



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

**ANÁLISIS HIDRÁULICO Y ENERGÉTICO DE LA RED DE RIEGO DEL  
SECTOR IX DE BENIFAYÓ Y EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE  
SUMINISTRO ELÉCTRICO**



**TRABAJO FIN DE MÁSTER EN INGENIERÍA AGRONÓMICA**

Alumno: Andrés Blázquez Salso

Tutor: Juan Manzano Juárez

Curso 2019-2020

**Valencia, noviembre de 2020**

Análisis hidráulico y energético de la red de riego del sector IX de Benifayó y evaluación de alternativas de suministro eléctrico

## Resumen:

El sector de riego IX de Benifayó, recibe agua desde el Canal Júcar-Turia, abastece una superficie de 525.79 has. El cultivo del caqui es mayoritario, seguido por los cítricos y otros frutales. La red de riego está subdividida en tres subredes, donde se combinan diferentes bombeos y sectores que funcionan por gravedad. Se pretende realizar un estudio sobre el comportamiento hidráulico y energético del sector, para cuantificar los consumos que se producen en un año medio. Adicionalmente se estudiará la posible existencia de zonas con déficit o exceso de presión, proponiendo medidas correctoras. Posteriormente, se estudiará la posibilidad de sustitución del actual suministro eléctrico convencional por la implantación de sistemas de energía solar fotovoltaica, valorando económicamente las alternativas planteadas

**Palabras clave:** red riego, energía, fotovoltaico, epanet

## Summary:

Irrigation sector IX of Benifayó, receives water from the Júcar-Turia Canal, supplies an area of 525.79 hectares. Persimmon cultivation is the majority, followed by citrus and other fruit trees. The irrigation network is subdivided into three subnets, where different pumps and sectors that work by gravity are combined. It is intended to carry out a study on the hydraulic and energy behavior of the sector, to quantify the consumptions that occur in an average year. Additionally, the possible existence of areas with deficit or excess pressure will be studied, proposing corrective measures. Subsequently, the possibility of replacing the current conventional electricity supply with the implementation of photovoltaic solar energy systems will be studied, economically evaluating the proposed alternatives.

**Key words:** irrigation network, energy, photovoltaic, epanet

Andrés Blázquez Salso

Valencia, noviembre de 2020

Juan Manzano Juárez

## **Agradecimientos:**

Primero de todo agradecer a mis abuelos, tanto que me habéis enseñado sobre lo que es la vida, os llevo siempre presentes. A mis padres y a mi hermano, aunque hemos pasado momentos muy duros, siempre hemos salido adelante. A los demás seres queridos de mi gran familia, por todos esos momentos que hemos pasado juntos.

También quiero agradecer a David y Julio tantos veranos juntos, han influido mucho en la persona que me he convertido, a mis compañeros de carrera Félix, Alejandro y Jorge por siempre animarme a ser mejor y llevarme a la mejor versión de mí. A María y Pamela me cambiasteis la vida y mi forma de ver lo que esta es, aunque la distancia que haya entre México y aquí sea muy grande, os pienso siempre.

A mi tutor del TFM, Juan Manzano por su gran ayuda en este trabajo, sobre todo por la situación que hemos vivido estos meses.

## Índice general:

Documento nº1: Memoria

- 1.Anejo I: Datos de partida y estudios previos
- 2.Anejo II: Estudio agronómico
- 3.Anejo III: Análisis hidráulico red existente
- 4.Anejo IV: Cálculo y dimensionado de la instalación fotovoltaica
- 5.Anejo V: Instalación de baja tensión para la instalación fotovoltaica
- 6.Anejo VI: Estudio de viabilidad económica
- 7.Anejo VII: Plazo ejecución

Documento nº2: Planos

- Plano 1: Situación
- Plano 2: Planta general red de riego
- Plano 3: Sistema Sierramar planta red de distribución
- Plano 4: Sistema Sierramar 1
- Plano 5: Sistema Sierramar 2
- Plano 6: Sistema Pedranegra planta red de distribución
- Plano 7: Sistema Pedranegra 1
- Plano 8: Sistema Pedranegra 2
- Plano 9: Sistema Pedrenyals planta red de distribución
- Plano 10: Sistema Pedrenyals 1
- Plano 11: Sistema Pedrenyals 2
- Plano 12: Simulación Epanet Sierramar inicial
- Plano 13: Simulación Epanet Sierramar final
- Plano 14: Simulación Epanet Pedranegra inicial
- Plano 15: Simulación Epanet Pedranegra final
- Plano 16: Simulación Epanet Pedrenyals inicial
- Plano 17: Simulación Epanet Pedrenyals final
- Plano 18: Ubicación y distribución instalación fotovoltaica Pedranegra
- Plano 19: Ubicación y distribución instalación fotovoltaica Pedrenyals
- Plano 20: Dimensiones estructuras fotovoltaicas
- Plano 21: Esquema eléctrico instalación fotovoltaica

Documento nº3: Pliego de condiciones

Documento nº4: Presupuesto

## **DOCUMENTO Nº1: MEMORIA**

## Índice:

1.DATOS DE PARTIDA .....	4
1.1 Objeto.....	4
1.2 Antecedentes .....	4
1.3 Datos climáticos .....	5
2.LIMITACIONES Y CONDICIONANTES.....	6
2.1 Técnicos.....	6
2.2 Legales.....	6
2.3 Administrativos .....	6
2.4 Ambientales .....	6
3.ESTUDIO AGRONÓMICO .....	6
3.1 Necesidades de riego .....	7
3.2 Tiempos de riego.....	8
4.ANÁLISIS HIDRÁULICO.....	9
4.1 Estudio de la red.....	9
4.2 Sistema Sierramar .....	14
4.3 Sistema Pedrenyals .....	17
4.4 Sistema Pedranegra .....	18
4.5 Estudio del funcionamiento de las bombas .....	19
5.SOLUCIÓN ADOPTADA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA .....	24
5.1 Placas solares .....	25
5.2 Inversor .....	27
5.3 Variador de frecuencia .....	28
5.4 Cableado y elementos de protección.....	29
6.ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA.....	30
7.PLAZO DE EJECUCIÓN.....	31
8.PRESUPUESTO DEL PROYECTO.....	31
8.1 Presupuesto de ejecución material.....	32
8.2 Presupuesto de ejecución por contrata .....	32

## Índice de tablas:

Tabla 1:Datos climáticos (media) .....	6
Tabla 2:Valores necesidades de riego netas en cada cultivo .....	7
Tabla 3:Valores de las necesidades de riego totales en cada cultivo .....	8
Tabla 4:Tiempos de riego en los cítricos .....	8
Tabla 5:Tiempo de riego en el caqui .....	9
Tabla 6:Cambios diámetros Red Sierramar .....	16
Tabla 7: Cambios diámetros Pedrenyals .....	18
Tabla 8:Cambio diámetro Pedranegra .....	19
Tabla 9:Estudio energético bombas Pedranegra .....	24
Tabla 10:Estudio energético bomba Pedrenyals.....	24
Tabla 11:Características módulos fotovoltaicos .....	25
Tabla 12:Características variador de frecuencia .....	28

## Índice de ilustraciones:

Ilustración 1:Valencia y situación de Benifayó.....	5
Ilustración 2:Situación sector IX.....	5
Ilustración 3:Planta general de los tres sistemas de riego.....	10
Ilustración 4:Esquema riego sistema Pedrenyals.....	11
Ilustración 5:Esquema de riego sistema Sierramar.....	12
Ilustración 6:Esquema de riego sistema Pedranegra .....	13
Ilustración 7: Simulación inicial sector 3 Sierramar .....	15
Ilustración 8: Curva bomba 1 Pedranegra.....	20
Ilustración 9:Curva bomba 2 Pedranegra.....	20
Ilustración 10:Análisis presión Pedranegra sector 1 .....	21
Ilustración 11: Análisis presión Pedranegra sector 1 y 2 .....	22
Ilustración 12:Curva bomba Pedrenyals .....	22
Ilustración 13:Análisis presión Pedrenyals sector 1 .....	23
Ilustración 14:Análisis presión Pedrenyals sector 2 .....	23
Ilustración 15:Parámetros eléctricos módulos fotovoltaicos .....	25
Ilustración 16: Inversor Power Electronics SD700SP kW .....	27
Ilustración 17:Características inversor .....	28
Ilustración 18:Cable tipo P-SUN 2.0 CPRO .....	29
Ilustración 19:Cable Xdrink 0.6/1kv .....	29
Ilustración 20:Programación de las obras.....	31
Ilustración 21:Diagrama de Gantt obra.....	31

## 1.DATOS DE PARTIDA

### 1.1 Objeto

El objetivo de este trabajo es el de realizar un análisis hidráulico y energético de una red de riego del sector IX Benifayó (Valencia) y proponer alternativas de suministro eléctrico.

