



Universitat Jaume I

Escola Superior de Tecnologia i Ciències Experimentals

Grau en Enginyeria Química

***Diseño de un sistema de captación y
tratamiento de agua para el
abastecimiento de un complejo rural.***

Trabajo Fin de Grado

Autor/a

Javier Berbel López

Tutor/a

Raúl Moliner Salvador

Castellón, Noviembre de 2020

Resumen del proyecto.

El tema del trabajo de final de grado que propongo trata, como el título indica, del diseño de un sistema de captación y tratamiento de agua para el abastecimiento de un complejo rural donde se incluya un campo de una capacidad de 600 plantas a regar cada 15 días, y 4 viviendas cercanas. La idea de este proyecto se basa en un sistema de tuberías que capten agua de una zona natural y se envíe a una balsa pulmón de 1650 m³.

Mediante una bomba centrífuga se elevará el agua de la balsa a un embalse de 550 m³. Se calculará el diámetro de conducción que no suponga un elevado coste económico tanto para el transporte de agua como para la inversión inicial. La energía para la bomba, que se calculará mediante balances, se la proporcionarán paneles solares, que se elegirán entre los comercialmente disponibles una vez se conozca la energía requerida. También se calcularán la carga y el NPSH que exija el sistema de captación para escoger una bomba hidráulica que los cumpla.

Posteriormente, se determina el caudal de agua para el tratamiento de potabilización, que estará formado por las operaciones unitarias necesarias para obtener agua potable y abastecer a las casas rurales, mientras que el resto del agua captada se almacena para regar el campo sin necesidad de bomba hidráulica aprovechándose de la diferencia de altitud.

El agua residual de las casas se usa como sustrato en un tanque de cultivo diseñado para el crecimiento de una microalga llamada Spirulina donde, pasado un tiempo, proliferará aumentando su población. Una vez el agua se ha quedado en el tanque de cultivo el tiempo suficiente, sale un caudal de agua con alto contenido en microalgas. Se diseña un intercambiador de calor calculando el tamaño de sus componentes para aumentar en 60°C la temperatura del caudal de agua que saldrá del tanque de cultivo.

Al aumentar la temperatura del agua, este caudal pasará a un reactor con membranas donde, las enzimas llamadas proteasas reaccionen con la Spirulina dando como producto aminoácidos libres. Al instalar un módulo de membranas en el reactor, se evita el paso de los reactivos y permite el paso de un caudal de agua con contenido en aminoácidos. Este caudal se almacenará en un depósito para, posteriormente regar junto al agua del embalse elevado. Se realizará una valoración económica de los costes de la instalación y la rentabilidad de su explotación.

1. Índice.

1. Índice.....	3
2. Memoria.....	9
3. Anexos.....	90
4. Planos.....	221
5. Pliego de condiciones.....	223
6. Mediciones.....	242
7. Presupuesto.....	261

2. Memoria.

2.1. Objeto.

2.2. Alcance.

2.3. Antecedentes.

2.4. Normas y antecedentes.

2.4.1. Software.

2.4.2. Bibliografía.

2.4.3. Webgrafía.

2.5. Definiciones y abreviaturas.

2.5.1. Definiciones.

2.5.2. Abreviaturas.

2.6. Requisitos de diseño.

2.6.1. Emplazamiento.

2.6.2. Captación.

2.6.3. Estación de tratamiento de agua potable (ETAP).

2.6.4. Estación depuradora de agua residual (EDAR).

2.6.5. Distribución al regadío.

2.7. Análisis de soluciones.

2.7.1. Captación.

2.7.2. Las bombas hidráulicas.

2.7.3. Estación de tratamiento de agua potable (ETAP).

2.7.4. Estación depuradora de agua residual (EDAR).

2.7.5. Distribución al regadío.

2.8. Resultados finales.

2.8.1. Captación.

2.8.2. Embalses y depósitos.

2.8.3. Bombas hidráulicas y paneles fotovoltaicos.

2.8.4. ETAP.

2.9. Planificación del proyecto.

2.10. Viabilidad económica.

2.10.1. Gastos fijos (GF).

2.10.2. Gastos variables (GV).

2.10.3. Cuenta de explotación.

3. Anexos.

3.A. Real decreto del agua del consumo de agua.

3.B. Características del agua natural.

3.C. Características del agua residual.

3.D. Estudio del caudal necesario.

3.E. La Spirulina.

3.F. Equipos y sus características.

3.G. Estudio del emplazamiento.

3.H. Cálculos de la captación.

3.I. Cálculos de la ETAP.

3.J. Cálculos de la EDAR.

4. Planos.

4.1. Planos de la Captación.

4.2. Planos de la ETAP.

4.3. Planos de la EDAR.

4.4. Plano de la distribución al regadío.

5. Pliego de condiciones.

5.1. Pliego de cláusulas administrativas.

5.2. Pliego de condiciones técnicas particulares.

5.3. Materiales de construcción y equipos a instalar.

6. Mediciones.

6.1. Captación.

6.2. ETAP.

6.3. EDAR.

6.4. Distribución a regadío.

7. Presupuesto.

7.1. Presupuesto de material.

7.2. Presupuesto de personal.

7.3. Presupuesto de ejecución material (PEM).

7.4. Presupuesto total (PT).

2. MEMORIA.

2. Memoria.

2.1. Objeto.

2.2. Alcance.

2.3. Antecedentes.

2.4. Normas y antecedentes.

2.4.1. Software.

2.4.2. Bibliografía.

2.4.3. Webgrafía.

2.5. Definiciones y abreviaturas.

2.5.1. Definiciones.

2.5.2. Abreviaturas.

2.6. Requisitos de diseño.

2.6.1. Emplazamiento.

2.6.2. Captación.

2.6.3. Estación de tratamiento de agua potable (ETAP).

2.6.4. Estación depuradora de agua residual (EDAR).

2.6.5. Distribución al regadío.

2.7. Análisis de soluciones.

2.7.1. Captación.

2.7.2. Las bombas hidráulicas.

2.7.3. Estación de tratamiento de agua potable (ETAP).

2.7.4. Estación depuradora de agua residual (EDAR).

2.7.5. Distribución al regadío.

2.8. Resultados finales.

2.8.1. Captación.

2.8.2. Embalses y depósitos.

2.8.3. Bombas hidráulicas y paneles fotovoltaicos.

2.8.4. ETAP.

2.9. Planificación del proyecto.

2.10. Viabilidad económica.

2.10.1. Gastos fijos (GF).

2.10.2. Gastos variables (GV).

2.10.3. Cuenta de explotación.

2.1. Objeto.

El estudio y diseño de un sistema de captación, y posteriormente, tratamiento químico/bioquímico del agua, para que cumpla con las características necesarias para destinarla a un uso doméstico y de explotación agraria. Para un menor gasto, las aguas residuales generadas por las viviendas tendrán un tratamiento y se usarán para explotación agraria.

2.2. Alcance.

El agua se adquiere de una zona natural, se transporta a un embalse pulmón de 1650 m³ aproximadamente y, posteriormente, esta agua debe elevarse hasta un depósito situado en la altura de una montaña. Se realizan los cálculos para obtener un diámetro óptimo de conducción de agua donde usando la energía solar, se consiga un transporte ecológico del fluido. Al realizar los cálculos se debe tomar en cuenta que, de cara al futuro, puede agrandarse el tamaño del cultivo, por tanto, se elegirá un diámetro acorde con una inversión inicial no muy elevada y, un futuro coste operativo económico. De este modo se reducen gastos a largo plazo.

Al tener viviendas a una altura menor al depósito elevado, se consigue un caudal sin necesidad de bomba hidráulica eligiendo un diámetro de conducción para abastecer a 16 personas tanto en su higiene como en su consumo. Al abastecer 1.6 m³/d de agua para consumo humano, se diseña una etapa que permita potabilizar dicha agua, en esta etapa llamada ETAP se instala un filtro de arena para eliminar sólidos suspendidos en el agua y ozonizadores que eliminen agentes patógenos como pueden ser la E.Coli u otras bacterias coliformes.

De las casas se va a obtener un agua residual que no puede ser vertida al campo sin un tratamiento previo. Como consecuencia se requiere el diseño de otra etapa, pero, para aguas residuales domésticas. Se tienen contenidos de nitrógeno, fósforo, urea, etc. que pueden usarse como alimento para la microalga llamada Spirulina. Haciendo un cultivo de esta alga se eliminan residuos del agua y se reproduce el alga gracias a la eutrofización, la cual, es beneficiosa si se usa como tratamiento del agua residual. El tanque de cultivo debe adaptarse expresamente para la Spirulina ya que es el ser unicelular que tiene una función específica y clave en el tanque de cultivo. Al crecer el alga, ésta pasa a estar conformada por un 70% de proteína.

La proteína, al reaccionar con enzimas que den como producto aminoácidos libres, puede usarse para verterla en un campo de cultivo adquiriendo beneficios en las plantas. Para elaborar una reacción rápida con las enzimas y en parte, esterilizar el agua residual que servirá de riego, se aumenta la temperatura con un intercambiador de calor. Gracias a un reactor con membranas, las enzimas pueden servir continuamente como catalizadores y los aminoácidos junto el agua tratada pasar a depositarse en un embalse de 24 m³ para cuando haya un riego.

El resto del agua captada en el embalse elevado se almacena para cuando haga falta un riego del campo, abrir la válvula y distribuirse por el área a regar gracias a mangueras de polipropileno agujereadas.

2.3. Antecedentes.

Desde la Revolución Neolítica, hubo una transformación radical en la forma de vida de la sociedad donde pudieron verse exentas las limitaciones que acompañaba la falta de agua. Se desarrolló el riego y los fenómenos de transporte de fluidos, lo que provocó una importante expansión en el uso del terreno donde convivir y donde cultivar. Pasaron de trabajar

únicamente en zonas con agua natural donde el alcance del cultivo era limitado, hasta donde les permitiese la energía de transporte de dicho fluido.

Más tarde, llegó la revolución industrial que llevó a cabo un importante cambio y gran expansión. El mundo continuó evolucionando, así como la investigación y mejora en transporte de fluidos. Como consecuencia del crecimiento desmesurado comenzaron a surgir serios problemas de medioambiente, tanto la calidad de aire como de agua se vieron afectadas por los contaminantes. Sustancias químicas, normalmente residuales, que afectan negativamente a la calidad de vida y a la salud.

Enfrentando la química del problema, con más química, se desarrollaron diferentes técnicas de tratamiento de aguas para mejorar dicha calidad, así como llegar a tratar aguas residuales para darles otros usos y disminuir la explotación de aguas naturales.

2.4. Normas y referencias.

Este proyecto se trata de una captación, tratamiento y abastecimiento privado e individual, por lo que queda excluido del ámbito de aplicación del Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, art. 3 apartado 2.f “Quedan excluidas del ámbito de aplicación de este Real Decreto todas aquellas aguas de consumo humano procedentes de un abastecimiento individual y domiciliario o fuente natural que suministre como media menos de 10 m³ diarios de agua, o que abastezca a menos de cincuenta personas”. Aún excluido de dicho decreto, se debe cumplir con ciertas especificaciones para lograr una buena calidad de agua, puesto que, pese a no abastecer a 50 personas o más, sí que llegaría a entrar en el 140/2003, art. 3 apartado 2.f “cuando se perciba un riesgo potencial para la salud de las personas derivado de la calidad del agua, en cuyo caso la autoridad sanitaria requerirá a la administración local que adopte, para estos abastecimientos, las medidas necesarias para el cumplimiento de lo dispuesto en este real decreto.”

2.4.1. Software utilizado.

-Google earth 2020.

-AutoCAD 2019.

-Matlab v.1.0.0.1.

-CES EduPack 2019.

-CANVA 2020.

-GanttPro 2020.

-CYPE 2020.

2.4.2. Bibliografía.

*A.Barba. (2003). [155] *Operaciones básicas de transmisión de calor N23.*

*Albuja Y, R. F., Araujo G, P. a, & López K, A. C. (2011). *Obtención de un biofertilizante a partir del residuo ultra fino de Spirulina platensis , mediante degradación anaerobia.*

*Carbonell, M. D. R. (2003). [158] *Operaciones básicas de flujo de fluidos.*

*Dr. Osvaldo Fidel García Morales. (2011). Vol.5 N°2. *Revista de Arquitectura e Ingeniería.*

*Eliseo Monfort Gimeno. (2013). *EQ1027 Tecnología del medio ambiente N372.*
Publicacions de la Universitat Jaume I.

*Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2019). *Caracterización de la porcicultura, manejo de excretas y estudios de caso en granjas de la región.*

*Guadix, A. (1999). (PDF) *Procesos Tecnológicos y métodos de control en la hidrólisis de proteínas.*

- *Haro, A., & Perales, S. (2015). Kinetics of Nutrient Uptake and Growth of a Bloom of Microalgae in a High Rate Algae Pond (HRAP) Photobioreactor. *Water Technology and Sciences*. In *Tecnología y ciencias del agua* (Vol. 3, Issue 3).
- *Janson, S. (1998). *Spirulina platensis* (Arthrospira): Physiology, Cell-Biology and Biotechnology. Avigad Vonshak. In *The Quarterly Review of Biology*.
- *Jaramillo, O. A. (2015). Intercambiadores De Calor. *Turbulence in Porous Media, 2007*.
- *Lukavsky, J. (2000). Vonshak, A. (Ed.): *Spirulina platensis* (Arthrospira). Physiology, Cell Biology and Biotechnology. *Photosynthetica*.
- *OMS | La cantidad de agua domiciliaria, el nivel del servicio y la salud. (2013).
- *A.Barba. (2020). *Lesson 2: THE BASICS OF BIOLOGY: AN ENGINEER'S PERSPECTIVE*.
- *Salas, A. F., Salas, A. F., Urrestarazu, L. P. (2008). *Cálculo de diámetro óptimo*. Universidad de Sevilla.
- *Solana, V. S. (2019). *Apuntes de tratamientos de materiales sólidos*.
- *Universidad Central del Ecuador. (2011). *Intercambiador de calor*.
- *Universidad de Granada. (2020). *Tema 6. Química de aguas naturales*.
- *Zarela Garcia. (2012). *Capítulo I NATURALEZA DEL AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA Y SU TRATAMIENTO 1.1 Agua Residual. 4*.

2.4.3. Webgrafía.

- <https://www.dieti-natura.es/plantas-y-activos/espirulina>
- <https://www.sciencedirect.com/topics/arthrospira-platensis>
- <http://www.zaratamo.com/es-ES/Ayuntamiento>
- <http://www.datoscalidadaguas.chebro.es:81/DatosCalidad>
- <https://es.weatherspark.com/y/Clima-promedio-en-Teruel-España-durante-todo-el-año>
- <https://www.cosemarozono.com/blog/eficacia-de-los-ozonizadores>
- <https://www.bauhaus.es>
- <https://www.modregohogar.com>
- <https://visitbajoaragon.com/es/conoce/geoparque-maestrazgo>
- <https://medlineplus.gov/spanish/ecoliinfections>
- <https://www.tubiplast.com>
- <https://www.directindustry.es>
- <https://www.teknosolar.com>
- <https://www.fertiberia.com>
- <https://www.europlast-sl.com>
- <https://www.oase-livingwater.com>
- <https://www.madrimasd.org/blogs/espirulina>

2.5. Definiciones y abreviaturas.

En este apartado se definirán conceptos los cuales se utilizarán en este proyecto, así como símbolos matemáticos y abreviaturas, con la finalidad de mejorar el entendimiento del proyecto y las partes que lo componen.

2.5.1. Definiciones.

- **Agua de consumo humano:** agua la cual tiene todas las características necesarias para ser destinada a la consumición de personas sin repercutir negativamente en su salud.
- **Agua natural:** agua que circula en un medio no influenciado por el ser humano como puede ser un lago, río, arrollo o torrente.
- **NPSH disponible:** Característica del sistema para la carga de aspiración total determinada por la ecuación [39].
- **NPSH requerido:** Característica de la bomba para la carga de aspiración dada por el fabricante y es una función del diseño de la misma.
- **Carga de la bomba:** Altura totalmente vertical en que una bomba hidráulica es capaz de elevar un fluido.
- **Carga del sistema:** Carga exigida en una bomba por el sistema de conducciones para el transporte de un fluido de un punto i a un punto j.
- **Sustancia química:** Sustancia la cual puede ser tanto un reactivo usado en el proceso como un contaminante derivado de alguna reacción ajena al proyecto. Dependiendo de su carácter nocivo se tendría que eliminar o no.

- **Estación de tratamiento de agua potable (ETAP):** Proceso, constituido por varias etapas, con el fin de obtener como producto agua para consumo humano.
- **High rate algal ponds (HRAP):** Tanque de cultivo de microalgas de alta tasa.
- **Biorreactor:** Unidad de proceso principalmente constituida por un agitador y un depósito donde se mantiene un ambiente biológicamente activo y tiene lugar reacciones bioquímicas producidas por seres vivos microscópicos o enzimas.
- **Conducción:** Cilindro hueco cuyo fin es transportar un fluido, en su interior, a una distancia equivalente a su longitud.
- **Depósito:** Contenedor de ciertas dimensiones donde se almacena un fluido.
- **Punto de entrega:** Lugar de destino de un producto, en este caso, el agua.
- **Bomba hidráulica:** Máquina con motor la cuál ejerce una diferencia de presión como fuerza impulsora para superar la resistencia al transporte de un fluido.
- **Panel solar:** Placa de forma plana, que aprovecha del efecto fotoeléctrico de los materiales con los que está constituido para generar energía eléctrica usando luz solar.
- **Contaminante:** Sustancia química nociva para la salud y el medio ambiente.
- **Turbidez:** Cantidad de cierto componente en suspensión que le quita transmitancia a un fluido, evitando así el paso de la luz a través de dicho fluido.
- **Pérdidas de carga:** Pérdidas de energía de un fluido debido al rozamiento con las paredes de la conducción.
- **Balance de energía:** Herramienta matemática usada para contabilizar el flujo de energía siguiendo la primera ley de la termodinámica.

- **Arthrospira platensis:** Especie bacteriana unicelular de morfología en espiral también llamada Spirulina.
- **Ozonizador:** Equipo que usa la energía eléctrica para generar Ozono y usarlo como desinfectante.
- **Colector:** Equipo usado para concentrar energía solar en un mismo punto y calentar mediante radiación alguna superficie.
- **Reactor con membranas:** Equipo donde existe una reacción en su interior y mediante un módulo de membranas, se impide el paso de los reactivos.
- **Intercambiador de calor:** Equipo usado para intercambiar el calor de un fluido a otro mediante conducción.
- **Diagrama de Gantt:** Diagrama donde se representan las fases de construcción del proyecto en un orden cronológico.

2.5.2. Abreviaturas.

A: Área (m^2).

A_i: Área de la zona específica i (m^2).

A₀: Amortización (años).

A1: Variable 1 de la ecuación de O.Morales para determinar la constante de fricción de Darcy.

B1: Variable 2 de la ecuación de O.Morales para determinar la constante de fricción de Darcy.

Bb: Beneficios brutos (€/año).

Bn: Beneficios netos (€/año).

c: Longitud c para los cálculos de la captación (m).

C_a: Corte del deflector (m).

C_p: Calor específico ($J/kg \cdot K$).

C_p: Calor específico del fluido i ($J/kg \cdot K$).

D: Diámetro (m).

D_i: Diámetro de la región i (m).

D_e: Diámetro equivalente de la zona axial (m).

D_{ml}: Diámetro medio logarítmico (m).

e: Espesor de conducción o equipo (m).

ε: Rugosidad de un material (cm).

esp.pl: Espesor de las placas de tubos (cm).

ETAP: Estación de tratamiento de agua potable.

EDAR: Estación depuradora de aguas residuales.

f: Factor de fricción de Darcy.

FC: Flujo de caja (€).

G: Gasto másico de un fluido ($\text{kg/s}\cdot\text{m}^2$).

g: Gravedad de valor 9.81 (m/s^2).

GF: Gastos fijos (€/año).

GT: Gastos totales (€/año).

GV: Gastos variables (€/año).

H: Altura (m).

H_i: Altura específica del punto i (m).

h: Altura de cono (m).

hⁱ: Coeficiente de transmisión de calor en fluido i ($\text{w/K}\cdot\text{m}^2$)

h_b: Carga de la bomba (m).

h_s: Carga del Sistema (m).

IC: Intercambiador de calor.

I_d: Distancia ente deflectores (m).

IF: Inflación (%).

ir: índice de rentabilidad (%).

INV: inversión inicial (€).

IPC: Índice de precio al consumidor (%).

K: Constante de fricción de accidentes.

K_i: Constante de fricción del accidente i.

k: Constante de conductividad calorífica (W/m*K).

k_i: Constante de conductividad calorífica del material i (W/m*K).

k_{número}: Constante de velocidad de la reacción [número] (mol/L*s).

L: Longitud (m).

L_t: Longitud de tubería (m).

L_{rt}: Longitud real de tubería (m).

m: Caudal másico (kg/s).

m_i: Caudal másico en el punto i (kg/s).

N_t: Número de tuberías.

Nu: Número de Nusselt.

NSPH_d: Altura neta positiva de aspiración disponible (m).

NSPH_{req}: Altura neta positiva de aspiración requerida (m).

P: Presión (atm o Pa).

P_i: Presión en el punto i (atm o Pa).

Pr: Número de Prandtl.

Pr_i: Número de Prandtl del fluido i.

PR: Periodo de retorno (años).

p: Longitud entre tuberías en eje horizontal (m).

pn: Longitud entre tuberías en diagonal (m).

pp: Longitud entre tuberías en eje vertical (m).

Q: Caudal volumétrico (m^3/h).

Qi: Caudal volumétrico en el punto o fluido i (m^3/h).

q: Flujo de calor (J/s).

R: Radio (m).

Ri: Radio de la circunferencia i (m).

Re: Número de Reynolds.

Rei: Número de Reynolds en el punto o fluido i.

Reg: Número de Reynolds del flujo en la zona axial.

r: Velocidad de reacción.

ri: Rentabilidad de la inversión (%).

Sc: Área máxima perpendicular al flujo de fluido en la zona de flujo cruzado (m^2).

T: Temperatura ($^{\circ}\text{C}$ o K).

Ti: Temperatura en el punto o fluido i ($^{\circ}\text{C}$ o K).

Tb_jⁱ: Temperatura del fluido i en la zona de entrada o salida, j ($^{\circ}\text{C}$ o K).

TIR: Tasa interna de retorno (%).

Tmⁱ: Temperatura media del fluido i ($^{\circ}\text{C}$ o K).

U: Coeficiente global de transmisión de calor ($\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$).

U_{calc}: Coeficiente global de transmisión de calor calculado en la iteración ($\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$).

U_{sup}: Coeficiente global de transmisión de calor supuesto en la iteración ($\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$).

V: Volumen (m^3 o L).

V_i: Volumen del espacio i (m^3 o L).

V_t: Volumen total (m^3 o L).

VAN: Valor actual neto (€/año).

v: Velocidad (m/s).

v_i: Velocidad del punto o fluido i (m/s).

W: Cantidad de trabajo (J/s).

\tilde{w} : Cantidad de trabajo por unidad de masa (J/kg).

X: Primera coordenada para buscar factor de corrección.

Y: Factor de corrección.

Z: Segunda coordenada para buscar factor de corrección.

Alpha: Longitud de la conducción Alpha (m).

Beta: Longitud de la conducción Beta (m).

Gamma: Longitud de la conducción Gamma (m).

ΔF : Pérdida de energía mecánica entre dos puntos (J/kg).

ΔF_a : Pérdidas de energía mecánica entre dos puntos provocada por accidentes (J/kg).

ΔF_r : Pérdidas de energía mecánica entre dos puntos provocada por rozamiento (J/kg).

ΔF_{asp} : Pérdidas de energía mecánica en la zona de aspiración (J/kg).

ΔF_{filtro} : Pérdidas de energía mecánica provocada por un filtro (J/kg).

Θ : Tiempo de residencia (min).

Θ_i : Tiempo de residencia en el equipo i (min).

Θ_{codo} : Ángulo de codo para conducción de un fluido (°).

α_i : Factor de la velocidad del BEM en el punto i.

ρ : Densidad (kg/m³).

ρ_i : Densidad del fluido i (kg/m³).

μ : Viscosidad (Pa*s).

μ_i : Viscosidad del fluido i (Pa*s).

2.6. Requisitos de diseño.

Se diseña un diagrama general del proyecto, con el programa online Canva, para proporcionar una primera visión del diseño que se quiere conseguir en el proyecto.

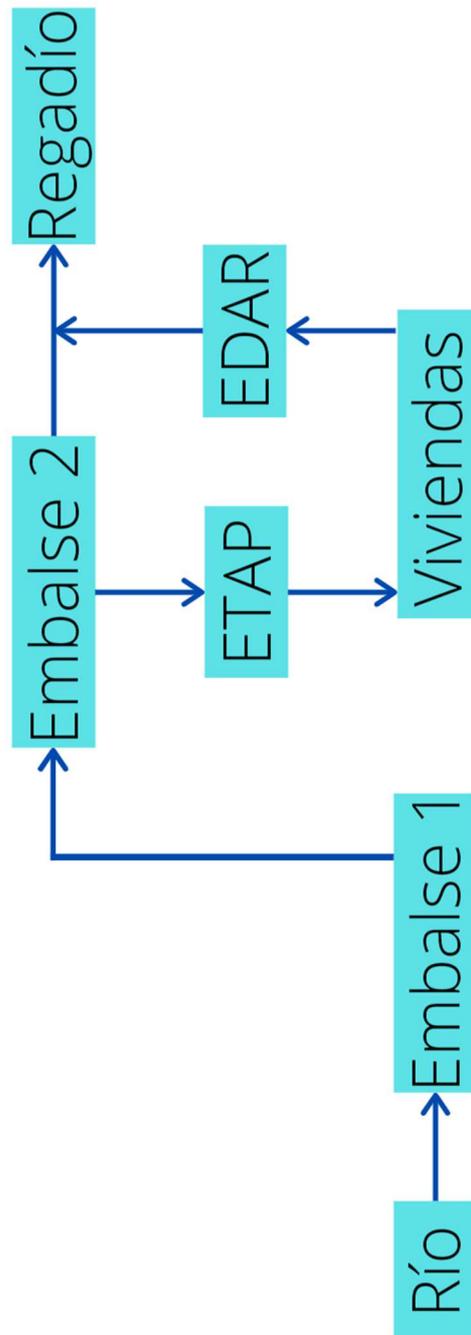


Figura 2.6.1: Diagrama general del proyecto.

(Canva, 2020)

2.6.1. Emplazamiento.

Concretamente el proyecto se realiza en el sur del pueblo de Cincorres, siguiendo la carretera CV-124, tomando la primera salida, se puede llegar hasta la ermita de Sant Marc, donde el proyecto se emplazará al lado.



Figura 2.6.1.1: Mapa satélite del proyecto, Ermita de Sant Marc.

(Mapa de Google Earth, 2020)

En la figura 2.6.1.1 se marca en amarillo el terreno donde se realiza el proyecto.

La ubicación del proyecto será en el país de España por su buen clima, la comunidad autónoma será la Comunidad Valenciana la cual se encuentra en bajo riesgo de desertificación sin llegar a tener abundantes cantidades de agua y humedad, en la provincia de Castellón. Concretando con más exactitud, en dirección norte dentro del Maestrazgo, al norte de Castellfort hasta encontrar Cincorres. Una vez se localiza Cincorres, al sur de este por la carretera CV.124, siguiendo la primera salida en dirección a la ermita de Sant Marc se puede encontrar el terreno sobre el cual se va a diseñar el proyecto, en las coordenadas: Latitud 40°5723712°; Altitud -0°2193746°.

2.6.2. Captación.

El diseño de la captación se debe adaptar de la mejor forma posible al terreno donde se realice la construcción, de tal forma, que no se haga inviable o con demasiado coste a la hora de realizar la obra civil. Por tanto, se realiza un diagrama de la captación que se quiere construir, y posteriormente, se toman las medidas del terreno de la captación para realizar los cálculos necesarios del dimensionamiento de las conducciones.

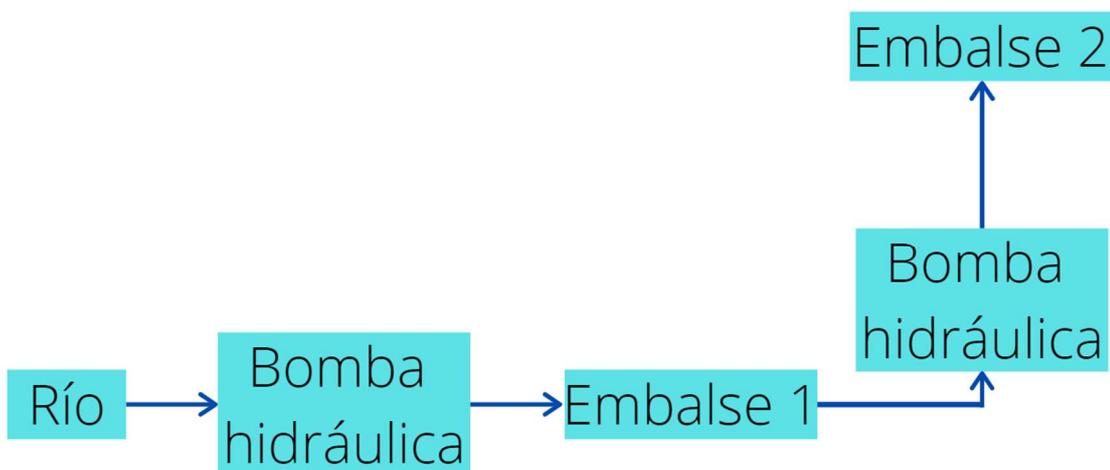


Figura 2.6.2.1: Diagrama de la captación.

(Canva, 2020)

El río llamado ‘Barranc de la Font’ se encuentra a pocos metros del embalse 1, requerirá de una bomba hidráulica que transporte el agua hacia dicho embalse. A continuación, el agua debe elevarse al embalse 2 situado en lo alto de la ladera del terreno, para ello se requiere de otra bomba hidráulica que se encargue de elevar el agua de un embalse a otro. Las bombas hidráulicas deben conectarse a la electricidad y, al mismo tiempo, a un conjunto de placas solares para proporcionar la energía suficiente para su correcto funcionamiento y lograr un sistema de captación más ecológico.

La captación se compone de un primer almacenamiento de agua del Barranc de la Font, hasta el embalse (1) entre los que existen 10 metros de distancia. La segunda parte corresponde a la elevación del embalse (1) hasta el embalse (2), embalse que suministrará el agua a las viviendas y el regadío. Al ser tan poco recorrido del Barranc al embalse (1), se realizarán los cálculos respecto a la elevación, ya que se podrá usar el mismo tipo de bomba hidráulica en ambas partes.



Figura 2.6.2.2: Sistema de captación.

(Mapa de Google Earth, 2020)

En la figura 2.6.2.2 se muestran 3 puntos de alturas para realizar el perfil del terreno de captación, donde se realizarán los cálculos para hallar las medidas de las conducciones y realizar una excavación para la instalación de las tuberías. Se divide el terreno en 4 tramos donde se va a instalar el sistema de conducciones, las longitudes del terreno, el ángulo respecto la horizontal y la altura están en la siguiente tabla.

Tramos	Longitud (metros)	Ángulo (grados)	Altura (metros)
1	2	0°	0
2	57.78	1°59'0.52''	2
3	167.34	18°6'13.1''	54
4	1	0°	54

Tabla 2.6.2.1: Medidas del terreno de la captación.

Para tener una visión más conceptual, las medidas se representan en el software AutoCAD mostrando el perfil del terreno dividido en 4 tramos de suelo donde se realizará la excavación e instalación de las conducciones.

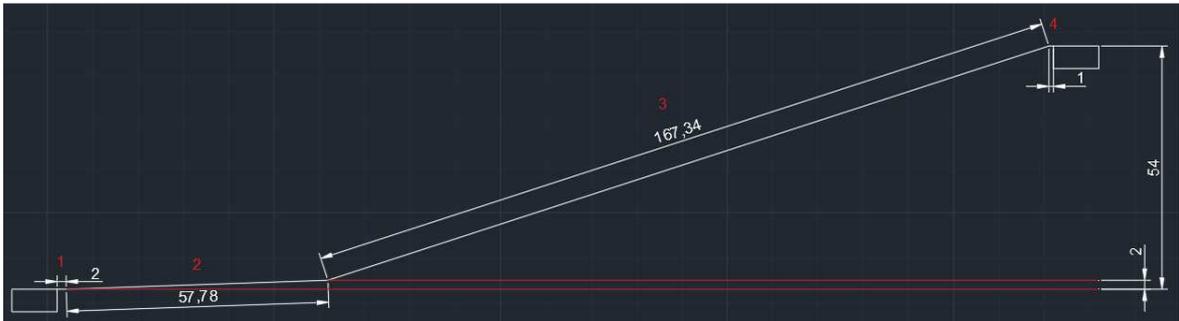


Figura 2.6.2.3: Perfil del terreno de la captación.

(AutoCAD, 2020)

2.6.2.1. Bombas hidráulicas.

La bomba centrífuga es una bomba hidráulica cinética. El fluido es acelerado dentro de modo que gana energía cinética y posteriormente se transforma en un aumento de la presión del fluido hacia la salida de la bomba (Carbonell, 2003).

Son 3 requisitos del sistema los cuales debe cumplir la bomba hidráulica para el correcto funcionamiento de la captación y el transporte del agua:

-La carga de la bomba (h_b), la cual debe ser como mínimo la misma que la carga del sistema (h_s).

-La altura neta positiva en la aspiración (NPSH) cuya variación va en función del caudal y debe cumplir que el NPSH disponible en el sistema debe ser mayor que el requerido por la bomba hidráulica.

-La potencia de la bomba debe ser mayor que la necesaria para el transporte del agua debido a que las bombas hidráulicas no rinden al 100%.

Tras realizar los cálculos en el Anexo Cálculos de la captación, se obtienen los requisitos del sistema de captación que debe cumplir la bomba hidráulica representados en la siguiente tabla.

Carga del sistema (hs)	NPSH_{disponible}	Potencia necesaria
79.11 m	4.29 m	7.83 kW

Tabla 2.6.2.1.1: Requisitos del sistema de captación para la bomba hidráulica.

2.6.2.2. Embalses.

La captación consta de dos embalses, para cumplir con el riego de 540 m³ cada 15 días en el cultivo y la cantidad de agua para consumo humano, el embalse (2) debe ser capaz de contener un volumen de 550 m³. El embalse (1), utilizado para contener el agua en el pie de la ladera, debe almacenar un volumen suficientemente grande como para abastecer de agua al embalse (2) durante temporadas donde el río tenga un caudal menor. De este modo se elige un tamaño 3 veces superior al embalse (2) siendo el volumen del embalse (1) 1650 m³.

En la siguiente tabla se recogen los requisitos de tamaño de los embalses con los que se va a almacenar agua.

Volumen embalse (1)	Volumen embalse (2)
1650 m ³	550 m ³

Tabla 2.6.2.2.1: Volúmenes de los embalses.

2.6.3. Estación de tratamiento de agua potable (ETAP).

El mayor requisito de este apartado se basa en obtener un agua apta para el consumo humano, esto requiere que el agua no contenga ninguna sustancia que pueda ser nociva para la salud del consumidor. Para ello, en el apartado 2.7. Análisis de soluciones se propone el siguiente modelo de ETAP.

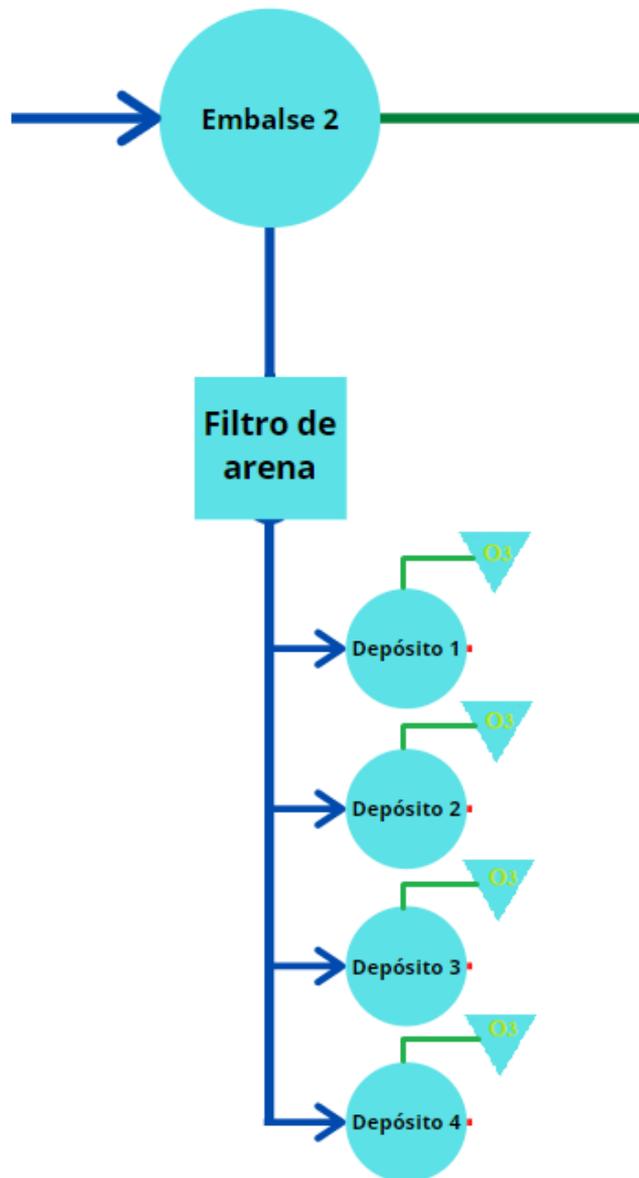


Figura 2.6.3.1: Diagrama de flujo de la ETAP.

(Canva, 2020)

En esta etapa que se inicia en el embalse (2), se realiza una bifurcación y como consecuencia el caudal se reduce, una parte del caudal sigue hacia el regadío. La otra parte del caudal pasará por una etapa de potabilización con el fin de ser apta para consumo humano.

En el agua de entrada a la ETAP interesa observar los siguientes parámetros para comprobar que sea considerada agua apta para consumo humano según el real decreto de 2003 (*BOE-A-2003-3596, 2003*).

Sustancia u organismo	Agua de entrada a ETAP	Real decreto 2003
Escherichia coli (E. Coli)	31 UFC en 100 ml	0 UFC en 100 ml
Enterococo	0 UFC en 100 ml	0 UFC en 100 ml
Clostridium perfringens	0 UFC en 100 ml	0 UFC en 100 ml
Sulfatos	145 mg/L	250 mg/L
Cloruros	59.7 mg/L	250 mg/L
Nitratos	22.03 mg/L	50 mg/L
Nitritos	0.589 mg/L	3 mg/L
Zinc	0.102 mg/L	2.00 mg/L
Cobre	<0.005 mg/L	2.00 mg/L
Plaguicidas totales	<0.005 mg/L	0.5 µg/L

Tabla 2.6.3.1: Sustancias de análisis del agua natural de Cincorres.

(CHEbro - Datos Calidad de Aguas, 2019)

En la tabla 2.6.3.1 se recogen las concentraciones de sustancias nocivas en el agua natural de Cincorres, comparándolas con las del real decreto para considerar que el agua sea potable. A simple vista, se observa unos valores aceptables para considerar el agua potable,

pero hay que tener en cuenta que la concentración de los nitratos y nitritos se rigen por la siguiente norma:

$$\frac{[\text{Nitratos}]}{50} + \frac{[\text{Nitritos}]}{3} < 1 \quad [1]$$

(BOE-A-2003-3596, 2003)

Usando la ecuación [1] con las concentraciones más altas de Nitratos y nitritos, alcanzamos un índice de calidad: 0.63, el cuál sigue estando por debajo de 1. El nivel de plaguicidas que aparecen en el agua es prácticamente nulo, pero teniendo en cuenta que se va a tener un cultivo cerca, convendría tener controlado dicho parámetro en el futuro.

En los análisis aparecen distintos organismos biológicos no perjudiciales para la salud como distintas especies de microalgas, de los perjudiciales aparecen las bacterias coliformes, en concreto, la *Escherichia Coli* una especie bacteriana fecal que, en el agua infectada, puede provocar fiebres altas, insuficiencia cardiaca, incluso la muerte al ser humano (*Infecciones Por Escherichia Coli: MedlinePlus, 2020*).

En conclusión, el diseño y la instalación de esta ETAP debe cumplir con las medidas exigidas en el real decreto por la mejora de la calidad del agua (art.10.3), uso de materiales que no afecten a la calidad del agua (art.8.1), uso de productos químicos que no dejen subproductos perjudiciales (art.10.2), una distribución sin alterar la calidad del agua (art.12.1) y una desinfección de depósitos y conducciones (art.12.3 y art. 11.1).

Otro requisito indispensable para la ETAP sería el caudal necesario para poder abastecer a 16 personas que residen en 4 viviendas para cubrir sus necesidades.

Cada persona utiliza 0.1 m³/día de agua potable para abastecer sus necesidades salubres y de higiene (*OMS, 2013*). Por tanto, la ETAP tiene el requisito de abastecer a las 4 viviendas un caudal de 1.6 m³/día de agua potable. Instalando un depósito por vivienda, supone que se

almacene el agua en depósitos cuyo volumen debe almacenar suficiente agua para 4 personas. Teniendo en cuenta que 4 personas consumen $4 \text{ m}^3/\text{día}$, el depósito debe ser capaz de almacenar agua para 2 días. Un día de consumo y otro de reserva por si hubiese algún problema y se cortase el suministro de agua potable durante un día. En la tabla 2.6.3.2 se obtienen los requisitos respecto al volumen de agua y caudal usados en la ETAP.

Caudal ETAP	Volumen por depósito
$1.6 \text{ m}^3/\text{día}$	$0.8 \text{ m}^3/\text{depósito}$

Tabla 2.6.3.2: Cantidades de agua en la ETAP.

2.6.4. Estación depuradora de aguas residuales (EDAR).

El agua residual contiene, como parámetros más relevantes en el diseño de la EDAR, bacterias coliformes como la E.Coli y derivados de fósforo y nitrógeno. Estos parámetros se deben eliminar para poder usar el agua residual como agua destinada a regadío.

Como se explica en el apartado 2.7. Análisis de soluciones, el diseño de la EDAR que se propone es el que se muestra en la figura 2.6.4.1, el cual consta de un tanque de cultivo (HRAP) de Spirulina, un intercambiador de calor, un reactor con membranas y un depósito.

Los requisitos de dicha EDAR para cada equipo que la conforman son los siguientes:

-Adaptar el tanque de cultivo, tanto en temperatura como en pH, para el máximo desarrollo de la Spirulina.

-El intercambiador de calor debe ser capaz de elevar la temperatura del caudal de agua con Spirulina hasta 60°C .

Diseño de un sistema de captación y tratamiento de agua para el abastecimiento de un complejo rural.

-El módulo de membranas del reactor tiene que retener los reactivos (Proteína y enzimas) y dejar pasar los productos (Agua con aminoácidos libres). Además de ser capaz de operar en un medio con $\text{pH} = 9$ y una temperatura de 60°C .

-El depósito de almacenaje de agua con fertilizante líquido debe almacenar un volumen de agua durante un periodo de 15 días.

En los cálculos realizados en el anexo cálculos de la EDAR, se supone un caudal de entrada de $1.6 \text{ m}^3/\text{día}$. Y a la salida del tanque de cultivo, como se explica en el Anexo Estudio de caudal necesario, se supone un caudal de $15.37 \text{ m}^3/\text{día}$, este caudal también corresponde al de entrada al intercambiador de calor. En la siguiente tabla se recogen los datos requeridos para el diseño de cada equipo de la EDAR.

HRAP	Intercambiador de calor	Reactor con membranas	Depósito
$Q_E = 1.6 \text{ m}^3/\text{día}$	$Q_E = 15.37 \text{ m}^3/\text{día}$	$Q_E = 15.37 \text{ m}^3/\text{día}$	$Q_E = 15.37 \text{ m}^3/\text{día}$
$Q_S = 15.37 \text{ m}^3/\text{día}$	$Q_E = Q_S$	Entrada [Spirulina y enzimas]	$V = 24 \text{ m}^3$
$T = [32; 40] ^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{salida agua}} = 60^{\circ}\text{C}$	Salida [Agua y aminoácidos]	-
$\text{pH} = 9$	-	-	-

Tabla 2.6.4.1: Requisitos de diseño de la EDAR.

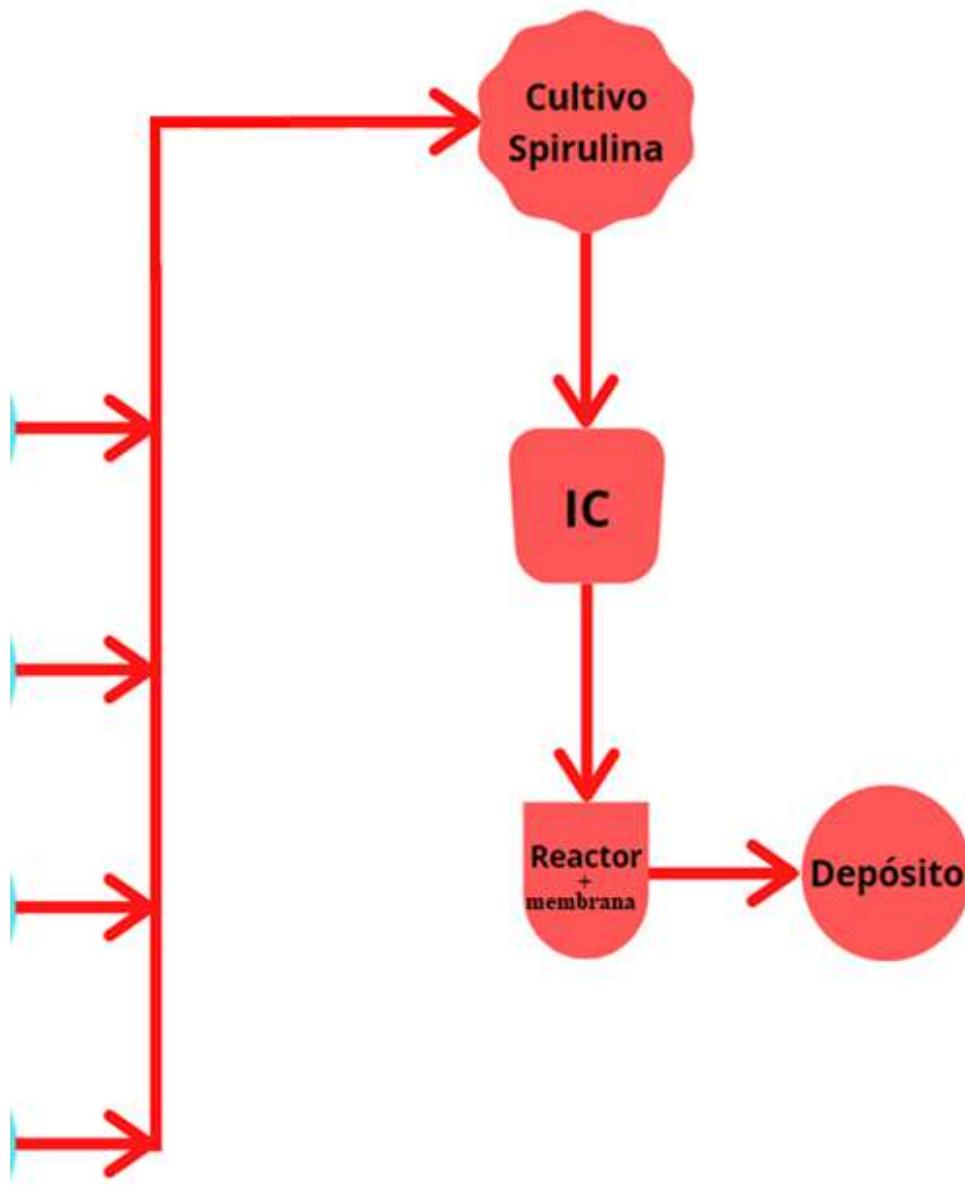


Figura 2.6.4.1: Diagrama de flujo de la EDAR.

(Canva, 2020)

2.6.5. Distribución al regadío.

La distribución del agua para riego del campo proviene del embalse (2), que contiene agua captada y del depósito (3) de la EDAR, que contiene agua con aminoácidos libres. En la figura 2.6.5.1 se observa el diagrama de flujo del regadío.

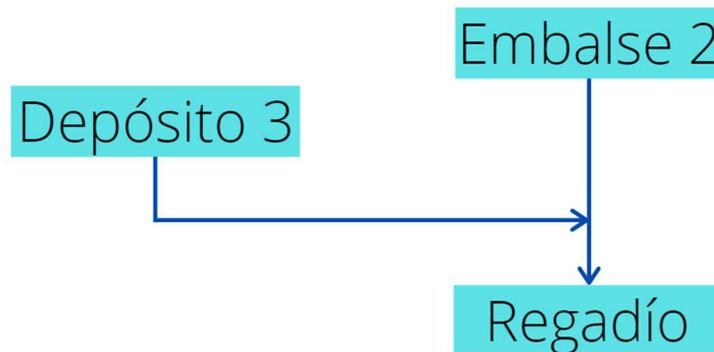


Figura 2.6.5: Diagrama de flujo de la distribución al regadío.

(Canva, 2020)

El único requisito que se requiere para este apartado es un riego de 540 m³ cada periodo de tiempo de 15 días para un campo de un área de 13000 m². Lo que supone un caudal de 36 m³/día. En la tabla 2.6.5.1 se recogen los datos de caudal de riego y área de riego.

Caudal de riego	Extensión del regadío
36 m ³ /día	13000 m ²

Tabla 2.6.5: Requisitos del regadío.

2.7. Análisis de soluciones.

En este apartado se abordan los requisitos de diseño con varias soluciones posibles y se escoge la más viable para el desarrollo del proyecto. Una vez se ha explicado y desarrollado cada una de las posibles soluciones se diseña un diagrama de flujo del proyecto detallado en el apartado 2.7.5.

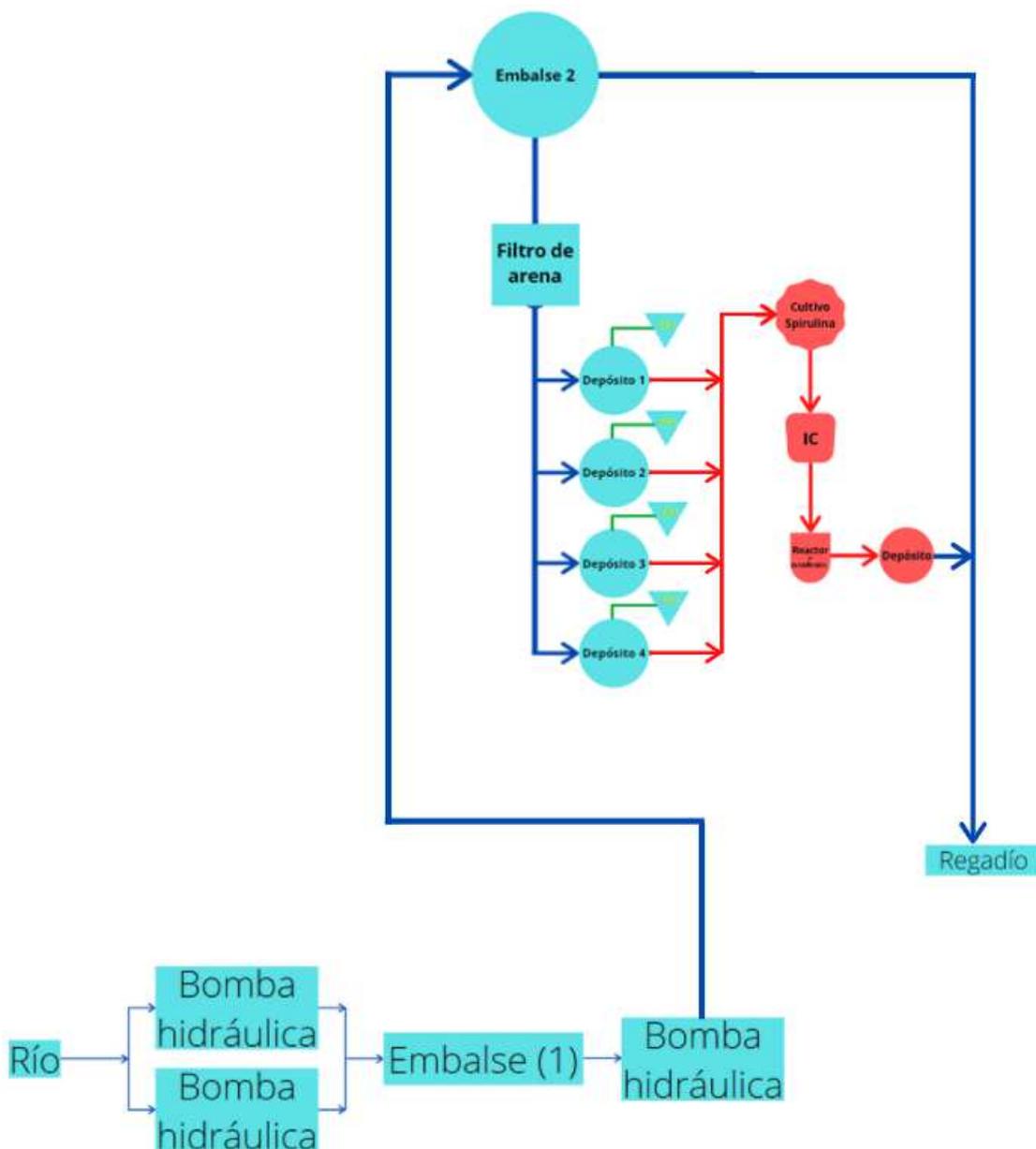


Figura 2.7.1: Diagrama general detallado del proyecto.

