	-
900	856,00	830,60	794,20	-
1000	951,20	923,00	882,40	-
1200	1141,40	1107,60	-	-

3.2 Timbrado de las tuberías

La presión máxima que encontraremos en la red para el correcto funcionamiento del sistema es de 45mca., mientras que la presión mínima será de unos 30mca. en la base de los aspersores.

Por lo tanto el timbrado que se adopta para todas las tuberías es de 6atm, es decir tuberías de presión nominal 0,6MPa.

Con este timbrado se pretende por un lado hacer frente a posibles sobrepresiones en la red y por otro evitar el problema de que se produzcan deformaciones de las tuberías como consecuencia de la presión que el terreno ejerce en las tuberías (este problema se suele dar con tubos de 4atm).

3.3 Uniones

Todas las series comerciales de tubería de PVC disponen de tres tipos de unión, junta elástica, adhesivo y unión roscada. En este caso optaremos por la unión mediante junta elástica.

Las tuberías de PE deberán ser unidas mediante soldadura por termofusión o por accesorios de ajuste mecánico. En caso de utilizar accesorios o uniones con junta elástica sin resistencia axial, debido al alto coeficiente de dilatación de la tubería, deberá preverse que no pueda producirse desacople de la unión.

3.4 Sobrepresiones de la red de riego

La presión de servicio de las tuberías debe resistir la presión estática de la red más las sobrepresiones que se originen. Éstas se producen principalmente por las siguientes causas:

- Cierre de válvulas de mariposa que aíslan los ramales.
- Cierre de un hidrante.
- Acumulación de aire en la red.
- Llenado de la red.

Las medidas que se toman para evitar o reducir las posibles sobrepresiones son las siguientes:

- Para evitar la sobrepresión por el cierre rápido de las válvulas (golpe de ariete) se colocan válvulas de cierre lento.
- Para evitar las acumulaciones de aire en las conducciones se colocan ventosas en los puntos más altos de la conducción.
- Para evitar fuertes sobrepresiones en el llenado de la red, el caudal se limitará a 1/10 del caudal nominal.

4. Cálculo hidráulico de la red de riego

En primer lugar se fija la velocidad del agua circulante por las tuberías en 2m/s obteniendo de esta forma un diámetro de predimensionado mediante la ecuación de continuidad:

$$Q = A * V = \pi * (D^2 / 4) * V$$

Donde:

- **Q** = Caudal
- **D** = Diámetro de la conducción
- **V** = Velocidad del fluido

Con ese diámetro se elige el diámetro comercial de la tubería cuyo diámetro interior se ajuste al obtenido en el predimensionado.

A partir de aquí se calculan las pérdidas de carga por rozamiento continuo en la tubería.

4.1 Método de cálculo utilizado

Pérdidas de carga por rozamiento continuo

Para el cálculo de las pérdidas de carga en la tubería por rozamiento continuo se utiliza la fórmula general propuesta por **Darcy-Weisbach**, que responde a la siguiente expresión:

$$h_r = J * L = f * (L / D) * (V^2 / 2g)$$

Donde:

- **h_r** = Pérdidas de carga por rozamiento continuo, en mca.
- **J** = Pérdida de carga unitaria, en m/m.
- **L** = Longitud de la conducción, en m.
- **f** = Factor de fricción.
- **V** = Velocidad del fluido dentro de la tubería, en m/s.
- **D** = Diámetro interior de la conducción, en m.
- **g** = Aceleración de la gravedad, en m/s².

El factor de fricción “f” se ha calculado con la fórmula logarítmica de **Jain** para régimen turbulento en zona de transición:

$$1 / \sqrt{f} = -2 \log [(5,73 / Re^{0,9}) + (K / (3,71 * D))]$$

Donde:

- **Re**: Número de Reynolds.
- **K**: Rugosidad absoluta de la conducción que depende del tipo de material de que se trate, en mm (para PE la K = 0,002 mm y para PVC la K = 0,02 mm).
- **D**: Diámetro de la conducción, en mm.

Pérdidas de carga accidentales o singulares

Los elementos singulares dispuestos a lo largo de la red de distribución de agua provocan también una pérdida de carga en la conducción.

Ésta se denomina pérdida de carga singular (hs), para su cálculo se ha mayorado la pérdida de carga por rozamiento en un 20% (se ha tomado este valor basándose en la experiencia de otros proyectos).

4.2 Cálculo de las pérdidas de carga en los laterales de riego y en las tuberías terciarias

4.2.1 Cálculo en los módulos de riego

Los módulos pertenecen a un sistema fijo de cobertura total enterrada, su dimensionado debe hacerse aplicando la regla de Christiansen a todo el conjunto de tuberías que funcionan simultáneamente.

Regla de Christiansen:

“La variación máxima de caudal entre dos aspersores de una unidad de riego ha de ser menor o igual al 10 % del caudal nominal del aspersor”.

Esta regla llevada a la relación entre caudal y presión indica que la variación máxima de presión entre dos aspersores dentro de la misma unidad de riego no puede superar el 20% de la presión nominal del aspersor.

Estos módulos están constituidos por una tubería central que es la **tubería terciaria**, será de **PVC** con tramos telescópicos en función del caudal a transportar y de distancias variables según el caso.

A ambos lados lleva laterales de riego de **PEBDØ32** en los cuales se colocan los porta-aspersores (normalmente se colocan de 3 ó 4).

Algún módulo está realizado en parte mediante tuberías de PVC y sobre ellas se colocan los aspersores. Se ha adoptado este método porque permite una mejor instalación de la cobertura para la resolución de los módulos que caen en esquinas o módulos que por su longitud el sistema de inyección de polietileno resulta inviable.

Para calcular las pérdidas de carga en cada módulo se ha seguido el siguiente procedimiento:

- 1) Se aplica la regla de **Christiansen** indicada anteriormente, así se determina la variación máxima de presión admisible en la unidad de riego.

$$\left(\frac{\Delta P}{\gamma} \right)_{UD} = 0,2 \cdot \frac{P_n}{\gamma} = 0,2 \cdot 30 \text{ mca} = 6 \text{ mca}$$

- 2) Se determinan las causas de la variación de presión en la unidad de riego. Las causas de la ΔP son las pérdidas de carga y la diferencia de cotas pero en este caso al tratarse de una parcela llana, solo afecta a la variación de presión las pérdidas de carga.

De esta forma se determinan las pérdidas de carga admisibles

$$(AP / \gamma)_{UD} = (a * hr)_{UD}$$

En este caso se igualan las dos expresiones anteriores, y entonces la pérdida de carga total admisible en la unidad de riego es de:

$$(a * hr)_{UD} = 6 \text{ m.c.a.}$$

Tomando z positiva cuando la pendiente es ascendente y z negativa cuando la pendiente es descendente.

- 3) Se trasladan las pérdidas de carga admisibles en la unidad a las tuberías que forman los laterales de riego y la tubería terciaria.

$$(a \cdot hr)_{UD} = (a \cdot hr)_{TT} + (a \cdot hr)_{LR} = 6m.c.a.$$

A partir de esta fórmula y una vez conocidas las pérdidas de carga en los laterales de riego obtenemos las pérdidas de carga admisibles en la tubería terciaria por rozamiento continuo.

Las pérdidas de carga en el lateral de riego vienen determinadas por el diámetro de la tubería de la instalación que es el PEØ32 con un diámetro interior de 28mm.

Estas pérdidas se calculan utilizando la ecuación de continuidad de donde se determina la velocidad del agua (calculando el número de Reynolds) y posteriormente se determina el factor de fricción mediante la fórmula logarítmica de **Jain**.

Una vez conocido todo lo anterior se calculan las pérdidas de carga mediante la ecuación de **Darcy-Weisbach**.

- 4) Una vez determinadas las pérdidas de carga en el último lateral de riego y conocida la pérdida de carga admisible en la unidad, se obtienen las pérdidas de carga admisibles en la tubería terciaria.
- 5) Determinadas las pérdidas de carga máximas en la tubería terciaria y conociendo la longitud de cada módulo se calcula la pérdida de carga unitaria.
- 6) A partir de la pérdida de carga unitaria, se procede al cálculo hidráulico de la tubería terciaria tramo a tramo.

4.2.2 Pérdidas de carga en los laterales de riego y en los porta-aspersores

Las pérdidas de carga en los porta-aspersores se calculan utilizando la fórmula de Scobey, que es la indicada en el caso de tuberías de acero y aluminio.

De esta forma las pérdidas de carga que se presentan en un porta-aspersor son:

$$h_r = 0,717 * K * L * (Q^{1,9} / D^{4,9})$$

Donde:

- **hr**: Pérdida de carga, en m.c.a.
- **K**: Coeficiente para acero = 0,42
- **D**: Diámetro hidráulico, en mm.
- **Q**: Caudal, en l/h.
- **L**: Longitud de la tubería (en este caso del porta-aspersor) en m.

Sustituyendo los valores correspondientes en la expresión anterior con los datos que nos facilita el fabricante del porta aspersor de acero galvanizado de 3/4" y aspersor elegidos en el anejo 7 (K=0,42; D=19mm; Q=1976l/h; L=2,5m):

$$h_r = 0,717 * 0,42 * 2,5 * (1976^{1,9} / 19^{4,9}) = 0,75\text{m.c.a.}$$

A este valor hay que sumarle la altura del porta-aspersor que es de 2,5m por lo que las pérdidas de carga totales en los porta-aspersores es de:

$$h_r \text{ porta-aspersor} = 3,25\text{m.c.a.}$$

Los valores resultantes del cálculo de las pérdidas de carga en los últimos laterales de riego, las pérdidas de carga admisibles en la tubería terciaria, así como el valor de la pendiente hidráulica se recogen en las siguientes tablas:

Tramo TT	Longitud del último tramo LR (m)	Número de aspersores (ud)	Longitud del tramo TT (m)	Caudal total (m3/s)	Velocidad (m/s)	Re	f	hr LR (mca)	(hr+hs) LR (mca)	(hr + hs)max TT (mca)	hrmax TT (mca)	Jmax TT (m/m)
A1	16,4	1		0,0005	0,79	19365,86	0,026	0,49	0,59			
	8,59	2		0,0010	1,59	38731,71	0,022	0,87	1,05			
			206,14					1,37	1,64	4,36	3,634	0,018
A2	16,79	1		0,0005	0,79	19365,86	0,026	0,50	0,60			
	8,4	2		0,0010	1,59	38731,71	0,022	0,86	1,03			
			169,06					1,36	1,63	4,37	3,642	0,022
A3	16,79	1		0,0005	0,79	19365,86	0,026	0,50	0,60			
	8,4	2		0,0010	1,59	38731,71	0,022	0,86	1,03			
			210,06					1,36	1,63	4,37	3,642	0,017
B1	16,79	1		0,0005	0,79	19365,86	0,026	0,50	0,60			
	15,53	2		0,0010	1,59	38731,71	0,022	1,58	1,90			
			224,34					2,08	2,50	3,50	2,916	0,013
B2	16,79	1		0,0005	0,79	19365,86	0,026	0,50	0,60			
	12,76	2		0,0010	1,59	38731,71	0,022	1,30	1,56			
			236,57					1,80	2,16	3,84	3,198	0,014
C1	16,79	1		0,0005	0,79	19365,86	0,026	0,50	0,60			
	8,4	2		0,0010	1,59	38731,71	0,022	0,86	1,03			
			252,62					1,36	1,63	4,37	3,642	0,014
C2	16,79	1		0,0005	0,79	19365,86	0,026	0,50	0,60			
	15,23	2		0,0010	1,59	38731,71	0,022	1,55	1,86			
			266,11					2,05	2,46	3,54	2,946	0,011
D1	20	1		0,0005	0,79	19365,86	0,026	0,60	0,72			
	11,65	2		0,0010	1,59	38731,71	0,022	1,19	1,42			
			275,6					1,79	2,14	3,86	3,215	0,012
D2	16,13	1		0,0005	0,79	19365,86	0,026	0,48	0,58			
	13,44	2		0,0010	1,59	38731,71	0,022	1,37	1,64			
			248,88					1,85	2,22	3,78	3,148	0,013

Anejo 8. Cálculo hidráulico

Tramo TT	Longitud del último tramo LR (m)	Número de aspersores (ud)	Longitud del tramo TT (m)	Caudal total (m3/s)	Velocidad (m/s)	Re	f	hr LR (mca)	(hr+hs) LR (mca)	(hr + hs)max TT (mca)	hrmax TT (mca)	Jmax TT (m/m)
E1	16,13	1		0,0005	0,79	19365,86	0,026	0,48	0,58			
	14,26	2		0,0010	1,59	38731,71	0,022	1,45	1,74			
			241,54					1,94	2,32	3,68	3,065	0,013
E2	16,35	1		0,0005	0,79	19365,86	0,026	0,49	0,59			
	5,64	2		0,0010	1,59	38731,71	0,022	0,57	0,69			
			149,39					1,06	1,28	4,72	3,936	0,026
E3	16,35	1		0,0005	0,79	19365,86	0,026	0,49	0,59			
	12,92	2		0,0010	1,59	38731,71	0,022	1,32	1,58			
			194,27					1,81	2,17	3,83	3,195	0,016
F1	16,17	1		0,0005	0,79	19365,86	0,026	0,48	0,58			
	12,67	2		0,0010	1,59	38731,71	0,022	1,29	1,55			
			139,85					1,77	2,13	3,87	3,226	0,023
F2	16,12	1		0,0005	0,79	19365,86	0,026	0,48	0,58			
	2,86	2		0,0010	1,59	38731,71	0,022	0,29	0,35			
			99,12					0,77	0,93	5,07	4,226	0,043
F3	16,12	1		0,0005	0,79	19365,86	0,026	0,48	0,58			
	3,91	2		0,0010	1,59	38731,71	0,022	0,40	0,48			
			77,91					0,88	1,06	4,94	4,119	0,053
F4	16,15	1		0,0005	0,79	19365,86	0,026	0,48	0,58			
	8,19	2		0,0010	1,59	38731,71	0,022	0,83	1,00			
			8,36					1,32	1,58	4,42	3,682	0,440
F5	16,22	1		0,0005	0,79	19365,86	0,026	0,49	0,58			
	8,07	2		0,0010	1,59	38731,71	0,022	0,82	0,99			
			68,24					1,31	1,57	4,43	3,692	0,054
F6	0	1		0,0005	0,79	19365,86	0,026	0,00	0,00			
			223,26					0,00	0,00	6,00	5,000	0,022

Anejo 8. Cálculo hidráulico

Tramo TT	Longitud del último tramo LR (m)	Número de aspersores (ud)	Longitud del tramo TT (m)	Caudal total (m3/s)	Velocidad (m/s)	Re	f	hr LR (mca)	(hr+hs) LR (mca)	(hr + hs)max TT (mca)	hrmax TT (mca)	Jmax TT (m/m)
G1	0	1		0,0005	0,79	19365,86	0,026	0,00	0,00			
			161,78					0,00	0,00	6,00	5,000	0,031
G2	0	1		0,0005	0,79	19365,86	0,026	0,00	0,00			
			220,73					0,00	0,00	6,00	5,000	0,023
G3	18	1		0,0005	0,79	19365,86	0,026	0,54	0,65			
	13,5	2		0,0010	1,59	38731,71	0,022	1,37	1,65			
			287,78					1,91	2,30	3,70	3,086	0,011
H1	18	1		0,0005	0,79	19365,86	0,026	0,54	0,65			
	13,5	2		0,0010	1,59	38731,71	0,022	1,37	1,65			
			274,5					1,91	2,30	3,70	3,086	0,011
H2	18	1		0,0005	0,79	19365,86	0,026	0,54	0,65			
	13,5	2		0,0010	1,59	38731,71	0,022	1,37	1,65			
			274,5					1,91	2,30	3,70	3,086	0,011
I1	18	1		0,0005	0,79	19365,86	0,026	0,54	0,65			
	13,5	2		0,0010	1,59	38731,71	0,022	1,37	1,65			
			274,5					1,91	2,30	3,70	3,086	0,011
I2	18	1		0,0005	0,79	19365,86	0,026	0,54	0,65			
	13,5	2		0,0010	1,59	38731,71	0,022	1,37	1,65			
			274,5					1,91	2,30	3,70	3,086	0,011
J1	18	1		0,0005	0,79	19365,86	0,026	0,54	0,65			
	13,5	2		0,0010	1,59	38731,71	0,022	1,37	1,65			
			274,5					1,91	2,30	3,70	3,086	0,011
J2	18	1		0,0005	0,79	19365,86	0,026	0,54	0,65			
	13,5	2		0,0010	1,59	38731,71	0,022	1,37	1,65			
			274,5					1,91	2,30	3,70	3,086	0,011

Anejo 8. Cálculo hidráulico

Tramo TT	Longitud del último tramo LR (m)	Número de aspersores (ud)	Longitud del tramo TT (m)	Caudal total (m3/s)	Velocidad (m/s)	Re	f	hr LR (mca)	(hr+hs) LR (mca)	(hr + hs)max TT (mca)	hrmax TT (mca)	Jmax TT (m/m)
K1	18	1		0,0005	0,79	19365,86	0,026	0,54	0,65			
	13,5	2		0,0010	1,59	38731,71	0,022	1,37	1,65			
			274,5					1,91	2,30	3,70	3,086	0,011
K2	18	1		0,0005	0,79	19365,86	0,026	0,54	0,65			
	13,5	2		0,0010	1,59	38731,71	0,022	1,37	1,65			
			274,5					1,91	2,30	3,70	3,086	0,011
L1	18	1		0,0005	0,79	19365,86	0,026	0,54	0,65			
	13,5	2		0,0010	1,59	38731,71	0,022	1,37	1,65			
			274,5					1,91	2,30	3,70	3,086	0,011
L2	18	1		0,0005	0,79	19365,86	0,026	0,54	0,65			
	13,5	2		0,0010	1,59	38731,71	0,022	1,37	1,65			
			274,5					1,91	2,30	3,70	3,086	0,011
M1	18	1		0,0005	0,79	19365,86	0,026	0,54	0,65			
	13,5	2		0,0010	1,59	38731,71	0,022	1,37	1,65			
			269,99					1,91	2,30	3,70	3,086	0,011
M2	18	1		0,0005	0,79	19365,86	0,026	0,54	0,65			
	13,51	2		0,0010	1,59	38731,71	0,022	1,38	1,65			
			269,99					1,91	2,30	3,70	3,085	0,011

4.2.3 Cálculo de las tuberías terciarias

Para el cálculo de las tuberías terciarias de cada módulo se ha tenido en cuenta el cumplimiento de la regla de **Christiansen**, por lo que la máxima pérdida de carga admisible en la unidad de riego no debe ser mayor del 20% de la presión nominal del aspersor.

$$\left(\frac{\Delta P}{\gamma} \right)_{UD} = 0,2 \cdot \frac{P_n}{\gamma} = 0,2 \cdot 30 \text{ mca} = 6 \text{ mca}$$

Se determinan las causas de la variación de presión en la unidad de riego. Las causas de la ΔP son las pérdidas de carga y la diferencia de cotas pero en este caso, al tratarse de una parcela llana, solo afecta a la variación de presión las pérdidas de carga. De esta manera se determinan las pérdidas de carga admisibles en la unidad de riego.

$$(AP / \gamma)_{UD} = (a \cdot hr)_{UD}$$

En este caso se igualan las dos expresiones anteriores, y entonces la pérdida de carga total admisible en la unidad de riego es de:

$$(a \cdot hr)_{UD} = 6 \text{ mca}$$

Se trasladan las pérdidas de carga admisibles en la unidad a las tuberías que forman los laterales de riego y la tubería terciaria.

$$(a \cdot hr)_{UD} = (a \cdot hr)_{TT} + (a \cdot hr)_{LR} = 6 \text{ m.c.a.}$$

A partir de esta fórmula y una vez conocidas las pérdidas de carga en los laterales de riego obtenemos las pérdidas de carga admisibles en la tubería terciaria por rozamiento continuo.

$$(H_{rmax})_{TT} = (a \cdot hr) / 1,2 \quad (a = 1,2)$$

Los resultados del cálculo de las pérdidas de carga por rozamiento continuo en cada uno de los módulos, se adjuntan a continuación:

Anejo 8. Cálculo hidráulico

Tramo	P. carga unit TT, J (m/m)	Long (m)	Nº asp sect (ud)	Nº asp circ (ud)	Ø nom (mm)	Ø int (m)	Q parcial (l/h)	Q total acum (l/s)	Vel (m/s)	Re	f	hr TT calculada (mca)	hr TT admisible (mca)	exceso de hr (mca)
A1.1	0,0176	21,53	4		63	0,0592	7028	1,95	0,71	36638,1	0,023	0,22	0,38	0,16
A1.2	0,0176	20,83	1	3	75	0,0706	7685	4,09	1,04	64316,1	0,021	0,34	0,37	0,03
A1.3	0,0176	20,83	1	2	90	0,0866	5709	5,67	0,96	72778,5	0,020	0,23	0,37	0,14
A1.4	0,0176	20,83	1	2	90	0,0866	5709	7,26	1,23	93123,9	0,019	0,36	0,37	0,01
A1.5	0,0176	20,83	1	2	110	0,1036	5709	8,84	1,05	94849,8	0,019	0,22	0,37	0,15
A1.6	0,0176	20,83	1	2	110	0,1036	5709	10,43	1,24	111856,6	0,019	0,29	0,37	0,08
A1.7	0,0176	20,83	1	2	125	0,1176	5709	12,02	1,11	113522,5	0,018	0,20	0,37	0,16
A1.8	0,0176	20,83	1	2	125	0,1176	5709	13,60	1,25	128504,7	0,018	0,26	0,37	0,11
A1.9	0,0176	38,79	1	3	125	0,1176	7685	15,74	1,45	148672,6	0,018	0,62	0,68	0,06
			12	18								2,74		0,89
A2.1	0,0215	13,88	4		63	0,0592	7028	1,95	0,71	36638,1	0,023	0,14	0,30	0,16
A2.2	0,0215	18,81		4	75	0,0706	7904	4,15	1,06	65273,4	0,021	0,32	0,33	0,01
A2.3	0,0215	18,81		4	90	0,0866	7904	6,34	1,08	81381,4	0,020	0,25	0,41	0,15
A2.4	0,0215	18,81		4	110	0,1036	7904	8,54	1,01	91572,9	0,019	0,18	0,41	0,22
A2.5	0,0215	18,81		4	110	0,1036	7904	10,73	1,27	115118,6	0,019	0,28	0,41	0,13
A2.6	0,0215	18,81		3	110	0,1036	5928	12,38	1,47	132777,8	0,018	0,36	0,41	0,04
A2.7	0,0215	18,81		3	125	0,1176	5928	14,03	1,29	132527,8	0,018	0,24	0,41	0,16
A2.8	0,0215	18,81		3	125	0,1176	5928	15,67	1,44	148084,7	0,018	0,30	0,41	0,11
A2.9	0,0215	23,51		3	125	0,1176	5928	17,32	1,59	163641,7	0,017	0,45	0,51	0,06
			4	28								2,53		1,03
A3.1	0,0173	11,01	4		63	0,0592	7028	1,95	0,71	36638,1	0,023	0,11	0,19	0,08
A3.2	0,0173	16,96	1	3	75	0,0706	7685	4,09	1,04	64316,1	0,021	0,28	0,29	0,02
A3.3	0,0173	18		4	90	0,0866	7904	6,28	1,07	80600,9	0,020	0,24	0,31	0,07
A3.4	0,0173	18		4	110	0,1036	7904	8,48	1,01	90920,5	0,019	0,17	0,31	0,14
A3.5	0,0173	18		4	110	0,1036	7904	10,67	1,27	114466,2	0,019	0,26	0,31	0,05
A3.6	0,0173	18		4	125	0,1176	7904	12,87	1,18	121581,8	0,018	0,20	0,31	0,11
A3.7	0,0173	18		4	125	0,1176	7904	15,06	1,39	142324,4	0,018	0,27	0,31	0,05
A3.8	0,0173	18		4	140	0,1318	7904	17,26	1,27	145498,3	0,018	0,20	0,31	0,12
A3.9	0,0173	18		3	140	0,1318	5928	18,91	1,39	159379,1	0,017	0,23	0,31	0,08
A3.10	0,0173	18		3	140	0,1318	5928	20,55	1,51	173260,0	0,017	0,27	0,31	0,04
A3.11	0,0173	38,08		4	160	0,1506	7904	22,75	1,28	167828,6	0,017	0,36	0,66	0,30
			5	37				55,81				2,59		1,05
			21	83										

