

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERA
AGRONÓMICA Y DEL MEDIO RURAL



**DISEÑO Y ANÁLISIS DE VIABILIDAD ECONÓMICA DE
RECUPERACIÓN ENERGÉTICA EN UNA RED DE RIEGO A PRESIÓN
PARA EL *SECTOR BETIES* DE LA CC.RR. DE LA ROMANA.**

**TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA AGROALIMENTARIA Y DEL
MEDIO RURAL**

ALUMNO: MIGUEL SIRERA VERA

TUTOR: FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ ROMERO

COTUTOR: JUAN MANZANO JUÁREZ

VALÈNCIA, noviembre de 2021

TÍTULO:

Diseño y Análisis de viabilidad económica de recuperación energética en una red de riego a presión para el Sector *Beties* de la "CC.RR. de *La Romana*".

RESUMEN:

En este trabajo, se diseñará una red de distribución de riego. La red en cuestión, se encuentra en el término municipal de Novelda y pertenece a la "*Comunidad de Regantes de La Romana*", concretamente al sector "*Beties*". Dicho sector, proporciona servicio a 603,77 ha, a partir de una balsa con una capacidad de 450.000 m³ y con un total de 93 hidrantes.

El dimensionado se realizará mediante un diseño a la demanda, basado en la metodología de Clement y aplicando criterios validados en redes reales de riego.

También se llevará a cabo, el dimensionado y diseño de los anclajes de las tuberías, así como otros elementos e instalaciones necesarias.

Se realizará también un análisis de viabilidad económica de recuperación energética, mediante la instalación de sistemas basados en Pumps As Turbines (PATs), determinando a su vez la energía a recuperar y su mejor ubicación.

PALABRAS CLAVE:

Red de riego a presión, diseño a la demanda, Clement, Anclajes, Bombas funcionando como turbinas(PAT), Recuperación energética, Viabilidad económica, Periodo de retorno, Valor Anual Neto(VAN).

TÍTOL:

Disseny i anàlisi de viabilitat econòmica de recuperació energètica en una xarxa de reg a pressió per al Sector *Beties* de la "CC.RR. de la Romana".

RESUM:

En aquest treball, és dissenyarà una xarxa de distribució de reg. La xarxa en qüestió, es troba al terme municipal de Novelda i pertany a la "*Comunidad de Regantes de La Romana*", concretament al sector "*Beties*". Aquest sector proporciona servici a 603,77 ha, mitjançant una bassa amb una capacitat de 450.000 m³ i amb un total de 93 hidrants.

El dimensionat es realitzarà mitjançant un disseny a la demanda, basat en la metodologia de Clement i emprant criteris validats en altres xarxes reals de reg.

També es durà a terme, el dimensionat i disseny dels anclatges de les tuberies, així com altres elements e instal·lacions necessàries.

Es farà també un anàlisi de viabilitat econòmica de recuperació energètica, mitjançant l'instal·lació de sistemes basats en Pumps As Turbines (PATs), determinant a la vegada, l'energia a recuperar i la seua millor ubicació.

PARAULES CLAU:

Xarxa de reg a pressió, disseny a la demanda, Clement, anclatges, Bombes funcionant com a turbines (PAT), recuperació energètica, Viabilitat econòmica, Període de retorn, Valor Anual Net (VAN).

TITTLE:

Design and Analysis of the economic viability of energy recovery in a presure irrigation network for the *Beties* sector of the "CC.RR. from La Romana".

ABSTRACT:

In this work, an irrigation distribution network will be designed. This network is located in "Novelda" and belongs to the "Comunidad de Regantes de La Romana", in particular, the "Beties" sector. This sector provides service to 603.77 ha, from 450.000 m³ resrvoir and with 93 hydrants.

The design and sizing of the pipe anchors will also be carried out, as well as other necessary elements and facilities.

An analysis of the economic viability of the recoverable energy is also performed, by installating of systems based on Pumps As Turbines (PATs), setting at the same time the energy to be recovered and its best location.

KEYWORDS:

Pressure irrigation network, design on demand, Clement, Anchors, Pumps working As Turbines (PAT), Energy recovery, Economic viability, Payback period, Annual Net Value (NPV).

AGRADECIMIENTOS:

A mis tutores por su implicación en el momento de aportarme conocimientos nuevos y refrescar aquellos que quedaban en olvido. Además de ayudarme a enfocar este trabajo hacia mis inquietudes.

A todas aquellas personas que han aportado su grano de arena a lo largo de mi vida académica, las cuales me han hecho madurar dentro y fuera del ámbito educativo y formativo.

A mis amigos y compañeros, que han conseguido motivarme durante los momentos más difíciles.

Y a mi familia, por ser siempre un pilar fuerte en todas las circunstancias de la vida.

Gracias

ÍNDICE GENERAL DEL PROYECTO

DOCUMENTO 1: MEMORIA

DOCUMENTO 2: ANEJOS A LA MEMORIA

ANEJO I: DISEÑO AGRONÓMICO

ANEJO II: DIMENSIONADO DE LA RED

ANEJO III: ANCLAJES

ANEJO IV: MEDICIONES

ANEJO V: MEDICIONES

ANEJO VI: VIABILIDAD ECONÓMICA DEL SISTEMA DE RECUPERACIÓN ENERGÉTICA

DOCUMENTO 3: PLANOS

PLANO 1. PLANO DE SITUACIÓN;

PLANO 2.1: EMPLAZAMIENTO

PLANO 2.2: ALTIMETRÍA DE LA RED

PLANO 2.3: RAMALES DE LA RED

PLANO 2.4: RESULTADOS DEL DIMENSIONADO

PLANO 3.1: LOCALIZACIÓN CATAS

PLANO 4.1: RESULTADO RECUPERACIÓN ENERGÉTICA

PLANO 4.2: RESULTADO VIABILIDAD ECONÓMICA

DOCUMENTO 4: PLIEGO DE CONDICIONES

DOCUMENTO 5: PRESUPUESTO

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERA
AGRONÓMICA Y DEL MEDIO RURAL



**DISEÑO Y ANÁLISIS DE VIABILIDAD ECONÓMICA DE
RECUPERACIÓN ENERGÉTICA EN UNA RED DE RIEGO A PRESIÓN
PARA EL SECTOR BETÍES DE LA CC.RR. DE LA ROMANA.**