(Canva, 2020)

2.7.1. Captación.

En la captación de agua del río al embalse (1), como se indica en el anexo estudio del caudal necesario, se escoge un caudal de captación [río → embalse (1)] que sea el doble que el caudal de elevación [embalse (1) → embalse (2)]. Esto supondría la existencia de una acumulación de agua en el embalse (1) hasta que se llene, posteriormente el caudal de la captación pasaría a igualarse al de la elevación al embalse (2). Para un riego de 540 m³ cada 15 días, calculando el caudal para 5 horas de captación por día y teniendo en cuenta una futura expansión de hasta 5 campos de cultivo se obtienen los siguientes caudales calculados en el anexo estudio de caudal necesario.

	Captación	Elevación
Inicio del proyecto	$Q_0 = 72.7 \text{ m}^3/\text{día}$	$Q_0 = 36.35 \text{ m}^3/\text{día}$
Futura ampliación	$Q_0' = 250.67 \text{ m}^3/\text{día}$	$Q_0' = 125.34 \text{ m}^3/\text{día}$

Tabla 2.7.1.1: Caudales de la captación.

Para captar el agua se optan por diferentes materiales de conducción, todos ellos utilizados normalmente para el transporte de agua. Se representan los costes en el programa de cálculo llamado Excel obteniendo una gráfica similar a la siguiente figura.

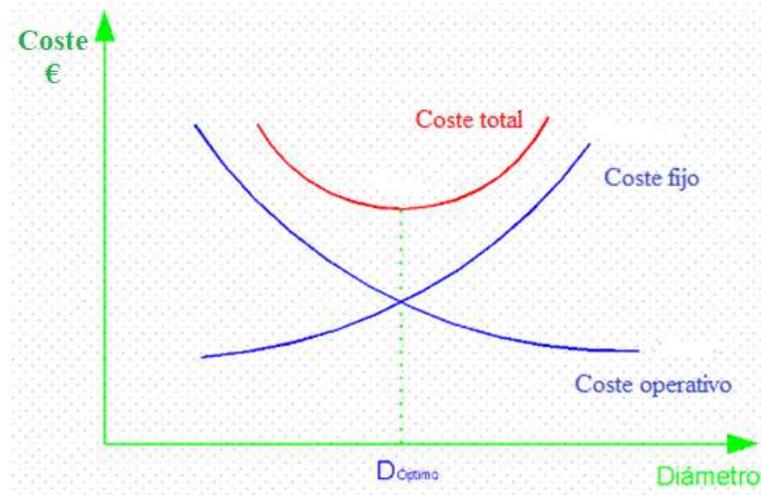


Figura 2.7.1.1: Gráfica de costes para hallar el diámetro óptimo.

(Salas, A. F., Salas, A. F., Urrestarazu, 2008)

En la tabla 2.7.1.2 se tienen diferentes diámetros junto a su espesor para tuberías de acero normalizado, éstos son utilizados para realizar los cálculos y elegir un diámetro:

De (cm)	Di (cm)	Espesor
1,029	0,683	0,346
1,372	0,925	0,447
1,715	1,252	0,463
2,134	1,58	0,554
2,667	2,093	0,574
3,34	2,664	0,676
4,216	3,505	0,711
4,826	4,089	0,737
6,033	5,25	0,783
7,303	6,271	1,032
8,89	7,793	1,097
10,16	9,012	1,148
11,43	10,226	1,204
14,13	12,819	1,311
16,83	15,405	1,425
21,91	20,272	1,638
27,31	25,451	1,859
32,39	30,323	2,067

Tabla 2.7.1.2: Medidas de tuberías de acero normalizado.

(Carbonell, 2003)

Acero inoxidable



Figura 2.7.1.2: Tubería de acero inoxidable.

(BAUHAUS, 2019)

Di (cm)	Coste al mes	Coste fijo	Coste total
1,58	2.421,14 €	242,47 €	2.663,61 €
2,093	804,87 €	321,97 €	1.126,84 €
2,664	323,72 €	478,28 €	802,00 €
3,505	126,39 €	646,91 €	773,29 €
4,089	80,91 €	774,26 €	855,17 €
5,25	47,18 €	1.041,08 €	1.088,26 €
6,271	37,19 €	1.650,77 €	1.687,96 €
7,793	31,59 €	2.156,64 €	2.188,24 €
9,012	29,81 €	2.593,62 €	2.623,43 €

Tabla 2.7.1.3: Costes según diámetro interno para el acero inoxidable.

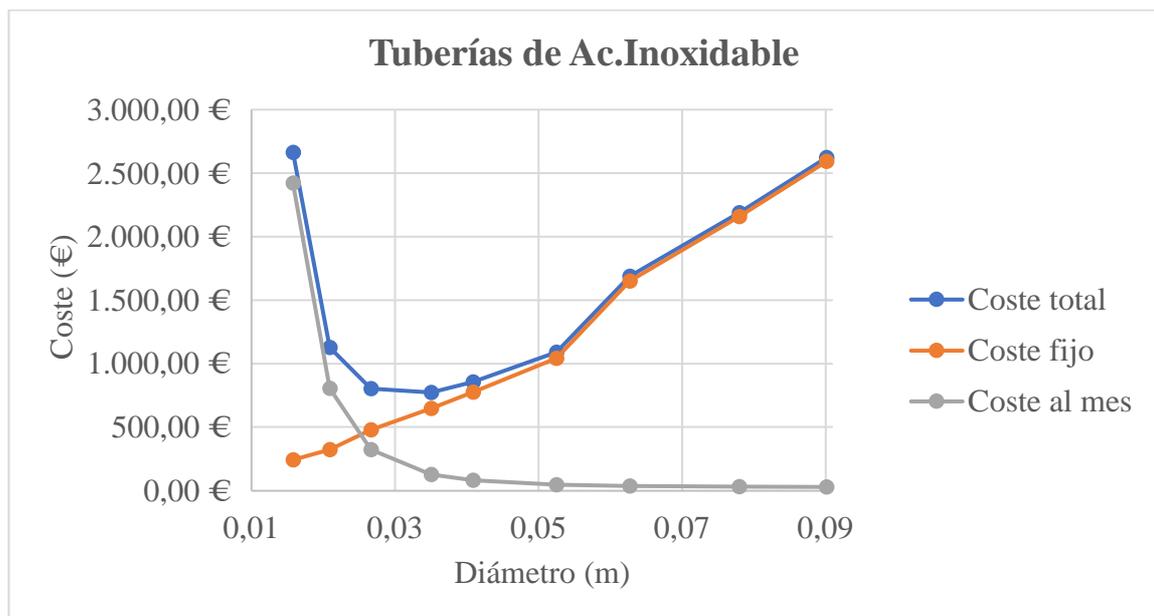


Figura 2.7.1.3: Gráfica de costes para tuberías de acero inoxidable.

PVC (Policloruro de vinilo)



Figura 2.7.1.4: Tubería de PVC.

(Modregohogar, 2020)

Di (cm)	Coste al mes	Coste fijo	Coste total
1,58	2.421,14 €	117,91 €	2.539,05 €
2,093	804,87 €	156,57 €	961,44 €
2,664	323,72 €	232,58 €	556,30 €
3,505	126,39 €	314,58 €	440,96 €
4,089	80,91 €	376,51 €	457,41 €
5,25	47,18 €	506,26 €	553,44 €
6,271	37,19 €	802,74 €	839,93 €
7,793	31,59 €	1.048,73 €	1.080,33 €
9,012	29,81 €	1.261,23 €	1.291,04 €

Tabla 2.7.1.4: Costes según diámetro interno para el PVC.

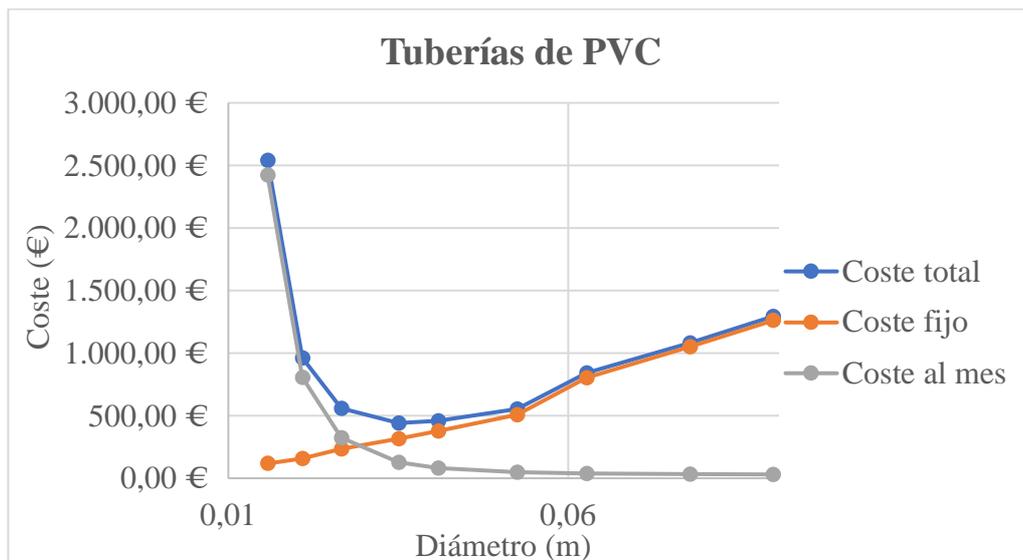


Figura 2.7.1.5: Gráfica de costes para tuberías de PVC.

PE (Polietileno)



Figura 2.7.1.6: Tubería de PE.

(CYPE, 2018)

Di (cm)	Coste al mes	Coste fijo	Coste total
2,093	804,87 €	66,44 €	870,37 €
2,664	323,72 €	98,69 €	421,01 €
3,505	126,39 €	133,48 €	257,98 €
4,089	80,91 €	159,76 €	238,40 €
5,25	47,18 €	214,82 €	258,95 €
6,271	37,19 €	340,62 €	372,98 €
7,793	31,59 €	445,01 €	470,28 €
9,012	29,81 €	535,17 €	557,39 €
10,226	28,91 €	634,00 €	653,92 €
12,819	28,10 €	859,07 €	874,99 €

Tabla 2.7.1.5: Costes según diámetro interno para el PE.

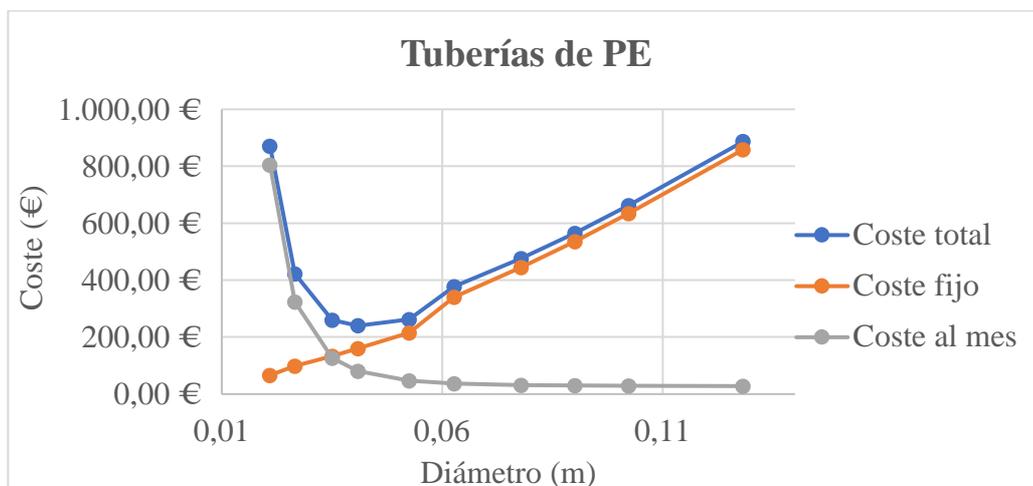


Figura 2.7.1.7: Gráfica de costes para tuberías de PE.

PP (Polipropileno)



Figura 2.7.1.8: Tubería de PP.

(Tubiplast, 2020)

Di (cm)	Coste al mes	Coste fijo	Coste total
2,093	1.147,07 €	54,04 €	1.201,11 €
2,664	454,10 €	80,28 €	534,38 €
3,505	169,90 €	108,58 €	278,48 €
4,089	104,40 €	129,96 €	234,36 €
5,25	55,83 €	174,75 €	230,57 €
6,271	41,44 €	277,08 €	318,52 €
7,793	33,37 €	361,99 €	395,37 €
9,012	30,80 €	435,34 €	466,15 €
10,226	29,51 €	515,73 €	545,24 €
12,819	28,34 €	698,8212979	727,16 €
15,405	27,93 €	908,5803191	936,51 €
20,272	27,67 €	1366,664304	1.394,34 €

Tabla 2.7.1.6: Costes según diámetro interno para el PP.

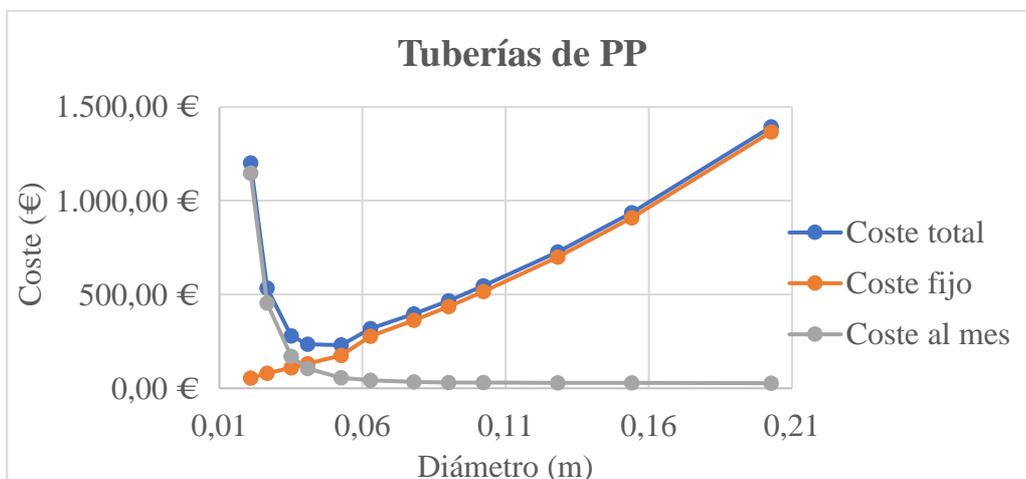


Figura 2.7.1.9: Gráfica de costes para tuberías de PP.

Acero de baja aleación



Figura 2.7.1.10: Tubería de Acero de baja aleación.

(Alibaba.com, 2020)

Di (cm)	Coste al mes	Coste fijo	Coste total
2,093	804,87 €	279,47 €	1.084,34 €
2,664	323,72 €	415,14 €	738,86 €
3,505	126,39 €	561,51 €	687,89 €
4,089	80,91 €	672,05 €	752,95 €
5,25	47,18 €	903,64 €	950,83 €

Tabla 2.7.1.7: Costes según diámetro interno para el Acero de baja aleación.

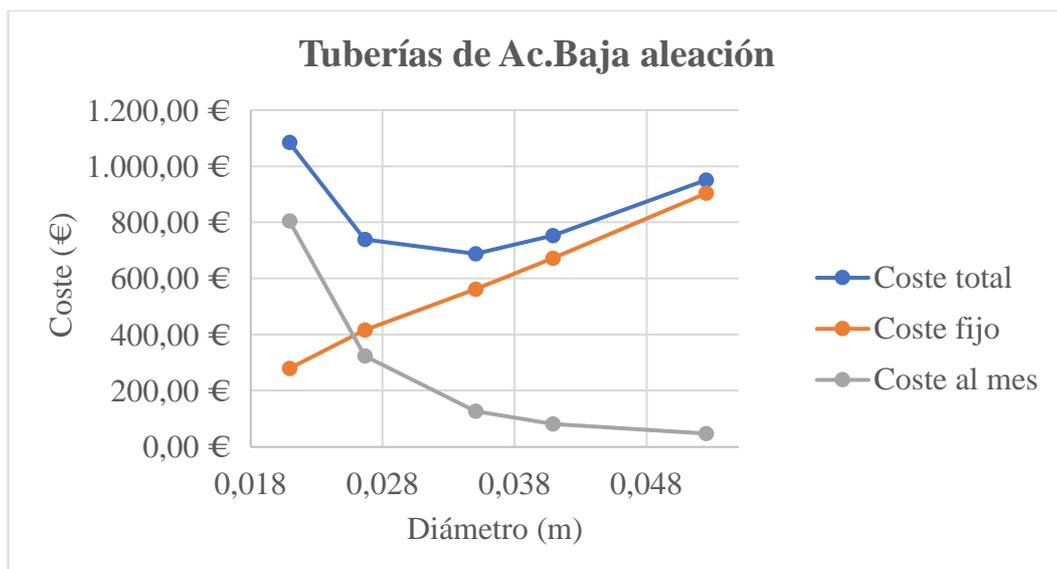


Figura 2.7.1.11: Gráfica de costes para tuberías de Acero de baja aleación.

Fundición dúctil de hierro



Figura 2.7.1.12: Tubería de fundición dúctil de hierro.

(Freepng.es, 2020)

Di (cm)	Coste al mes	Coste fijo	Coste total
2,664	1.733,49 €	158,48 €	1.891,97 €
3,505	596,86 €	214,35 €	811,20 €
4,089	334,90 €	256,54 €	591,44 €
5,25	140,65 €	344,95 €	485,60 €
6,271	83,11 €	546,97 €	630,07 €
7,793	50,84 €	714,59 €	765,43 €
9,012	40,57 €	859,38 €	899,95 €
10,226	35,40 €	1.018,07 €	1.053,48 €
12,819	30,73 €	1.379,49 €	1.410,22 €
15,405	29,07213112	1793,561149	1822,63 €

Tabla 2.7.1.8: Costes según diámetro interno para fundición de hierro.

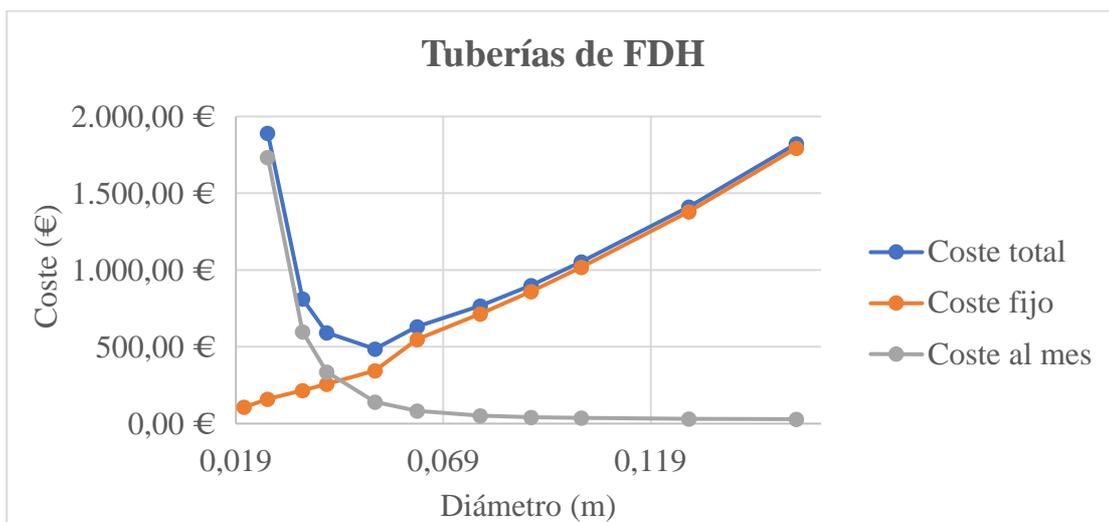


Figura 2.7.1.13: Gráfica de costes para tuberías de fundición de hierro.

Comparamos los resultados del mínimo coste total por cada material:

Material	Di (cm)	Coste al mes	Coste fijo	Coste total
Ac. Inoxidable	3,505	126,39 €	646,91 €	773,29 €
PVC	3,505	126,39 €	314,58 €	440,96 €
PE	4,089	80,91 €	159,76 €	238,40 €
PP	5,25	55,83 €	174,75 €	230,57 €
Acero de baja aleación	3,505	126,39 €	561,51 €	687,89 €
Fundición dúctil de hierro	5,25	140,65 €	344,95 €	485,60 €

Tabla 2.7.1.9: Comparación de costes mínimos entre materiales.

En la tabla 2.7.1.9 se muestra al polipropileno (PP) como el material más barato tanto en coste total como operativo si se elige un diámetro interior de conducción óptimo de 5.25 cm para un caudal de 36.35 m³/día operando 5 horas al día.

Durabilidad: Agua y disoluciones acuosas

Agua dulce	ⓘ	Excelente
Agua salada	ⓘ	Excelente
Suelos ácidos (turba)	ⓘ	Excelente
Suelos alcalinos (arcilla)	ⓘ	Excelente
Vino	ⓘ	Excelente

Figura 2.7.1.12: Durabilidad del polipropileno en diferentes fluidos.

(CES EduPack, 2019)

Para la conducción de agua será un material con una durabilidad excelente, buena resistencia mecánica y es barato, por tanto, el sistema de captación se amortizará. Una vez elegido el material, se repite el mismo cálculo del diámetro óptimo, aunque en esta ocasión pensando en un futuro caudal como se explica en el *Anexo D: Estudio del caudal necesario*, $Q_0 = 125.35 \text{ m}^3/\text{día}$. Calculando el diámetro óptimo para este caudal y siendo conducciones de polipropileno, se tienen los resultados ilustrados en la tabla 2.7.1.10.

De (cm)	Di (cm)	Coste fijo	Coste al mes	W (kw)	carga sistema (m)
10,16	9,01	435,34 €	557,19 €	2,32E+01	230,05
11,43	10,23	515,73 €	391,24 €	1,63E+01	160,19
14,13	12,82	698,82 €	241,13 €	1,00E+01	97,00
16,83	15,4	908,58 €	187,95 €	7,83E+00	74,62

Tabla 2.7.1.10: Datos óptimos del sistema de captación para caudal alto.

En este caso, el coste fijo no tendría demasiada importancia, ya que este coste se realiza al inicio del proyecto cuando se ha de gastar una inversión inicial. Observando que el menor coste operativo es la conducción con 15.405 cm de diámetro interno para este caudal, como resultado, al inicio del proyecto se gasta más por parte del coste fijo, que por parte del coste operativo. Cuando el proyecto haya evolucionado y necesite un caudal más grande, se encontrará en un diámetro cercano al óptimo y con un coste operativo menor, de este modo se amortizaría la inversión inicial realizada en la captación. Comparando estos valores de diámetro para un futuro, con los valores que se van a usar al comenzar el proyecto se obtiene la siguiente tabla.

Q (m³/día)	36.35		
De (cm)	16.83	Coste al mes	27.93 €
Di (cm)	15.4	Coste fijo	908.58 €
W (kW)	1.16	Coste total	936.51 €
Q (m³/día)	125.35		
De (cm)	16.83	Coste al mes	187.95 €
Di (cm)	15.4	Coste fijo	908.58 €
W (kW)	7.83	Coste total	1096.54 €

Tabla 2.7.1.11: Datos de diferente caudal comparados.

Como se ha comentado en el párrafo anterior, en la tabla 2.7.1.11 se observa que, eligiendo el diámetro de 15.4 cm, tenemos una inversión inicial en el coste fijo superior a la que tendríamos con el diámetro óptimo del caudal bajo (5.25cm), en cambio, si se mantuviese ese diámetro de tubería para el caudal del futuro, el coste de operativo sería de 3770.21 € en vez de 187.95 € como se obtiene en la tabla anterior.

2.7.2. Las bombas hidráulicas.

La bomba hidráulica debe ser capaz de elevar un caudal de agua máximo de 36.32 m³/h, como este caudal es demasiado elevado para una sola bomba hidráulica, se pueden conectar varias bombas en paralelo a medida que el proyecto vaya ampliándose. De modo que, mientras crezca el proyecto, se irán haciendo inversiones en bombas y paneles solares. En la figura 2.7.2.1 se muestra un catálogo de bombas se busca una que cumpla los requisitos para el sistema de captación de la tabla 2.7.2.1:

Carga del sistema (h _s)	NPSH _{disponible}	Potencia necesaria
79.11 m	4.29 m	7.83 kW

Tabla 2.7.2.1: Requisitos del sistema de captación para la bomba hidráulica.

Tipo Type Typ	Alimentazione Feeding - Alimentacion Alimentation - Speisung 50 Hz	P1 Max kW	P2 Nominale P2 Nominal		Corrente assorbita - A Absorbed current - A Courant absorbe - A Abgenommener Strom - A	— — μF	V	H																		
			kW	HP				U.S.g.p.m.																		
								m ³ /h																		
								0	4,4	8,8	13,2	17,6	22	26,4	30,8	35,2	39,6	44	52,8	61,6	70,4	79,2				
								0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18				
								0	17	33	50	67	83	100	117	133	150	167	200	233	267	300				
FC20-2B	1 x 230 V	0,95	0,55	0,75	4,2	16	450	39	36	32,5	28	21,5	13													
FC20-2B	3 x 230-400 V	0,76	0,55	0,75	3,3/1,9			39	36	32,5	28	21,5	13													
FC20-2A	1 x 230 V	1,4	0,75	1	6,4	20	450	46	43,5	40,5	36	30,5	23,5													
FC20-2A	3 x 230-400 V	1,1	0,75	1	4,8/2,8			46	43,5	40,5	36	30,5	23,5													
FC25-2D	1 x 230 V	1,9	1,1	1,5	9,5	31,5	450	44	43,5	42	40,5	38	35	30	23,5											
FC25-2D	3 x 230-400 V	1,87	1,1	1,5	6/3,5			44	43,5	42	40,5	38	35	30	23,5											
FC25-2F	1 x 230 V	2,1	1,1	1,5	9,8	31,5	450	51	49	47	45	42,5	40	38	34											
FC25-2F	3 x 230-400 V	2,03	1,1	1,5	7,3/4,2			51	49	47	45	42,5	40	38	34											
FC25-2C	1 x 230 V	2,6	1,5	2	12	40	450	52,5	51	49,5	48	45	44	41	36	33										
FC25-2C	3 x 230-400 V	2,3	1,5	2	8,6/5			52,5	51	49,5	48	45	44	41	36	33										
FC25-2E	1 x 230 V	2,6	1,5	2	12	40	450	61,5	58	55	52	47,5	45	41,5	39	34										
FC25-2E	3 x 230-400 V	2,4	1,5	2	9,1/5,3			61,5	58	55	52	47,5	45	41,5	39	34										
FC25-2B	3 x 230-400 V	3,1	2,2	3	10/5,8			64			59	57	54,5	51	47	42,5	36,5									
FC25-2A	3 x 230-400 V	3,6	3	4	12/7			70			66	64	62	59,5	56,5	52,5	48	42,5								
FC30-2C	3 x 230-400 V	5,3	4	5,5	16/9,3			74			70	67	65	63	62	60	58	52	45							
FC30-2D	3 x 230-400 V	5,3	4	5,5	16/9,3			83			79	77	75	73	70,5	68	65	59	52	44						
FC30-2B	3 x 230-400 V	7	5,5	7,5	12,8/7,4			89			86	84	82	80	78	76	74	69	62	56						
FC30-2A	3 x 230-400 V	8,3	7,5	10	15,2/8,8			96			93	91	88	87	85	83	77	72	66	58						

Figura 2.7.2.1: Características de modelo de bomba.

(TeknoSolar, 2020)

Según los datos requeridos en el sistema de captación, se necesita la siguiente bomba hidráulica con sus características mostradas en la tabla 2.7.2.1.

Tipo de bomba	FC30-2A
Potencia	8.3 kW
Carga h_b	85 m
Caudal máximo	9 m ³ /h
Precio por bomba	220 €

Tabla 2.7.2.1: Datos de la bomba elegida para la captación.

En la captación al embalse (1) para una acumulación de agua existente en dicho embalse, se requiere un caudal de 72.7 m³/día, caudal que corresponde al doble de la elevación. El caudal está calculado para que, en 5 horas de operación al día, cumpla con la captación de agua. Por tanto, el caudal de la captación en m³/h correspondería a 72.7 m³/día = 14.54 m³/h. Del mismo modo, en el futuro puede hacer falta un caudal mayor ya calculado en el anexo estudio de caudal necesario. Como el caudal máximo que puede soportar la bomba hidráulica es menor a estos caudales, una solución viable es realizar una instalación de bombas en paralelo que pueda hacer un sumatorio en el caudal de agua captada, manteniendo el mismo valor de carga (H_{LT}) que corresponde como mínimo al que requiere el sistema ($h_s = 79.11$ m) y que si cumple la bomba hidráulica elegida ($h_b = 85$ m).

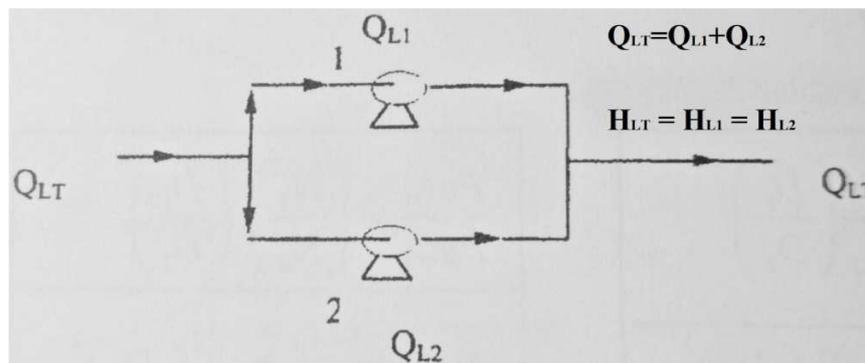


Figura 2.7.2.2: Instalación de bombas en paralelo.

(Carbonell, 2003)

Debido al aumento de temperaturas que puedan surgir al cabo de los años, la presión de vapor del agua variará, haciendo que el NPSH disponible disminuya hasta un punto crítico donde se aproxime al NPSH requerido. Si este descenso llegase a pasar, la bomba hidráulica de la elevación, encargada del transporte de agua de un embalse a otro entraría en cavitación.

Una buena solución para evitar dicho problema sería colocar una válvula de compuerta instalada en la parte posterior a la bomba hidráulica, al tener un control sobre el caudal que circule por la tubería, éste se puede disminuir. De este modo se desplazaría el NPSH disponible, aumentándolo hasta que la bomba ya no esté en zona de cavitación (*Carbonell, 2003*).

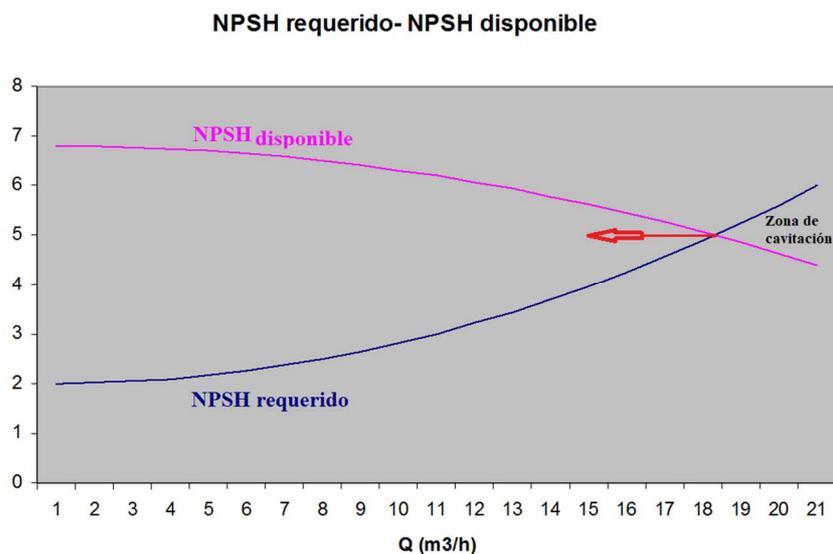


Figura 2.7.2.3: Desplazamiento del NPSH disminuyendo el caudal.

(*Google Imágenes, 2020*)

Tras aplicar las soluciones en la captación, el diagrama diseñado en el programa online Canva quedaría como se muestra en la figura 2.7.2.4.

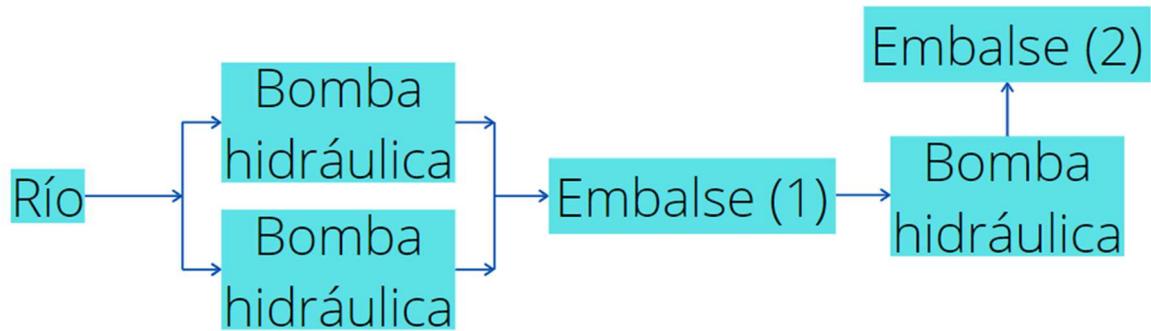


Figura 2.7.2.4: Diagrama de la captación.

(Canva, 2020)

2.7.3. Estación de tratamiento de agua potable (ETAP).

Separación de sólidos.

La estación de tratamiento de agua potable debe satisfacer los requisitos impuestos en el real decreto. Como se menciona en los requisitos de diseño de la ETAP, el agua captada no contiene metales pesados, en general, es agua de buena calidad salvo en días de lluvia excesiva donde pueda presentar E.Coli. Otro parámetro que conviene controlar sería el de turbidez, ya que si el agua llega a 1 unidad de turbidez las competencias sanitarias obligarían a instalar un equipo de separación de sólido-líquido. Estos equipos pueden ser un decantador o un filtro de arena.

El decantador es un equipo que consta de un depósito donde sedimenten los sólidos haciendo uso de la velocidad de sedimentación. En ocasiones, si los sólidos tienen diámetros muy pequeños se hace uso de reactivos. Se hizo un primer diseño de este decantador, dicho diseño supuso problemas al tener el depósito dimensiones demasiado grandes y tener costes de reactivos que incrementarían los gastos del proyecto.

Debido a que hay poca presencia de sólidos, se decidió instalar un filtro de arena. El filtro de arena, al contrario que el decantador, no supone costes de reactivo.

Eliminación de olor, sabor y bacterias.

Una vez el agua está limpia de sólidos, el siguiente factor importante a tratar es el de bacterias coliformes. Dado que el agua puede presentar *E.Coli* y contiene numerosas microalgas, en esta etapa se va a suministrar ozono, en vez de realizar la típica cloración del agua, ya que es muy buen desinfectante debido a que la molécula inestable del ozono (O_3) es un oxidante muy fuerte. Como este aparato solo utiliza electricidad para formar el ozono y la propia empresa llamada *CosemarOzono* realiza las pruebas necesarias en laboratorio para eliminar los microorganismos sin sobrepasar el límite legal de ozono, el diseño de esta máquina queda fuera del proyecto. La ficha técnica del generador y sus características se encuentran en el *Anexo F: Características de los equipos*.

Se debe aplicar en el agua *in situ*, es decir, donde esté almacenada. La inyección es continua para mantener la eficacia ya que el ozono actúa durante un máximo de 25 minutos. En comparación con otros métodos como la cloración, la inyección de O_3 tiene mayor poder desinfectante y es mucho más seguro, puesto que la molécula de ozono se degrada a moléculas de oxígeno totalmente inocuas para el ser humano (*CosemarOzono, 2020*).

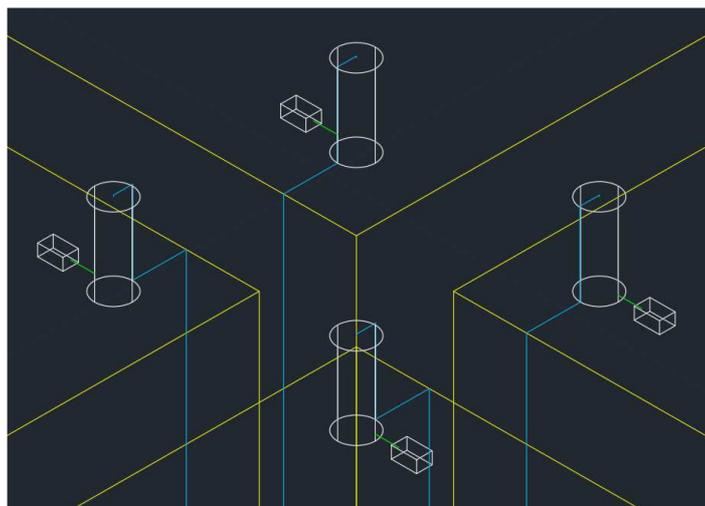


Figura 2.7.3.1: Instalación del Generador de Ozono.

(AutoCAD, 2020)

Almacenamiento del agua potable

El agua se almacena en los depósitos de cada vivienda, tienen un volumen de 0.8 m^3 cada uno y cada depósito va conectado a un generador de ozono para realizar una desinfección. Existen multitud de materiales con los que fabricar los depósitos: hormigón, acero, polietileno de alta densidad (HDPE), etc. Como criterio de elección de material, se va a optar por el coste y las dimensiones del depósito. Debido a que estos depósitos no son de grandes dimensiones y los materiales poliméricos disminuyen el coste, se elige al polietileno de alta densidad (HDPE) como material de los depósitos.

Del mismo modo que se ha hecho en el apartado 2.7.2, se procede a realizar un diagrama de flujo donde quede plasmada la ETAP con cada uno de los equipos.

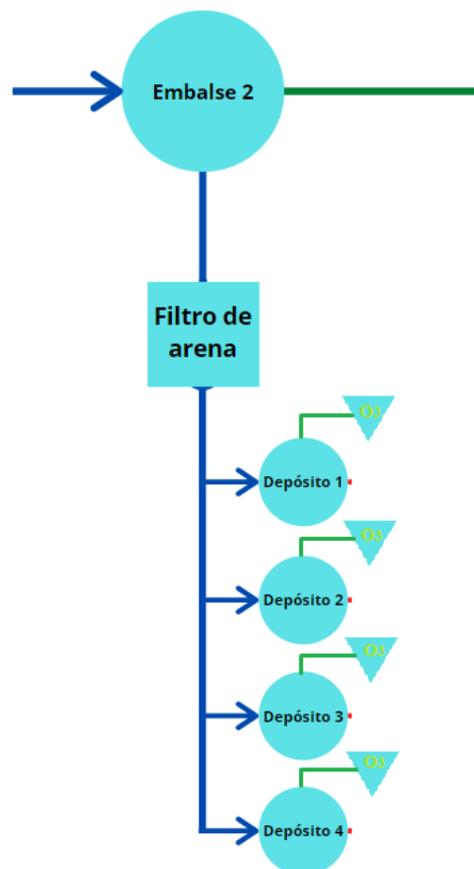


Figura 2.7.3.2: Diagrama de flujo de la ETAP.

(Canva, 2020)

2.7.4. Estación depuradora de aguas residuales (EDAR).

Para el diseño de la EDAR, se van a tener en cuenta las características del agua residual urbana estudiada en el *Anexo C: Características del agua residual*. En dicho anexo aparece que la mayor parte del agua residual contiene urea y bacterias *E. Coli*.

Una EDAR convencional se compone de varias fases como el diseño de un sedimentador donde hay que aplicar varios reactivos para realizar una coagulación y floculación, lo cual implica altos costes de reactivos, deposición de fangos los cuales hay que tratar como residuos, lechos bacterianos y varias filtraciones. En vez de realizar una EDAR convencional, se opta por el uso de un tanque de cultivo de Spirulina, una microalga que es capaz de alimentar se residuos domésticos para realizar su ciclo de vida y obtener agua limpia y apta para el riego. Como consecuencia, esta microalga al crecer en un medio sin altas concentraciones de iones de sodio, se conforma de hasta un 70% de proteína. Esta proteína se puede utilizar para la obtención de un fertilizante mediante un intercambiador de calor y un reactor con membranas, de este modo, la generación de residuos es nula en comparación con una EDAR convencional.

Tanque de cultivo

El tanque de cultivo debe diseñarse de manera que se adapte a las necesidades de la Spirulina y evitar la proliferación de otras bacterias no deseadas. Para el diseño del tanque de cultivo se necesitan fuentes de nitrógeno y fósforo, elementos con los que crecen las microalgas. Por otra parte, como el pH del medio donde se va a reproducir la microalga es alto, hay altas temperaturas en la EDAR y se añade amoníaco al medio del cultivo, no influye el hecho de que haya bacterias en el agua ya que serán eliminadas sobre todo por acción del amoníaco.

Pasado un tiempo de proliferación de la Spirulina, se reducirá hasta en un 80% la concentración de los residuos formados por nitrógeno y fósforo en el medio, como

consecuencia habrá una alta población de Spirulina. Como se menciona en el *Anexo G: La Spirulina*, se ha escogido esta microalga debido a que tiene alta resistencia a sobrevivir y adaptarse a diversos medios del ecosistema donde se encuentre.

Para un correcto desarrollo y optimización de las funciones vitales de la microalga, se diseñará el tanque de cultivo con las condiciones apropiadas. Un cultivo abierto a la atmósfera será ideal ya que para la realización de la fotosíntesis se necesita energía solar, CO₂ inyectado para que se disuelva en el agua y condicionar el pH para que sea viable sólo para la Spirulina y de este modo eliminar otras especies no deseables, además de añadir solución amoniacal. Por tanto, el mejor diseño sería un fotobiorreactor tipo H.R.A.P (*high rate algae pond*) cuyo diseño es capaz de reducir la cantidad total de nitrógeno y fósforo en el agua hasta un 80% (Haro & Perales, 2015).

El medio acuoso del cultivo para la Spirulina está compuesto por las siguientes sustancias mostradas en la tabla 2.7.4.1.

Componente	Cantidad (ppm)
Nitrógenos totales	52
Fósforos totales	4.2
Bicarbonato (añadido)	10 ⁴
Nitrato de sodio (añadido)	10 ³
Amoniaco (añadido)	51

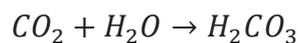
Tabla 2.7.4.1: Nutrientes de entrada y sustancias añadidas a un cultivo de Spirulina alimentado por estiércol de animal.

(Saxena, 1982)

En caso de alimentar el tanque de cultivo con estiércol de animales diluido, sí que se debe añadir sustancias como el bicarbonato o el nitrato de sodio. Por el contrario, como se explica en el apartado *Análisis de soluciones: Falta de sustrato en el tanque de cultivo*, también puede alimentarse el tanque de cultivo con urea diluida comercial en caso de aumentar el tamaño del proyecto en el futuro.

Al existir en el agua del cultivo una cantidad baja de iones de sodio, aumentará el rendimiento y la producción de proteína, disminuyendo la de carbohidratos como se muestra en el *Anexo G: La spirulina*.

El pH óptimo para operar en estas condiciones sería de 9, para controlar bien la proporción de iones de hidrógeno (pH) en el medio de cultivo, es conveniente tener un ácido y una base. El medio de reproducción del alga tiende a pH elevado, por tanto, se requiere de un ácido que controle el pH para no alcalinizar demasiado el medio acuoso del tanque de cultivo. En el *Anexo E: Productos químicos*, se comenta cómo el CO₂ inyectado en el agua puede formar ácido carbónico y ser capaz de regular el pH a 9 si fuese necesario (*Ben Yaakov, 1985*).



(*OASE, 2020*)

Según la temperatura del cultivo, puede aumentar o disminuir el rendimiento. La Spirulina tiene varias cepas las cuales son más resistentes en ciertas temperaturas y su temperatura óptima varía, pero en general, la temperatura óptima para el cultivo de la microalga se encuentra en el intervalo de $T_{opt} = [30; 42]$ °C. La única época del año donde el cultivo puede peligrar debido a la baja temperatura es en febrero, donde la temperatura del agua abierta a la atmosfera se encuentra a un mínimo de 13°C como se observa en la figura 2.7.4.2. Para no tener problemas, se instalarán calefactores que aumenten en 15 °C la temperatura del tanque de cultivo.

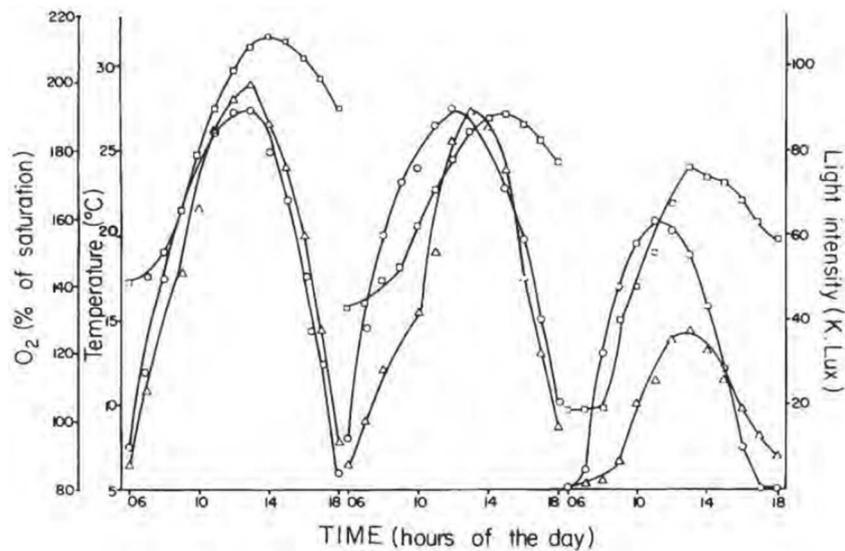


Figure 5.2 Diurnal changes in O₂ concentration, temperature and light during the course of representative days in different seasons. Left to right—summer, spring and winter, □—□ temperature in °C; ○—○ irradiance in klux; Δ—Δ O₂, percentage of saturation.

Figura 2.7.4.1: Estudio de cultivos en diferentes épocas del año.

(Saxena, 1982)

Para aportar calor al agua se va a optar por usar resistencias eléctricas de aleación de Níquel y Cromo, 80% y 20% respectivamente. Ya que esta aleación es resistente a la oxidación y es económica.

Intercambiador de calor

El intercambiador de calor debe ser capaz de aumentar la temperatura del agua con Spirulina mediante 60°C, de modo que se diseñó un intercambiador multitubular de carcasa. Este intercambiador multitubular presenta un Reynolds demasiado bajo. Como consecuencia, el agua con la Spirulina sedimentará y provocará ensuciamiento en los tubos interiores del intercambiador. Debido a que el intercambiador multitubular puede presentar el problema del ensuciamiento, se decide cambiar el tipo de intercambiador optando por un doble tubo.

Instalando una bomba hidráulica antes del intercambiador, o, realizando la instalación de la EDAR a una cota menor, se puede aumentar la velocidad del agua y se realiza el diseño del intercambiador de doble tubo con las siguientes características.

Características del intercambiador			
D_e^a	D_i^a	Longitud total	Material
3.25 cm	2.85 cm	21.35 m	Acero al carbono
D_e^b	D_i^b	Tubo interno	Tubo externo
1.9 cm	1.5 cm	Agua con Spirulina	Aceite

Tabla 2.7.4.2: Características del intercambiador de doble tubo concéntrico.

Reactor con membranas

Al salir el agua del intercambiador de calor, ésta se encuentra a una temperatura elevada de 60°C. Este calor aportado al agua se va a usar en el reactor como catalizador de reacción de hidrólisis de proteínas y el producto final que sería el fertilizante a base de aminoácidos libres.

Las proteínas se pueden hidrolizar mediante sustancias químicas como pueden ser algunos ácidos o, mediante enzimas. Existen empresas fabricantes de enzimas las cuales provienen de bacterias. Pese a que las bacterias hayan sido eliminadas y las enzimas extraídas, siguen siendo funcionales en las condiciones de operación correctas. Además, las enzimas presentan varias ventajas frente al uso de ácidos u otras sustancias químicas que son:

- Presentan selectividad. Las enzimas son específicas para el tipo de enlace presente en el reactivo con el que se desee operar. Como consecuencia, no es muy frecuente la aparición de productos secundarios.

- Las condiciones de operación, tanto de temperatura como de pH, son moderadas. Normalmente ente 40 y 60°C a un pH de 4 a 6. Con lo cual, abarata el gasto de energía aportada para incrementar la temperatura y no es necesario un material excesivamente resistente a la corrosión.
- Al trabajar en pH cercanos al neutro, no se destruyen algunos tipos de aminoácidos beneficiosos para el desarrollo de vegetales.

(A.Guadix, 1999)

Las enzimas comerciales que se van a usar en la reacción se llaman proteasas. Su función es romper los enlaces de las proteínas, formando como productos los aminoácidos libres.

Existen diferentes enzimas dependiendo de su procedencia y, cada una, con unos intervalos diferentes de Temperatura y pH para catalizar reacciones.

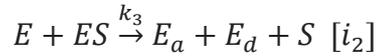
Enzima	Origen	pH	T (°C)
Alcalasa 0.6L	B.licheniformis	(4-11.5)	(50-60)
Neutrasa	B.subtilis	(6-8)	(45-55)
Protease 660L	B.subtilis	(7-10)	(50-70)
Fungal-Protease	A.oryzae	(6-9)	(45-55)
P.E.M.2500S	Tripsina porcina	(6-10)	(30-60)
	Tripsina bovina	(6-10)	(25-45)
Corolase PP	Tripsina quimiotrp	(7-9)	(45-55)
Corolase PS	A.oryzae	(5-7)	(50-60)
Corolase 7089	B.subtilis	(6-8.5)	(55-60)
Corolase 7107	A.niger	(2-3)	(30-50)
Bromelana Takamina	Vegetal (piaea)	(4-9)	(20-65)
Papana Takamina	Vegetal (papaya)	(6-8)	(20-75)

Tabla 2.7.4.3: Enzimas proteasas comerciales.

(A.Guadix, 1999)

En la tabla 2.7.4.3 se muestra una lista de proteasas junto al origen y condiciones de operación. En el reactor el pH será básico (pH=9) y una temperatura de 60°C, por los que las proteasas que más se ajustan a estas condiciones son: Alcalasa 0.6L, Protease 660L, P.E.M.2500S (procina) y Bromelana Takamina. Con motivo de seguridad y control sobre el proceso de hidrólisis, hay que pensar respecto el futuro que pueden variar tanto el pH como las temperaturas, por lo que la mejor enzima sería la Protease 660L ya que sus condiciones de operación dan cierta elongación a cambios y perturbaciones en el proceso.

El mecanismo de reacción de las enzimas proteasas es el siguiente:



[E]: Concentración de enzima proteasa. [S]: Concentración de sustrato (Proteína).

[ES]: Concentración del complejo enzima-sustrato.

[P]: Concentración de producto. [E_{d/a}]: Concentración de enzima desactiva/activa (d/a).

En la primera reacción [i₁], se muestra el proceso normal de reacción entre enzima y sustrato para la formación del producto. Al haber membrana en el reactor, una parte de este estará en concentración baja de enzimas provocando el desplazamiento de la reacción hacia la formación de producto. En la segunda reacción [i₂], se observa una inhibición provocada por la propia encima uniéndose al conjunto enzima-sustrato. Como consecuencia, al finalizar la reacción, queda una enzima activa [E_a], una enzima inactivada [E_d] y el sustrato intacto sin reaccionar [S]. La velocidad de reacción de las enzimas proteasas ha sido investigada al cabo del tiempo dando como un resultado fiable la siguiente ecuación:

$$r(\text{min}^{-1}) = S_0 * \frac{d(GH)}{dt} = k_2 * (E_0 - B * S_0) * e^{\left(-\frac{k_3 K_M * GH}{k_2}\right)} \quad [2]$$

En la ecuación [134] se tiene en cuenta tanto la reacción de formación de producto como la inactivación de las enzimas (A.Guadix, 1999). Los parámetros cinéticos (k₂, k₃, K_M, etc.) de la proteasa las facilitaría el fabricante o unos ensayos de laboratorio, el diseño del reactor se tomarán valores generales de reacción de proteasas para una concentración baja de sustratos, como, por ejemplo: un tiempo de reacción de 100 minutos.

Depósito

Al igual que en los depósitos de la ETAP, se debe elegir un material conveniente para el depósito de la EDAR. En este caso el volumen aumenta a 24 m³, sin embargo, sigue siendo una cantidad relativamente pequeña como para tener que usar algún material con propiedades mecánicas más resistentes como acero o hormigón. Como el polietileno de alta densidad (HDPE) sigue siendo una buena opción frente a los demás materiales para construcción de depósitos, el depósito 3 o depósito de la EDAR será de polietileno de alta densidad (HDPE).

Finalmente se realiza un diagrama de flujo de la EDAR entrando en detalle con respecto a los equipos utilizados.

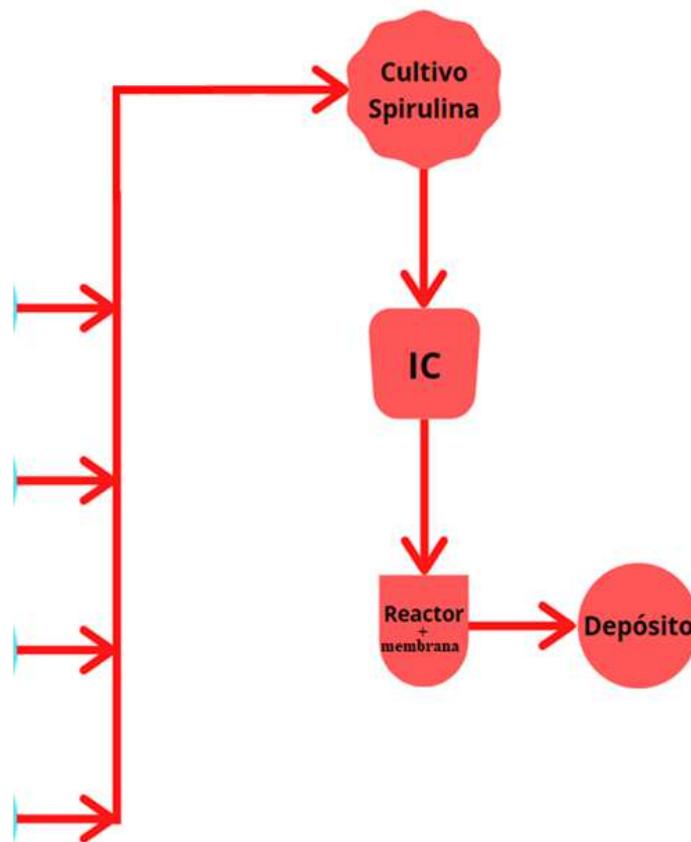


Figura 2.7.4.2: Diagrama de flujo de la EDAR.