### 1.2 Antecedentes

El proyecto a estudio se encuentra dentro de la comunidad de regantes del canal Júcar-Turia sector IX, ubicado entre los municipios de Picassent y Benifaio (Valencia).

La superficie total es de 525.79 has y esta superficie pertenece a un total de 600 comuneros.

Esta superficie se encuentra separada en tres subsistemas independientes, cada uno dotada con una balsa y cabezal propios. Los subsistemas son los siguientes:

- Sistema Sierramar: Superficie:195.09 has/ Dotación:5.45 l/sha/ Sectores de riego: 7 sectores. Caudal: 1063.24 l/s

- Sistema Pedranegra: **Presión:** Superficie:50.59 has/ Dotación:5.45 l/sha/ Sectores de riego: 2 sectores. **Gravedad:** Superficie:106.06 has/ Dotación:5.45 l/sha/ Sectores de riego: 4 sectores. Caudal: 856.69 l/s

- Sistema Pedrenyals: **Presión:** Superficie:39.27 has/ Dotación:5.45 l/sha/ Sectores de riego: 2 sectores. **Gravedad:** Superficie:134.24 has/ Dotación:5.45 l/sha/ Sectores de riego: 4 sectores. Caudal: 945.63 l/s

Se está empleando riego por goteo con tuberías de PVC, diferenciándose en los sistemas de Pedranegra y Pedrenyals sectores que van a riego por presión, con la utilización de equipos de bombeo para su correcto funcionamiento.

Mientras que actualmente la distribución de los cultivos que se encuentran actualmente es la siguiente:

- Cítricos: Porcentaje: 10% / Superficie: 105.16 has
- Caqui: Porcentaje: 90% / Superficie: 420.63 has

Como se observa el caqui es el cultivo mayoritario y del que se ha convertido en la base del negocio de la zona.

Por lo tanto, el objeto de este proyecto es el de hacer un análisis hidráulico y energético de la red de riego presente, además de plantear alternativas de suministro energético para esta red, ya sea por paneles solares u otras alternativas.

La comunidad de Regantes del Canal Júcar-Turia Sector IX está situado en el término municipal de Picassent y Benifaio. Esta superficie regable está limitada al norte por el barranc Fondo, al este por la Acequia Real del Júcar, al sureste por el camí de les covetes, al sur por el límite del término y al oeste por el Canal Júcar-Turia.

Este aspecto está más analizado en el plano 1: "Situación"



Tabla 1: Datos climáticos (media)

Estación	Mes	Precipitación media (mm/mes)	T.M.M (°C)	T.M.Mx(°C)	T.M.Mn(°C)
MEDIA	Enero	38,51	10,37	16,33	4,68
	Febrero	32,14	10,80	16,55	6,16
	Marzo	49,48	13,17	19,47	7,96
	Abril	43,08	15,75	21,92	11,11
	Mayo	43,18	18,93	25,28	14,41
	Junio	18,14	23,00	29,19	18,88
	Julio	10,23	25,79	31,57	22,75
	Agosto	15,23	25,69	31,45	22,28
	Septiembre	61,15	22,75	28,78	18,74
	Octubre	56,49	18,90	24,90	14,01
	Noviembre	52,41	13,80	19,77	8,53
	Diciembre	46,01	10,54	16,55	5,68

T.M.M: Temperatura media de las medias/ T.M.Mx: Temperatura media de las máximas/ T.M.Mn: Temperatura media de las mínimas

## 2.LIMITACIONES Y CONDICIONANTES

### 2.1 Técnicos

Las limitaciones técnicas que nos podemos encontrar serán planteadas y discutidas de forma detallada a lo largo del presente Proyecto.

### 2.2 Legales

Son de aplicación al presente Proyecto todos aquellos artículos de las disposiciones legales expuestos en el Pliego de Condiciones Técnicas Generales. Además, se cumplirá con la normativa existente en la Comunidad Valenciana, así como aquella de carácter local o provincial.

### 2.3 Administrativos

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

### 2.4 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.

## 3.ESTUDIO AGRONÓMICO

Los cultivos presentes en la zona son mayoritariamente el caqui, siendo un 90% del cultivo presente, mientras que el resto lo constituye el cultivo de cítricos. Por lo tanto, la mayor parte del caudal del agua será necesario para abastecer las necesidades del caqui.

### 3.1 Necesidades de riego

Es necesario saber que las plantas transpiran mucha mayor cantidad de agua de la que retienen. Por ello, hay que tener en cuenta a la hora de realizar estos cálculos que hay pérdidas por evaporación.

Para calcular las necesidades netas de riego, se utilizará el método del balance hídrico, en el cual se obtienen los resultados mediante la siguiente expresión:

$$Nn = ETo \times Kc \times K1 \times K2 - Pef$$

Por lo tanto, las necesidades netas para cada cultivo, aplicando la ecuación antes explicada son las siguientes:

Tabla 2: Valores necesidades de riego netas en cada cultivo

	Nn Caqui	Nn Cítricos
Enero	-26,96	-14,92
Febrero	-20,31	-8,45
Marzo	-17,45	-8,40
Abril	7,39	1,54
Mayo	33,57	10,61
Junio	86,84	51,51
Julio	125,67	74,06
Agosto	113,16	85,45
Septiembre	64,28	16,86
Octubre	9,96	-13,98
Noviembre	-17,07	-22,79
Diciembre	-30,16	-20,61

Por lo tanto, podemos observar que el cultivo necesitará de un aporte de riego durante los meses de abril, mayo, junio, julio, agosto y septiembre.

Estas necesidades totales de riego se calculan debido a que se pueden llegar a producir distintas pérdidas de agua ocasionadas por distintos factores.

En nuestro caso, vamos a tener en cuenta las pérdidas por salinidad.

Primero se ha de saber la fracción de agua necesaria para el lavado de sales ya que esta es limitante.

Por lo tanto, se aplica la siguiente expresión para calcular las necesidades totales:

$$Nt: Nn / (1 - Efa)$$

Tabla 3: Valores de las necesidades de riego totales en cada cultivo

	Nt Caqui(mm/mes)	Nt Cítricos(mm/mes)
Enero	-39,07	-21,62
Febrero	-29,43	-12,25
Marzo	-25,28	-12,17
Abril	10,71	2,24
Mayo	48,65	15,37
Junio	125,86	74,66
Julio	182,13	107,33
Agosto	164,00	123,84
Septiembre	93,15	24,43
Octubre	14,43	-20,27
Noviembre	-24,74	-33,02
Diciembre	-43,71	-29,87

### 3.2 Tiempos de riego

Una vez conocidas las necesidades totales de los dos cultivos presentes en la zona, se precisa calcular el tiempo de riego y para ello, lo primero que debemos conocer es el número de goteros por metro cuadrado y su caudal medio, el cual se ha establecido en 3.8 l/h para frutales y cítricos, estos datos nos vienen ya previstos en el proyecto.

Tabla 4: Tiempos de riego en los cítricos

	Cítricos Tr tiempo riego(h)
Enero	0,00
Febrero	0,00
Marzo	0,00
Abril	0,05
Mayo	0,36
Junio	1,82
Julio	2,53
Agosto	2,92
Septiembre	0,59
Octubre	0,00
Noviembre	0,00
Diciembre	0,00

Tabla 5:Tiempo de riego en el caqui

Caqui	
	Tr tiempo riego(h)
Enero	0,00
Febrero	0,00
Marzo	0,00
Abril	0,18
Mayo	0,77
Junio	2,07
Julio	2,89
Agosto	2,61
Septiembre	1,53
Octubre	0,23
Noviembre	0,00
Diciembre	0,00

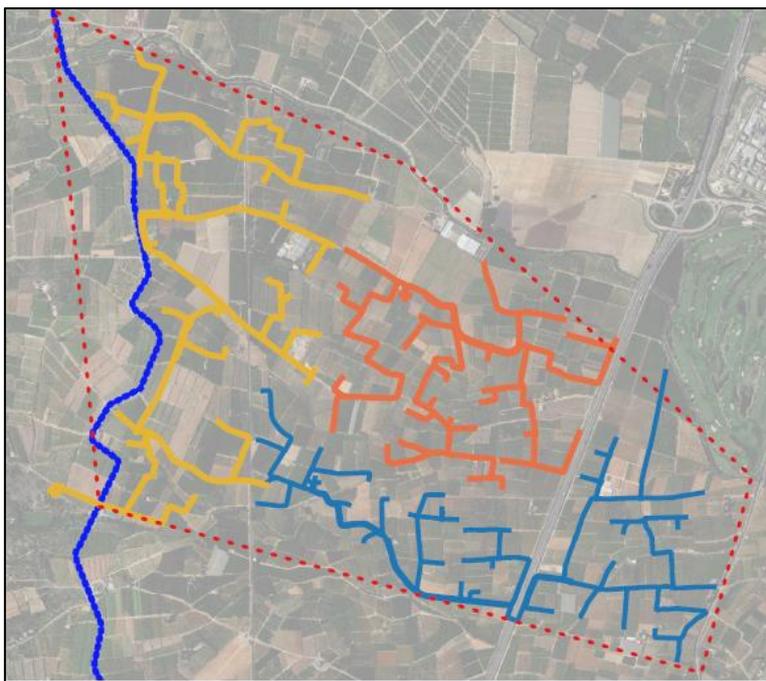
## 4.ANÁLISIS HIDRÁULICO

### 4.1 Estudio de la red

Este análisis se hace sobre la Comunidad de Regantes San Rafael que cuenta con una superficie regable total de 525.79 hectáreas.