Tramo	P. carga unit TT, J (m/m)	Long (m)	Nº asp sect (ud)	Nº asp circ (ud)	Ø nom (mm)	Ø int (m)	Q parcial (l/h)	Q total acum (l/s)	Vel (m/s)	Re	f	hr TT calculada (mca)	hr TT admisible (mca)	exceso de hr (mca)
B1.1	0,0130	6,71	4		63	0,0592	7028	1,95	0,71	36638,1	0,023	0,07	0,09	0,02
B1.2	0,0130	16,7	1	2	75	0,0706	5709	3,54	0,90	55678,2	0,021	0,21	0,22	0,01
B1.3	0,0130	18		4	90	0,0866	7904	5,73	0,97	73559,0	0,020	0,20	0,23	0,03
B1.4	0,0130	18		4	110	0,1036	7904	7,93	0,94	85034,1	0,019	0,15	0,23	0,08
B1.5	0,0130	18		4	110	0,1036	7904	10,12	1,20	108579,8	0,019	0,24	0,23	0,00
B1.6	0,0130	18		4	125	0,1176	7904	12,32	1,13	116396,2	0,018	0,18	0,23	0,05
B1.7	0,0130	18		4	140	0,1318	7904	14,52	1,06	122363,5	0,018	0,14	0,23	0,09
B1.8	0,0130	18		4	140	0,1318	7904	16,71	1,22	140871,3	0,018	0,18	0,23	0,05
B1.9	0,0130	18		4	140	0,1318	7904	18,91	1,39	159379,1	0,017	0,23	0,23	0,00
B1.10	0,0130	18		4	160	0,1506	7904	21,10	1,18	155680,6	0,017	0,15	0,23	0,09
B1.11	0,0130	18		4	160	0,1506	7904	23,30	1,31	171878,0	0,017	0,18	0,23	0,06
B1.12	0,0130	38,93		4	160	0,1506	7904	25,49	1,43	188075,4	0,017	0,45	0,51	0,05
			5	42								2,40		0,52
B2.1	0,0135	17,65	4		63	0,0592	7028	1,95	0,71	36638,1	0,023	0,18	0,24	0,06
B2.2	0,0135	18		3	75	0,0706	5928	3,60	0,92	56635,6	0,021	0,23	0,24	0,01
B2.3	0,0135	18		4	90	0,0866	7904	5,79	0,98	74339,5	0,020	0,21	0,24	0,04
B2.4	0,0135	18		4	110	0,1036	7904	7,99	0,95	85686,5	0,019	0,15	0,24	0,09
B2.5	0,0135	18		4	110	0,1036	7904	10,19	1,21	109232,1	0,019	0,24	0,24	0,00
B2.6	0,0135	18		4	125	0,1176	7904	12,38	1,14	116970,9	0,018	0,19	0,24	0,06
B2.7	0,0135	18		4	140	0,1318	7904	14,58	1,07	122876,4	0,018	0,14	0,24	0,10
B2.8	0,0135	18		4	140	0,1318	7904	16,77	1,23	141384,1	0,018	0,19	0,24	0,06
B2.9	0,0135	18		4	140	0,1318	7904	18,97	1,39	159891,9	0,017	0,23	0,24	0,01
B2.10	0,0135	18		4	160	0,1506	7904	21,16	1,19	156129,4	0,017	0,15	0,24	0,09
B2.11	0,0135	18		4	160	0,1506	7904	23,36	1,31	172326,8	0,017	0,18	0,24	0,07
B2.12	0,0135	38,93		4	160	0,1506	7904	25,55	1,43	188524,1	0,017	0,46	0,53	0,07
			4	43				51,05				2,55		0,65
			9	85										

Tramo	P. carga unit TT, J (m/m)	Long (m)	Nº asp sect (ud)	Nº asp circ (ud)	Ø nom (mm)	Ø int (m)	Q parcial (l/h)	Q total acum (l/s)	Vel (m/s)	Re	f	hr TT calculada (mca)	hr TT admisible (mca)	exceso de hr (mca)
C1.1	0,0144	12,16	4		63	0,0592	7028	1,95	0,71	36638,1	0,023	0,12	0,18	0,05
C1.2	0,0144	18		4	90	0,0866	7904	4,15	0,70	53213,7	0,021	0,11	0,26	0,15
C1.3	0,0144	18		4	90	0,0866	7904	6,34	1,08	81381,4	0,020	0,24	0,26	0,02
C1.4	0,0144	18		4	110	0,1036	7904	8,54	1,01	91572,9	0,019	0,17	0,26	0,08
C1.5	0,0144	18		4	125	0,1176	7904	10,73	0,99	101414,0	0,019	0,14	0,26	0,12
C1.6	0,0144	18		4	125	0,1176	7904	12,93	1,19	122156,5	0,018	0,20	0,26	0,06
C1.7	0,0144	18		4	140	0,1318	7904	15,13	1,11	127503,3	0,018	0,15	0,26	0,11
C1.8	0,0144	18		4	140	0,1318	7904	17,32	1,27	146011,1	0,018	0,20	0,26	0,06
C1.9	0,0144	18		4	140	0,1318	7904	19,52	1,43	164518,9	0,017	0,25	0,26	0,01
C1.10	0,0144	18		4	160	0,1506	7904	21,71	1,22	160178,7	0,017	0,16	0,26	0,10
C1.11	0,0144	18		4	160	0,1506	7904	23,91	1,34	176376,1	0,017	0,19	0,26	0,07
C1.12	0,0144	18		4	160	0,1506	7904	26,10	1,47	192573,5	0,017	0,22	0,26	0,04
C1.13	0,0144	42,46		4	160	0,1506	7904	28,30	1,59	208770,9	0,017	0,60	0,61	0,01
			4	48								2,76		0,89
C2.1	0,0111	9,72	4		63	0,0592	7028	1,95	0,71	36638,1	0,023	0,10	0,11	0,01
C2.2	0,0111	15,93	1	3	90	0,0866	7685	4,09	0,69	52433,2	0,021	0,10	0,18	0,08
C2.3	0,0111	18		4	110	0,1036	7904	6,28	0,75	67374,9	0,020	0,10	0,20	0,10
C2.4	0,0111	18		4	110	0,1036	7904	8,48	1,01	90920,5	0,019	0,17	0,20	0,03
C2.5	0,0111	18		4	125	0,1176	7904	10,67	0,98	100839,2	0,019	0,14	0,20	0,06
C2.6	0,0111	18		4	125	0,1176	7904	12,87	1,18	121581,8	0,018	0,20	0,20	0,00
C2.7	0,0111	18		4	140	0,1318	7904	15,06	1,10	126990,5	0,018	0,15	0,20	0,05
C2.8	0,0111	18		4	140	0,1318	7904	17,26	1,27	145498,3	0,018	0,20	0,20	0,00
C2.9	0,0111	18		4	160	0,1506	7904	19,46	1,09	143532,5	0,018	0,13	0,20	0,07
C2.10	0,0111	18		4	160	0,1506	7904	21,65	1,22	159729,9	0,017	0,16	0,20	0,04
C2.11	0,0111	18		4	160	0,1506	7904	23,85	1,34	175927,3	0,017	0,19	0,20	0,01
C2.12	0,0111	18		4	180	0,1694	7904	26,04	1,16	170802,7	0,017	0,12	0,20	0,08
C2.13	0,0111	18		4	180	0,1694	7904	28,24	1,25	185202,5	0,017	0,14	0,20	0,06
C2.14	0,0111	42,46		4	180	0,1694	7904	30,43	1,35	199602,3	0,017	0,39	0,47	0,08
			5	51				58,73				2,28		0,67
			9	99										

Tramo	P. carga unit TT, J (m/m)	Long (m)	Nº asp sect (ud)	Nº asp circ (ud)	Ø nom (mm)	Ø int (m)	Q parcial (l/h)	Q total acum (l/s)	Vel (m/s)	Re	f	hr TT calculada (mca)	hr TT admisible (mca)	exceso de hr (mca)
D1.1	0,0117	20,03	4		63	0,0592	7028	1,95	0,71	36638,1	0,023	0,20	0,23	0,03
D1.2	0,0117	18		4	90	0,0866	7904	4,15	0,70	53213,7	0,021	0,11	0,21	0,10
D1.3	0,0117	18		4	110	0,1036	7904	6,34	0,75	68027,3	0,020	0,10	0,21	0,11
D1.4	0,0117	18		4	110	0,1036	7904	8,54	1,01	91572,9	0,019	0,17	0,21	0,04
D1.5	0,0117	18		4	110	0,1036	7904	10,73	1,27	115118,6	0,019	0,27	0,21	-0,06
D1.6	0,0117	18		4	125	0,1176	7904	12,93	1,19	122156,5	0,018	0,20	0,21	0,01
D1.7	0,0117	18		4	140	0,1318	7904	15,13	1,11	127503,3	0,018	0,15	0,21	0,06
D1.8	0,0117	18		4	140	0,1318	7904	17,32	1,27	146011,1	0,018	0,20	0,21	0,01
D1.9	0,0117	18		4	160	0,1506	7904	19,52	1,10	143981,3	0,018	0,13	0,21	0,08
D1.10	0,0117	18		4	160	0,1506	7904	21,71	1,22	160178,7	0,017	0,16	0,21	0,05
D1.11	0,0117	18		4	160	0,1506	7904	23,91	1,34	176376,1	0,017	0,19	0,21	0,02
D1.12	0,0117	18		4	180	0,1694	7904	26,10	1,16	171201,7	0,017	0,12	0,21	0,09
D1.13	0,0117	18		4	180	0,1694	7904	28,30	1,26	185601,5	0,017	0,14	0,21	0,07
D1.14	0,0117	39,57		4	180	0,1694	7904	30,49	1,35	200001,3	0,017	0,36	0,46	0,10
			4	52								2,51		0,71
D2.1	0,0126	11,8	4		63	0,0592	7028	1,95	0,71	36638,1	0,023	0,12	0,15	0,03
D2.2	0,0126	17,51	1	2	75	0,0706	5709	3,54	0,90	55678,2	0,021	0,22	0,22	0,00
D2.3	0,0126	18		4	90	0,0866	7904	5,73	0,97	73559,0	0,020	0,20	0,23	0,03
D2.4	0,0126	18		4	110	0,1036	7904	7,93	0,94	85034,1	0,019	0,15	0,23	0,07
D2.5	0,0126	18		4	125	0,1176	7904	10,12	0,93	95653,6	0,019	0,13	0,23	0,10
D2.6	0,0126	18		4	125	0,1176	7904	12,32	1,13	116396,2	0,018	0,18	0,23	0,04
D2.7	0,0126	18		4	140	0,1318	7904	14,52	1,06	122363,5	0,018	0,14	0,23	0,09
D2.8	0,0126	18		4	140	0,1318	7904	16,71	1,22	140871,3	0,018	0,18	0,23	0,04
D2.9	0,0126	18		4	140	0,1318	7904	18,91	1,39	159379,1	0,017	0,23	0,23	0,00
D2.10	0,0126	18		4	160	0,1506	7904	21,10	1,18	155680,6	0,017	0,15	0,23	0,08
D2.11	0,0126	18		4	160	0,1506	7904	23,30	1,31	171878,0	0,017	0,18	0,23	0,05
D2.12	0,0126	18		4	160	0,1506	7904	25,49	1,43	188075,4	0,017	0,21	0,23	0,02
D2.13	0,0126	39,57		4	180	0,1694	7904	27,69	1,23	181602,6	0,017	0,30	0,50	0,20
			5	46				58,18				2,40		0,74
			9	98										

Tramo	P. carga unit TT, J (m/m)	Long (m)	Nº asp sect (ud)	Nº asp circ (ud)	Ø nom (mm)	Ø int (m)	Q parcial (l/h)	Q total acum (l/s)	Vel (m/s)	Re	f	hr TT calculada (mca)	hr TT admisible (mca)	exceso de hr (mca)
E1.1	0,0127	7,51	3		63	0,0592	5271	1,46	0,53	27478,6	0,025	0,05	0,10	0,05
E1.2	0,0127	17,11	2	1	75	0,0706	5490	2,99	0,76	47040,4	0,022	0,16	0,22	0,06
E1.3	0,0127	18		4	90	0,0866	7904	5,18	0,88	66517,1	0,021	0,17	0,23	0,06
E1.4	0,0127	18		4	110	0,1036	7904	7,38	0,88	79147,7	0,020	0,13	0,23	0,09
E1.5	0,0127	18		4	110	0,1036	7904	9,58	1,14	102693,4	0,019	0,22	0,23	0,01
E1.6	0,0127	18		4	125	0,1176	7904	11,77	1,08	111210,5	0,018	0,17	0,23	0,06
E1.7	0,0127	18		4	125	0,1176	7904	13,97	1,29	131953,1	0,018	0,23	0,23	0,00
E1.8	0,0127	18		4	140	0,1318	7904	16,16	1,18	136244,4	0,018	0,17	0,23	0,05
E1.9	0,0127	18		4	140	0,1318	7904	18,36	1,35	154752,2	0,017	0,22	0,23	0,01
E1.10	0,0127	18		4	160	0,1506	7904	20,55	1,15	151631,2	0,017	0,14	0,23	0,09
E1.11	0,0127	72,92		4	160	0,1506	7904	22,75	1,28	167828,6	0,017	0,69	0,93	0,24
			5	37								2,35		0,72
E2.1	0,0263	18,89	4		63	0,0592	7028	1,95	0,71	36638,1	0,023	0,19	0,50	0,31
E2.2	0,0263	18		4	75	0,0706	7904	4,15	1,06	65273,4	0,021	0,30	0,47	0,17
E2.3	0,0263	18		4	90	0,0866	7904	6,34	1,08	81381,4	0,020	0,24	0,47	0,23
E2.4	0,0263	18		4	90	0,0866	7904	8,54	1,45	109549,1	0,019	0,42	0,47	0,05
E2.5	0,0263	18		4	110	0,1036	7904	10,73	1,27	115118,6	0,019	0,27	0,47	0,21
E2.6	0,0263	18		4	110	0,1036	7904	12,93	1,53	138664,2	0,018	0,37	0,47	0,10
E2.7	0,0263	18		4	125	0,1176	7904	15,13	1,39	142899,1	0,018	0,27	0,47	0,21
E2.8	0,0263	18		4	125	0,1176	7904	17,32	1,59	163641,7	0,017	0,35	0,47	0,13
E2.9	0,0263	4,5		4	125	0,1176	7904	19,52	1,80	184384,3	0,017	0,11	0,12	0,01
			4	32								2,52		1,41
E3.1	0,0164	13,9	4		63	0,0592	7028	1,95	0,71	36638,1	0,023	0,14	0,23	0,09
E3.2	0,0164	17,44	1	2	75	0,0706	5709	3,54	0,90	55678,2	0,021	0,22	0,29	0,07
E3.3	0,0164	18	1	3	90	0,0866	7685	5,67	0,96	72778,5	0,020	0,20	0,30	0,10
E3.4	0,0164	18		4	110	0,1036	7904	7,87	0,93	84381,7	0,020	0,15	0,30	0,15
E3.5	0,0164	18		4	110	0,1036	7904	10,06	1,19	107927,4	0,019	0,24	0,30	0,06
E3.6	0,0164	18		4	125	0,1176	7904	12,26	1,13	115821,4	0,018	0,18	0,30	0,11
E3.7	0,0164	18		4	125	0,1176	7904	14,46	1,33	136564,0	0,018	0,25	0,30	0,05
E3.8	0,0164	72,92		4	140	0,1318	7904	16,65	1,22	140358,5	0,018	0,74	1,20	0,46
			6	25				58,92				2,12		1,07
			15	94										

Tramo	P. carga unit TT, J (m/m)	Long (m)	Nº asp sect (ud)	Nº asp circ (ud)	Ø nom (mm)	Ø int (m)	Q parcial (l/h)	Q total acum (l/s)	Vel (m/s)	Re	f	hr TT calculada (mca)	hr TT admisible (mca)	exceso de hr (mca)
F1.1	0,0231	16,86	4		63	0,0592	7028	1,95	0,71	36638,1	0,023	0,17	0,39	0,22
F1.2	0,0231	17,83		4	75	0,0706	7904	4,15	1,06	65273,4	0,021	0,30	0,41	0,11
F1.3	0,0231	18		4	90	0,0866	7904	6,34	1,08	81381,4	0,020	0,24	0,42	0,17
F1.4	0,0231	18		4	110	0,1036	7904	8,54	1,01	91572,9	0,019	0,17	0,42	0,24
F1.5	0,0231	69,16		4	110	0,1036	7904	10,73	1,27	115118,6	0,019	1,02	1,60	0,57
			4	16								1,91		1,31
F2.1	0,0426	9,03	3		50	0,0464	5271	1,46	0,87	35058,9	0,024	0,18	0,38	0,21
F2.2	0,0426	14,89	1	2	63	0,0592	5709	3,05	1,11	57240,5	0,022	0,34	0,63	0,30
F2.3	0,0426	18		3	75	0,0706	5928	4,70	1,20	73911,2	0,020	0,38	0,77	0,39
F2.4	0,0426	57,2		3	75	0,0706	5928	6,34	1,62	99824,8	0,019	2,11	2,44	0,33
			4	8								3,00		1,22
F3.1	0,0529	18,47	3		50	0,0464	5271	1,46	0,87	35058,9	0,024	0,36	0,98	0,61
F3.2	0,0529	59,44		3	63	0,0592	5928	3,11	1,13	58382,2	0,021	1,40	3,14	1,74
			3	3								1,77		2,35
F4.1	0,4405	8,36	4		32	0,0296	7028	1,95	2,84	73276,2	0,022	2,54	3,68	1,14
			4	0								2,54		1,14
F5.1	0,0541	68,24	4		50	0,0464	7028	1,95	1,15	46745,2	0,023	2,26	3,69	1,43
			4	0										
												2,26		1,43
F6.1	0,0224	18	1		40	0,0364	1757	0,49	0,47	14896,8	0,029	0,16	0,40	0,24
F6.2	0,0224	18	1	1	50	0,0464	3733	1,53	0,90	36515,5	0,024	0,38	0,40	0,02
F6.3	0,0224	18	1	1	63	0,0592	3733	2,56	0,93	48081,0	0,022	0,30	0,40	0,10
F6.4	0,0224	18	1	1	75	0,0706	3733	3,60	0,92	56635,6	0,021	0,23	0,40	0,17
F6.5	0,0224	18	1	2	90	0,0866	5709	5,18	0,88	66517,1	0,021	0,17	0,40	0,23
F6.6	0,0224	18	1	2	90	0,0866	5709	6,77	1,15	86862,4	0,020	0,27	0,40	0,13
F6.7	0,0224	18	1	2	90	0,0866	5709	8,36	1,42	107207,8	0,019	0,40	0,40	0,00
F6.8	0,0224	18	1	2	110	0,1036	5709	9,94	1,18	106622,6	0,019	0,23	0,40	0,17
F6.9	0,0224	18	1	3	110	0,1036	7685	12,08	1,43	129515,8	0,018	0,33	0,40	0,07
F6.10	0,0224	18	1	3	125	0,1176	7685	14,21	1,31	134265,1	0,018	0,24	0,40	0,16
F6.11	0,0224	18	1	3	125	0,1176	7685	16,35	1,50	154433,0	0,018	0,31	0,40	0,09
F6.12	0,0224	25,26	2	2	125	0,1176	7466	18,42	1,70	174026,1	0,017	0,54	0,57	0,02
			13	22				42,51						
			32	49								3,58		1,42

Anejo 8. Cálculo hidráulico

Tramo	P. carga unit TT, J (m/m)	Long (m)	Nº asp sect (ud)	Nº asp circ (ud)	Ø nom (mm)	Ø int (m)	Q parcial (l/h)	Q total acum (l/s)	Vel (m/s)	Re	f	hr TT calculada (mca)	hr TT admisible (mca)	exceso de hr (mca)
G1.1	0,0309	18	1		32	0,0296	1757	0,49	0,71	18319,1	0,028	0,44	0,56	0,12
G1.2	0,0309	18	1	1	50	0,0464	3733	1,53	0,90	36515,5	0,024	0,38	0,56	0,18
G1.3	0,0309	18	1	2	63	0,0592	5709	3,11	1,13	58382,2	0,021	0,42	0,56	0,13
G1.4	0,0309	18	1	2	75	0,0706	5709	4,70	1,20	73911,2	0,020	0,38	0,56	0,18
G1.5	0,0309	18	1	2	90	0,0866	5709	6,28	1,07	80600,9	0,020	0,24	0,56	0,32
G1.6	0,0309	18	1	3	90	0,0866	7685	8,42	1,43	107988,2	0,019	0,41	0,56	0,15
G1.7	0,0309	53,78	1	3	110	0,1036	7685	10,55	1,25	113161,4	0,019	0,77	1,66	0,89
			7	13								3,04		1,96
G2.1	0,0227	18,23	1		40	0,0364	1757	0,49	0,47	14896,8	0,029	0,16	0,41	0,25
G2.2	0,0227	18	1	1	50	0,0464	3733	1,53	0,90	36515,5	0,024	0,38	0,41	0,03
G2.3	0,0227	18	1	2	75	0,0706	5709	3,11	0,79	48955,1	0,022	0,18	0,41	0,23
G2.4	0,0227	18	1	2	75	0,0706	5709	4,70	1,20	73911,2	0,020	0,38	0,41	0,03
G2.5	0,0227	18	1	3	90	0,0866	7685	6,83	1,16	87642,9	0,020	0,28	0,41	0,13
G2.6	0,0227	18	1	3	110	0,1036	7685	8,97	1,06	96154,6	0,019	0,19	0,41	0,22
G2.7	0,0227	18		4	110	0,1036	7904	11,16	1,32	119700,2	0,018	0,29	0,41	0,12
G2.8	0,0227	18		3	110	0,1036	5928	12,81	1,52	137359,4	0,018	0,37	0,41	0,04
G2.9	0,0227	18		3	125	0,1176	5928	14,46	1,33	136564,0	0,018	0,25	0,41	0,16
G2.10	0,0227	18		3	125	0,1176	5928	16,10	1,48	152120,9	0,018	0,30	0,41	0,11
G2.11	0,0227	18		4	125	0,1176	7904	18,30	1,68	172863,5	0,017	0,38	0,41	0,03
G2.12	0,0227	18		3	140	0,1318	5928	19,94	1,46	168120,2	0,017	0,26	0,41	0,15
G2.13	0,0227	4,5		3	140	0,1318	5928	21,59	1,58	182001,1	0,017	0,07	0,10	0,03
			6	34								3,49		1,51
G3.1	0,0107	18	4		63	0,0592	7028	1,95	0,71	36638,1	0,023	0,18	0,19	0,01
G3.2	0,0107	18		4	90	0,0866	7904	4,15	0,70	53213,7	0,021	0,11	0,19	0,08
G3.3	0,0107	18		3	110	0,1036	5928	5,79	0,69	62140,9	0,021	0,09	0,19	0,11
G3.4	0,0107	18		3	110	0,1036	5928	7,44	0,88	79800,1	0,020	0,14	0,19	0,06
G3.5	0,0107	18		3	110	0,1036	5928	9,09	1,08	97459,3	0,019	0,20	0,19	0,00
G3.6	0,0107	18		3	125	0,1176	5928	10,73	0,99	101414,0	0,019	0,14	0,19	0,05
G3.7	0,0107	18		3	125	0,1176	5928	12,38	1,14	116970,9	0,018	0,19	0,19	0,01
G3.8	0,0107	18		3	140	0,1318	5928	14,03	1,03	118249,4	0,018	0,13	0,19	0,06
G3.9	0,0107	18		3	140	0,1318	5928	15,67	1,15	132130,2	0,018	0,16	0,19	0,03
G3.10	0,0107	18		3	140	0,1318	5928	17,32	1,27	146011,1	0,018	0,20	0,19	0,00
G3.11	0,0107	18		3	160	0,1506	5928	18,97	1,06	139932,0	0,018	0,12	0,19	0,07
G3.12	0,0107	18		3	160	0,1506	5928	20,61	1,16	152080,0	0,017	0,14	0,19	0,05
G3.13	0,0107	18		3	160	0,1506	5928	22,26	1,25	164228,1	0,017	0,16	0,19	0,03
G3.14	0,0107	53,78		4	160	0,1506	7904	24,46	1,37	180425,4	0,017	0,58	0,58	0,00
			4	41				56,60				2,54		0,54
			17	88										

Tramo	P. carga unit TT, J (m/m)	Long (m)	Nº asp sect (ud)	Nº asp circ (ud)	Ø nom (mm)	Ø int (m)	Q parcial (l/h)	Q total acum (l/s)	Vel (m/s)	Re	f	hr TT calculada (mca)	hr TT admisible (mca)	exceso de hr (mca)
H1.1	0,0112	18	4		63	0,0592	7028	1,95	0,71	36638,1	0,023	0,18	0,20	0,02
H1.2	0,0112	18		4	90	0,0866	7904	4,15	0,70	53213,7	0,021	0,11	0,20	0,09
H1.3	0,0112	18		4	110	0,1036	7904	6,34	0,75	68027,3	0,020	0,10	0,20	0,10
H1.4	0,0112	18		4	110	0,1036	7904	8,54	1,01	91572,9	0,019	0,17	0,20	0,03
H1.5	0,0112	18		4	125	0,1176	7904	10,73	0,99	101414,0	0,019	0,14	0,20	0,06
H1.6	0,0112	18		4	125	0,1176	7904	12,93	1,19	122156,5	0,018	0,20	0,20	0,00
H1.7	0,0112	18		4	140	0,1318	7904	15,13	1,11	127503,3	0,018	0,15	0,20	0,05
H1.8	0,0112	18		4	140	0,1318	7904	17,32	1,27	146011,1	0,018	0,20	0,20	0,00
H1.9	0,0112	18		4	160	0,1506	7904	19,52	1,10	143981,3	0,018	0,13	0,20	0,07
H1.10	0,0112	18		4	160	0,1506	7904	21,71	1,22	160178,7	0,017	0,16	0,20	0,05
H1.11	0,0112	18		4	160	0,1506	7904	23,91	1,34	176376,1	0,017	0,19	0,20	0,02
H1.12	0,0112	18		4	180	0,1694	7904	26,10	1,16	171201,7	0,017	0,12	0,20	0,08
H1.13	0,0112	18		4	180	0,1694	7904	28,30	1,26	185601,5	0,017	0,14	0,20	0,06
H1.14	0,0112	40,5		4	180	0,1694	7904	30,49	1,35	200001,3	0,017	0,37	0,46	0,09
			4	52								2,37		0,71
H2.1	0,0112	18	4		63	0,0592	7028	1,95	0,71	36638,1	0,023	0,18	0,20	0,02
H2.2	0,0112	18		4	90	0,0866	7904	4,15	0,70	53213,7	0,021	0,11	0,20	0,09
H2.3	0,0112	18		4	110	0,1036	7904	6,34	0,75	68027,3	0,020	0,10	0,20	0,10
H2.4	0,0112	18		4	110	0,1036	7904	8,54	1,01	91572,9	0,019	0,17	0,20	0,03
H2.5	0,0112	18		4	125	0,1176	7904	10,73	0,99	101414,0	0,019	0,14	0,20	0,06
H2.6	0,0112	18		4	125	0,1176	7904	12,93	1,19	122156,5	0,018	0,20	0,20	0,00
H2.7	0,0112	18		4	140	0,1318	7904	15,13	1,11	127503,3	0,018	0,15	0,20	0,05
H2.8	0,0112	18		4	140	0,1318	7904	17,32	1,27	146011,1	0,018	0,20	0,20	0,00
H2.9	0,0112	18		4	160	0,1506	7904	19,52	1,10	143981,3	0,018	0,13	0,20	0,07
H2.10	0,0112	18		4	160	0,1506	7904	21,71	1,22	160178,7	0,017	0,16	0,20	0,05
H2.11	0,0112	18		4	160	0,1506	7904	23,91	1,34	176376,1	0,017	0,19	0,20	0,02
H2.12	0,0112	18		4	180	0,1694	7904	26,10	1,16	171201,7	0,017	0,12	0,20	0,08
H2.13	0,0112	18		4	180	0,1694	7904	28,30	1,26	185601,5	0,017	0,14	0,20	0,06
H2.14	0,0112	40,5		4	180	0,1694	7904	30,49	1,35	200001,3	0,017	0,37	0,46	0,09
			4	52				60,99				2,37		0,71
			8	104										