(Canva, 2020)

2.7.4.1. Falta de sustrato en el tanque de cultivo.

Dado que el riego del cultivo con aminoácidos libres es tan solo una manera de reutilizar agua residual, disminuir la explotación de agua del medio ambiente y promover la economía circular. No llega a ser un gran problema si no se llega a una gran cantidad de fertilizante al principio de la explotación del cultivo. En cambio, el problema en el futuro podría agravarse si aumenta de tamaño del campo a regar, en cuyo caso, la EDAR pasaría a usarse sólo para reutilizar agua ya que no se notaría mucho el efecto de los aminoácidos libres sobre las plantas. En este caso una solución viable podría ser el uso de estiércol de animales como alimento para la Spirulina, la microalga se reproduciría en mayores cantidades aumentando la concentración de aminoácidos libres en el agua. Como efecto colateral, se tendría que aumentar la cantidad de amoníaco para eliminar otras bacterias presentes, como ya se ha mencionado anteriormente en el diseño del tanque de cultivo (*Lukavsky, 2000*).

Constituent	Cow	Beef	Swine	Sheep	Poultry
Manure (kg per day per 454 kg of live weight)	39	26	38	18	29
Total solids (%)	14	15	13	28	25
Volatile solids (%)	12	12	10	23	18
N (kg per tonne of waste)	3.8–5.2	5.0–5.9	5.4–6.3	11.3	8.8–13.1
P (kg per tonne)	1.1–1.8	1.6–2.5	2.2–3.1	2.1	4.6–8.2
K (kg per tonne)	3.4–4.8	3.6–4.5	3.5–4.1	8.0	3.2–4.8
BOD range (g l ⁻¹)	6–50	6.7–50	12–60	—	10–800

Figura 2.7.4.3: Sustratos provenientes del estiércol de animales.

(*Sweeten, 1991*)

En la figura 2.7.4.4 se muestran las cantidades de fósforo (P), nitrógeno (N) y potasio (K) que se suministran por tonelada del estiércol de diferentes animales típicos agrícolas como las vacas, cerdos, ovejas, toros, cerdos y gallinas. Otra opción que ahorra gastos en productos químicos sería comprar urea diluida comercial como sustrato al tanque de cultivo.

2.7.5. Distribución al regadío.

El agua para usar en el regadío proviene de dos sitios, el embalse (2) y el depósito de la EDAR. Para transportar el agua de estos dos depósitos se conectan mediante tuberías de PVC y posteriormente se pasa al riego del campo de 13000 m².

Existen varias formas de riego y distribución de agua, ya sea por dispersores o directamente con mangueras. Debido a que los dispersores de agua encarecen el coste, y los resultados que se puedan obtener son iguales a los usados con mangueras, la forma más viable de regar el campo sería usando mangueras agujereadas y taponadas en su extremo. El material de las mangueras debe ser flexible, por tanto, se escogen mangueras de polipropileno para el regadío del campo. Finalmente se realiza un diagrama de flujo detallado del proyecto.

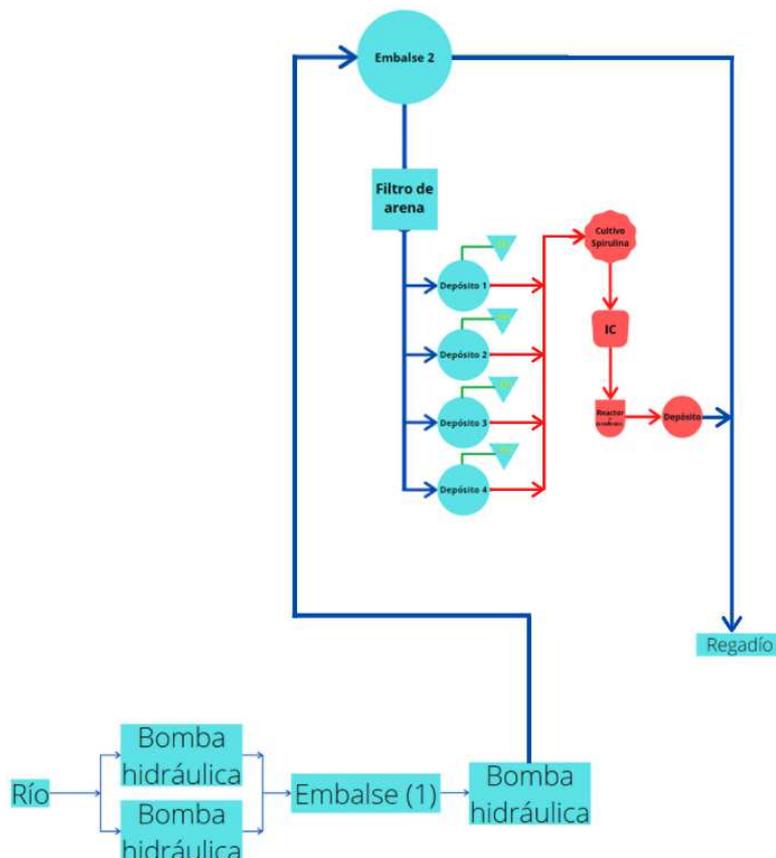


Figura 2.7.5.1: Diagrama general detallado del proyecto

(Canva, 2020)

2.8. Resultados finales.

En este apartado se hablará de los resultados finales en cada etapa del proyecto, de medidas de los equipos, caudales y tiempos de llenado de depósitos. Los precios se estiman según los cálculos y búsqueda en catálogos realizados en el *Anexo f: Equipos y sus características*.

2.8.1. Captación.

Captación		Accidentes	Cantidad
Di (cm)	15.41	Codos (PP) 161°	2
De (cm)	16.83	Codos (PP) St 90°	2
L (m)	241	-	-

Tabla 2.8.1: Precios y medidas de la captación de agua.

2.8.2. Embalses y depósitos.

Se disponen de 4 embalses donde almacenar agua: embalse 1 situado en una zona cercana a la recogida de agua natural, embalse 2 situado en la zona más elevada, depósito 3 donde se almacena el agua residual tratada y los depósitos de agua de cada vivienda.

2.8.2.1. Embalse 1.

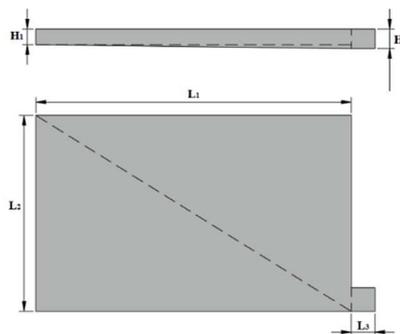


Figura 2.8.2.1. Medidas del embalse 1.

(AutoCAD, 2020)

Embalse 1		Dimensiones			
Material	Hormigón armado	L ₁ (m)	35	L ₂ (m)	20
Tiempo de llenado	76.4 h	L ₃ (m)	3	H ₁ (m)	2
Precio estimado	7071.43 €	V (m ³)	1650	H ₂ (m)	2.5
		Q _e (m ³ /h)	21.6	Q _s (m ³ /h)	7.2

Tabla 2.8.2.1: Resultados de embalse 1.

2.8.2.2. Embalse 2.

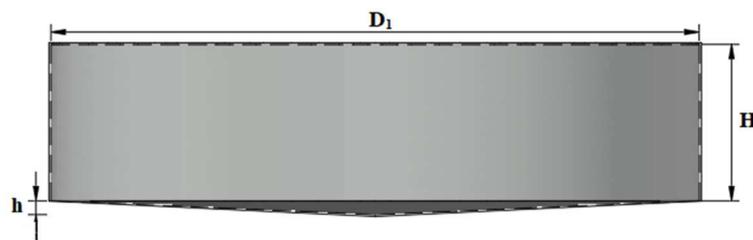


Figura 2.8.2.2. Medidas del embalse 2.

(AutoCAD, 2020)

Embalse 2		Dimensiones			
Material	Acero galvanizado	D ₁ (m)	14.1	H (m)	3.42
Tiempo de llenado	15 días	Q _e (m ³ /h)	7.2	h (m)	0.3
Precio estimado	4779.74 €	Q _{s1} (m ³ /h)	6.7E-2	V (m ³)	550
		Q _{s2} (m ³ /día)	540/15d		

Tabla 2.8.2.2: Resultados de embalse 2.

El embalse 2 tiene un caudal de entrada y dos de salida, de los cuales, uno pertenece al caudal de riego cada 15 días y el otro al caudal para consumo humano.

2.8.2.3. Depósito 3.

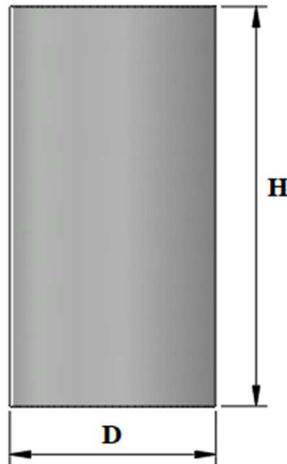


Figura 2.8.2.3. Medidas del depósito de HDPE.

(AutoCAD, 2020)

Depósito 3		Dimensiones			
Material	HDPE	D (m)	2.5	H (m)	4.9
Tiempo de llenado	15 días	Qe (m³/h)	6.7E-2	Qs (m³/15d)	24
Precio estimado	334.34 €	V (m³)		24	

Tabla 2.8.2.3: Resultados del depósito 3.

2.8.2.4. Depósitos de las viviendas.

La geometría de estos depósitos es similar a la del depósito 3, geometría cilíndrica, pero se diferencian en las dimensiones y el volumen.

Depósito de vivienda		Dimensiones			
Material	HDPE	D (m)	0.77	H (m)	1.7
Precio estimado por unidad	27.07 €	Nº depósitos	4	V (m ³)	0.8

Tabla 2.8.2.4: Resultados de los depósitos de las viviendas.

2.8.3. Bomba hidráulica y paneles fotovoltaicos.

2.8.3.1. Bomba hidráulica.

La bomba hidráulica debe ser capaz de elevar un caudal de agua máximo de 36.32 m³/h, como este caudal es demasiado elevado para una sola bomba hidráulica, se pueden conectar varias bombas en serie a medida que el proyecto vaya ampliándose. De modo que, mientras crezca el proyecto, se irán haciendo inversiones en bombas y paneles solares.

Según los datos requeridos en el sistema de captación, se necesita la siguiente bomba hidráulica con sus características mostradas en la tabla 2.8.3.1.

Tipo de bomba	FC30-2A
Potencia (kW)	8.3
Carga h_b (m)	85
Caudal máximo (m³/h)	9
Precio por bomba	220 €

Tabla 2.8.3.1: Datos de la bomba elegida para la captación.

En el futuro puede hacer falta un caudal mayor ya calculado, con el mismo número de carga para la bomba (79 metros mínimo). Por ello se pueden ir comprando el mismo modelo de bomba a medida que se necesite un mayor caudal (Q_{LT}), ya que una instalación de bombas en paralelo puede hacer un sumatorio en el caudal de agua elevado, manteniendo el mismo valor de carga (H_{LT}).

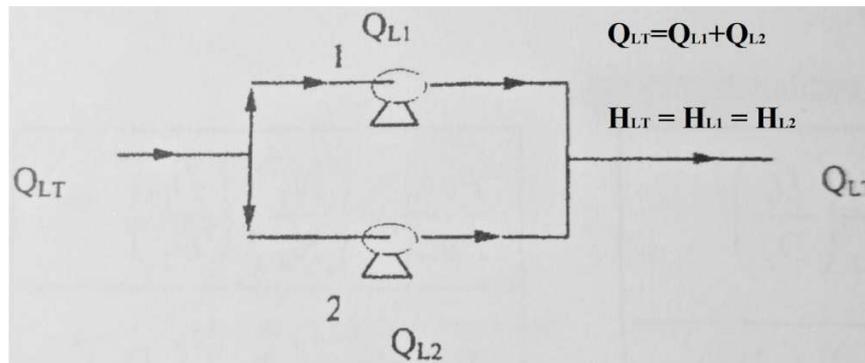


Figura 2.8.3.1: Instalación de bombas en paralelo.

(Carbonell, 2003)

2.8.3.2. Paneles fotovoltaicos.

Los paneles solares se instalan en el suelo de la parte más alta del terreno, se contrataría un operario que instale las placas con los ángulos correctos para un máximo rendimiento. En la figura 2.8.3.2 se muestra el terreno de la instalación. Para el inicio del proyecto, como se va a usar un caudal menor al caudal previsto para un futuro, con hacer una inversión inicial de

13 paneles bastaría para suplir las necesidades eléctricas de las bombas, las cuales, se estima que estarán operando a un 14% de su rendimiento total.

Cuando se aumente el caudal previsto para el futuro, como el coste operativo para elevar el agua será mínimo, se puede realizar una inversión de 38 paneles solares de 0.5 kW para suplir los 8 kW que requiera las bombas hidráulicas.

Potencia de cada panel	500 W
Precio por panel	320 €
Nº Paneles	13
Precio total	4160 €
Garantía	2 años

Tabla 2.8.3.2: Información de los paneles.

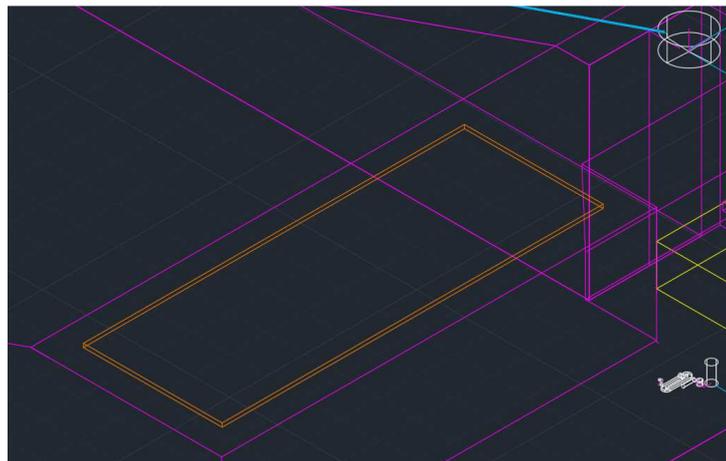


Figura 2.8.3.2: Terreno para instalación de placas solares.

(AutoCAD, 2020)

2.8.4. ETAP.

La ETAP tiene comienzo en la salida del embalse 2 y llega hasta los depósitos de las casas para almacenar agua potable, se tiene pensado un consumo de 1.6 L/día.

2.8.4.1. Conducciones.

ETAP		Accidentes	Cantidad
Di (cm)	5.25	Codos (PVC) St 90°	26
De (cm)	6.03	T liso (PVC) St 90°	2
L (m)	145	Válvula de compuerta	1

Tabla 2.8.4.1: Resultados de las conducciones de la ETAP.

2.8.4.2. Filtro de arena.

Filtro con arena de Crepinas 48''		DD (m)	1.21
Altura total (m)	1.171	Peso (kg)	119
Altura boca entrada (m)	1.171	Caudal (L/h)	[18-70]
Altura boca salida (m)	0.355	Sup. De filtrado (cm ²)	11310
DB (m)	0.102	Arena (kg)	660
Conexión	Bridas o Victaulic 4''	Máx. Presión de trabajo (atm)	8

Tabla 2.8.4.2: Características del filtro de arena.

2.8.4.3. Ozonizador.

Modelo SP Milenium 3G		Tensión (V)	100/120-220/240V AC 50/60 Hz
Referencia	COS 3	Ruido	< 60 dBA
Q ozono (g/h)	[0.3-3]	Caja	Ac. Inox. 304
Alimentación	Compresor interno (máx. 2 bar)	Módulo	Ac. Inox. 304 + cerámica
Caudal (L/min)	45	Entrada/Saldia	Ac. Inox. 316
Enfriamiento	2 ventiladores	L*A*P (mm)	520*320*250
Potencia (W)	140	Peso (kg)	11

Tabla 2.8.4.3: Características del ozonizador.

(CosemarOzono, 2020)

2.8.5. EDAR.

La EDAR corresponde desde la salida del agua residual de las viviendas hasta el depósito (3) para almacenamiento de agua tratada, el caudal con el que se va a operar es el mismo que de consumo humano, 1.6 L/s.

2.8.5.1. Conducciones.

EDAR		Accidentes	Cantidad
Di (cm)	5.25	Codos (PVC) St 90°	15
De (cm)	6.03	T liso (PVC) St 90°	3
L (m)	86	Válvula de compuerta	2

Tabla 2.8.5.1: Resultados de las conducciones de la ETAP.

2.8.5.2. Tanque de cultivo HRAP.

El tiempo de residencia del agua en el tanque de cultivo es de 1.85 días, el caudal se acumula hasta que pasado el tiempo se vacía y pasa el agua a otros equipos que componen la EDAR.

La cantidad de Spirulina aumenta a un ritmo de $9 \text{ gr/m}^2 * \text{vivienda} * \text{día}$ (Vonshak, 1998).

Componente	Cantidad inicial	Cantidad Final
Nitrógenos totales	52 ppm	10.4 ppm
Fósforos totales	4.2 ppm	0.84 ppm
Spirulina	60 gr	443.556 gr
Bicarbonato (añadido)	10^4*	-
Nitrato de sodio (añadido)	10^3*	-
Amoniaco (añadido)	51	-

Tabla 2.8.5.2.1: Composiciones de salida del tanque de cultivo.

(Lukavsky, 2000)

Si se decide añadir en un futuro estiércol de animales como se ha mencionado en el apartado anterior 2.7. *Análisis de soluciones*, para un aumento de la producción de fertilizante, se debe aumentar la concentración de amoniaco y añadir Bicarbonato y nitrato de sodio para la eliminación de otras bacterias.

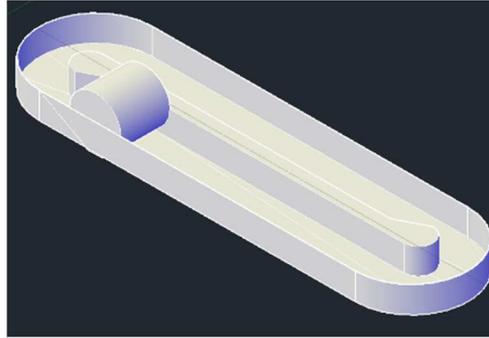


Figura 2.8.5.2.1: Boceto 3D del HRAP.

(AutoCAD, 2020)

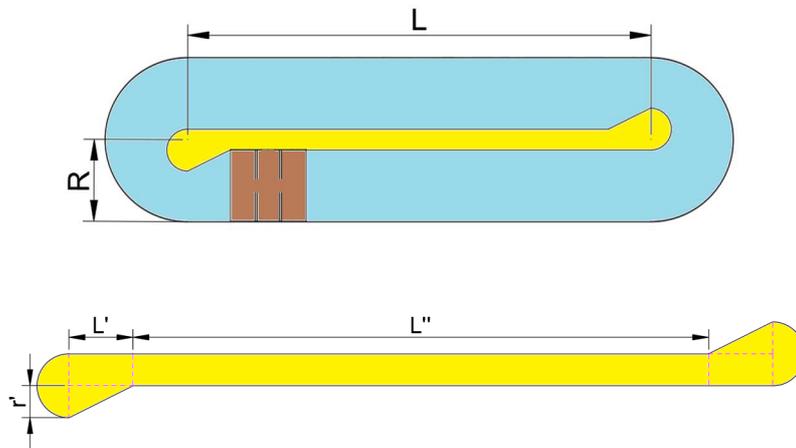


Figura 2.8.5.2.2: Geometría interior del HRAP.

(AutoCAD, 2020)

Tanque de cultivo (HRAP)		V(m³)	3
Material	Polipropileno (PP)	R (m)	0.98
Área contacto (m²)	6.66	L (m)	5.5
Tiempo residencia	1.85 días	r' (m)	0.25
Qe (m³/día)	1.6	L' (m)	0.5
Qs (m³/h)	0.64	L'' (m)	4.5

Tabla 2.8.5.2.2: Resultados del tanque de cultivo HRAP.

2.8.5.3. Intercambiador de calor.

El caudal de agua que circula por el intercambiador de calor es de 3.2 m³/día, el objetivo es vaciar el tanque de cultivo y calentar el agua en un tiempo de aproximadamente 5 horas. De este modo puede conseguirse calor solar con los colectores para reducir costes de energía en calentar el aceite.

El intercambiador encontrado a la venta por la empresa SagaFluid cumple las características del boceto, un intercambiador de doble tubo concéntricos. Y del material que se quería usar, un acero de baja aleación como puede ser un acero inoxidable AISI-316 o AISI-304, los cuales contienen sobre un 10% de cromo.

D_i^a	D_e^a	D_i^b	D_e^b
1.5 cm	1.9 cm	4.73 cm	5.13 cm
Material	U	Tubo externo	Tubo interno
Acero AISI-316	321.01 W/m ² *K	Aceite	Agua con Spirulina

Tabla 2.8.5.3: Dimensionamiento del intercambiador de calor.

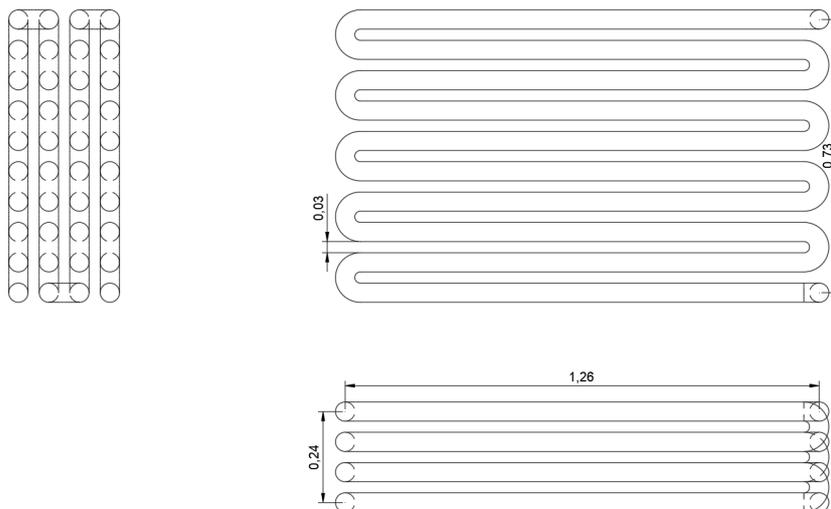


Figura 2.8.5.3: Medidas de las tuberías del IC.

(AutoCAD, 2020)

2.8.5.4. Reactor con membranas.

Reactor con membranas		Tiempo de residencia (min)	100
Material de carcasa	HDPE	V (m³)	1.075
Material de membranas	PES	H (m)	1
Enzimas	Protease 660L	D (m)	1.17
pH	[7-10]	Precio carcasa	621.69 €
T^a de operación (°C)	[50-70]	Precio módulo de membranas	760 €

Tabla 2.8.5.4: Resultados del reactor con membranas.

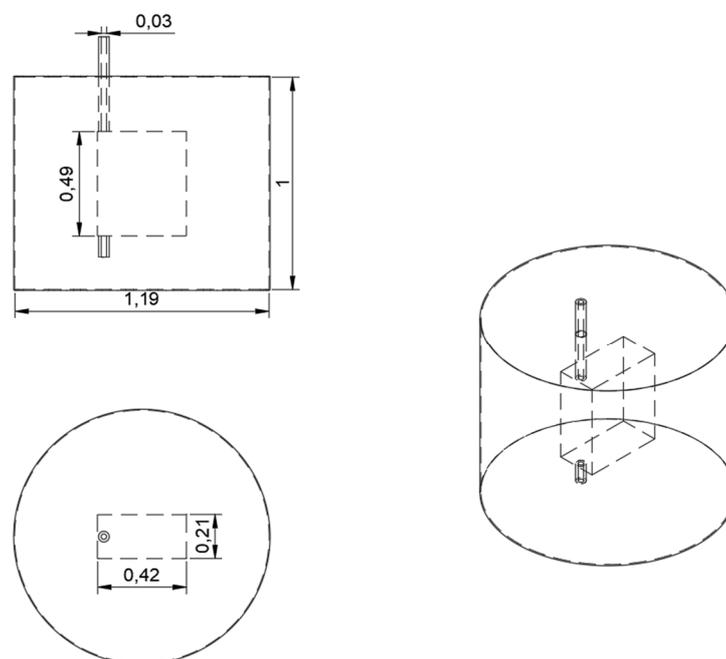


Figura 2.8.5.4: Boceto de reactor con membranas.

(AutoCAD, 2020)

2.8.6. Distribución al regadío.

Tiene 2 puntos de partida, el embalse (2) y el depósito (3), se compone de PVC hasta el inicio del campo (F1), posterior a eso, la conducción son mangueras de polipropileno agujereadas.

2.8.6.1. Conducción de PVC.

Regadío (PVC)		Accidentes	Cantidad
Di (cm)	3.51	Codos (PVC) St 90°	12
De (cm)	4.22	T liso (PVC) St 90°	1
L (m)	220.54	Válvula de compuerta	2

Tabla 2.8.6.1: Resultados de conducción PVC para regadío.

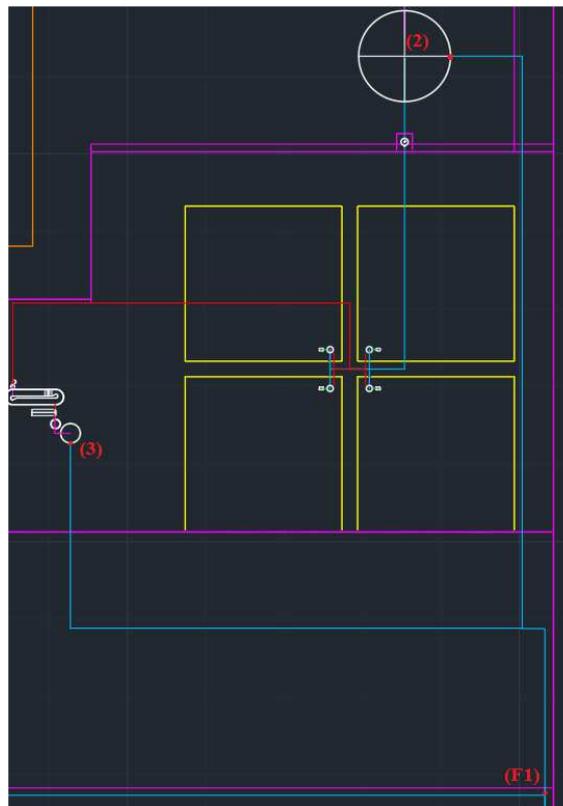


Figura 2.8.6.1: Conducciones de regadío parte 1: PVC.

(AutoCAD, 2020)

2.8.6.2. Conducción de polipropileno (mangueras).

Las conducciones de polipropileno llegan del punto (F1), hasta el final de cada recorrido de manguera. Están separadas paralelamente unas de otras a una distancia de 7.3 metros y el terreno abarca un área de 13000 m². En el extremo de cada manguera se instala un tapón para distribuir el agua por los agujeros de las mangueras.

Regadío (PP)		Accidentes	Cantidad
Di (cm)	3.51	Codos (PP) St 90°	1
De (cm)	4.22	T liso (PP) St 90°	10
L (m)	2450	Tapones	11

Tabla 2.8.6.2: Resultados de conducción PVC para regadío.

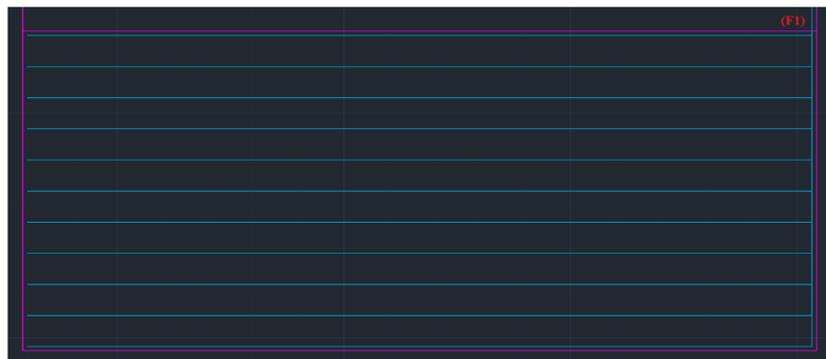


Figura 2.8.6.2: Conducciones de regadío parte 2: PP.

(AutoCAD, 2020)

El final de cada manguera de polipropileno se cierra con un tapón para mangueras o incluso se puede realizar un pliegue y cerrar el extremo mediante una brida.

2.9. Planificación del proyecto.

Con el software online GanttPro, se realiza el siguiente diagrama de Gantt para estimar el periodo de tiempo en que se va a desarrollar el proyecto y, poder realizar los cálculos de presupuesto en base a dicho tiempo.

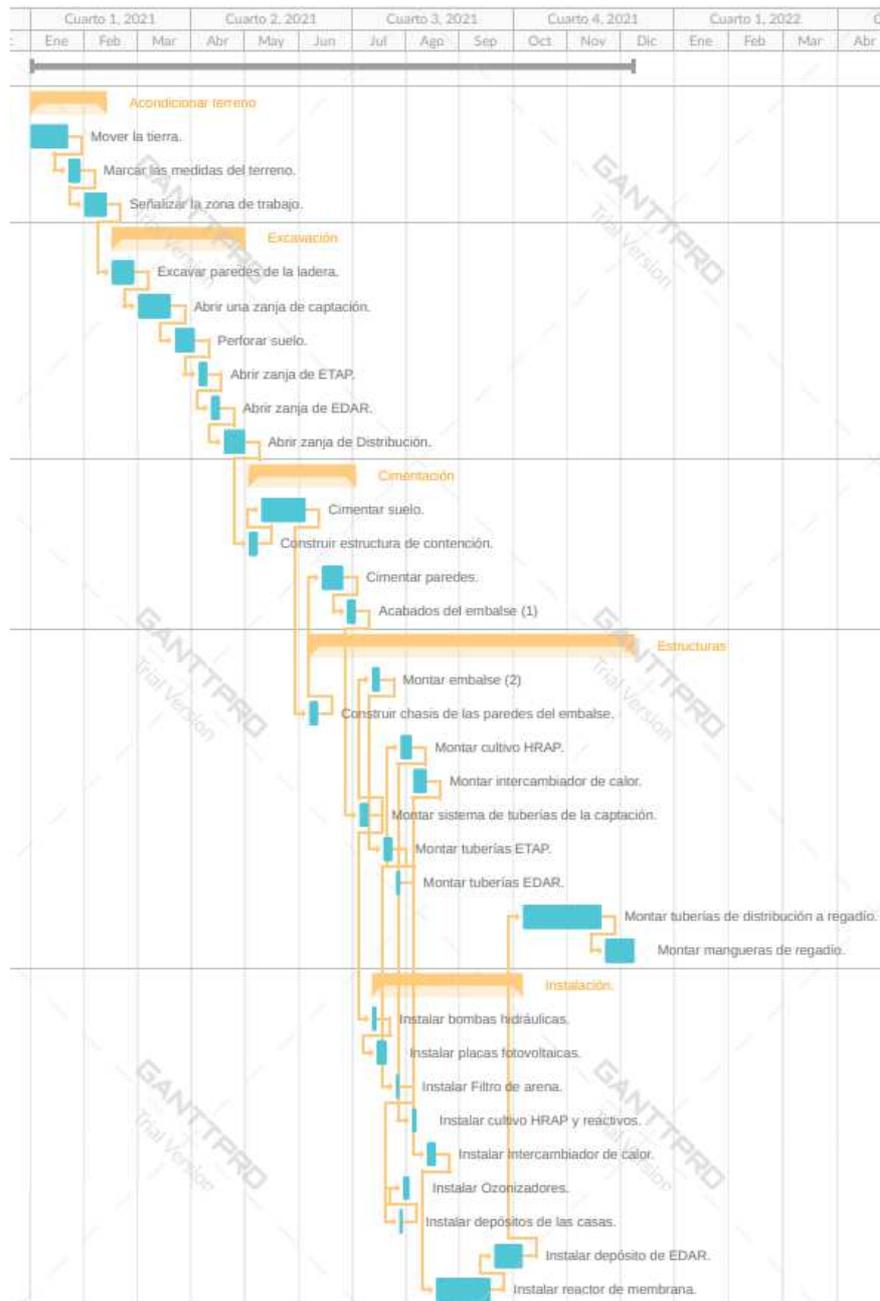


Figura 2.9.1: Visión general del diagrama de Gantt.

(GanttPro, 2020)

Para poder observar mejor el diagrama de Gantt, se opta por una vista general mostrada en la figura 2.9.1 y mostrar el diagrama por partes en las siguientes figuras:

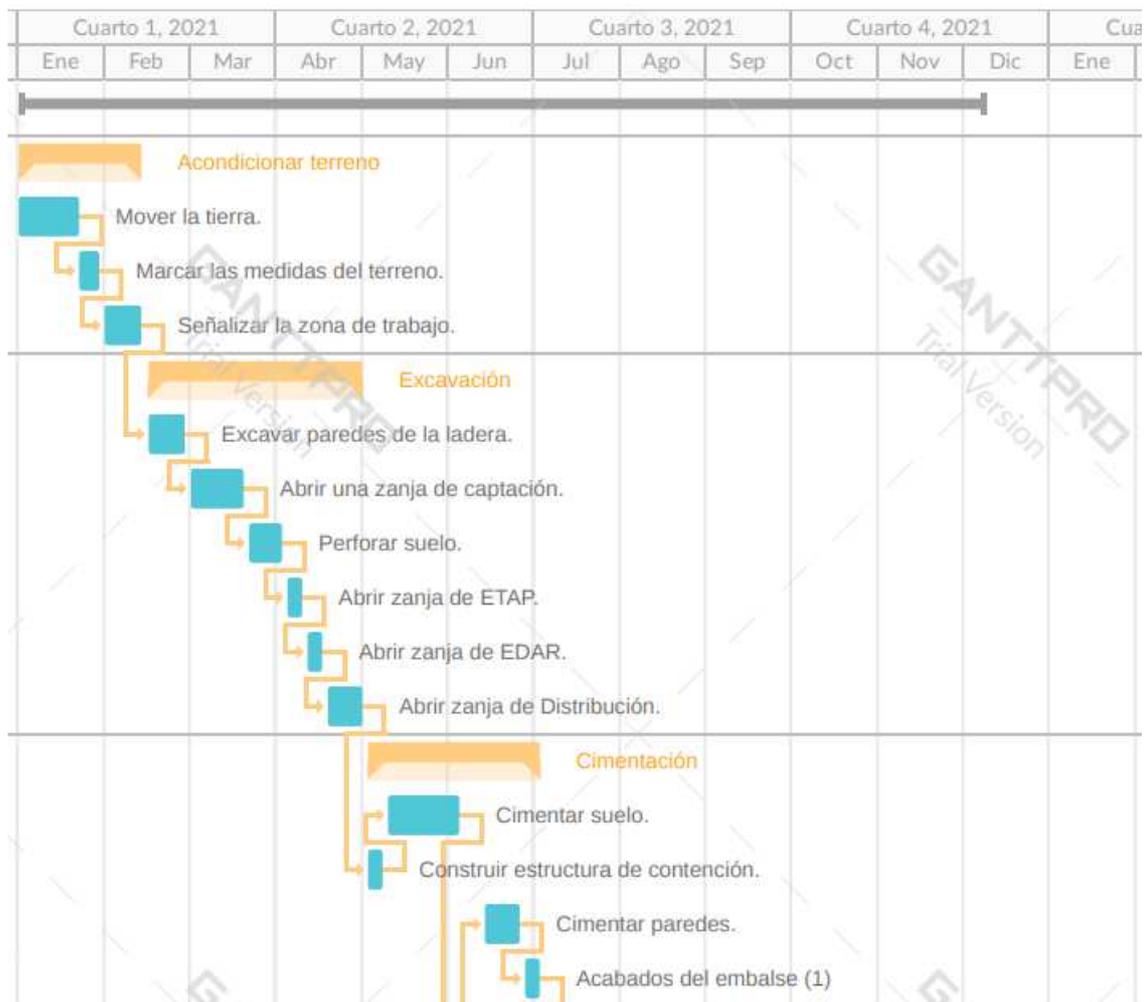


Figura 2.9.2: Diagrama de Gantt (Parte 1).

(GanttPro, 2020)

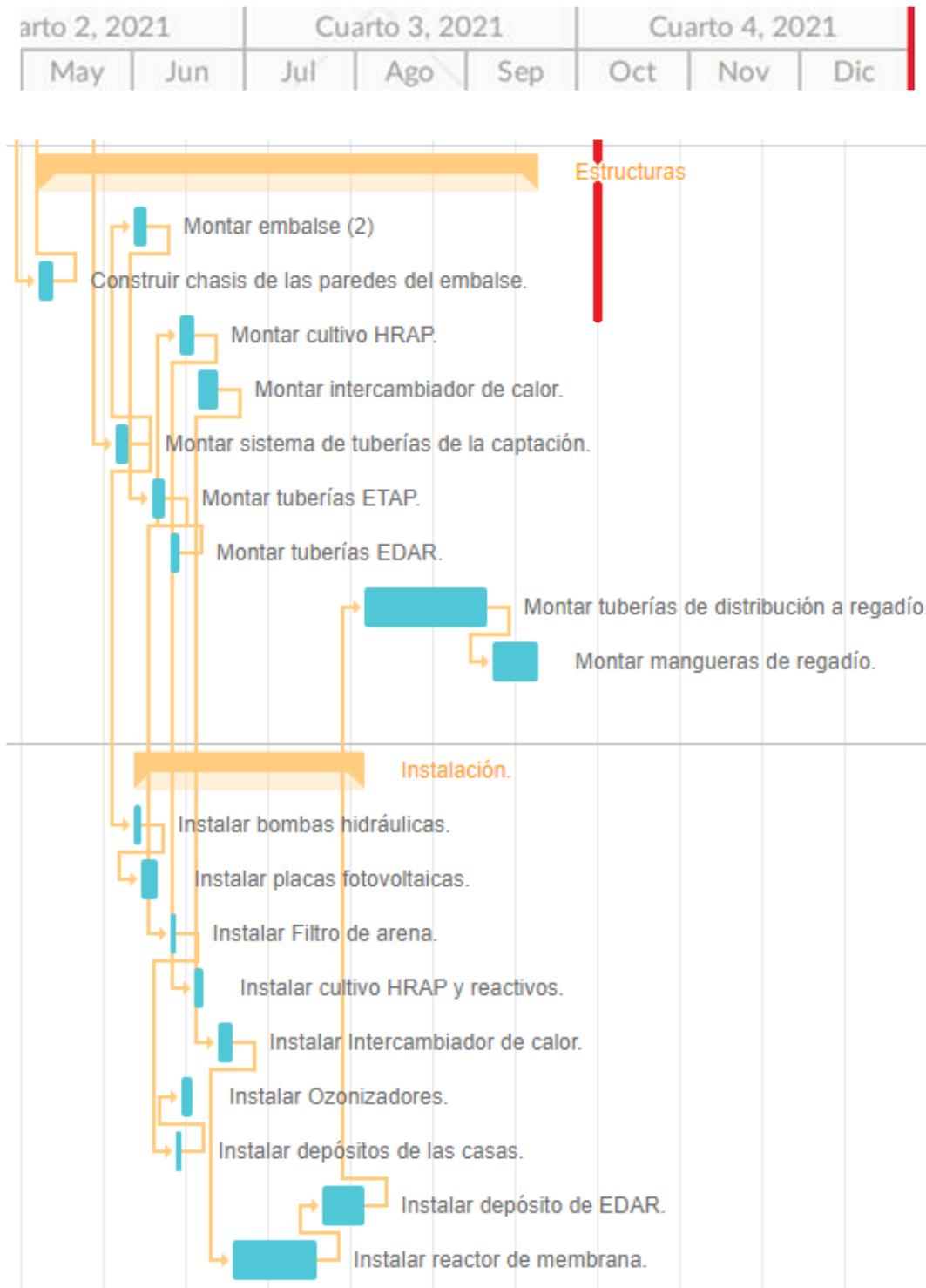


Figura 2.9.3: Diagrama de Gantt (Parte 2).

(GanttPro, 2020)

El periodo estimado para la construcción y realización del proyecto acaba siendo de 1 año.

2.10. Viabilidad económica global.

El campo del regadío del proyecto tiene un área de 13000 m² y se estima que al año se genera un ingreso de 45000 €/año.

2.10.1. Gastos fijos (GF).

Estos corresponden a los gastos al año que se realiza para mantener en buen estado los equipos, son gastos que no varían en función de la cantidad de producto.

Gastos fijos (GF)	
Mantenimiento intercambiador	450 €/año
Mantenimiento membranas	110 €/año
Mantenimiento filtro de arena	140 €/año
Coste de gastos fijos = 700 €/año	

Tabla 2.10.1: Gastos fijos del proyecto.

2.10.2. Gastos variables (GV).

Gastos variables (GV)	
Coste de Spirulina al año	230.04 €/año
Coste de solución amoniaca al año	240 €/año
Coste de proteasas al año	210 €/año
Coste eléctrico captación	67 €/año
Coste eléctrico del tanque de cultivo	1002.24 €/año
Coste eléctrico IC y ozonizador	252 €/año
Coste de gastos variables = 2001.28 €/año	

Tabla 2.10.2: Gastos variables del proyecto.

2.10.3. Cuenta de explotación.

$$\text{Gastos totales (GT)} = (\text{GF}) + (\text{GV}) = 700 + 2001.28 = 2701.28 \text{ €/año [3]}$$

$$\text{Beneficios brutos (Bb)} = \text{Ingresos} - \text{GT} = 45000 - 2701.28 = 42298.72 \text{ €/año [4]}$$

$$\text{Beneficios netos (Bn)} = \text{Bb} - \text{Impuestos} = \text{Bb} - 0.25 * \text{Bb} = 31724.04 \text{ €/año [5]}$$

Mediante el cálculo del flujo de caja (FC) y el valor actual neto (VAN), se comprueba si el proyecto es rentable al cabo de un periodo de tiempo, por ejemplo, de 15 años. Para ello primero se calcula la rentabilidad de la inversión inicial (RI). La inversión inicial ($Inv = 780910.54 \text{ €}$) se halla calculada en el apartado 7. Presupuesto.

$$RI = \frac{Bn}{Inv} = \frac{31724.04 \text{ €}}{780910.54 \text{ €}} * 100 = 4.1\% [6]$$

Con esta rentabilidad se recibe el 4.1% por cada euro que se invierte.

A continuación, se muestra el cálculo del flujo de caja (FC) y del valor actual neto (VAN) el cual es el valor presente de los flujos de caja originados en la inversión. Los precios al consumidor del producto que genere el regadío varían al cabo del tiempo, el porcentaje de esta varianza del precio al cabo del tiempo es lo que se llama índice de precio al consumidor (IPC). Se considera un índice de precios al consumidor medio (IPC) del 1.22 % para la realización de los cálculos de rentabilidad. Otro factor importante a tener en cuenta es la inflación (In), dicho de otro modo, el incremento excesivo del precio del producto el cual provoca un desequilibrio entre producción y demanda. Para la realización de los cálculos se toma un valor de inflación de ($In = 2.1 \%$).

Con el valor dado a estos dos factores, se procede al cálculo del índice de rentabilidad (ir) utilizando la ecuación [7]:

$$ir = \frac{In}{IPC} = \frac{2.1\%}{1.22\%} = 1.72\% [7]$$

Gastos	2701.28 €/año	IPC	1.22 %
Amortización inicial (A ₀)	15 años	In	2.1 %
Ingresos	45000 €/año	ir	1.72 %
Inversión inicial	780910.54 €		

Tabla 2.10.3.1: Datos de partida para el cálculo de la rentabilidad.

Dado que la tabla 2.10.3.2 es bastante extensa, se procede a explicar los cálculos en base a las columnas de la tabla.

La primera columna (Años) corresponde a cada año de funcionamiento del proyecto desde su inicio hasta el tiempo fijado para el estudio de la rentabilidad, en este caso se ha fijado el estudio de la rentabilidad en una amortización inicial de 15 años (A₀ = 15 años).

La siguiente columna (Gastos') corresponde a los gastos por el año de funcionamiento, los cuales, varían al cabo del tiempo y el índice de precio al consumidor (IPC).

$$Gastos' = Gastos_{año} = Gastos * \left(\frac{1 + IPC}{100}\right)^{año} \quad [8]$$

La amortización del proyecto correspondiente a la 3ª columna de la tabla 2.10.3.2, (Amortización), se calcula a partir de la ecuación [9]:

$$Amortización = \left(\frac{Inv}{A_0}\right) * \left(\frac{1 + IPC}{100}\right)^{año} \quad [9]$$

Las columnas de beneficio bruto (Bb) y beneficio neto (Bn) se calculan mediante las mismas ecuaciones utilizadas anteriormente, las ecuaciones [4] y [5]. Para el cálculo del flujo de caja por año de funcionamiento (FC) correspondiente a la 6ª columna, se utiliza la ecuación [10] y tiene que ser positivo para no tener pérdidas de dinero:

$$FC = Bn + \text{amortización} > 0 \quad [10]$$

Finalmente, el cálculo del valor actual neto (VAN) el cual se realiza usando los datos de la tabla 2.10.3.2 junto a la ecuación [11]:

$$VAN = -Inv + \sum_{i=\text{año}}^{15} \frac{FC_i}{(1 + ir)^i} \quad [11]$$

Años	Gastos'	Amortización	Bb	Bn	Flujo de caja
1	2.701,28 €	52.060,70 €	42.298,72 €	31.724,04 €	83.784,74 €
2	2.734,24 €	52.695,84 €	42.814,76 €	32.111,07 €	84.806,92 €
3	2.767,59 €	53.338,73 €	43.337,10 €	32.502,83 €	85.841,56 €
4	2.801,36 €	53.989,47 €	43.865,82 €	32.899,36 €	86.888,83 €
5	2.835,53 €	54.648,14 €	44.400,98 €	33.300,74 €	87.948,87 €
6	2.870,13 €	55.314,84 €	44.942,67 €	33.707,00 €	89.021,85 €
7	2.905,14 €	55.989,68 €	45.490,97 €	34.118,23 €	90.107,91 €
8	2.940,59 €	56.672,76 €	46.045,96 €	34.534,47 €	91.207,23 €
9	2.976,46 €	57.364,17 €	46.607,72 €	34.955,79 €	92.319,96 €
10	3.012,77 €	58.064,01 €	47.176,34 €	35.382,25 €	93.446,26 €
11	3.049,53 €	58.772,39 €	47.751,89 €	35.813,92 €	94.586,31 €
12	3.086,73 €	59.489,41 €	48.334,46 €	36.250,85 €	95.740,26 €
13	3.124,39 €	60.215,18 €	48.924,14 €	36.693,11 €	96.908,29 €
14	3.162,51 €	60.949,81 €	49.521,02 €	37.140,76 €	98.090,57 €
15	3.201,09 €	61.693,40 €	50.125,17 €	37.593,88 €	99.287,28 €
Flujo de caja medio (\overline{FC}) = 91332,46 €					
VAN = 421589,96 €					

Tabla 2.10.3.2: Cálculo de la rentabilidad del proyecto.

Como se puede observar en la tabla 2.10.3.2, el flujo de caja medio (\overline{FC}) cumple que es positivo ($FC > 0$), por tanto, el proyecto generará ganancias. Al realizar el cálculo del valor actual neto (VAN), también resulta ser positivo, lo que significa que el proyecto resulta ser rentable.

Una vez se ha comprobado que el proyecto genera ganancias y es rentable, se procede a calcular la tasa interna de retorno (TIR), cuyo cálculo es igualar el valor actual neto a 0 (VAN = 0) y despejar de la ecuación [11] el valor del índice de rentabilidad (ir):

$$0 = -Inv + \sum_{i=\text{año}}^{15} \frac{FC_i}{(1 + ir)^i} \quad [12]$$

Dando como resultado TIR = 7.75 % de tasa interna de retorno, este valor no es un factor de rentabilidad del proyecto como tal, sino que sirve como criterio de elección para un inversionista cuyo costo de oportunidad sea menor.

Por último, se realiza el cálculo del periodo de retorno (PR) utilizando la ecuación [13]:

$$PR = \frac{Inv}{\overline{FC}} = \frac{780910.54 \text{ €}}{91332.46 \text{ €/año}} = 8.55 \text{ años} \quad [13]$$

Concluyendo con la viabilidad económica del proyecto, el periodo de retorno indica que en un periodo de tiempo de 8 años y medio se va a recuperar la inversión inicial (Inv). Todos los datos respecto la viabilidad económica se recogen en la siguiente tabla.

Flujo de caja medio (\overline{FC})	Valor actual neto (VAN)	Tasa interna de retorno (TIR)	Periodo de retorno (PR)
91332.46 €	421589.96 €	7.75 %	8.55 años

Tabla 2.10.3.3: Resultados de la rentabilidad del proyecto.

3. Anexos.

3. Anexos.

3.A. Real decreto del agua del consumo de agua.

3.B. Características del agua natural.

3.C. Características del agua residual.

3.D. Estudio del caudal necesario.

3.E. La Spirulina.

3.F. Equipos y sus características.

3.G. Estudio del emplazamiento.

3.H. Cálculos de la captación.

3.I. Cálculos de la ETAP.

3.J. Cálculos de la EDAR.

ANEXO A: REAL DECRETO DEL CONSUMO DE AGUA.

En este anexo se recogen los artículos y apartados más relevantes del real decreto de agua destinada al consumo humano, para la realización de este proyecto (*BOE.Es - Documento Consolidado BOE-A-2003-3596, 2003*).

Artículo 3. Ámbito de aplicación.

2. Quedan excluidas del ámbito de aplicación de este Real Decreto:

d) Todas aquellas aguas destinadas exclusivamente a usos para los cuales conste a la autoridad sanitaria que la calidad de aquéllas no afecte, directa ni indirectamente, a la salud de los consumidores que las usan.

e) Todas aquellas aguas de la industria alimentaria que conste a la autoridad sanitaria que la calidad de aquéllas no afecta a la salubridad del producto alimenticio.

f) Todas aquellas aguas de consumo humano procedentes de un abastecimiento individual y domiciliario o fuente natural que suministre como media menos de 10 m³ diarios de agua, o que abastezca a menos de cincuenta personas, excepto cuando se perciba un riesgo potencial para la salud de las personas derivado de la calidad del agua, en cuyo caso la autoridad sanitaria requerirá a la administración local que adopte, para estos abastecimientos, las medidas necesarias para el cumplimiento de lo dispuesto en este real decreto. En relación a los riesgos derivados de la presencia de sustancias radiactivas en el agua de consumo, la autoridad sanitaria:

1.º) Informará a la población afectada de dicha exclusión y de cualquier medida tomada para proteger la salud humana de los efectos adversos derivados de la presencia de sustancias radiactivas en el agua destinada al consumo humano.

2.º) Cuando perciba un riesgo potencial para la salud humana derivado de la presencia de sustancias radiactivas, proporcionará sin demora a la población afectada las recomendaciones apropiadas.

Artículo 5. Criterios de calidad del agua de consumo humano.

El agua de consumo humano deberá ser salubre y limpia. A efectos de este Real Decreto, un agua de consumo humano será salubre y limpia cuando no contenga ningún tipo de microorganismo, parásito o sustancia, en una cantidad o concentración que pueda suponer un riesgo para la salud humana.

Artículo 6. Punto de cumplimiento de los criterios de calidad del agua de consumo humano.

El agua de consumo humano que se pone a disposición del consumidor deberá cumplir los requisitos de calidad señalados en esta disposición, en los siguientes puntos:

- a) El punto en el cual surge de los grifos que son utilizados habitualmente para el consumo humano, para las aguas suministradas a través de una red de distribución, dentro de los locales, establecimientos públicos o privados y domicilios particulares.
- b) El punto en que se pone a disposición del consumidor, para las aguas suministradas a partir de una cisterna, de depósitos móviles públicos y privados.
- c) El punto en que son utilizadas en la empresa, para las aguas utilizadas en la industria alimentaria.

Artículo 7. Captación del agua para el consumo humano.

1. Sin perjuicio de lo que disponga la autoridad sanitaria en cada caso, el agua destinada a la producción de agua de consumo humano podrá proceder de cualquier origen, siempre que no entrañe un riesgo para la salud de la población abastecida. La dotación de agua deberá ser suficiente para las necesidades higiénico-sanitarias de la población y el desarrollo de la actividad de la zona de abastecimiento, como objetivo mínimo debería tener 100 litros por habitante y día.

2. Los organismos de cuenca y las Administraciones hidráulicas de las Comunidades autónomas facilitarán periódicamente a la autoridad sanitaria y al gestor los resultados analíticos del agua destinada a la producción de agua de consumo humano. Todo proyecto de nueva captación deberá contar con un informe sobre las características más relevantes que pudieran influir en la calidad del agua del área de captación, además de lo previsto en el artículo 13. La calidad del agua de la captación deberá ser tal que pueda ser potabilizada con los tratamientos de potabilización previstos en el abastecimiento.

4. La entidad pública o privada responsable de la construcción de la captación deberá instalar las medidas de protección adecuadas y señalar de forma visible para su identificación como punto de captación de agua destinada al abastecimiento de la población, según establezca la autoridad sanitaria, con el fin de evitar la contaminación y degradación de la calidad del agua. El gestor de la captación mantendrá las medidas de protección propias de su competencia sin perjuicio de las competencias del organismo de cuenca y las Administraciones hidráulicas de las comunidades autónomas.