DOCUMENTO 1: MEMORIA

ALUMNO: MIGUEL SIRERA VERA

TUTOR: FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ ROMERO

COTUTOR: JUAN MANZANO JUÁREZ

VALÈNCIA, noviembre de 2021

ÍNDICE DE LA MEMORIA

1.	INTRODUCCIÓN	10
1.1.	ANTECEDENTES.....	10
1.2.	OBJETIVO DEL PROYECTO.....	10
2.	BASES DEL PROYECTO.....	10
2.1.	LOCALIZACIÓN	10
2.2.	DATOS AGROCLIMÁTICOS	11
2.3.	CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO.....	12
2.4.	INFRAESTRUCTURA EXISTENTE.....	12
2.5.	TIPO DE RIEGO	13
3.	LIMITACIONES Y CONDICIONANTES	14
3.1.	TÉCNICOS.....	14
3.2.	LEGALES	14
3.3.	ADMINISTRATIVOS	14
3.4.	AMBIENTALES.....	14
4.	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	14
4.1.	DISEÑO AGRONÓMICO.....	14
4.1.1.	Necesidades de riego netas.....	15
4.1.2.	Necesidades totales de riego.....	15
4.1.3.	Caracterización caudales de toma.....	16
4.2.	DIMENSIONADO DE GOMAS E HIDRANTES.....	17
4.2.1.	Criterios de sectorización en parcela	17
4.2.2.	Dimensionado conducciones hidrante-parcela (gomas).....	17
4.2.3.	Hidrantes	18
4.3.	DIMENSIONADO DE LA RED DE RIEGO	20
4.3.1.	Tipo de red.....	20
4.3.2.	Conducciones.....	20
4.3.3.	Elementos de maniobra y regulación.....	20
4.3.4.	Anclajes de hormigón	21
4.3.5.	Movimientos de tierra.....	21
4.4.	ANÁLISIS DE VIABILIDAD ECONÓMICA (PATs).....	22
4.4.1.	Localización por maximización de la energía recuperable	22
4.4.2.	Localización por maximización de la viabilidad económica.	23
4.5.	PRESUPUESTO DEL PROYECTO	24

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Parcelas asociadas a la D.O.P "Uva de Mesa Embolsada del Vinalopó".....	11
Figura 2. Fotografía aérea de la zona.	12
Figura 3. Balsa Beties II (mayo 2021).....	12
Figura 4. Balsas existentes en la zona.	13
Figura 5. Resultados del dimensionado de las gomas.....	18
Figura 6. Sección de los movimientos de tierra.....	21
Figura 7. Nube de puntos $Q_{recuperable}$ y $H_{recuperable}$ para la línea 325.	23
Figura 8. Flujos de caja para la línea 325.....	24

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas de la estación agrometeorológica.	11
Tabla 2. Necesidades de riego netas	15
Tabla 3. Necesidades totales de riego.....	16
Tabla 4. Caudales de toma valorados.....	16
Tabla 5. Criterios de sectorización en parcela.....	17
Tabla 6. Resultados colectores hidrantes.....	19
Tabla 7. Resumen por capítulos del presupuesto de la red de riego.	24

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

La realización del presente trabajo final de grado, viene motivado por la realización de una beca de colaboración con el Departamento de Ingeniería Rural y Agroalimentaria (DIRA), que consistía en la recopilación, revisión y clasificación de información relacionada con parámetros económicos asociados a los sistemas de recuperación energética basados en Bombas Funcionando como Turbinas (PATs).

A partir de este punto, surge la idea de analizar una red de riego mediante la información recopilada durante la colaboración. Pasando por el proceso de dimensionado de la propia red colectiva de riego, asumiendo las dificultades que conlleva. Por el hecho de ser unos conocimientos, que, aunque parten de bases hidráulicas impartidas en el grado, no es hasta el máster donde se desarrollan específicamente estos procedimientos.

Se plantea utilizar un trazado existente, que, debido a las diferencias de altura geométrica (Ver Plano 2.2), ofrece ciertas posibilidades para estudiar la viabilidad económica de las PATs.

Este trabajo, también a sido uno de los 7 seleccionados y fomentados, por la Cátedra de Cambio Climático en 2021 de entre los 28 propuestas presentadas por profesores de la UPV .

1.2. OBJETIVO DEL PROYECTO

En el presente trabajo de final de grado, con formato de proyecto, se pretende dimensionar una red de riego presurizada con fundición dúctil, en la comunidad de regantes de La Romana, dentro del término municipal de Novelda (Alicante).

Así como una aproximación a la elección de los elementos necesarios para el correcto funcionamiento de la red y el un estudio de viabilidad económica para la recuperación energética mediante microturbinaje, basado en bombas funcionando como turbinas.

2. BASES DEL PROYECTO

2.1. LOCALIZACIÓN

La red en cuestión se encuentra en la provincia de Alicante, comarca del “Medio Vinalopó”, concretamente en el término municipal de Novelda y está gestionada por la Comunidad de Regantes de La Romana (Ver *Plano 1* y *Plano 2.1*). Abastece a una superficie regable de 603,77 ha, donde el cultivo mayoritario es la uva de mesa.

En esta zona, se encuentra la Denominación de Origen Protegida “Uva de Mesa Embolsada del Vinalopó”. Donde numerosas parcelas de la zona regable han sido integrantes en algunas de las pasadas campañas como se puede ver en la *Figura* siguiente, extraída de visor online propio de la denominación de origen en abril de 2021.