Tramo	P. carga unit TT, J (m/m)	Long (m)	Nº asp sect (ud)	Nº asp circ (ud)	Ø nom (mm)	Ø int (m)	Q parcial (l/h)	Q total acum (l/s)	Vel (m/s)	Re	f	hr TT calculada (mca)	hr TT admisible (mca)	exceso de hr (mca)
I1.1	0,0112	18	4		63	0,0592	7028	1,95	0,71	36638,1	0,023	0,18	0,20	0,02
I1.2	0,0112	18		4	90	0,0866	7904	4,15	0,70	53213,7	0,021	0,11	0,20	0,09
I1.3	0,0112	18		4	110	0,1036	7904	6,34	0,75	68027,3	0,020	0,10	0,20	0,10
I1.4	0,0112	18		4	110	0,1036	7904	8,54	1,01	91572,9	0,019	0,17	0,20	0,03
I1.5	0,0112	18		4	125	0,1176	7904	10,73	0,99	101414,0	0,019	0,14	0,20	0,06
I1.6	0,0112	18		4	125	0,1176	7904	12,93	1,19	122156,5	0,018	0,20	0,20	0,00
I1.7	0,0112	18		4	140	0,1318	7904	15,13	1,11	127503,3	0,018	0,15	0,20	0,05
I1.8	0,0112	18		4	140	0,1318	7904	17,32	1,27	146011,1	0,018	0,20	0,20	0,00
I1.9	0,0112	18		4	160	0,1506	7904	19,52	1,10	143981,3	0,018	0,13	0,20	0,07
I1.10	0,0112	18		4	160	0,1506	7904	21,71	1,22	160178,7	0,017	0,16	0,20	0,05
I1.11	0,0112	18		4	160	0,1506	7904	23,91	1,34	176376,1	0,017	0,19	0,20	0,02
I1.12	0,0112	18		4	180	0,1694	7904	26,10	1,16	171201,7	0,017	0,12	0,20	0,08
I1.13	0,0112	18		4	180	0,1694	7904	28,30	1,26	185601,5	0,017	0,14	0,20	0,06
I1.14	0,0112	40,5		4	180	0,1694	7904	30,49	1,35	200001,3	0,017	0,37	0,46	0,09
			4	52								2,37		0,71
I2.1	0,0112	18	4		63	0,0592	7028	1,95	0,71	36638,1	0,023	0,18	0,20	0,02
I2.2	0,0112	18		4	90	0,0866	7904	4,15	0,70	53213,7	0,021	0,11	0,20	0,09
I2.3	0,0112	18		4	110	0,1036	7904	6,34	0,75	68027,3	0,020	0,10	0,20	0,10
I2.4	0,0112	18		4	110	0,1036	7904	8,54	1,01	91572,9	0,019	0,17	0,20	0,03
I2.5	0,0112	18		4	125	0,1176	7904	10,73	0,99	101414,0	0,019	0,14	0,20	0,06
I2.6	0,0112	18		4	125	0,1176	7904	12,93	1,19	122156,5	0,018	0,20	0,20	0,00
I2.7	0,0112	18		4	140	0,1318	7904	15,13	1,11	127503,3	0,018	0,15	0,20	0,05
I2.8	0,0112	18		4	140	0,1318	7904	17,32	1,27	146011,1	0,018	0,20	0,20	0,00
I2.9	0,0112	18		4	160	0,1506	7904	19,52	1,10	143981,3	0,018	0,13	0,20	0,07
I2.10	0,0112	18		4	160	0,1506	7904	21,71	1,22	160178,7	0,017	0,16	0,20	0,05
I2.11	0,0112	18		4	160	0,1506	7904	23,91	1,34	176376,1	0,017	0,19	0,20	0,02
I2.12	0,0112	18		4	180	0,1694	7904	26,10	1,16	171201,7	0,017	0,12	0,20	0,08
I2.13	0,0112	18		4	180	0,1694	7904	28,30	1,26	185601,5	0,017	0,14	0,20	0,06
I2.14	0,0112	40,5		4	180	0,1694	7904	30,49	1,35	200001,3	0,017	0,37	0,46	0,09
			4	52				60,99				2,37		0,71
			8	104										

Tramo	P. carga unit TT, J (m/m)	Long (m)	Nº asp sect (ud)	Nº asp circ (ud)	Ø nom (mm)	Ø int (m)	Q parcial (l/h)	Q total acum (l/s)	Vel (m/s)	Re	f	hr TT calculada (mca)	hr TT admisible (mca)	exceso de hr (mca)
J1.1	0,0112	18	4		63	0,0592	7028	1,95	0,71	36638,1	0,023	0,18	0,20	0,02
J1.2	0,0112	18		4	90	0,0866	7904	4,15	0,70	53213,7	0,021	0,11	0,20	0,09
J1.3	0,0112	18		4	110	0,1036	7904	6,34	0,75	68027,3	0,020	0,10	0,20	0,10
J1.4	0,0112	18		4	110	0,1036	7904	8,54	1,01	91572,9	0,019	0,17	0,20	0,03
J1.5	0,0112	18		4	125	0,1176	7904	10,73	0,99	101414,0	0,019	0,14	0,20	0,06
J1.6	0,0112	18		4	125	0,1176	7904	12,93	1,19	122156,5	0,018	0,20	0,20	0,00
J1.7	0,0112	18		4	140	0,1318	7904	15,13	1,11	127503,3	0,018	0,15	0,20	0,05
J1.8	0,0112	18		4	140	0,1318	7904	17,32	1,27	146011,1	0,018	0,20	0,20	0,00
J1.9	0,0112	18		4	160	0,1506	7904	19,52	1,10	143981,3	0,018	0,13	0,20	0,07
J1.10	0,0112	18		4	160	0,1506	7904	21,71	1,22	160178,7	0,017	0,16	0,20	0,05
J1.11	0,0112	18		4	160	0,1506	7904	23,91	1,34	176376,1	0,017	0,19	0,20	0,02
J1.12	0,0112	18		4	180	0,1694	7904	26,10	1,16	171201,7	0,017	0,12	0,20	0,08
J1.13	0,0112	18		4	180	0,1694	7904	28,30	1,26	185601,5	0,017	0,14	0,20	0,06
J1.14	0,0112	40,5		4	180	0,1694	7904	30,49	1,35	200001,3	0,017	0,37	0,46	0,09
			4	52								2,37		0,71
J2.1	0,0112	18	4		63	0,0592	7028	1,95	0,71	36638,1	0,023	0,18	0,20	0,02
J2.2	0,0112	18		4	90	0,0866	7904	4,15	0,70	53213,7	0,021	0,11	0,20	0,09
J2.3	0,0112	18		4	110	0,1036	7904	6,34	0,75	68027,3	0,020	0,10	0,20	0,10
J2.4	0,0112	18		4	110	0,1036	7904	8,54	1,01	91572,9	0,019	0,17	0,20	0,03
J2.5	0,0112	18		4	125	0,1176	7904	10,73	0,99	101414,0	0,019	0,14	0,20	0,06
J2.6	0,0112	18		4	125	0,1176	7904	12,93	1,19	122156,5	0,018	0,20	0,20	0,00
J2.7	0,0112	18		4	140	0,1318	7904	15,13	1,11	127503,3	0,018	0,15	0,20	0,05
J2.8	0,0112	18		4	140	0,1318	7904	17,32	1,27	146011,1	0,018	0,20	0,20	0,00
J2.9	0,0112	18		4	160	0,1506	7904	19,52	1,10	143981,3	0,018	0,13	0,20	0,07
J2.10	0,0112	18		4	160	0,1506	7904	21,71	1,22	160178,7	0,017	0,16	0,20	0,05
J2.11	0,0112	18		4	160	0,1506	7904	23,91	1,34	176376,1	0,017	0,19	0,20	0,02
J2.12	0,0112	18		4	180	0,1694	7904	26,10	1,16	171201,7	0,017	0,12	0,20	0,08
J2.13	0,0112	18		4	180	0,1694	7904	28,30	1,26	185601,5	0,017	0,14	0,20	0,06
J2.14	0,0112	40,5		4	180	0,1694	7904	30,49	1,35	200001,3	0,017	0,37	0,46	0,09
			4	52				60,99				2,37		0,71
			8	104										

Tramo	P. carga unit TT, J (m/m)	Long (m)	Nº asp sect (ud)	Nº asp circ (ud)	Ø nom (mm)	Ø int (m)	Q parcial (l/h)	Q total acum (l/s)	Vel (m/s)	Re	f	hr TT calculada (mca)	hr TT admisible (mca)	exceso de hr (mca)
K1.1	0,0112	18	4		63	0,0592	7028	1,95	0,71	36638,1	0,023	0,18	0,20	0,02
K1.2	0,0112	18		4	90	0,0866	7904	4,15	0,70	53213,7	0,021	0,11	0,20	0,09
K1.3	0,0112	18		4	110	0,1036	7904	6,34	0,75	68027,3	0,020	0,10	0,20	0,10
K1.4	0,0112	18		4	110	0,1036	7904	8,54	1,01	91572,9	0,019	0,17	0,20	0,03
K1.5	0,0112	18		4	125	0,1176	7904	10,73	0,99	101414,0	0,019	0,14	0,20	0,06
K1.6	0,0112	18		4	125	0,1176	7904	12,93	1,19	122156,5	0,018	0,20	0,20	0,00
K1.7	0,0112	18		4	140	0,1318	7904	15,13	1,11	127503,3	0,018	0,15	0,20	0,05
K1.8	0,0112	18		4	140	0,1318	7904	17,32	1,27	146011,1	0,018	0,20	0,20	0,00
K1.9	0,0112	18		4	160	0,1506	7904	19,52	1,10	143981,3	0,018	0,13	0,20	0,07
K1.10	0,0112	18		4	160	0,1506	7904	21,71	1,22	160178,7	0,017	0,16	0,20	0,05
K1.11	0,0112	18		4	160	0,1506	7904	23,91	1,34	176376,1	0,017	0,19	0,20	0,02
K1.12	0,0112	18		4	180	0,1694	7904	26,10	1,16	171201,7	0,017	0,12	0,20	0,08
K1.13	0,0112	18		4	180	0,1694	7904	28,30	1,26	185601,5	0,017	0,14	0,20	0,06
K1.14	0,0112	40,5		4	180	0,1694	7904	30,49	1,35	200001,3	0,017	0,37	0,46	0,09
			4	52								2,37		0,71
K2.1	0,0112	18	4		63	0,0592	7028	1,95	0,71	36638,1	0,023	0,18	0,20	0,02
K2.2	0,0112	18		4	90	0,0866	7904	4,15	0,70	53213,7	0,021	0,11	0,20	0,09
K2.3	0,0112	18		4	110	0,1036	7904	6,34	0,75	68027,3	0,020	0,10	0,20	0,10
K2.4	0,0112	18		4	110	0,1036	7904	8,54	1,01	91572,9	0,019	0,17	0,20	0,03
K2.5	0,0112	18		4	125	0,1176	7904	10,73	0,99	101414,0	0,019	0,14	0,20	0,06
K2.6	0,0112	18		4	125	0,1176	7904	12,93	1,19	122156,5	0,018	0,20	0,20	0,00
K2.7	0,0112	18		4	140	0,1318	7904	15,13	1,11	127503,3	0,018	0,15	0,20	0,05
K2.8	0,0112	18		4	140	0,1318	7904	17,32	1,27	146011,1	0,018	0,20	0,20	0,00
K2.9	0,0112	18		4	160	0,1506	7904	19,52	1,10	143981,3	0,018	0,13	0,20	0,07
K2.10	0,0112	18		4	160	0,1506	7904	21,71	1,22	160178,7	0,017	0,16	0,20	0,05
K2.11	0,0112	18		4	160	0,1506	7904	23,91	1,34	176376,1	0,017	0,19	0,20	0,02
K2.12	0,0112	18		4	180	0,1694	7904	26,10	1,16	171201,7	0,017	0,12	0,20	0,08
K2.13	0,0112	18		4	180	0,1694	7904	28,30	1,26	185601,5	0,017	0,14	0,20	0,06
K2.14	0,0112	40,5		4	180	0,1694	7904	30,49	1,35	200001,3	0,017	0,37	0,46	0,09
			4	52				60,99				2,37		0,71
			8	104										

Tramo	P. carga unit TT, J (m/m)	Long (m)	Nº asp sect (ud)	Nº asp circ (ud)	Ø nom (mm)	Ø int (m)	Q parcial (l/h)	Q total acum (l/s)	Vel (m/s)	Re	f	hr TT calculada (mca)	hr TT admisible (mca)	exceso de hr (mca)
L1.1	0,0112	18	4		63	0,0592	7028	1,95	0,71	36638,1	0,023	0,18	0,20	0,02
L1.2	0,0112	18		4	90	0,0866	7904	4,15	0,70	53213,7	0,021	0,11	0,20	0,09
L1.3	0,0112	18		4	110	0,1036	7904	6,34	0,75	68027,3	0,020	0,10	0,20	0,10
L1.4	0,0112	18		4	110	0,1036	7904	8,54	1,01	91572,9	0,019	0,17	0,20	0,03
L1.5	0,0112	18		4	125	0,1176	7904	10,73	0,99	101414,0	0,019	0,14	0,20	0,06
L1.6	0,0112	18		4	125	0,1176	7904	12,93	1,19	122156,5	0,018	0,20	0,20	0,00
L1.7	0,0112	18		4	140	0,1318	7904	15,13	1,11	127503,3	0,018	0,15	0,20	0,05
L1.8	0,0112	18		4	140	0,1318	7904	17,32	1,27	146011,1	0,018	0,20	0,20	0,00
L1.9	0,0112	18		4	160	0,1506	7904	19,52	1,10	143981,3	0,018	0,13	0,20	0,07
L1.10	0,0112	18		4	160	0,1506	7904	21,71	1,22	160178,7	0,017	0,16	0,20	0,05
L1.11	0,0112	18		4	160	0,1506	7904	23,91	1,34	176376,1	0,017	0,19	0,20	0,02
L1.12	0,0112	18		4	180	0,1694	7904	26,10	1,16	171201,7	0,017	0,12	0,20	0,08
L1.13	0,0112	18		4	180	0,1694	7904	28,30	1,26	185601,5	0,017	0,14	0,20	0,06
L1.14	0,0112	40,5		4	180	0,1694	7904	30,49	1,35	200001,3	0,017	0,37	0,46	0,09
			4	52								2,37		0,71
L2.1	0,0112	18	4		63	0,0592	7028	1,95	0,71	36638,1	0,023	0,18	0,20	0,02
L2.2	0,0112	18		4	90	0,0866	7904	4,15	0,70	53213,7	0,021	0,11	0,20	0,09
L2.3	0,0112	18		4	110	0,1036	7904	6,34	0,75	68027,3	0,020	0,10	0,20	0,10
L2.4	0,0112	18		4	110	0,1036	7904	8,54	1,01	91572,9	0,019	0,17	0,20	0,03
L2.5	0,0112	18		4	125	0,1176	7904	10,73	0,99	101414,0	0,019	0,14	0,20	0,06
L2.6	0,0112	18		4	125	0,1176	7904	12,93	1,19	122156,5	0,018	0,20	0,20	0,00
L2.7	0,0112	18		4	140	0,1318	7904	15,13	1,11	127503,3	0,018	0,15	0,20	0,05
L2.8	0,0112	18		4	140	0,1318	7904	17,32	1,27	146011,1	0,018	0,20	0,20	0,00
L2.9	0,0112	18		4	160	0,1506	7904	19,52	1,10	143981,3	0,018	0,13	0,20	0,07
L2.10	0,0112	18		4	160	0,1506	7904	21,71	1,22	160178,7	0,017	0,16	0,20	0,05
L2.11	0,0112	18		4	160	0,1506	7904	23,91	1,34	176376,1	0,017	0,19	0,20	0,02
L2.12	0,0112	18		4	180	0,1694	7904	26,10	1,16	171201,7	0,017	0,12	0,20	0,08
L2.13	0,0112	18		4	180	0,1694	7904	28,30	1,26	185601,5	0,017	0,14	0,20	0,06
L2.14	0,0112	40,5		4	180	0,1694	7904	30,49	1,35	200001,3	0,017	0,37	0,46	0,09
			4	52				60,99				2,37		0,71
			8	104										

Anejo 8. Cálculo hidráulico

Tramo	P. carga unit TT, J (m/m)	Long (m)	Nº asp sect (ud)	Nº asp circ (ud)	Ø nom (mm)	Ø int (m)	Q parcial (l/h)	Q total acum (l/s)	Vel (m/s)	Re	f	hr TT calculada (mca)	hr TT admisible (mca)	exceso de hr (mca)
M1.1	0,0114	18	4		63	0,0592	7028	1,95	0,71	36638,1	0,023	0,18	0,21	0,02
M1.2	0,0114	18		4	90	0,0866	7904	4,15	0,70	53213,7	0,021	0,11	0,21	0,09
M1.3	0,0114	18		4	110	0,1036	7904	6,34	0,75	68027,3	0,020	0,10	0,21	0,10
M1.4	0,0114	18		4	110	0,1036	7904	8,54	1,01	91572,9	0,019	0,17	0,21	0,03
M1.5	0,0114	18		4	125	0,1176	7904	10,73	0,99	101414,0	0,019	0,14	0,21	0,06
M1.6	0,0114	18		4	125	0,1176	7904	12,93	1,19	122156,5	0,018	0,20	0,21	0,00
M1.7	0,0114	18		4	140	0,1318	7904	15,13	1,11	127503,3	0,018	0,15	0,21	0,05
M1.8	0,0114	18		4	160	0,1506	7904	17,32	0,97	127783,9	0,018	0,10	0,21	0,10
M1.9	0,0114	18		4	160	0,1506	7904	19,52	1,10	143981,3	0,018	0,13	0,21	0,08
M1.10	0,0114	18		4	160	0,1506	7904	21,71	1,22	160178,7	0,017	0,16	0,21	0,05
M1.11	0,0114	18		4	160	0,1506	7904	23,91	1,34	176376,1	0,017	0,19	0,21	0,02
M1.12	0,0114	18		4	180	0,1694	7904	26,10	1,16	171201,7	0,017	0,12	0,21	0,08
M1.13	0,0114	18		4	180	0,1694	7904	28,30	1,26	185601,5	0,017	0,14	0,21	0,06
M1.14	0,0114	35,99		4	180	0,1694	7904	30,49	1,35	200001,3	0,017	0,33	0,41	0,08
			4	52								2,24		0,85
M2.1	0,0114	18	4		63	0,0592	7028	1,95	0,71	36638,1	0,023	0,18	0,21	0,02
M2.2	0,0114	18		3	90	0,0866	5928	3,60	0,61	46171,7	0,022	0,09	0,21	0,12
M2.3	0,0114	18		3	90	0,0866	5928	5,25	0,89	67297,5	0,020	0,17	0,21	0,03
M2.4	0,0114	18		3	110	0,1036	5928	6,89	0,82	73913,7	0,020	0,12	0,21	0,09
M2.5	0,0114	18		3	110	0,1036	5928	8,54	1,01	91572,9	0,019	0,17	0,21	0,03
M2.6	0,0114	18		3	125	0,1176	5928	10,19	0,94	96228,3	0,019	0,13	0,21	0,08
M2.7	0,0114	18		3	125	0,1176	5928	11,83	1,09	111785,2	0,018	0,17	0,21	0,03
M2.8	0,0114	18		3	140	0,1318	5928	13,48	0,99	113622,5	0,018	0,12	0,21	0,08
M2.9	0,0114	18		3	140	0,1318	5928	15,13	1,11	127503,3	0,018	0,15	0,21	0,05
M2.10	0,0114	18		3	140	0,1318	5928	16,77	1,23	141384,1	0,018	0,19	0,21	0,02
M2.11	0,0114	18		3	160	0,1506	5928	18,42	1,03	135882,6	0,018	0,12	0,21	0,09
M2.12	0,0114	18		3	160	0,1506	5928	20,07	1,13	148030,7	0,017	0,13	0,21	0,07
M2.13	0,0114	18		4	160	0,1506	7904	22,26	1,25	164228,1	0,017	0,16	0,21	0,04
M2.14	0,0114	35,99		2	160	0,1506	3952	23,36	1,31	172326,8	0,017	0,36	0,41	0,05
			4	39				53,85				2,27		0,82
			8	91										

La presión necesaria al comienzo de cada módulo se ha calculado sumando a la presión de funcionamiento de los aspersores (30mca), las pérdidas de carga que se producen en el módulo (las del tramo más desfavorable), las pérdidas de carga singulares (piezas especiales) y las del porta-aspersor.

En la siguiente tabla se muestran las pérdidas de carga que se producen en cada módulo y submódulo, así como la presión necesaria en el origen de cada uno de ellos, que será la del submódulo que tenga mayores pérdidas de carga y esa será la presión necesaria en el origen de la unidad de riego.

- $(hr+hs)_{LR}$ = Pérdidas de carga en el último lateral de riego.
- $(hr+hs)_{TT}$ = Pérdidas de carga en la tubería terciaria.
- P_n/Y = Presión nominal de funcionamiento de los aspersores.
- hr_{Porta} = Pérdida de carga del porta-aspersor.
- P_o/Y = Presión necesaria al comienzo de cada módulo.

Todas las unidades de la tabla siguiente se encuentran en metros.

Submódulo	$(hr+hs)_{LR}$	$(hr+hs)_{TT}$	P_n/Y	hr_{Porta}	P_o/Y
A1	1,64	3,29	30	3,25	38,18
A2	1,63	3,01	30	3,25	37,89
A3	1,63	3,17	30	3,25	38,04
B1	2,50	2,87	30	3,25	38,62
B2	2,16	3,06	30	3,25	38,47
C1	1,63	3,31	30	3,25	38,18
C2	2,46	2,73	30	3,25	38,44
D1	2,14	3,01	30	3,25	38,40
D2	2,22	2,89	30	3,25	38,35
E1	2,32	2,82	30	3,25	38,38
E2	1,28	3,03	30	3,25	37,55
E3	2,17	2,54	30	3,25	37,96
F1	2,13	2,29	30	3,25	37,67
F2	0,93	3,60	30	3,25	37,78
F3	1,06	2,12	30	3,25	36,42
F4	1,58	3,05	30	3,25	37,88
F5	1,57	2,88	30	3,25	37,70
F6	0,00	4,22	30	3,25	37,47
G1	0,00	3,65	30	3,25	36,90
G2	0,00	4,19	30	3,25	37,44
G3	2,30	3,05	30	3,25	38,60
H1	2,30	2,85	30	3,25	38,39
H2	2,30	2,85	30	3,25	38,39
I1	2,30	2,85	30	3,25	38,39
I2	2,30	2,85	30	3,25	38,39
J1	2,30	2,85	30	3,25	38,39
J2	2,30	2,85	30	3,25	38,39
K1	2,30	2,85	30	3,25	38,39
K2	2,30	2,85	30	3,25	38,39
L1	2,30	2,85	30	3,25	38,39
L2	2,30	2,85	30	3,25	38,39
M1	2,30	2,68	30	3,25	38,23
M2	2,30	2,72	30	3,25	38,27

4.2.4 Cálculo de las tuberías secundarias

El cálculo de las tuberías secundarias se realiza a partir del dato conocido de la presión necesaria en un módulo de riego por aspersión.

Las tuberías secundarias conducen el agua hasta la entrada de cada módulo de riego. En nuestro caso, las tuberías secundarias son dos, denominadas tramo 1 y tramo 2. La correspondiente al tramo 1 alimenta a los módulos A, B, G y H y el tramo 2 alimenta a los módulos C, D, E, F, I, J, K, L y M.

Una vez dimensionadas estas tuberías y conociendo sus pérdidas de carga, sumadas a la presión necesaria en la entrada para cada módulo se puede calcular la presión a la que debe funcionar la red. Además, para el correcto dimensionado se deben tener en cuenta los diversos elementos singulares tales como válvulas, filtros, codos, derivaciones, etc.

El dimensionado de estas tuberías se realiza utilizando la fórmula empírica de **Veronese**, que es la que se utiliza para el PVC.

Para ello se parte de la condición de que en la toma de riego debe haber una presión de 45mca. A partir de este dato, y conociendo la presión de los módulos (en este caso se toma la mayor) se conoce la pérdida de carga máxima para esa tubería secundaria.

Una vez conocida la pérdida de carga se establece la pérdida unitaria mínima que se puede presentar, y a partir de este dato se calcula el diámetro teórico (dependiente del caudal a transportar) de la tubería en cuestión. Una vez determinado este diámetro se ajusta al comercial. En este caso se adoptan tuberías de PVC PN 0,6MPa.