Artículo 8. Conducción del agua.

1. Antes de su puesta en funcionamiento, se realizará un lavado y/o desinfección de las tuberías. El material de construcción, revestimiento, soldaduras y accesorios no transmitirán al agua sustancias o propiedades que contaminen o empeoren la calidad del agua procedente de la captación.
2. En el caso que la conducción fuera abierta, el gestor de la misma deberá proceder a su cerramiento siempre que la autoridad sanitaria considere que existe un riesgo para la salud de la población.

Artículo 10. Tratamiento de potabilización del agua de consumo humano.

1. Cuando la calidad del agua captada tenga una turbidez mayor de 1 unidad Nefelométrica de Formacina (UNF) como media anual, deberá someterse como mínimo a una filtración por arena, u otro medio apropiado, a criterio de la autoridad sanitaria, antes de desinfectarla y distribuirla a la población. Asimismo, cuando exista un riesgo para la salud, aunque los valores medios anuales de turbidez sean inferiores a 1 UNF, la autoridad sanitaria podrá requerir, en función de la valoración del riesgo existente, la instalación de una filtración previa.
2. Las aguas de consumo humano distribuidas al consumidor por redes de distribución públicas o privadas, cisternas o depósitos deberán ser desinfectadas. En estos casos, los subproductos derivados de la desinfección deberán tener los niveles más bajos posibles, sin comprometer en ningún momento la eficacia de la desinfección. Cuando no haya riesgo de contaminación o crecimiento microbiano a lo largo de toda la red de distribución hasta el

grifo del consumidor, el gestor podrá solicitar a la autoridad sanitaria, la exención de contener desinfectante residual.

3. Los procesos de tratamiento de potabilización no transmitirán al agua sustancias o propiedades que contaminen o degraden su calidad y supongan el incumplimiento de los requisitos especificados en el Anexo H y un riesgo para la salud de la población abastecida, ni deberán producir directa o indirectamente la contaminación ni el deterioro del agua superficial o subterránea destinada a la producción del agua de consumo humano.

4. Los aparatos de tratamiento de agua en edificios no deberán transmitir al agua sustancias, gérmenes o propiedades indeseables o perjudiciales para la salud.

5. Los fabricantes de aparatos de tratamiento de agua en instalaciones interiores deberán cumplir con:

a) El Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación en particular, con lo señalado en la Sección HS4. Suministro de agua, si los aparatos de tratamiento de agua se instalan en la entrada de los edificios.

b) La norma UNE 149101. Criterios básicos de aptitud de equipos utilizados en el tratamiento del agua de consumo humano en el interior de edificios, u otra norma o estándar análogo que garantice un nivel de protección de la salud, al menos, equivalente, si los aparatos de tratamiento de agua se instalan en los grifos.

6. Los responsables de las instalaciones donde se instalen los aparatos de tratamiento de agua en la entrada de la instalación o los responsables de las instalaciones públicas o con actividad comercial que instalen estos aparatos en los grifos, deberán estar en posesión de la documentación del fabricante conforme señalan los apartados 5.a) y b).

Artículo 11. Depósitos y cisternas para el agua de consumo humano.

1. Los depósitos públicos o privados, fijos o móviles, de la red de abastecimiento, de distribución o de instalaciones interiores y cisternas para agua de consumo humano deberán cumplir con lo dispuesto en el artículo 14. Todo depósito de una instalación interior deberá situarse por encima del nivel del alcantarillado, estando siempre tapado y dotado de un desagüe que permita su vaciado total, limpieza y desinfección.
2. La entidad pública o privada responsable de la construcción del depósito deberá instalar las medidas de protección y señalar de forma visible, para su identificación como punto de almacenamiento de agua para el abastecimiento, con el fin de que no se contamine o empeore la calidad del agua almacenada. El gestor mantendrá estas medidas de protección.
3. Cuando en un abastecimiento deba recurrirse al uso de cisternas o depósitos móviles, éstos serán sólo para el transporte de agua y tendrán claramente señalado y suficientemente visible la indicación «para transporte de agua de consumo humano», acompañado del símbolo de un grifo blanco sobre fondo azul. El gestor de la cisterna o depósito móvil solicitará la autorización administrativa correspondiente para darse de alta en esta actividad. En cada suministro de este tipo, el gestor deberá contar con el informe vinculante de la autoridad sanitaria.
4. El gestor de los depósitos públicos o privados de la red de abastecimiento o la red de distribución, cisternas, y el propietario de los depósitos de instalaciones interiores, vigilará de forma regular la situación de la estructura, elementos de cierre, valvulería, canalizaciones e instalación en general, realizando de forma periódica la limpieza de los mismos, con productos que cumplan lo señalado en el artículo 9. La limpieza deberá tener una función de desincrustación y desinfección, seguida de un aclarado con agua.

Artículo 12. Distribución del agua de consumo humano.

1. Las redes de distribución pública o privada serán en la medida de lo posible de diseño mallado, eliminando puntos y situaciones que faciliten la contaminación o el deterioro del agua distribuida. Dispondrán de mecanismos adecuados que permitan su cierre por sectores, con objeto de poder aislar áreas ante situaciones anómalas, y de sistemas que permitan las purgas por sectores para proteger a la población de posibles riesgos para la salud.
2. Antes de su puesta en funcionamiento y después de cualquier actividad de mantenimiento o reparación que pueda suponer un riesgo de contaminación del agua de consumo humano, se realizará un lavado y/o desinfección del tramo afectado de tuberías con sustancias que señala el artículo 9, y los productos de construcción de éstas deberán cumplir con lo dispuesto en el artículo 14.
3. Las características y funcionamiento de la instalación interior no deberán contaminar o empeorar la calidad del agua de consumo humano con gérmenes o sustancias que puedan suponer un riesgo para la salud de los consumidores.

ANEXO B: CARACTERÍSTICAS DEL AGUA NATURAL.

A continuación, se explicarán las principales sustancias que se podrían encontrar en el agua natural que se va a captar.

B.1.Materia inorgánica

El agua natural, al pasar por diferentes minerales y rocas, los cuales, también son cristales formados por elementos de la tabla periódica. Estos minerales, pueden reaccionar con el agua directa o indirectamente y disolver en ellas iones o moléculas inorgánicas.

Los iones disueltos pueden ser o no perjudiciales para nuestra salud como para el cultivo, por tanto, es bueno tener control sobre las características de estos haciendo un análisis general de lo que vamos a encontrar en las aguas naturales del Maestrazgo sur.

B.1.1. Principales especies iónicas naturales en el agua.

Pueden ser iones positivos (cationes) como iones negativos (aniones) los que estén presentes de manera natural en el agua, en la siguiente tabla se muestran los más abundantes:

Cationes	Fórmula Empírica	Aniones	Fórmula
Calcio	Ca^{+2}	Bicarbonato	HCO_3^-
Magnesio	Mg^{+2}	Carbonato	CO_3^{-2}
Potasio	K^+	Cloruros	Cl^-
Sodio	Na^+	Nitratos	NO_3^-
-	-	Sulfatos	SO_4^{-2}

Tabla B.1: Iones abundantes en aguas naturales.

(Eliseo Monfort Gimeno, 2013)

Del mismo modo que existen de manera general y abundante en el agua, también existe la posibilidad de encontrarse iones inorgánicos en menores cantidades ya sea por la geología que por el ciclo de vida de algas y bacterias.

Cationes	Fórmula	Aniones	Fórmula
Aluminio	Al^{+3}	Bisulfato	HSO_4^-
Amonio	NH_4^+	Bisulfito	HSO_3^-
Arsénico	$As^{+3/+5}$	Fluoruro	F^-
Bario	Ba^{+2}	Borato	BO_4^{-3}
Cobre	Cu^{+2}	Fosfato, mono	$H_2PO_4^-$
Hierro, ferroso	Fe^{+2}	Fosfato, di	HPO_4^{-2}
Hierro, férrico	Fe^{+3}	Fosfato, tri	PO_4^{-3}
Manganeso	Mn^{+2}	Sulfuro	S^{-2}
-	-	Sulfito	SO_3^{-2}

Tabla B.2: Iones minoritarias en aguas naturales.

(Eliseo Monfort Gimeno, 2013)

No solo hay que contar con las especies iónicas presentes en el agua de manera natural, sino que también se debe tener en cuenta las actividades humanas cuyos residuos, productos o derivados afectan a la aparición de otras especies de manera artificial.

Cationes	Fórmula	Aniones	Fórmula
Arsénico	$As^{+3/+5}$	Cianuro	CN^{-}
Bario	Ba^{+2}	Cromato	CrO_4^{-}
Cadmio	Cd^{+2}	Dicromato	$Cr_2O_7^{-2}$
Cromo	$Cr^{+3/+6}$	-	-
Plomo	Pb^{+2}	-	-
Mercurio	Hg^{+2}	-	-
Selenio	Se^{+2}	-	-
Plata	Ag^{+}	-	-
Zinc	Zn^{+2}	-	-

Tabla B.3: Iones por actividades humanas en aguas naturales.

(Eliseo Monfort Gimeno, 2013)

B.1.2. Geología del lugar.

En la composición geológica y mineral del Maestrazgo sur, donde se realiza el proyecto, se puede encontrar areniscas, margas, calizas y en menor cantidad menas de carbón.

(Geoparque del Maestrazgo, 2020)

B.1.2.1. Areniscas.

Son rocas compuestas por Mica, cuarzo y feldespatos, según el contenido en óxidos de hierro, tendrá un color más rojizo cuanto más concentración haya o blanco cuanto menos. Es un mineral estable química mente y resistente a la abrasión. Em algunas ocasiones pueden contener pequeñas concentraciones de carbonato cálcico el cual reaccionaría con el agua obteniendo poros en la arenisca.



Figura B.1: Arenisca rojiza (Alto contenido en óxido de hierro)

(Rocasyminerales.Net, 2020)



Figura B.3: Arenisca Blanca (Bajo contenido en óxido de hierro)

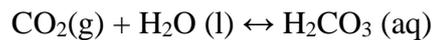
(Rocasyminerales.Net, 2020)

B.1.2.2. Calizas.

Las calizas son rocas sedimentarias constituidas mayoritariamente por carbonato de calcio y su presencia eleva la dureza del agua como pasa en el litoral Mediterráneo.

El agua natural tiene CO₂ disuelto debido a la actividad bacteriana y las algas presentes, el CO₂ disuelto y la presencia del ion carbonato produce ciertos cambios en el pH del agua, que por insignificante que sea la variación, afecta químicamente a las calizas. Las reacciones presentes en el agua son las siguientes:

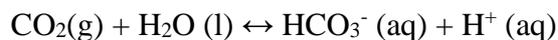
El dióxido de carbono se disuelve en el agua y puede reaccionar dando ácido carbónico.



El Ac. Carbónico se disocia en bicarbonato y protones de hidrogeno.



El mecanismo general de reacción sería la siguiente:



Por otro lado, las calizas, al entrar en contacto con el agua se produce un lavado donde se disuelve en el agua el carbonato calcico dando lugar a iones de calcio y carbonato en el seno del agua. Los iones de carbonato suelen hidrolizar el agua produciendo OH⁻, una base moderadamente fuerte.



Los iones de hidrogeno e hidróxido pueden reaccionar para formar moléculas de agua.



En la siguiente figura se muestra las reacciones del agua en las calizas de manera esquemática.

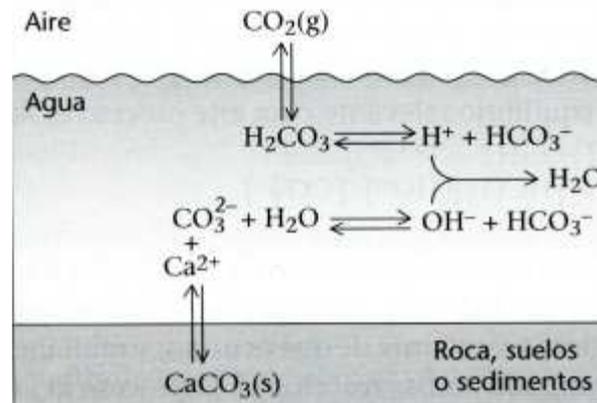


Figura B.4: Esquema de reacciones en el agua junto al carbonato cálcico.

(Universidad de Granada, 2020)

B.1.2.3. Margas.

Las Margas son un tipo de roca clástica, las rocas clásticas son sedimentarias y se forman por diferentes fenómenos sedimentarios. Están formadas por arcillas y carbonatos. Entre su composición se diferencian compuestos carbonosos, mica, cuarzo, yeso, pirita y calcita.

Debido a que contiene carbonatos, al entrar en contacto con el agua, éstos se disolverán dando lugar a reacciones y agua con alta dureza con pH ligeramente alterado.



Figura B.5: Roca clástica del tipo marga.

(Rocasyminerales.Net, 2020)

La actividad antropomórfica por excelencia en el Maestrazgo es la ganadería, sobre todo en el sector porcino. En varios estudios se ha demostrado que el pienso de la alimentación de los porcinos contiene alrededor de 3.9 a 6.0 mg cobre/kg pienso y de 18.5 a 47.9 mg zinc/kg de pienso ya que estimula el crecimiento del animal. Lamentablemente, no se absorbe del todo y alrededor de un 13% se excreta. Las granjas usan agua para limpiar los suelos y estas aguas se filtran por la tierra pudiendo desembocar en ríos o torrentes como ocurre en Río Lerma, Méjico.

(Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2019)

B.3. Alcalinidad.

La alcalinidad del agua es, contrariamente a la acidez, la capacidad de neutralizar un ácido. Suele ser alcalina debido a la presencia de los iones de carbonatos, bicarbonatos e hidróxido (OH⁻). La alcalinidad es definida en cantidades molares:

$$A(\text{mol/L}) = [\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-]$$

(Eliseo Monfort Gimeno, 2013)

B.4. Conductividad.

La capacidad que tiene un agua de conducir electrones a través de los iones presentes en ella.

Un agua desionizada tendría una conductividad muy cercana a 0, cuanto más conductora sea, más iones contendrá (*Eliseo Monfort Gimeno, 2013*).

B.5. Nutrientes en el agua.

Para que un compuesto sea perjudicial no tiene por qué afectar negativamente a la salud, puede ser beneficioso hasta tal punto que se llegue a un nivel de saturación y comience a ser perjudicial.

B.5.1. Nitrógeno.

Tanto el nitrógeno elemental [N₂] como nitrógeno presente en otras moléculas pertenecen al ciclo de vida de este elemento. Las bacterias juegan un importante papel en dicho ciclo ya que pueden realizar transformaciones de sustancias con nitrógeno para descomponer proteínas. Un ejemplo de esta actividad bacteriana sería la transformación de las proteínas en urea [CO(NH₂)₂] en [NH₃].

B.5.2. Fósforo.

Sustancias compuestas por el fósforo son usadas en los sistemas para la distribución de agua, algas y demás seres vivos acuáticos son capaces de usar el fósforo para el crecimiento. Si existen grandes concentraciones de fósforo, esto podría ocasionar problemas en relación con un crecimiento sin control de la población de algas.

Los compuestos que más de han de tener en cuenta para el control de la calidad del agua son los siguientes:

ORTOFOSFATOS		POLIFOSFATOS	
Nombre	Fórmula	Nombre	Fórmula
Trifosfato sódico	Na_3PO_4	Hexametafosfato de sodio	$\text{Na}(\text{PO}_3)_6$
Difosfato sódico	Na_2HPO_4	Tripolifosfato de sodio	$\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$
Monofosfato sódico	NaH_2PO_4	Pirofosfato de tetrasodio	$\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$
Difosfato de amónico	$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	Fósforo orgánico	P

Tabla B.4: Compuestos químicos que contienen fósforo.

(Eliseo Monfort Gimeno, 2013)

B.6. Microbiología en el agua.

Si redujéramos nuestro tamaño a micras, nos daríamos cuenta a simple vista que en el agua existe todo un ecosistema microbiológico donde conviven distintas especies de seres vivos unicelulares, cada uno obtiene sus nutrientes de diferentes formas, pero los más interesantes en el tratamiento de aguas son las bacterias y las algas.

B.6.1. Bacterias.

Las bacterias son organismos unicelulares, puedes clasificarse según la forma del cuerpo proteico que las componen: pueden ser coccus (los cuales tienen forma esférica), bacillus (tienen forma cilíndrica) o spirillum (tienen forma de espiral).

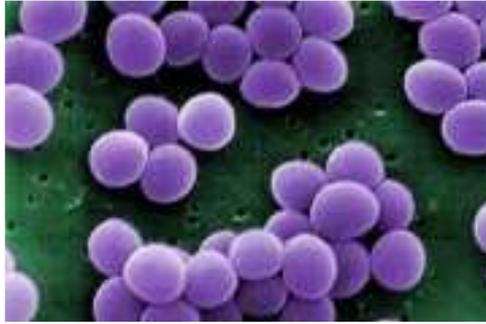


Figura B.7: Bacteria coccus.

(A. Barba, 2020)



Figura B.8: Bacteria bacillus.

(A. Barba, 2020)



Figura B.9: Bacteria spirillum.

(A. Barba, 2020)

Algunas bacterias no afectan al cuerpo humano, como por ejemplo las que se encuentran en nuestros intestinos y están en simbiosis con nosotros. Estas bacterias tienen un medio donde reproducirse de manera controlada y a cambio nosotros recibimos nutrientes que no podemos adquirir de los alimentos. Otras son nocivas para nosotros cuando la población aumenta hasta el límite que podemos tolerar, un ejemplo sería el helicobacter pylori (H.pylori), una bacteria del tipo bacillus con flagelos las cuales se alojan en nuestra pared estomacal y por medio de su metabolismo, suelta moléculas de amoníaco neutralizando el ácido clorhídrico del estómago. Como consecuencia la bacteria tiene un medio neutro donde reproducirse sin problemas y alrededor la mucosa protectora está débil, provocando úlceras en el órgano.

B.6.2. Algas.

Las algas tienen relación directa con la concentración de O_2 y CO_2 disueltos en el agua, al realizar la fotosíntesis durante el día y gracias al pigmento de la clorofila, pueden adquirir el carbono del CO_2 para realizar su metabolismo. En cambio, cuando hay ausencia de la luz solar, no pueden realizar la fotosíntesis y consumen oxígeno soltando CO_2 , estas variaciones provocan reacciones químicas en el agua en contacto con las calizas anteriormente mencionadas.

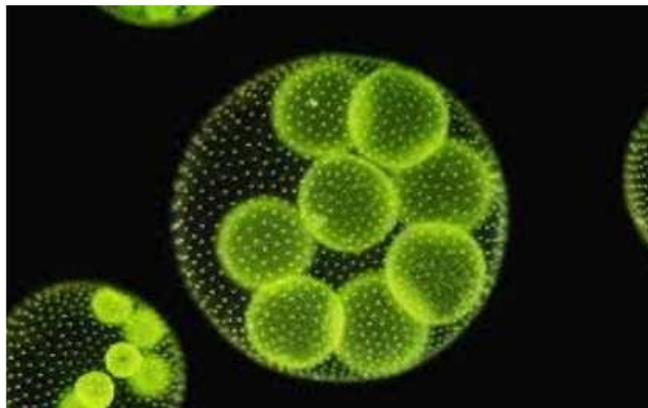


Figura B.10: alga marina presente en el agua.

(A. Barba, 2020)

ANEXO C: CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL.

Se considera agua residual a aquellas que han sido usadas con una finalidad consuntiva, añadiendo a ellas sustancias que perjudican la calidad original contaminándolas y disminuyendo su potencialidad de uso. El agua residual que trata la etapa EDAR, es un agua residual doméstica proveniente de 16 personas.

Las aguas residuales más comunes son: las aguas de lluvias, las aguas residuales industriales y las aguas residuales domésticas o aguas servidas.

Las aguas residuales domésticas de origen principalmente residencial (desechos humanos, baños, cocina) y otros usos son recolectadas por un sistema de alcantarillado en conjunto con otras actividades. El contenido de sólidos en esta agua es inferior al 1 %. El caudal y composición es variable según la zona, pero ciertos parámetros pueden ser tipificados siendo los más característicos.

Las características del agua residual son los parámetros más importantes a la hora del diseño de su tratamiento, así como para la obtención de una gestión ambiental de calidad.

C.1. Características físicas

Temperatura

La temperatura de las aguas residuales suele ser más elevada que las aguas sin contaminantes, esto se debe a las numerosas reacciones bioquímicas que tienen lugar en el seno del agua, las cuales, son capaces de liberar energía en la degradación de materia orgánica.

Turbidez

La turbidez es un parámetro que viene dado por la transmisión de la luz a través del agua, es uno de los ensayos para indicar la calidad del agua con respecto a la materia en suspensión.

Color

Es un indicativo de la edad de las aguas. El agua residual reciente suele ser de color grisáceo, en cambio, a medida que se descomponen sustancias orgánicas debido a bacterias, el oxígeno disuelto en el agua se reduce y el color gris pasa a ennegrecerse. En esta condición, se dice que el agua es séptica.

Olor

Los gases producidos en la descomposición de la materia orgánica producen olores en el agua, influye mucho la presencia de ácido sulfhídrico y otras sustancias volátiles. Si es reciente, el olor es peculiar y desagradable, aun así, sigue siendo más tolerable que el del agua séptica.

Sólidos totales

Los sólidos son clasificados según tamaño o presentación en sólidos suspendidos y filtrables.

- a) Sólidos suspendidos: Partículas flotantes perceptibles a simple vista y con posibilidad de ser retiradas mediante operaciones unitarias físicas sencillas. Dentro de estos sólidos pueden ser sedimentables los cuales son una medida de cantidad de fango a eliminar.
- b) Sólidos filtrables: Se compone de sólidos coloidales y disueltos. La fracción coloidal no puede eliminarse por sedimentación, los disueltos se componen de moléculas orgánicas, inorgánicas e iones disueltos en el agua.

C.2.Características químicas

Materia orgánica

La materia orgánica está compuesta en un 90% de carbohidratos, proteínas, lípidos y aceites de excrementos y orina de seres humanos, restos de alimentos, detergentes, etc. Estos son biodegradables y pueden ser transformados en compuestos más sencillos por acción de microorganismos naturales presentes en el agua, el desarrollo y proliferación de estos microorganismos se ve favorecido por la temperatura y nutrientes de las aguas residuales domésticas. La urea, principal sustancia presente en la orina, es otro importante compuesto orgánico del agua. En razón de la rapidez con que este se descompone, la urea es raramente hallada en aguas residuales que no sean recientes. El agua residual también se compone de moléculas orgánicas sintéticas como, por ejemplo: agentes tensoactivos, fenoles y pesticidas usados en la agricultura.

Materia inorgánica

En este grupo se incluye sólidos de origen mineral como sales, arcillas, arenas, gravas no biodegradables. En la siguiente tabla se muestra la relación de algunos componentes inorgánicos y el agua residual.

Hidrógeno (pH)	En general, el pH óptimo para el crecimiento de microorganismos es ente 6.5 y 7.5.
Cloruros	Proceden de la disolución de rocas y suelos que los contienen, agua residual doméstica, aguas saladas, etc.
Nitrógeno	Nutriente esencial para el desarrollo de protistas y plantas, básico para la síntesis de proteínas.
Fósforo	Incrementa la proliferación de algas y está íntimamente ligado al problema de eutrofización.
Azufre	Requerido para síntesis de proteínas y liberado en su degradación.

Tabla C.1: Materia inorgánica presente en aguas residuales.

Gases

Existen gases disueltos en diferente concentración:

Oxígeno: El más importante ya que es consumido en la actividad química y biológica.

Ácido sulfhídrico: Formado en la descomposición de materia orgánica que contiene azufre o por reducción de sulfitos y sulfatos minerales.

Anhídrido carbónico: Producido en la fermentación de compuestos de aguas negras.

Metano: Formado por descomposición anaerobia de materia orgánica por reducción bacteriana del CO₂.

C.3.Características biológicas

Están definidas por el tipo de microorganismos presentes en el agua, pueden ser bacterias o algas.

Bacterias

Juegan un papel fundamental en la descomposición y estabilización de materia orgánica. Según su metabolismo, pueden dividirse en heterótrofos y autótrofos. Los autótrofos son los que se nutren de sustancias de origen inorgánico y consumen energía para la biosíntesis a partir de la luz o de ciertas reacciones. Las bacterias heterótrofas sintetizan sus propias biomoléculas a partir de compuestos orgánicos carbonados complejos, aunque pueden captar elementos inorgánicos diferentes al carbono.

Bacterias coliformes: Están normalmente situadas en el tracto intestinal de los seres humanos y otros animales. Las bacterias coliformes incluyen los géneros E.Coli y Aerobacter.

Algas

Requieren compuestos inorgánicos para reproducirse. A parte del anhídrido carbónico, los principales nutrientes necesarios son el nitrógeno y el fósforo. También son muy importantes los oligoelementos como hierro, cobre, etc. Las algas pueden crear grandes colonias flotantes.

Dado que debe existir un diseño de EDAR para poder procesar el agua residual antes de darle un segundo uso, se toman en cuenta los valores típicos de las siguientes características de las aguas domésticas.

Componente	Intervalo de concentraciones		
	Alta	Media	Baja
Materia sólida mg/L	1200	720	350
Disuelta total	850	500	250
Inorgánica	525	300	145
Orgánica	325	200	105
En suspensión	350	220	100
Inorgánica	75	55	20
Orgánica	275	165	80
Sólidos decantables mL/L	20	10	5
DBO ₅ a 20°C mg/L	400	220	110
Carbono orgánico total mg/L	290	160	80
DQO mg/L	1000	500	250
Nitrógeno total mg/L	85	40	20
Orgánico	35	15	8
Amoniaco	50	25	12
Nitritos	0	0	0
Nitratos	0	0	0

Tabla C.2: Composición general de las aguas residuales domésticas.

Componente	Intervalo de concentraciones		
	Alto	Medio	Bajo
Fósforo total mg/L	15	8	4
Orgánico	5	3	1
Inorgánico	10	5	3
Cloruros	100	50	30
Alcalinidad mg/L	200	100	50
Grasa mg/L	150	100	50

Tabla C.2: Composición general de las aguas residuales domésticas.

ANEXO D: ESTUDIO DEL CAUDAL NECESARIO.

Caudal de captación 1.

El agua utilizada proviene de una zona natural a pocos metros del embalse 1, posterior a este embalse, el agua se eleva hacia lo alto de la ladera almacenándose en el embalse 2 el cual se utiliza para riego. Por tanto, el caudal de captación para el embalse 1 debe ser mayor al de elevación para que exista una acumulación, luego este caudal puede pasar a igualarse con el de elevación para mantener el nivel de agua.

Necesidad de acumulación:

$$Q_{embalse1} = 2 * Q_{elevación} \quad [14]$$

Mantener el nivel:

$$Q_{embalse1} = Q_{elevación} \quad [15]$$

Caudal de captación para la elevación.

Para el cálculo de este caudal, se deben suplir las necesidades del campo de riego y de consumo humano. De modo que el caudal de elevación va en función de la suma de los caudales de consumo humano y de regadío.

$$Q_{elevación} = Q_{consumo} + Q_{regadío} \quad [16]$$

Un total de 16 personas utilizan 1600 L/d de agua potable para uso doméstico y cubrir necesidades tanto higiénicas como de consumo (OMS, 2013).

$$Q_{consumo} = 1.6 \frac{m^3}{d} \quad [16]$$

Dado que el riego necesario es de:

$$Q_{regadío} = 540 \frac{m^3}{15d * campo} \quad [17]$$

Para un inicio del proyecto con un solo campo a regar, el caudal sería de:

$$Q_{regadío} = 540 \frac{m^3}{15d} = 36 \frac{m^3}{d} \quad [18]$$

Teniendo en cuenta que las bombas hidráulicas solo podrán actuar durante el día, se cuenta con que cada día son 8 horas donde la bomba esté operativa. En cambio, dado que el sol tampoco va a proporcionar la misma cantidad de radiación durante el día, es mejor dar una cierta seguridad estableciendo los cálculos para un tiempo operativo de 5 horas al día.

$$Q_{regadío} = 540 \frac{m^3}{15d} = 36 \frac{m^3}{d} * \frac{1d}{5h} = 7.2 \frac{m^3}{h} \quad [19]$$

Con una visión hacia el futuro para el diseño de las conducciones en la captación del agua, también se calcula el caudal de regadío para 5 campos de la misma área.

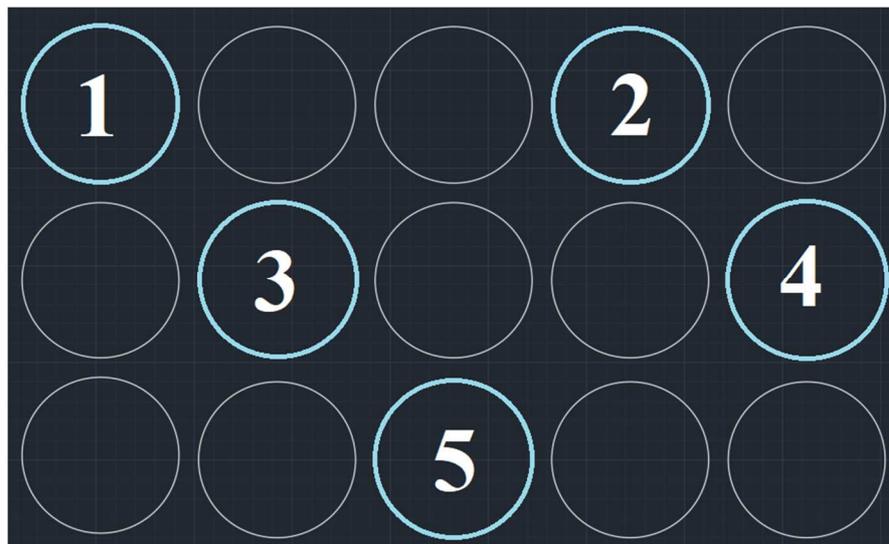


Figura D.1: Riego de cada campo por día para 5 campos.

(AutoCAD, 2020)

En la figura D.1 se muestran 15 círculos siendo cada uno 1 día de captación, los círculos azules son aquellos en donde se ha conseguido el caudal al final del día y se procede a regar cada campo. Siendo 5 campos del mismo tamaño a regar cada uno en un intervalo de 15 días, se tienen que captar los 540 m³ cada 3 días. De este modo, el caudal estimado según el consumo de agua para riego queda:

$$Q_{regadío} = 540 \frac{m^3}{3d} = 180 \frac{m^3}{d} * \frac{1d}{5h} = 25 \frac{m^3}{h} \quad [20]$$

Caudal de suministro a los depósitos de las casas.

Debido a que no hay bomba hidráulica que suministre a las casas, este caudal se calcula mediante balances de energía mecánica con un diámetro de conducción seleccionado, etc. En la sección 2.7.4.2 Caudal según diámetro de conducción, donde el caudal mínimo debe ser 1.6 m³/d como se ha indicado anteriormente. Los cálculos en el balance dan un resultado de un caudal máximo de 0.0073 m³/s, el cual al ser mayor que las necesidades de consumo humano, se puede regular mediante válvulas de compuerta dejando un caudal de 1.6 m³/d.

$$Q_{consumo} = 1.6 \frac{m^3}{d} \quad [21]$$

Caudal de agua residual

Se ha tenido en cuenta que la cantidad de agua de entrada a las viviendas va a ser igual que la cantidad de agua a la salida de estas. Por tanto, el caudal de entrada a la EDAR será igual al caudal de agua para consumo.

$$Q_{EDAR} = Q_{consumo} = 1.6 \frac{m^3}{d} \quad [22]$$

Caudal de salida de la EDAR

El agua se acumula en un cultivo de Spirulina y pasado un tiempo de 1.85 días, este se vacía y pasa a un intercambiador de calor para aumentar su temperatura. Para aprovechar la luz solar y disminuir el gasto eléctrico, se instalan unos colectores los cuales calienten el aceite el cual se usa como fluido calefactor. Por ello un caudal en que el cultivo se vacíe en un tiempo máximo de 5 horas puede lograr un ahorro en gasto energético.

Vaciar un volumen de 2.96 m³ dado un tiempo entre 4.5 y 5 horas de sol, se calcula el caudal de salida del cultivo hacia el intercambiador:

$$Q_{ic} = \frac{2.96 \text{ m}^3}{4.6 \text{ h}} = 0.64 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \quad [23]$$

Una vez se tienen todos los caudales del proyecto, se recogen en la siguiente tabla donde a cada caudal se le asigna un número para la realización de los cálculos teniendo en cuenta que en el embalse 1 existe acumulación. Cabe indicar que algunos de los caudales como el de las captaciones y el del intercambiador de calor se consideran que están en funcionamiento 5 horas al día.

Inicio del proyecto (1 campo)		
Nombre	Número	Cantidad m³/d
Captación 1	Q ₀ '	72.7
Captación 2	Q ₀	36.35
ETAP	Q ₁	16
EDAR	Q ₂	16
IC	Q ₃	3.2
Futuro del proyecto (5 campos)		
Nombre	Número	Cantidad m³/d
Captación 1	Q ₀ '	256.67
Captación 2	Q ₀	128.34
ETAP	Q ₁	16
EDAR	Q ₂	16
IC	Q ₃	3.2

Tabla D.1: Datos de caudales.

ANEXO G: LA SPIRULINA.

A continuación, se habla de la *Arthrospira plantensis* también conocida como Spirulina. Esta microalga de placton es considerada como superalimento debido a su composición en proteínas, vitaminas, ácidos grasos y otros nutrientes necesarios. Es uno de los organismos más antiguos de nuestro planeta perteneciente a las cianobacterias procariotas.

Existen muchas especies nativas de México y África central. Crece en regiones tropicales y subtropicales y gracias al vuelo migratorio de los flamencos, esta alga ha logrado viajar a diferentes hábitats sobreviviendo y logrando proliferar allí (*Dieta - Natura, 202*).

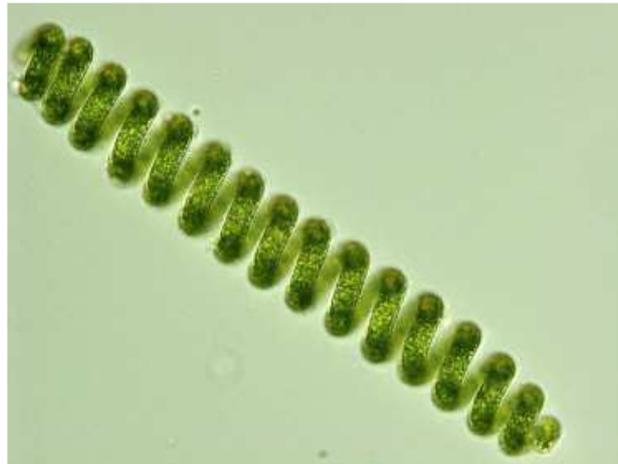


Figura G.1: Imagen de la Spirulina.

(*ScienceDirect Topics, 2020*)

Tiene forma en espiral en torno a un diámetro de 0.5 a 5 micrómetros, mide hasta 20 micrómetros y puede componerse de hasta un 70% de proteína, gracias a ello tiene diversas aplicaciones: Uso alimenticio como suplemento nutricional, producción de energía mediante el metano, limpieza de aguas residuales, extracciones metabólicas, productos químicos, etc.

Efecto de la luz sobre la microalga.

Uno de los sustratos para la realización de la fotosíntesis es la luz solar, la cual, tiene efectos positivos en el crecimiento de la población de la Spirulina. Realizando un experimento con un pequeño cultivo para lograr descubrir el comportamiento de esta proliferación a medida que se aumenta la luz, se descubre el fenómeno de la fotoinhibición. Este fenómeno ocurre cuando la luz que incide en la microalga comportándose como sustrato, irradia de tal manera, que se comporta como un inhibidor disminuyendo la velocidad de crecimiento del cultivo.

Del mismo modo, no solo disminuye en la población, sino que afecta de manera negativa a la realización de la fotosíntesis.

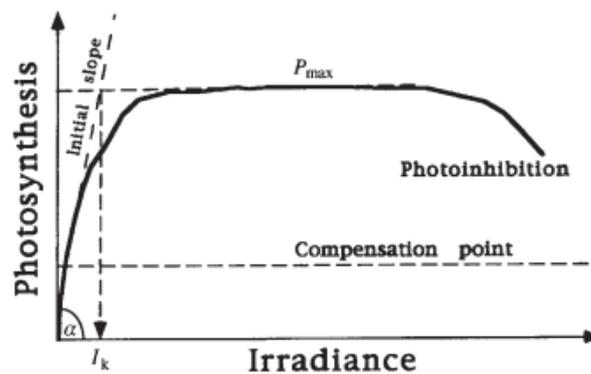


Figura G.2: Fotosíntesis vs radiación.

(Lukavsky, 2000)

Parameters	<i>Spirulina</i> strain		
	BP	P4P	Z19/2
μ	0.048	0.043	0.044
I_k	145 ± 15	115 ± 13	165 ± 15
P_{max}	625 ± 8	614 ± 5	645 ± 13
α	4.8 ± 0.4	6.3 ± 1.0	3.85 ± 0.7

Figura G.3: Resultados del cultivo con diferentes cepas.

(Lukavsky, 2000)

Temperatura óptima para crecimiento.

La luz es considerada como el factor ambiental más importante para los organismos fotosintéticos, en cambio, la temperatura se corresponde con el factor más importante para el desarrollo de todos los seres vivos. Por este motivo también es objeto de estudio, para hallar una temperatura óptima donde el crecimiento de microalgas sea máximo.

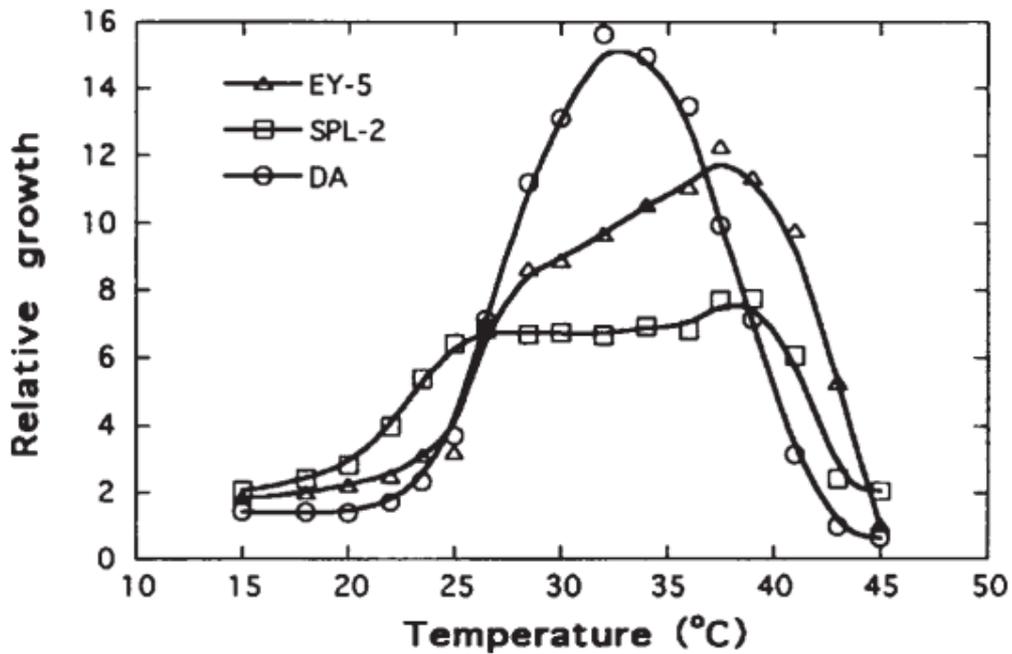


Figura G.4: Proliferación conforme aumento de temperatura.

(Lukavsky, 2000)

Con el estudio de la figura G.4, se pusieron diferentes cepas de Spirulina en un cultivo donde variaban la temperatura dando como resultado, cepas que su temperatura óptima eran [35-38 °C] y algunas más resistentes al calor, temperaturas óptimas de [40-42 °C].

Por este motivo la Spirulina puede sobrevivir en numerosas zonas del planeta, es un organismo microscópico relativamente resistente a las temperaturas.

Salinidad del medio

Otros estudios de la Spirulina se basaron en poner a prueba la microalga en diferentes medios como la salinidad.

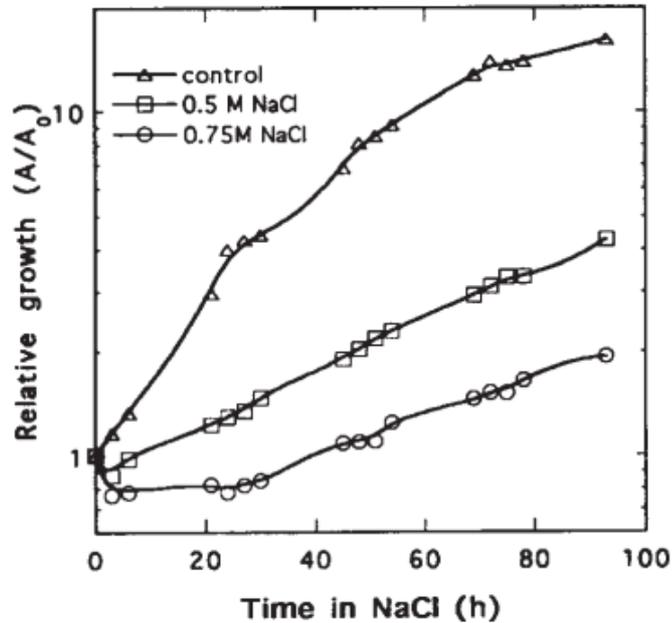


Figura G.5: Proliferación del alga a conforme se aumenta la salinidad.

(Lukavsky, 2000)

Treatment	M2		6MX	
	Specific growth rate (h ⁻¹)	Doubling time (h)	Specific growth rate (h ⁻¹)	Doubling time (h)
Control	0.063	11.0	0.059	11.8
+0.50 M NaCl	0.044	15.9	0.026	26.2
+0.75 M NaCl	0.034	20.3	0.018	39.4

Figura G.6: Datos de cultivos en medio salino.

(Lukavsky, 2000)

Como resultado de los estudios en medios salinos, se demostró que la microalga prolifera de manera más lenta, los iones de sodio le afectan a su desarrollo. Una vez se tuvo un cultivo estable, se analizó la Spirulina donde se comprueba que la composición de proteína disminuye en medios salinos, creando hidratos de carbono. La Spirulina en presencia de iones de sodio crea una capa impermeable en su membrana disminuyendo la entrada de estos iones y, a medida que los expulsa, realiza la fotosíntesis, pero con más lentitud (Lukavsky, 2000).

Strain	Treatment	Chlorophyll (% dry weight)	Protein (% dry weight)	Carbohydrate (% dry weight)
M2	Control	2.6	56.1	35.5
	+0.50 M NaCl	1.9	44.1	46.7
	+0.75 M NaCl	1.3	41.1	55.8
6MX	Control	1.6	60.2	30.0
	+0.50 M NaCl	1.0	23.9	64.4
	+0.75 M NaCl	0.5	22.0	61.4

Figura G.7: Disminución de proteína y aumento de carbohidratos.

(Lukavsky, 2000)

Resistencia al amoníaco NH₃

Con el objetivo de la producción de cultivos de Spirulina al aire libre, se debe tener en cuenta que los cultivos están expuestos a otros microorganismos los cuales sean perjudiciales para el crecimiento de la microalga. Dado que esta es muy resistente, se decidió incorporar diferentes proporciones de productos asequibles en el mercado y tóxicos para microorganismos los cuales, eliminen todas las bacterias menos la Spirulina.

Dando como resultado el amoníaco en una concentración de 1mM. En la siguiente figura se observa un cultivo contaminado por *Chlorella*, otro tipo de microalga, la cual actuaba como especie invasora consumiendo sustrato.

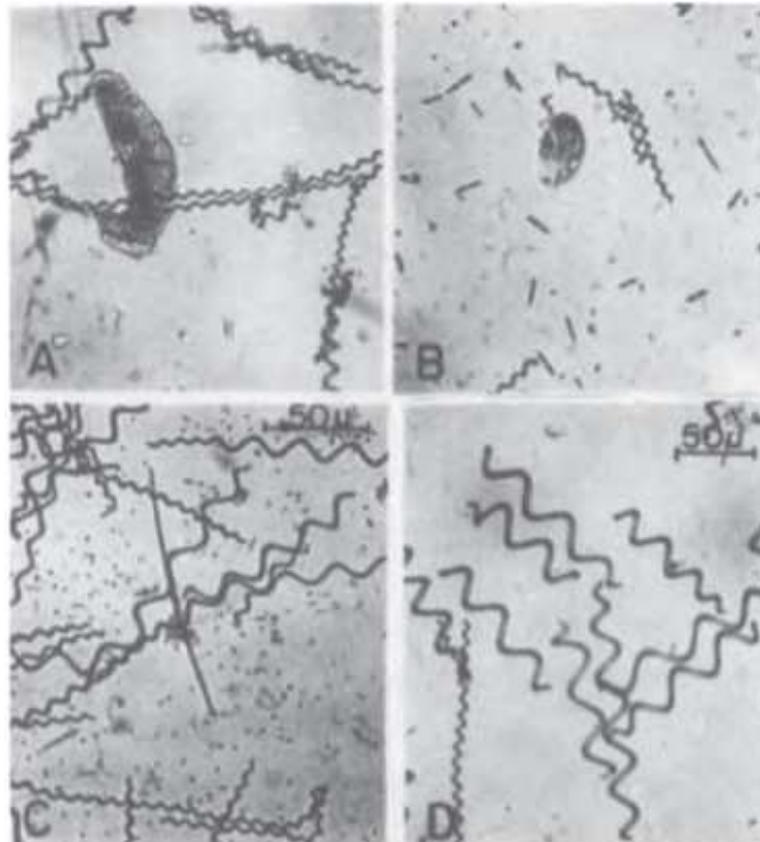


Figura G.8: Evolución de cultivo contaminado en presencia de amoníaco.

(Lukavsky, 2000)

ANEXO F: EQUIPOS Y SUS CARACTERÍSTICAS.

Los datos de las propiedades de los materiales usados en los equipos se han basado en la información aportada por la base de datos de materiales del programa *CES EduPack*. Todas las propiedades se encuentran en el *Anexo H: Materiales y sus propiedades*.

Conducciones

Las conducciones que contiene el proyecto están constituidas por 2 tipos de materiales, el polipropileno (PP) en las zonas de captación y las mangueras del regadío y el policloruro de vinilo (PVC) en las zonas de ETAP, EDAR y el principio de la distribución al regadío.

Polipropileno

En la tabla F.1 se encuentran los datos respecto las tuberías de polipropileno (PP) de la captación y del regadío.

Conducciones de PP								
Captación	L (m)	241	De (cm)	16.83	Di (cm)	15.41	Precio	965.11 €
Mangueras	L (m)	2450	De (cm)	4.22	Di (cm)	3.5	Precio	937.43 €

Tabla F.1: Datos conducciones para captación de polipropileno (PP).

Empresas como *Polysan* se dedican a la fabricación de conducciones y accesorios de polipropileno. El precio correspondería a los proporcionados por la propia empresa el cual es de 4 €/metro para las conducciones de la captación y de 0.38 €/metro para las mangueras.

PVC

Las conducciones fabricadas con PVC corresponden a la ETAP, la EDAR y el principio de la distribución al regadío, a continuación, se proporcionan los datos de dichas tuberías. Dado que las tuberías tienen las mismas dimensiones, se opta por poner la longitud correspondiente a cada tramo y el precio total de la conducción en las 3 zonas.

Conducciones de PP								
ETAP	L (m)	155	De (cm)	6.03	Di (cm)	5.25	Precio	944.64 €
EDAR	L (m)	86						
Regadío	L (m)	221						

Tabla F.2: Datos conducciones de PVC.

El coste de la conducción proporcionado por la empresa *Coplastic* correspondería a 0.5 €/metro. En esta empresa se encuentran numerosas tuberías de PVC con diferentes diámetros incluidos los que se muestran en la tabla F.2. No solo se encuentran tuberías en esta empresa, también numerosos accidentes como codos de 90°, válvulas y “T” lisos de PVC.

En la figura F.5 se muestra diferentes bombas hidráulicas de la misma serie (serie FC) de la marca SAER. La que mejor cumple los requisitos necesarios para el transporte del agua es la FC30-2^a.

Tipo de bomba	FC30-2A
Potencia (kW)	8.3
Carga h_b (m)	85
Caudal máximo (m³/h)	9
Precio por bomba	220 €

Tabla F.3: Datos de bomba hidráulica FC30-2A.

Para el inicio del proyecto donde haya solo un campo a regar se necesitarán 3 bombas hidráulicas, 2 para la captación hasta el embalse (1) y 1 para la elevación. A medida que en un futuro se amplíe el proyecto y el número de campos a regar, se necesitarán más bombas hidráulicas.

Embalses y depósitos

Embalse 1 de hormigón

Para un embalse de grandes proporciones como es el embalse (1), es recomendable que el material con el que esté construido tenga buenas propiedades mecánicas. Las propiedades del hormigón se pueden observar en el *Anexo H: Materiales y sus propiedades*.

Para el cálculo estimado de este embalse se ha decidido buscar la inversión de un embalse de hormigón ya construido en *Zaratamo (Bilbao)*. Los datos se muestran públicamente por el ayuntamiento de la zona (*Ayto. Zaratamo, 2014*).

$$\text{Precio estimado} = \frac{1650 \text{ m}^3}{14000 \text{ m}^3} * 598180 \text{ €} = 7071.43 \text{ €} [24]$$

Embalse 2

Para estimar el precio del resto de embalses, se calcula su volumen como se ha hecho en el apartado correspondiente a cada embalse o depósito, aunque se toma en cuenta un espesor de 4 mm de pared ya que es una medida bastante común de espesor en depósitos. De este modo se obtiene el volumen de material usado y se puede calcular el coste.

$$V_{e2} = \frac{1}{3} * 0.304 * (7.054^2) + \pi * (7.054^2) * 3.428 = 540.915 \text{ m}^3 \text{ [25]}$$

$$V_{precio} = 540.915 - 540 = 0.915 \text{ m}^3 \text{ [26]}$$

$$Precio \text{ estimado} = V_{precio}(\text{m}^3) * densidad \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) * precio \left(\frac{\text{€}}{\text{kg}} \right) \text{ [27]}$$

$$Precio \text{ estimado} = 0.915 \text{ m}^3 * 7820 * 0.668 = 4779.74 \text{ € [28]}$$

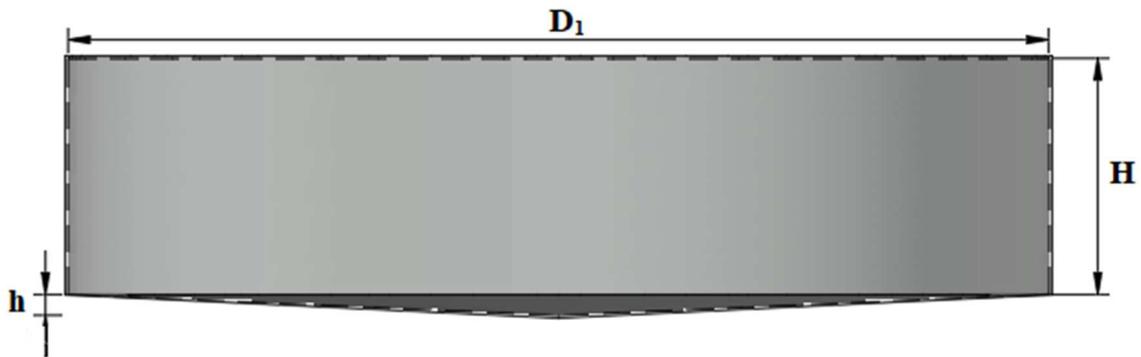


Figura F.6: Embalse 2.

(AutoCAD, 2020)

Embalse 2					
Material	Acero galvanizado	D1 (m)	14.1	H (m)	3.42
Tiempo de llenado	15 días	Qe (m³/h)	7.27	h (m)	0.3
Precio estimado	4779.74 €	Qs1 (m³/h)	6.7E-2	V (m³)	550
		Qs2 (m³/día)	540/15d		

Tabla F.4: Medidas y precios del embalse 2.

Depósitos de las casas

Se consulta el catálogo de la empresa *Europlast* sobre los depósitos disponibles y sus precios.



Figura F.6: Depósito de casas.

(Europlast, 2019)

Depósito de vivienda					
Material	HDPE	D (m)	0.77	H (m)	1.7
Precio estimado por unidad	550 €	Nº depósitos	4	V (m³)	0.8

Tabla F.5: Medidas y precios de depósitos en las casas.

Depósito de agua con aminoácidos

Este depósito es geoméricamente similar al anterior, aunque es de mayores proporciones. Ambos depósitos puede proporcionarlos la empresa *Europlast*, especializada en venta de depósitos de agua para riego, incendios, etc.

Depósito EDAR		Dimensiones			
Material	HDPE	D (m)	2.5	H (m)	4.9
Precio estimado por unidad	4975 €	Nº depósitos	1	V (m³)	24

Tabla F.6: Medidas y precios de depósito para agua con aminoácidos.

CAPACIDAD	DIMENSIONES			PRECIOS	
	D	H	B	AÉREOS EUROS	ENTERRADOS EUROS
6000 lts	2000 mm	2000 mm	560 mm	1911	2102
12000 lts	2500 mm	2500 mm	560 mm	3372	3437
12000 lts	2000 mm	3830 mm	560 mm	3372	3437
15000 lts	2000 mm	4780 mm	560 mm	3669	5237
24000 lts	2500 mm	4900 mm	560 mm	4975	5597

Figura F.7: Datos de catálogo de *Europlast*.