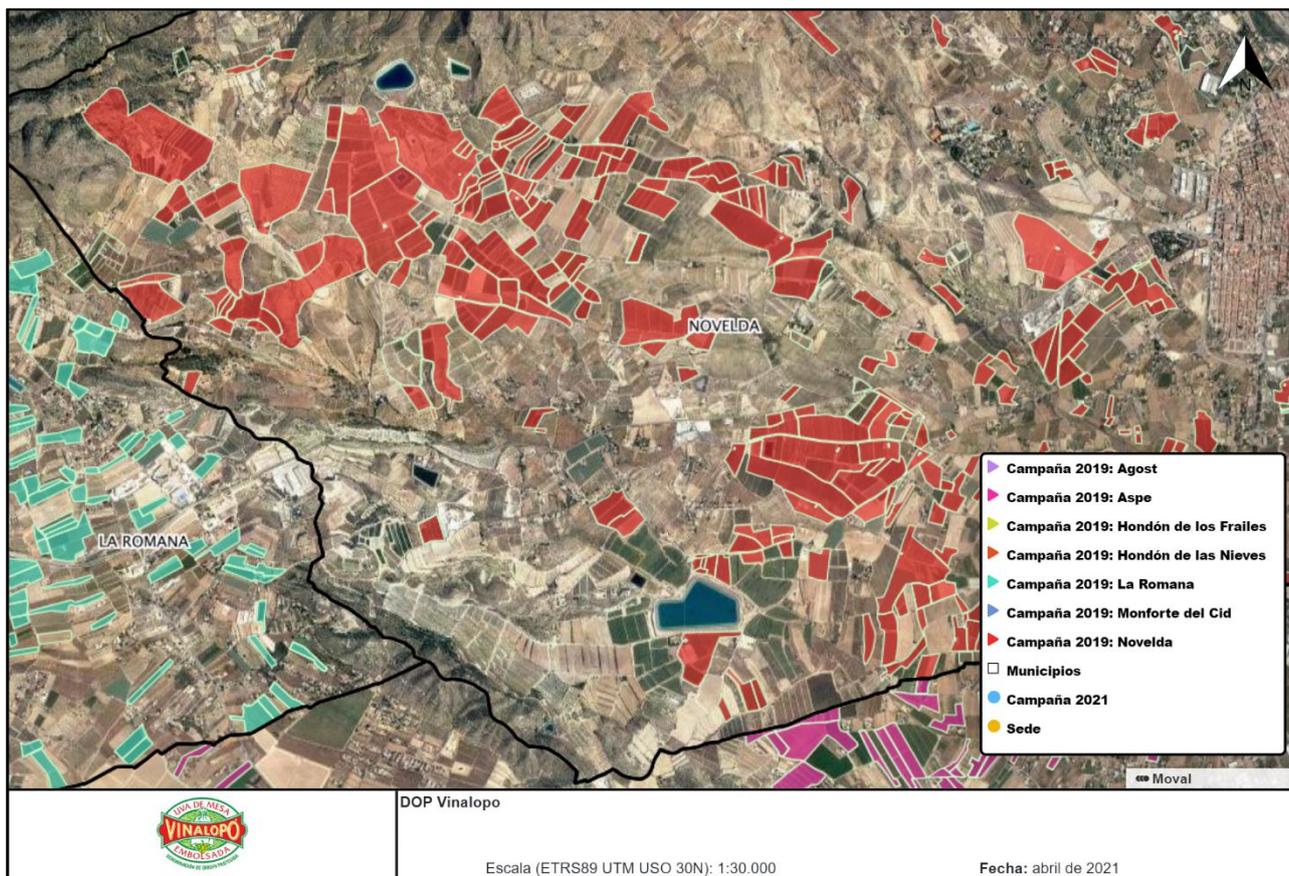


Figura 1. Parcelas asociadas a la D.O.P "Uva de Mesa Embolsada del Vinalopó".

2.2. DATOS AGROCLIMÁTICOS

Los datos climáticos de la zona han sido extraídos de la red del Sistema de Información Agroclimática para el Regadío (SIAR) desarrollada por el ministerio. Los datos extraídos, sobre los cuales han supuesto la base del dimensionado, son datos mensuales recopilados durante los últimos 10 años.

Los datos en cuestión, han sido registrados por la estación agroclimática, ubicada desde 1999 en la cercana localidad de Monforte del Cid. Concretamente en las coordenadas detalladas en la siguiente *Tabla*.

Tabla 1. Coordenadas de la estación agrometeorológica.

UTM X	UTM Y	Altitud
698.193,000	4.252.510,000	259 m
Huso: 30 Datum: ETR S89		

Al tratarse de una zona donde se extiende el monocultivo de la uva de mesa, como se puede ver en la siguiente *Figura*, no será necesario aplicar ninguna estrategia de cara al cálculo de las necesidades.



Figura 2. Fotografia aèrea de la zona (Fuente propia – mayo 2021).

Con lo referente a las necesidades hídricas del cultivo, en el Anejo I. Se realizan los cálculos pertinentes, comparando los parámetros definidos por las diferentes fuentes bibliográficas.

2.3. CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO

En el anejo I, se detallan los valores de la salinidad del agua de la zona, analizada por un estudio de la Universidad Miguel Hernández. Así como las salinidades soportados por diferentes variedades de uvas de mesa. De acuerdo con los cálculos realizados en este anejo, se concluye que el agua cumple con la calidad necesaria para su uso en riego.

2.4. INFRAESTRUCTURA EXISTENTE

La zona en cuestión cuenta con numerosas balsas, con mejor o peor estado de conservación. Muchas de ellas están interconectadas y por lo tanto permiten realizar funciones de acumulación y regulación. La balsa desde la que se colgará la red de este proyecto recibe el nombre de Beties II, aunque la red existente del Sector Beties, también se abastece de una balsa secundaria más pequeña Beties I, que, para la red a calcular, no se tendrá en cuenta.

En la siguiente figura, se puede observar la balsa Beties II, mediante fotografía aérea tomada en mayo del 2021.



Figura 3. Balsa Beties II (Fuente propia – mayo 2021)

La totalidad de las aguas de riego, son de providencia subterránea. Los diferentes sondeos, vierten a las balsas gestionadas por la CCRR de La Romana. Las balsas y capacidades de estas, se definen en la siguiente *Figura*.

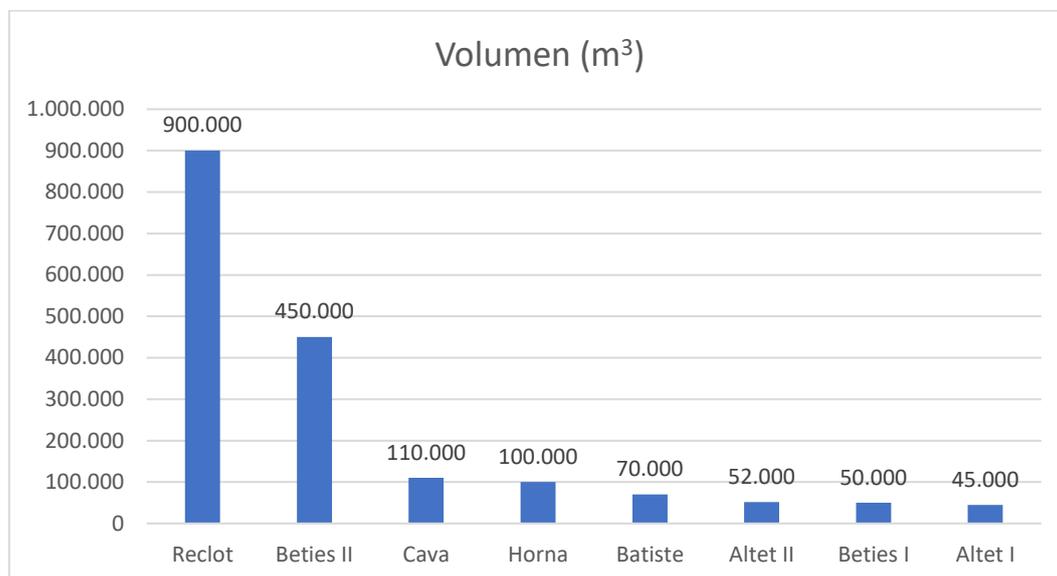


Figura 4. Balsas existentes en la zona.

Desde inicios de siglo (2006), se modernizó el sistema de riego, pasando del riego por inundación, utilizando viejos canales y acequias a la implementación del riego localizado utilizando redes de distribución a parcela con conducciones de polietileno, policloruro de vinilo y fundición dúctil.

La red del sector Beties, parte de una cota de coronación de la balsa de 456,01 m, con una profundidad de 18m y la superficie regable (603,77 ha) se sitúa entre las cotas 310 m y 400 m.