El proceso seguido es el siguiente:

$$\text{Veronese} \rightarrow (h_r / L) = J = 0,365 * (Q^{1,8} / D^{4,8}) \rightarrow \\ D_{\text{terico}} = (0,365 * (Q^{1,8} / J))^{1/4,8} \rightarrow D_{\text{comercial}}$$

Una vez conocidas las máximas pérdidas que pueden darse, se procede a la determinación de la pendiente hidráulica J. Los resultados pueden verse en la siguiente tabla:

Tramo	(hr+hs)LR (m)	(hr+hs)TT (m)	Pn/Y (m)	hr Porta (m)	Po/Y (m)	Jmax TS (m)	J (m/m)	Dteórico (mm)	Dnominal TS(mm)
A1	1,64	3,29	30	3,25	38,18	6,8218	0,0321	100,58	
A2	1,63	3,01	30	3,25	37,89	7,1128	0,0334	103,36	
A3	1,63	3,17	30	3,25	38,04	6,9580	0,0327	115,01	
B1	2,50	2,87	30	3,25	38,62	6,3783	0,0300	122,22	140
B2	2,16	3,06	30	3,25	38,47	6,5341	0,0307	121,72	
C1	1,63	3,31	30	3,25	38,18	6,8161	0,0096	161,25	
C2	2,46	2,73	30	3,25	38,44	6,5588	0,0092	167,04	180
D1	2,14	3,01	30	3,25	38,40	6,6034	0,0093	166,93	
D2	2,22	2,89	30	3,25	38,35	6,6462	0,0093	160,78	
E1	2,32	2,82	30	3,25	38,38	6,6156	0,0093	149,50	
E2	1,28	3,03	30	3,25	37,55	7,4507	0,0105	137,70	
E3	2,17	2,54	30	3,25	37,96	7,0433	0,0099	131,26	
F1	2,13	2,29	30	3,25	37,67	7,3299	0,0103	110,42	
F2	0,93	3,60	30	3,25	37,78	7,2210	0,0101	90,93	
F3	1,06	2,12	30	3,25	36,42	8,5779	0,0120	67,16	
F4	1,58	3,05	30	3,25	37,88	7,1199	0,0100	58,62	
F5	1,57	2,88	30	3,25	37,70	7,3044	0,0103	58,31	
F6	0,00	4,22	30	3,25	37,47	7,5298	0,0106	134,45	
G1	0,00	3,65	30	3,25	36,90	8,1046	0,0381	83,52	
G2	0,00	4,19	30	3,25	37,44	7,5646	0,0356	110,83	
G3	2,30	3,05	30	3,25	38,60	6,4044	0,0301	120,23	
H1	2,30	2,85	30	3,25	38,39	6,6112	0,0311	129,74	
H2	2,30	2,85	30	3,25	38,39	6,6112	0,0311	129,74	
I1	2,30	2,85	30	3,25	38,39	6,6112	0,0093	166,89	
I2	2,30	2,85	30	3,25	38,39	6,6112	0,0093	166,89	
J1	2,30	2,85	30	3,25	38,39	6,6112	0,0093	166,89	
J2	2,30	2,85	30	3,25	38,39	6,6112	0,0093	166,89	
K1	2,30	2,85	30	3,25	38,39	6,6112	0,0093	166,89	
K2	2,30	2,85	30	3,25	38,39	6,6112	0,0093	166,89	
L1	2,30	2,85	30	3,25	38,39	6,6112	0,0093	166,89	
L2	2,30	2,85	30	3,25	38,39	6,6112	0,0093	166,89	
M1	2,30	2,68	30	3,25	38,23	6,7739	0,0095	166,04	
M2	2,30	2,72	30	3,25	38,27	6,7322	0,0095	150,44	

5. Movimiento de tierras

La instalación de una red fija de tuberías en un riego por aspersión conlleva un movimiento de tierras. Los volúmenes de tierra a mover variaran en función de la tubería a colocar y de las longitudes de los tramos.

De este modo, los movimientos de tierra se calculan tramo a tramo para las tuberías colocadas en toda la finca.

5.1 Definición de zanjas

Para la colocación de las tuberías en el terreno se hace necesaria la excavación de una zanja y cuyas dimensiones varían en función del diámetro a colocar. Las dimensiones correspondientes son:

Diámetro exterior de la tubería (mm)	Anchura de la zanja (m)	Profundidad de la zanja (m)
$\varnothing \leq 200$	$\varnothing \text{ (m)} + 0,6$	$\varnothing \text{ (m)} + 0,9$
$\varnothing > 200$	$\varnothing \text{ (m)} + 0,7$	$\varnothing \text{ (m)} + 0,9$

La sección tipo de la tubería se compone de una cama de arena de espesor $10 + \varnothing/10\text{cm}$. Desde la generatriz inferior hasta 30cm por encima de la generatriz superior, se rellenara con material seleccionado de tamaño menor de 2cm. La parte superior se rellena con material procedente de la excavación.

5.2 Excavación de la zanja de los laterales de riego

Se calculan los volúmenes de tierra a mover para cada tipo de tubería. De la misma forma los laterales o ramales de riego que se componen en su totalidad por PEBD $\varnothing 32$, ha sido inyectado por medio de una oruga subsolador, a una profundidad de 0,9 metros.

Los resultados son los siguientes:

Módulo	Longitud(m) PEBDØ32
A	1364,56
B	1288,49
C	1468,97
D	1448,84
E	1477,63
F	992,91
G	1321,79
H	1512
I	1512
J	1512
K	1512
L	1512
M	1278
TOTAL	18201,19

5.3 Excavación de la zanja de las tuberías terciarias

PVC 0,6 MPa	Anchura de la zanja (m)	Prof de la zanja (m)	TT	Volumen excavación TT
Ø nominal (m)	Ø + 0,6	Ø + 0,9	Longitud total (m)	(m3)
0,032	0,632	0,932	26,36	15,53
0,04	0,64	0,94	36,23	21,80
0,05	0,65	0,95	99,5	61,44
0,063	0,663	0,963	525,96	335,81
0,075	0,675	0,975	326,44	214,84
0,09	0,69	0,99	652,5	445,72
0,11	0,71	1,01	1156,94	829,64
0,125	0,725	1,025	1035,28	769,34
0,14	0,74	1,04	977,42	752,22
0,16	0,76	1,06	1290,17	1039,36
0,18	0,78	1,08	1069,52	900,96
			TOTAL	5386,67

5.4 Excavación de la zanja de las tuberías secundarias

PVC 0,6 MPa	Anchura de la zanja (m)	Prof de la zanja (m)	TS	Volumen excavación TS
Ø nominal (mm)	Ø + 0,6	Ø + 0,9	Longitud total (m)	(m3)
0,16	0,76	1,06	212,71	171,36
0,18	0,78	1,08	712,3	600,04
			TOTAL	771,40

5.5 Excavación de la zanja de la tubería primaria

PVC 0,6 MPa	Anchura de la zanja (m)	Prof de la zanja (m)	TP	Volumen excavación TP
Ø nominal (mm)	Ø + 0,6	Ø + 0,9	Longitud total (m)	(m3)
0,25	0,85	1,15	238,37	233,01
			TOTAL	233,01

5.6 Resumen del movimiento de tierras

Los metros totales de PEBD Ø32 inyectados en la totalidad de la parcela son **18201,19m.** y los metros cúbicos que se han excavado de zanja en toda la finca son **6391,07 m³.**



Universidad
Zaragoza

Proyecto Fin de Carrera

Puesta en riego por aspersión con cobertura total
enterrada en el término municipal de Piracés
(Huesca)

ANEJO 9. ELEMENTOS SINGULARES DE LA RED DE RIEGO

ELEMENTOS SINGULARES DE LA RED DE RIEGO

ÍNDICE DEL ANEJO 9

	Pág.
1. Introducción.....	3
2. Válvulas.....	3
2.1 Válvulas hidráulicas.....	3
2.2 Válvulas de esfera.....	4
2.3 Válvulas de ventosa.....	4
2.4 Válvulas de retención.....	6
2.5 Válvulas de mariposa.....	6
3. Filtros.....	7
4. Anclajes.....	8
5. Codos.....	10
6. Reducciones.....	11
7. Desagües.....	11
7.1 Desagües de la red de riego.....	11
7.2 Desagües fin de tramo.....	11
8. Fertirrigación.....	12
8.1 Equipo de inyección.....	12
8.2 Características técnicas.....	13

8.3	Elementos y accesorios.....	13
8.4	Automatización.....	14
9.	Contadores.....	14
10.	Programadores de riego.....	15
11.	Grupo electrógeno.....	16
12.	Automatismo de la red de riego.....	16

1. Introducción

Los elementos singulares que se disponen a lo largo de la red de riego tienen la misión de control y regulación de los caudales circulantes así como el control y mantenimiento de la presión en la red de riego, el filtrado del agua y la evacuación de aire.

En este anejo se van a calcular y describir los elementos singulares de que consta la instalación de la red de riego. Los cuales son los que se citan a continuación:

- Válvulas
- Filtros
- Codos
- Reducciones
- Anclajes

Además se van a tratar otros elementos como desagües, elementos de fertirrigación y otros automatismos necesarios para el funcionamiento de la red de riego.

2. Válvulas

2.1 Válvulas hidráulicas

Una de las principales funciones va a ser poder abrir y cerrar el paso de agua a un módulo de riego determinado, para lo cual se ha de instalar una válvula en cada conexión de cada módulo con la tubería secundaria.

Se ha elegido la válvula hidráulica con diafragma de caucho natural, con cuerpo de hierro fundido con recubrimiento de poliéster, que abre y cierra la válvula mediante la presión del agua existente en la red. Su simplicidad de construcción elimina prácticamente el mantenimiento.

Ventajas que tienen estas válvulas:

- Mínima pérdida de carga
- Fácil instalación y mantenimiento
- Cierre gradual y hermético, sin provocar golpes de ariete
- Pocos componentes
- Diversas alternativas de control manual, hidráulico, eléctrico, regulación de presión, regulación de caudal, regulación de nivel, medición de caudal.

Existe una amplia gama de válvulas, diferenciándose unas de otras. A continuación se presenta a modo de ejemplo las características técnicas que tienen las válvulas de 4", 6" y 10".

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE VÁLVULAS HIDRÁULICAS DE HIERRO FUNDIDO			
	4"	6"	10"
Presión máxima de trabajo (atm)	16	16	16
Presión mínima de trabajo (atm)	1	1	1
Q máximo (m³/h)	150	300	800
Q mínimo (m³/h)	30	50	80
Longitud (mm)	305	387	535
Altura (mm)	230	280	410
Conexión	Bridas 4"	Bridas 6"	Bridas 10"
Pérdidas de carga (m.c.a.)	0,4	0,5	0,5

Elegiremos 13 válvulas de "6" porque el módulo para el que mayor caudal necesito es el **H, I, J, K o L** con **219,56m³/h** y el de menor caudal es el módulo **F** con **153,05m³/h**.

2.2 Válvulas de esfera

Hay un tipo de válvula de esfera que se instala, la cual es:

Válvulas de esfera de PVC, para la instalación de fertirrigación, serán necesarias una para cada depósito y además las necesarias para dirigir el fertilizante por las tuberías correspondientes. Están fabricadas en PVC y son de accionamiento manual. Se podrán instalar válvulas hidráulicas de 2" en caso de necesidad de automatismo total en el cabezal de riego.

2.3 Válvulas de ventosa

Son piezas destinadas a realizar el control de la presencia de aire en las conducciones hidráulicas. El tipo de válvula ventosa elegido es la válvula de doble efecto o trifuncional.

Este tipo de ventosas poseen dos orificios para la evacuación y admisión de aire y uno o dos flotadores. Durante el llenado de las tuberías el agua va empujando al aire que se evacua a la atmósfera a través del orificio grande. El otro orificio, mucho más pequeño permanece cerrado durante este proceso.

Cuando la tubería se llena completamente, los dos orificios se cierran por la acción del agua sobre él o los flotadores. Una vez la instalación ha alcanzado la presión normal de trabajo, el aire que se acumula en la válvula ventosa va siendo evacuado a través del orificio más pequeño.

El orificio mayor permanece cerrado completamente y no se vuelve a abrir hasta que el sistema es drenado o aparece una presión negativa. En tal caso el flotador del orificio mayor caerá inmediatamente abriendo el orificio y permitiendo la entrada de aire a la tubería.

En este momento la válvula ventosa está nuevamente lista para evacuar aire otra vez. Este ciclo se repetirá tantas veces como sea necesario.

Para la elección del diámetro de la ventosa se tiene en cuenta el diámetro de la tubería, el caudal trasegado por la misma, la presión de funcionamiento y la función a realizar. Relacionando el diámetro de la tubería con el diámetro de la ventosa se tiene:

Diámetro tubería (mm)	Diámetro ventosa (pulgadas)
<100	3/4
100-150	1
150-250	1 ½
250-400	3

Para la localización de la ventosa se van a tener en cuenta unos criterios los cuales son:

- En los puntos de la red en los que la línea de corriente varía respecto a la línea piezométrica de la tubería.
- En los "picos" o "puntos convexos" de la red.
- Puntos finales de tubería en alto.
- A la entrada de instrumentos de medición (contadores).
- Depresiones en la línea de corriente.
- En cada una de las piezas especiales en derivación para las válvulas hidráulicas de los diferentes sectores.

Para la correcta instalación de las válvulas ventosa se recomienda la colocación de una válvula manual de bola antes de la misma para poder

desmontar la ventosa en caso de reparación o comprobación sin afectar al funcionamiento de la instalación.

La válvula de ventosa la colocaremos en la parte alta de la tubería que sale de la bomba. Y tiene un diámetro de 4".

2.4 Válvulas de retención

La función de estas válvulas es permitir el flujo de agua en una única dirección, impidiendo la inversión del mismo. Sus características principales son las siguientes:

- El cuerpo es de hierro fundido
- Eje de acero inoxidable.
- Brazo de bronce.
- Disco de bronce.
- Junta de caucho.
- Retén de la junta de acero.
- Eje del disco de acero inoxidable.
- Arandela del asiento de bronce.
- Presión máxima de trabajo 16 atm.
- Tamaño reducido, fácil de instalar.
- Bajas pérdidas de carga.
- Materiales internos de alta resistencia a la corrosión.

Se instalarán válvulas de 6" e irán colocadas justo después de cada grupo moto-bomba (para evitar el golpe de ariete). La pérdida de carga está entorno a los 0,2mca para cada una.

2.5 Válvulas de mariposa

Se han colocado válvulas de mariposa, una delante y otra detrás del filtro en la tubería primaria, en la caseta de bombeo. Son colocadas para en caso de limpiar el filtro o tener que desarmarlo, se cierran las dos válvulas y así no se va todo el agua de las tuberías por el suelo y se queda dentro de las tuberías.

Las válvulas de mariposa se colocarán del mismo diámetro al que corresponda la tubería en las cuales se han de colocar. Las válvulas van alojadas en arquetas prefabricadas de hormigón.

3. Filtros

Los filtros son necesarios para evitar la obturación de los aspersores lo cual es muy frecuente este problema en los riegos por aspersión. Para su prevención se colocan los correspondientes elementos de filtrado en los cuales se quedan las partículas retenidas.

Se ha elegido filtros de mallas autolimpiables que realizan un tamizado superficial del agua, reteniendo las partículas mayores que los orificios de la malla y evitándose así la obturación de las boquillas, y será instalado en la caseta de bombeo.

Las ventajas de los filtros autolimpiables (automatizados) presentan las siguientes características:

- No necesitan energía externa para su funcionamiento.
- La limpieza se efectúa de forma automática mediante un comandamiento de un presostato diferencial.
- Control del tiempo de autolavado, evitando ciclos innecesarios.
- No se interrumpe el proceso de filtración durante el autolavado.
- Las pérdidas de carga dependerán del grado de impurezas del agua a filtrar. En este caso como el agua procede para el riego es de los pantanos de la Sotonera y del Grado, es relativamente buena en cuanto a impurezas, podemos instalar este tipo de filtrado sin ningún problema.

Para la elección del filtro, se optará por uno de 6" y será colocado en la caseta de bombeo. La limpieza de estos filtros es automática por medio de presostatos diferenciales que, conectados entre la entrada y salida del filtro cuando hay una diferencia de presión de 3mca, activan el mecanismo de autolavado.

Características técnicas del filtro de 6":

- Área filtrante: 3320 cm²
- Conexión entrada y salida por bridas
- Malla filtrante: Acero inoxidable 304
- Tipo de malla: Cilindro perforado acero inoxidable
- Presión mínima de trabajo durante el lavado: 2,5 atm
- Válvula de drenaje: 3"
- Caudal de lavado: 60m³/h

Materiales constructivos:

- Cuerpo del filtro: acero inoxidable con recubrimiento "epoxi"
- Tapa: aluminio
- Malla: acero inoxidable 304

- Válvula de drenaje: fundición con recubrimiento epoxi
- Juntas: poliuretano, caucho, nitrilo, NBR, VBR, poliacetal polietileno

Procesos de filtración:

El agua fluye a través de la malla de tamiz cuya función es separar los sólidos de mayor tamaño y a continuación pasa a través de una malla fina que es la que define realmente el grado de filtración.

El nivel de suciedad en el filtro viene controlado por un prestató diferencial conectado entre la entrada y la salida del filtro. Cuando la diferencia de presión excede de los 3mca, se activa el mecanismo de autolavado.

También se colocará un filtro de 3" de cartucho extraíble y será colocado en la toma de riego para la fertilización.

4. Anclajes

En determinados puntos de la red como son los cambios de sección, cambios de dirección, derivaciones en té y tapones terminales se producen empujes en la tubería debido a la presión hidrostática. Para evitar el desplazamiento de la tubería en estos puntos se han colocado macizos de hormigón que sirven de anclaje a la conducción.

Para el diseño de los anclajes según su finalidad se ha seguido la norma NTE relacionada con las instalaciones de abastecimiento. La fuerza de reacción del agua es la que debe calcularse para establecer las dimensiones de los macizos de hormigón que impidan los desplazamientos de la tubería. Los macizos son de hormigón HA-250 armado con acero B-500S.

Los puntos de la red en los que se prevén desplazamientos de la tubería son:

- Codos y reducciones
- Llaves de paso
- Piezas especiales en T

En la norma relativa a los anclajes para las tuberías se describen las dimensiones de los mismos para diámetros de la tubería $\leq 400\text{mm}$. Para el resto de los diámetros (en este caso 500, 560 y 600) se utiliza la fórmula siguiente para el cálculo del empuje:

$$F=K \cdot P \cdot S$$

Donde:

- **F** = Empuje en Kp.
- **K** = Coeficiente según la dirección.
- **P** = Presión interior de prueba 1,4 (Presión de trabajo en Kp/cm²)
- **S** = Sección interna del tubo en cm².

Las dimensiones del elemento de anclaje se obtienen a partir de la siguiente fórmula:

$$F = A * P$$

Siendo:

- **F** = Empuje en Kg.
- **A** = Superficie del anclaje en contacto con el terreno en la dirección del empuje en cm².
- **P** = Resistencia del terreno en Kg/cm² (Kg/cm²).

Las dimensiones de los elementos de anclaje son las siguientes:

Codo y reducción:

Para cambiar la alineación de una tubería se coloca un codo. De esta forma el agua circulante experimenta una variación en la dirección de su vector velocidad. El cambio de dirección se establece por la fuerza ejercida por el codo sobre el fluido y éste responde con una fuerza de igual dirección e intensidad pero de sentido opuesto.

En los cambios de sección debidos a las reducciones se produce un empuje cuya dirección es la del eje de la conducción en el sentido de circulación del agua.

Las dimensiones de los elementos necesarios para el anclaje son la que se indican en la siguiente tabla:

Pieza	Diámetro de la tubería (mm)	Dimensiones en cm		
		A	B	C
Codo 45°	63 a 225	30	40	15
	250 a 400	50	60	25
Codo 90°	63 a 225	50	40	20
	250 a 400	65	60	20
Reducción	63 a 225	40	30	15
	250 a 400	50	40	25

Llaves de paso:

Las dimensiones de los anclajes de hormigón y la disposición de las armaduras necesarias son las que se indican en la siguiente tabla:

Diámetro (mm)	Dimensiones en cm				Posición de las armaduras		
	A	B	C	E	1()	2(n-)	3(n-)
90	50	15	30	15	6	2-12	5-6
110	60	20	35	15	6	4-12	5-6
125	70	25	35	15	6	4-12	5-6
140	70	25	35	15	6	4-12	5-6
160	80	30	40	15	6	6-12	5-6
180	90	30	40	15	6	6-12	5-6
200	100	35	40	15	8	8-12	5-8
250	120	40	50	15	8	5-16	5-8
315	140	50	60	15	8	6-16	5-8
355	140	50	65	15	8	8-16	5-8
400	160	65	70	15	10	6-20	5-10
500	210	80	75	25	12	6-22	8-10
560	240	90	75	25	12	8-22	8-12
600	260	95	80	25	14	10-22	8-14

Piezas especiales en T:

Las dimensiones de los anclajes de hormigón y la disposición de las armaduras necesarias son las que se indican en la siguiente tabla:

Diámetro (mm)	Dimensiones en cm				Posición de las armaduras	
	A	B	C	E	1()	2(n-)
90	60	40	30	15	10	2-10
110	70	45	30	15	10	4-10
125	80	50	35	15	10	4-10
140	80	50	35	15	10	4-10
160	90	60	35	15	10	4-10
180	100	65	40	15	10	4-10
200	110	65	40	15	12	4-12
250	140	70	40	15	12	6-12
315	150	80	45	15	12	8-12
355	160	90	50	25	12	8-12
400	170	95	55	25	12	10-12
500	220	105	60	25	12	12-12
560	250	105	60	25	14	12-14
600	270	110	65	25	14	12-14

5. Codos

Los codos son piezas especiales destinadas a conseguir las alineaciones de la tubería deseadas. Dependiendo de la curva que describa la tubería se colocarán codos de 45 o 90°. Hemos colocado codos de

fundición rosca hembra 3/4", en los últimos aspersores de cada lateral de riego.

6. Reducciones

Los cambios de sección de la tubería a lo largo de la red se consiguen mediante la colocación de piezas tronco-cónicas que sirven de conexión entre las tuberías de distinto diámetro.

La relación entre la longitud de la pieza y la diferencia entre los diámetros de las tuberías tiene que ser lo mayor posible para reducir las pérdidas de carga singulares en estos elementos.

7. Desagües

7.1 Desagües de la red de riego

Para el vaciado de la red o de tramos aislados se han colocado desagües a lo largo de la red de distribución. En su colocación se ha tenido en cuenta que estuvieran situados en los puntos terminales de los perfiles de las tuberías descendentes y en los "mínimos" de dicho perfil. También se tiene en cuenta que exista una zona para su desagüe por gravedad.

Con la colocación de desagües se permite el vaciado y limpiado de la tubería mediante el escape violento de agua a través de estas válvulas.

Las dimensiones dependen del diámetro de la tubería y están compuestos por una válvula de esfera y una arqueta tal como se indica en plano.

7.2 Desagües fin de tramo

Al final de cada tramo de la tubería terciaria de cada módulo se colocará una prolongación de la misma con salida al exterior consistente en doble codo 90º con 1m. de tubería de 50mm de diámetro, con tape final macho roscado, todo en PVC.

Este desagüe permite la expulsión de elementos extraños en la red durante los primeros riegos al comenzar la campaña de riego para evitar obturaciones en los emisores, al igual que el vaciado de la red en caso de ser necesario.

8. Fertirrigación

La gran mayoría de los fertilizantes se pueden aplicar en forma sólida mediante abonadoras, salvo los cultivos que por su naturaleza o por su porte no permiten la entrada al cultivo con maquinaria en el momento de aplicar la dosis necesaria. Con lo cual tenemos la posibilidad de aplicarlo mediante el riego en el momento que se desee.

Una de las principales ventajas que presentan los riegos por aspersión es la posibilidad de aportar los nutrientes que precisan las plantas disueltos en agua de riego. A estas técnicas se las conoce con el nombre de fertirrigación. Pero no solo consiste en el aporte de abonos junto con el agua de riego sino también en el fraccionamiento y aplicación de los mismos en los momentos más idóneos para el desarrollo de las plantas.

La aplicación de fertilizantes con el agua de riego puede abaratar en gran medida los costes de la explotación reduciendo la mano de obra para su aplicación.

Para ello es necesario disponer de aparatos que permitan la inyección de abonos en la red de tuberías posibilitando el control de las cantidades de abono aplicadas y de la automatización del proceso.

En nuestro caso en vez de instalar unos depósitos de fertilizantes llevaremos el fertilizante mediante cubas que nos las proporcionaran las casas de fertilizantes. Así abaratamos relativamente el coste de la instalación de la red de riego.

8.1 Equipo de inyección

Ante las distintas posibilidades existentes en el mercado (inyectores Venturi, bombas dosificadoras eléctricas, bombas dosificadoras hidráulicas), se opta por la bomba hidráulica. En nuestro caso, como el depósito de fertilizante es móvil (cubeta remolque) se utilizara una bomba que sea de fácil montaje.

Las ventajas de este equipo inyector de fertilizantes y productos químicos son:

- Va accionado por un motor hidráulico que funciona con la propia presión hidráulica del sistema de riego.
- El inyector es resistente a los productos químicos usuales en agricultura.
- La cantidad a inyectar es fácilmente regulable.
- El inyector realiza su función de inyección en cualquier diámetro de la tubería.
- Su puesta en marcha y detención puede realizarse de forma manual o automática.

8.2 Características técnicas

- Caudal de inyección: según la presión en la tubería de alimentación del motor hidráulico.
- Presión de inyección: doble de la presión del agua que hace funcionar el motor hidráulico.
- Presión máxima de trabajo: 8Kg/cm².
- Presión mínima de trabajo: 1kg/cm².
- Consumo de agua: 3 veces el producto inyectado.
- Peso bruto: 5Kg.