Como ya se ha comentado anteriormente esta superficie se encuentra dividida en 3 sistemas, como se muestra en el plano 2: *“Planta general red de riego”* independientes en la que cada una de ellas cuenta con una balsa de regulación de aguas procedente del Canal, cabezal de riego localizado y red de distribución de riego localizado.

Ilustración 3: Planta general de los tres sistemas de riego



Cada cabezal posee con un cabezal de riego con sistema de presurización mediante grupo electrobomba en los sistemas de Pedranegra y Pedrenyals, sistemas de filtrado por baterías de filtros de anillas y sistema de fertirrigación formado por tanques de fertilizante de 10000 ltros por unidad y bombas dosificadoras.

La red de distribución consta en tuberías de PVC hasta el pie de las parcelas de riego, donde se emplaza un hidrante monousuario. La sectorización de la red de riego se realiza mediante el accionamiento de electroválvulas.

Para el proceso de digitalización de esta red se han utilizado datos ofrecidos por la comunidad de regantes y mostrados en el anejo: “Anejo características sistemas de riego”, en el podemos ver datos como la numeración de los distintos nudos, altura, demanda, diámetros, cota y presión de cada uno de ellos.

Una vez con estos datos se ha procedido a hacer mapas con el programa QGIS el cual es un Sistema de Información Geográfica (SIG) de software libre y de código abierto para plataformas GNU/Linux, Unix, Mac OS, Microsoft Windows y Android.<sup>2</sup> Fue uno de los primeros ocho proyectos de la Fundación OSGeo y en 2008 oficialmente graduó de la fase de incubación. Permite manejar formatos raster y vectoriales a través de la biblioteca GDAL (GADL/OGR), así como bases de datos.

Para ello se han hecho trazados sobre él utilizando las diversas herramientas ofrecidas por este programa siguiendo la disposición aportada por la comunidad, añadiendo distintos valores, como la disposición de los nudos, tuberías, bombas, cabezales y electroválvulas, todos ellos con sus correspondientes valores ordenados en cada una de las tablas de atributos.

Dichos mapas se encuentran reflejados en los *planos 3-11*. En los que se hace una representación de cada uno de estos sistemas y a su vez la división de estos en sus correspondientes sectores, explicados también en el anejo complementario.

A continuación, se muestran una representación esquematizada de cada uno de los sistemas:

Ilustración 4: Esquema riego sistema Pedrenyals

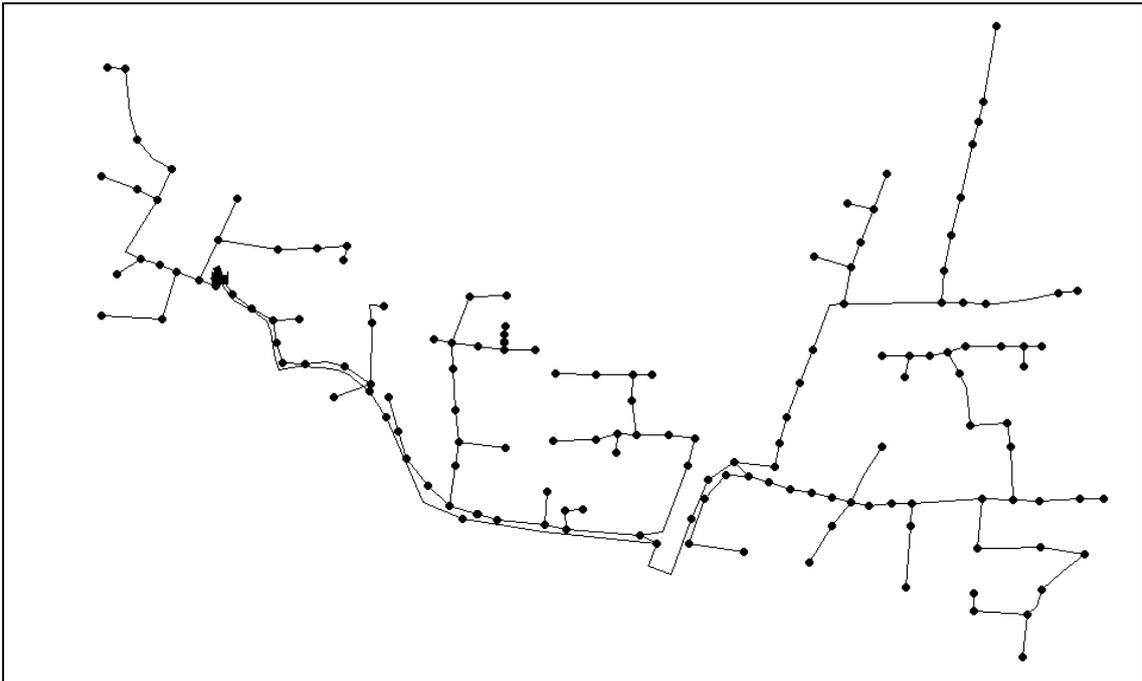


Ilustración 5: Esquema de riego sistema Sierramar

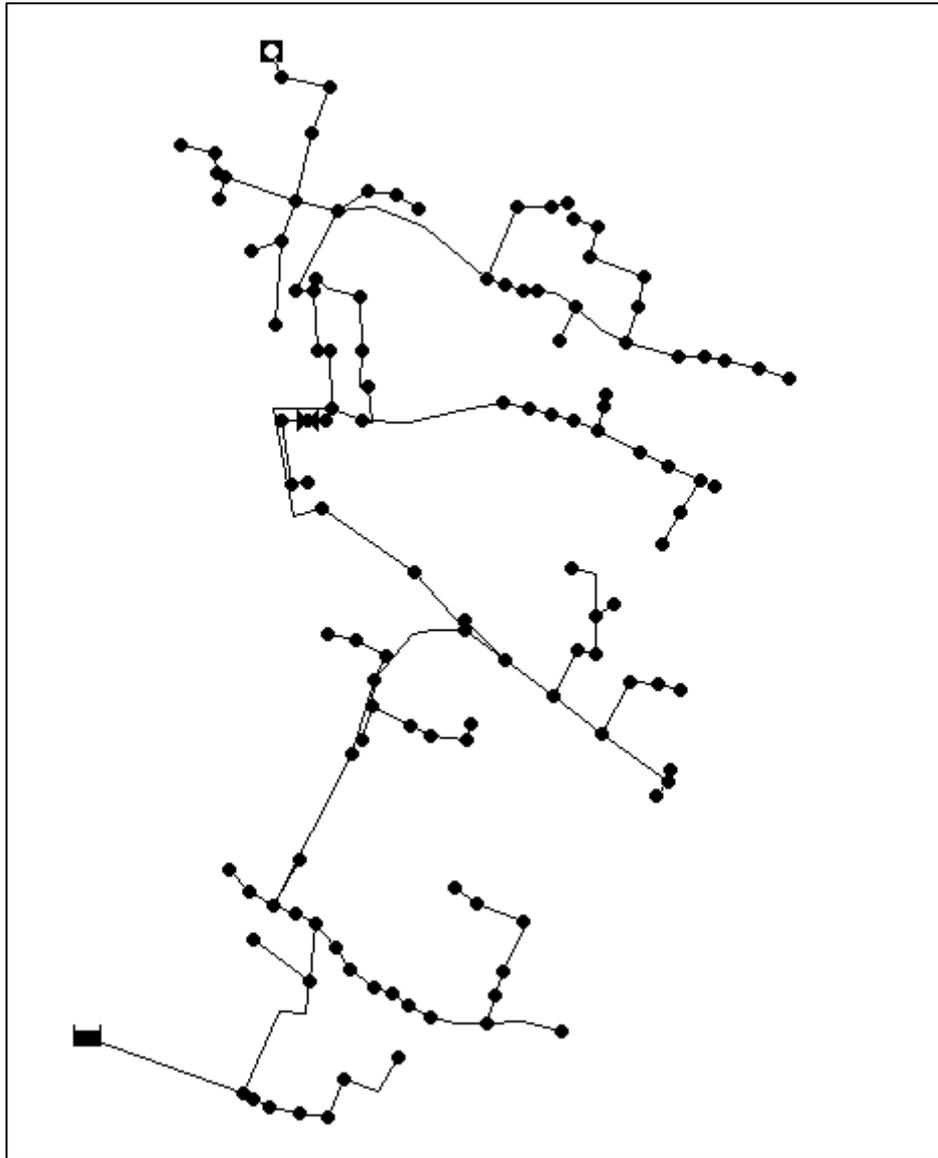
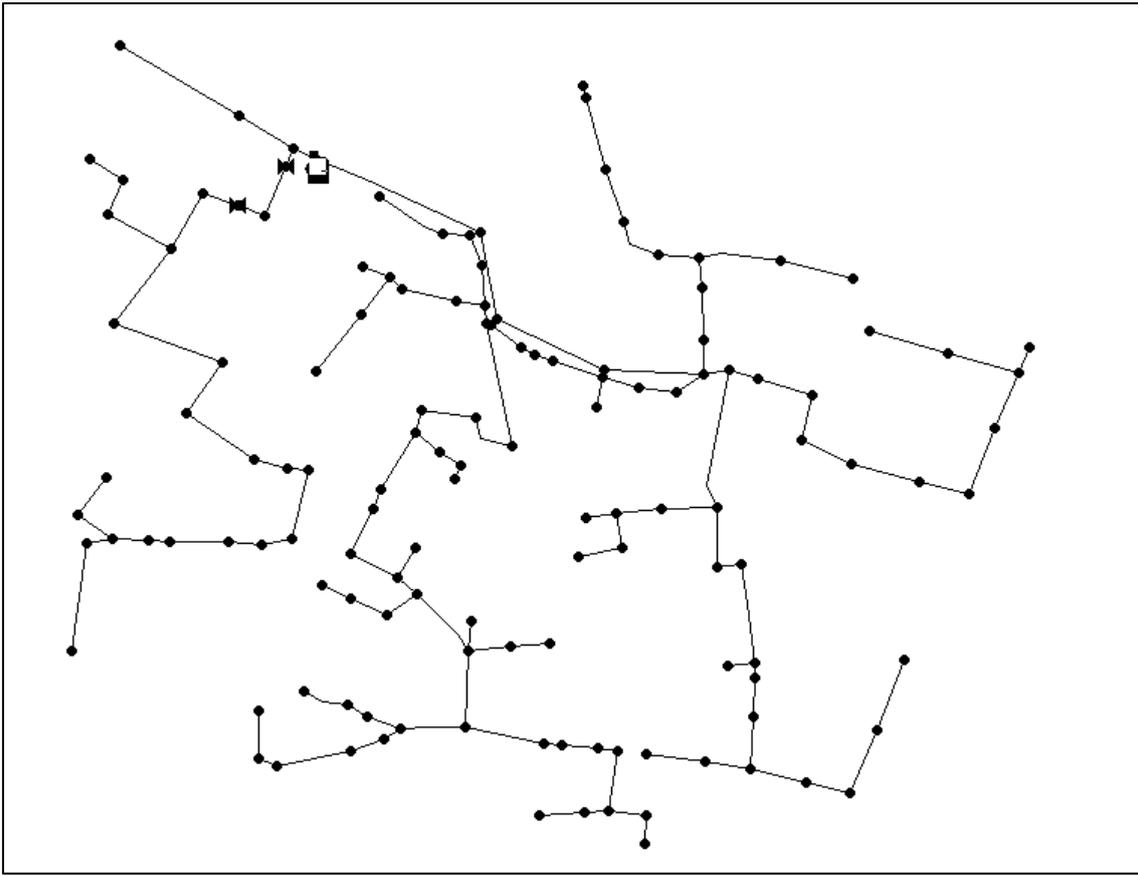


Ilustración 6: Esquema de riego sistema Pedranegra



Después de haber realizado la digitalización de las redes de riego se procede al objetivo principal del análisis, que es el de realizar un estudio de la red, para observar si se produce un funcionamiento correcto de esta y certificar si los valores tanto de presiones como de velocidades son los apropiados para que funcione correctamente. Para ello, trabajaremos con las redes introducidas en los que se han introducido los correspondientes datos de caudales, longitudes, cotas, presiones y diámetros tanto de los nudos como de las tuberías y a partir de ahí, según los resultados obtenidos en el caso en que los diferentes tramos de tuberías no cumplen con los requisitos de presión ni velocidad, se realizarán cambios en los diámetros hasta que cumplan las condiciones.

Los valores recomendados para que se produzca un correcto funcionamiento de la instalación, se han fijado en cuanto a presiones dentro de un intervalo entre 20-50 m.c.a, mientras que para las velocidades se sitúa entre 0.01-2.5 m/s

Para este análisis, se ha empleado el programa EPANET 2.0, que es un programa informático cuya función es realizar el análisis de sistemas de distribución de agua. El programa es de dominio público y es desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. El programa es capaz de trabajar con períodos de simulación sobre hidráulica y el comportamiento de la calidad de las aguas dentro de una red presurizada, además de estar diseñada para ser "una herramienta de investigación que mejore nuestro conocimiento del movimiento y destino del agua potable y sus constituyentes en una red de aguas" (Wikipedia 2020). Si bien fue diseñado para agua potable también puede ser utilizado para el análisis de cualquier fluido no compresible con flujo a presión.

Para el paso de las redes en Qgis a Epanet, se ha empleado la herramienta QEPANET, la cual es capaz de transformar los archivos .shp en .inp los cuales pueden ser leídos por el programa EPANET que es el que nos interesa para realizar este análisis.

La simulación de todos los sistemas ha sido realizada con los datos hidráulicos siguientes:

Unidades de caudal: L/s

Ecuación de pérdidas: CM

Viscosidad relativa: 1

Factor de demanda: 1

Precisión de 0.001

Nº máximo iteraciones: 40

Las características de los distintos sistemas y a su vez los sectores en los que estos se dividen y sus datos de cota (m), demanda (l/s), altura (m) y presión (m.c.a) están incluidas en el anejo complementario al anejo IV llamado "Anejo características sistemas de riego".

Se ha fijado que para cada sector de riego se riegue un total de 3 horas, fijado por el tiempo de riego calculado anteriormente en el diseño agronómico. Siendo entonces (0-3 h) para el primer sector, (3-6h) para el segundo sector, (6-9h) para el tercer sector, (9-12h) para el cuarto sector, (12-15h) para el quinto sector, (15-18h) para el sector sector y en el caso de sierramar (18-21h) para el séptimo sector.

Estos tiempos se han introducido como patrones de demanda, a los cuales se les ha asignado a los nudos de cada sector.

Además, se ha introducido en el programa las curvas correspondientes a cada una de las bombas.

### 4.2 Sistema Sierramar

Posee 7 sectores de riego, mostrados en el anejo complementario, se alimenta sin bombeo, con una balsa situada a cota 107 m. Por cada sector se sitúa una electroválvula, por lo tanto, hay 7, que ayudan a la aplicación del riego por turnos.

Tiene una superficie de 195.09 has y una dotación de 5.45 has

Los esquemas de la simulación de los 7 sectores de riego se muestran en el plano 12: "*Simulación Epanet Sierramar inicial*"

Como se observa en el plano y para mejorar su interpretación para su estudio, se ha decidido dividir en los sectores correspondientes y cortando la red según los tramos por los que el fluido discurre.

En general, los valores de presiones de los nudos se mantienen entre los valores de 20-50 m.c.a recomendables, mientras que los valores de velocidades en tuberías son en algunas de ellos superiores a lo recomendado (2.5 m/s). Estos resultados se muestran en los planos 12,14 y 16, en los que se muestra la situación inicial en la que se encontraba la red.