Como punto de partida, la red a redimensionar correspondiente al sector *Beties*, se calculará con fundición dúctil, un material que pese a tener un mayor coste, presenta grandes ventajas detalladas en el *Anejo II*, de entre las que destaca su elevada vida útil y el buen comportamiento a esfuerzos mecánicos.

2.5. TIPO DE RIEGO

Después de la actualización de la zona al riego localizado realizada no hace más de 20 años, y con la información que se tiene acerca del funcionamiento de este sistema. La nueva red, seguirá siendo pensada para el riego localizado, debido a los buenos resultados que lleva generando este sistema en la zona.

3. LIMITACIONES Y CONDICIONANTES

3.1. TÉCNICOS

Las limitaciones técnicas, son debidamente comentadas y discutidas a lo largo del presente trabajo.

3.2. LEGALES

Son aquellos expuestos en *Documento 4*. Que corresponde al Pliego de Condiciones, cumpliendo con las normas expuestas en las condiciones técnicas generales y particulares

3.3. ADMINISTRATIVOS

El Ayuntamiento de Novelda no presenta ninguna limitación que pueda afectar al desarrollo y ejecución del presente Proyecto.

3.4. AMBIENTALES

La legislación ambiental que afecta al tipo de obras que comprende el presente proyecto es la siguiente:

- De ámbito nacional: Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de Evaluación Ambiental.
- A nivel de la Comunidad Valenciana: Decreto 162/1990, de 15 de octubre del Consell de la Generalitat Valenciana, por el que se aprueba el Reglamento para la ejecución de la Ley 2/1989, de 3 de marzo, de Impacto Ambiental.

Atendiendo a las características y a la naturaleza de las obras que comprende el presente proyecto, de acuerdo con la legislación vigente que se acaba de exponer, y dado que la obra no afecta a ningún terreno forestal o espacio protegido, no será necesario someter el presente proyecto a ningún procedimiento de estudio y evaluación de impacto ambiental.

4. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

La red en cuestión presenta una topología ramificada, alimentada por una balsa con volumen y altura geométrica suficiente para el riego por gravedad. El dimensionado contempla la red, sus elementos básicos de control, contemplando los hidrantes multiusuarios, y las conducciones hasta parcela.

La organización del riego será a la demanda y se parte de un trazado existente y conocido.

Para la elección de los elementos de funcionamiento, se realizan simplificaciones que permiten agilizar el proceso de dimensionado, debiendo ser revisados en el caso de materializar el proyecto.

4.1. DISEÑO AGRONÓMICO

Los detalles de todos los cálculos realizados durante este apartado, se encuentran en el Anejo I. Diseño Agronómico. A partir de los cálculos realizados en esta fase, se determinará si una vez dimensionada la red, los cultivos pueden desarrollar correctamente su ciclo fisiológico.

Aunque en la actualidad se están desarrollando prácticas que juegan con el estrés hídrico. Para evitar que una instalación con un coste de tal envergadura no quede obsoleta por cambios no previstos. Se tendrán en cuenta estos riesgos con el fin de conseguir dimensionar una red de riego robusta ante los posibles imprevistos que se puedan dar en el futuro.

En esta parte, se pueden clasificar dos tipos de cálculos, los que determinan los requerimientos hídricos del cultivo y, por otro lado, aquellos parámetros que definen las características de la red. La combinación de estos dos junto con otros criterios que se comentarán más adelante, permitirá en cálculos posteriores, realizar un análisis de las horas de funcionamiento de la red.

4.1.1. Necesidades de riego netas

Para su cálculo, se necesita información relacionada al clima de la zona, obtenida a partir del SIAR y unos coeficiente referentes al cultivo y al sistema de riego, en este caso, riego localizado.

A lo largo del Anejo I, se realiza una comparación de coeficientes de diferentes fuentes, aplicando criterios conservadores, se consiguen las necesidades netas que aparecen en la siguiente *Tabla*.

Tabla 2. Necesidades de riego netas

MES	NRn	Et0	Pe	Kc	K1
	[mm mes ⁻¹]	[mm mes ⁻¹]	[mm mes ⁻¹]		
ENERO	0	51,9	11,92	0	0,64
FEBRERO	0	64,07	5,05	0	0,64
MARZO	0	91,51	21,38	0,3	0,64
ABRIL	3,37	112,17	18,44	0,3	0,64
MAYO	56,37	147,75	9,71	0,69	0,64
JUNIO	85,59	167,9	6,91	0,85	0,64
JULIO	97,92	178,99	0,69	0,85	0,64
AGOSTO	42,77	155,83	9,75	0,52	0,64
SEPTIEMBRE	12,82	111,44	19,68	0,45	0,64
OCTUBRE	0	78,51	8,05	0,06	0,64
NOVIEMBRE	0	51,74	16,18	0	0,64
DECIEMBRE	0	42,63	11,96	0	0,64
MÁXIMOS	97,92				

4.1.2. Necesidades totales de riego

La diferencia entre las diferencias netas de riego, reside en que, en las necesidades anteriores, no se tienen en cuenta ciertas limitaciones del riego localizado. Estas limitaciones se deben a tres factores que pueden impedir la correcta incorporación del agua al cultivo y se resumen brevemente en:

- La necesidad de disolver las sales disueltas en el agua de riego y desplazarlas fuera del alcance radicular del cultivo.
- Dependiendo del tipo de riego, en este caso riego localizado de alta frecuencia. Se producen unas mayores o menores pérdidas de recursos hídricos en las capas profundas del suelo.
- La instalación de riego localizado, no distribuye de forma totalmente uniforme los caudales para toda la superficie regable. Este último factor, influye tanto para las pérdidas por percolación profunda como por el necesario lavado de sales.

Estas consideraciones hacen necesario el aumento de los recursos hídricos. Los detalles de estos cálculos, al igual que en el apartado anterior, se encuentran especificados en el "Anejo I. Diseño agronómico" y las necesidades totales de riego, se pueden observar en la siguiente *Tabla*.

Tabla 3. Necesidades totales de riego

	m³ / (ha·mes)	m³ / (ha·dia)
Enero	0,00	0,00
Febrero	0,00	0,00
Marzo	0,00	0,00
Abril	41,34	1,38
Mayo	732,14	23,62
Junio	1112,79	37,09
Julio	1274,08	41,10
Agosto	555,21	18,51
Septiembre	164,17	5,30
Octubre	0,00	0,00
Noviembre	0,00	0,00
Diciembre	0,00	0,00
	3879,71	126,99

4.1.3. Caracterización caudales de toma

Para obtener los caudales de toma, a partir de los cuales se realizará el cálculo de caudales que definirá la red colectiva de riego, se hace necesario la elección de una serie de parámetros, teniendo en cuenta ciertas consideraciones.

En este punto, se toman decisiones desde un punto de vista genérico, ya que se trata de datos que tendrán mucha variabilidad. Dependiendo de muchas casuísticas que escapan de nuestro control a la hora del dimensionado de la red

Los caudales de toma dependerán entre otros factores de: la zona concreta del sector o incluso entre diferentes zonas de una misma parcela, de la distribución interna de las subunidades de riego realizadas por el agricultor y de los tipos emisores elegidos y de los caudales que estos aporten.