8.3 Elementos y accesorios

- Dado que el caudal es proporcional a la presión de agua en la tubería de alimentación del motor eléctrico, este caudal se ajustará regulando dicha presión mediante una válvula manual de ¾", instalada en la tubería de alimentación mencionada.
- Válvula de purga de aire. Asegura que el aire que se acumula en la cámara de la bomba entre los ciclos de fertilización no evitará la operación normal de bombeo.
- Contador de productos químicos.

- Electroválvula instalada en la tubería de alimentación del motor hidráulico del inyector.

8.4 Automatización

Como el sistema de riego está automatizado la solución más idónea para controlar la cantidad del producto a inyectar es la de instalar un contador de productos químicos. Éste transmitirá la información al programa de riego el cual tendrá fijada en una base de datos la cantidad de producto químico a inyectar. Una vez determinada dicha cantidad el programador actuará sobre la electroválvula instalada en la tubería de alimentación del motor hidráulico del inyector cerrándola con lo que finalizará la inyección.

9. Contadores

Como indicamos en el apartado de fertirrigación, para su automatización es necesario un contador de productos químicos a la salida del inyector.

Las características hidráulicas para el contador proporcional de 3" o de diámetro de $\frac{3}{4}$ " de transmisión magnética son:

- Caudal nominal: 2.500 l/h.
- Caudal máximo: 5.000 l/h.
- Caudal mínimo: 200 l/h.
- Error caudal mínimo < caudal < caudal de transición (%): ± 5 .
- Caudal de transición < caudal < caudal de máximo (%): ± 2 .
- Presión nominal: 10atm.
- Temperatura máxima: 40º C.

Las características técnicas son:

- Cuerpo de PVC.
- Turbina y partes internas de polipropileno.
- Emisor de pulsos: Además de acumular datos de volumen de líquido, es necesario el envío de una señal eléctrica al programador para procesar la información concerniente a los caudales. El contador elegido puede dotarse de emisores de pulsos que proporciona un pulso cada 1litro, 10litros o 100litros. Las características del emisor son: Carga máxima 2VA, intensidad máxima 50mA y voltaje máximo 28V.

10. Programadores de riego

El programador de riego elegido permite realizar el control total de la red de riego activando de forma automática cada uno de los sectores de riego ya sea en base volumétrica o temporal. Asimismo controla la fertilización y la apertura o cierre de la instalación.

El programa almacena los diferentes parámetros de riego, tanto actuales como acumulados.

Las principales características de este programador son:

- Control simultáneo de varias líneas principales definidas por el usuario.
- Operación simple y fácil mediante teclado numérico y funcional y con pantalla de cristal líquido.
- La aplicación de agua y fertilizantes puede realizarse en base temporal o volumétrica.
- Menú de ayuda con información e instrucciones de funcionamiento en pantalla accesible desde cualquier punto del programa.
- Acumulación de cantidades de agua y fertilizantes aplicadas en cada válvula.
- Programas de riego independientes para cada válvula.
- Capacidad de actuación de las válvulas de forma manual.
- Batería auxiliar de mantenimiento de programas e información en el caso de fallo de la tensión de alimentación.
- Condiciones de arranque, paro y espera independientes para cada sistema de riego.
- Autotest y programa de diagnóstico tanto para el hardware como para el software.
- Capacidad de comunicación con un ordenador central vía cable o vía radio.

El modelo de programador elegido es el "AGRONIC 2000", que posee 6, 12, 18 hasta 26 salidas configurables para sectores de riego, limpieza de hasta 9 filtros, 2 fertilizantes, 2 agitadores y una salida para más 5 de entradas condicionales. Permite la posibilidad de enlace al ordenador personal. Dado que para la instalación de riego que se proyecta, que posee 33 submódulos de riego además de válvulas de los hidrantes.

Este programador se alimenta a 240 V CA y opcionalmente a 12 V DC.

Se colocará en una caseta de bombeo.

11. Grupo electrógeno

Tanto la bomba sumergida, la bomba inyectora como el programador de riego vienen alimentados por un grupo electrógeno que necesitará la siguiente potencia:

- Grupo electrobomba: 95,4Kw
- Bomba inyectora: 0,59Kw
- Programador de riego: 0,12Kw
- Total potencia necesaria: **96,11Kw**.

Potencia necesaria grupo electrógeno:

$$N_n = N_u / \eta_g$$

- $96,11 / 0,8 = \mathbf{120,14Kw}$

Se instalará un grupo electrógeno de gasoil que tenga una potencia de **120Kw (150 Kva)**.

12. Automatismo de la red de riego

Están formados por todo el conjunto de elementos que hacen que: las válvulas se abran y cierren de forma automática por medio de la orden del programador de riego, o la diferencia de presión entre dos presostatos. Por lo que por cada válvula se necesitan los siguientes elementos:

- Llave de tres vías, conecta el diafragma de la válvula hidráulica con la atmósfera (comando manual) o con el solenoide de control de la misma, (comando automático).
- Solenoide, llave de respuesta si o no, en función del impulso que le llega del ordenador, es un electroimán que actúa sobre un eje longitudinal, a la vez que este envía el paso de agua o vaciado a la llave de tres vías, la cual actúa sobre la válvula.
- Microtubos de comando, tubos de polietileno de 8 mm que conectan las válvulas, llaves y solenoides entre sí para las distintas funciones

antes descritas, (llenado y vaciado del diafragma de las válvulas hidráulicas) por ellos circula agua de la misma red de riego. Se instalan a la vez que las tuberías, en las mismas zanjas y se cubren a la vez que estas.



Universidad
Zaragoza

Proyecto Fin de Carrera

Puesta en riego por aspersión con cobertura total
enterrada en el término municipal de Piracés
(Huesca)

ANEJO 10. CÁLCULOS DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO

CÁLCULOS DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO

ÍNDICE DEL ANEJO 10

	Pág.
1. Introducción	2
2. Descripción de la caseta de bombeo	2
3. Descripción de los elementos.....	3
4. Cálculo de la tubería primaria.....	4
5. Dimensionamiento de la estación de bombeo.....	4
5.1 Potencia necesaria de la instalación de bombeo.....	7
5.2 Elección del equipo de bombeo.....	9
6 Estudio de la cavitación.....	11
6.1 Cálculo de la altura neta de aspiración (NPSH(A)).....	11
7 Cálculo del golpe de ariete en la instalación de bombeo.....	12
7.1 Cálculo del tiempo de parada de la bomba.....	12
7.2 Cálculo de la celeridad de la onda y de la longitud crítica.....	13
7.3 Cálculo de la sobrepresión debida al golpe de ariete.....	14
7.4 Elección del timbraje.....	15
7.5 Absorción del golpe de ariete.....	15

1. Introducción

En este anejo se va a diseñar y calcular la instalación de bombeo necesaria para la puesta en riego de la finca. Vamos aprovechar una balsa que ya está hecha con anterioridad. Ésta será llenada mediante un conjunto de acequias desde la acequia de La Lera, la cual nos trae el agua de la acequia del Flúmen que a su vez procede de los pantanos de La Sotonera y de El Grado.

La balsa podrá ser llenada cuando lo estimemos oportuno o necesario teniendo en cuenta que hay que solicitar el agua a la Comunidad de Regantes de Piracés con tres días de antelación al día que deseemos llenarla. La Comunidad de Regantes de Piracés se ocupa de hacer las gestiones relacionadas con la solicitud o petición del agua a Confederación Hidrográfica del Ebro.

El caudal de agua a impulsar es de 60,99l/s, que corresponde al módulo de riego que requiere mayor caudal (H, I, J, K Y L).

La oscilación de cotas del embalse (cuya cota mínima es de 323,27 m y su cota máxima es de 328,27) es de 5m.

La longitud de la tubería primaria es de 238,37m.

2. Descripción de la caseta de bombeo

Se trata de una caseta de planta cuadrada, con tejado a un agua, con unas dimensiones de:

- Anchura de la caseta: 4m
- Longitud de la caseta: 4m
- Altura máxima de la caseta: 2,80m
- Altura mínima de la caseta: 2m

La caseta constará de:

- Una solera de hormigón en masa H-125 con unas medidas de 4 x 4.
- Las paredes serán de bloque de hormigón de 20 x 20 x 40. En las cuatro esquinas colocaremos los bloques de hormigón, los rellenamos con hormigón y colocaremos cuatro varillas de hierro de \varnothing 10, las cuales irán desde la solera hasta el tejado, uniendo todos los bloques y así nos servirá para hacer de pilar.

- El tejado tendrá una pendiente del 20%. Será de placas onduladas de fibrocemento, la cual irá unida mediante unos tornillos a unas correas que estarán a una distancia de 70cm una de la otra y estarán sujetas a las paredes.
- Una puerta metálica de hojas abatibles con unas dimensiones de 1,80metros de altura y 0,8m de anchura.
- Una ventana aluminio.

En el interior de esta caseta tendremos todos los elementos necesarios para el bombeo del agua como son filtros, codos, válvulas, etc. También se encontrará dentro un depósito de gasoil de 2000l y el grupo electrógeno.

En una de las paredes o bien en el tejado se hará un orificio para poder sacar el tubo de escape del grupo.

3. Descripción de los elementos

El bombeo se va a realizar desde la balsa de riego que tenemos dispuesta. La bomba será instalada en el fondo de la balsa a nivel de cota mínima del embalse que es de 323,27m.

La bomba sumergida y el motor irán fijados en una plataforma. Mediante unas ruedas dicha plataforma será guiada sobre raíles compuestos por vigas de acero IPE 100.

Las vigas que conforman los raíles estarán ancladas al suelo con hormigón armado dejando una separación de 3m entre anclaje y anclaje. Los anclajes donde irá soldada la viga tendrán un metro de profundidad.

La bomba irá unida a los tubos de la tubería primaria, que serán de hierro, hasta la caseta de bombeo. Si la bomba se estropea o por cualquier circunstancia fuera necesario retirarla del fondo de la balsa, se tirará de dichos tubos y la bomba subirá mediante el rail.

Los tubos de la tubería primaria que van desde la bomba a la caseta de bombeo será de hierro y los que van desde la caseta de bombeo a la tubería secundaria serán de PVC.

Al inicio de la tubería primaria después de la bomba irá colocada una válvula de retención. En la caseta de bombeo colocaremos una válvula de mariposa, un filtro de malla y una segunda válvula de mariposa, en ese orden, para que, si hubiera que quitar el filtro alguna vez, se cierren las válvulas de mariposa y no pueda salir el agua de la tubería.

4. Cálculo de la tubería primaria

Se establece como buen criterio que para tuberías de longitud moderada (entre 100 y 250 metros) se puede trabajar con velocidades en torno a 2m/s.

Teniendo en cuenta que el caudal a impulsar es de 0,06099m³/s y que la velocidad dentro de la tubería sea de 2m/s aplicamos la siguiente fórmula:

$$D = \sqrt{[(4 * Q) / (\pi * V)]}$$

Siendo:

- **D** = Diámetro (m)
- **Q** = Caudal a impulsar (m³/s)
- **V** = Velocidad (m/s)

Por lo tanto:

$$D = \sqrt{((4 * 0,06099) / (\pi * 2))} = 0,19704\text{m}$$

Se obtiene un diámetro teórico de 197,04mm, por lo que se usará una tubería de hierro desde la bomba hasta la caseta de bombeo y otra de PVC desde la caseta hasta la tubería secundaria. Esta última tubería será de PVCØ250 PN 6 (diámetro interior de 235,4mm).

La velocidad real con la tubería elegida se calcula con la fórmula:

$$V = (4 * Q) / (\pi * D^2)$$

Sustituyendo en la expresión:

$$V = (4 * 0,06099) / (\pi * 0,2354^2) = 1,4\text{m/s}$$

Por lo que la velocidad real con la tubería elegida será de 1,4m/s.

5. Dimensionamiento de la estación de bombeo

Para calcular los elementos que constituyen la instalación de bombeo se hace necesario conocer los siguientes datos de partida:

- Caudal a impulsar: 0,06099m³/s = 219,56m³/h
- Densidad del agua (ρ): 1000kg/m³

- Cota de aspiración: 323,27m
- Cota de descarga: 328,27m
- Longitud de la tubería de impulsión: 238,37m
- Diámetro de la tubería de primaria (D): 235,4mm
- Temperatura de cálculo: 15º C.
- Velocidad media del agua: 1,4m/s
- Altura de presión necesaria en el punto de descarga: 45mca

Para dimensionar la instalación tenemos que determinar la altura manométrica de elevación. Esta altura se expresa mediante la expresión siguiente:

$$H_{me} = H_a + h_a + H_i + h_i$$

Donde:

- **H_{me}** = Altura manométrica de elevación
- **H_a** = Altura geométrica de aspiración.
- **h_a** = Pérdidas de carga producidas en la aspiración.
- **H_i** = Altura geométrica de la impulsión.
- **h_i** = Pérdidas totales de carga producidas en la impulsión.

Al tratarse de una bomba sumergida donde la cota de aspiración coincide con el eje de la bomba, tendremos una altura geométrica de aspiración (H_a) nula y por lo tanto las pérdidas de carga producidas por la aspiración (h_a) se pueden despreciar, por lo que H_a = 0 y h_a = 0.

La altura geométrica de la impulsión (H_i) es la diferencia de cotas de aspiración y descarga de la bomba, por lo que H_i = 5 m.

Conociendo que las pérdidas totales de carga producidas en la impulsión (h_i) son la suma de las pérdidas producidas por rozamiento continuo (h_{ri}) y singulares (h_{si}) procedemos a continuación al cálculo de las mismas.

Cálculo de las pérdidas de carga por rozamiento continuo (h_{ri})

1) Se calcula el nº de Reynolds a partir de los datos de:

- velocidad = 1,4m/s
- diámetro de la tubería = 0,2354m
- viscosidad del agua a 15º C = 1,14 * 10⁻⁶

$$Re = (D * V) / \nu$$

Sustituyendo en la expresión:

$$Re = (0,2354 * 1,4) / 1,14 * 10^{-6} = 289367$$

Por lo que el número de Reynolds es 289367.

- 2) Una vez calculado el número de Reynolds se procede al cálculo del factor de fricción (f) mediante la fórmula logarítmica de Jain (para el hierro, K = 0,15mm):

$$1 / \sqrt{f} = -2\log ((5,73 / Re^{0,9}) + (K / (3,71 * D)))$$

Sustituyendo y despejando en la expresión:

$$1 / \sqrt{f} = -2\log (5,73 / 2893670,9) + (0,15 / (3,71 * 0,2354)))$$

El factor de fricción es $f = 0,015$

- 3) Ahora se pasa al cálculo de las pérdidas de carga por rozamiento continuo (hri) mediante la fórmula universal de Darcy-Weisbach:

$$h_{ri} = J * L = f * (L / D) * (V^2 / 2g)$$

Sustituyendo:

$$h_{ri} = 0,015 * (238,37 / 0,2354) * (1,4^2 / 2 * 9,81) = 1,5579\text{mca}$$

Por lo que finalmente las pérdidas de carga por rozamiento continuo son $h_{ri} = 1,558\text{mca}$.

Cálculo de las pérdidas de carga singulares (hsi)

Las pérdidas de carga singulares se estiman en un 10% de las pérdidas debidas al rozamiento continuo cuando la equidistancia media entre piezas singulares es menos que mil veces el diámetro de la tubería:

$$h_{si} = 0,1 * 1,5579 = 0,1558\text{mca}$$

De esta forma las pérdidas de carga singulares son $h_{si} = 0,1558\text{mca}$.

Como se ha dicho anteriormente, las pérdidas de carga totales producidas por la impulsión (h_i) se calculan sumando las pérdidas de carga por rozamiento continuo (h_{ri}) y las pérdidas de carga singulares (h_{si})

$$h_i = h_{ri} + h_{si}$$

Sustituyendo:

$$h_i = 1,558 + 0,1558 = 1,7136\text{mca}$$

Por lo que las pérdidas de carga totales producidas por la impulsión son $h_i = 1,7136\text{mca}$

Finalmente pasamos a determinar la altura manométrica de elevación (Hme) que, como se ha dicho anteriormente, la calculamos mediante la siguiente expresión:

$$\mathbf{Hme = Ha + ha + Hi + hi}$$

Donde:

- **Hme** = Altura manométrica de elevación
- **Ha** = Altura geométrica de aspiración.
- **ha** = Pérdidas de carga producidas en la aspiración.
- **Hi** = Altura geométrica de la impulsión.
- **hi** = Pérdidas totales de carga producidas en la impulsión.

Procedemos a sustituir los valores que hemos calculado anteriormente:

$$Hme = 0 + 0 + 5 + 1,7136 = 6,7136\text{mca}$$

La altura manométrica de elevación es $Hme = 6,7136\text{mca}$.

A este dato hay que añadir los 45mca que necesitamos para el buen funcionamiento de la instalación en la caseta de control de mandos, los 0,2mca procedentes de las pérdidas de carga ocasionadas por la válvula de retención y los 4mca procedentes de las pérdidas de carga ocasionadas por el equipo de filtración situado en la tubería primaria:

$$Hme = 6,7136 + 45 + 0,2 + 4 = 55,9136\text{mca}$$

La altura manométrica de elevación es $Hme = 55,9136\text{mca}$.

5.1 Potencia necesaria de la instalación de bombeo

1) Vamos a calcular lo primero la potencia útil del grupo motobomba (N_u) mediante la siguiente expresión:

$$\mathbf{N_u = (Q * \rho * Hme) / 75}$$

Donde:

- N_u = Potencia del grupo de bombeo, en CV

- Q = Caudal a elevar por cada bomba, en m^3/s
- H_{me} = Altura manométrica de elevación, en m
- ρ = Densidad del agua, en Kg/m^3

Con lo cual:

$$N_u = (0,06099 * 1000 * 55,9136) / 75 = 45,47CV$$

La potencia útil del grupo motobomba resulta $N_u = 45,47CV$.

- 2) Para que la bomba pueda aportar la potencia útil del grupo motobomba (N_u) al flujo es necesario que reciba una potencia algo superior en su eje de accionamiento de tal manera que se puedan compensar los rendimientos. Así surge la potencia en el eje de la bomba (N_{eje}), que es la que deja disponible el motor para ser aprovechada por la bomba a la hora de transmitir la potencia útil y vencer rozamientos y pérdidas de carga (μ_B). Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$N_{eje} = N_u / \mu_B$$

Donde:

- N_{eje} = Potencia en el eje de la bomba (CV)
- N_u = Potencia útil del grupo motobomba (CV)
- μ_B = Compensación por rozamientos y pérdidas de carga

Sustituyendo:

$$N_{eje} = 45,47 / 0,80 = 56,84CV$$

La potencia en el eje de la bomba es $N_{eje} = 56,84CV$.

- 3) Para que el motor de accionamiento deje disponible una potencia en el eje de la bomba (N_{eje}) igual a la calculada anteriormente es necesario que absorba una potencia eléctrica superior de manera que se compensen los rozamientos mecánicos y las pérdidas eléctricas en ese motor. Esos rozamientos y pérdidas se evalúan a través del rendimiento del motor (η_m) de tal manera que la potencia del motor (N_{motor}) se calcula con la siguiente fórmula:

$$N_{motor} = N_{eje} / \eta_m$$

Donde:

- N_{motor} = potencia del motor (CV)
- N_{eje} = potencia en el eje de la bomba (CV)
- η_m = rendimiento de motor (%)

Por lo tanto:

$$N_{\text{motor}} = 56,84 / 0,75 = 75,78\text{CV}$$

La potencia del motor será $N_{\text{motor}} = 75,78\text{CV}$.

5.2 Elección del equipo de bombeo

Para cubrir las necesidades de la instalación tanto en caudal como en altura manométrica se necesita un equipo de bombeo que proporcione:

- un **caudal total de $219,56\text{m}^3/\text{h}$** ,
- una **altura manométrica de $55,91\text{mca}$** ,
- una **potencia de motor de $75,78\text{CV}$** aproximadamente 76CV.

Con estos datos vamos a los diferentes catálogos comerciales y elegimos las electrobombas con la siguiente potencia calculada a continuación:

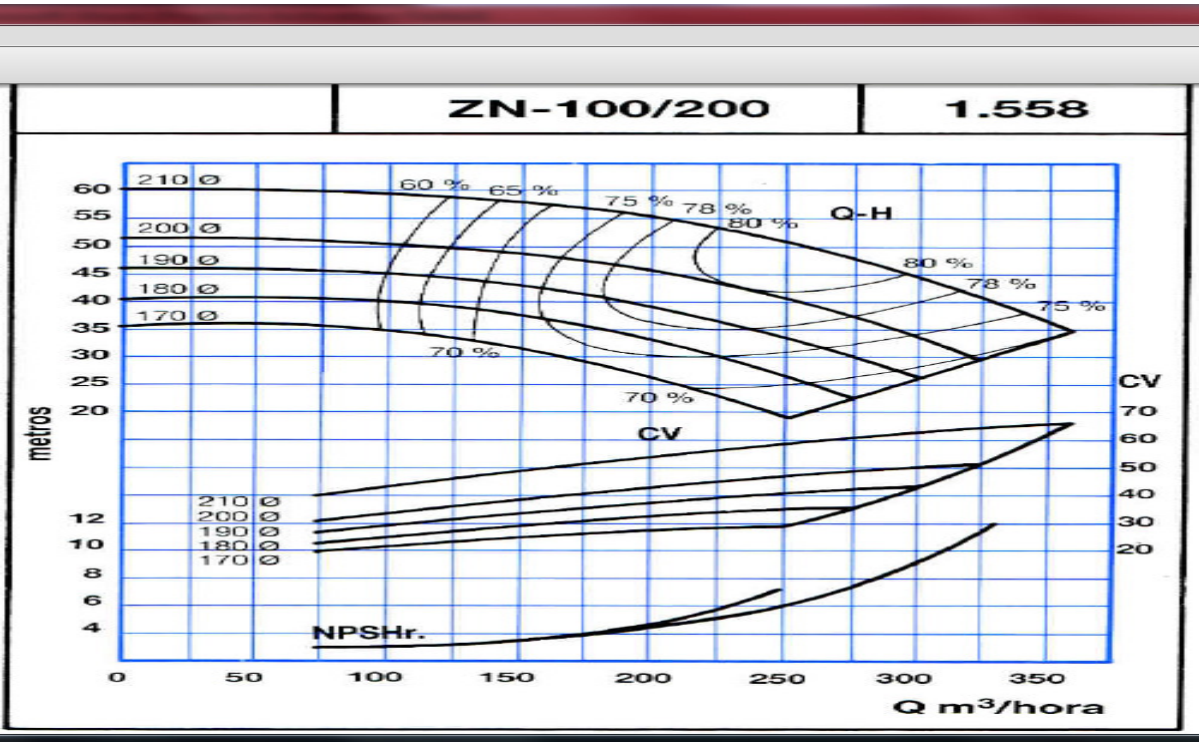
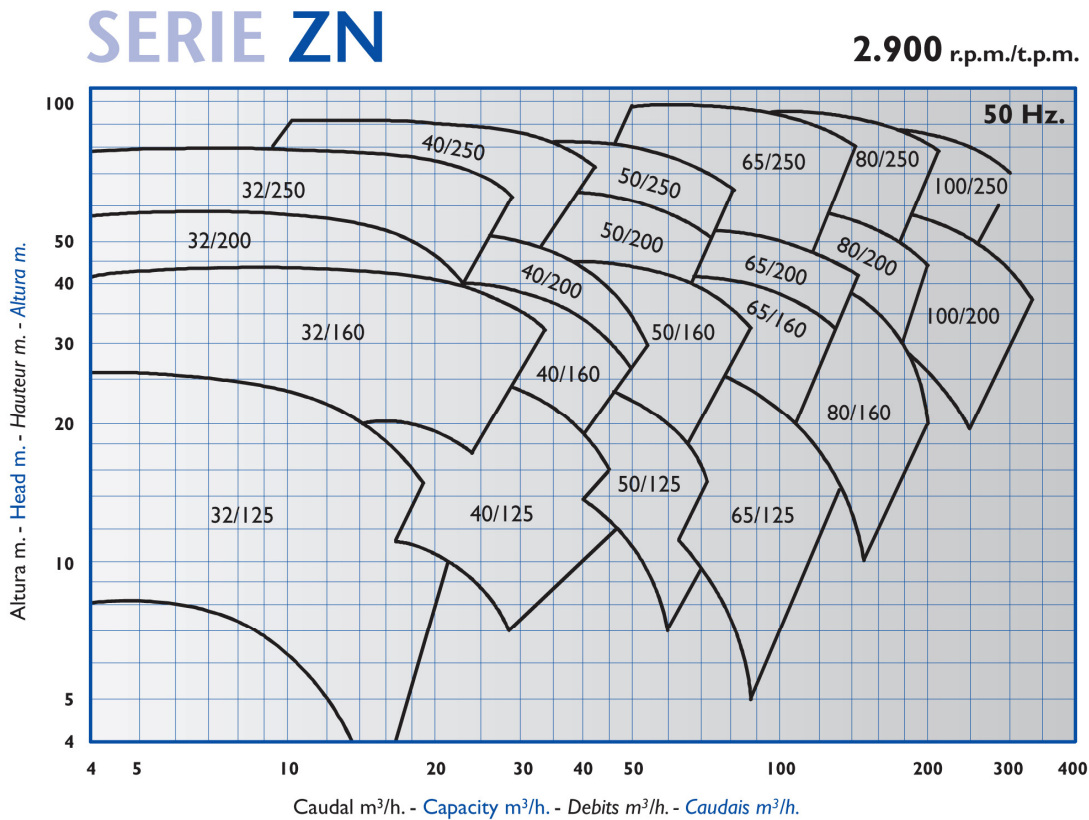
$$75,78\text{CV} / 0,735 = 103,03\text{kw}$$

$$103,03\text{kw} / 0,8 = \mathbf{128,79\text{Kw}}$$

Los catálogos consultados son de **Bombas Zeda**, del cual hemos sacado las siguientes tablas.