(*Europlast, 2019*)

CAPACIDAD	DIMENSIONES		
	D	H	B
6000 lts.	2000 mm.	2000 mm.	560 mm.
8000 lts.	2000 mm.	2600 mm.	560 mm.
12000 lts.	2000 mm.	3830 mm.	560 mm.
12000 lts.	2500 mm.	2500 mm.	560 mm.
15000 lts.	2500 mm.	3200 mm.	560 mm.
24000 lts.	2500 mm.	4900 mm.	560 mm.

Figura F.7: Diferentes medidas de depósitos.

(*Europlast, 2019*)

Filtro de arena

En este apartado se va a incluir la ficha técnica del equipo proporcionada por la empresa *Reager*.

FILTRO ARENA 20", 36" y 48"

La utilización de los filtros de arena se hace imprescindible cuando se desea acondicionar aguas que contengan gran cantidad de materias orgánicas y algas, tales como las que arrastran las aguas procedentes de embalses abiertos y canales.

El filtrado se realiza a presión al atravesar el agua la arena del filtro en forma descendente. El proceso consta de tres acciones distintas:

- Tamizado en la capa superior de la arena.
- Filtrado en profundidad por adherencia.
- Sedimentación de partículas.

La granulometría recomendada para la arena es de 0,8 a 1,2 mm.

Todos los filtros son tratados superficialmente mediante la aplicación de varias capas, incluyendo la fosfatación. El acabado consiste en una capa de poliéster 100% de 130 micras, lo que asegura una resistencia a la intemperie y a la corrosión interna durante años.

Opcionalmente se suministran con barra de protección catódica anticorrosión en su parte interior.

Los filtros de 20" pueden suministrarse con conexiones rosca o victaulic, y en brida o victaulic los de 36" y 48". Asimismo pueden configurarse de dos formas según se desee la recolección del agua filtrada: mediante placa portacrepinas o mediante brazos filtrantes.

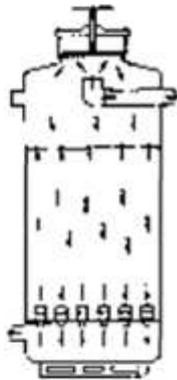


Principio de filtración

El agua sucia entra por la parte superior del filtro y desciende a través del lecho filtrante de arena. El filtrado se realiza al ir quedando absorbidas las partículas sólidas a lo largo del sinuoso lecho filtrante.

Cuando el agua llega a la parte inferior se recoge en un colector de salida. El lecho filtrante de arena queda retenido dentro del filtro gracias a unas crepinas o brazos filtrantes con pequeñas ranuras de paso de agua.

Las partículas sólidas se van quedando retenidas en el lecho de arena. A medida que se incrementa la suciedad retenida se incrementa también la pérdida de carga del filtro.



Principio de contralavado

Cuando aumenta mucho la pérdida de carga en el filtro, debe realizarse la limpieza del mismo. Dicha



limpieza se realiza por inversión del flujo de agua, haciéndola circular de abajo a arriba.

El lavado se realiza con agua limpia procedente de otros filtros.

Con el contralavado, el agua arrastra la suciedad acumulada en el filtro. El agua, cargada de suciedad, sale a través de la válvula de drenaje hacia el exterior.

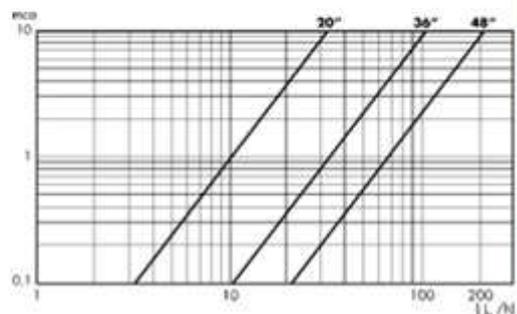
El proceso de limpieza puede automatizarse mediante las válvulas de contralavado y el programado de lavado de filtros.

Recomendaciones de mantenimiento

Para un buen funcionamiento de la filtración se recomienda seguir las siguientes instrucciones.

1. En función de la suciedad que lleve el agua, la arena se deberá reponer periódicamente, como mínimo una vez al año.
2. Periódicamente se añadirá, en los elementos de cierre de las tapas (puente y maneta), una pequeña cantidad de grasa, la cual facilitará en gran manera la apertura y cierre del filtro.
3. Se observará, al principio de cada temporada y antes de colocar la arena, el estado de elementos internos, para así evitar que una mala colocación de una junta o crepina pudiera ocasionar problemas posteriores.
4. Comprobar periódicamente el estado de la protección catódica y sustituirla si se aprecia un elevado desgaste.
5. Se dejará el filtro completamente vacío de agua, cuando vaya a estar sin uso durante largos períodos de tiempo.

Pérdida de carga



Montaje

En función del caudal de agua a filtrar, los filtros de arena pueden agruparse formando baterías que pueden adoptar diferentes disposiciones.

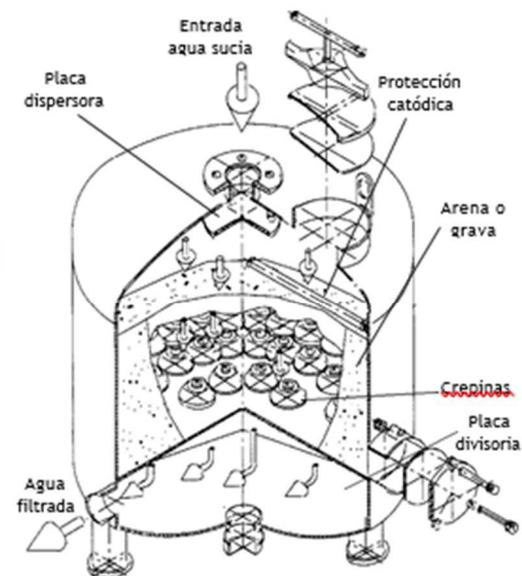
Para el montaje en batería, se recomienda el conexión victaulic que ofrece una gran sencillez y facilidad de instalación. En este sentido, también están disponibles colectores y accesorios con el mismo acabado que los filtros para el montaje de cabezales completos.

Para el contralavado, se utilizan las válvulas Flushgal de 2", 3" y 4" las cuales mediante un único cuerpo, realizan las funciones de cierre de agua al filtro y descarga de agua de lavado.

Filtro con crepinas

Consiste en una placa filtrante metálica, colocada en la parte inferior del filtro y por encima de la toma de "salida de agua filtrada", y en la cual fijamos uniformemente unas crepinas de gran caudal.

Con ello se consigue una gran uniformidad en la distribución del agua en el filtro, evitando la creación de canales preferenciales, reduciendo la pérdida de carga y, en consecuencia, prolongando el tiempo de colmatación del filtro considerablemente.



Cuando se produce una diferencia de presión máxima de 0,5-0,8 bar se procede al contralavado. Este se realiza uniformemente en el total de la superficie y la arena se limpia en muy poco tiempo.

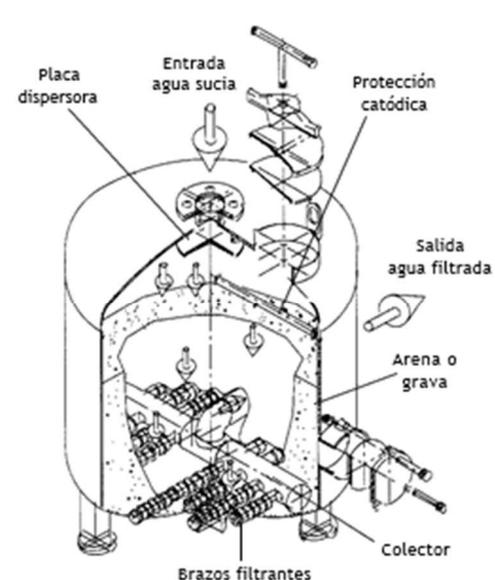
Este sistema es muy eficaz y de gran seguridad, reduciendo considerablemente el número de contralavados.

Filtro con brazos filtrantes

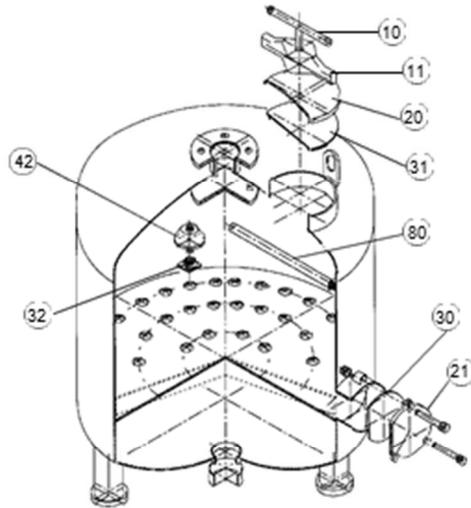
Consiste en un colector al cual se le fijan mediante roscas unos brazos filtrantes hasta cubrir proporcionalmente la superficie del filtro. El agua, una vez que ha atravesado el lecho filtrante de arena, se introduce en estos brazos ranurados y se recoge en el colector de salida. La limpieza se realiza por contralavado, de igual forma que en el caso anterior.

Con esta disposición, forzosamente el caudal del agua es mayor en la parte central que en la parte exterior, aumentando la velocidad y la pérdida de carga debido a la mayor facilidad de paso hacia el colector de salida.

Esto produce una colmatación mayor en el centro del lecho filtrante que en su parte exterior (la mayor área de filtración), obligándonos a realizar el contralavado con mayor frecuencia.

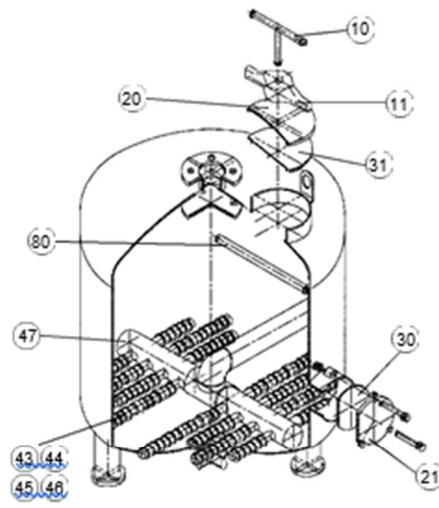


Filtro con crepinas



N.º	Descripción
10	Maneta
11	Puente
20	Tapa
21	Tapa lateral
30	Junta
31	Junta superior
32	Junta crepina
42	Crepina
80	Protección catódica

Filtro con brazos filtrantes



N.º	Descripción
10	Maneta
11	Puente
20	Tapa
21	Tapa lateral
30	Junta
31	Junta superior
43	Brazo L 225
44	Brazo L 175
45	Brazo L 100
46	Manguito enlace
47	Soporte brazos
80	Protección catódica

Características técnicas

	20"	36"	48"
	Crepinas	Crepinas	Brazos
Altura total (mm)	1463	1155	1171
Altura boca entrada H1 (mm)	1055	1155	1171
Altura boca salida H2 (mm)	215	370	355
Diámetro B (pulgadas)	2"	3"	4"
Diámetro D (pulgadas)	500	905	1208
Peso (kg)	80	150	230
Caudal*	3-18	10-45	18-48
Superficie de filtración (cm ²)	1963	6362	11310
Arena (kg)	180	390	720
Conexión	RH 2" o Victaulic 2"	Bridas 3" o Victaulic 3"	Bridas 4" o Victaulic 4"
Máxima presión de trabajo recomendada	8 atm	8 atm	8 atm

* Variable en función de la calidad del agua de entrada y de salida.

Ozonizador

Al igual que se ha hecho en el apartado anterior, también se añade en este apartado la ficha técnica de este equipo.



Desinfección de Agua con ozono en procesos de industria alimentaria.



SP Milenium 3



- Erradica los agentes contaminantes del agua y destruye los reservorios de bacterias, hongos y virus.
- Recomendado para instalaciones industriales en Seguridad Alimentaria y herramienta útil en el control y aplicación del APPCC.
- Aplicado en agua en los procesos de la industria alimentaria, permite la desinfección del producto en el lavado, disminuyendo la carga microbiana en el lavado de carnes, envasado de vegetales, etc.
- Recomendado para instalaciones profesionales en el canal de HORECO, higiene y desinfección ambiental, así como en cámaras frigoríficas, obradores o cocinas. Herramienta Indispensable para la gestión eficaz en la Seguridad Alimentaria (APPCC).
- Genera el ozono en su cápsula estanca, evitando fugas que puedan perjudicar la parte eléctrica del equipo.

Características Técnicas

- Producción de ozono ajustable de 300- hasta 3.000 mg O₃/h
- Dispone en su interior de compresor autónomo de aire por membrana DE 40L/min.
- Gas de alimentación: aire comprimido o bien por oxígeno concentrado.
- Dispone en la parte frontal de indicadores de funcionamiento, producción (amperímetro frontal) y alarma.
- Refrigeración y enfriamiento por ventilación forzada.
- Instalación y sujeción mediante orificios en la parte trasera.
- Realizamos las pruebas de calibración en nuestro laboratorio.

Dimensiones

Modelos/ Parámetros	SP MILENIUM 3G
L*A*P (mm)	520 x 320 x 250
Peso (kg)	11



Datos Técnicos

Modelo/ Parámetros	SP MILENIUM 3G
Referencia	COS 3
Salida Ozono (g/h)	0,3 - 3
Alimentación Neumática	Compresor interno, aire presurizado (máx. 2 bar) u oxígeno
Caudal (L/min.)	45
Enfriamiento	Ventilación forzada (2 ventiladores)
Potencia (W)	140
Tensión (V)	100/120 - 220/240 V AC 50/60 HZ
Nivel de ruido	< 60 <u>dba</u>

Como Funciona

- El ozono se produce por la activación de las moléculas de oxígeno mediante una descarga de alta tensión.
- Dispone de interruptor general, interruptor de activación del compresor interno, indicador LED verde de funcionamiento, indicador LED rojo y señal sonora de alarma, potenciómetro de ajuste de producción e indicador display de producción.

Control y alarma

On - Off	Interruptor de producción ozono e interruptor de compresor.
Ozono On	Indicador verde
Alarma	Indicador rojo
Protección	Fusible 8A general, fusible 3A en placa electrónica y termostato

Materiales

Caja	En acero inoxidable 304.
Módulo	En acero inoxidable 304 con un electrodo en el interior de un tubo de borosilicato con dieléctrico de cerámica.
Entrada y salida	Acero Inoxidable 316.

Tanque de cultivo HRAP

Para estimar el precio del tanque de cultivo HRAP se observa el precio de un depósito que tenga la misma capacidad o alguna similar, y se suma un 30 % del precio. Este incremento se debe a que el tanque de cultivo es más difícil de construir que un depósito normal.

DEPÓSITOS HORIZONTALES CON SOPORTES (AÉREOS)

CAPACIDAD	DIMENSIONES			PRECIOS
	D	L	B	EUROS
6000 lts.	2000 mm.	2000 mm.	560 mm.	3006
8000 lts.	2000 mm.	2600 mm.	560 mm.	4480
10000 lts.	2000 mm.	3200 mm.	560 mm.	5015
12000 lts.	2000 mm.	3830 mm.	560 mm.	6025
15000 lts.	2500 mm.	3200 mm.	560 mm.	6814
20000 lts.	2500 mm.	4080 mm.	560 mm.	7980
25000 lts.	2500 mm.	5100 mm.	560 mm.	9234
30000 lts.	2500 mm.	6110 mm.	560 mm.	9894
35000 lts.	2500 mm.	7130 mm.	560 mm.	10527
40000 lts.	2500 mm.	8150 mm.	560 mm.	12814

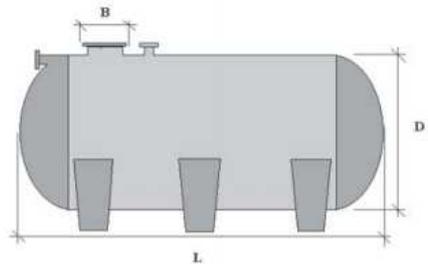


Figura F.8: Depósito horizontal para estimar precio de tanque de cultivo HRAP.

(Europlast, 2019)

Este depósito es horizontal y tiene mayores dimensiones respecto altura y longitud que el tanque de cultivo HRAP. Sumando un 30% el coste de fabricación al precio de este depósito, el cual, está fabricado con los mismos materiales que el tanque de cultivo, queda:

$$\text{Precio estimado} = 9894 + 0.3 * 9894 = 12862.2 \text{ €}$$

Siendo un precio estimado, lo más seguro sea que el tanque de cultivo acabe siendo más barato debido a que el precio se ha calculado yendo al precio máximo.

Intercambiador de calor

El intercambiador de calor tiene las siguientes características:

D_i^a	D_e^a	D_i^b	D_e^b
1.5 cm	1.9 cm	4.73 cm	5.13 cm

Tabla F.7: Dimensionamiento de las tuberías del IC.

Se contacta con la empresa *SagaFluid* en la que hacen equipos a medida y se informa sobre temperaturas de entrada y salida, material de construcción, fluidos por los tubos, etc, para ofrecer un presupuesto de aproximadamente 29000 €.

Reactor con membranas (Ficha técnica del módulo de membrana)



Technical data sheet
Ultrafiltration cassette filter MicroClear® MCXL
Article-No. 80200022

Completely welded filter cassette for the filtration of water. Typical applications: Waste Water in membrane bioreactors, surface water. The cassette consists of:

- housing and header made of polypropylene (FDA approved)
- 21 active filter plates made of polypropylene (FDA approved)
- 2 protective plates made of polypropylene (FDA approved)
- laser welded membrane made of Polyethersulfone (KTW approved)



Parameter	Unit	Value
dimensions	L x B x H mm	415 x 207 x 492
outlet diameter	mm	25
protective plates		2
No. of active plates	mm	21
plate spacing	mm	5,5
total membrane area	m ²	7
mean flux *	l/m ² h	
2 chemical cleanings/year		30
1 chemical cleaning/year		15
maximum flux	l/m ² h	50
membrane material		PES
cut-off	kDalton	150
pore size	µm	0,04
filtration pressure	bar	0,1-0,25
backflush pressure	bar	0,07 – 0,1
filter housing material		PP
weight	kg	ca. 11,5

* depending on wastewater characteristics
 The MicroClear® design and specifications are subject to change without notice.

Design Parameters

Type of wastewater:

- domestic
- municipal
- industrial

Treated Water Quality:

Parameter	Unit	Design	DIN 19650 ¹	Guarantee
BOD	mg/l	< 5		
COD	mg/l	< 50		
TSS	mg/l	< 1		< 1
TKN-N	mg/l	< 5		
ph		6,5-10		
Faecal Coliforms	Counts /100 ml	< 1	< 200	< 10
Streptococcus	Counts /100 ml	< 1	< 100	< 10
Salmonella	Counts /100 ml	< 1	n.d. ²⁾	n.d. ²⁾
Virus removal	%	99,9999		99,99

¹⁾ DIN19650 has 4 classes for irrigation water. Class 1 is drinking water. Class 2 is for vegetables that are used for raw consumption, sporting grounds of schools, and public parks. Class 3 and 4 has less quality, then Class 2.

²⁾ n.d. = not detectable

The flux and the retention rate of the MicroClear® system has been tested and approved by the University of Applied Sciences at Giessen-Friedberg, Germany.

The plant performance is subject to the right design of the biological treatment and the pre-treatment of the water. If the design is made according to our recommendations, the designed outlet water quality can be expected.

The advantages of MicroClear® compared to hollow fibre systems:

- higher filtrate output and higher retention rate due to efficient air scour, plate design and optimized membrane
- less membrane area required and therefore lower invest. Lower energy consumption per cubic meter of water
- operation with air scour only is possible (up to one year of operation), less cost for chemicals
- no clogging with fibres (e.g. hair) without fine screening 0.5 mm. No expensive fine screening necessary, only 2 mm punched hole screen
- no breaking of fibres
- multiple permeate outlets enable a complete venting, no unused membrane areas

The advantages of MicroClear® compared to other plate and frame systems:

- higher filtrate output and higher retention rate due to efficient air scour, plate design and optimized membrane
- less membrane area required and therefore lower invest
- medium size bubble aeration with optimized flow pattern leads to less energy consumption of the total system. The aeration system is maintenance free
- MicroClear® has the only state-of-the-art laser-welded membrane module
- MicroClear® is not only welded along the outer edge, but also across the inner area of the membrane. This enables true backflush and higher output
- MicroClear®'s Full-Surface-Distribution technology makes use of the total membrane surface, because the pressure across the membrane is evenly distributed.
- higher packing density and smaller footprint (minus 50%)
- MicroClear® offers ultrafiltration, whereas most competitors use microfiltration. The retention rate for virus removal is 99.9999%

Anexo G: Estudio del emplazamiento.

Para la elección del proyecto se ha optado por zonas donde haya necesidad de agua o regadío, sin que llegue a ser inviable la captación del agua. En las siguientes figuras se muestran dos mapas de España, la figura G.1 donde se muestra las zonas húmedas, medio húmedas y de más aridez, y la figura G.2 donde se observa el punto del emplazamiento elegido.

El ministerio de agricultura, pesca y alimentación, ha clasificado en la siguiente figura, 7 tipos diferentes de suelos o zonas en toda España: las de color azul oscuro son zonas donde hay abundante cantidad de agua y humedad, al igual que las zonas de láminas de agua (zonas de color azul claro), donde la necesidad de agua es escasa. Las zonas grises son consideradas suelo urbano, el cual dispone de una red distribuidora de agua apta para consumo humano donde solo varía la dureza de dicha agua según la geología del lugar.

Los suelos que interesan para la elaboración del proyecto serían de color verde y amarillo, ya que, pensando en el futuro del proyecto, son zonas con riesgo bajo de desertificación. Además, no hay demasiada escasez de agua como para imposibilitar su captación y existe una mayor necesidad de dicho fluido. También se muestra zonas de color naranja y rojo, las cuales se han desestimado por completo pese a la alta necesidad de agua, ya que existe un alto riesgo de desertificación que llegue a afectar al proyecto en el futuro.

Como se puede comprobar en la figura G.2, el emplazamiento elegido ha sido al norte de Castellón. Debido a que, según la figura G.1, es una zona de color amarillo con proximidades de zonas verdes donde el agua captada es destinada normalmente tanto para regadío como para consumo humano y es un terreno bastante conocido debido a su cercanía.

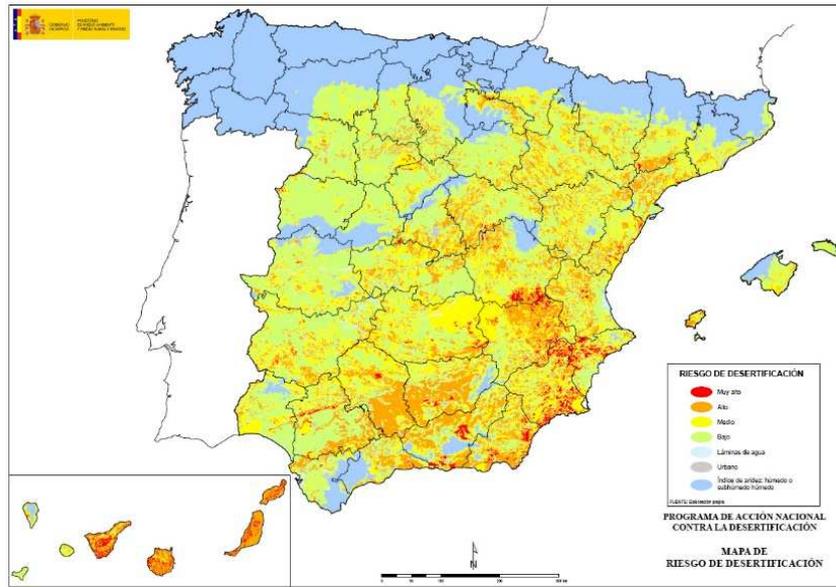


Figura G.1: Mapa de aridez en España.

(*La Desertificación En España*, 2019)



Figura G.2: Mapa satélite de España.

(*Mapa de Google Earth*, 2020)

ANEXO H: CÁLCULOS DE LA CAPTACIÓN.

Se procede a realizar los cálculos necesarios para el dimensionamiento y requisitos de los equipos y las conducciones para el sistema de captación.

Captación.

Para tener una visión más conceptual para realizar los cálculos, las medidas del terreno de captación se representan en AutoCAD mostrando el perfil dividido en 4 tramos de suelo donde se realizará la excavación.



Figura H.1: Perfil del terreno de la captación.

(AutoCAD, 2020)

Los dos primeros tramos serán abarcados por la instalación de la primera tubería (Alpha), luego habrá un codo con un ángulo de curvatura (Θ), la segunda tubería (Beta) abarcará el tramo 3 seguida por otro codo de la misma curvatura que el anterior y, finalmente, la última tubería (Gamma) será instalada en el tramo 4.

A continuación, mediante trigonometría y usando las medidas del perfil del terreno, se calculan las medidas longitudinales de las tuberías y el ángulo del codo representados de color azul en las siguientes figuras.

El perfil del sistema de tuberías se muestra en la siguiente figura junto a los datos que se calcularán a continuación:

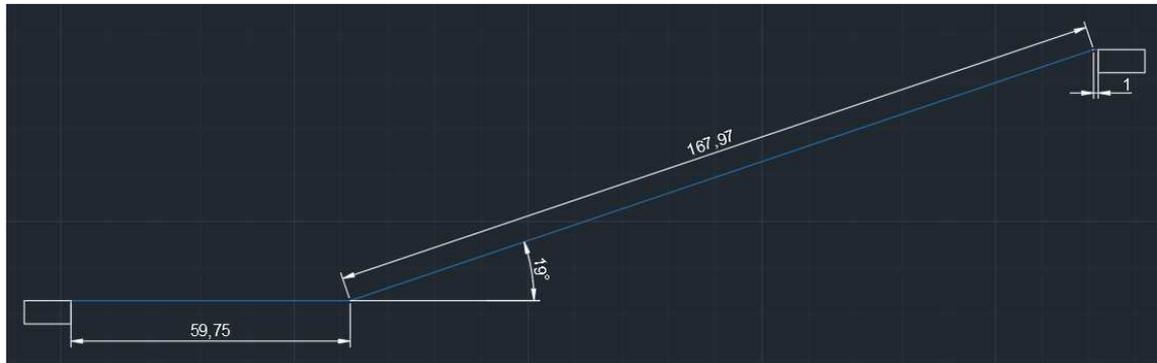


Figura H.2: Perfil del sistema de tuberías.

(AutoCAD, 2020)

Usando el suelo de la figura H.2 y mediante trigonometría, se realizan los cálculos para hallar las medidas de las tuberías y la curvatura de los codos.

Cálculo de la longitud de las tuberías:

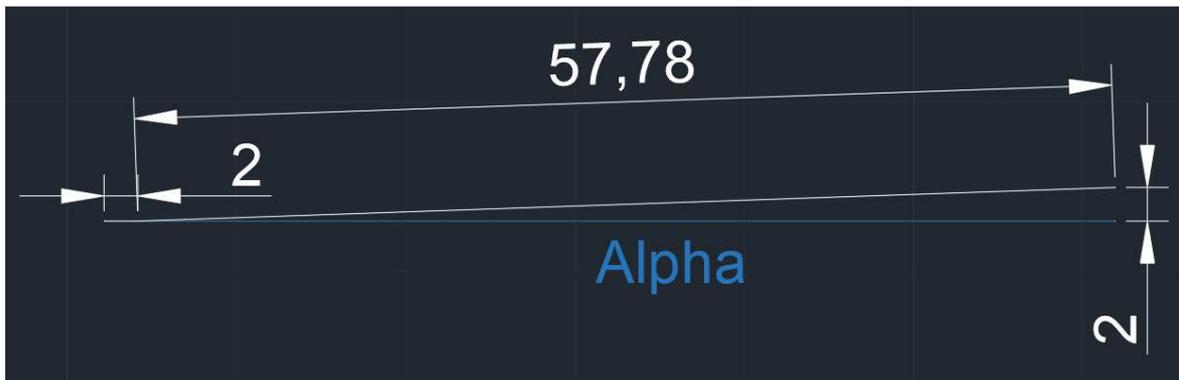


Figura H.3: Medidas para el cálculo de la tubería Alpha.

(AutoCAD, 2020)

Para hallar la longitud de la primera tubería (Alpha) se requiere del teorema de Pitágoras usando el suelo (línea blanca) como hipotenusa:

$$\text{Alpha} = \sqrt{57.78^2 - 2^2} = 57.75 \text{ [30]}$$

Sumando los dos metros rectos (tramo 1) del principio del triángulo formado por la hipotenusa correspondiente al tramo 2, que es el suelo (línea blanca), y los dos catetos formados por la tubería Alpha (línea azul) y la altura de 2 metros acotada a la derecha de la figura H.3 queda una tubería de longitud 59.75 metros.

$$\text{Alpha} = 57.75 + 2 = 59.75 \text{ m [31]}$$

Continuando con el tramo 3, en la figura H.4 se muestra la tubería Beta (línea azul) junto al suelo del terreno (línea blanca) el cual mide 167.34 metros. La altura de 2 metros acotada a la izquierda de la figura corresponde al cateto del apartado anterior. Y la altura de 54 metros acotada en la parte derecha, corresponde a la altitud total desde el codo entre las tuberías Alpha y Beta, hasta el codo que formarán las tuberías Beta y Gamma.

Para aplicar Pitágoras, en la figura H.5 primero se calcula la longitud del eje horizontal (c) con el suelo (línea blanca) como hipotenusa y la altura de 54 metros (restando los 2 metros de la izquierda de la figura H.4) como otro cateto.

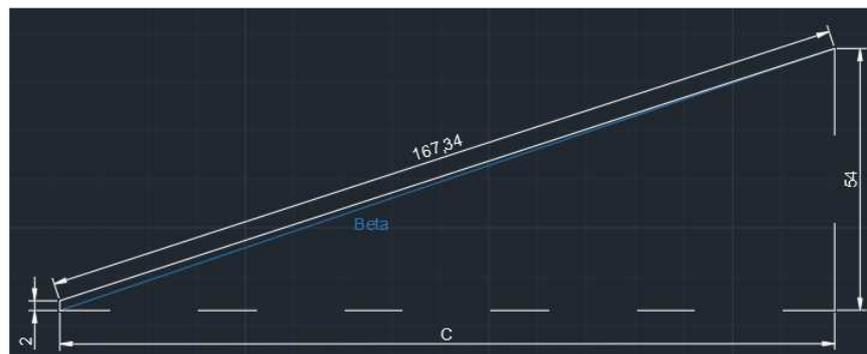


Figura H.4: Medidas para el cálculo de la tubería Beta.

(AutoCAD, 2020)

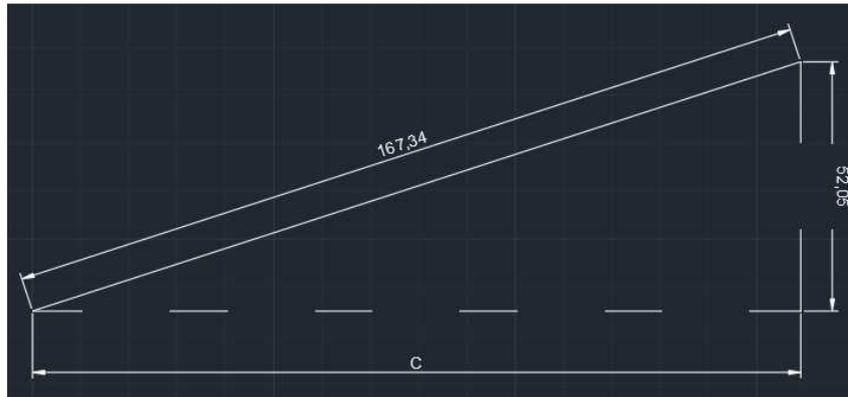


Figura H.5: Cálculo de la longitud horizontal c.

(AutoCAD, 2020)

$$c = \sqrt{167.34^2 - 52^2} = 159.06 \text{ m [32]}$$

Una vez se tiene la longitud C, se calcula Beta mediante el mismo método de triángulos, usando a Beta como hipotenusa y los catetos corresponden a la altura total de 54 metros y el eje horizontal C como se muestra en la figura H.6:



Figura H.6: Cálculo de Beta.

(AutoCAD, 2020)

$$\text{Beta} = \sqrt{159.06^2 - 54^2} = 167.97 \text{ metros [33]}$$

Para la longitud de la tubería Gamma no hace falta ningún cálculo, como se ha mencionado anteriormente, será la misma que la del tramo 4, Gamma = 1 metro.

Cálculo del ángulo de los codos:

Los dos codos medirán lo mismo. El ángulo que forman la tubería Beta con el eje horizontal se calcula mediante trigonometría básica mostrando los resultados en la figura H.7:

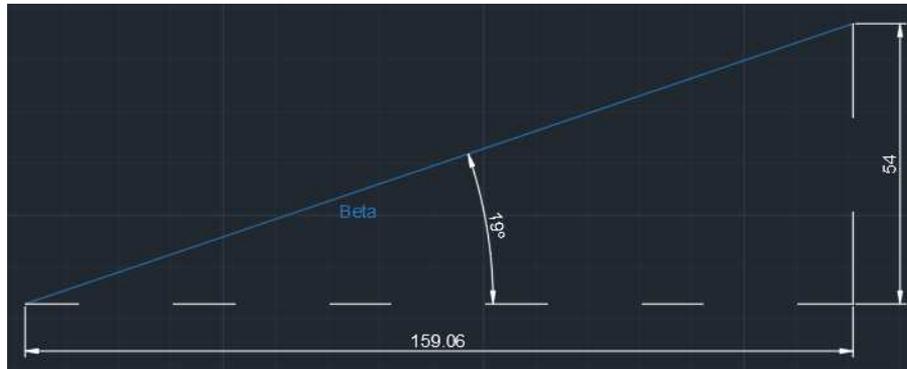


Figura H.7: Cálculo del ángulo con el eje horizontal.

(AutoCAD, 2020)

$$\tan^{-1} \frac{54}{159'06} = \theta_H = 18'74^\circ \approx 19^\circ [34]$$

Una vez se tiene el ángulo que forman Beta y C, se le restan 180° , obteniendo de este modo el ángulo del codo entre las tuberías Alpha y Beta ilustrado en la siguiente figura.



Figura H.8: Cálculo del ángulo del codo.

(AutoCAD, 2020)

$$\theta_{codo} = 180^\circ - 18'74^\circ = 161'26^\circ [35]$$

El codo calculado en apartado anterior corresponde al de las tuberías Alpha y Beta, este codo tendrá la misma curvatura que el codo formado por las tuberías Beta y Gamma.

Se recogen todos los resultados de las longitudes del sistema de tuberías y curvaturas de los codos en la tabla H.1.

Nombre	Medida
Tubería Alpha	59.75 m
Tubería Beta	167.97 m
Tubería Gamma	1 m
Codos	161.26 °

Tabla H.1: Medidas del sistema de tuberías.

Diámetro óptimo:

Para el sistema de captación y el posterior cálculo del diámetro óptimo de las tuberías, conviene hacerse una idea del caudal necesario que se va a requerir. Para ello, se realiza un pequeño estudio del caudal necesario en el *Anexo D: Estudio del caudal necesario*, dando como resultado un caudal inicial (Q_0) de $Q_0 = 36 \frac{m^3}{día} = 0.002 \frac{m^3}{s}$.

Una vez se dispone de un caudal de partida, se realiza un balance de energía mecánica al sistema de captación entre la superficie del embalse (1) y la del embalse (2).

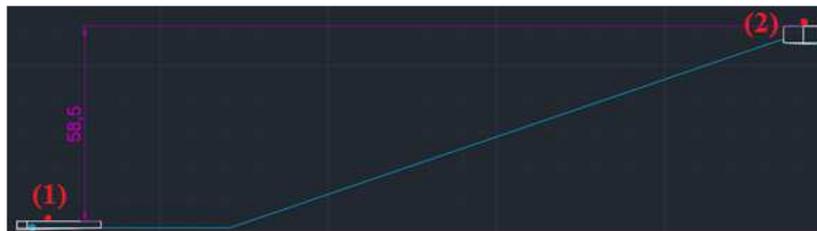


Figura H.9: Diferencia de altura entre embalses.

(AutoCAD, 2020)

Los puntos sobre los cuales se realiza el balance son el 1 y el 2, que representan las superficies de los embalses 1 y 2 en la figura H.9.

$$\Delta Z * g + \left(\frac{v_2^2}{2 * \alpha_2} - \frac{v_1^2}{2 * \alpha_1} \right) + \frac{(P_2 - P_1)}{\rho} + \Delta F = \tilde{w} \quad [36]$$

La ecuación [36] es la del balance de energía mecánica donde se tiene en cuenta la energía potencial, cinética, de flujo, las pérdidas de energía por rozamiento y la energía aportada por la máquina.

En la tabla 2.7.1.3 se tienen los siguientes datos del sistema de captación representado en la figura 2.7.1.10 para los cálculos de la ecuación [36]:

ΔZ	58.5 m
g	$9.81 \frac{m}{s^2}$
$v_1 = v_2$	$0 \frac{m}{s}$
$P_1 = P_2$	1 atm
$\alpha_1 = \alpha_2$	1 (Régimen turbulento) 0.5 (Régimen laminar)
ρ	$1000 \frac{kg}{m^3}$
ΔF	Se calcularán a continuación.
\tilde{w}	

Tabla H.2: Datos de la ecuación [36].

Las velocidades se consideran nulas debido a que el nivel del agua en los depósitos tiene una velocidad próxima a 0 y como los embalses están abiertos a la atmósfera, las presiones sobre los puntos 1 y 2 son 1 atm. Por tanto, la ecuación [36] del balance queda:

$$58.5 * 9.81 + 0 + 0 + \Delta F = \tilde{w} \quad [37]$$

Las pérdidas de energía mecánica son provocadas por los accidentes (codos, válvulas, etc.) y por el rozamiento del agua con las paredes de la tubería. Así pues, la pérdida total será el sumatorio de las dos pérdidas anteriores:

$$\Delta F = \Delta F_r + \Delta F_{acc} \quad [38]; \quad \Delta F_{acc} = \frac{v^2}{2} * \sum K \quad [39]; \quad \Delta F_r = 2 * f * v^2 * \frac{L}{D} \quad [40];$$

Cada accidente que hay en el recorrido de la tubería supone pérdida de energía, estas pérdidas son equivalentes a la mitad del cuadrado de la velocidad del fluido multiplicado por el sumatorio de las constantes de pérdida de energía (K) de cada accidente, ecuación [39]. Éstas constantes varían según el tipo y geometría del accidente ya sea codos, salidas de cantos vivos, etc.

En este caso los accidentes serán 2 codos de un ángulo de 161.248° de curvatura y respecto al eje horizontal un ángulo de 18.77°. Para hallar la constante de este codo se ha realizado una regresión lineal con diferentes curvaturas y sus constantes.

Accidente	Constantes (K)	Curvatura respecto eje horizontal
Codos de curvatura standard	0.35	45°
	0.75	90°
	1.5	180°

Tabla H.3: Datos para la regresión lineal.

(Carbonell, 2003)

La ecuación de la regresión lineal de la figura H.10 sirve para hallar la constante de los codos del sistema de captación.

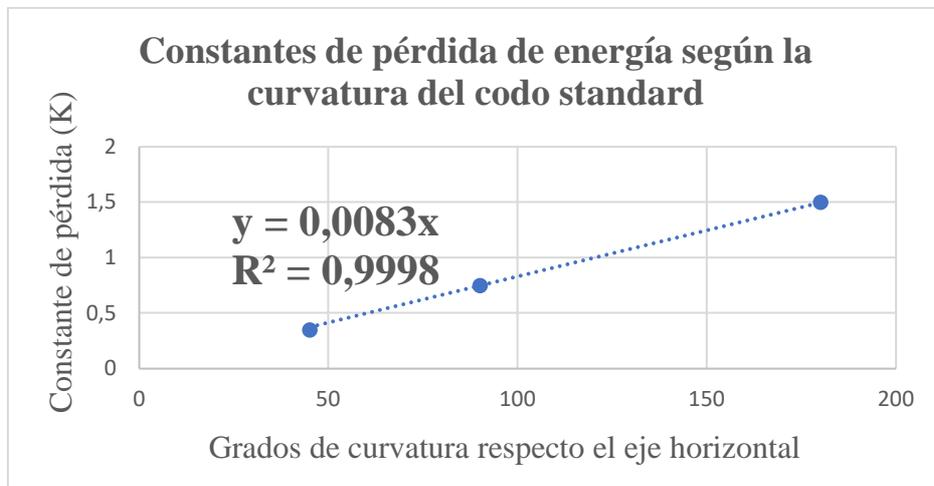


Figura H.10: Gráfica de la regresión lineal.

Al hacer la regresión lineal, da $R^2 = 0.9998$, lo cual significa que la ecuación de la línea de tendencia ($y = 0.0083 * x$) es fiable. De manera que, aplicando los grados del codo respecto el eje horizontal (18.77°) en la ecuación de la línea de tendencia, da como resultado un codo con una constante de pérdida de energía mecánica de $K_{\text{codo}} = 0.1558$. Como existen dos codos de este tipo y suponiendo que habrá una válvula por si existe alguna futura avería, el valor de K total será igual al sumatorio de la constante de cada accidente.

$$K = 2 * K_{\text{codo}} + K_{\text{válvula}} = 2 * 0.1588 + 0.25 = 0.5616 \text{ [41]}$$

La pérdida de energía provocada por los accidentes queda en función de la velocidad a la que circule el fluido:

$$\Delta F_{\text{acc}} = v^2 * 0.5 * (0.5616) = 0.2808 * v^2 \text{ [42]}$$

El caudal es la sección de paso por la velocidad del fluido, su ecuación es:

$$Q = \frac{\pi}{4} D^2 * v \text{ [43]}$$

Despejando la velocidad se obtiene la ecuación [44]:

$$v = \frac{4 * Q}{\pi D^2} \quad [44]$$

Y finalmente, sustituyendo [44] en [42] queda la pérdida por accidentes en función del diámetro de conducción:

$$\Delta F_{acc} = \left(\frac{4*Q}{\pi D^2}\right)^2 * 0.2808 \quad [45]$$

Por otro lado, las pérdidas por rozamiento también dependen de la velocidad de circulación del fluido y del diámetro de la tubería tal y como se indica en la ecuación [40].

$$\Delta F_r = 2 * f * v^2 * \frac{L}{D} \quad [40]$$

Siendo L la longitud total conocida del sistema de captación, y sustituyendo la ecuación [44] en la [40], se obtiene:

$$L = 59.75 + 167.97 + 1 = 228.72 \text{ m} \quad [46]; \quad \Delta F_r = 2 * f * \left(\frac{4*Q}{\pi D^2}\right)^2 * \frac{228.72}{D} \quad [40]$$

Dejando las pérdidas por rozamiento (ΔF_r) en función del factor de Darcy (f) y del diámetro.

La ecuación de Colebrook (1939) es una ecuación implícita en f , pero como su resolución es muy compleja, Moody la representó un diagrama en forma de $4f = \phi(Re; \varepsilon/D)$, donde f depende de la rugosidad del material de la tubería (ε) y del número de Reynolds (Re), con el objetivo de facilitar su cálculo a la hora de diseñar. (Carbonell, 2003)

La ecuación del número de Reynolds es $Re = \frac{D*v*\rho}{\mu}$ [47] y sustituyendo la velocidad por la ecuación [44], Reynolds queda únicamente en función del diámetro:

$$Re = \frac{4 * Q * \rho}{\pi * D * \mu} \quad [48]$$

Una vez se sabe la rugosidad del material (ϵ), el factor de Darcy (f) queda totalmente dependiente del diámetro de la conducción. Se calcularía mediante el diagrama de Moody a continuación:

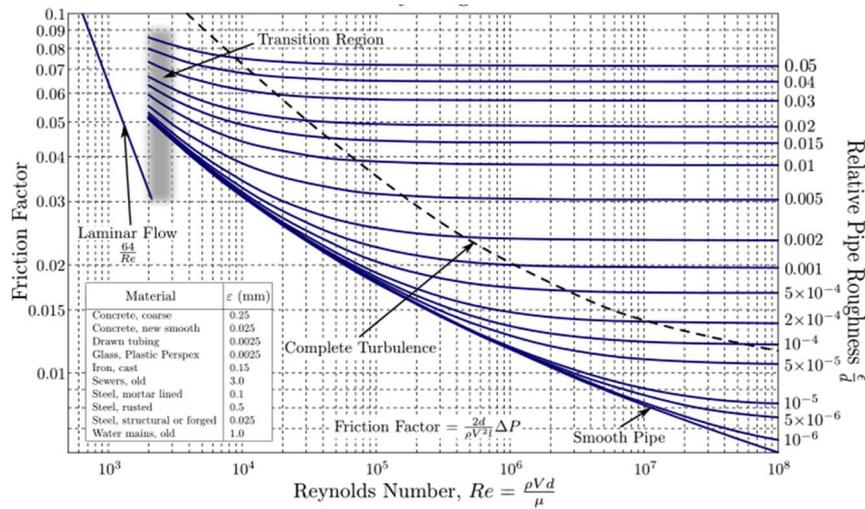


Figura H.11: Diagrama de Moody.

(Carbonell, 2003)

En el diagrama se observa como existen 2 zonas, la de régimen turbulento que está llena de curvas con diferentes rugosidades y la de régimen laminar que es una recta de ecuación:

$$4f = \frac{64}{Re} \quad [49]$$

Como se van a trabajar con varios datos y diferentes materiales con diferente rugosidad, es costosa la resolución de f de manera gráfica, por tanto, se usa un nuevo modelo propuesto por el Dr. Osvaldo Fidel García Morales para la resolución del factor de Darcy (f) para régimen turbulento y la ecuación [49] para el régimen laminar programándolo en el software llamado MatLab. Siendo la ecuación de Coolbroke:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -4 * \lg \left(\frac{\epsilon/D}{3.1065} + \frac{1.257}{Re * \sqrt{f}} \right) \quad [50]$$

El modelo matemático que se propone es el siguiente:

$$f = \left[-2 * \lg \left(\left(\frac{\varepsilon}{D} \right) * 0.2707 - \frac{A_1}{B_1} \right) \right]^{-2} \quad [51]$$

(O. Morales, 2011)

Donde:

$$A_1 = 2.296 * \lg \left[\frac{47.5}{Re^2} + \frac{3.27 * \left(\frac{\varepsilon}{D} \right)^{1.12}}{Re} + \frac{\left(\frac{\varepsilon}{D} \right)^{2.25}}{18.26} \right] \quad [52]$$

$$B_1 = Re * \left[\lg \left(Re^{2.5} * \left(\frac{\varepsilon}{D} \right)^{1.12} \right) \right]^{0.01} \quad [53]$$

Dicho modelo es válido para los siguientes intervalos:

$$[4000 \leq Re \leq 10^8] \quad \text{y} \quad [5 * 10^{-2} \leq \varepsilon/D \leq 10^{-7}]$$

Se ha programado la siguiente línea de código para calcular el factor de rozamiento con respecto la rugosidad del material de la conducción y diferentes diámetros dependiendo del régimen de circulación por las tuberías.

```
e = input ('Rugosidad del material: ');
D = input ('Diámetro interno de la tubería (mm): ');
d = D/1000;
Q = input ('Caudal de circulación en m3/s: ');
L1 = length (e);
L2 = length (D);
c1 = 1;
M = zeros (L1*L2,4);
for L = (1:L1)
    for c = (1:L2)
        r = e(L)/D(c);
        Re = (4000 * Q)/(pi * 0.1 * d(c));
        if Re > 2300 %Regimen turbulento.
            A = 2.296 * log10((47.5/(Re^2))+((3.27*(r^1.12)))/Re +
(r^2.25)/18.26);
            B = Re * (log10((Re^2.5)*(r^1.12)))^0.01;
            f = (-2 * log10(r * 0.2707-(A/B)))^-2;
            M(c1,4) = 1;
        elseif Re < 2300 %Regimen laminar.
            f=(64/(4*Re));
            M(c1,4) = 0;
        else
            f=0
        end

        M(c1,1) = e(L);
        M(c1,2) = D(c);
        M(c1,3) = f;
        c1 = c1 +1;

    end

end

disp (M)
```

(Matlab, 2020)

Mediante el programa en Matlab, se obtiene una matriz llamada (M) donde la primera columna es la rugosidad del material, la segunda es el diámetro propuesto y la tercera columna es el valor del factor de Darcy, también llamado factor de fricción, calculado.

La ecuación de las pérdidas de energía mecánica por rozamiento también queda dependiente del diámetro, así como la pérdida total de energía:

$$\Delta F = 2 * f * \left(\frac{4 * Q}{\pi D^2}\right)^2 * \frac{228.72}{D} + \left(\frac{4 * Q}{\pi D^2}\right)^2 * 0.2808 \quad [54]$$

El trabajo necesario por unidad de masa que habría que aplicarle al sistema para transportar el agua de un embalse a otro sería el calculado en la ecuación [55] aplicando los datos anteriores de la tabla H.2 y las ecuaciones de pérdida de energía:

$$\left(\frac{J}{kg}\right) \tilde{w} = 9.81 * 58.5 + 4 * f * \left(\frac{4 * Q}{\pi D^2}\right)^2 * \frac{228.72}{D} + \left(\frac{4 * Q}{\pi D^2}\right)^2 * 0.2808 \quad [55]$$

$$\tilde{w} \left(\frac{kJ}{kg}\right) = \frac{W(kJ)}{m \left(\frac{kg}{s}\right)} = \frac{W(J) * 1000}{Q \left(\frac{m^3}{h}\right) * (\rho \approx 1000) \left(\frac{kg}{m^3}\right) * \frac{1h}{3600 s}} \quad [56]$$

$$W(kW) = \frac{Q}{3600} * \left(529.74 + 4 * f * \left(\frac{4 * Q}{\pi D^2}\right)^2 * \frac{228.72}{D} + \left(\frac{4 * Q}{\pi D^2}\right)^2 * 0.2808\right) \quad [57]$$

Sabiendo que el precio de la electricidad durante el día, de media es alrededor de $0.1 \left(\frac{\text{€}}{kW * h}\right)$.

$$C_{\text{ste operativo}} \left(\frac{\text{€}}{h}\right) = 0.1 \left(\frac{\text{€}}{kW * h}\right) * W(kW) \quad [58]$$

Contando con que se va a operar 8 horas al día y que de media un mes tiene 30 días, la ecuación [58] queda como coste operativo al mes en la ecuación [59]:

$$C_{\text{ste operativo}} \text{ al mes } (\text{€}) = 30 \text{ días} * 8 \left(\frac{h}{\text{día}}\right) * 0.1 \left(\frac{\text{€}}{kW * h}\right) * W(kW) \quad [59]$$

Como se puede comprobar, a más diámetro de tubería, menos rozamiento y pérdidas de carga existen y, como consecuencia, el trabajo necesario para transportar el fluido de un embalse a otro disminuye. Este trabajo lo realizaría una bomba hidráulica la cual tendría un gasto de energía, es lo que se llama coste operativo.

Hay que tener en cuenta que, a mayor diámetro de conducción, también implica mayor gasto de material, lo que se traduce como coste fijo. Este coste aumenta cuanto mayor es el

diámetro de la tubería. La fórmula que represente el volumen de material utilizado para la tubería es la siguiente:

$$V = \frac{\pi}{4} * l * (D_e^2 - D_i^2) \quad [60]$$

Siendo l la longitud de la tubería, D_e diámetro externo y D_i diámetro interno. Tomando la longitud de la tubería como la longitud total del sistema de captación ($l = 220,78$ m), la ecuación [60] queda:

$$V(m^3) = \frac{\pi}{4} * 220.78 * (D_e^2 - D_i^2) \quad [61]$$

Teniendo el precio de material como $Precio \left(\frac{\text{€}}{\text{kg}}\right)$ y su densidad $\rho_{material} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$.

El coste fijo se calcularía mediante la ecuación [62]:

$$Coste \text{ fijo } (\text{€}) = Precio * \rho_{material} * \frac{\pi}{4} * 220.78 * (D_e^2 - D_i^2) \quad [62]$$

Donde el diámetro externo se calcula según el espesor de la conducción dado por el fabricante:

$$D_e(m) = espesor - D_i \quad [63]$$

Se hace una lista de diferentes materiales usados para la construcción de tuberías usando espesores típicos para los diámetros internos elegidos. Usando la ecuación [63] se halla el diámetro externo y, posteriormente, según la densidad y precio del material, se calcula el coste fijo usando la ecuación [62] y usando la rugosidad del material y el diámetro interno se calcula el coste operativo al mes mediante la ecuación [59]. Sumando los dos costes, se halla el coste total.

$$Coste \text{ total } (\text{€}) = Coste \text{ fijo } (\text{€}) + Coste \text{ operativo } (\text{€}) \quad [64]$$

Se representan los costes en el programa de cálculo llamado Excel obteniendo una gráfica similar a la siguiente figura.

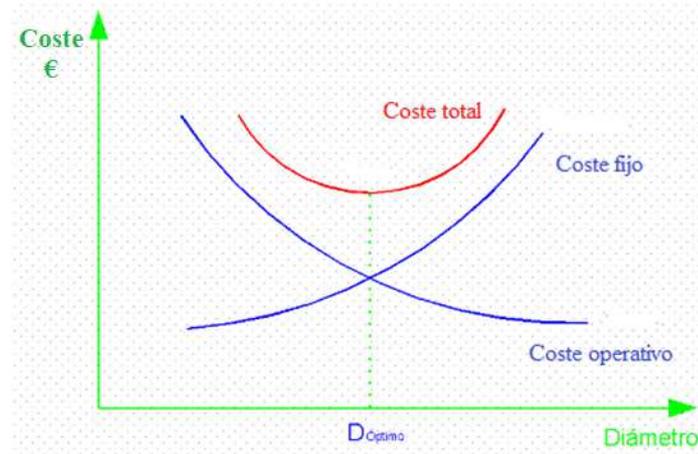


Figura H.12: Gráfica de costes para hallar el diámetro óptimo.

(Salas, A. F., Salas, A. F., Urrestarazu, 2008)

Se hace una lista de materiales más usados en la construcción de tuberías con las rugosidades, precios y densidades de cada uno.