Por lo tanto, en el correspondiente apartado del Anejo I. Diseño agronómico, se detallan las alternativas valoradas y la decisión adoptada para conseguir los caudales de tomas. Resumiendo, los resultados de las diferentes hipótesis ensayadas, se pueden observar unos rangos para los caudales de diseño en la siguiente *Tabla*.

Tabla 4. Caudales de toma valorados.

HIPOTESIS	Q emisor	Sep. Emisores	Textura suelo	Caudal diseño	Marca y modelo
1/2/3/4	L/h	m	Fina/Media/Gruesa	L / (s·ha)	
4	2	0,75	Media	2,6	Regaber DRIPNET PC
2	2,3	0,75	Media	3,0	Azud Premier PC
1	3,5	0,75	Media	4,6	Azud Premier PC
2	2,3	0,38	Gruesa	6,0	Azud Premier PC
4	2	0,30	Gruesa	6,6	Regaber DRIPNET PC
1	3,5	0,50	Gruesa	6,9	Azud Premier PC
3	3,8	0,50	Gruesa	7,5	Regaber DRIPNET PC

Tras la valoración de estos datos, frente a la red que en la actualidad se encuentra en perfecto funcionamiento, se define como al caudal característico de toma **3 L/s ha**.

4.2. DIMENSIONADO DE GOMAS E HIDRANTES

Los contenidos del siguiente apartado, se encuentran desarrollados en el *Anejo II. Dimensionado de la red.*

4.2.1. Criterios de sectorización en parcela

Con el fin de regular los caudales de la red colectiva y evitar un dimensionado con conducciones demasiado sobredimensionadas, se establecen unos criterios de sectorización que permiten fraccionar el riego en aquellas parcelas que tengan una superficie muy superior al resto. A partir de esta organización, y con la superficie de cada parcela, se podrán obtener los caudales necesarios para la siguiente fase, el dimensionado de las conducciones de hidrante a parcela.

De esta manera se establece la siguiente sectorización.

Tabla 5. Criterios de sectorización en parcela.

Superficie de la parcela <	5	ha
	1	sector
Caudal de cálculo para	superficie de la parcela	
Superficie de la parcela <	10	ha
	2	sectores
Caudal de cálculo para	5	ha/sector
Superficie de la parcela <	20	ha
	3	sectores
Caudal de cálculo para	10	ha/sector
Superficie de la parcela >	20	ha
	4	sectores
Caudal de cálculo para	10	ha/sector

4.2.2. Dimensionado conducciones hidrante-parcela (gomas)

Para estas conducciones se utilizarán tuberías de Polietileno de Alta Densidad (PEAD o PE100), con diámetros comprendidos entre 40 y 200 mm, y presiones nominales de entre 1,6 MPa a 2,5 MPa.

Para el dimensionado de las gomas, se ha elegido el timbraje de la tubería de acuerdo con las presiones estáticas y aumentando el timbraje a la siguiente categoría comercial. Por tanto, en aquellas gomas que trabajen a una presión estática de 150 m.c.a., en lugar de timbrar con una tubería PN16 (aprox. 160 m.c.a.) se utilizarán tuberías PN20.

De esta manera, aumentando el espesor de estas tuberías se conseguirá aumentar la vida útil de la instalación y mitigar posibles fallos de fabricación, que, aunque son tuberías reguladas por sus normas pertinentes y se deben comprobar antes de proceder a la instalación, es un criterio que nos desplaza al lado de la seguridad.

Con el cálculo del diámetro de las tuberías se deberán cumplir dos requisitos:

- La velocidad máxima del agua, no puede exceder los 2 m/s
- Las pérdidas de carga en la conducción no pueden superar los 5 m.c.a.

A partir del criterio de velocidad y siguiendo la ecuación de continuidad, se permite obtener un diámetro interior mínimo, a partir del cual poder seleccionar el diámetro interior inmediato superior de los catálogos comerciales y obtener un punto de partida.

Una vez se obtienen unos diámetros, se comprobarán las pérdidas de carga producidas. Aunque con el criterio de velocidad, en muchas conducciones terminará aquí la elección del diámetro. En los casos en que las pérdidas de carga superen los 5 m.c.a., se deberá comprobar con el diámetro inmediato superior, si que cumple con este requisito, si se diera el caso que aún así no se cumple, se comprobara el siguiente hasta encontrar el diámetro que cumpla.

Las pérdidas de carga, se deben a las fuerzas de rozamiento entre el fluido y las paredes internas de las conducciones y a los elementos singulares que modifiquen el vector velocidad del fluido. Para el cálculo de las pérdidas de carga por rozamiento se seguirá la expresión de Hazen-Williams y las pérdidas singulares se contemplarán mediante el uso de un coeficiente mayorante respecto las pérdidas de carga por rozamiento.

Se debe tener en cuenta, que se parte de un trazado de la red existente, donde se ubicaron los hidrantes multiusuarios a una distancia siempre inferior a los 200 m de las parcelas afectadas por cada hidrante.

En la *Figura* siguiente, se visualiza un resumen del dimensionado de las gomas, contabilizando las distancias totales de cada tipo de tubería.