En la primera tabla con la altura de elevación, que en nuestro caso es de **$55,91\text{mca}$** , y el caudal de agua que necesita elevar la bomba, que es de **$219,56\text{m}^3/\text{h}$** , sacamos que la bomba que necesitamos es la de **$100/200$** .

Después nos pasamos a la segunda tabla y sacamos que tiene un rendimiento de 75%, unos 50CV y una NPSHr, de 6.



Las características de la bomba son:

- Caudales hasta 400m³/h
- Alturas hasta 95metros
- Velocidad 1.500/3.000rpm
- Temperatura desde -30° C hasta + 105° C
- Cierre del eje: Empaquetadura o cierre mecánico
- Sentido de giro: A derechas visto desde el accionamiento

Presión de trabajo:

- La presión de prueba estática es 1,5 veces la presión dinámica.
- Presión mínima de prueba 10Kg/cm².
- Para presiones de prueba superiores, y bajo demanda, ejecuciones en Fundición Nodular, Acero, etc.

6 Estudio de la cavitación

6.1 Cálculo de la altura neta de aspiración (NPSH(A))

Para realizar este cálculo se necesita conocer la temperatura máxima a la que se estima puede funcionar la bomba en servicio normal, se estima en 10° C.

Se calcula el NPSH(A) en la elevación: Y

$$\text{NPSH(A)} = (\text{Patm} / Y) - \text{Ha} - \text{ha} - \text{hv} - \text{ht}$$

Donde:

- (Patm / Y) = Presión atmosférica absoluta a nivel del mar, en mca.
- Ha = Altura geométrica de aspiración, en m.
- ha = Pérdidas de carga totales en aspiración, en mca.
- hv = Presión a la que se produce la evaporación del agua considerando la temperatura ambiente a la que funcionará la bomba.
- ht = Reducción de la presión atmosférica absoluta debido a la altitud sobre el nivel del mar.

Ha en nuestro caso siempre será un valor positivo o cero en el peor de los casos, es decir las bombas están en carga. Así pues:

$$\text{NPSH(A)} = 10 - 0 - 2 - 0,5 - 0 = \underline{\underline{7,5 \text{ mca.}}}$$

No existe cavitación en el caso de que $NPSH(A) > NPSH_r$.

En nuestro caso ($NPSH(A) = 7,5 \text{ mca} > (NPSH_r = 6)$). Con lo cual no existe cavitación.

7 Cálculo del golpe de ariete en la instalación de bombeo

Con la parada del grupo de impulsión y el cierre violento de válvulas se produce en la tubería primaria una sobrepresión denominada golpe de ariete. Para compensar esta sobrepresión deben dimensionarse mecanismos que lo amortigüen e instalar en lo posible elementos singulares que reduzcan la producción del mismo como pueden ser válvulas de cierre lento.

7.1 Cálculo del tiempo de parada de la bomba

La expresión de **E. Mendiluce** nos define el tiempo de parada de la bomba (T) de la siguiente manera:

$$T = ((K * L * V) / (g * H_{me})) + C$$

Donde:

- K = Coeficiente de ajuste que depende de la longitud de la tubería de impulsión.
- C = Coeficiente de ajuste que depende de la pendiente hidráulica de la impulsión.
- V = Velocidad del agua, en m/s.
- L = Longitud de la tubería de impulsión, en m.
- g = Aceleración de la gravedad, 9,81 m/s².
- H_{me} = Altura manométrica de impulsión, en m.

Coeficiente de ajuste K

K	Longitud de la tubería (m)
2	< 500
1,75	=500
1,5	500 < L < 1500
1,25	=1500
1	>1500

Coeficiente de ajuste C

$$C = H_m / L$$

$$C = 55,91 / 238,37 = 0,234$$

Este valor de C de 0,234 lo miramos en una tabla del catálogo de bombas y sacamos el tanto por cien y sale un valor de **0,5**.

$$T = ((2 * 238,37 * 1,40) / (9,81 * 55,91)) + 0,5 = 0,87 \text{ segundos}$$

El tiempo de parada de la bomba es $T = 0,87s$

7.2 Cálculo de la celeridad de onda y de la longitud crítica

Con la siguiente expresión definimos la celeridad de la onda y la velocidad a la cual se propaga:

$$a = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + K \frac{D}{e}}}$$

Donde:

- a = celeridad de la onda (m/s)
- D = Diámetro interior del tubo, en mm
- e = Espesor del tubo, en mm
- K = Coeficiente que depende del material de la tubería, para este caso $K = 33,3$

Coeficiente K

Materiales	Valor de K
PVC	33,3
Acero	0,5
Fibrocemento	5-6
Fundición	1

Celeridad de la onda

$$a = 9900 / \sqrt{(48,33) + (33,3 * 235,4 / 14,6))} = 409,24 \text{ m/s}$$

Así pues:

- Si se cumple que $T < 2L / a$, siendo L la longitud de la tubería en m, se trata de un cierre rápido y se utiliza la fórmula de Allievi.

- Si se cumple que $T > 2L / a$, siendo L la longitud de la tubería en m, se trata de un cierre lento y se utiliza la fórmula de Michaud.

En este caso:

$$2L / a = (2 * 58,58) / 411,28 = 0,284s$$

$$T = 0,87s$$

$$T > 2L / a$$

Por lo tanto $T > 2L / a$ y se trata de un cierre lento por lo que se utiliza la fórmula de Michaud.

La longitud crítica de la onda (L_c) viene dada por la siguiente expresión:

$$L_c = (a * T) / 2$$

$$L_c = (411,28 * 0,87) / 2 = \underline{\underline{178,91m}}$$

Se trata pues de una impulsión corta, ya que la longitud de la primaria es menor que la longitud crítica.

7.3 Cálculo de la sobrepresión debida al golpe de ariete

Utilizamos la fórmula de Michaud:

$$\Delta H = (2 * L * V) / (g * T)$$

Donde:

- **L** = Longitud de la tubería de impulsión, en m
- **V** = Velocidad del agua, en m/s
- **T** = Tiempo de parada de la bomba
- **g** = Aceleración de la gravedad = 9,81 m/s²

$$\Delta H = (2 * 58,58 * 1,71) / (9,81 * 0,87) = \underline{\underline{23,47 \text{ m. c. a}}}$$

Con lo cual la presión máxima que se produce en la tubería cuando se para la bomba es de:

$$P_{max} = H_{me} + \Delta H = 54,97 + 23,47 = \underline{\underline{78,44 \text{ m.c.a.}}}$$

7.4 Elección del timbraje

La válvula de retención se sitúa al inicio de la tubería primaria por ello la presión estática máxima coincide con la diferencia de cota que ha de vencer la bomba. Disponiendo de un timbraje de 0,6MPa sería suficiente para que no hubiera problemas causados por un exceso de presión dado que la presión máxima que se produce en la tubería cuando se paren las bombas es de **78,44mca.**

7.5 Absorción del golpe de ariete

Colocaremos una válvula de retención de 250mm de diámetro de disco partido de PN6 en el comienzo de la tubería primaria a la salida de la bomba. De esta manera protegeremos la conducción contra las posibles sobrepresiones de una manera fácil y económica y minimizamos el golpe de ariete aunque en nuestro caso es mínimo.



Universidad
Zaragoza

Proyecto Fin de Carrera

Puesta en riego por aspersión con cobertura total
enterrada en el término municipal de Piracés
(Huesca)

ANEJO 11. ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA

ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA

ÍNDICE DEL ANEJO 11

	Pág.
1. Introducción.....	2
2. Situación actual.....	2
3. Datos considerados para el estudio económico.....	3
3.1 Rendimientos de los cultivos sembrados.....	3
3.2 Subvención de la PAC.....	3
3.3 Precio de las producciones de los cultivos.....	3
4. Coste de producción de los cultivos.....	4
5. Ingresos anuales.....	7
6. Flujo destruido.....	8
7. Coste del agua de riego.....	8
8. Estudio de rentabilidad de la inversión.....	9
8.1 Consideraciones previas.....	9
8.2 Estudio de rentabilidad.....	11
8.3 Estudio de viabilidad.....	12
9. Conclusiones.....	13

1. Introducción

En este anejo vamos a analizar la viabilidad económica del proyecto. Analizaremos varios ratios económicos los cuales nos dirán si es rentable o no la inversión.

Vamos a calcular los siguientes ratios como son:

- **VAN** (Valor Actual Neto) nos indica la rentabilidad absoluta.
- **TIR** (Tasa Interna de Rentabilidad) nos indica la rentabilidad relativa.

El **VAN** nos dice si una inversión es rentable cuando el valor es mayor de cero.

El **TIR** es el tipo de interés que hace que el VAN de la inversión sea igual a cero. Representa las unidades monetarias que se ganan anualmente por cada unidad monetaria invertida.

Para calcular los ratios citados anteriormente se considera una vida útil de la inversión de 25 años sobre el cual se define la corriente de pagos y cobros analizando toda su superficie en conjunto.

La rotación de cultivos se repite cada 10 años, como bien se indica en el anejo 5 con lo cual será 2,5 ciclos.

Los precios de los productos pertenecen a datos de las campañas de los años anteriores; se tendrán en cuenta los ingresos provenientes de la PAC previstos por la AGENDA 2011, ya que los precios de los productos varían y este año puede ir más cara o más barata la producción que los años próximos.

2. Situación actual

En la actualidad la finca objeto de modernización se cultiva trigo blando, cebada, maíz, alfalfa, girasol. Ya que nos encontramos en una zona con climatología adecuada para los cultivos y en una zona de regadío, aunque actualmente es riego a manta. Los rendimientos son buenos aunque son inferiores comparándolo si el riego fuera por aspersión, como deseamos que sea una vez hecho este proyecto.

Por los motivos expresados en el anejo 1 se plantea la necesidad de transformar la finca objeto de este proyecto y así de esta forma aumentar los rendimientos de la misma.

3. Datos considerados para el estudio económico

3.1 Rendimientos de los cultivos sembrados

Se consideran los siguientes datos a la hora de calcular el flujo destruido. Los rendimientos medios que se obtienen son:

Cultivo	Grano (Tm/ha)	Paja (Tm/ha)
Trigo blando	4,5	2,4
Cebada	4	2,1
Maíz	11	-
Girasol	2	-

Cultivo	(Tm/ha)
Alfalfa	12,5

3.2 Subvención de la PAC

La parcela en la cual vamos a realizar la transformación a riego por aspersión está en el término municipal de Piracés, perteneciente a la comarca de la Hoya de Huesca.

La subvención que está recibiendo dicha parcela es el pago único que engloba una media de la subvención recibida en los años 2000, 2001 y 2002, más el desacoplamiento que estos años te pagaban.

En conclusión la subvención es siempre la misma indistintamente del cultivo que se siembre.

Con lo cual el pago único depende de lo que la parcela estuviera sembrada esos tres años 2000, 2001, 2002.

Pago único: **260 €/ha**

3.3 Precio de las producciones de los cultivos

El precio de la producción no es un precio fijo todos los años ni a lo largo del mismo año. Se producen muchas fluctuaciones, tanto subidas

como bajadas. Por este mismo motivo se va a hacer una media de los precios tomados como referencia años anteriores.

Los valores son los siguientes:

Cultivo	Precio (€/Tm)
Trigo blando	156
Cebada	139
Maíz	180
Girasol	225,65
Guisante	570,96
Alfalfa(clase 1º)	100
Veza forrajera	80

4. Coste de producción de los cultivos

Coste de producción del Trigo blando	
Labores	€/ha
Subsolador	60
Grada de discos	30
Cultivados-molón	28
Semilla (210 Kg/ha a 0,27 €/ha)	56,7
Sembrar	18
Aplicación de herbicidas, insecticidas y producto.	27
Abono (300kg/ha a 0,28€/kg)	84
Urea 46% (150kg/ha a 0,20€/kg)	30
Aplicación de fertilizantes	9
Agua de riego	15
Recolección	60
Transporte	5
Impuestos, I.B.I, , seguros, etc	18,8
TOTAL (€/ha)	441,5
Sp (ha)	41,943001
TOTAL (€)	18517,83

Coste de producción de la cebada	
Labores	€/ha
Subsolador	60
Grada de discos	30
Cultivados-molón	28
Semilla (200 Kg/ha a 0,24 €/ha)	48
Sembrar	18
Aplicación de herbicidas, insecticidas y producto.	27
Abono (300kg/ha a 0,28€/kg)	84
Urea 46% (150kg/ha a 0,20€/kg)	30
Aplicación de fertilizantes	9
Agua de riego	10
Recolección	60
Transporte	5
Impuestos, I.B.I, , seguros, etc	18,8
TOTAL (€/ha)	427,8
Sp (ha)	41,943001
TOTAL (€)	17943,22

Coste de producción del Maíz	
Labores	€/ha
Subsolador	60
Grada de discos	30
Cultivados-molón o rotovator	28
Desinfección de suelo	5
Semilla (80000plantas/ha a 3€ 1000 plantas)	240
Sembrar	36
Aplicación de herbicidas, insecticidas y producto.	30
Abono (900kg/ha a 0,28€/kg)	252
Inyección de nitrato en red de riego (700kg/ha a 0,22€/kg)	154
Aplicación de abono	9
Agua de riego	45
Recolección	60
Transporte	10
Impuestos, I.B.I, , seguros, etc	20
TOTAL (€/ha)	979
Sp (ha)	41,943001
TOTAL (€)	41062,20

Coste de producción del Girasol	
Labores	€/ha
Subsolador	60
Grada de discos	30
Cultivados-molón o rotovator	28
Desinfección de suelo	9
Semilla (70000plantas/ha a 100€ 150000 plantas)	46,6
Sembrar	36
Aplicación de herbicidas, y producto.	30
Abono (250kg/ha a 0,28€/kg)	70
Aplicación de abono	9
Agua de riego	10
Recolección	60
Transporte	5
Impuestos, I.B.I, , seguros, etc	20
TOTAL (€/ha)	413,6
Sp (ha)	41,943001
TOTAL (€)	17347,63

Coste de producción del alfalfa	
Labores	€/ha
Subsolador	60
2Cultivados-molón o rotovator	48
Desinfección de suelo	9
Semilla (30kg/ha a 4€/kg)	120
Sembrar	18
Aplicación de insecticidas, y producto (5años)	300
Abono (500kg/ha a 0,28€/kg)	140
Abono de mantenimiento (400kg/ha * 4 años)	336
Aplicación de abono	36
Agua de riego	50
Trabajos de segar, rastrillar, recoger..(5(cortes/año)*5años)	1876,89
Impuestos, I.B.I, , seguros, etc	20
TOTAL (€/ha)	3013,89
Sp (ha)	41,943001
TOTAL (€)	126411,59

Coste de producción del Guisante	
Labores	€/ha
Subsolador	60
Fresadora	28
Cultivados-molón	28
Semilla (30kg/ha a 6€/kg)	180
Sembrar con sembradora a golpes	30
Aplicación de insecticidas, y producto.	40
Abono (400kg/ha a 0,28€/kg)	112
Aplicación de abono	9
Agua de riego	20
Recolección	60
Transporte	10
Impuestos, I.B.I, , seguros, etc	20
TOTAL (€/ha)	597
Sp (ha)	41,943001
TOTAL (€)	25039,97

Coste de producción de Veza- forrajera	
Labores	€/ha
Subsolador	60
Grada de discos	30
Cultivados-molón o rotovator	28
Semilla (50kg/ha a 0,3€/kg)	15
Sembrar	15
Aplicación de insecticidas, y producto.	30
Abono (200kg/ha a 0,28€/kg)	56
Aplicación de abono	9
Agua de riego	16,44
Recolección	40
Transporte	10
Impuestos, I.B.I, , seguros, etc	20
TOTAL (€/ha)	329,44
Sp (ha)	41,943001
TOTAL (€)	13817,70

5. Ingresos anuales

Los ingresos anuales se deben a la venta de la producción del cultivo y a las subvenciones de la PAC. El precio de los productos puede variar de un año a otro y también dentro del mismo año, por eso se ha tomado una media de los precios del año 2010.

Para los cultivos que se han tenido en cuenta en la rotación, los ingresos que se obtienen son los siguientes:

Cultivo	Producción (Tm/ha)	Precio (€/Tm)	Ingresos (€/ha)	Ayuda PAC (€/ha)	TOTAL (€/ha)
Trigo Blando	Grano: 5 Paja: 2,4	156 30,05	780 72,12	260	1112,12
Cebada	Grano: 4,5 Paja: 2,1	139 30,05	625,5 63,11	260	948,61
Maíz	12	180	2160	260	2420
Girasol	3,5	225,65	789,77	260	1049,7
Alfalfa	15	100	1500	260	1760
Guisante	2,5	570,96	1427,4	260	1687,4
Veza forrajera	3,5	80	280	260	540

6. Flujo destruido

Es el valor de los rendimientos que se obtienen en la situación actual. Este flujo destruido se calcula a partir de los costes de producción y de los ingresos que se obtienen.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

Cultivo	Coste (€/ha)	Ingresos (€/ha)	Flujo destruido (€/ha)	Superficie (ha)	Total flujo destruido (€)
Trigo	441,5	1034,12	592,62	41,94	24856,26
Cebada	427,8	879,10	451,30	41,94	18928,88
Maíz	979	2240,00	1261,00	41,94	52890,12
Girasol	413,6	711,30	297,70	41,94	12486,43
Alfalfa (los 5 años)	3013,89	6510,00	3496,11	41,94	146637,35
TOTAL					255799,04

Los datos de precios y costes considerados para el cálculo del flujo destruido son los expuestos en apartados anteriores.

7. Coste del agua de riego

Estos son los costes originados por el canon de la comunidad de regantes, el agua consumida y el gasto de elevar el agua.

Canon, derramas y cuotas de la comunidad de regantes es de 34 €/ha. Como nuestra explotación tiene 41,94ha, el coste anual del canon, derramas y cuotas es de 1426,06203€.

El precio del agua consumida es de 5 € por cada 1000m³ de agua elevada. Para realizar el cálculo de este coste y debido a que en todos los años no se producen las mismas necesidades de los cultivos, se realiza para cada año el cálculo correspondiente, según las siguientes necesidades.

Cultivo	Consumo anual (mm)	Consumo anual (m ³ /ha)
Trigo	322,8	3228
Cebada	242,2	2422
Maíz	900	9000
Girasol	363,2	3632
Alfalfa	1070	10700
Guisante	269,1	2691
Veza forrajera	328,91	3289,1

Para el cálculo del coste de la energía eléctrica es necesario conocer el tiempo de funcionamiento de las bombas y del coste de la energía consumida. En este caso la energía eléctrica para el accionamiento de los equipos se realiza por medio de grupos electrógenos diesel así, por lo tanto, solo se tendrá en cuenta el consumo de combustible de estos.

De esta forma realizando un estudio de los consumos de combustible así como el mantenimiento de la estación de elevación, supone 9 €/1000 m³. Se establece que el precio del agua consumida es de 14 €/1000 m³.

8. Estudio de rentabilidad de la inversión

8.1 Consideraciones previas

El presupuesto total de la inversión asciende a 210017,51€. Requeriremos un préstamo de 100.000 € de cuota constante a 10 años y con un interés del 5%.

Los beneficios anuales serán los calculados anteriormente y serán fijos. No se tendrá en cuenta el factor que juega la inflación.

No se considerará el valor residual de los elementos de la explotación.

El flujo destruido es de 255799,04 €.

El coste de la mano de obra no se tiene en cuenta, ya que la explotación en principio va a ser dirigida y trabajada por el propietario y por su familia.

Se estima una vida útil de la instalación de 25 años.

Para la modernización del regadío de la finca, se recibe una ayuda del 17% del presupuesto total de la inversión. Que es de 37746,77€ y será recibida el año 1.

El año dos, como el agricultor de la finca está en el régimen general de IVA le será devuelto el IVA.

A continuación se resume los gastos e ingresos a lo largo de los diez años que dura la rotación de los cultivos que vamos a cultivar en la parcela.

Año	Cultivo	Necesidad de agua (m3/ha)	Coste agua (€/ha)	Coste producción (€/ha)	Coste(€)	Ingresos (€/ha)	Ingresos (€)
1	Alfalfa	10700	149,80	602,78	25282,32	1760	73819,68
				Costes totales	25282,32	Ingresos totales	73819,68

Año	Cultivo	Necesidad de agua (m3/ha)	Coste agua (€/ha)	Coste producción (€/ha)	Coste(€)	Ingresos (€/ha)	Ingresos (€)
2	Alfalfa	10700	149,80	602,78	25282,32	1760	73819,68
				Costes totales	25282,32	Ingresos totales	73819,68

Año	Cultivo	Necesidad de agua (m3/ha)	Coste agua (€/ha)	Coste producción (€/ha)	Coste(€)	Ingresos (€/ha)	Ingresos (€)
3	Alfalfa	10700	149,80	602,78	25282,32	1760	73819,68
				Costes totales	25282,32	Ingresos totales	73819,68

Año	Cultivo	Necesidad de agua (m3/ha)	Coste agua (€/ha)	Coste producción (€/ha)	Coste(€)	Ingresos (€/ha)	Ingresos (€)
4	Alfalfa	10700	149,80	602,78	25282,32	1760	73819,68
				Costes totales	25282,32	Ingresos totales	73819,68

Año	Cultivo	Necesidad de agua (m3/ha)	Coste agua (€/ha)	Coste producción (€/ha)	Coste(€)	Ingresos (€/ha)	Ingresos (€)
5	Alfalfa	10700	149,80	602,78	25282,32	1760	73819,68
				Costes totales	25282,32	Ingresos totales	73819,68

Año	Cultivo	Necesidad de agua (m3/ha)	Coste agua (€/ha)	Coste producción (€/ha)	Coste(€)	Ingresos (€/ha)	Ingresos (€)
6	Maíz	9000	126,00	979	41062,20	2420	101502,06
				Costes totales	41062,20	Ingresos totales	101502,06

Año	Cultivo	Necesidad de agua (m3/ha)	Coste agua (€/ha)	Coste producción (€/ha)	Coste(€)	Ingresos (€/ha)	Ingresos (€)
7	Guisante	2691	37,67	597	25039,97	1687,4	70774,62
	Girasol	3632	50,85	413,6	17347,63	1049,7	44027,57
				Costes totales	42387,60	Ingresos totales	114802,19

Año	Cultivo	Necesidad de agua (m3/ha)	Coste agua (€/ha)	Coste producción (€/ha)	Coste(€)	Ingresos (€/ha)	Ingresos (€)
8	Cebada	2422	33,91	427,8	17943,22	948,61	39787,55
				Costes totales	17943,22	Ingresos totales	39787,55

Año	Cultivo	Necesidad de agua (m3/ha)	Coste agua (€/ha)	Coste producción (€/ha)	Coste(€)	Ingresos (€/ha)	Ingresos (€)
9	Veza	3289,1	46,05	334,44	14027,42	540	22649,22
	Maíz	9000	126,00	979	41062,20	2420	101502,06
				Costes totales	55089,62	Ingresos totales	124151,28

Año	Cultivo	Necesidad de agua (m3/ha)	Coste agua (€/ha)	Coste producción (€/ha)	Coste(€)	Ingresos (€/ha)	Ingresos (€)
10	Trigo	3228	45,19	441,5	18517,83	1112,12	46645,65
				Costes totales	18517,83	Ingresos totales	46645,65

8.2 Estudio de rentabilidad

Por medio de una hoja de cálculo se calcula los flujos de caja que se originan cada año, teniendo en cuenta tanto cobros, como los pagos que se originan de la explotación.

- **FLUJO DESTRUIDO**: Valor numérico que corresponde a la diferencia entre los ingresos obtenidos en la parcela antes de la ejecución del proyecto y los gastos de la misma.
- **PAGOS ORDINARIOS**: Valor numérico que corresponde a los costos que conllevan los cultivos implantados en la transformación.
- **COBROS ORDINARIOS**: Valor numérico que corresponde a los ingresos que conllevan los cultivos implantados en la transformación.
- **PAGOS FINANCIEROS**: Valor correspondiente a la suma del capital anual a devolver más los intereses correspondientes al capital por devolver.

Año	Cobros ordinarios	Cobros financieros	Pagos ordinarios	Pagos financieros	Flujo destruido	Pagos de inversión	Flujo de caja
0		100000,00				210017,51	-110017,51
1	73819,68	35702,98	25282,32	12950,46	25579,90		45709,98
2	73819,68	32036,57	25282,32	12950,46	25579,90		42043,57
3	73819,68		25282,32	12950,46	25579,90		10007,00
4	73819,68		25282,32	12950,46	25579,90		10007,00
5	73819,68		25282,32	12950,46	25579,90		10007,00
6	101502,06		41062,20	12950,46	25579,90		21909,50
7	114802,19		42387,60	12950,46	25579,90		33884,23
8	39787,55		17943,22	12950,46	25579,90		-16686,03
9	124151,28		55089,62	12950,46	25579,90		30531,31
10	46645,65		18517,83	12950,46	25579,90		-10402,55
11	73819,68		25282,32		25579,90		22957,46
12	73819,68		25282,32		25579,90		22957,46
13	73819,68		25282,32		25579,90		22957,46
14	73819,68		25282,32		25579,90		22957,46
15	73819,68		25282,32		25579,90		22957,46
16	101502,06		41062,20		25579,90		34859,96
17	114802,19		42387,60		25579,90		46834,69
18	39787,55		17943,22		25579,90		-3735,57
19	124151,28		55089,62		25579,90		43481,76
20	46645,65		18517,83		25579,90		2547,91
21	73819,68		25282,32		25579,90		22957,46
22	73819,68		25282,32		25579,90		22957,46
23	73819,68		25282,32		25579,90		22957,46
24	73819,68		25282,32		25579,90		22957,46
25	73819,68		25282,32		25579,90		22957,46

8.3 Estudio de viabilidad

Una vez calculados los flujos de caja en el apartado anterior, se han calculado los índices de rentabilidad que se exponen a continuación:

- Valor Actual Neto (VAN): **190297,84**
- Tasa Interna de Rentabilidad: **21,7%**
- Pay Back: **16años**

9. Conclusiones

El valor de la inversión es de 149563,81€ más un 13% por gastos generales y más un 6% debido al beneficio empresarial, más el 18% de IVA, así el valor total de la inversión es de 210017,51€.