Tabla 6: Cambios diámetros Red Sierramar

Sistema Sierramar		
Conexión	Diámetro anterior	Diámetro nuevo
7	103,6	235,4
9	84,6	103,6
10	70,6	84,6
17	188,2	235,4
18	188,2	235,4
19	188,2	235,4
20	150,6	188,2
29b	59,2	100
24	117,6	131,7
25	103,6	131,7
26	103,6	131,7
16	235,4	376,6
15	235,4	376,6
52	70,6	156,6
47	103,6	156,6
49	70,6	103,6
50	36,4	70,6
53	70,6	65,2
54	46,4	70,6
63	161,38	46,4
43	103,6	150,6
44	84,6	103,6
61	46,4	84,6
4	84,6	170,6
L14	84,6	117,6
L15	84,6	117,6
80	70,6	117,6
87b	100	188,2
94	70,6	117,6
87	117,6	156,6
88	103,6	156,6
89	84,6	156,6
90	70,6	103,6
100	188,2	296,6
L9	100	188,2
113	36,4	100
116	70,6	117,2
117	70,6	117,2
105	70,6	84,6
130	84,6	188,2

L10	100	296,6
133	36,4	70,6

Dichos resultados, una vez introducidos los cambios se observan en el plano 13: *“Simulación Epanet Sierramar final”*

### 4.3 Sistema Pedrenyals

Posee 6 sectores de riego, mostrados en el anejo complementario, los dos primeros sectores se alimentan mediante un grupo de bombeo, el resto de la red de riego se suministra sin bombeo aprovechando la balsa situada a 67 m.c.a. Por cada sector se sitúa una electroválvula, por lo tanto, hay 6, que ayudan a la aplicación del riego por turnos.

Cuenta con una superficie de 50.59 has en presión y 106.06 has en gravedad, contando ambas con una dotación de 5.45 l/sha

Se aplican los mismos métodos de estudio y las simulaciones en el plano 16: *Simulación Epanet Pedrenyals inicial*”, en el que se observan que las presiones en los nudos se encuentran dentro de los rangos establecidos, pero en cuanto a las velocidades en distintos tramos es mayor a la permitida (50 m.c.a)

En cuanto al criterio utilizado para resolver estas situaciones, se procede a realizar los cambios en los diámetros de las distintas conexiones:

Tabla 7: Cambios diámetros Pedrenyals

Sistema Pedrenyals		
Conexión	Diámetro anterior	Diámetro nuevo
24	84,6	103,6
L19	59,2	103,6
L20	59,2	103,6
15	84,6	151,6
34	68,12	188,2
30	188,2	250,6
33	188,2	290,6
42	59,2	84,6
51	84,6	186,6
52	84,6	186,6
53	70,6	186,6
112	46,4	84,6
110	70,6	120,6
114	70,6	120,6
78	59,2	103,6
80	46,4	180,2
61	235,4	296,6
92	117,6	188,2
94	84,6	188,2
78	59,2	103,6

Dichos resultados, una vez introducidos los cambios se observan en el plano 17: *“Simulación Epanet Pedrenyals final”*

#### 4.4 Sistema Pedranegra

Posee 6 sectores de riego, mostrados en el anejo complementario, los dos primeros sectores se alimentan mediante un grupo de bombeo, el resto de la red de riego se suministra sin bombeo aprovechando la balsa situada a 67 m.c.a. Por cada sector se sitúa una electroválvula, por lo tanto, hay 6, que ayudan a la aplicación del riego por turnos

Contando con una superficie de 39.27 has en presión y 134.24 has en gravedad, con una dotación de 5.45 l/sha para ambas.

Para su estudio se han seguidos los criterios anteriores, mostrados en el plano 14: *“Simulación Epanet Pedranegra inicial”*, en el que sigue la misma tendencia que los sistemas anteriores, con fallos en las velocidades entre tramos.

Una vez más se ha seguido el mismo procedimiento aplicado y en cuanto a los cambios producidos en los diámetros de las distintas conexiones son:

Tabla 8: Cambio diámetro Pedranegra

Sistema Pedranegra		
Conexión	Diámetro anterior	Diámetro nuevo
P24	70,6	84,46
L83	235,4	296,6
P05	188,2	235,4
P26	70,6	235,4
P27	59,2	235,4
P28	46,4	188
P09	188,2	235,4
P10	188,2	235,4
P12	188,2	235,4
P13	188,2	235,4
P14	188,2	235,4
P15	188,2	235,4
P16	150,6	235,4
P17	131,8	235,4
P19	117,6	235,4
P18	117,6	235,4

Dichos resultados, una vez introducidos los cambios se observan en el plano 15: *“Simulación Epanet Pedranegra final”*

A su vez y una vez realizado todos estos cambios, Epanet nos proporciona un listado con los resultados, mostrados en: *“Listado resultado sistemas Epanet”*.

En estos listados se ofrece una división por sistemas, se ofrecen otra vez las características en cuanto a los nudos, longitudes, diámetros, presiones y a su vez un análisis exhaustivo de cada sector de riego de cada uno de los sistemas, en los que nos ofrece datos de demanda, altura, presión, calidad, caudal, velocidad, pérdidas y estado de cada uno de los nudos que conforman cada sector.

#### 4.5 Estudio del funcionamiento de las bombas

El objetivo de este apartado es mostrar si en los sectores a presión, llega a los nudos la presión indicada ya anteriormente (20-50 m.c.a), para que se produzca un correcto procedimiento de la red.

Este análisis al igual que los demás se hace dividiendo a las redes en los distintos sistemas.

Empezando por la red Pedranegra, cuyos sectores 1 y 2 funcionan con el sistema de bombeo. En la imagen mostrada a continuación se pueden observar los nudos de estos sectores en los que se produce sobrepresión, (en color rojo), es decir, nudos que superan los 50 m.c.a. En estos nudos la presión requerida es mucho menor de la aportada por la bomba.

Las curvas de las bombas son las siguientes:

Ilustración 8: Curva bomba 1 Pedranegra

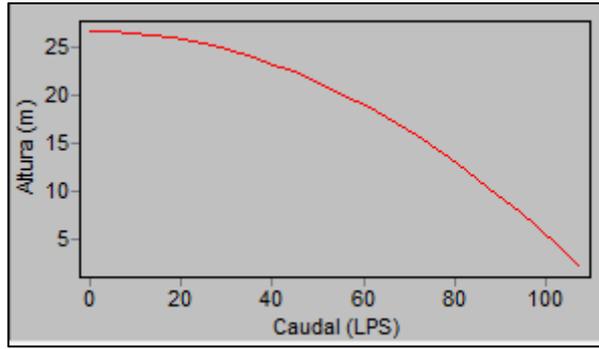


Ilustración 9: Curva bomba 2 Pedranegra

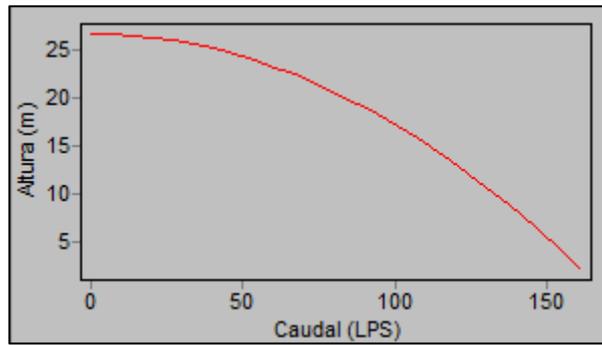


Ilustración 10: Análisis presión Pedranegra sector 1

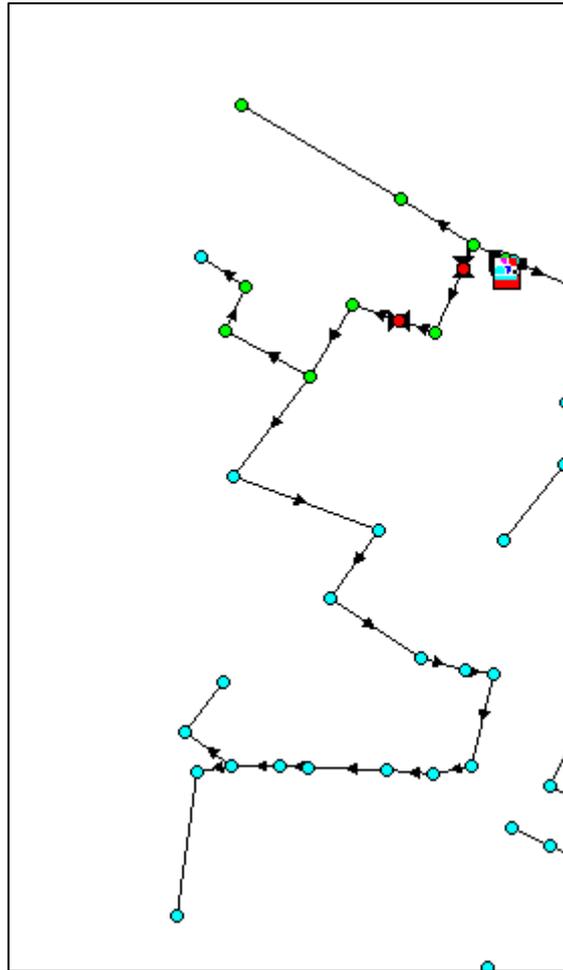
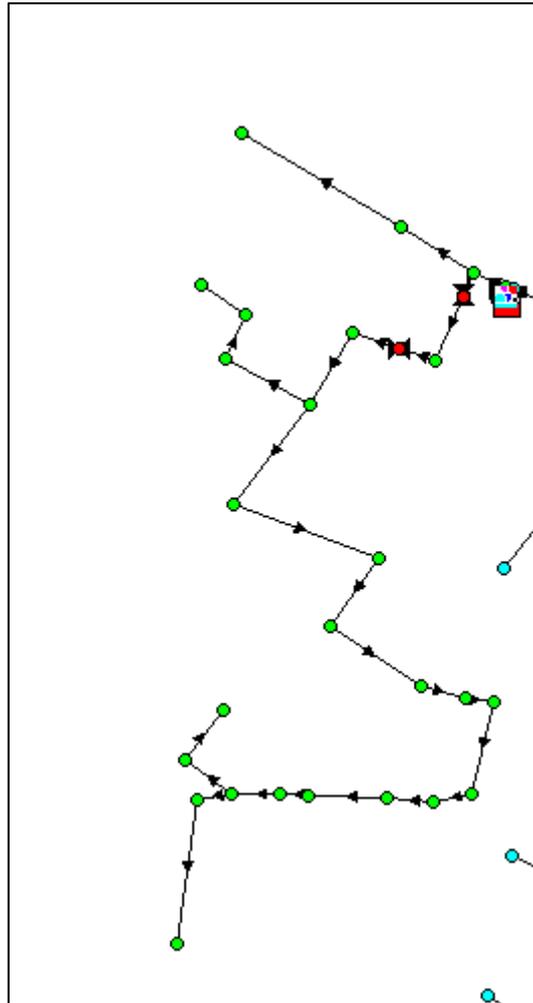


Ilustración 11: Análisis presión Pedranegra sector 1 y 2



Como se observa en la imagen solo dos nudos del sector 1 superan estos niveles de 50 m.c.a pero al funcionar correctamente los demás, no se efectuarán medidas correctivas.

En cuanto al sistema Pedrenyals, también los sectores 1 y 2 son los que están asociados a un grupo de bombeo y en este caso la presión a superar no debe ser superior a 85 m.c.a, a continuación, se muestran los resultados.

La curva de la bomba es la siguiente:

Ilustración 12: Curva bomba Pedrenyals

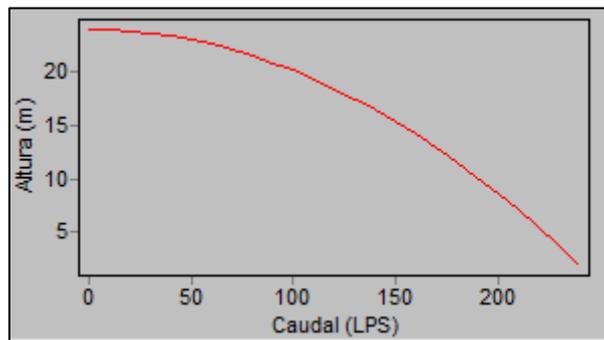


Ilustración 13: Análisis presión Pedrenyals sector 1

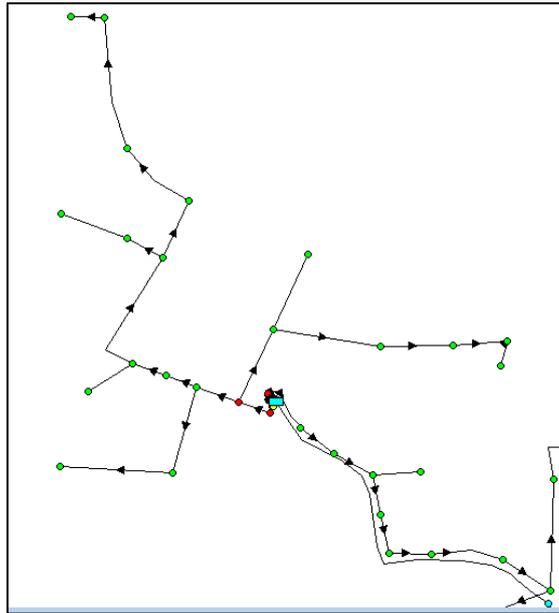
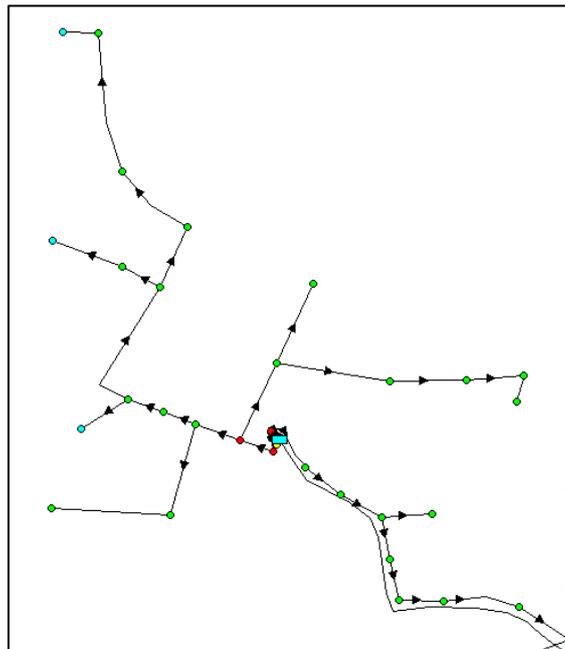


Ilustración 14: Análisis presión Pedrenyals sector 2



Como se observa en la imagen en este caso, solo dos nudos superan estas presiones, por ello se deciden tomar las mismas medidas que en el caso anterior.

Una vez sabidos todos estos datos, el programa nos ofrece los parámetros energéticos de las bombas el cual es el siguiente:

Tabla 9: Estudio energético bombas Pedranegra

Sistema Pedranegra					
Bomba	Porcentaje utilización	Rendimiento medio	Kwh/m3	Potencia media	Potencia máxima
P1	100	75	0,07	4,9	14,82
P2	100	75	0,08	7,35	22,23

Tabla 10: Estudio energético bomba Pedrenyals

Sistema Pedrenyals					
Bomba	Porcentaje utilización	Rendimiento medio	Kwh/m3	Potencia media	Potencia máxima
P1	100	75	0,08	9,04	29,02

Este parámetro es importante desde el punto de vista energético y económico, ya que, nos permite apreciar valores de potencia en kW que serán recomendables saber para el cálculo de alternativas de suministro eléctrico posibles.

## 5.SOLUCIÓN ADOPTADA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

Como solución a la evaluación de alternativas de suministro eléctrico se ha decidido diseñar un sistema de alimentación tanto en las bombas de Pedranegra y Pedrenyals para la captación de agua.

Consiste en el diseño y dimensionado de una instalación solar fotovoltaica; esta instalación cuenta con el generador fotovoltaico, que está formado por el conjunto de módulos en serie y paralelo, cuya función es la de transformar la energía solar en eléctrica. Y el sistema acondicionador de potencia, que transforma la corriente continua generada por el sistema fotovoltaico en corriente alterna.

Se ha decidido adoptar debido a las ventajas de la energía renovable y condiciones climáticas favorables en la zona para que se de este sistema. Otros factores serían la rentabilidad económica y su vida útil.

Se trata del mecanismo de un sistema de bombeo solar fotovoltaico el cual permite la extracción de agua de la zona. El cual presenta una serie de características como de ser una instalación autónoma que no requiere de suministro externo, larga vida útil, coste mantenimiento reducido.

La justificación de los cálculos realizados a lo largo del proyecto se encuentra en los anejos correspondientes.

La instalación está formada por los siguientes componentes:

### 5.1 Placas solares

Está formado por un conjunto de módulos interconectados en serie y paralelo, los cuales son los encargados de transformar la energía solar incidente en energía eléctrica.

Se han elegido unos módulos fotovoltaicos de 280 Wp modelo Yingli YGE 60 CELL.

Tras haber realizado todos los cálculos oportunos, mostrados en el anejo IV: "Cálculo y dimensionado de la instalación fotovoltaica". Se han decidido instalar 78 paneles en Pedranegra 1, 117 paneles en Pedranegra 2 y 156 paneles en Pedrenyals.