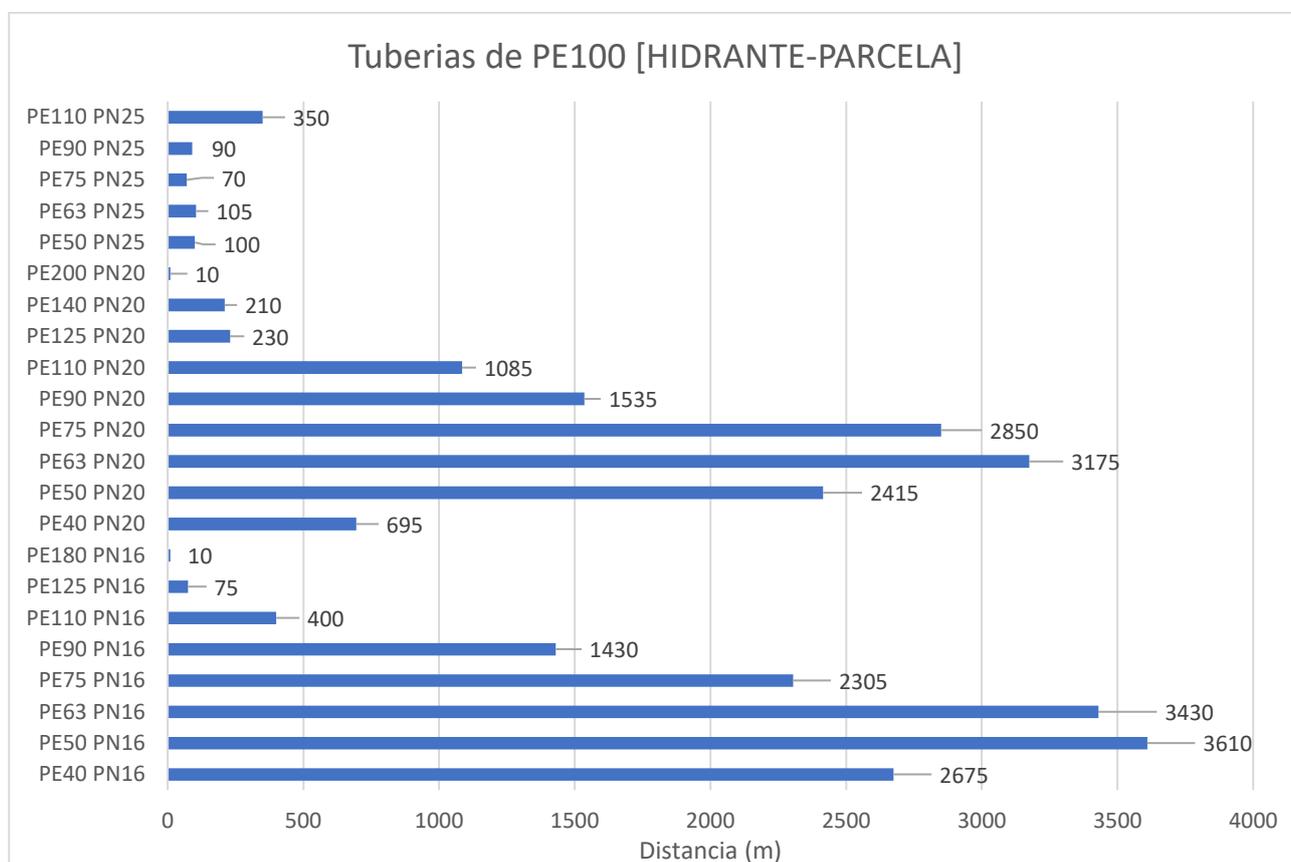


Figura 5. Resultados del dimensionado de las gomas.

4.2.3. Hidrantes

Los colectores de los hidrantes multiusuarios serán de acero galvanizado y permitirán desarrollar las funciones de medición y corte de los caudales transportados a cada parcela. Para el correcto funcionamiento del riego, el hidrante debe de disponer de 35 mca.

El dimensionado de los hidrantes se realizará teniendo en cuenta los caudales circulantes por sus respectivas gomas, de esta manera se consigue un caudal para cada hidrante. Aplicando una restricción a la velocidad máxima de 1,5 m/s, se pueden obtener los diámetros de los colectores de riego necesarios para los hidrantes.

El hidrante dispondrá ordenados de acuerdo con el sentido del agua: una válvula general, un filtro caza piedras, una ventosa, un manómetro, un contador y válvula para cada goma.

El dimensionado de estos elementos de los hidrantes, se encuentra detallado en Anejo II. Diseño de la red de riego, donde se especifican las simplificaciones realizadas para este trabajo.

Tabla 6. Resultados colectores hidrantes

DN COLECTOR	100	125	150	200	250
Nº HIDRANTES	22	32	20	18	1
LISTADO DE HIDRANTES	HBET002	HBET003	HBET001	HBET012	HBET017
	HBET016	HBET005	HBET004	HBET013	
	HBET018	HBET006	HBET007	HBET014	
	HBET023	HBET008	HBET009	HBET019	
	HBET024	HBET010	HBET015	HBET035	
	HBET025	HBET011	HBET020	HBET041	
	HBET028	HBET021	HBET034	HBET042	
	HBET031	HBET022	HBET036	HBET043	
	HBET032	HBET026	HBET045	HBET044	
	HBET033	HBET027	HBET046	HBET052	
	HBET039	HBET029	HBET053	HBET059	
	HBET040	HBET030	HBET055	HBET061	
	HBET047	HBET037	HBET056	HBET069	
	HBET048	HBET038	HBET064	HBET071	
	HBET050	HBET049	HBET067	HBET073	
	HBET058	HBET051	HBET070	HBET075	
	HBET076	HBET054	HBET074	HBET085	
	HBET077	HBET057	HBET078	HBET091	
	HBET080	HBET060	HBET079		
	HBET081	HBET062	HBET089		
	HBET088	HBET063			
	HBET093	HBET065			
		HBET066			
		HBET068			
		HBET072			
		HBET082			
	HBET083				
	HBET084				
	HBET086				
	HBET087				
	HBET090				
	HBET092				

En el *Anejo 5. Mediciones*, se detalla el dimensionado de cada elemento en cada uno de los hidrantes y en *Anejo II. Dimensionado de la red*, se detalla el timbraje para cada colector.

4.3. DIMENSIONADO DE LA RED DE RIEGO

4.3.1. Tipo de red

Se trata de una red ramificada, alimentada desde un único punto situado con una cota piezométrica suficientemente para poder regar por gravedad. Una red ramificada, se caracteriza por que el agua, solo puede llegar al nudo de consumo siguiendo un único camino.

Se dimensionará siguiendo el método de la demanda, lo cual permite, a diferencia de las redes de riego por turno. Disponer a cualquier hora del día el caudal y la presión necesaria para poder regar.

Entre las ventajas de este tipo de redes, destacan que no necesita de automatismos, aunque se puede incorporar en cualquier momento y que son redes capaces robustas y flexibles capaces de absorber futuros cambios no previstos y conseguir una elevada vida útil sin demasiado mantenimiento.

4.3.2. Conducciones

Las conducciones de la red de riego colectiva, serán de fundición dúctil, con diámetros nominales comprendidos entre 80 y 800 mm.

Para timbrar la tubería, se han tenido en cuenta la presión necesarias en el hidrante, unas pérdidas estimadas en la red de transporte y un criterio de 50 m.c.a. por encima de la coronación de la balsa.

Los caudales circulantes, se han calculado por el método a la demanda mediante las fórmulas de Clement, explicadas en el *Anejo II. Diseño de la red*. El cálculo de esto caudales, mediante la metodología descrita en el anejo, se compararon con los caudales calculados con RGWin 2020, y las tuberías se dimensionaron utilizando esta misma aplicación.

Las formulas de Clement, proponen un modelo de cálculo basado en un comportamiento aleatorio de la demanda. Teniendo en cuenta la dotación de cada toma, la probabilidad de funcionamiento de estas y la cantidad de tomas que alimenta una línea. Permite obtener unos caudales circulantes que garantizarán el correcto funcionamiento de la red en un elevado porcentaje de los casos.

Para la aplicación de estas fórmulas, se debe tener en cuenta que presenta una serie de limitaciones de cálculo. Principalmente se pueden detallar dos limitaciones, las cuales han sido solucionados aplicando unas hipótesis explicadas en *Anejo* correspondiente al diseño de la red.