Material	Precio $\left(\frac{\text{€}}{\text{kg}}\right)$	$\rho_{\text{material}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$	Rugosidad, ε (mm)
Acero inoxidable	0.82	8000	0.005
PVC (Policloruro de vinilo)	2.2	1450	0.0015
PE (Polietileno)	1.39	960	0.0015
PP (Polipropileno)	1.21	910	0.007
Acero baja aleación	0.73	7800	0.00015
Fundición dúctil de hierro.	0.304	7150	0.00085

Tabla H.4: Lista de materiales y sus características.

(CES EduPack, 2019)

En la tabla H.5 se tienen diferentes diámetros junto a su espesor para tuberías de acero normalizado:

De (cm)	Di (cm)	Espesor
1,029	0,683	0,346
1,372	0,925	0,447
1,715	1,252	0,463
2,134	1,58	0,554
2,667	2,093	0,574
3,34	2,664	0,676
4,216	3,505	0,711
4,826	4,089	0,737
6,033	5,25	0,783
7,303	6,271	1,032
8,89	7,793	1,097
10,16	9,012	1,148
11,43	10,226	1,204
14,13	12,819	1,311
16,83	15,405	1,425
21,91	20,272	1,638
27,31	25,451	1,859
32,39	30,323	2,067

Tabla H.5: Medidas de tuberías de acero normalizado.

(Carbonell, 2003)

Se escogen las medidas de tuberías de acero normalizado de la tabla H.5 como referencia para realizar los cálculos. Aunque no sean el mismo material, los diámetros no suelen variar, suele variar el espesor de la tubería por razones de resistencia mecánica frente a la presión que soportan, esto variaría ligeramente los costes fijos, pero no los operativos.

Con las medidas, precios, densidades de los materiales, etc. Se representa en Excel los costes generales de cada material con respecto los diámetros internos para saber cuál sería el material que nos resultaría más barato y sobre qué diámetro oscila el óptimo. Los resultados de los cálculos y las gráficas en Excel se pueden observar en el apartado 2.7. Análisis de soluciones.

Bomba hidráulica.

La bomba centrífuga es una bomba hidráulica cinética. El fluido es acelerado dentro de modo que gana energía cinética y posteriormente se transforma en un aumento de la presión del fluido hacia la salida de la bomba (*Carbonell, 2003*).

- **Carga de la bomba (hb).**

La carga de la bomba debe ser superior, o como mínimo, igual a la carga del sistema. Por ello, haciendo un balance de materia sobre el sistema, se pueden averiguar los requisitos mínimos que necesitaría la bomba centrífuga para el caudal más grande ($Q_0 = 181.8 \text{ m}^3/\text{d} = 1.01 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$).

Dividiendo por la gravedad la ecuación [37], se obtiene la carga de la bomba y la carga del sistema.

$$h_b = \frac{\tilde{w}}{g} = \frac{58.5 * 9.81 + \Delta F_{acc} + \Delta F_r}{g} = h_s \text{ [64]}$$

$$h_s = 58.5 + \frac{\Delta F_{acc} + \Delta F_r}{9.81} \text{ [65]}$$

$$h_s = 58.5 + \frac{202.23}{9.81} = 79.11 \text{ metros} \approx h_b \text{ [66]}$$

Teniendo en cuenta el caudal ($1.01E - 2 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$), el diámetro interno (15.405 cm) y la rugosidad del polipropileno ($\varepsilon = 0.007 \text{ mm}$), se obtienen las pérdidas de energía y, por tanto, se calcula la carga del sistema. Una vez se obtiene la carga del sistema se puede saber el requisito mínimo de carga que necesitaría la bomba hidráulica.

$$h_b = \frac{W}{Q * \rho} \text{ [67]}$$

$$59.062 \text{ metros} = \frac{\frac{W}{1.01 * 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s} * 1000 \text{ kg}/\text{m}^3}}{9.81 \text{ m}/\text{s}^2} \quad [67]$$

$$W = 7.83 \text{ kW}$$

Cuando se ha calculado la carga, se obtiene la potencia necesaria, que es el primer requisito de la bomba ya calculado anteriormente, el segundo requisito es la carga de la bomba (h_b). Como ninguna bomba centrífuga opera al 100% de su rendimiento, es mejor tomar un valor por encima de la carga y una potencia por encima de la que necesita el sistema. Para el caudal inicial de $36 \text{ m}^3/\text{d} = 2\text{E-}3 \text{ m}^3/\text{s}$, se necesitará una potencia de 1.16 kW. La bomba hidráulica elegida en el *Anexo F: Equipos y sus características* tiene una potencia de 8.3 kW, usando la ecuación [38] se tiene el rendimiento al que operaría la bomba.

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{1.16}{8.3} * 100 \approx 14\% \quad [68]$$

Usando el caudal del inicio del proyecto, el rendimiento sería de aproximadamente un 14%. Teniendo en cuenta que para el caudal futuro de $1.01\text{E-}2 \text{ m}^3/\text{s}$ se van a usar varias bombas en paralelo.

- **NPSH de la bomba.**

Como último y más importante, el cálculo del NPSH del sistema para compararlo con las curvas de NPSH de la bomba que proporcione el fabricante para el caudal al que se va a operar. Si la carga de aspiración total de la bomba es mayor al que hay disponible en el sistema, podría producirse el fenómeno de la cavitación al originarse bolsas de gas. Esto desembocaría en ruidos de cañerías y aumento de las vibraciones haciendo que la bomba se vacíe de líquido y finalmente averiarse (*Carbonell, 2003*).

$$NPSH_{disp} = (z_1 - z_3) + \frac{1}{9.81} * \left(\frac{P_1 - P_v}{\rho} + \frac{V_1^2}{2 * \alpha_1} - \Delta F_{asp} \right) \quad [69]$$

Para el cálculo del NPSH disponible, se realiza un balance de energía entre el punto (1), ya mostrado en el balance de energía mecánica del sistema de captación (figura H.9), y el punto (3) que se sitúa justo antes de la bomba hidráulica.

La pérdida de carga en la zona de aspiración (ΔF_{asp}) varía según donde se vaya a instalar la bomba, por ello se deja en función de la longitud. Durante los primeros 59.75 metros correspondientes a la tubería Alpha, no habrá ningún accidente, con lo que solo existirán pérdidas de energía mecánica por el rozamiento.

$$\Delta F_{asp} = \Delta F_r = 2 * f * v^2 * \frac{L}{D} \quad [70] \qquad \Delta F_{acc} = \frac{v^2}{2} * \sum K = 0 \quad [39]$$

Para el cálculo de la presión de vapor del agua (P_v), al haber mucha variación de la temperatura del agua natural durante la temporada de regadío, se va a tomar la temperatura más alta para calcular el NPSH más pequeño, con el objetivo de que haya suficiente NPSH como para no entrar en zona de cavitación.

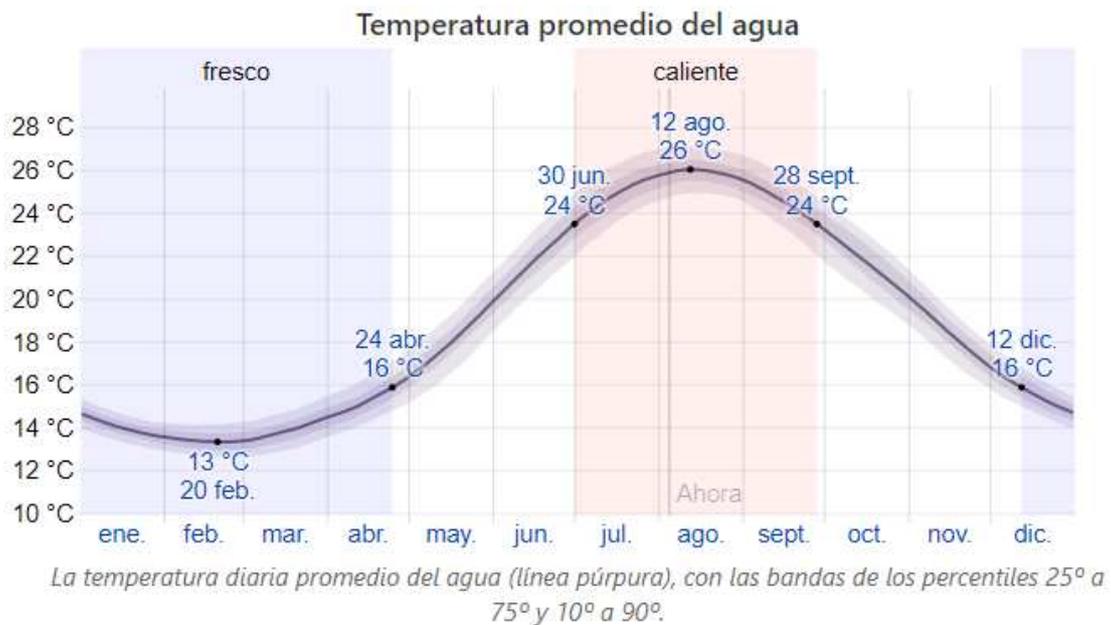


Figura H.13: Gráfica de la temperatura del agua natural.

(Weather Spark, 2019)

Siendo la temperatura más alta de 26°C, la presión de vapor del agua a esta temperatura es:

$$P_v^{\circ}(26^{\circ}C) = 25.2 \text{ torr} = 33597.24 \text{ Pa} \quad [71]$$

Una vez se tiene la presión de vapor y las pérdidas de energía mecánica se procede al cálculo del NPSH del sistema, es decir, el NPSH disponible.

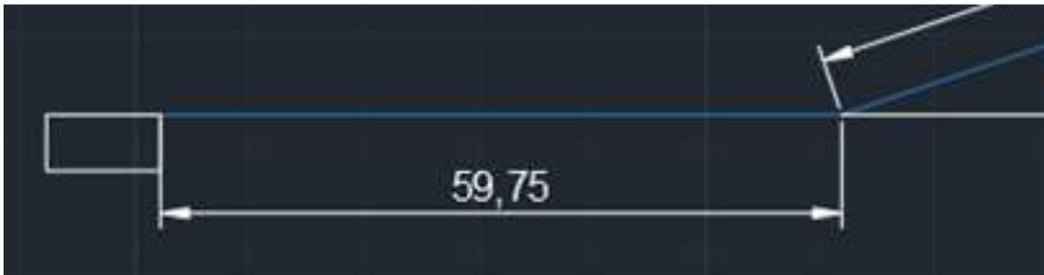


Figura H.14: Zona de aspiración para el cálculo de NPSH disponible.

(AutoCAD, 2020)

Se opera sobre la tubería Alpha, de longitud máxima ($L = 59.75$ metros). Como no existe elevación ninguna entre el punto (1), y el punto (3) situado en función de dicha longitud, la diferencia de altura será nula ($\Delta z = 0$). La ecuación [72] queda:

$$NPSH_{disp} = \frac{1}{9.81} * \left(\frac{101325 - 33597.24}{1000} - 1.4169 \right) = 6.76 \quad [72]$$

Dado que el NPSH es bastante alto en la zona sin altura, se puede elevar un poco la bomba en el pie de la ladera. Por comodidad de trabajo, la bomba se puede instalar a unos metros del interior de la ladera como se muestra en la figura H.15, donde existe una elevación de 2.45 metros. NPSH disponible será:

$$NPSH_{disp}(L = 67.3738) = 2.4821 + \frac{1}{9.81} * \left(\frac{101325 - 33597.24}{1000} - 1.65 \right) = 4.29$$

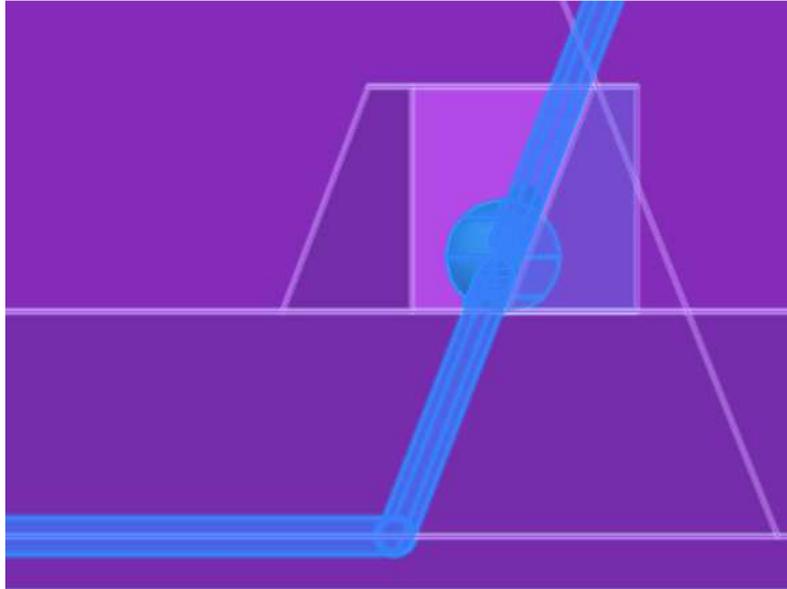


Figura H.15: Disposición de la bomba.

(AutoCAD, 2020)

El NPSH disponible varía linealmente con la longitud a la que se coloque la bomba respecto al punto (1), por tanto, si por alguna razón se necesita situar la bomba más alejada del embalse, se puede conocer el NPSH en cualquier momento según que longitud, mediante las ecuaciones [73] o [74]:

$$NPSH_d = -0.0025 * L(m) + 6.904 [L \leq 59.75 \text{ m}] [73]$$

$$NPSH_d = -0.3242 * L(m) + 26.13 [L > 59.75 \text{ m}] [74]$$

La variación del NPSH con la longitud de la instalación de la bomba está representada en la gráfica E.16.

Debido a que el transporte de agua del Barranc de la Font al embalse (1) es mucho menos exigente tanto en carga, potencia, como en NPSH comparándolo con el transporte del embalse (1) al embalse (2), se puede usar otra bomba del mismo tipo que la instalada para la elevación del agua.

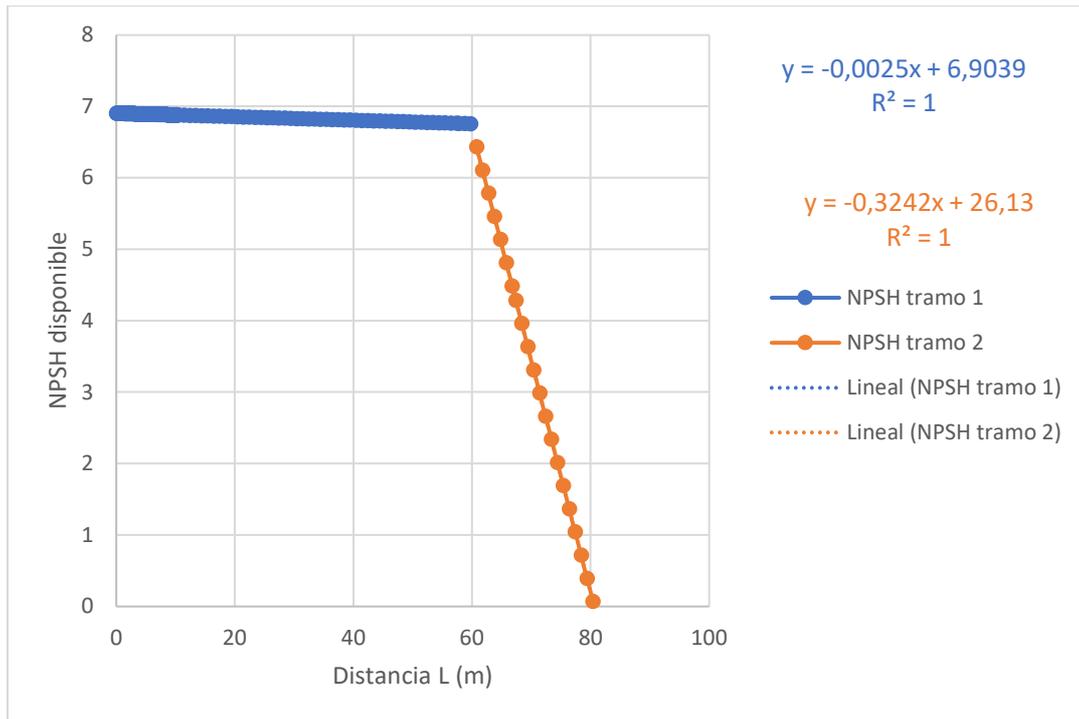


Figura H.16: Variación del NPSH disponible conforme la longitud (L).

Embalses.

Los embalses sirven para la acumulación del agua, uno de ellos antes de la captación donde se acumulará agua natural y el otro en la zona más alta del sistema de captación. El primero tiene que ser de un volumen considerable, ya que va a acumular agua de lluvias, agua natural del Barranc de la Font y el agua que se derrita de la nieve en invierno.

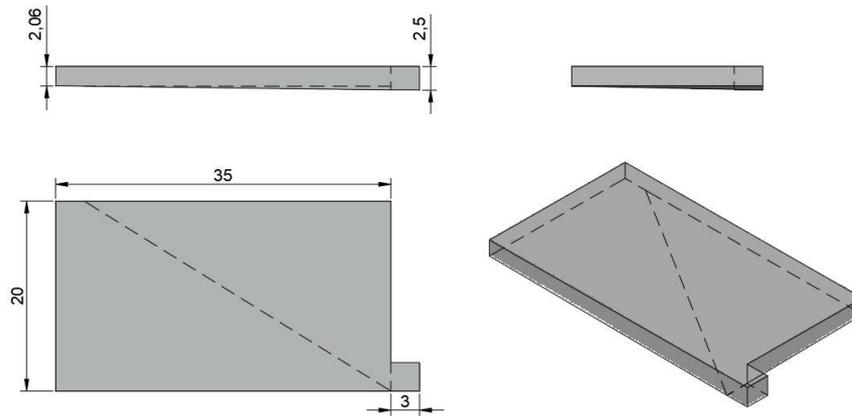


Figura H.17: Boceto del embalse 1.

(AutoCAD, 2020)

En la figura H.17 se aprecia el boceto del embalse 1 dibujado en el software para dibujo AutoCAD, cuyas dimensiones se muestran en dicho boceto, teniendo una capacidad máxima para almacenar aproximadamente 1650 m³ de agua. La superficie del fondo está inclinada en dirección descendente hacia la parte cuadrada que sobresale, esto se debe a que interesa que el agua se acumule en esta parte ya que es donde se encuentra la tubería conectada a la bomba hidráulica destinada a elevar el agua al embalse (2).

El precio del embalse se estima comparando la relación volumen y precio de otros embalses como el del embalse de Zaratamo, Bilbao. Siendo el volumen de este último de 0.014 hm³, el embalse 1 supone una capacidad del 0.0118% al de Zaratamo, por tanto, el precio de éste se multiplica por el porcentaje para realizar una estimación dando como valor 7071 € (Ayto. Zaratamo, 2014).

Respecto al segundo embalse, embalse (2), está situado a una altura más elevada y es de dimensiones más reducidas. Dado que se va a regar cada dos semanas, el volumen del depósito será de 550 m³ y la base tendrá forma cónica inversa con el fin de aprovechar la

diferencia de presión del nivel de agua para la distribución sin necesidad de una bomba hidráulica.

El volumen total del embalse (2) será el volumen del cilindro más el del cono inverso como se expresa en la ecuación [44].

$$V_t = \pi * (r^2) * H + \frac{1}{3} * \pi * (r^2) * h \quad [75]$$

Siendo la altura del cilindro ($H = 3.42$ m) y la altura del cono ($h = 0.3$ m), se despeja el radio de la fórmula [44] para que dé un volumen de 550 m^3 y se obtiene un radio de ($r = 7.05$ m).

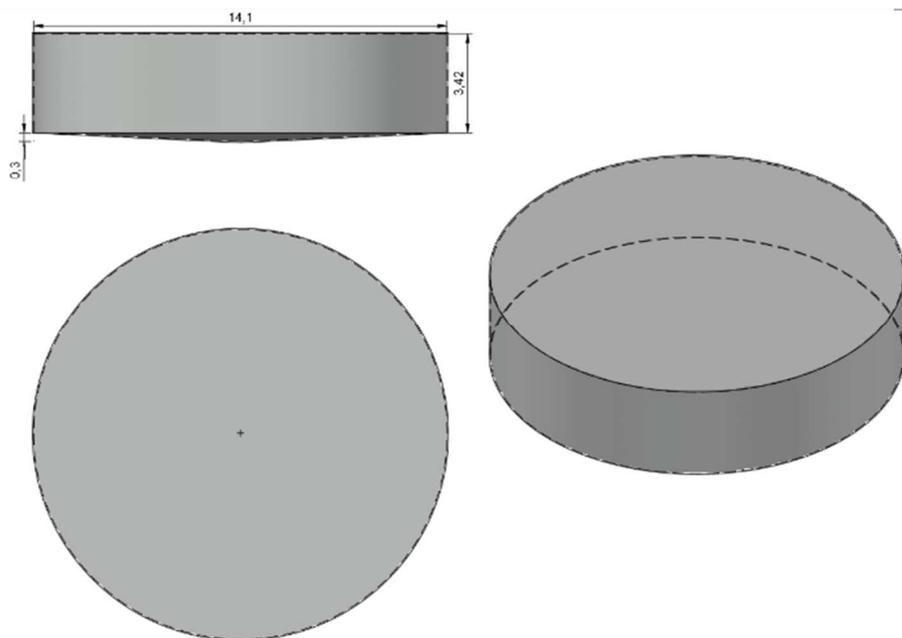


Figura H.18: Boceto del embalse 2.

(AutoCAD, 2020)

Los materiales de los que se suelen componer los depósitos de grandes capacidades deben tener gran resistencia mecánica como los metales, un material metálico muy usado para silos de grandes dimensiones es el acero galvanizado y ondulado, con un recubrimiento tipo Z600. La superficie del acero se cubre de 600 gramos de Zinc por cada metro cuadrado de

superficie, esto se debe a que obtiene resistencia a la oxidación por el agua, después de aplicarle el Zinc (*SSAB, 2020*).



Figura H.19: Ejemplo de silo de grandes dimensiones para almacenar agua.

(Metalmen, 2020)

ANEXO I: CÁLCULOS DE LA ETAP.

Filtro de arena.

La filtración es una etapa de separación donde los sólidos en suspensión se separan del fluido. Esta operación básica está basada en la interposición de un lecho poroso llamado torta, el cual actúa de medio filtrante y retiene los sólidos (V. Sanz, 2019).

Según la ley de Darcy, el caudal que circula por el lecho y la caída de presión se relacionan linealmente mediante la ecuación [76]:

$$\Delta P = \frac{\mu * L}{K_p * A} * Q \quad [76]$$

Siendo **L** (m) el espesor del lecho poroso, **A** (m²) la sección de paso y **K_p** (m²) una constante del lecho denominada coeficiente de permeabilidad (V.Sanz, 2019) . Debido a que este parámetro se haya experimentalmente en el laboratorio, no se puede conocer a priori, sin embargo, el fabricante realiza una gráfica de las pérdidas de carga en función del caudal las cuales facilita los cálculos.

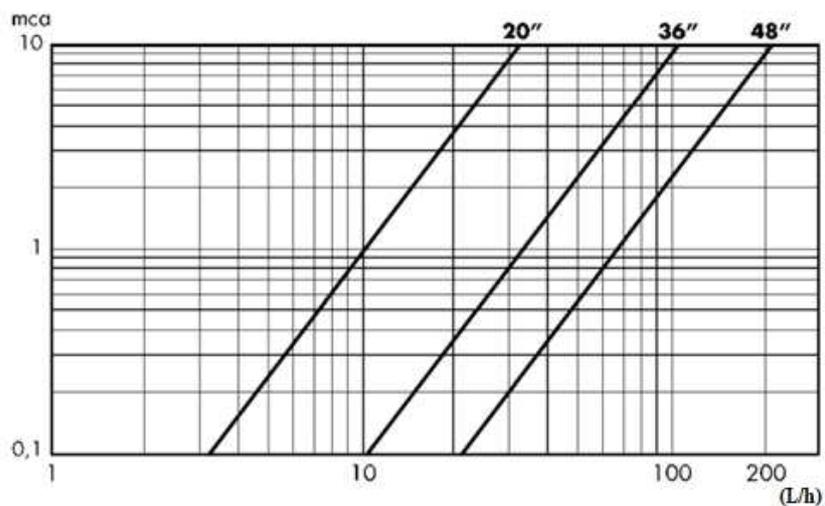


Figura I.1: Pérdidas de carga frente a caudal de paso.

(Regaber s.a., 2019)

Como se comprueba en el *Anexo f: Equipos y características*, se opta por instalar el filtro 48'' de Crepinas, debido a que el intervalo de caudal en el que puede operar es de 18 a 70 L/h y el caudal para un consumo humano de agua es de $1.6 \text{ m}^3/\text{día} = 66.67 \text{ L/h}$.

El caudal que pasará por el filtro está dentro del intervalo de trabajo del equipo. Se anotan de la figura I.1 puntos y se representan en el software Excel para hallar una línea de tendencia potencial y obtener la ecuación [47].

Q(L/h)	ΔP(mca)
200	9
100	1.9
60	0.9
50	0.55
30	0.2

Tabla I.1: Diámetro medios de partículas en ríos.

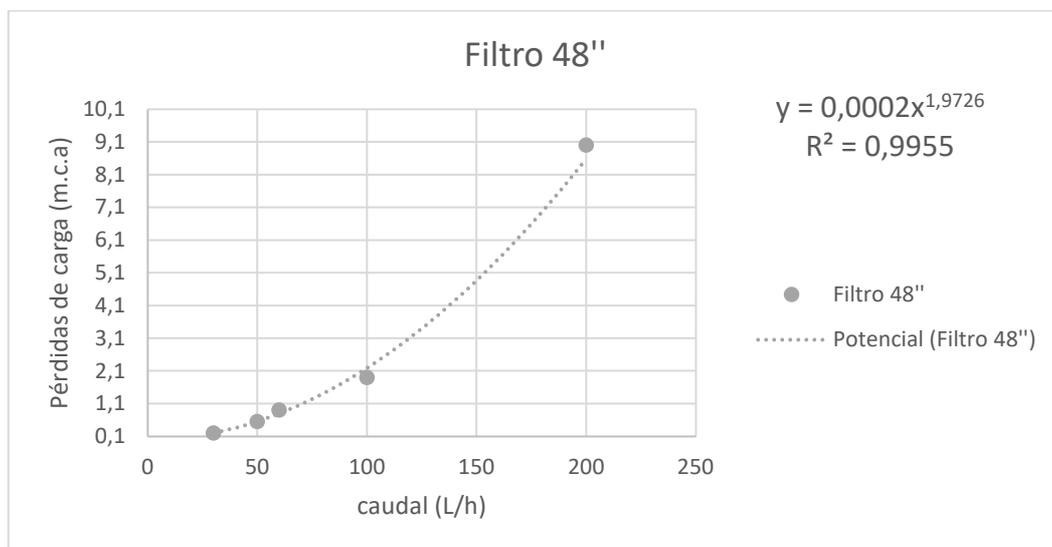


Figura I.2: Tendencia lineal de las cargas para cada filtro.

En la figura I.2. se adquiere la ecuación de la recta, sustituyendo el caudal en la ecuación de la recta se obtiene la pérdida de carga del filtro.

$$\Delta P(Pa) = \left(2 * 10^{-4} * Q \left(\frac{L}{h} \right)^{1.9726} \right) * \frac{9806.38 Pa}{1m.c.a} \quad [77]$$

Realizando un balance de materia entre la entrada y salida del filtro de arena y despejando las pérdidas de energía mecánica se obtiene la ecuación [78]:

$$\Delta F = \Delta z * 9.81 + \frac{\Delta P(Pa)}{\rho} \quad [78]$$

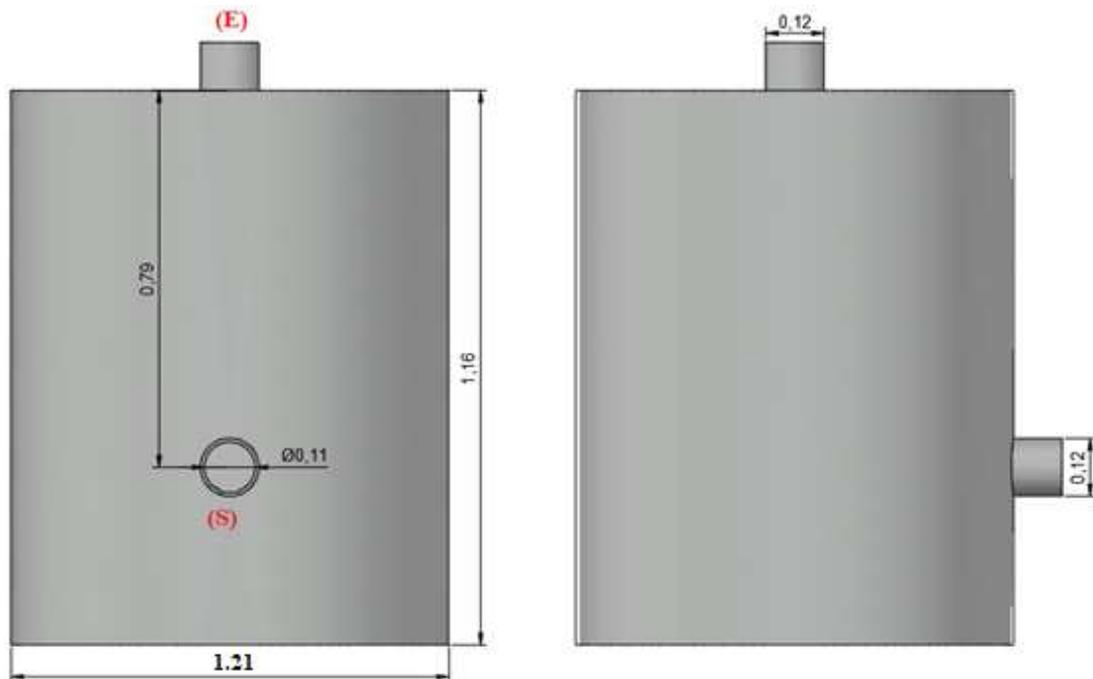


Figura I.3: BEM en los puntos E (entrada) y S (salida).

(AutoCAD, 2020)

La distancia entre los puntos de entrada al filtro y su salida es de $\Delta z = 0.816$ metros como se indica en la figura anterior. Sustituyendo los datos de caída de presión y altura en la ecuación [78] se obtienen las pérdidas de energía mecánica provocadas por el filtro según el caudal.

$$\Delta F_{filtro} = 8.005 + 9.806 * \left(2 * 10^{-4} * Q \left(\frac{L}{h} \right)^{1.9726} \right) \quad [78]$$

Por tanto, una vez calculadas las pérdidas por el filtro, se sumarían a las pérdidas por rozamiento con las paredes de la conducción y las pérdidas por accidentes para hallar la pérdida total de energía mecánica.

$$\Delta F = \Delta F_{acc} + \Delta F_r + \Delta F_{filtro} \quad [79]$$

Con la instalación del filtro de arena se asegura el cumplimiento del artículo 10.1 del real decreto especificado en el *Anexo A: Real decreto de agua para consumo humano*. Donde, en caso de superar una turbidez de 1 unidad Nefelométrica de Formacina (UNF), las autoridades sanitarias obligarían a realizar la instalación de un filtro para disminuir dicha turbidez.

Caudal de circulación según diámetro de conducción.

Para saber que caudal circulará hasta las viviendas se debe elegir un diámetro de conducción y realizar, mediante las ecuaciones del BEM, varias iteraciones para hallar el caudal real de circulación según el diámetro elegido.

Se van a usar los mismos diámetros de los cálculos para el sistema de captación ya que son una buena referencia. Para cada diámetro se calculará un caudal mediante iteraciones y se decidirá que diámetro es mejor según el caudal que vaya a circular. Tal como se indica en el *Anexo D: Estudio de caudal necesario*, el caudal tiene que llegar a 1.6 m³/día para abastecer las necesidades de las 4 viviendas tanto higiénicas como de consumo.

Para la iteración, se van a utilizar las siguientes ecuaciones y, para una mejor visión de la iteración, se va a exponer en la figura I.3 los puntos sobre los cuales se va a realizar el balance de energía mecánica (BEM).

Se parte de la ecuación [80] ya usada anteriormente:

$$\Delta Z * g + \left(\frac{v_3^2}{2 * \alpha_3} - \frac{v_2^2}{2 * \alpha_2} \right) + \frac{(P_3 - P_2)}{\rho} + \Delta F = \tilde{w} \quad [80]$$

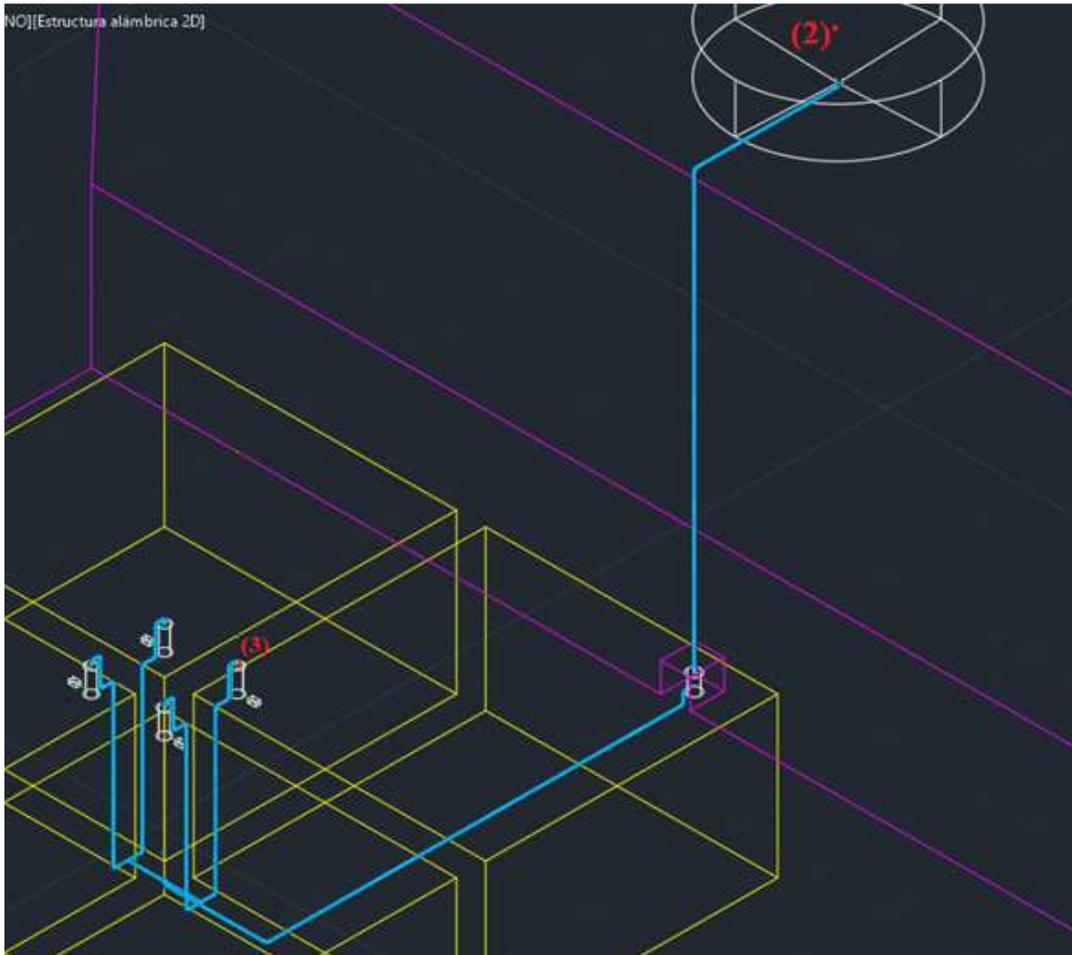


Figura I.4: Ubicación de los puntos (2) y (i).

(AutoCAD, 2020)

Debido a que el punto (2), está más elevado que el punto (3), el incremento de ΔZ es negativo (-22.52 m). La velocidad del punto (2) es cercana a 0 ya que corresponde a la velocidad del nivel de agua en el embalse (2), la velocidad en el punto (3) se calcula mediante la ecuación [15] en función del diámetro de tubería y el caudal. La diferencia de presión es nula ya que los dos puntos se encuentran a presión atmosférica (1 atm). Al no encontrarse ninguna bomba hidráulica la cual ejerza trabajo, este será nulo ($w = 0$). Aplicando las hipótesis realizadas en el balance de materia, la ecuación [80] queda tal que:

$$(-22.52 * 9.81) + \left(\frac{v_3^2}{2 * \alpha_3} \right) + \Delta F = 0 \quad [81]$$

Una vez se realiza el BEM, se obtiene la ecuación [81], la cual, despejando las pérdidas de energía por rozamiento, da lugar a la siguiente expresión:

$$b = \Delta F_{BEM} = (220.9212) - \left(\frac{v_3^2}{2 * \alpha_3} \right) \quad [82]$$

Usando la ecuación [82] se puede calcular las pérdidas de energía mecánica mediante el balance, estas pérdidas se llamarán (b) en el programa de iteración de Matlab. A continuación, se hallan las ecuaciones para el cálculo de pérdidas por energía mecánica mediante cálculos de ecuaciones, llamado (c) para abreviar y usarse en el programa. Al existir bifurcaciones con el mismo diámetro y totalmente simétricas, el caudal se dividirá en 2 partes por cada accidente en T de bifurcación como se muestra en la imagen I.5. En la tabla I.2 se recogen el número de accidentes del recorrido, según el caudal que circule y la constante K de cada accidente y se explica el recorrido que sigue la tubería.

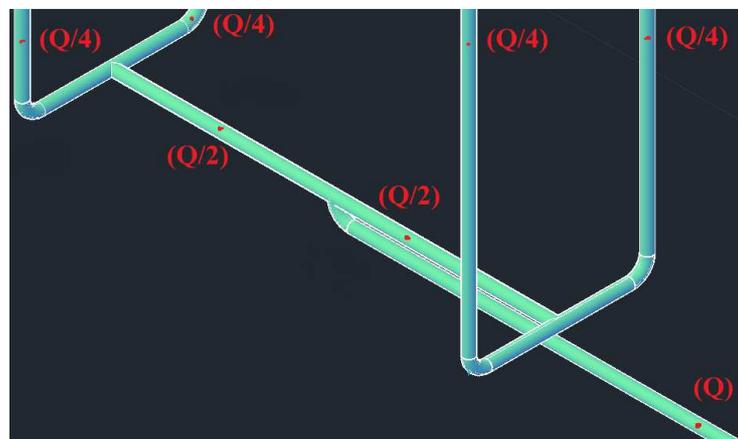


Figura I.5: División del caudal por cada accidente en T.

(AutoCAD, 2020)

En la tabla I.2 se muestra longitudes y accidentes de la tubería del BEM que va del embalse (2) al punto (3). Al presentar bifurcaciones, el caudal se divide como se muestra en la tabla, esto modifica las pérdidas en dichos tramos de la tubería donde el caudal disminuye.

Por ello, se cuentan los accidentes y longitudes según el caudal de dicho tramo. Los accidentes se muestran como [N.º de accidente; constante K] excepto para los cantos vivos donde solo se puede tener 1 entrada o 1 salida y su constante K varía según sea entrada o salida [Entrada (E)/Salida (S); constante K].

Caudal de paso:	Q	Q/2	Q/4
Codo 90° (Nº/K)	6/0.75	0/0	5/0.75
Bifurcación T	1/1	1/1	0
Válvula	1/1	0	0
Cantos vivos	E/0.5	0	S/1
Ktotal	7	1	4.75
Longitud de tubería (m)	76.34	2.5	15.7

Tabla I.2: Accidentes y longitudes según el caudal de la tubería.

Para el cálculo de las pérdidas de energía mediante ecuaciones (c), se va a hacer uso de la ecuación [83]:

$$\Delta F = \Delta F_{acc} + \Delta F_r + \Delta F_{filtro} \quad [83]$$

Como van a existir 3 tramos de la tubería con caudales diferentes, esto afecta a las pérdidas de energía. Por tanto, se calculan las pérdidas para cada tramo usando su caudal correspondiente, sus longitudes y accidentes indicados en la tabla I.2.

Caudal total (Q)

La tubería del BEM circula con el total del caudal desde el embalse (2) hasta la primera bifurcación, recorriendo una longitud de 76.34 metros, pasando por el filtro de arena y varios accidentes mostrados en la tabla I.2. Como resultado se obtienen las siguientes ecuaciones:

La velocidad en cada tramo varía en función del caudal mediante la ecuación [84]:

$$v = \frac{4 * Q}{\pi D^2} \quad [84]$$

-Pérdidas provocadas por accidentes con el caudal total (Q)

Se usa la ecuación [39] para pérdidas por accidentes dando la ecuación [85] como resultado:

$$\Delta F_{acc}(Q) = 0.5 * v_Q^2 * 7 = 3.5 * v_Q^2 \quad [85]$$

-Pérdidas provocadas por rozamiento con el caudal total (Q)

Se hace uso de la ecuación [40] sustituyendo los datos dando lugar a la ecuación [86]:

$$\Delta F_r(Q) = 2 * f_Q * v_Q^2 * \frac{76.34}{D} \quad [86]$$

-Pérdidas provocadas por el filtro de arena:

$$\Delta F_{filtro} = 8.005 + 9.806 * (2 * 10^{-4} * Q(L/h)^{1.9726}) \quad [87]$$

Medio caudal (Q2)

Del mismo modo que para un caudal total, se usan las mismas ecuaciones para un caudal correspondiente a la mitad del anterior, se usan los accidentes y la longitud del segundo tramo que va de la primera bifurcación hasta la segunda y no se utiliza la ecuación de pérdidas provocadas por el filtro puesto que no hay filtro en este tramo.

$$Q_2 = \frac{Q}{2} \quad [54] \rightarrow v_{Q_2} = \frac{v_Q}{2}; \quad [88]$$

Como el caudal se reduce a la mitad y el diámetro de la tubería sigue siendo el mismo, la bifurcación no solo divide el caudal en dos partes iguales, sino que la velocidad también se reduce a la mitad de la inicial.

-Pérdidas provocadas por accidentes con medio caudal (Q2).

Se sustituyen los datos del tramo con caudal Q2 en la ecuación [39] obteniendo la ecuación [89]:

$$\Delta F_{acc}(Q_2) = 0.5 * v_{Q_2}^2 * 1 = 0.5 * v_{Q_2}^2 \quad [89]$$

-Pérdidas provocadas por rozamiento con el caudal total (Q)

Se hace uso de la ecuación [40] sustituyendo los datos para el caudal Q2 dando lugar a la ecuación [90]:

$$\Delta F_r(Q_2) = 2 * f_{Q_2} * v_{Q_2}^2 * \frac{2.5}{D} \quad [90]$$

Como se ha comentado al principio de este apartado, no se calculan las pérdidas provocadas por el filtro de arena ya que no hay ningún filtro instalado en este tramo. A continuación, se repite el mismo proceso, pero dividiendo el caudal de nuevo en 2 partes iguales.

Cuarto de caudal (Q4)

Se repiten las ecuaciones anteriores para un cuarto del caudal total (Q), o, la mitad del caudal anterior (Q2). Este tramo con caudal (Q4) va de la segunda bifurcación hasta el punto (3).

$$Q_4 = \frac{Q_2}{2} = \frac{Q}{4} \quad [58] \rightarrow v_{Q_4} = \frac{v_{Q_2}}{2} = \frac{v_Q}{4}; \quad [91]$$

-Pérdidas provocadas por accidentes con un cuarto de caudal (Q4).

$$\Delta F_{acc}(Q_4) = 0.5 * v_{Q_4}^2 * 4.75 = 1.875 * v_{Q_4}^2 \quad [92]$$

-Pérdidas provocadas por rozamiento con el caudal total (Q)

Se hace uso de la ecuación [40] sustituyendo los datos para el caudal Q4 dando lugar a la ecuación [93]:

$$\Delta F_r(Q_4) = 2 * f_{Q_4} * v_{Q_4}^2 * \frac{15.7}{D} \quad [93]$$

Cada una de las ecuaciones anteriores tiene diferente factor de Darcy (f) según el caudal que circule (Q, Q2 o Q4). El cálculo de f se realiza mediante el programa Matlab. Este apartado presenta una línea de código con un programa de cálculo de f, este programa se reescribe como función a continuación:

```
function f = YananFuncion (e, D, Q) %Nombre e introducción de datos.
    r = e/D; %cálculo de e/D;
    Re = (4000 * Q)/(pi * 0.1 * D); %Calculo del N° de Reynolds.
    if Re >= 2300 %Para Régimen turbulento se usa O.Morales.
        A = 2.296 * log10((47.5/(Re^2))+((3.27*(r^1.12)))/Re +
(r^2.25)/18.26);
        B = Re * (log10((Re^2.5)*(r^1.12)))^0.01;
        f = (-2 * log10(r * 0.2707-(A/B)))^-2;
    elseif Re<2300 %Para Régimen laminar se usa la recta.
        f=64/(4*Re);
    end
```

(Matlab, 2020)

Cuando en el programa se llame a la función llamada *YananFuncion*, introducirá los datos de *YananFuncion* (rugosidad del PVC =0.0015mm; diámetro de conducción en m; caudal de circulación m³/s) en este respectivo orden. La función devolverá al programa el valor de *f* como resultado.

Finalmente, para el cálculo de las pérdidas de energía calculadas mediante ecuaciones (c), se hacen los siguientes sumatorios de pérdidas de energía mecánica:

$$A_{total} = \Delta F_{acc} total = \Delta F_{acc}(Q) + \Delta F_{acc}(Q2) + \Delta F_{acc}(Q4) \quad [94]$$

$$R_{total} = \Delta F_r total = \Delta F_r(Q) + \Delta F_r(Q2) + \Delta F_r(Q4) \quad [95]$$

$$c = \Delta F = \Delta F_{acc} total + \Delta F_r total + \Delta F_{filtro} \quad [96]$$

En el programa se muestran las pérdidas de energía totales por accidentes ($\Delta F_{acc} total$) como *Atotal* y las pérdidas totales por rozamiento como *Rtotal*.

Más tarde, una vez se calcula (b) y (c), si el valor de (b) es mayor a (c), el programa sumará un valor llamado *salto* al caudal. En cuanto (c) sea mayor que (b), el programa restará el valor de *salto* al caudal y dividirá el salto por 10 ($salto = \frac{salto}{10}$). De este modo se obtendrá con exactitud de 4 decimales el valor del caudal real que circulará por la tubería en caso de estar con la válvula totalmente abierta.

Para cubrir las necesidades tanto higiénicas como de consumo humano, el caudal resultante tiene que ser mayor a 1.6 m³/día como se indica en el *Anexo D: Estudio de caudal necesario*.

Si el caudal calculado en la iteración fuese menor al necesario para el consumo humano, se optaría por aumentar el diámetro de la conducción y volver a calcular dicho caudal mediante el programa de Matlab.

A continuación, se muestra la línea de código del programa llamado *IteracionCaudal* para el cálculo iterativo del caudal.

```
Qs = input ('Introduce caudal hipotético inicial en L/min: ');
salto = input ('Introduce valor de salto de caudal L/min: ');
D = input ('Introduce valor de diámetro en m: ');
dens = 1000; %Densidad del agua.
visco = 0.1; %Viscosidad del agua.
b = 100;
c = 0;
contador = 1; %Contador de iteraciones.
while contador < 1000 %Tope de bucle de 1000 iteraciones.
    Qs = Qs/60000; %Pasa el caudal a metros cúbicos/segundo.
    %Cálculo de las pérdidas (c) mediante ecuaciones.
    v = (4*Qs)/(pi*(D^2)); %Ecuación de la velocidad con caudal total.
    v2 = (4*0.5*Qs)/(pi*(D^2)); %Ecuación de la velocidad con la mitad
    del caudal.
    v4 = (4*0.25*Qs)/(pi*(D^2)); %Ecuación de la velocidad con un cuarto
    del caudal.
    f = YananFuncion (0.0015, D, v); %Cálculo del factor de Darcy.
    f2 = YananFuncion (0.0015, D, v2);
    f4 = YananFuncion (0.0015, D, v4);
    R = 2*f*(v^2)*(76.34/D); %Cálculo de pérdidas por rozamiento para
    cada caudal de circulación.
    R2 = 2*f2*(v2^2)*(2.5/D);
    R4 = 2*f4*(v4^2)*(15.7/D);

    A = 3.5*v^2; %Cálculo de pérdidas por accidentes para cada caudal de
    circulación.
    A2 = 0.5*v2^2;
    A4 = 1.875*v4^2;
    F = 8.005 + 9.80638*(0.0002*((Qs*3.6*10^6)^1.9726)+0.0765); %Pérdidas
    provocadas por el filtro de arena.

    Rtotal = R + R2 + R4; %Pérdidas totales por rozamiento.
    Atotal = A + A2 + A4; %Pérdidas totales por accidentes.
    c = Rtotal + Atotal + F;
    %Cálculo de las pérdidas (b) por mediante el BEM.
    Re4 = 1000*v4*D; %Cálculo de Alpha para el BEM en el punto (3).
    if Re4>2300
        alpha3 = 1;
    else
        alpha3 = 0.5;
    end

    b = 220.9212 - (v4^2/(2*alpha3));
    Qs = Qs*60000; %Pasa el caudal a L/min.
    contador = contador +1;
    if b>c
        Qs = Qs + salto;
    elseif c>b
        Qs = Qs - salto;
        salto = salto/10;
    end
end

end
```

(Matlab, 2020)

Llamando al programa en el software de Matlab, primero pide un caudal de inicio hipotético para realizar la iteración en L/min. Se elige el caudal de 1600 L/día = 1.11 L/min ya que es el caudal mínimo para abastecer a las viviendas. Lo segundo que pide el programa es un valor para el salto, por ejemplo, el valor de 1 unidad de salto (salto = 1), por último, pide el valor de un diámetro de conducción. El diámetro elegido es de 5.25 cm ($D = 0.0525$ m).

Una vez el programa acaba de iterar, llamando a los valores de las pérdidas de energía del balance, de las ecuaciones y al caudal [(b), (c) y (Qs)], se obtienen el valor de las pérdidas de energía tanto del BEM (b) como calculadas (c) y el caudal (Qs) resultante en L/min.

Si se ordenasen todos los valores de las iteraciones en una gráfica por cada iteración, se obtendría la siguiente imagen que ilustra como el programa ha igualado los valores de las pérdidas b y c a cada iteración:

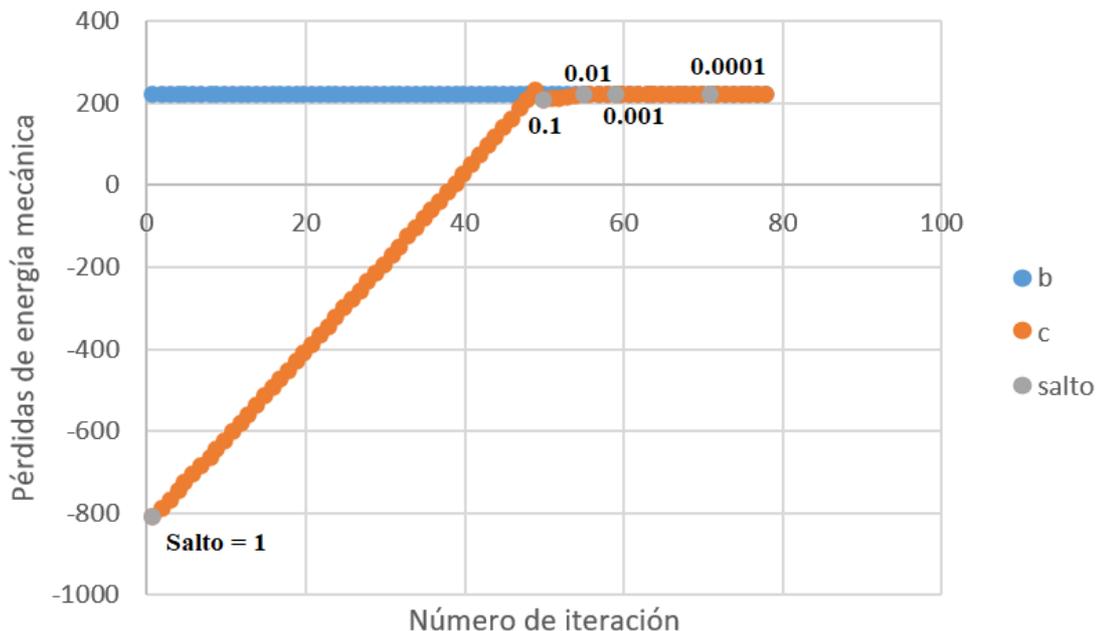


Figura I.6: Representación de las pérdidas de rozamiento hasta 78 iteraciones.

En la figura I.6 se representan los valores de las 78 primeras iteraciones de la línea de código. Donde se cruzan la línea naranja y la azul, es donde coinciden los dos valores de pérdidas

de energía mecánica (b y c). Cada punto gris representa donde el salto se ha dividido por 10 para aproximarse un decimal más al resultado real hasta llegar a 1000 iteraciones.

Dif	$Q_1 \frac{L}{min}$	b	c	$v_i \frac{m}{s}$
0	5.936	220.9211	220.9211	0.0457

Tabla I.3: Valores de la iteración n°1000.

‘Dif’ es la diferencia de las dos pérdidas de energía, el caudal que circula es $Q_1 = 5.936 \frac{L}{min}$.

Los valores finales que devuelve el programa después de hacer 1000 iteraciones se muestran en la tabla I.3. Como el caudal de agua de la iteración es superior al de consumo humano, se podrá suministrar agua a las viviendas sin necesidad de bomba hidráulica. Haciendo uso de una válvula se puede graduar el caudal para obtener 1.6 m³/día.