Desde el punto de vista del VAN se observa que la inversión es rentable. El TIR es superior al tipo de interés utilizado, por lo tanto la inversión también es rentable.

Para este estudio de rentabilidad se ha considerado la rotación de cultivos expuesta en el anejo 5.

Por lo tanto, en función de los resultados obtenidos se puede concluir que la inversión es rentable.

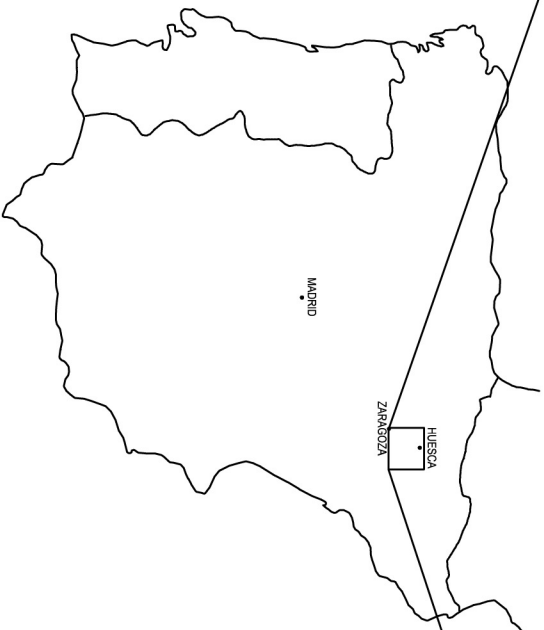


Universidad
Zaragoza

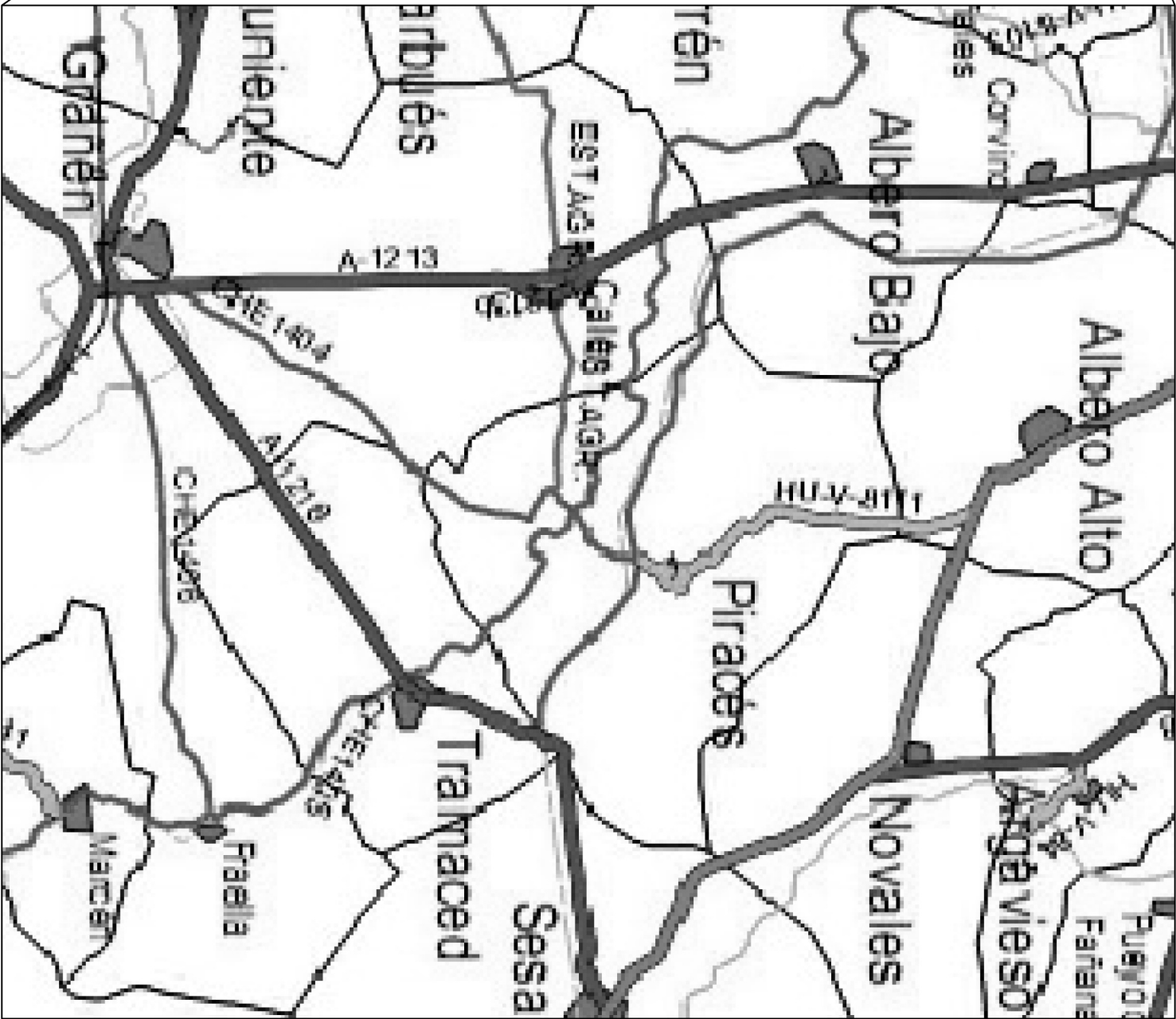
Proyecto Fin de Carrera

Puesta en riego por aspersión con cobertura total
enterrada en el término municipal de Piracés
(Huesca)

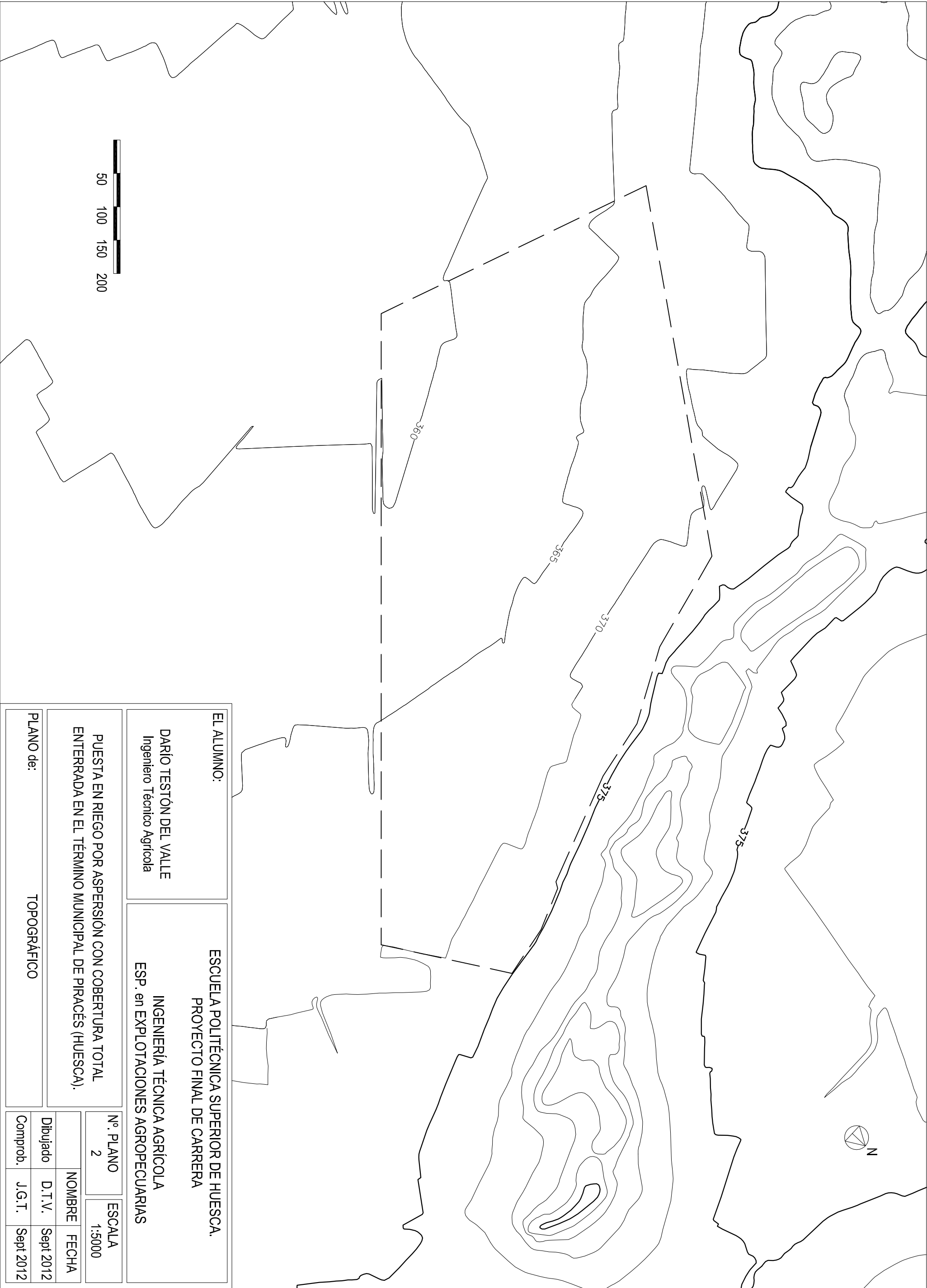
DOCUMENTO 2: PLANOS



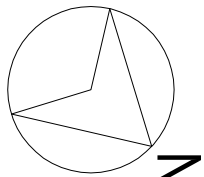
SITUACION GEOGRAFICA



EL ALUMNO:		ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE HUESCA. PROYECTO FINAL DE CARRERA	
DARÍO TESTÓN DEL VALLE Ingeniero Técnico Agrícola		INGENIERÍA TÉCNICA AGRÍCOLA ESP. en EXPLOTACIONES AGROPECUARIAS	
PUESTA EN RIEGO POR ASPERSIÓN CON COBERTURA TOTAL ENTERRADA EN EL TÉRMINO MUNICIPAL DE PIRACÉS (HUESCA).			
PLANO de:		SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO	
Nº. PLANO 1		ESCALA S/E	
Dibujado		D.T.V.	
Comprob.		J.G.T.	
		Sept 2012	

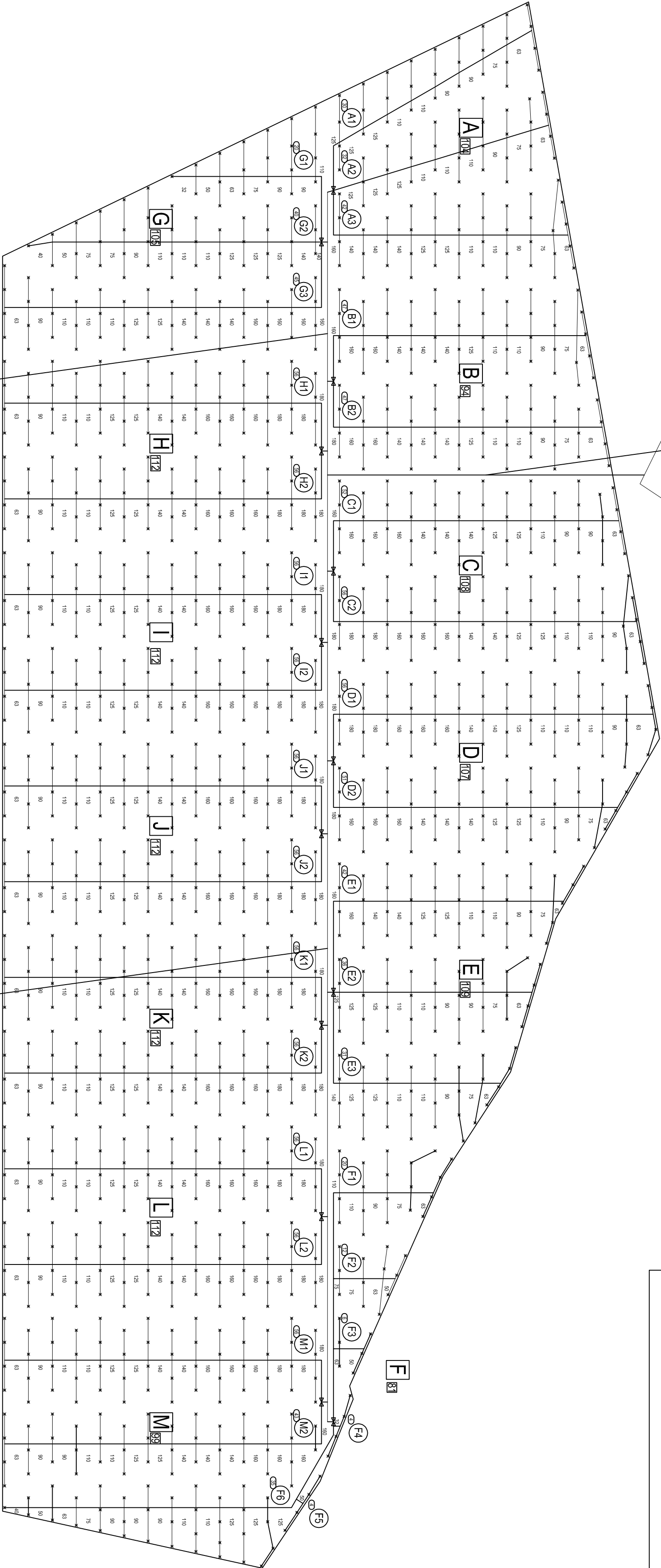


EL ALUMNO:		ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE HUESCA. PROYECTO FINAL DE CARRERA.			
DARÍO TESTÓN DEL VALLE Ingeniero Técnico Agrícola		INGENIERÍA TÉCNICA AGRÍCOLA ESP. en EXPLOTACIONES AGROPECUARIAS			
PUESTA EN RIEGO POR ASPERSIÓN CON COBERTURA TOTAL ENTERRADA EN EL TÉRMINO MUNICIPAL DE PIRACÉS (HUESCA).		Nº PLANO 2			
PLANO de:		TOPOGRÁFICO			
		ESCALA 1:5000			
		Dibujado		D.T.V.	
		Comprob.		J.G.T.	
				Sept 2012	



Tramo TP - PVC200 - 0.8MPa

BALSA DE RIEGO



Tramo 2 - PVC2140 - 0.8MPa

Tramo 1 - PVC2180 - 0.8MPa

LEYENDA

- Válvula hidráulica
- Ø Tubería terciaria (mm)
- Ø Tubería secundaria (mm)
- Ø Tubería primaria (mm)
- Submódulo y nº de aspersores
- Módulo y nº de aspersores

Tramo 1 - PVC2180 - 0.8MPa

Tramo TP - PVC2180 - 0.8MPa

EL ALUMNO:

DARIO TESTÓN DEL VALLE
Ingeniero Técnico Agrícola

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE HUESCA.
PROYECTO FINAL DE CARRERA

INGENIERÍA TÉCNICA AGRÍCOLA
ESP. en EXPLOTACIONES AGROPECUARIAS

PUESTA EN RIEGO POR ASPERSIÓN CON COBERTURA TOTAL
ENTERRADA EN EL TÉRMINO MUNICIPAL DE PIRACÉS (HUESCA).

PLANO de: PLANTA DE DISTRIBUCIÓN
DE LA COBERTURA

Nº. PLANO
3

ESCALA
1:2500

NOMBRE
D. T. V.

FECHA
Sept 2012

Comprob. J. G. T.

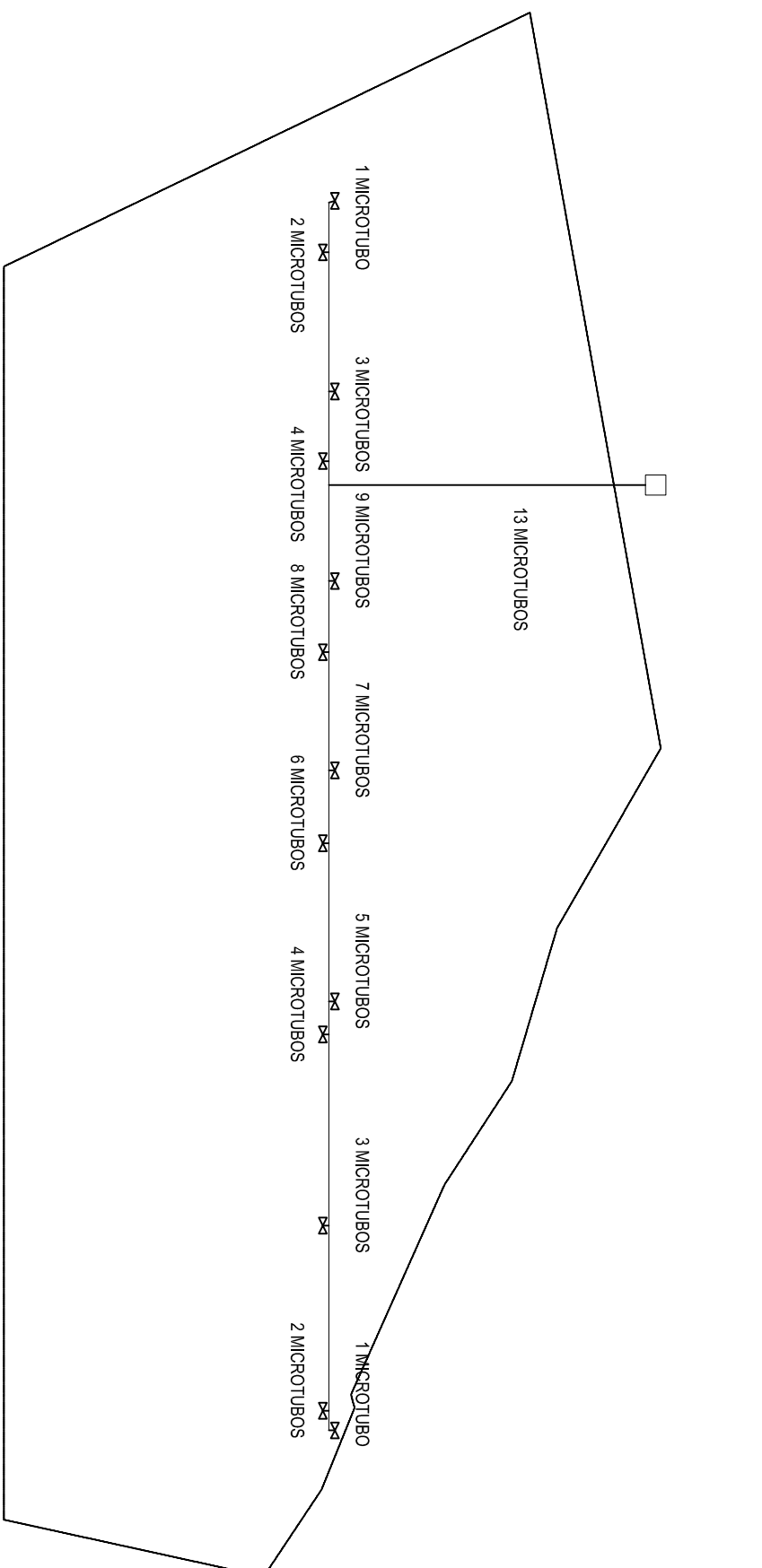
Sept 2012





50

100

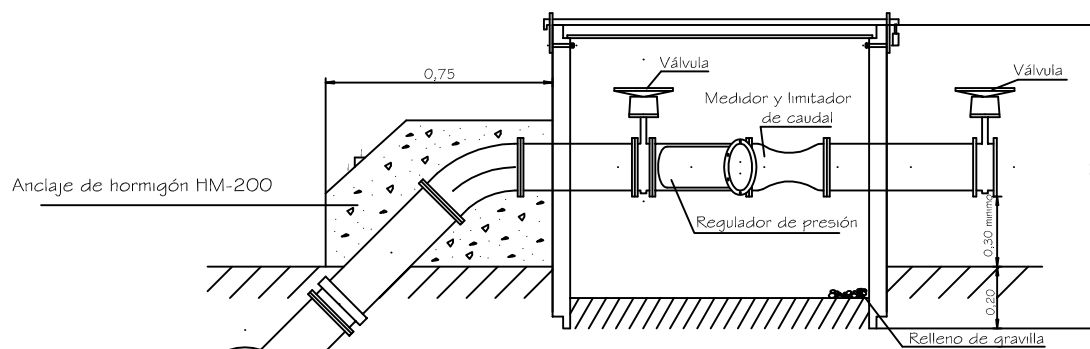
150

200

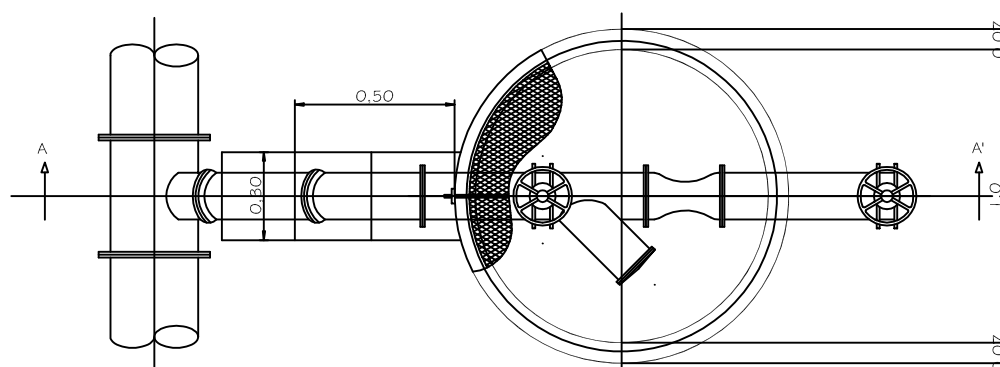


LEYENDA	
	LÍMITE PARCELA
	MICROTUBOS PE (8mm)
	CASETA DE MANDOS
	VÁLVULA HIDRÁULICA

EL ALUMNO:		ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE HUESCA. PROYECTO FINAL DE CARRERA	
DARÍO TESTÓN DEL VALLE Ingeniero Técnico Agrícola		INGENIERÍA TÉCNICA AGRÍCOLA ESP. en EXPLOTACIONES AGROPECUARIAS	
PUESTA EN RIEGO POR ASPERSIÓN CON COBERTURA TOTAL ENTERRADA EN EL TÉRMINO MUNICIPAL DE PIRACÉS (HUESCA).			
PLANO de:		AUTOMATIZACIÓN	
Nº. PLANO 4	ESCALA 1:5000		
	NOMBRE	FECHA	
Dibujado	D. T. V.	Sept 2012	
Comprob.	J. G. T.	Sept 2012	



ALZADO SECCION "A-A"



PLANTA

EL ALUMNO:

DARÍO TESTÓN DEL VALLE
Ingeniero Técnico Agrícola

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE HUESCA.
PROYECTO FINAL DE CARRERA

INGENIERÍA TÉCNICA AGRÍCOLA
ESP. en EXPLOTACIONES AGROPECUARIAS

PUESTA EN RIEGO POR ASPERSIÓN CON COBERTURA TOTAL
ENTERRADA EN EL TÉRMINO MUNICIPAL DE PIRACÉS (HUESCA).