- En tramos donde se acumulen pocas tomas, puede darse el caso en el que una conducción aguas arriba, se dimensione con un diámetro menor que el de aguas arriba.
- En los tramos finales, donde se acumulan pocas tomas, los caudales pueden venir demasiado ajustados, lo que rigidiza la red frente a cambios imprevistos del futuro.

Los resultados del dimensionado de las 118 líneas, se encuentran al final del *Anejo II* y en el *Plano 2.4*.

4.3.3. Elementos de maniobra y regulación.

Los elementos contemplados en la red son los siguientes:

- Válvulas de compuerta en las primeras líneas de cada ramal. Los ramales, se encuentra definidos en el *Plano 2.3*.
- Válvulas de compuerta que harán la función de desagüe de la red. (En proyectos reales, se encuentran en puntos bajos)

- Ventosas que regulen la circulació de bolsas de aire en las conducciones. (Después de las válvulas de corte para evitar presiones negativas y en proyectos reales en los puntos altos)
- Pozos de registro mediante los que acceder a estos elementos.

Los criterios para instalar estos elementos, se encuentra en el *Anejo II* y el desglose de los elementos organizados por ramales se encuentra en *Anejo V. Mediciones*.

4.3.4. Anclajes de hormigón

El cálculo de los anclajes de hormigón, se realiza de forma paramétrica para tapones, reducciones de sección y codos de diferentes ángulos. Para las diferentes tuberías de fundición que se contemplan en el presente proyecto.

Las fórmulas detalladas en el *Anejo III. Anclajes*, muestran el cálculo de las superficie de contacto entre hormigón y terreno, necesario para mantener las conducciones inmóviles, para cada uno de los elementos descritos anteriormente. En dichos cálculos, se contempla la presión que tiene la tubería o elemento, la superficie en la que aplica, así como el empuje máximo que puede transmitir al terreno para que este se mantenga estable.

4.3.5. Movimientos de tierra

El enterrado de la obra lleva asociado unos trabajos de obra que se ordenan de la siguiente manera:

- Apertura de la zanja
- Preparación del fondo de la zanja (Refino)
- Preparación de una cama de arenas o zahorras donde asentará la tubería
- Colocación de la tubería
- Rellenado y compactado adecuado con materiales procedentes de las excavaciones
- Traslado del material sobrante a vertedero autorizado.

La sección del terreno que define las actividades realizadas para el enterrado de las tuberías, son las que describe la siguiente *Figura*.

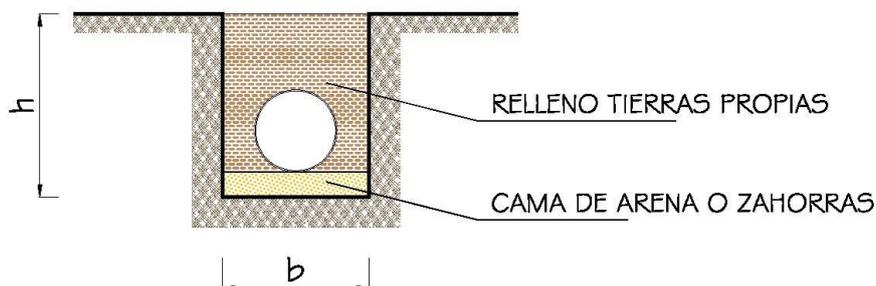


Figura 6. Sección de los movimientos de tierra.

Las cubriciones de cada operación, se encuentra detallado en el *Anejo II* en función del diámetro de tubería a instalar.

Para la elaboración de la sección de movimientos de tierra dentro del presupuesto, detallado en el *Documento 5* se ha clasificado dos tipos de suelo en función de su excavabilidad, la justificación los porcentajes de suelo de cada tipo (Terreno tránsito y terreno roca), se desarrolla a lo largo del *Anejo IV. Estudio geotécnico*, el cual ha sido readaptado y sintetizado a partir del estudio geotécnico realizado para la red que se encuentra actualmente en funcionamiento.

4.4. ANÁLISIS DE VIABILIDAD ECONÓMICA (PATs)

En este punto, se pretende aprovechar parte del trabajo realizado durante la beca de colaboración realizada en el curso 2020-2021, basado en la recopilación y síntesis de bibliografía al respecto de fundamentos económicos utilizados en los sistemas de bombas funcionando como turbinas.

Los detalles de este punto, se encuentra desarrollados en el *Anejo VI. Recuperación energética*.

El flujo de cálculo para realizar este análisis de viabilidad, se desarrolla siguiendo diferenciadas secciones. Una centrada en balances energéticos y la otra desde el punto de vista económico.

4.4.1. Localización por maximización de la energía recuperable

Para encontrar la línea que permite recuperar una mayor cantidad de energía, se siguen los siguientes apartados.

- Análisis hidráulico de la red, (curva de modulación).
- Localización de nudos más desfavorables.
- Cálculo de la potencia recuperable.
- Localización por maximización de la energía recuperable.

La **curva de modulación**, permite la modelización de caudales circulantes para cada una de las 8760 h del año, en cada una de las 118 líneas, estas distribuciones de caudales se basan en probabilidades de apertura y cierre de tomas. Estas probabilidades dependen principalmente de dos factores.

El primero son las horas diarias de riego, las cuales vienen definidas por las necesidades de riego y el caudal característico de toma.

El segundo pretende reflejar las rutinas y costumbres con las que funcionan los regantes, teniendo en cuenta que nadie regará por las noches y que el hecho de que un agricultor riegue durante el fin de semana, es más probable frente al riego entre semana. Hipótesis basada en que gran parte de los regantes no son agricultores a tiempo completo y es en el fin de semana cuando acostumbran a realizar las labores agrícolas.

Buscar la localización del **nudo más desfavorable**, cobra sentido en la medida que será este el que limite la altura recuperable por la PAT. Definiendo al nudo más desfavorable como aquel nudo de consumo situado aguas abajo de la línea analizada, que presenta una presión más cercana a los 35 mca necesarios para el correcto funcionamiento del sistema de riego.

Por lo tanto, la localización de este nudo, será distinta en función de los hidrantes que tengan tomas abiertas y de la presión resultante en los nudos. Por lo que será necesario calcular el nudo más desfavorable para cada línea y para cada hora del año.

En el cálculo de **potencia recuperable**, se ve influenciado por los caudales circulantes por la línea en cuestión, así como la altura recuperable. Si se contempla el cálculo de esta potencia en una línea para cada una de las 8760 h del año, conseguiremos la energía recuperable para una línea a lo largo del año en kWh. La fórmula que detalla este procedimiento, se encuentra correctamente definida en el *Anejo VI. Recuperación energética*.

Los datos de caudal y altura que definen la potencia recuperada para la línea 325, se puede expresar mediante un gráfico de nube de puntos, representado en la siguiente *Figura*, donde la distribución de los puntos dibuja la típica curva motriz de una bomba convencional.