Ilustración 15: Parámetros eléctricos módulos fotovoltaicos

Parámetros eléctricos en condiciones de prueba estándar (STC)								
Tipo de módulo			YLXXXP-29b (XXX=Pmax) YLXXXP-29b 1500V (XXX=Pmax)					
			295	290	285	280	275	270
Potencia de salida	$P_{max}$	W	295	290	285	280	275	270
Tolerancias de potencia de salida	$P_{max}$	W	0/+5					
Eficiencia del módulo	$\eta_m$	%	18.0	17.7	17.4	17.1	16.8	16.5
Tensión en $P_{max}$	$V_{mp}$	V	32.0	31.7	31.5	31.3	31.0	30.8
Intensidad en $P_{max}$	$I_{mp}$	A	9.22	9.15	9.05	8.95	8.88	8.77
Tensión en circuito abierto	$V_{oc}$	V	38.5	38.4	38.2	38.0	37.8	37.7
Intensidad en cortocircuito	$I_{sc}$	A	9.74	9.65	9.55	9.45	9.36	9.26

Tabla 11: Características módulos fotovoltaicos

Módulos Yingli 280 Wp	
P(Wp)	280 Wp
$V_{p,max}(V)$	31.3 V
$I_{p,max}(A)$	8.95 A

La distribución de los módulos en la red serán los siguientes:

Pedranegra 1:

Nºpaneles serie	Nºpaneles paralelo	Módulos totales	Potencia total (KW)	Comprobación (Pt>21.87KW)
16	5	80	22.4	Si

Pedranegra 2:

Nºpaneles serie	Nºpaneles paralelo	Módulos totales	Potencia total (KW)	Comprobación (Pt>32.81KW)
20	6	120	33.6	Si

Pedrenyals:

Nºpaneles serie	Nºpaneles paralelo	Módulos totales	Potencia total (KW)	Comprobación (Pt>43.75KW)
23	7	161	45.08	Si

Para nuestras placas se selecciona la estructura de soportes inclinados se ha elegido el modelo FV925XL-2X4 de la compañía "Cambio energético", la cual es una estructura doble elevada con fijaciones de aluminio para la sujeción de 1 hasta 40 placas solares sobre una cubierta plana o suelo.

Estas estructuras son de aluminio, con tornillería de acero inoxidable. Tienen un fácil montaje, son aptos para módulos de 30 a 55 mm de espesor.

La distribución de los módulos se hará en estas estructuras, colocando una estructura en cada sistema. Con una inclinación de 15º.

Esta estructura se colocará en el sistema Pedranegra 1 colocando a su vez en ellas módulos 16 en serie y 5 en paralelo por estructura sumando un total de 8 módulos por estructura. Por lo tanto, necesitaremos en total 8 estructuras en esta disposición para que así completen los 80 módulos totales.

Para Pedranegra 2, se colocarán 20 módulos en serie y 6 en paralelo, sumando un total de 120 módulos. Necesitando para ello 24 estructuras con una disposición de 4 módulos en serie y 2 en paralelo, cada una.

Para el sistema Pedrenyals, se colocarán 21 estructuras con una disposición de 8 módulos en serie por estructura y 2 en paralelo, mientras que, en la última estructura de cada fila, se colocarán 7 módulos, en lugar de 8. Quedando así una disposición de 23 módulos en serie por 7 módulos en paralelo.

Dichas ubicaciones y disposición de las estructuras se encuentran en los *planos 18-19*.

## 5.2 Inversor

La principal necesidad que buscamos al seleccionar el inversor es que sea capaz de soportar todo el suministro eléctrico del parque fotovoltaico dimensionado.

Estos equipos son convertidores conmutados, los cuales consiguen que el módulo fotovoltaico trabaje en el Punto de máxima potencia. La función principal del inversor es transformar la corriente continua en corriente alterna.

Por lo que se ha elegido para ambas instalaciones por separado el inversor de Power Electronics SD700SP

Cuyas características son las siguientes:

*Ilustración 16: Inversor Power Electronics SD700SP kW*



Ilustración 17:Características inversor

<b>ENTRADA</b>	<b>Rango de potencia</b>	1,5kW - 560kW <sup>PI</sup>	
	<b>Tensión</b>	380-500Vca, 3 fases (±10%) 540-900Vcc (830Vcc para tallas 1 y 2)	
	<b>Alimentación híbrida</b>	Si, conexión simultánea	
	<b>Frecuencia de entrada</b>	50Hz/60Hz ± 6%	
	<b>Tecnología rectificador de entrada</b>	Tiristor-diodo	
	<b>DPF=cos φ / Factor de potencia</b>	≥ 0.98 / ≥ 0.91	
	<b>Filtro de entrada EMC</b>	Tallas 1 y 2: Primer entorno (C2 estándar); Tallas 3 a 11: Segundo entorno (Industrial) (C3 estándar); Primer entorno (C2 Opcional). C1 consultar con Power Electronics. Filtro IT opcional	
	<b>THDi (%) corriente / Filtro de armónicos</b>	≤ 40% / Bobinas de entrada 3% impedancia	
	<b>Regenerativo</b>	No	
	<b>SALIDA</b>	<b>Frecuencia de salida<sup>RI</sup></b>	0...200Hz
<b>Capacidad de sobrecarga</b>		Par constante/carga pesada: 150% durante 60s a 50°C	
<b>Eficiencia (a corriente y tensión nominal)</b>		≥ 98%	
<b>Frecuencia de modulación</b>		4 a 8kHz - PEWave	
<b>Filtro dV/dt de salida</b>		500 a 800V/μs <sup>RI</sup>	
<b>Longitud cable de salida<sup>RI</sup></b>		No apantallado 300m, Apantallado 150m	
<b>CONDICIONES AMBIENTALES</b>	<b>Temperatura operación/almacenamiento</b>	-20°C a +50°C / -40°C a +70°C	
	<b>Altitud/Reducción de potencia por altitud<sup>RI</sup></b>	1000m / >1000m, 1% PN(kW) por 100m; 4000m máximo	
	<b>Humedad relativa</b>	<95%, sin condensación	
	<b>Grado de protección</b>	IP20, IP54	
<b>ENTRADAS Y SALIDAS</b>	<b>Entradas digitales</b>	6 programables, activas a nivel alto (24Vcc), Alimentación aislada, 1 entrada PTC	
	<b>Salidas digitales</b>	3 relés conmutados configurables (250Vca, 8A o 30Vcc, 8A)	
	<b>Entradas analógicas</b>	2 programables y diferenciales: 0-20mA, 4-20mA, 0-10Vcc y ±10Vcc (Aislado ópticamente)	
	<b>Salidas analógicas</b>	2 salidas configurables aisladas: 0-20mA, 4-20mA, 0-10Vcc y ±10Vcc	
	<b>Entradas encoder (opcional)</b>	2 entradas encoder diferenciales. Tensiones de entrada desde 5 a 24Vcc	
	<b>Alimentación de usuario</b>	+24Vcc alimentación de usuario (Máx. 180mA) regulada y protegida frente a cortocircuitos +10Vcc alimentación de usuario (Máx. 2 potenciómetros R=1kΩ) regulada y protegida frente a cortocircuitos	
	<b>Tarjeta de expansión E/S (opcional)</b>	4 digitales: Entradas programables y activas a nivel alto (24Vcc). (Aislado ópticamente) 1 entrada analógica: Entrada programable y diferencial. 5 salidas digitales: Relés programables multifunción. 1 salida analógica: Salida programable en tensión /corriente.	
	<b>Alimentación externa (opcional)</b>	24V Alimentación externa, Relé de fallo integrado	
	<b>COMUNICACIONES</b>	<b>Protocolo estándar</b>	Modbus-RTU
		<b>Protocolo opcional</b>	Profibus-DP, DeviceNet, Ethernet (Modbus TCP), Ethernet IP, CANopen, N2 Metasys Gateway
<b>REGULACIÓN</b>	<b>Certificaciones</b>	CE, cTick, UL <sup>RI</sup> , cUL <sup>RI</sup> , GL <sup>RI</sup>	
	<b>Compatibilidad electromagnética</b>	Directiva EMC (2004/108/CE), IEC/EN 61800-3	
	<b>Diseño y construcción</b>	Directiva LVD (2006/95/CE), IEC/EN 61800-2, IEC/EN 61800-5-1, IEC/EN 60146-1-1, IEC60068-2-6, IEC/EN 61800-5-2(STO) TÜV Rheinland Certified	

### 5.3 Variador de frecuencia

La principal característica que se busca en el variador es que sea capaz de soportar todo el suministro eléctrico del parque fotovoltaico dimensionado y que aporte la potencia que demande la bomba.