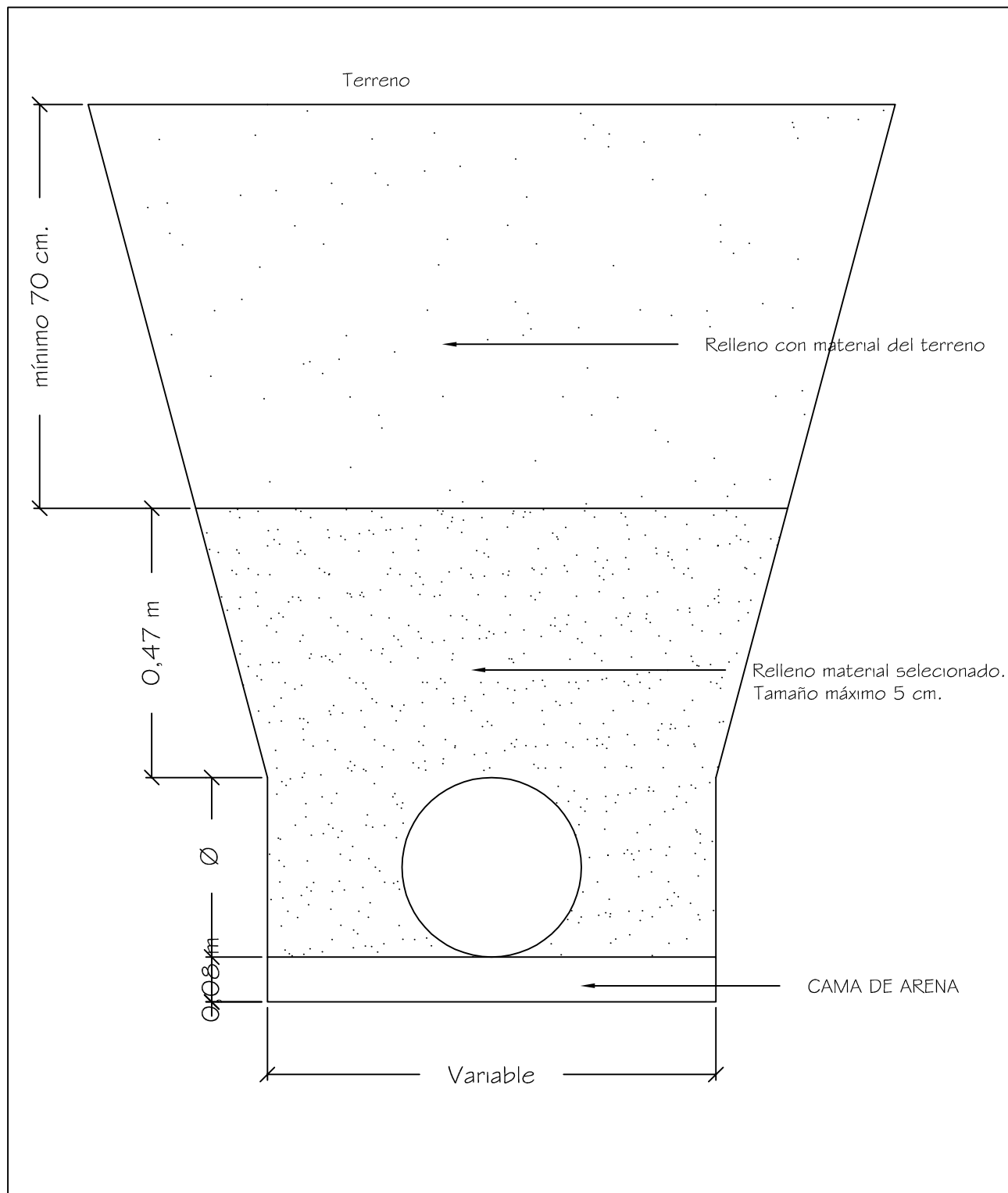
PLANO de:

TOMA DE RIEGO TIPO

Nº. PLANO
5

ESCALA
1:25

	NOMBRE	FECHA
Dibujado	D.T.V.	Sept 2012
Comprob.	J.G.T.	Sept 2012



EL ALUMNO:

DARÍO TESTÓN DEL VALLE
Ingeniero Técnico Agrícola

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE HUESCA.
PROYECTO FINAL DE CARRERA

INGENIERÍA TÉCNICA AGRÍCOLA
ESP. en EXPLOTACIONES AGROPECUARIAS

PUESTA EN RIEGO POR ASPERSIÓN CON COBERTURA TOTAL
ENTERRADA EN EL TÉRMINO MUNICIPAL DE PIRACÉS (HUESCA).

Nº. PLANO
6

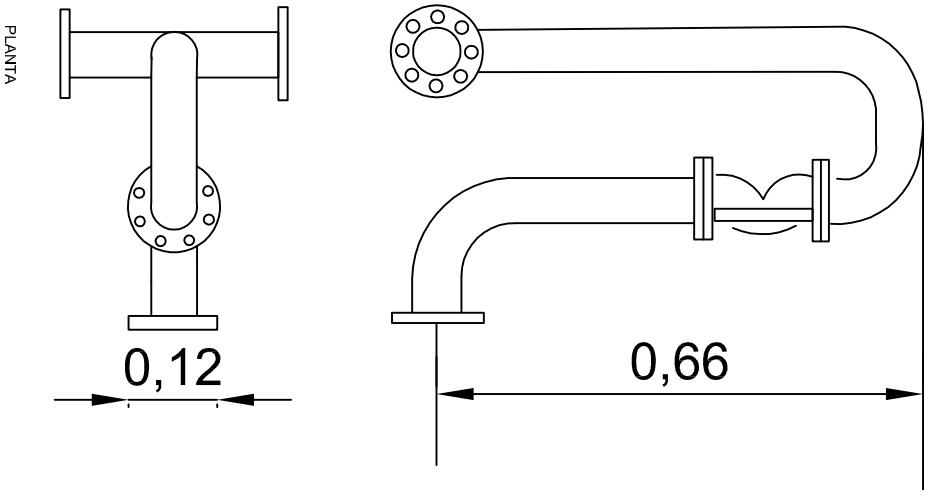
ESCALA
1:10

PLANO de:

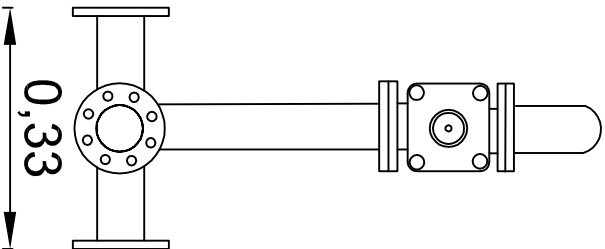
DETALLE ZANJA
COLOCACIÓN DE TUBERÍAS

	NOMBRE	FECHA
Dibujado	D.T.V.	Sept 2012
Comprob.	J.G.T.	Sept 2012

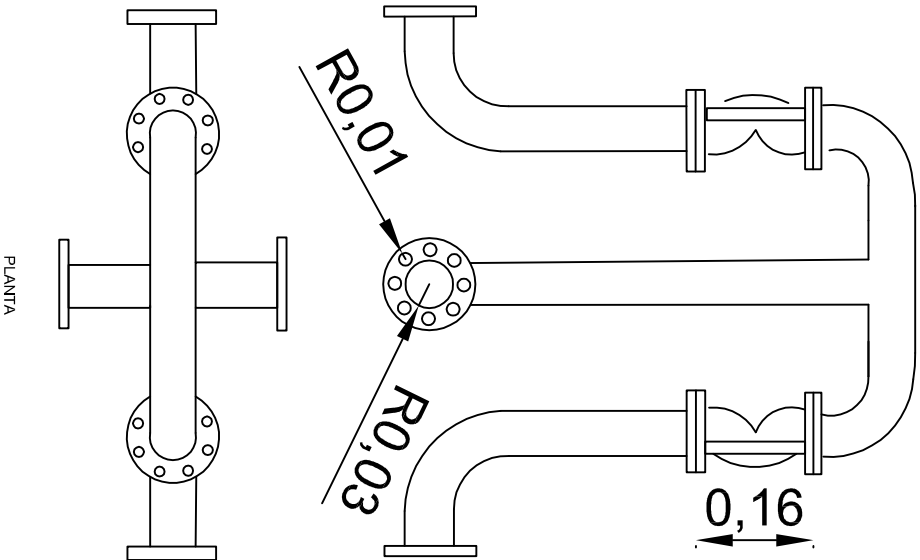
TOMA EN DERIVACIÓN SIMPLE, ALZADO



VISTA LATERAL DE LAS DERIVACIONES, ALZADO



TOMA EN DERIVACIÓN DOBLE, ALZADO



EL ALUMNO:

DARÍO TESTÓN DEL VALLE
Ingeniero Técnico Agrícola

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE HUESCA.
PROYECTO FINAL DE CARRERA
INGENIERÍA TÉCNICA AGRÍCOLA
ESP. en EXPLOTACIONES AGROPECUARIAS

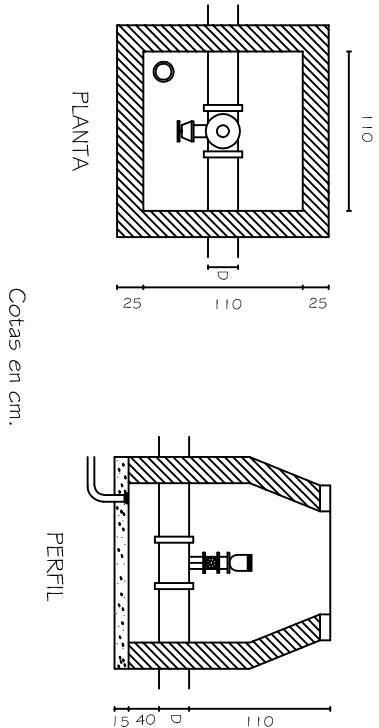
PUESTA EN RIEGO POR ASPERSIÓN CON COBERTURA TOTAL
ENTERRADA EN EL TÉRMINO MUNICIPAL DE PIRACÉS (HUESCA).

Nº. PLANO	ESCALA
7	1:10

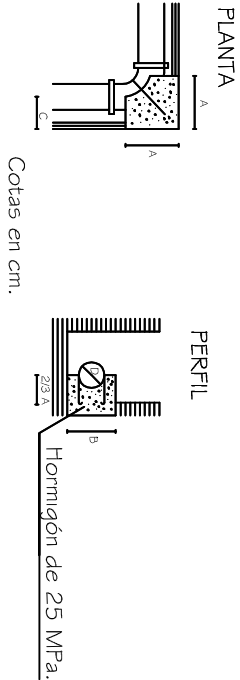
NOMBRE	FECHA
Dibujado	D. T. V. Sept 2012
Comprob.	J. G. T. Sept 2012

PLANO de:	DERIVACIÓN
-----------	------------

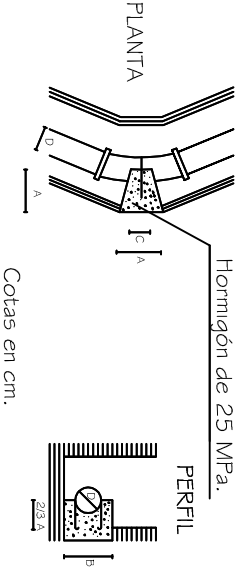
ANCLAJE VENTOSA .



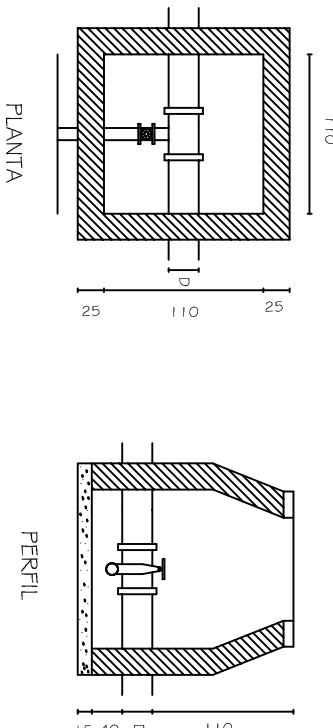
ANCLAJE CODO 90 .



ANCLAJE CODO 45 .

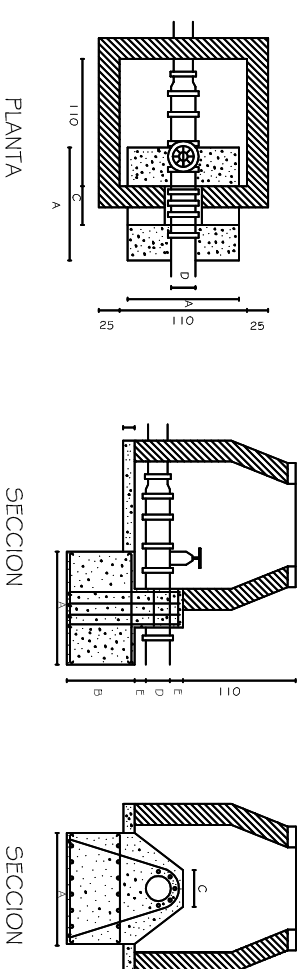


ANCLAJE LLAVE DE DESAGÜE .

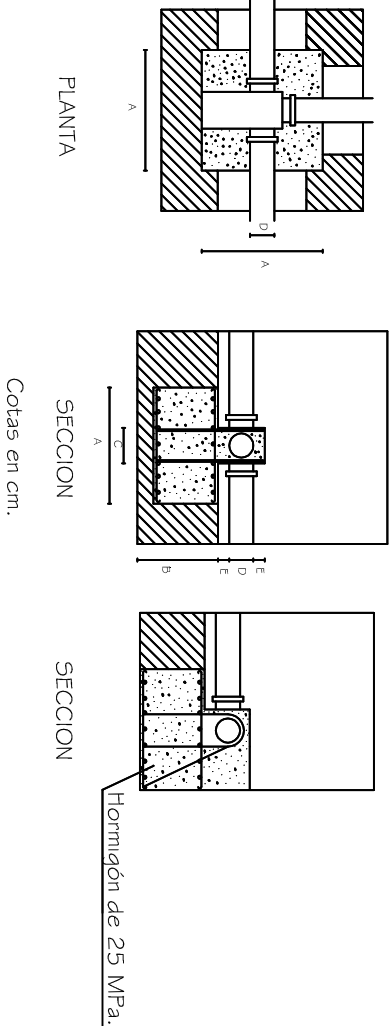


Cotas en cm.

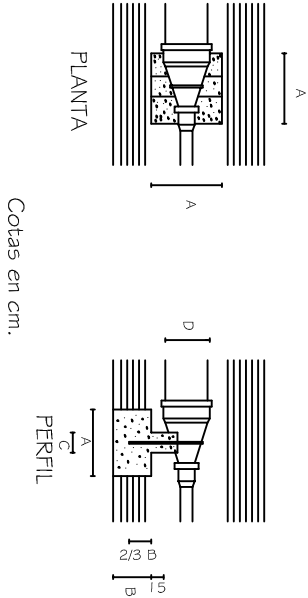
ANCLAJE LLAVE DE PASO.



ANCLAJE PIEZA TIPO " T " .



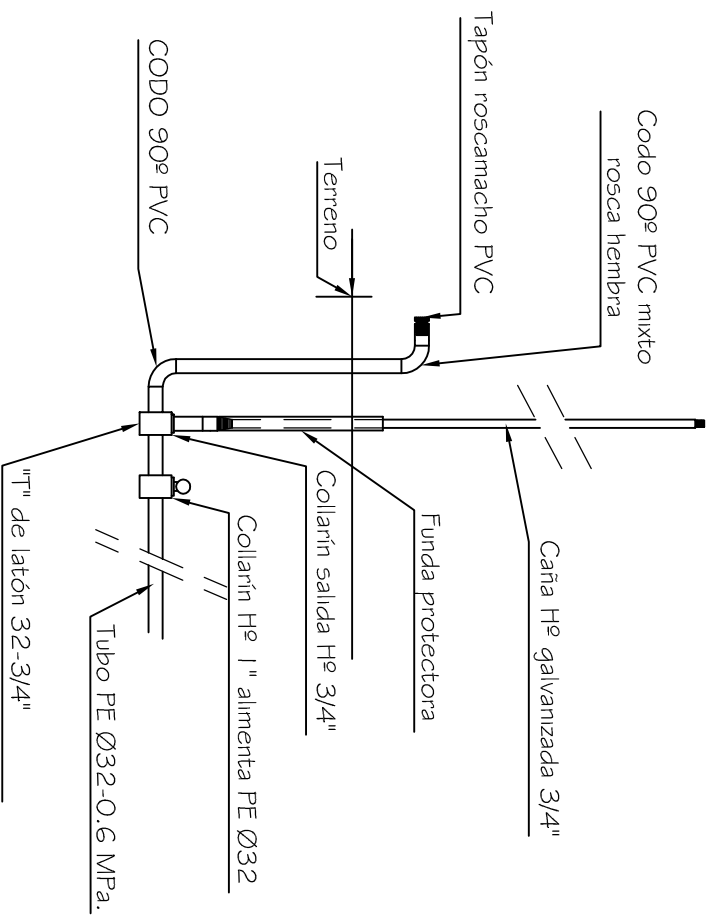
ANCLAJE REDUCCION.



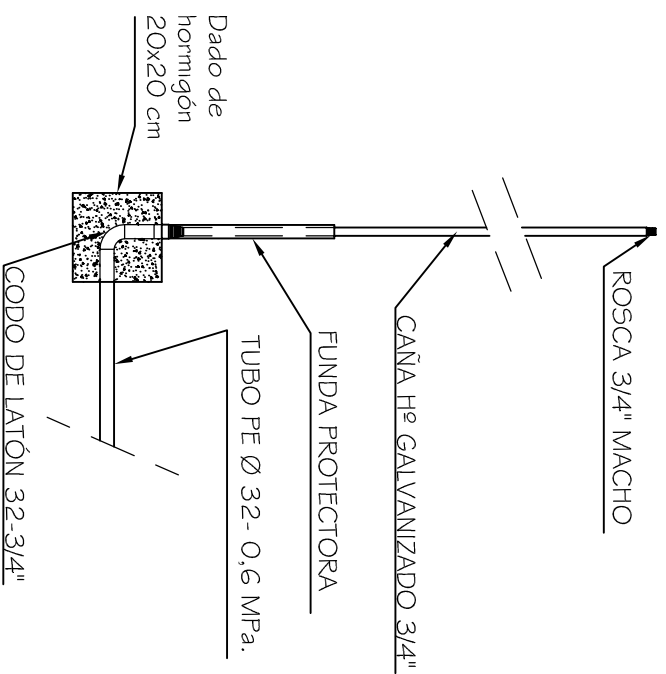
PIEZA	DIÁMETRO DE LA TUBERÍA (MM)	DIMENSIONES EN cm.		
		A	B	C
CODO 45º	63 A 225	30	40	15
	250 A 400	50	60	25
CODO 90º	63 A 225	50	40	20
	250 A 400	65	60	20
REDUCCIÓN	63 A 225	40	30	15
	250 A 400	50	40	25

EL ALUMNO:		ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE HUESCA. PROYECTO FINAL DE CARRERA	
DARÍO TESTÓN DEL VALLE Ingeniero Técnico Agrícola		INGENIERÍA TÉCNICA AGRÍCOLA ESP. en EXPLOTACIONES AGROPECUARIAS	
PUESTA EN RIEGO POR ASPERSIÓN CON COBERTURA TOTAL ENTERRADA EN EL TÉRMINO MUNICIPAL DE PIRACÉS (HUESCA).		Nº. PLANO 8	ESCALA S/E
PLANO de:		DETALLES ANCLAJES	
		Dibujado	FECHA
		Comprob.	

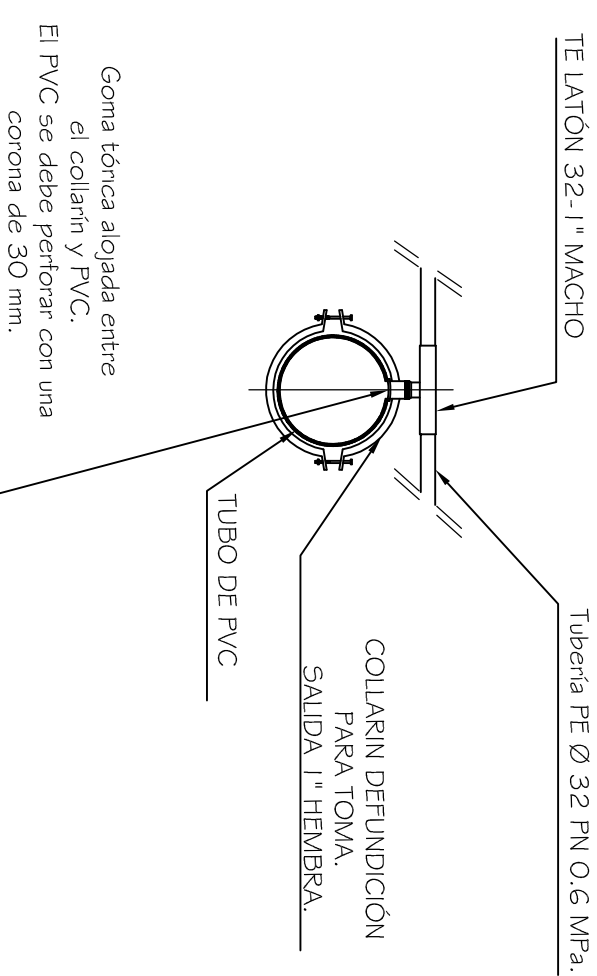
DETALLE FIN DE TRAMO



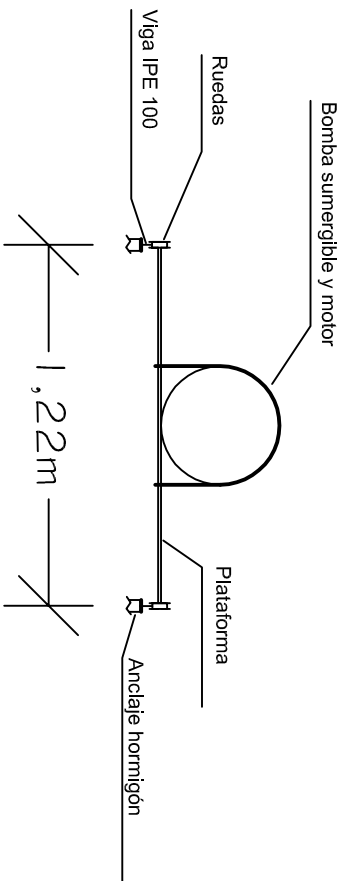
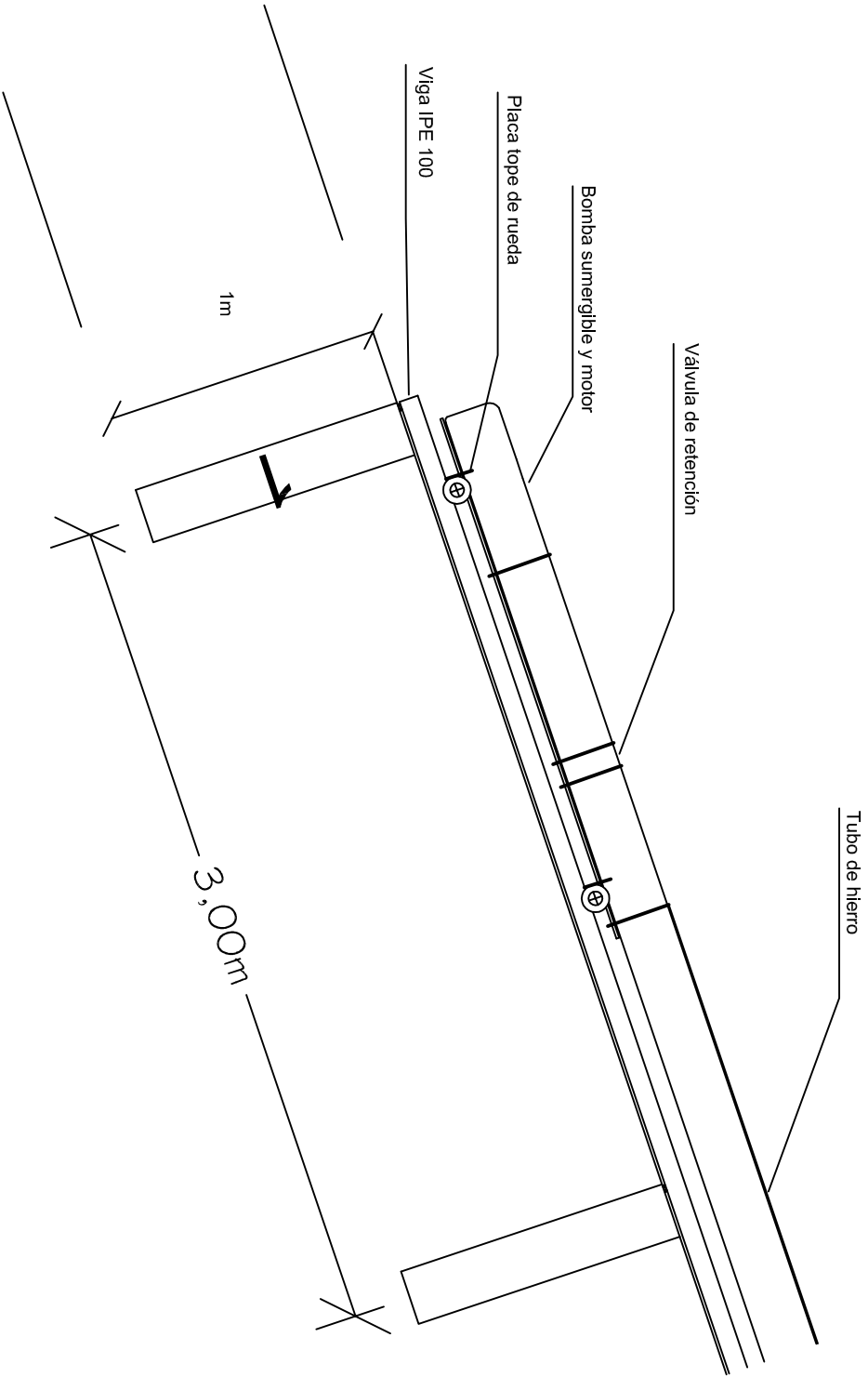
EMPALME FINAL DE CAÑA PORTA-ASPESOR CON LATERAL DE RIEGO



EMPALME TUBERÍA TERCIARIA CON LATERAL DE RIEGO



EL ALUMNO:		ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE HUESCA. PROYECTO FINAL DE CARRERA	
DARÍO TESTÓN DEL VALLE Ingeniero Técnico Agrícola		INGENIERÍA TÉCNICA AGRÍCOLA ESP. en EXPLOTACIONES AGROPECUARIAS	
PUESTA EN RIEGO POR ASPERSIÓN CON COBERTURA TOTAL ENTERRADA EN EL TÉRMINO MUNICIPAL DE PIRACÉS (HUESCA).			
PLANO de:		DETALLE ASPERSORES	
Nº. PLANO 9	ESCALA S/E		
	NOMBRE	FECHA	
Dibujado	D. T. V.	Sept 2012	
Comprob.	J. G. T.	Sept 2012	



EL ALUMNO:		ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE HUESCA. PROYECTO FINAL DE CARRERA	
DARÍO TESTÓN DEL VALLE Ingeniero Técnico Agrícola		INGENIERÍA TÉCNICA AGRÍCOLA ESP. en EXPLOTACIONES AGROPECUARIAS	
PUESTA EN RIEGO POR ASPERSIÓN CON COBERTURA TOTAL ENTERRADA EN EL TÉRMINO MUNICIPAL DE PIRACÉS (HUESCA).		Nº. PLANO 10	ESCALA 1:25
PLANO de:		DETALLE BOMBA DE IMPULSIÓN	
		Dibujado	NOMBRE D.T.V.
		Comprob.	FECHA Sept 2012
		J.G.T.	Sept 2012