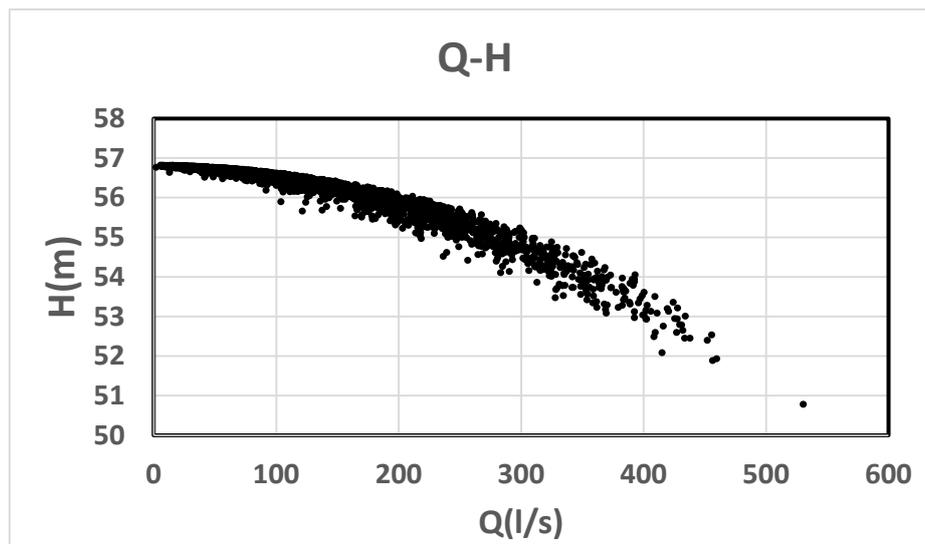


Figura 7. Nube de puntos $Q_{recuperable}$ y $H_{recuperable}$ para la línea 325.

Pudiendo extender este cálculo a todas las líneas de la red, se puede ubicar la línea con un mayor potencial para la recuperación energética, esta corresponde a la línea 335 y puede recuperar una energía estimada de 115418,52 kWh/año (115MWh/año).

4.4.2. Localización por maximización de la viabilidad económica.

La línea que maximiza la recuperación energética (la línea 335), no es la más idónea económicamente hablando debido a la relación que existe entre los costes de inversión y la energía a recuperar.

Para la localización de la línea con mayor viabilidad económica, se hace necesario clasificar los diferentes balances monetarios que se pueden realizar en sistemas de este tipo. La clasificación completa de estos ítems, se encuentra desarrollada en el *Anejo VI. Recuperación energética, a grandes rasgos*, se clasifican en:

- Costes de inversión inicial, contemplan la ejecución, instalación y funcionamiento de los equipos.
- Costes anuales, a lo largo de la vida útil de la instalación.
- Ingresos anuales, asociados a la venta de energía.
- Ingresos por valor residual, al final de la vida útil.

Tras especificar los valores para estos parámetros, se procede al concurso de diferentes métodos de evaluación económica. Tanto estáticos (PSR o ROI) como dinámicos (VAN, TIR, RB/C), siendo el utilizado para la comparación entre las líneas el VAN.

En los resultados aportados en el Anejo correspondiente, se encuentran ordenadas las líneas en función de su energía recuperable y del valor actualizado neto (VAN). Y en el *Plano 4.1* se pueden ver la ubicación de estas líneas.

Además, en el anejo correspondiente, se encuentra la justificación de porque en esta red, es interesante instalar un único sistema de recuperación energética. La decisión viene regida por un análisis del valor actualizado neto, calculado mediante combinaciones de líneas realizadas por una hoja de cálculo habilitada para macros programada mediante VBA. De tal forma, mediante visualización a partir de una gráfica, se justifica el número de sistemas de recuperación a instalar.

Siendo la línea 325, la más interesante desde el punto de vista de la viabilidad económica, presentando esta un VAN para los 30 años de su vida útil de 45.968,99 €. Con unos flujos de caja resultantes, mostrados en la siguiente *Figura*.

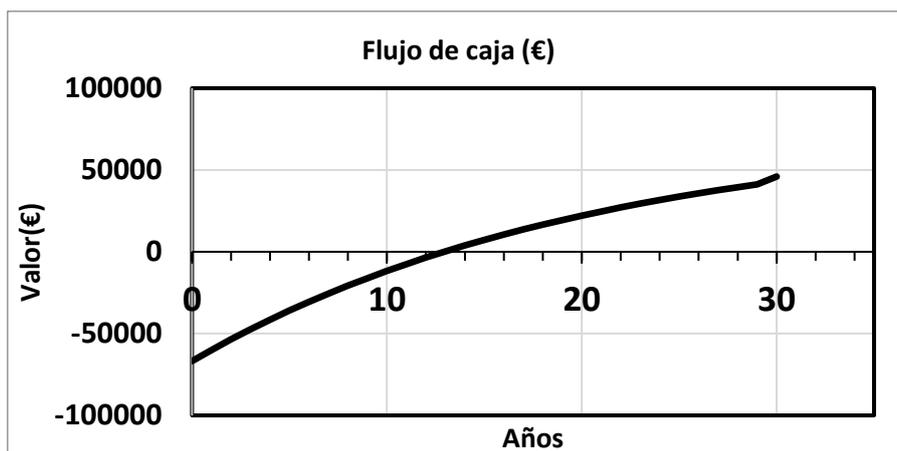


Figura 8. Flujos de caja para la línea 325.

4.5. PRESUPUESTO DEL PROYECTO

Para finalizar el proyecto se ha elaborado el presupuesto, utilizando el programa informático Arquímedes, la cual permite la conexión con el Generador de precios de CYPE Ingenieros. Dentro de esta aplicación se ha utilizado un banco de precios, con las Tarifas del Grupo Tragsa 2021, debido a que el generador de precios, no contemplaba muchas de las partidas necesarias para un proyecto de este tipo.

El presupuesto, corresponde únicamente a la red de riego, sin contemplar el sistema de recuperación energética.

Tabla 7. Resumen por capítulos del presupuesto de la red de riego.

CAPÍTULOS	IMPORTE (€)
CAPÍTULO 1. TUBERÍAS	1.562.875,83
CAPÍTULO 2. MOVIMIENTO DE TIERRAS	1.255.303,85
CAPÍTULO 3. VALVULERÍA DE LA RED	106.724,29
CAPÍTULO 4. ELEMENTOS HIDRANTES	191.041,99
CAPÍTULO 5. OBRA CIVIL	128.426,58
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA	3.244.372,54
21 % IVA	681.318,23
PRESUPUESTO GLOBAL:	3.925.690,77
El presupuesto de ejecución material asciende a la expresada cantidad de TRES MILLONES NOVECIENTOS VEINTI Y CINCO MIL SEISCIENTOS NOVENTA EUROS CON SETENTA Y SIETE CÉNTIMOS.	
Firma:	