Dado que la iteración se ha realizado teniendo en cuenta que el embalse (2) estará lleno hasta arriba, se va a realizar otra iteración para comprobar que pasaría si el nivel de agua del embalse (2) estará a un 10 % de su altura.

La altura del embalse es de 3.45 metros, un 10% corresponde a 0.345 metros. Restando este valor a la altura ente los puntos (2) y (3) de la iteración anterior, se modifica la ecuación para el cálculo de pérdidas de energía mediante BEM, ecuación [97]:

$$\Delta Z(\text{embalse (2) lleno}) = -22.52 \text{ metros [98]}$$

$$\Delta Z(10\% \text{ de nivel del embalse (2)}) = -19.415 \text{ metros [99]}$$

$$b(\text{embalse (2) lleno}) = \Delta F_{BEM} = (220.9212) - \left(\frac{v_3^2}{2 * \alpha_3} \right) [100]$$

$$b(10\% \text{ de nivel del embalse (2)}) = \Delta F_{BEM} = (190.4612) - \left(\frac{v_3^2}{2 * \alpha_3} \right) [101]$$

Sustituyendo este valor en el programa y realizando los mismos pasos que la iteración anterior, da un caudal de $5.49 \text{ L/min} = 7.91 \text{ m}^3/\text{día}$, el cual, sigue siendo mucho mayor al de consumo humano.

Para finalizar, es necesario asegurarse de que el agua vaya a fluir con normalidad sin necesidad de bomba hidráulica. Para ello se realiza un BEM entre los mismos puntos del apartado anterior, es decir, la superficie del embalse 2 (punto 2) y la superficie del depósito de una de las viviendas (punto 3).

En este caso se sabe que el caudal será el de consumo humano ($Q_1 = 1.6 \text{ m}^3/\text{día}$). Lo que se pretende calcular es la presión existente en el punto 3, la cual, en caso de ser mayor a la del punto 2, significará que el sistema va a requerir de una bomba hidráulica.

Para realizar este cálculo, se parte de la ecuación [36]:

$$\Delta Z * g + \left(\frac{v_3^2}{2 * \alpha_3} - \frac{v_2^2}{2 * \alpha_2} \right) + \frac{(P_3 - P_2)}{\rho} + \Delta F = \tilde{w} \quad [36]$$

Datos como el trabajo ejercido ($w = 0$), la diferencia de altura entre los puntos (2) y (3) ($\Delta z = -22.52$), la presión en el punto (2) ($P_2 = 1 \text{ atm}$) y las velocidades cercanas al valor 0 ya se saben del balance anterior. Por ello, se despeja la presión del punto (3) (P_3) y se obtiene la ecuación [102]:

$$P_3 = P_2 - \rho * (\Delta Z * g - \Delta F(Q_1)) \quad [102]$$

Para calcular el ΔF con un caudal (Q_1), se utiliza el programa anterior *IteraciónCaudal* pero sustituyendo en la línea de código (`while contador < 1000`) por (`while contador < 2`). Al llamar al programa se inserta el caudal Q_1 y se da un valor de salto de 0.00001. Una vez hecho el cálculo, se llama a la variable (c) que corresponderá al valor de $\Delta F(Q_1)$, dando un valor de $\Delta F(Q_1) = 16.53$. Sustituyendo los datos, se obtiene la presión P_3 .

$$P_3 = 101325 - 10^3 * (220.92 - 16.53) = -103065 Pa = -1.017 atm [103]$$

Como se cumple que $P_3 < P_2$, la ETAP no requiere de bomba hidráulica.

Depósitos en las casas.

Los depósitos deben tener un volumen el cual permita tener un gasto de agua suficiente para 4 personas. Por ello, como cada casa gastaría de media 400 litros diarios, un depósito de 0.8 m³ de volumen sería suficiente para suplir el consumo de agua y tener 400 litros más de reserva por si surgiera algún imprevisto y se tuviese que aumentar el consumo. Para dimensionar el depósito se utiliza la ecuación del volumen de un cilindro:

$$V_d = \pi * (r^2) * H [104]$$

Dando un valor a la altura del depósito (H), aplicando que el volumen del depósito (V_d) es 0.8 m³, se despeja el radio (r) y se dimensiona en el programa AutoCAD. Suponiendo H = 1.7 metros:

$$V_d = \pi * (r^2) * 1.7 = 0.8 m^3 [105]$$

$$r = 0.387 metros [106]$$

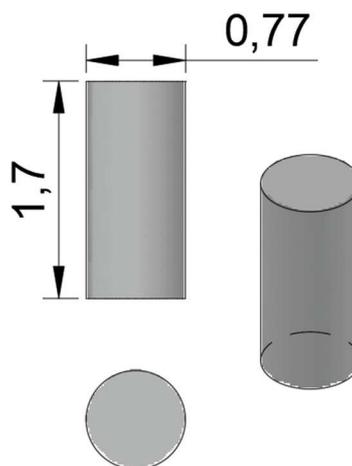


Figura I.7: Depósitos de almacenamiento en las casas.

(AutoCAD, 2020)

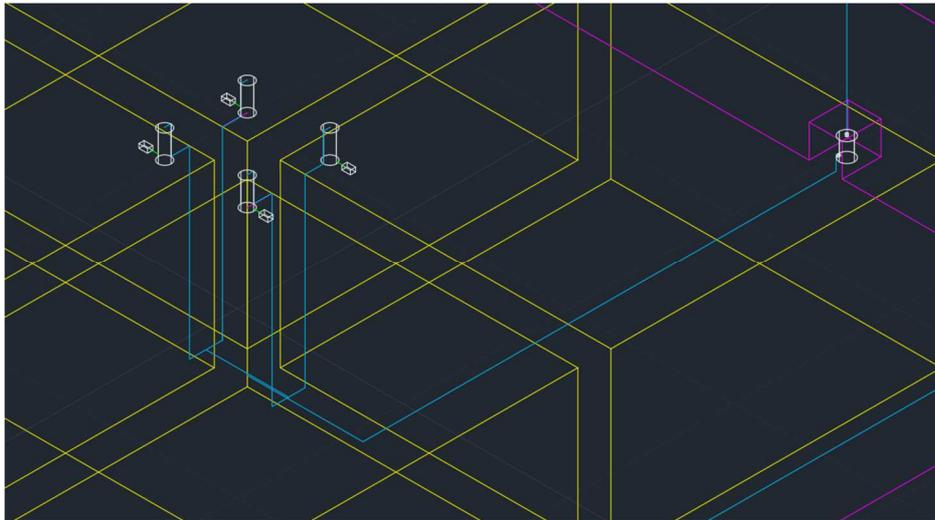


Figura I.8: Disposición de depósitos en las parcelas.

(AutoCAD, 2020)

Esta es la tubería con bifurcaciones que va del filtro de arena hasta los depósitos de las casas, en la figura I.8 se observan líneas de color amarillo que representan la parcela y altura de las casas rurales, los depósitos se encuentran a una esquina superior de cada parcela. De este modo permite un espacio considerable para la construcción y distribuir el agua en las casas. Los cubos blancos con líneas de color verde que se observan al lado de cada depósito, representan los ozonizadores.

Haciendo la inversa del caudal máximo de la ETAP ($7.91 \text{ m}^3/\text{día} = 5.49 \text{ L}/\text{min}$) y multiplicando por el volumen de los 4 depósitos en total se obtiene el tiempo de llenado.

$$Tiempo_{llenado} = \frac{1 \text{ día}}{5.9 \text{ L}} * 0.8 * 10^3 \text{ L} * 4 = 9 \text{ horas} \quad [107]$$

En 9 horas se conseguiría llenar los 4 depósitos de las casas al 100% de su capacidad con la válvula de compuerta totalmente abierta.

ANEXO J: CÁLCULOS DE LA EDAR

Partiendo de la fórmula del tiempo de residencia para un rendimiento óptimo (Ruiz, 2012):

$$\theta = \frac{2}{\mu_x} \quad [108] \qquad \theta = \frac{V}{Q} \quad [109]$$

Sustituyendo el tiempo de residencia en la ecuación [108] por la ecuación [109] y despejando el volumen queda en función del caudal [Q (m³/s)] y de la velocidad de reproducción de la Spirulina [μ_x (d⁻¹)] dando lugar a la ecuación [110]:

$$V = \frac{2 * Q}{\mu_x} \quad [110]$$

Según estudios de laboratorio del Dr. Janson, se determinó que la velocidad de reproducción de la microalga oscila sobre 0.045 h⁻¹. En la tabla J.1. se muestran los datos de velocidad de reproducción a diferentes intensidades de radiación solar (Janson, 1998).

μ_x (h ⁻¹)	0.048	0.043	0.044
I_k (μE/m ² s)	145±15	115±13	165±15

Tabla J.1: Determinación de μ_x .

(Janson, 1998)

Sustituyendo el caudal de la EDAR (Q₂ = 1.6 m³/d) y la velocidad de reproducción de la microalga en la ecuación [110], se obtiene el volumen total que debe requerir el tanque de cultivo.

$$V_{HRAP} = \frac{2 * 1.6 \left(\frac{m^3}{d}\right)}{0.045 \left(\frac{1}{h}\right) * \left(\frac{24 h}{1 d}\right)} = 2.963 m^3 \approx 3 m^3 \quad [111]$$

El diseño de las resistencias queda fuera de este proyecto, en cambio, se va a calcular la energía necesaria y el coste al mes de elevar la temperatura del tanque de cultivo en 15 °C.

Para ello, se usa la siguiente ecuación:

$$q = \dot{m} * C_p * \Delta T \quad [112]$$

Siendo \dot{m} el caudal másico del agua (kg/s), C_p el calor específico del agua $C_p = 4186 \frac{J}{kg * ^\circ C}$

y ΔT el incremento de temperatura (°C). Multiplicando el caudal volumétrico por la densidad del agua se obtiene el caudal másico:

$$\dot{m} = 1600 \frac{L}{d} * 0.997 \frac{kg}{L} * \frac{1d}{86400 s} = 0.01846 \frac{kg}{s} \quad [113]$$

Se sustituyen en la ecuación [112] los datos correspondientes y se obtiene la cantidad de calor que hay que aportar mediante resistencias calefactoras:

$$q = 0.01846 \frac{kg}{s} * 4186 \frac{J}{kg * ^\circ C} * 15^\circ C = 1159.29 \frac{J}{s} \approx 1.16 kW \quad [114]$$

Conociendo el coste general de la electricidad $Coste = 0.1 \frac{\text{€}}{kW * h}$ se puede calcular el coste la hora.

$$Coste \text{ calor aportado} = 1.16 kW * 0.1 \frac{\text{€}}{kW * h} = 0.116 \frac{\text{€}}{h} \quad [115]$$

Calculando el coste del calor aportado en un mes, operando las 24 horas sería:

$$Coste \text{ calor aportado al mes} = 0.116 \frac{\text{€}}{h} * 24 \frac{h}{día} * 30 \text{ días} = 83.52 \text{ €} \quad [116]$$

Este coste solo se aportaría durante un periodo máximo de 3 o 4 meses, siendo febrero el más crítico para el tanque de cultivo. Cabe añadir, que el precio se ha calculado en base a un coste de electricidad general, operando durante la noche se disminuiría el coste a una tarifa eléctrica nocturna más económica.

Para mejorar la eficiencia del HRAP y que todas las microalgas tengan buena recepción de la irradiación solar, es conveniente usar un motor con paletas para que haya un movimiento continuo en el agua. De este modo, no solo se mejora el intercambio de O₂ con el aire, sino que también aumenta el rendimiento. Es conveniente que las paletas se desplacen a una velocidad constante de 7 rpm (*Dodd, 1986*). La rueda de paletas estará sobre una depresión en el fondo para evitar que haya flujo de retorno y las paredes del HRAP estarán curvadas para aumentar la aceleración del flujo (*Arbib, 2012*).

La forma geométrica del HRAP será rectangular en el centro y circular en sus extremos como se muestra en la figura J.2. La profundidad suele medir poco, del orden de 0.15 a 0.30 m para fotobiorreactores de laboratorio (*Arbib, 2012*), por lo que una profundidad de 0.45 m será fiable para un correcto desarrollo de la microalga.

Una vez se tiene la profundidad (0.45 m) y el volumen de la ecuación [111] ($V_{HRAP} = 3 \text{ m}^3$) que debe contener, se puede calcular el área del HRAP:

$$\text{Área (m}^2\text{)} = \frac{V(\text{m}^3)}{\text{Profundidad (m)}} = \frac{3 \text{ m}^3}{0.45 \text{ m}} = 6.66 \text{ m}^2 \quad [117]$$

Éste área es la que debe estar en contacto el agua con el aire, por tanto, se calcula las dimensiones del tanque de cultivo mediante las ecuaciones que van a explicarse a continuación, y teniendo en cuenta la geometría del HRAP según la figura J.2.



Figura J.2: Vista superior del HRAP con zonas tintadas.

(*AutoCAD, 2020*)

Se observan en el HRAP 3 zonas de distinto color, el marrón es donde rotarán las paletas, como no ocupan demasiado volumen no se tomarán en cuenta para la realización de los cálculos. La zona azul es la que está el agua en contacto con el aire y la amarilla es una pared geométrica con estrechamientos a los extremos para la aceleración del flujo (Haro & Perales, 2015).

Para conseguir un área de contacto agua-aire de 6.66 m^2 , se calcula primero el área total del HRAP, que es la suma del área de contacto del agua (A_C ; zonas de color azul y marrón) y el área restante (A_R ; zona de color amarillo), siendo L la longitud total y R el radio de la circunferencia que forman los extremos:

$$A_{total} = A_C + A_R = R * (\pi * R + L) \quad [118]$$

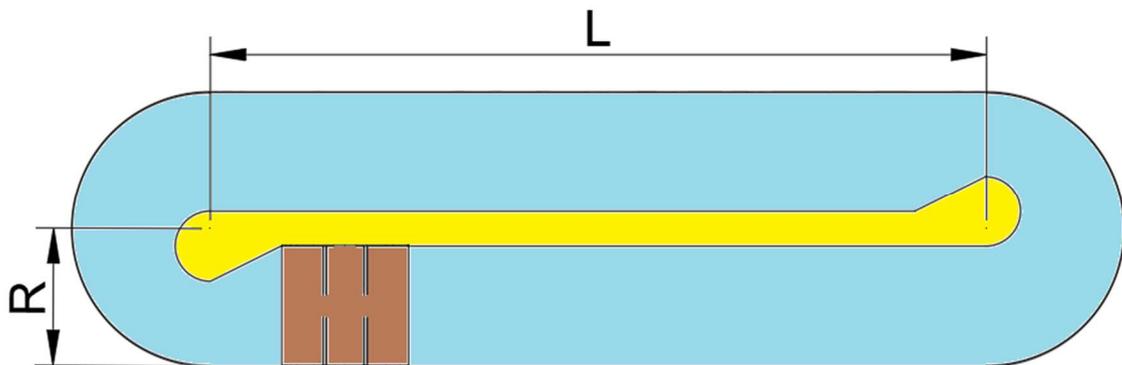


Figura J.3: Cálculo del área total HRAP.

(AutoCAD, 2020)

La zona amarilla es algo más compleja a la hora del cálculo del área, por ello se descompone en dos semicircunferencias, dos triángulos rectángulos y tres rectángulos. En la siguiente figura se ilustra sólo la zona amarilla correspondiente al área restante dividida en figuras geométricas.

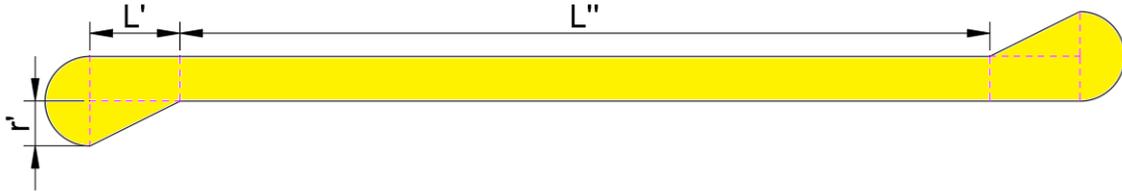


Figura J.4: Zona amarilla dividida en figuras geométricas.

(AutoCAD, 2020)

Dividida geoméricamente el área amarilla en la figura J.4, se calcula el área de cada figura geométrica y se llega a la ecuación [121].

$$A_R = A_{\text{círculo}} + 2 * A_{\text{rectángulo pequeño}} + 2 * A_{\text{triángulo}} + A_{\text{rectángulo grande}} \quad [119]$$

$$A_R = \pi * r'^2 + r' * L' + 2 * r' * L' + r' * L'' = r' * (\pi * r' + 3 * L' + L'') \quad [120]$$

$$A_R = r' * (\pi * r' + 3 * L' + L'') \quad [121]$$

Se debe tener en cuenta que las áreas de la zona azul y amarilla están relacionadas por la longitud mediante la ecuación [122]:

$$L = 2 * L' + L'' \quad [122]$$

Dando valores a r' , L' y L'' se calcula el área de la zona amarilla, usando la ecuación [122] y sustituyendo la ecuación [121] en la [118], se pueden obtener los valores de R y L para un valor de área de la zona azul de $A_C = 6.66 \text{ m}^2$.

$$A_{\text{total}} = 6.66 + r' * (\pi * r' + 3 * L' + L'') = R * (\pi * R + L) \quad [123]$$

$$R = \frac{-L + \sqrt{L^2 + 4 * \pi * A_{\text{total}}}}{2 * \pi} \quad [124]$$

En la tabla J.3 se muestran los valores del dimensionamiento del HRAP mediante las ecuaciones anteriores.

R (m)	r'(m)	L (m)	L' (m)	L'' (m)
0.9756	0.25	5.5	0.5	4.5

Tabla J.3: Dimensiones HRAP.

Debido al pH, el material del que debe estar construido este equipo debe ser resistente a la corrosión, por tanto, se optará por un material polimérico como el PP (Polipropileno). A continuación, se observan las propiedades de resistencia a corrosión, temperaturas de trabajo y propiedades obtenidas de la base de datos del programa CES EduPack.

Durabilidad: Agua y disoluciones acuosas

Agua dulce	ⓘ	Excelente
Agua salada	ⓘ	Excelente
Suelos ácidos (turba)	ⓘ	Excelente
Suelos alcalinos (arcilla)	ⓘ	Excelente
Vino	ⓘ	Excelente

Durabilidad: ácidos

Ácido acético (10%)	ⓘ	Excelente
Ácido acético (glacial)	ⓘ	Excelente
Ácido cítrico (10%)	ⓘ	Excelente
Ácido clorhídrico (10%)	ⓘ	Excelente
Ácido clorhídrico (36%)	ⓘ	Excelente
Ácido fluorhídrico (40%)	ⓘ	Excelente
Ácido nítrico (10%)	ⓘ	Excelente
Ácido nítrico (70%)	ⓘ	Excelente
Ácido fosfórico (10%)	ⓘ	Excelente
Ácido fosfórico (85%)	ⓘ	Excelente
Ácido sulfúrico (10%)	ⓘ	Excelente
Ácido sulfúrico (70%)	ⓘ	Excelente

Durabilidad: bases

Hidróxido de sodio (10%)	ⓘ	Excelente
Hidróxido de sodio (60%)	ⓘ	Excelente

Figura J.5: Propiedades de resistencia a corrosión del PP.

(CES EduPack, 2019)

Propiedades térmicas

Punto de fusión	ⓘ	150	-	175	°C
Temperatura de vitrificación	ⓘ	-25,2	-	-15,2	°C
Máxima temperatura en servicio	ⓘ	100	-	115	°C
Mínima temperatura en servicio	ⓘ	-123	-	-73,2	°C
¿Conductor térmico o aislante?	ⓘ	Buen aislante			
Conductividad térmica	ⓘ	0,113	-	0,167	W/m.°C
Calor específico	ⓘ	1,87e3	-	1,96e3	J/kg.°C
Coefficiente de expansión térmica	ⓘ	122	-	180	µstrain/°C

Figura J.6: Propiedades térmicas del PP.

(CES EduPack, 2019)

Ecopropiedades

Contenido en energía, producción primaria	ⓘ	* 65,9	-	72,6	MJ/kg
Huella de CO ₂ , producción primaria	ⓘ	* 2,77	-	3,06	kg/kg
Reciclaje	ⓘ	✓			

Figura J.7: Ecopropiedades del PP.

(CES EduPack, 2019)

El polipropileno tiene una resistencia excelente a corrosiones, ya sea operar en agua, medios ácidos o básicos, tiene temperaturas de trabajo muy alejadas del intervalo de operación del tanque de cultivo, es buen aislante térmico por lo que el agua no perdería tan rápido el calor aportado por las resistencias caloríficas y es un material reciclable.

En general, los HRAP's suelen ser de grandes longitudes debido a que la profundidad se encuentra limitada por necesidad de la luz solar. Por tanto, para el caudal del agua residual y la capacidad que debe tener el tanque de cultivo, las medidas obtenidas entran dentro de los intervalos normales.

La Spirulina, en general, se reproduce a un ritmo de 9 (gr/día*m²*vivienda) (Lukavsky, 2000), al multiplicar por el área de contacto aire-agua (6.66 m²), tiempo de residencia y N.º de viviendas se estima una cantidad de Spirulina final de 443.556 gr.

Las composiciones finales del agua de salida del tanque de cultivo hacia el intercambiador de calor se recogen en la tabla J.4: Composiciones de salida del tanque de cultivo.

Componente	Cantidad inicial	Cantidad Final
Nitrógenos totales	52 ppm	10.4 ppm
Fósforos totales	4.2 ppm	0.84 ppm
Spirulina	60 gr	443.556 gr

Tabla J.4: Composiciones de salida del tanque de cultivo.

(Lukavsky, 2000)

Intercambiador de calor.

Aumentar la temperatura del agua hasta 60°C es necesario, por una parte, para dejar un medio sin inóculos que puedan afectar a la producción del fertilizante. Por otra parte, al aumentar la temperatura también aumenta la velocidad de reacción de las enzimas con las proteínas y carbohidratos en el reactor, dejando como productos aminoácidos libres de los que se alimentará la vegetación del campo a regar.

Como se especifica en el *Anexo D: Estudio del caudal necesario*, en el intercambiador de calor fluirán $Q_3 = 3.2 \text{ m}^3/\text{día} = 0.6403 \text{ m}^3/\text{h}$ con el objetivo de vaciar el tanque de cultivo en aproximadamente 5 horas. El agua con Spirulina se debe calentar hasta 60°C en el intercambiador, para calentar el agua, por la carcasa del intercambiador fluirá un aceite que será el fluido calefactor, este aceite se puede calentar por el día aprovechando la energía solar mediante colectores solares tubulares y por la noche con energía eléctrica mediante resistencias calefactoras de aleación Níquel-Cromo. De este modo, disminuye el coste eléctrico para calentar el agua aprovechando la luz solar.

El diseño de los colectores solares queda fuera de este proyecto. Existen diversos colectores de diferentes formas, pero el que más se adaptaría a las necesidades de esta etapa sería el colector tubular. Este colector capta la energía solar y la concentraría en las tuberías donde pasa el aceite. Las tuberías deberían ser de un material que tenga una alta absorptividad para que aumente la temperatura.

Para el diseño del intercambiador de calor se van a exponer primero las características físicas de los dos fluidos que van a influir en la transmisión del calor. El fluido A o fluido frío será el agua con Spirulina y el fluido B o fluido calefactor será un aceite pesado.

Para el material de construcción de las tuberías, se necesitaría un material que fuese buen conductor térmico y, además, soporte la corrosión en agua y en un medio básico. Por ello se buscan estos parámetros en la base de datos del programa CES EduPack y se obtienen los siguientes resultados.

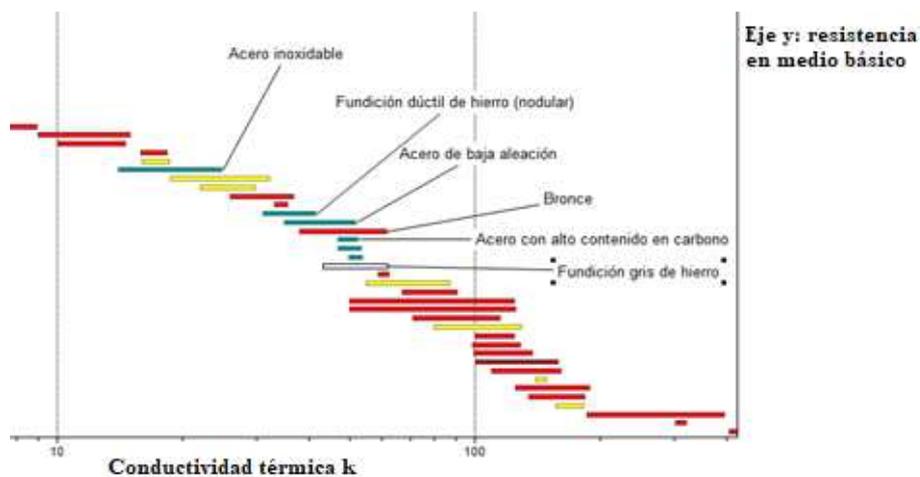


Figura J.8: Gráfica de materiales según Resistencia a medio básico y conductividad.

(CES EduPack, 2019)

Como se muestra en la figura J.8, existen varios materiales ordenados según el eje X (Conductividad térmica) y eje Y (resistencia a corrosión en medio básico). A primera vista, los mejores materiales con los que construir el intercambiador serían el Acero con alto

contenido en carbono, el bronce y el acero de baja aleación. Debido a que los 3 se aproximan a una buena relación entre conductividad y resistencia a corrosión, se elige más barato siendo este el acero de baja aleación. A continuación, se muestran las características y propiedades de este material.

Propiedades del agua (Fluido A)		Propiedades del aceite pesado (Fluido B)	
C_{p_a}	$4200 \frac{J}{kg \cdot K}$	C_{p_b}	$2047 \frac{J}{kg \cdot K}$
ρ_a	$995 \frac{kg}{m^3}$	ρ_b	$864 \frac{kg}{m^3}$
μ_a	$0.8E-3 \frac{kg}{m \cdot s}$	μ_b	$0.39 \frac{kg}{m \cdot s}$
k_a	$0.16 \frac{J}{m \cdot s \cdot K}$	k_b	$0.14 \frac{J}{m \cdot s \cdot K}$
Acero de bajo carbono		$k_c = 54.2 \frac{J}{m \cdot s \cdot K}$	

Tabla J.5: Propiedades de los fluidos y materiales del Intercambiador.

(A.Barba, 2003)

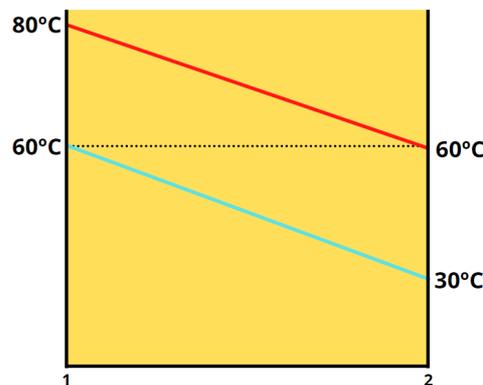


Figura J.9: Representación gráfica del intercambio de calor.

(A.Barba, 2003)

El agua o fluido frío (fluido A) será el que pase de 30°C a 60°C, por tanto, sus temperaturas de entrada y salida serán: $Tb_e^a = 30^\circ C$; $Tb_s^a = 60^\circ C$.

El aceite o fluido caliente (fluido B) será el que caliente el agua y sus temperaturas de entrada y salida serán: $Tb_e^b = 80^{\circ}C$; $Tb_s^b = 60^{\circ}C$.

Realizando un balance de energía mediante la ecuación [125] se puede calcular el caudal másico de aceite que tendrá que circular por el intercambiador y la cantidad de calor (q) que se transmitirá de un fluido a otro.

$$q \left(\frac{J}{s} \right) = m_b * Cp_b * \Delta T_b = \frac{Q_a}{3600 s} * \rho_a * Cp_a * \Delta T_a \quad [125]$$

Sustituyendo los datos se calcula q (J/s) y despejando se calcula el caudal másico de aceite (m_b).

$$q \left(\frac{J}{s} \right) = \frac{0.6403 \frac{m^3}{h}}{3600 s} * 995 \frac{kg}{m^3} * 4200 \frac{J}{kg * K} * 30 K = 22298.45 \frac{J}{s} \quad [126]$$

$$m_b \left(\frac{kg}{s} \right) = \frac{2047 \frac{J}{kg * K} * 20 K}{22298.45 \frac{J}{s}} = 0.545 \frac{kg}{s} \quad [127]$$

Como para encontrar el valor real del coeficiente global de transmisión de calor (U) se va a tener que realizar una iteración y existen valores que van a variar, se hacen primero las suposiciones y cálculos sobre el intercambiador que se van a mantener constantes en la iteración como, por ejemplo: forma, geometría, tipo, etc.

En primer lugar, la temperatura media logarítmica (ΔT_m) y las temperaturas medias de cada fluido (T_m^a y T_m^b) se mantendrán constantes en la iteración, por tanto, se pueden hallar mediante las siguientes ecuaciones:

$$T_m^a = \frac{60 + 30}{2} = 45^{\circ}C \quad [128] \quad T_m^b = \frac{80 + 60}{2} = 70^{\circ}C \quad [129]$$

$$\Delta T_{ml} * Y = \frac{(Tb_s^a - Tb_e^a) - (Tb_e^b - Tb_s^b)}{\ln\left(\frac{(Tb_s^a - Tb_e^a)}{(Tb_e^b - Tb_s^b)}\right)} * Y = \frac{(60 - 30) - (80 - 60)}{\ln\left(\frac{(60 - 30)}{(80 - 60)}\right)} * Y \quad [130]$$

$$\Delta T_{ml} * Y = 24.663 * Y \quad [131]$$

Siendo (Y) un factor de corrección, el intercambiador de calor es de 1 paso por la coraza y 2 pasos por los tubos, de coraza tipo E y cabezal flotante interno con dispositivo de apoyo. Una vez clasificado el intercambiador, se procede al cálculo del factor de corrección (Y).

$$X = \frac{Tb_s^a - Tb_e^a}{Tb_e^b - Tb_e^a} = \frac{60 - 30}{80 - 30} = 0.6 \quad [132]$$

$$Z = \frac{Tb_e^b - Tb_s^b}{Tb_s^a - Tb_e^a} = \frac{60 - 30}{80 - 30} = 0.667 \quad [133]$$

Mediante la coordenada (X; Z) = (0.6; 0.667), se haya el factor Y en la figura J.10.



Figura J.10: Gráfica de factor de corrección Y para un IC [1-2].

(A.Barba, 2003)

En la figura J.10 se representa la búsqueda del factor Y mediante las coordenadas calculadas (0.6; 0.667), dando como resultado $Y = 0.81$. Por tanto, la primera constante para los cálculos iterativos da como resultado:

$$\Delta T_{ml} * Y = 19.977 K \text{ [134]}$$

El siguiente paso sería dar dimensionamiento a los tubos del intercambiador, como el diámetro interno (D_{it}) y externo (D_{ot}), la longitud (L_t), la longitud real (L_{rt}), y la disposición geométrica de éstos en el interior. En las siguientes figuras se muestran dos tablas de valores comunes de diámetros y longitudes de tubos mediante espesor (e) y espesor de la placa de tubos (esp. pl), se determinan unos valores y se realizan los cálculos mediante las ecuaciones [135] y [136].

$$D_{it} = D_{ot} - 2 * e \text{ [135]}$$

$$L_t = L_{rt} - 2 * (esp. pl) \text{ [136]}$$

Se escogen los valores para las dimensiones de los tubos del interior del intercambiador mediante la figura J.11.

D_{ot} (in)	D_{ot} (mm)	e_t (mm)							
1/4	6.35	0.41	0.46	0.56	0.64	-	-	-	-
3/8	9.525	-	-	0.56	0.64	0.89	-	1.25	-
1/2	12.7	-	-	-	0.64	0.89	-	1.25	-
5/8	15.88	-	-	-	-	0.89	1.07	1.25	1.47
3/4	19.05	-	-	-	-	0.89	-	1.25	1.47
7/8	22.23	-	-	-	-	0.89	-	1.25	-
1	25.39	-	-	-	-	0.89	-	1.25	-
1¼	31.75	-	-	-	-	0.89	-	1.25	-
1½	38.09	-	-	-	-	-	-	-	-
2	50.79	-	-	-	-	-	-	-	-
2½	63.5	-	-	-	-	-	-	-	-

L_t (pies)	L_t (m)
6	1.83
8	2.44
10	3.05
12	3.66
16	4.88
20	6.10
24	7.32

Figura J.11: Dimensiones típicas de tubos para IC.

(A.Barba, 2003)

Para el espesor de la placa de tubos (esp.pl) se tomará el valor de 25 mm.

$$D_{it} = 12.7 * 10^{-3} - 2 * 0.89 * 10^{-3} = 0.01092 \text{ m} \quad [137]$$

$$L_t = 3.05 - 2 * 25 * 10^{-3} = 3 \text{ m} \quad [138]$$

La geometría de los tubos dentro del intercambiador puede ser cuadrada o triangular, en este caso se elige triangular, aunque se podrían instalar de forma cuadrada sin problemas.

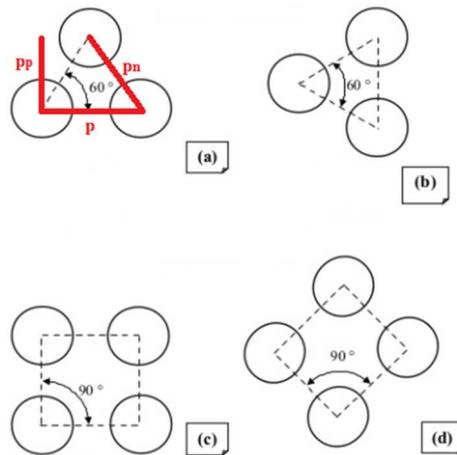


Figura J.12: Geometría triangular y cuadrada de los tubos.

(Jaramillo, 2015)

Para una geometría triangular la distancia entre tubos será:

$$p = p_n = 1.25 * D_{ot} = 15.9 * 10^{-3} \text{ m} \quad [139]$$

$$p_p = \left[\frac{\sqrt{3}}{2} \right] * p = 13.7 * 10^{-3} \text{ m} \quad [140]$$

En la tabla J.6 se recogen todos los datos respecto las dimensiones y geometría de las conducciones en el interior de los tubos y en la figura J.13 se hayan las constantes K y n para disposición triangular y 2 pasos en los tubos.

D_{ot} (mm)	12.7	D_{it} (mm)	10.92
e (mm)	0.87	esp.pl (mm)	25
P = P_n (mm)	15.9	L_{rt} (m)	3.05
P_p (mm)	13.7	L_t (m)	3

Tabla J.6: Medidas de las conducciones dentro del IC.

Nº pasos en los tubos		1	2	4	6	8
Disposición triangular p=1.25·D _{ot}	K ₁	0.319	0.249	0.175	0.0743	0.0365
	n ₁	2.142	2.207	2.285	2.499	2.675
Disposición cuadrada p=1.25·D _{ot}	K ₁	0.215	0.156	0.158	0.0402	0.0331
	n ₁	2.207	2.291	2.263	2.617	2.643

Figura J.13: Constantes K y n para disposición triangular.

(A.Barba, 2003)

Por último, se calcula el número de Prandtl para cada fluido (Pr_a y Pr_b) con la ecuación [141], de este modo se acaba con los valores constantes y se podrá empezar con los valores variables.

$$Pr = \frac{C_p * \mu}{k} \quad [141]$$

$$Pr_a = \frac{4200 * 0.8 * 10^{-3}}{0.16} = 21 \quad [142]$$

$$Pr_b = \frac{2047 * 0.39}{0.14} = 5702.357 \quad [143]$$

Una vez se tienen las constantes principales, se procede al cálculo de las ecuaciones de variables. Este paso es importante ya que se puede programar en el software Matlab para llegar a un resultado final donde el coeficiente global de transmisión de calor supuesto (U_{sup}) y el calculado (U_{calc}) coincidan, dando como resultado, todas las dimensiones del intercambiador y coeficientes de transferencia de calor calculados. Por tanto, se van a

disponer las ecuaciones utilizadas en el programa iterativo y se van a dejar en función de variables.

-Cálculo del área de transmisión de calor (A).

$$A (m^2) = \frac{q \left(\frac{J}{s} \right)}{U_{sup} \left(\frac{W}{m^2 * K} \right) * \Delta T_{ml}(K) * Y} = \frac{22298.45}{U_{sup} * 19.977} \quad [144]$$

-Cálculo del número de tubos (N_t).

$$N_t = \frac{A(m^2)}{\pi * D_{ot}(m) * L_t(m)} = \frac{A}{\pi * 12.5 * 10^{-3} * 3} \quad [145]$$

-Cálculo del diámetro del haz de tubos (D_h).

$$D_h = D_{ot}(m) * \left(\frac{N_t}{K} \right)^{\left(\frac{1}{n} \right)} = 12.7 * 10^{-3} \left(\frac{N_t}{0.249} \right)^{\left(\frac{1}{2.207} \right)} \quad [146]$$

Para el cálculo de la variable D_{ic} , se recogen datos de la recta (Cabezal flotante interno con apoyo) de la figura J.14 y se representan en Excel obteniendo la ecuación de la recta [147].

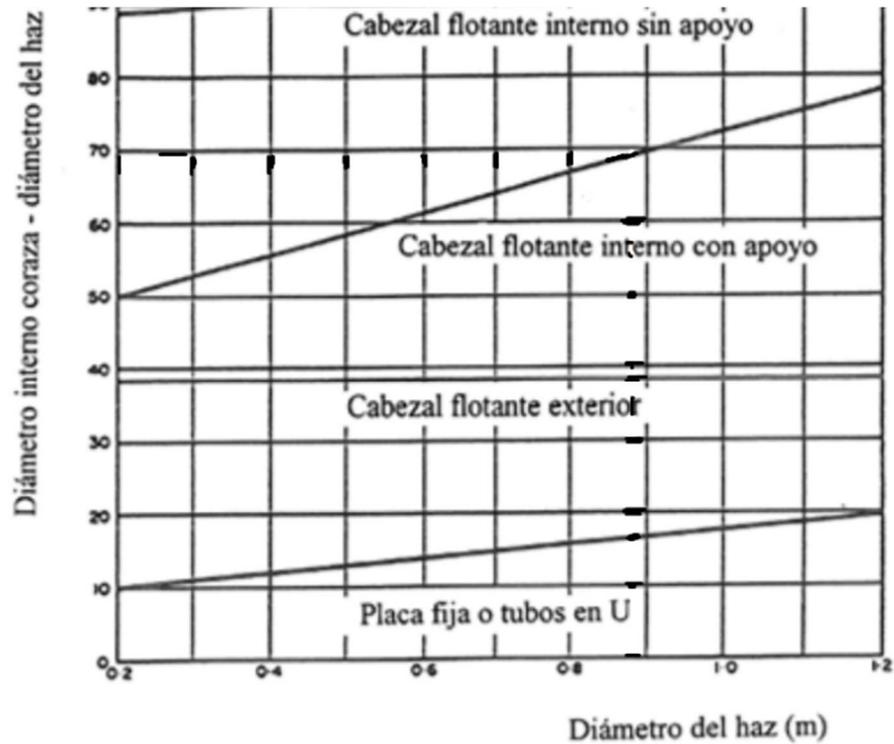


Figura J.14: Gráfica para el cálculo de diámetro de carcasa (D_{ic}).

(A.Barba, 2003)

$$y1 = (D_{ic} - D_h)(mm) = 26.932 * D_h(m) + 44.88 \quad [147]$$

$$D_{ic}(m) = D_h(m) + y1 (mm) * 10^{-3} \quad [148]$$

Por los tubos circulará el agua con la Spirulina, ya que tiene un factor de ensuciamiento menor que el aceite calefactor, éste circulará por dentro de la carcasa. Asignada la zona de circulación para cada fluido, se continua con el cálculo de los coeficientes de transmisión de calor.

Primero se realiza el cálculo del caudal másico del agua que circulará por cada tubo del intercambiador (m_{at}).

$$m_{at} \left(\frac{kg}{s} \right) = \frac{m_a \left(\frac{kg}{s} \right)}{\left(\frac{N_t}{2} \right)} = \frac{0.177}{0.5 * N_t} \quad [149]$$

A continuación, se calcula del coeficiente de transmisión calorífico individual del agua (fluido A) (h^a) haciendo uso del número de Reynolds del agua (Re_a) y el número de Prandtl del agua (fluido A) en la ecuación [150].

$$Re_a = \frac{4 * m_{at} \left(\frac{kg}{s} \right)}{\pi * \mu \left(\frac{kg}{m * s} \right) * D_{it}(m)} = \frac{4 * m_{at}}{\pi * 0.8 * 10^{-3} * 10.92 * 10^{-3}} \quad [150]$$

Teniendo los valores de Reynolds y Prandtl (Re_a y Pr_a), se hace uso de la ecuación [151] para calcular el valor del coeficiente individual referido al agua (h^a).

$$\frac{h^a \left(\frac{W}{m^2 * K} \right) * D_{it}(m)}{k_a \left(\frac{W}{m * K} \right)} = 0.023 * Re^{0.8} * Pr_a^{0.4} \quad [151]$$

Donde k_a es la constante de transmisión de calor del agua y D_{it} el diámetro interno de los tubos del intercambiador. La ecuación [152] es la resultante al sustituir los datos:

$$h^a \left(\frac{W}{m^2 * K} \right) = 0.023 * Re^{0.8} * Pr_a^{0.4} * \frac{k_a \left(\frac{W}{m * K} \right)}{D_{it}(m)} = 1.13897 * Re^{0.8} \quad [152]$$

Una vez se tiene la ecuación para el cálculo del coeficiente de transmisión calorífico individual del agua (h^a), se procede a obtener la del aceite (fluido B) (h^b).

Primero se obtienen las ecuaciones de la distancia entre deflectores (Id) y corte del deflector (Cd):

$$Cd = 0.2 \quad [153]$$

$$Id_{opt}(m) = 0.4 * D_{it}(m) \quad [154]$$

A continuación, las ecuaciones del área máxima perpendicular al flujo de fluido en la zona de flujo cruzado (Sc):

$$Sc (m^2) = 0.2 * D_{it}(m) * Id_{opt}(m) \quad [155]$$

Gracias a la ecuación [156], se puede calcular el gasto másico (G) y velocidad referidos a la posición ecuatorial de la coraza (v):

$$G \left(\frac{kg}{s * m^2} \right) = \frac{m_b \left(\frac{kg}{s} \right)}{Sc(m^2)} = \frac{0.545}{Sc} \quad [156]$$

$$v \left(\frac{m}{s} \right) = \frac{G \left(\frac{kg}{s * m^2} \right)}{\rho \left(\frac{kg}{m^3} \right)} = \frac{G}{864} \quad [157]$$

Por último, se obtiene la ecuación [125] para calcular el diámetro equivalente (De) de la coraza en la zona de flujo axial, con estas ecuaciones se puede obtener el Reynolds referido al aceite (Fluido B).

$$D_e(m) = \frac{1.103}{D_{ot}(m)} * (p^2(m^2) - 0.907 * D_{ot}^2(m^2)) \quad [158]$$

Para el coeficiente de transmisión individual referido al fluido B (h^b) y coeficiente global de transmisión de calor (U), se hace uso de las ecuaciones anteriores para obtener el Reynolds del aceite (Re_b):

$$Re_b = \frac{G \left(\frac{kg}{s * m^2} \right) * D_e(m)}{\mu_b \left(\frac{kg}{m * s} \right)} = \frac{9.1823 * 10^{-3} * G}{0.39} = 0.02354 * G \quad [159]$$

A continuación, se muestra la ecuación [160] para calcular el Número de Nusselt (Nu) mediante el uso de Prandtl ($Pr_b = 5702.357$) y los números de Reynolds del fluido (Re_b) y de la zona de flujo axial (Re_g).

$$Nu = \frac{Pr_b}{Pr_b^{0.66}} * Re_b * Re_g = 18.926 * Re_b * Re_g \quad [160]$$

Para hallar el número de Reynolds referido a la zona axial (Re_g) se hace uso de la figura J.15, pero debido a que se sale fuera del rango del gráfico, se decide anotar algunos valores de la figura J.15 y representarlos en una gráfica mediante el software Excel. Una vez representados los valores en Excel, la línea de tendencia da como resultado la recta logarítmica [128].

$$y_2 = -0.594 * \lg(Re_b) + \lg(0.7795) \quad [161]$$

Mediante la ecuación [161] se puede calcular (y_2) que se utiliza en la ecuación [162] para el cálculo del número de Reynolds referido a la zona de flujo axial (Re_g).

$$Re_g = 10^{y_2} \quad [162]$$

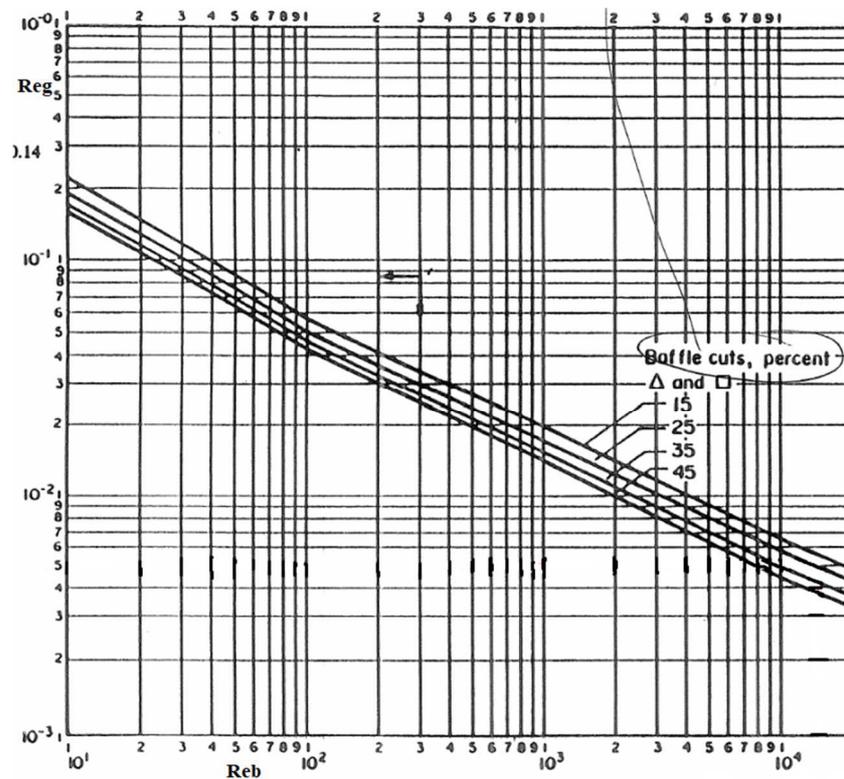


Figura J.15: Gráfica de Reynolds B (fluido B) y G (Zona flujo axial).

(A.Barba, 2003)

Usando las ecuaciones anteriores y de los valores del coeficiente de transmisión de calor del aceite (k_b) y del diámetro equivalente de la coraza en la zona de flujo axial (D_e) se puede calcular el valor del coeficiente de transmisión de calor individual del aceite (fluido b) (h^b).

$$h^b \left(\frac{w}{m^2 * K} \right) = \frac{Nu * k_b \left(\frac{w}{m * K} \right)}{De (m)} = 15.2467 * Nu \quad [163]$$

Cuando se obtienen los valores de los coeficientes de transmisión de calor individuales, solo queda obtener el diámetro medio logarítmico (D_{ml}) y los valores del coeficiente (Ic/Kc) referido a cada fluido para poder calcular el coeficiente global de transmisión de calor calculado (U_{calc}).

$$D_{ml}(m) = \left(\frac{D_o - D_i}{\ln \left(\frac{D_o}{D_i} \right)} \right) = 0.01179 \text{ m} \quad [164]$$

$$\frac{1}{U_{calc.}} \left(\frac{m^2 * K}{w} \right) = \frac{1}{h^b} * \frac{D_o}{D_i} + \left(\frac{Ic}{kc} \right)_a * \frac{D_o}{D_i} + \frac{e(m)}{k_c} * \frac{D_o}{D_{ml}} + \left(\frac{Ic}{kc} \right)_b + \frac{1}{h^a} \quad [165]$$

En la figura J.16 se puede observar el valor de (Ic/kc) referido tanto al fluido A (Agua potable dura) como al B (hidrocarburo pesado).

Fluido	Coficiente (W/m ² ·K)	
Agua de río	3000-12000	$\left(\frac{l_c}{k_c}\right)_a = \frac{1}{2000}$
Agua de mar	1000-3000	
Agua de torres de refrigeración	3000-6000	
Agua potable (blanda)	3000-5000	
Agua potable (dura)	1000-2000	
Vapor de agua condensado	1500-5000	$\left(\frac{l_c}{k_c}\right)_b = \frac{1}{2000}$
Vapor de agua (sin aceite)	4000-10000	
Vapor de agua (con trazas de aceite)	2000-5000	
Salmuera refrigerada	3000-5000	
Aire y gases industriales	5000-10000	
Gases de combustión	2000-5000	
Vapores orgánicos	5000	
Líquidos orgánicos	5000	
Hidrocarburos ligeros	5000	
Hidrocarburos pesados	2000	
Orgánicos en ebullición	2500	
Orgánicos condensando	5000	
Fluidos de transmisión de calor	5000	
Soluciones acuosas salinas	3000-5000	

Figura J.16: Datos de coeficientes para fluidos A y B.

(A.Barba, 2003)

Sustituyendo los valores constantes (D_m) y (l_c/k_c) en la ecuación del coeficiente global de transmisión de calor, se obtiene la ecuación [166]:

$$\frac{1}{U_{calc.}} \left(\frac{m^2 \cdot K}{w} \right) = \frac{1.163}{h^a} + 0.0139753 + \frac{1}{h^b} \quad [166]$$

Fluido caliente	Fluido frío	U_{est} (W/m ² ·K)
<i>Recuperador de calor</i>		
Agua	Agua	800-1500
Solventes orgánicos	Solventes orgánicos	100-300
Aceites ligeros	Aceites ligeros	100-400
Aceites pesados	Aceites pesados	50-300
Gases	Gases	10-50
<i>Enfriadores</i>		
Solventes orgánicos	Agua	750-750
Aceites ligeros	Agua	350-900
Aceites pesados	Agua	60-300

Figura J.17: Intervalos de coeficientes de partida para iteración.

(A.Barba, 2003)

Se escoge un valor dentro del intervalo de la figura J.17 y se introducen las ecuaciones en Matlab, una vez el programa devuelva el valor de U calculada (U_{calc}), se sustituye por la U supuesta (U_{sup}) hasta que coincidan.

```
disp('Introduce valor de U:')
U = input('U: '); %Introducción de un valor inicial de U para iterar.
A = 22298.45/(U*19.977); %Área de intercambio.
Nt = A/(pi*3*12.5*10^-3); % Número de tubos.
Dh = (12.7*10^-3)*((Nt/0.249)^(1/2.207)); %Diámetro del haz.
y1 = 26.932*Dh + 44.88; %Ecuación para gráfica.
Dic = Dh + (y1*10^-3); %Diámetro de la coraza.
% Cálculo de ha.
Mat = 0.177/(Nt/2); %Caudal másico por cada tubo.
Rea = (4*Mat)/(pi*0.01092*0.8*10^-3); %Reynolds de fluido a.
Ha = 1.13897*(Rea^0.8); %Coeficiente de transferencia del fluido a.
%Cálculo de Hb.
Id = 0.4*Dic; %Distancia entre deflectores.
Sc = 0.2*Dic*Id; %Área máxima perpendicular al flujo de fluido en la zona
de flujo cruzado.
G = (0.545/Sc); %Cálculo del gasto másico.
v = (G/864); %Cálculo de velocidad referido a la posición ecuatorial de
la coraza.
De = 0.0091823; %Diámetro de la coraza en la zona de flujo axial.
Reb = 0.02354*G; %Reynolds del fluido B.
y2 = -0.594*log(Reb)+log(0.7795); %Ecuación para gráfica.
Reg = 10^(y2); %Reynolds referido a la zona de flujo axial.
Nu = 18.926*Reb*Reg; %Cálculo del Nusselt.
Hb = 15.2467*Nu; %Coeficiente de transferencia de calor del fluido B.
invU = (1.163/Ha)+0.0139753+(1/Hb);
Unuevo = (1/invU); %Coeficiente global de transferencia de calor.
disp('U calculado es:')
disp(Unuevo)
```

(Matlab, 2020)

Una vez coincidan los coeficientes globales de transferencia de materia calculado y supuesto, se tienen todos los datos en la memoria de Matlab, de este modo solo se llama a la variable en el panel de comandos y nos devuelve el valor en las unidades correspondientes.

Todos los datos finales se recogen en las tablas J.7: Valores de U en la iteración y J.8: Valores finales.

[U; N.º de iteración]	
[400; 0]	[24.912; 7]
[34.5201; 1]	[24.9028; 8]
[27.6605; 2]	[24.8995; 9]
[25.8176; 3]	[24.8984; 10]
[25.2176; 4]	[24.898; 11]
[25.0106; 5]	[24.8978; 12]
[24.9378; 6]	[24.8978; 13]

Tabla J.7: Valores de U en cada iteración.

A (m²)	44.83	Dic (m)	0.406	U (w/m²*K)	24.9
Dh (m)	0.352	Rea	135.58	Sc (m²)	0.01

Tabla J.8: Valores finales de la iteración.

Tras realizar los cálculos en el diseño del intercambiador, se comprueban los datos obtenidos. Dado que el Reynolds es bajo, al igual que el coeficiente global de transferencia de calor, se opta por realizar otro diseño de intercambiador que tenga mejores prestaciones. El tipo de intercambiador como solución alternativa puede ser un intercambiador de doble tubo, del cual, se van a realizar los siguientes cálculos. Para realizar los cálculos del diseño, en la siguiente tabla se fijan los valores iniciales de caudal, velocidad del fluido, etc. El valor del caudal de aceite se ha realizado del mismo modo que el diseño del intercambiador anterior.