El variador se ha seleccionado según la potencia de las bombas, como la mayor potencia de las bombas es de 30 KW se elegirá en función a este.

Por ello y tras consultar diversos catálogos se selecciona el variador de frecuencia solar MPPT trifásico 30 KW-40CV de la casa Invertek.

Este equipo nos ayudará a suavizar el arranque de las bombas. Con estos aparatos se puede conseguir la adaptación de cualquier bomba a la energía solar.

Tabla 12:Características variador de frecuencia

Variador de frecuencia trifásico MPPT 30 KW-40CV	
MPPT (Vcc)	345-800 VDC
Tª en condiciones desfavorables para tensión alta	20
Tª en condiciones desfavorables para tensión baja	70
Imax,inv (A)	61

## 5.4 Cableado y elementos de protección

Se distinguen dos categorías según la corriente que circule, la primera de ellas sería el tramo de corriente continua:

Tramo: Paneles-Inversor/Variador de frecuencia:

Se empleará el cable tipo P-SUN 2.0 CPRO, el cual es recomendado para instalaciones fotovoltaicas, indicado para la conexión entre paneles fotovoltaicos, debido a las propiedades de sus materiales soportando las condiciones.

Ilustración 18:Cable tipo P-SUN 2.0 CPRO



El primer tramo recorre desde las placas hasta el variador de frecuencia, situado en el cabezal, enterrados a 0,7 m. Con una caída de tensión máxima admisible de 3% indicada en el pliego de condiciones técnicas de la IDAE.

Una vez realizados todos los cálculos oportunos nos indica que se elegirá un cable con una sección comercial de 1.5 mm<sup>2</sup>

Corriente alterna:

Una vez que la corriente llega al inversor, este la convierte en corriente alterna, que es capaz de proporcionar la energía que mueve la bomba.

Esta vez se dimensionará según la ITC-BT-19 Prescripciones *generales de las instalaciones o receptoras*.

Los conductores serán, Xdrink 0.6/1 kv de la casa TOP CABLE, el cual es apto para bombas y zonas de agua, de baja tensión 0.6/1 kv, temperatura máxima del conductor 90 °C.

Ilustración 19:Cable Xdrink 0.6/1kv



La sección comercial siguiente para este cable sería de 1.5 mm<sup>2</sup>

Mientras que en las protecciones se pueden distinguir distintas categorías:

-Protección contra contactos directos:

Aplicando la ITC-BT-24 del REBT (Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión), la principal función de estas protecciones es la de evitar que las personas entren en contacto con las partes activas de la instalación.

Para evitarlas, se emplea distintas medidas como el aislamiento de las partes activas o protección por medio de barreras u obstáculos.

-Protección contra contactos indirectos:

Estas son debido cuando la persona toma contacto con alguna parte del sistema, debido a algún defecto de la instalación que pueda poner expuesta la instalación.

Se toman medidas como el corte de la alimentación cuando se produzca uno de estos fallos.

-Protección de los circuitos:

Se aplica la ITC-BT-22, en el que nos indica que el circuito debe estar protegido contra las sobrecargas que puedan llegar a producirse, ya sea, interrumpiendo la conexión o que el circuito este dimensionado para las posibles sobrecargas.

-Protección contra sobrecargas:

Esto se regula mediante fusibles aplicados a las características de nuestra instalación.

-Protección contra cortocircuitos:

Se regula colocando al principio del circuito un dispositivo de protección contra cortocircuitos, que sea capaz de cortar la corriente según la intensidad del cortocircuito que se pueda producir.

Para ello se pueden emplear tanto fusibles o interruptores automáticos.

## 6. ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA

Se ha realizado un estudio económico para conocer la rentabilidad económica de la instalación fotovoltaica, mostrado en el anejo VI: "Estudio de viabilidad económica"

Esta instalación genera corriente que puede alimentar la bomba, por ello este estudio se ha realizado en base a la producción energética anual en corriente alterna.

Una vez conocida la energía consumida anualmente (kWh), sumando los resultados de todos los sistemas, nos da un valor de **116306.94 kWh**.

Con lo que una vez conocido este dato y tras realizar diversos cálculos nos da que el coste total a la compañía eléctrica por año sería de **28639.78 €**.

El coste de la instalación fotovoltaica es de 163791.59 € que se amortizará en un total de 5.81 años.

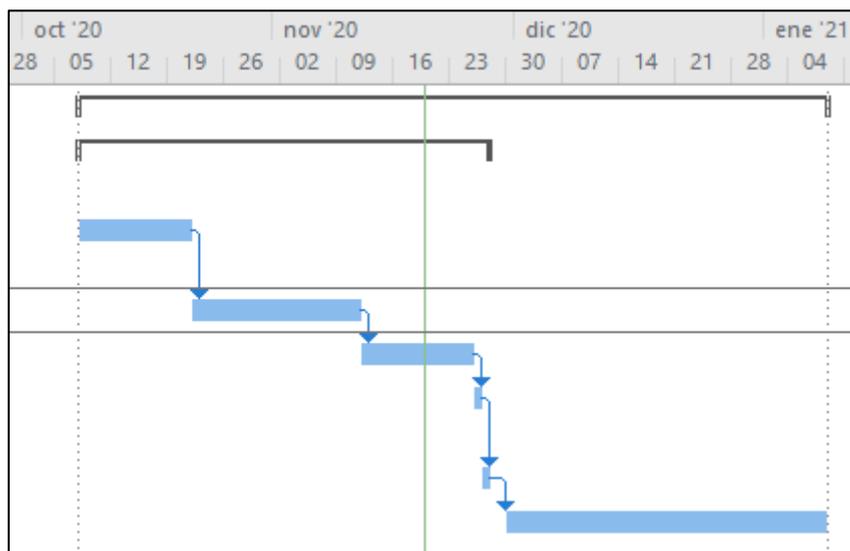
## 7. PLAZO DE EJECUCIÓN

El plazo de ejecución considerado será de 67 días. Contando que la instalación fotovoltaica se hará en 37 días y el cambio de tuberías en 30 días.

Ilustración 20: Programación de las obras

▾ Sector IX Benifayó	67 días
▾ Instalación fotovoltaica	37 días
Instalación eléctrica	10 días
Estructuras	15 días
Módulos FV	10 días
Variador frecuencia	1 día
Inversor	1 día
Cambio tuberías	30 días

Ilustración 21: Diagrama de Gantt obra



## 8. PRESUPUESTO DEL PROYECTO

Dicho presupuesto se ha realizado con el programa Cype y a su vez con la herramienta Arquímedes, la cual permite generar presupuestos.

Los precios de cada unidad de obra se han seleccionado del banco de precios de España.

Este presupuesto está desglosado en el documento nº3: "Presupuesto"

## 8.1 Presupuesto de ejecución material

Capítulo	Importe
Capítulo 1 Instalación fotovoltaica	113.320,26
Capítulo 2 Cableado instalación fotovoltaica	431,80
Capítulo 3 Conducciones hidráulicas	92.772,86
<b>Presupuesto de ejecución material</b>	<b>206.524,92</b>

Asciende el presupuesto de ejecución material a la expresada cantidad de DOSCIENTOS SEIS MIL QUINIENTOS VEINTICUATRO EUROS CON NOVENTA Y DOS CÉNTIMOS.

Valencia



Andrés Blázquez Salso

## 8.2 Presupuesto de ejecución por contrata

Capítulo	Importe
1 Instalación fotovoltaica .....	113.320,26
2 Cableado instalación fotovoltaica .....	431,80
3 Conducciones hidráulicas .....	92.772,86
<b>Presupuesto de ejecución material</b>	<b>206.524,92</b>
13% de gastos generales	26.848,24
6% de beneficio industrial	12.391,50
<b>Suma</b>	<b>245.764,66</b>
21% IVA	51.610,58
<b>Presupuesto de ejecución por contrata</b>	<b>297.375,24</b>

Asciende el presupuesto de ejecución por contrata a la expresada cantidad de DOSCIENTOS NOVENTA Y SIETE MIL TRESCIENTOS SETENTA Y CINCO EUROS CON VEINTICUATRO CÉNTIMOS.

Valencia



Andrés Blázquez Salso

## 9.REFERENCIAS

Rossmann L. A. (2012) Manual de usuario EPANET

Martínez Bellver V.A.(2017) OBRAS DE INCREMENTO DE LA CAPACIDAD DE LAS INSTALACIONES DE RIEGO LOCALIZADO EN LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL CANAL JÚCAR-TURIA SECTOR IX.

IDAE (2009) Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura

QGIS Project (2019) QGIS Training Manual