Q _{agua}	Q _{aceite}	V _{agua}	V _{aceite}
3.2 m ³ /día	11.35 m ³ /día	1 m/s	1 m/s

Tabla J.9: Datos iniciales para el diseño del IC de doble tubo.

Los cálculos del flujo de calor y las temperaturas se han realizado en el diseño del intercambiador de calor anterior, por tanto, igualmente se mantienen en este diseño.

T_1^a	T_2^a	T_1^b	T_2^b
30 °C	60 °C	80 °C	60 °C
T_m^a	T_m^b	ΔT_{ml}	q
45 °C	70 °C	24.66 °C	22.3 kW

Tabla J.10: Datos de partida para diseño del IC de doble tubo.

Utilizando la velocidad ($V=1$ m/s) y el caudal de paso [$Q = 3.2$ m³/día*(5h/1día) *(1h/3600s) = 1.78E-4 m³/s] se puede hallar la sección de la conducción y el diámetro.

$$A_{agua} = \frac{Q_{agua}}{1 \frac{m}{s}} = \frac{\pi * (D_i^a)^2}{4} = 1.78 * 10^{-4} m^2 \quad [167]$$

$$D_i^a = 1.5 \text{ cm} \quad [168]$$

$$D_e^a = \text{espesor} + D_i^a = 0.4 + 1.5 = 1.9 \text{ cm} \quad [168]$$

$$A_{aceite} = \frac{Q_{aceite}}{1 \frac{m}{s}} = \pi * \frac{(D_i^b - D_e^a)^2}{4} = 6.31E - 4 m^2 \quad [169]$$

$$D_i^b = 4.73 \text{ cm} \quad [170]$$

$$D_e^b = \text{espesor} + D_i^b = 0.4 + 4.73 = 5.13 \text{ cm} \quad [170]$$

D_i^a	D_e^a	D_i^b	D_e^b
1.5 cm	1.9 cm	4.73 cm	5.13 cm

Tabla 11: Dimensionamiento de las tuberías del IC.

A continuación, se calcula el diámetro equivalente de la tubería por donde pasa el aceite, para realizar los cálculos de los números de Reynolds, Prandtl y coeficientes individuales de transmisión de calor.

$$D_{eq} = \sqrt{(D_i^b)^2 - (D_e^a)^2} = 4.33 \text{ cm} \quad [171]$$

$$Re = \frac{D * v * \rho}{\mu} \quad [172]$$

$$Re_{agua} = 15000 > 10^4 \text{ (Régimen turbulento)} \quad [173]$$

$$Re_{aceite} = 10478.77 > 10^4 \text{ (Régimen turbulento)} \quad [174]$$

$$Pr = \frac{Cp * \mu}{k} \quad [175]$$

$$Pr_{agua} = 21 \quad [176]$$

$$Pr_{aceite} = 57 \quad [177]$$

Una vez se han calculado los números de Reynolds y Prandtl para cada fluido, se procede al cálculo del coeficiente de transmisión de calor individual.

$$h_a = \frac{0.16}{0.015} * 0.023 * (15000)^{0.8} * (21)^{0.33} = 1468.8 \frac{W}{m^2 * K} \quad [178]$$

$$h_b = \frac{0.14}{0.0473} * 0.023 * (10478.77)^{0.8} * (57)^{0.33} = 425.29 \frac{W}{m^2 * K} \quad [179]$$

Calculados los coeficientes de transmisión de calor individuales, se calcula el coeficiente global de transmisión de calor mediante la ecuación [180]:

$$D_{ml}(m) = \left(\frac{D_o - D_i}{\ln \left(\frac{D_o}{D_i} \right)} \right) = \left(\frac{1.9 - 1.5}{\ln \left(\frac{1.9}{1.5} \right)} \right) = 1.69 \text{ cm} \quad [180]$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{1468.8} + \frac{1}{425.29} + \frac{4 * 10^{-4} * 0.019}{54.2 * 0.0169} = 0.0031 \quad [181]$$

$$U = 321.01 \frac{W}{m^2 * K} \quad [182]$$

Combinación de fluidos	U [W/m ² .K]
Agua con agua	850 - 1700
Agua con aceite	110 - 350
Condensador de vapor (agua en tubos)	1000 - 6000
Condensador de amoníaco (agua en tubos)	800 - 1400
Condensador de alcohol (agua en tubos)	250 - 700
Intercambiador de calor de tubos con aletas (agua en tubos, aire en flujo cruzado)	25 - 50

Figura 18: Intervalos de coeficientes globales de calor entre fluidos.

Como se puede comprobar en la figura anterior, el coeficiente global de transmisión de calor calculado se encuentra entre los valores típicos para la interacción entre el agua y aceite.

Finalmente se calcula las dimensiones del intercambiador de doble tubo.

$$A = \frac{q}{U * \Delta T_{ml}} = \frac{22298.45}{321.01 * 24.66} = 2.81 \text{ m}^2 \quad [183]$$

$$L_{tubería} = \frac{A}{\pi * D_e^a} = \frac{2.81}{\pi * 0.019} = 47.1 \text{ m} \quad [184]$$

La longitud total de la tubería del intercambiador de calor corresponde a 47.1 m, para el diseño, se divide en una altura de 10 tuberías y 3 filas. Se opta por un espacio de 3 cm entre tuberías. A continuación, se muestra un boceto de geometría de la tubería dentro de la carcasa del intercambiador diseñado en el programa AutoCAD.

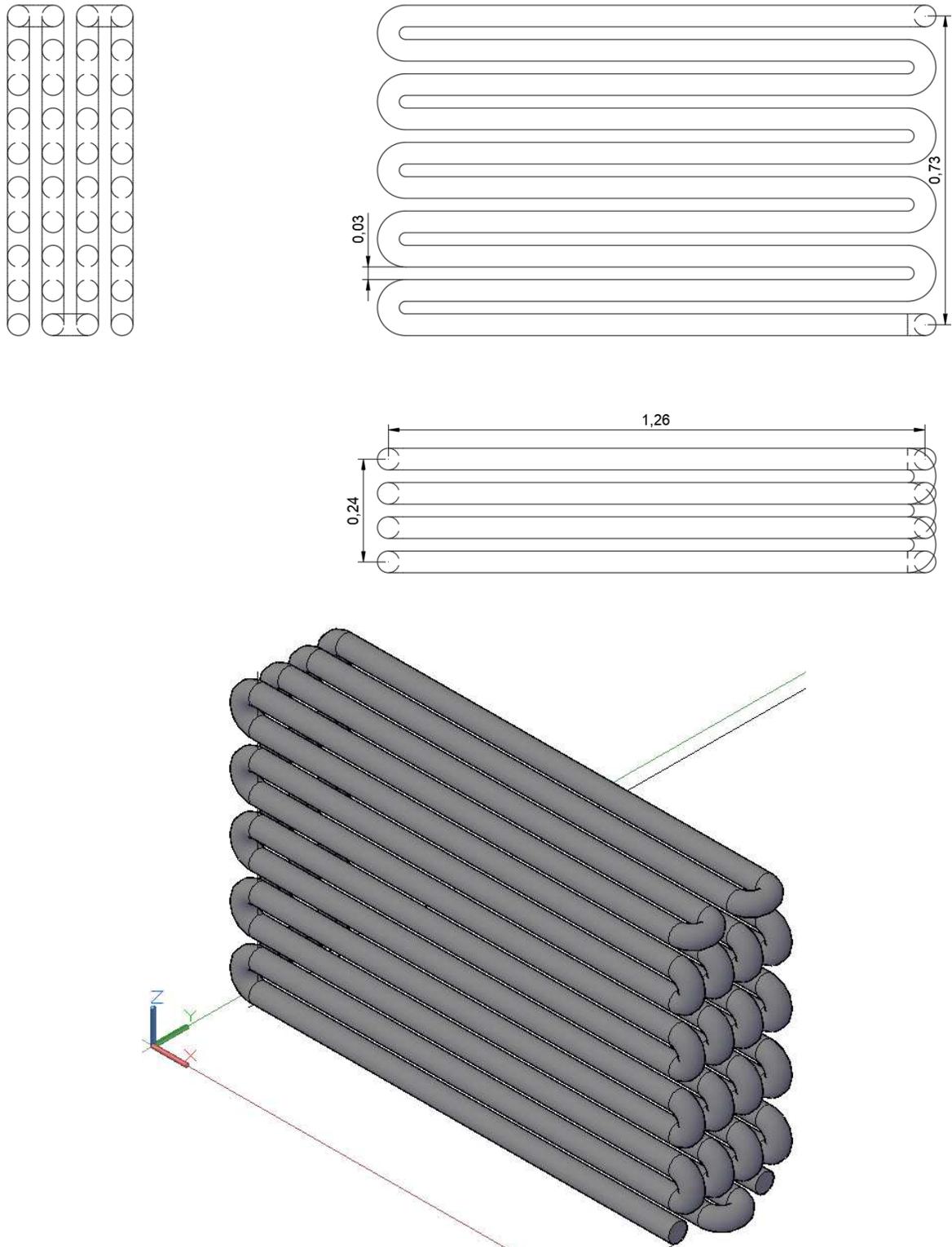


Figura 19: Boceto de la geometría de la tubería dentro del intercambiador de calor.

(AutoCAD, 2020)

Reactor con membranas

Teniendo los datos de tamaño del módulo de membrana ($V_{membrana} = L*B*H$) en el *Anexo F: Equipos y sus características*, se procede al cálculo del volumen del reactor.

$$\theta = \frac{V - V_{membrana}}{Q} = t_{reacción} = 100 \text{ min [185]}$$

$$V(m^3) = \theta(min) * Q \left(\frac{m^3}{min} \right) + V_{membrana} = 100 * 0.01067 + 0.042 = 1.109m^3 \text{ [186]}$$

El reactor será de forma cilíndrica al que se le implemente un módulo de membrana. Primero se dimensiona el reactor para un volumen de 1.109 m^3 mediante la ecuación [187] usada con anterioridad.

$$V = \pi * r^2 * h = 1.109 \text{ m}^3 \text{ [187]}$$

Para una altura de 1 metro, el radio sería de 0.594 m. En la figura 20 se muestra el boceto con las medidas.

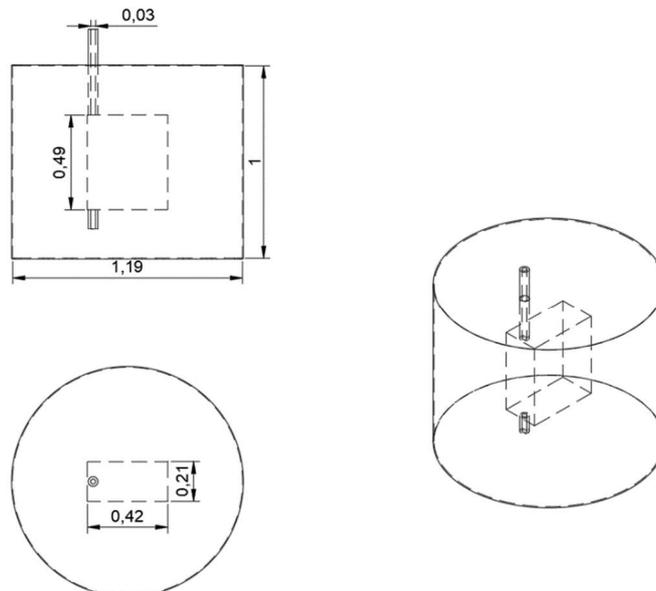


Figura 20: Boceto de reactor con módulo de membrana.

(AutoCAD, 2020)

Depósito 3.

El fertilizante diluido se debe almacenar en un depósito hasta el momento en que se riegue el campo, por tanto, se necesita un depósito de agua de dimensiones aptas para almacenar agua cada 15 días.

$$V_d = \frac{2960 L}{1.85 \text{ días}} * 15 \text{ días} = 24000 L = 24 m^3 \quad [188]$$

Se calcula el volumen del depósito 3 (V_d) teniendo en cuenta el volumen del tanque de cultivo vaciado cada periodo de 1.85 días para almacenar agua durante 15 días. El volumen es de $24 m^3$ y la geometría del depósito es cilíndrica, sustituyendo el volumen teniendo en cuenta que no hay altura cónica ($h = 0$), se haya la altura del depósito dando un valor de radio (R).

$$V_t = \pi * (R^2) * H + \frac{1}{3} * \pi * (R^2) * h = 24 m^3 \quad [189]$$

Dando un valor al radio (R), se puede despejar el valor de la altura del depósito (H). Para un radio de 1.25 m, al despejar da una altura de 4.9 metros del cilindro.

4. Planos.

4.0. Plano del proyecto general.

4.1. Planos de la Captación.

4.1.0. Plano general de la captación.

4.1.1. Plano de la captación del Barranc al embalse (1) (líneas visibles).

4.1.2. Plano de la captación del Barranc al embalse (1) (visibles y ocultas).

4.1.3. Plano de la zona de la bomba hidráulica.

4.1.4. Plano de captación del embalse (1) al embalse (2) (Sólo visibles).

4.1.5. Plano de captación del embalse (1) al embalse (2) (visibles y ocultas).

4.2. Planos de la ETAP.

4.2.0. Plano general de la ETAP.

4.2.1. Plano general de las conducciones de la ETAP.

4.2.2. Plano del inicio de la ETAP en el embalse (2).

4.2.3. Plano de la ETAP del embalse (2) al filtro de arena.

4.2.4. Plano de la ETAP del filtro de arena a los depósitos.

4.3. Planos de la EDAR.

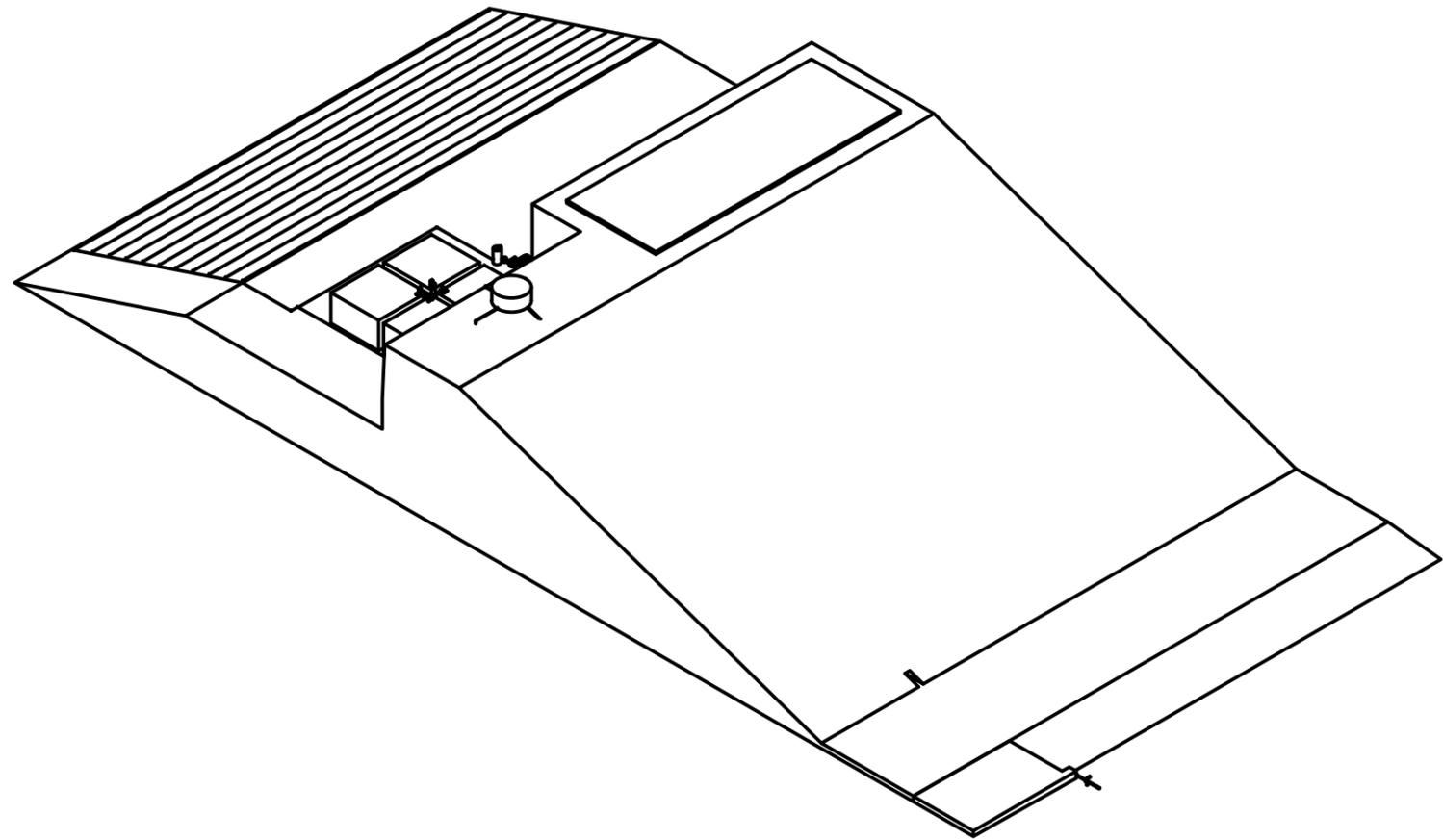
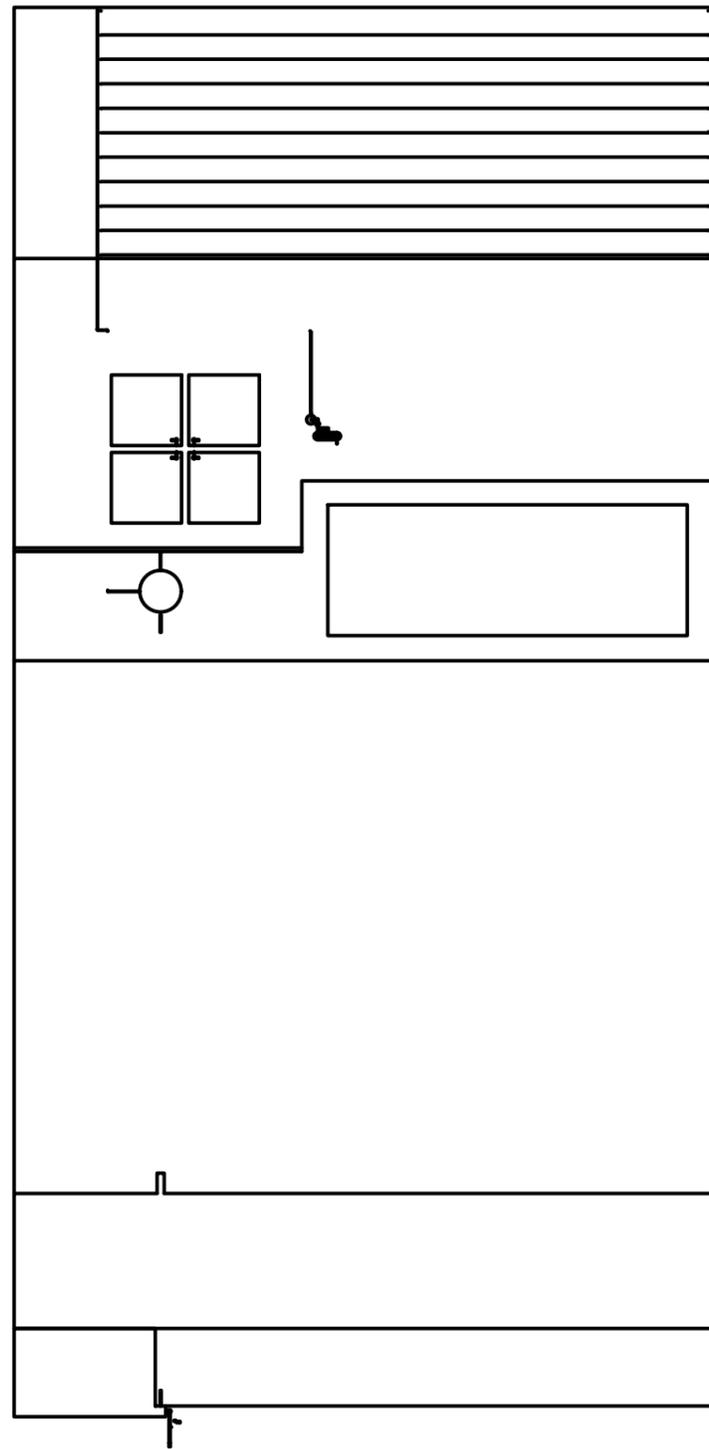
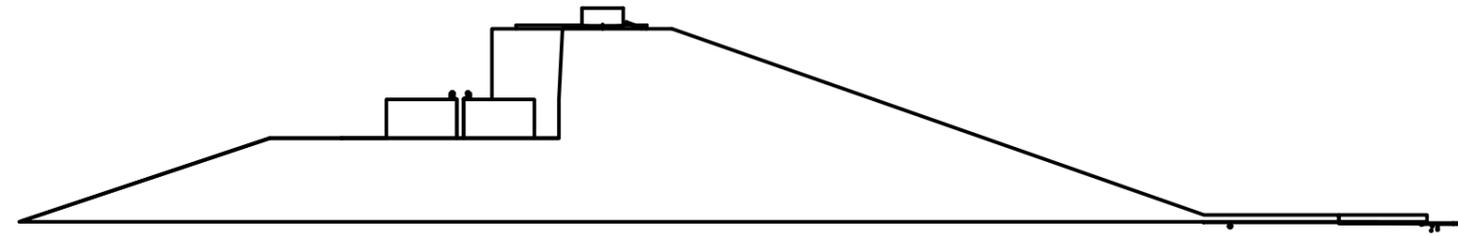
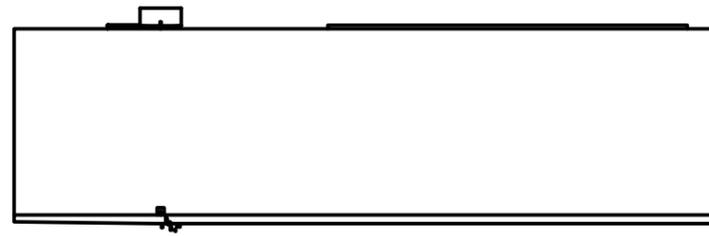
4.3.0. Plano general de la EDAR (líneas visibles).

4.3.1. Plano general de las conducciones de la EDAR.

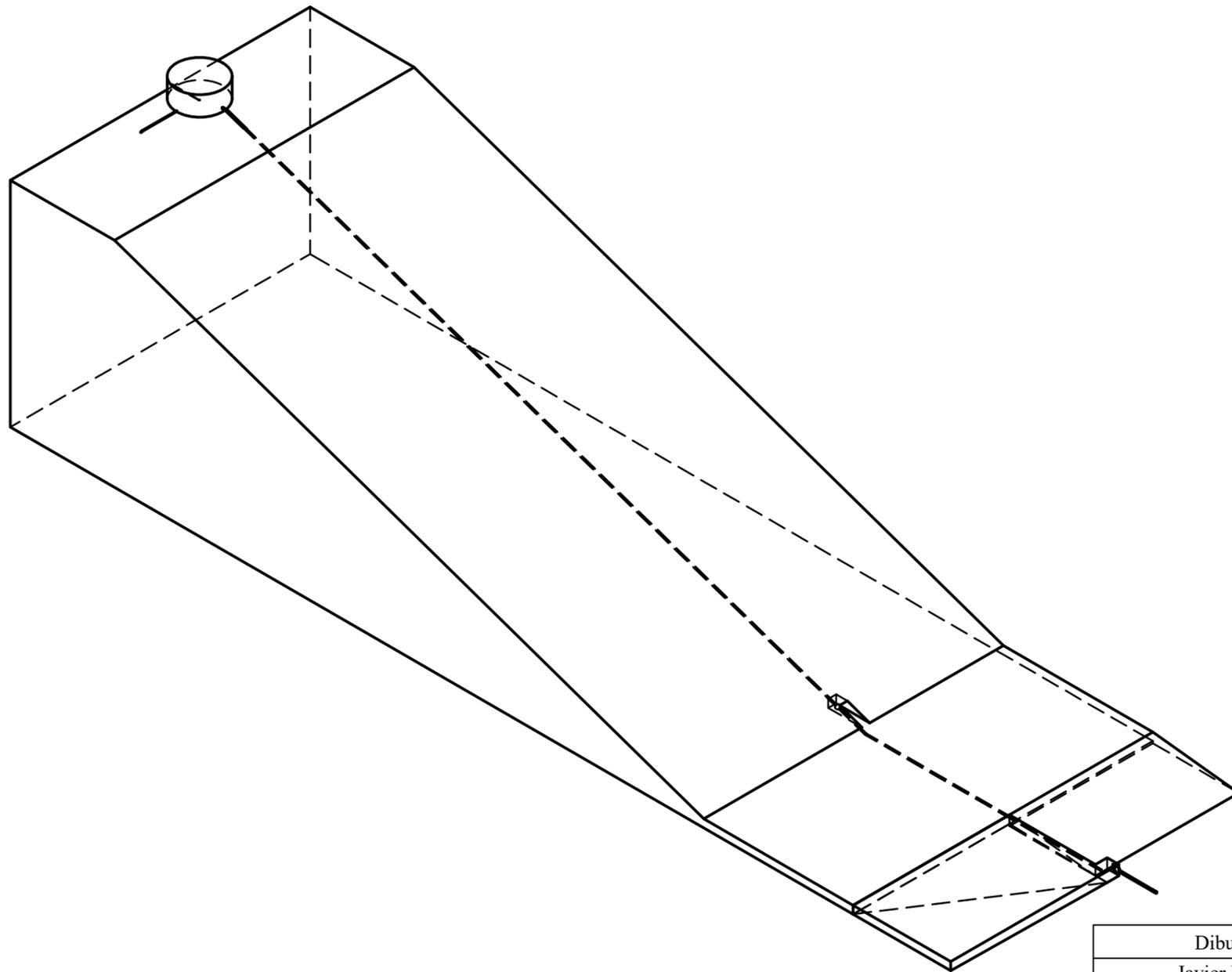
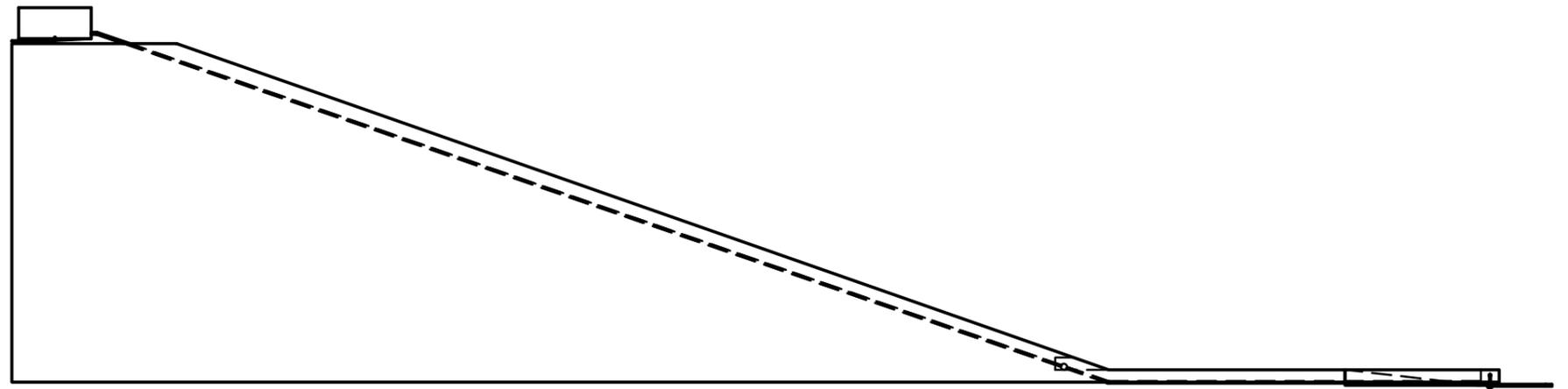
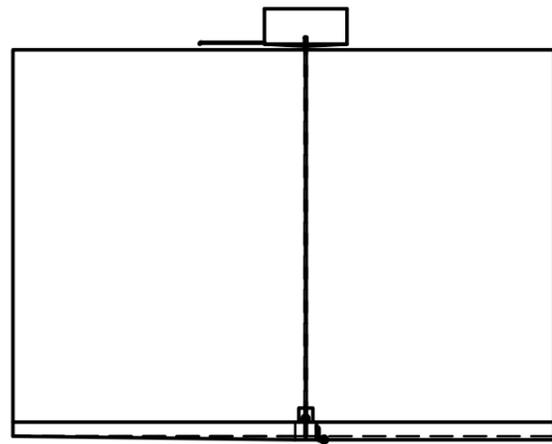
4.3.2. Plano EDAR tuberías de las viviendas.

4.3.3. Plano EDAR hasta depósito.

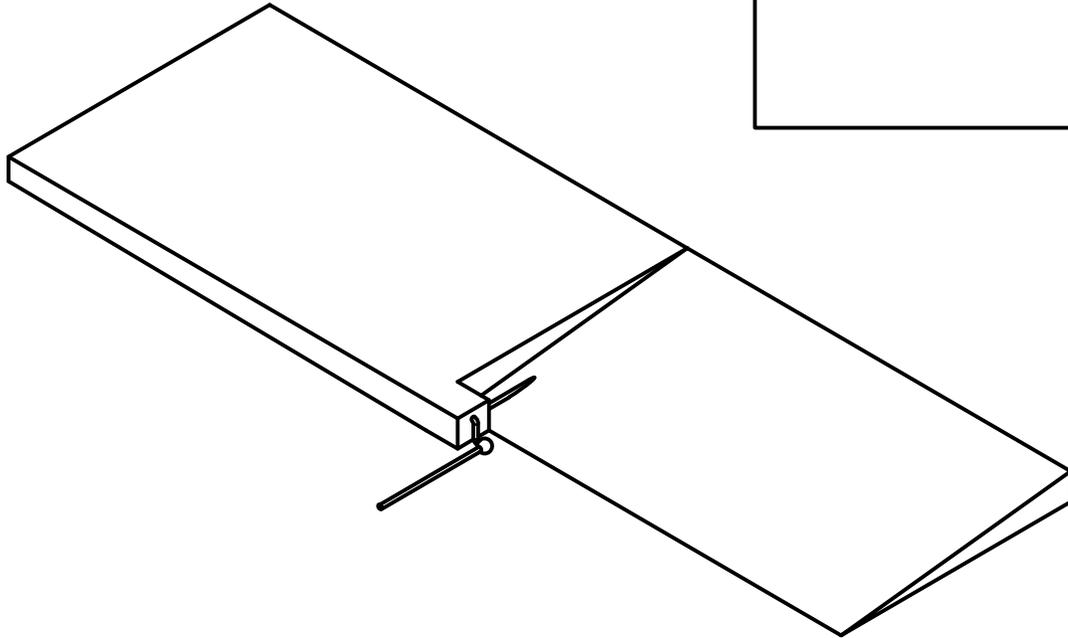
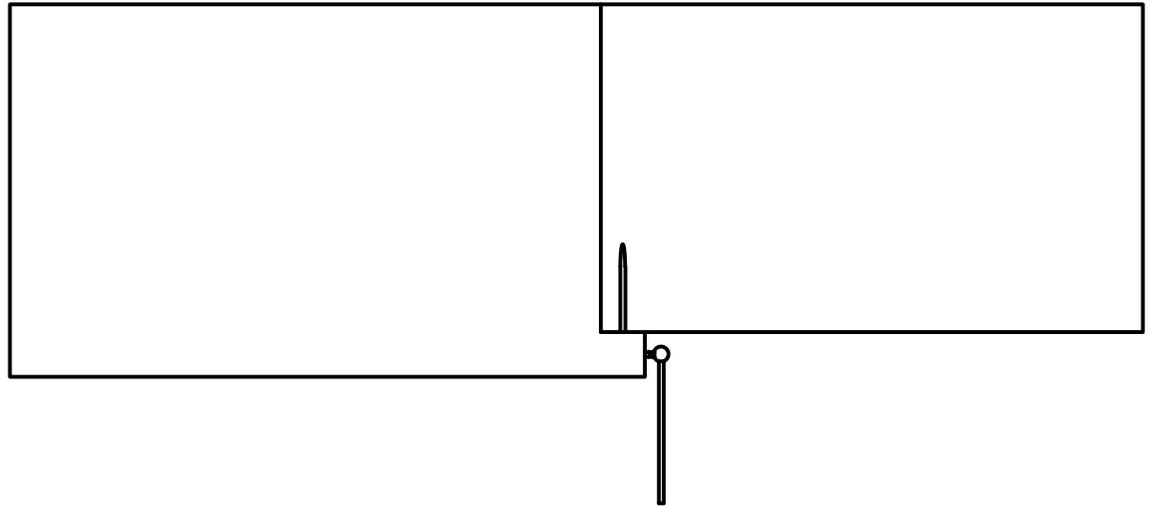
4.4. Plano general al regadío.



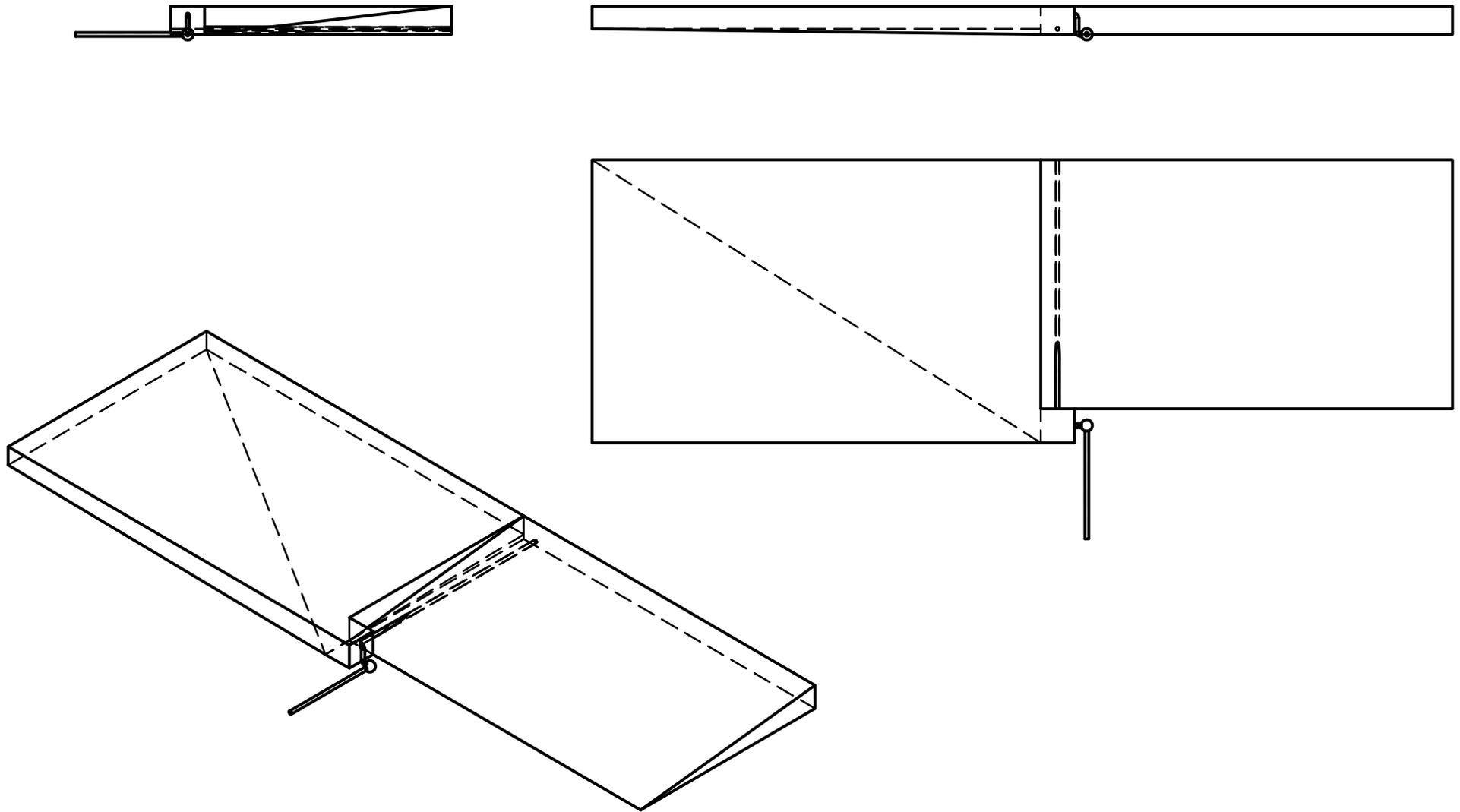
Dibujado por		Firmas	Nombre del plano	
Javier Berbel López		<i>JB</i>	4.0.Plano del proyecto general.	
Fecha:	21/10/2020		Escala	Unidades
		1:1	m	Nº1



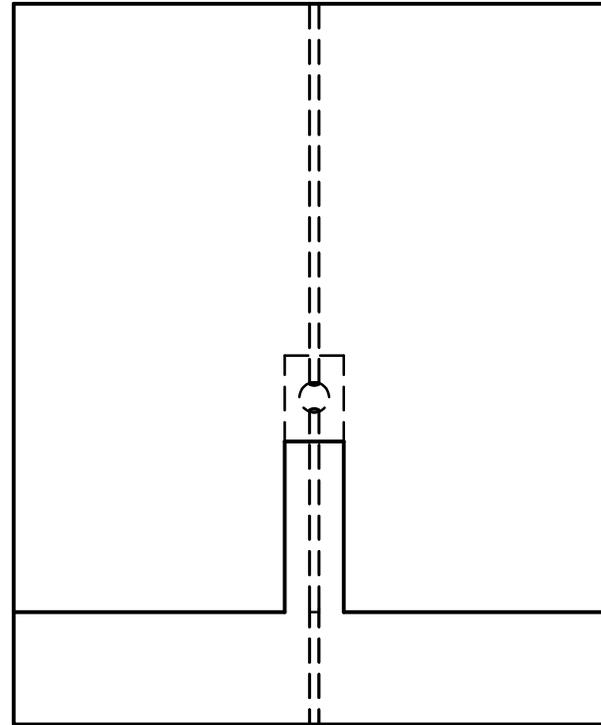
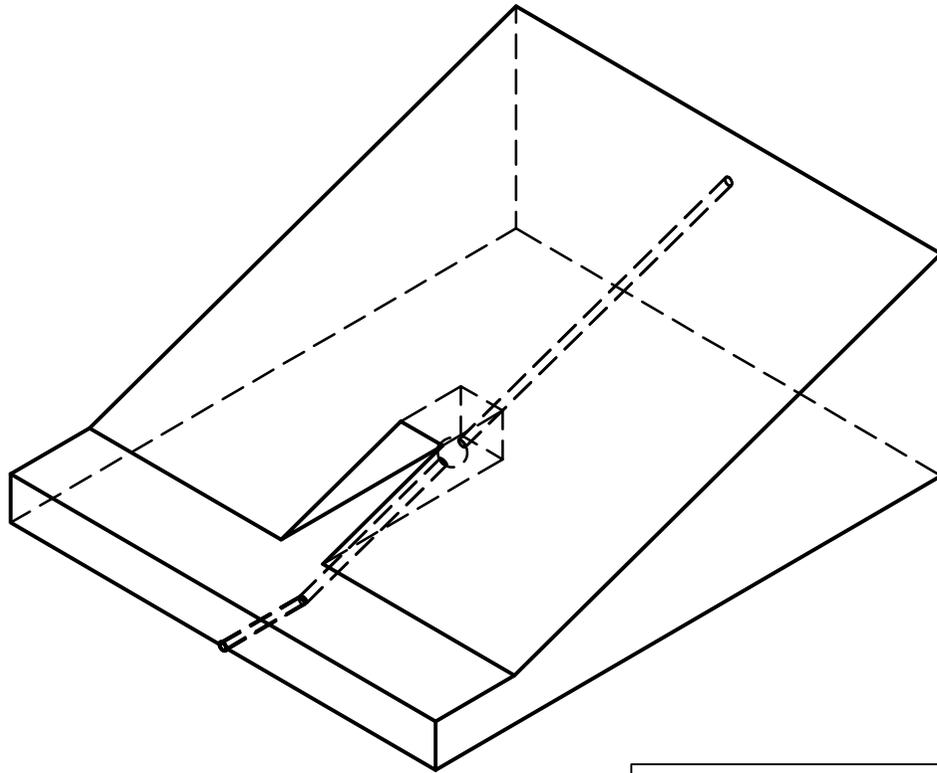
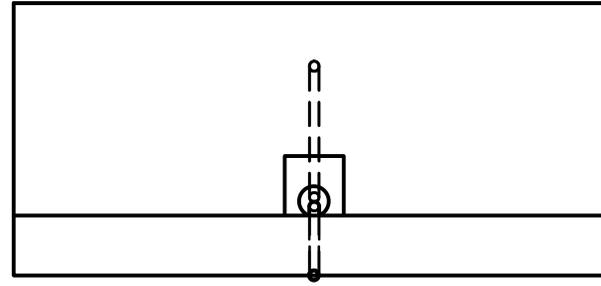
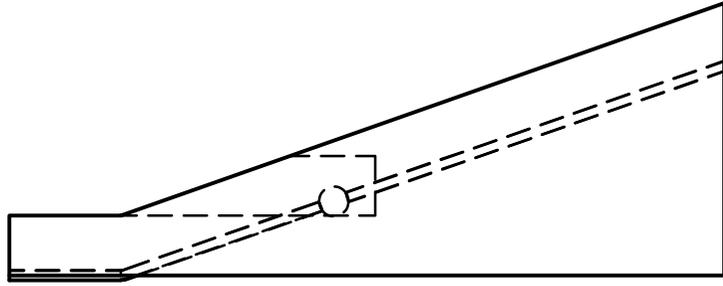
Dibujado por		Firmas	Nombre del plano	
Javier Berbel López		<i>JB</i>	4.1.0.Plano general de la captación	
Fecha:	21/10/2020		Escala	Unidades
		1:1	m	Nº2



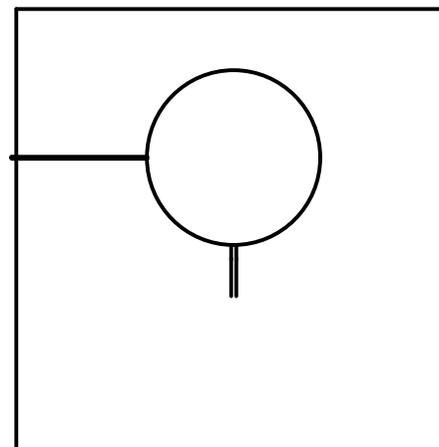
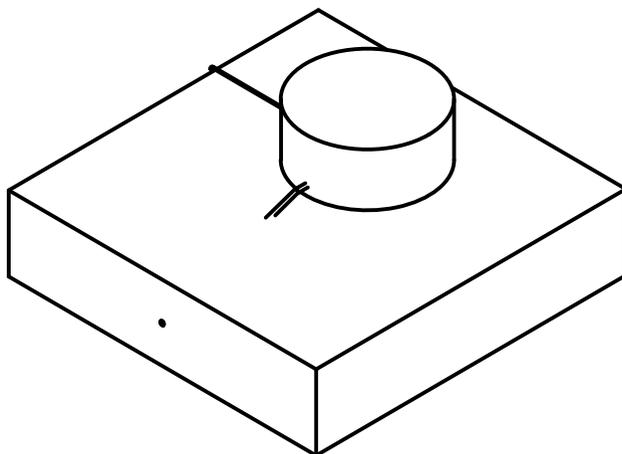
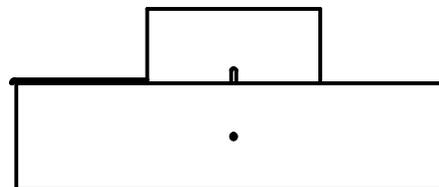
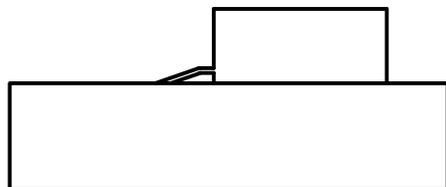
Dibujado por		Firmas	Nombre del plano	
Javier Berbel López		<i>JB</i>	4.1.1.Plano de la captación del Barranc a embalse (1) (Líneas visibles)	
Fecha:	21/10/2020			
		Escala	Unidades	Número
		2:1	m	Nº3



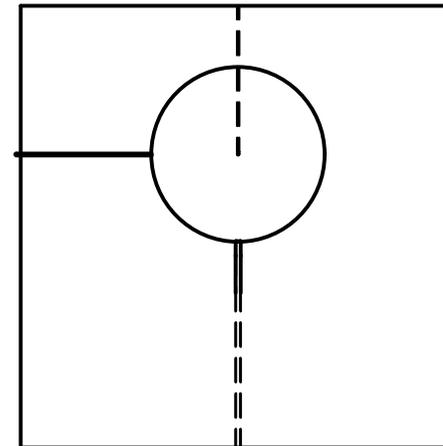
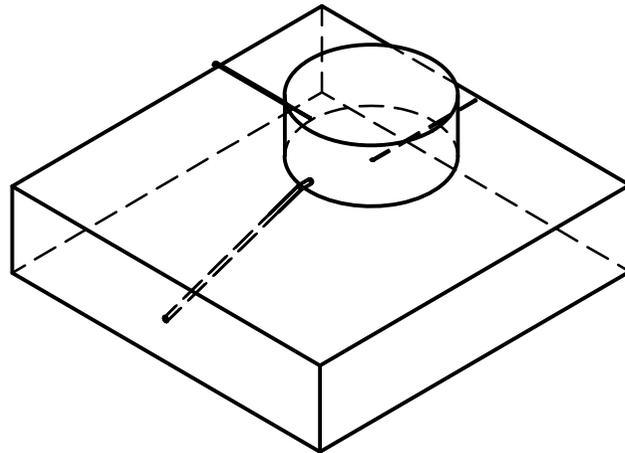
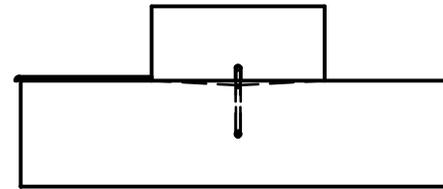
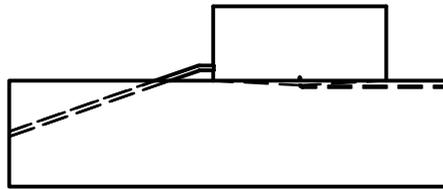
Dibujado por		Firmas	Nombre del plano	
Javier Berbel López		<i>JB</i>	4.1.2.Plano de la captación del Barranc a embalse (1). (visibles y ocultas)	
Fecha:	21/10/2020			
		Escala	Unidades	Número
		2:1	m	Nº4



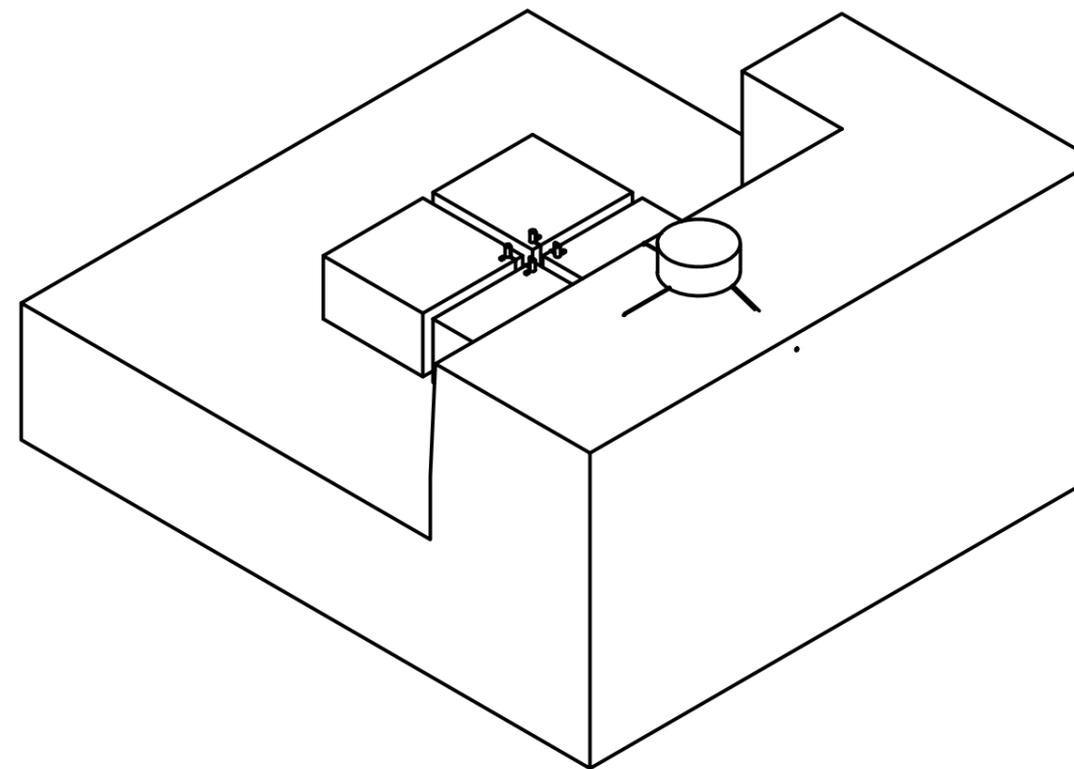
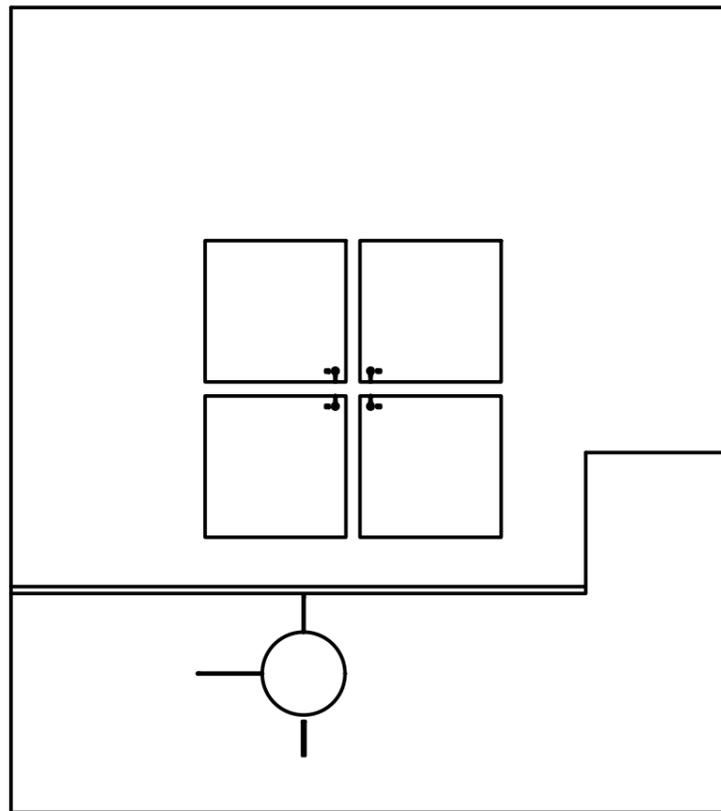
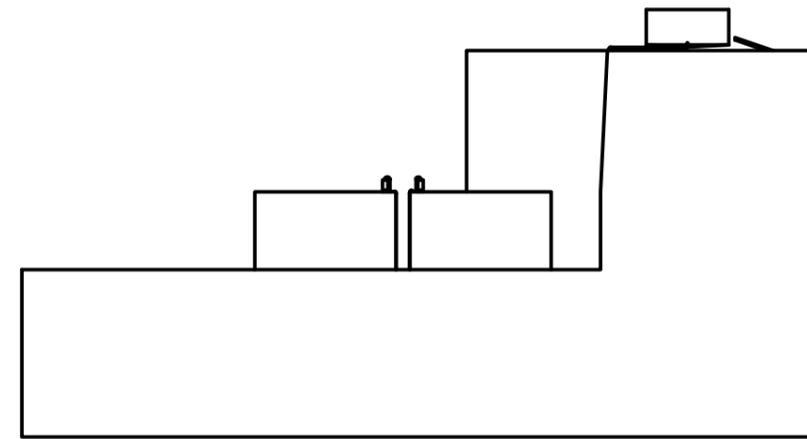
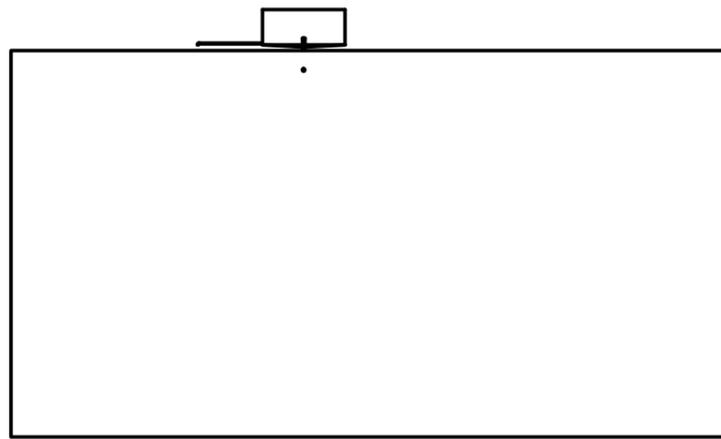
Dibujado por		Firmas	Nombre del plano	
Javier Berbel López		<i>JB</i>	4.1.3.Plano de la zona de bomba hidráulica.	
Fecha:	21/10/2020		Escala	Unidades
		4:1	m	Nº5



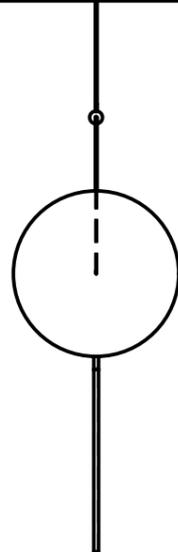
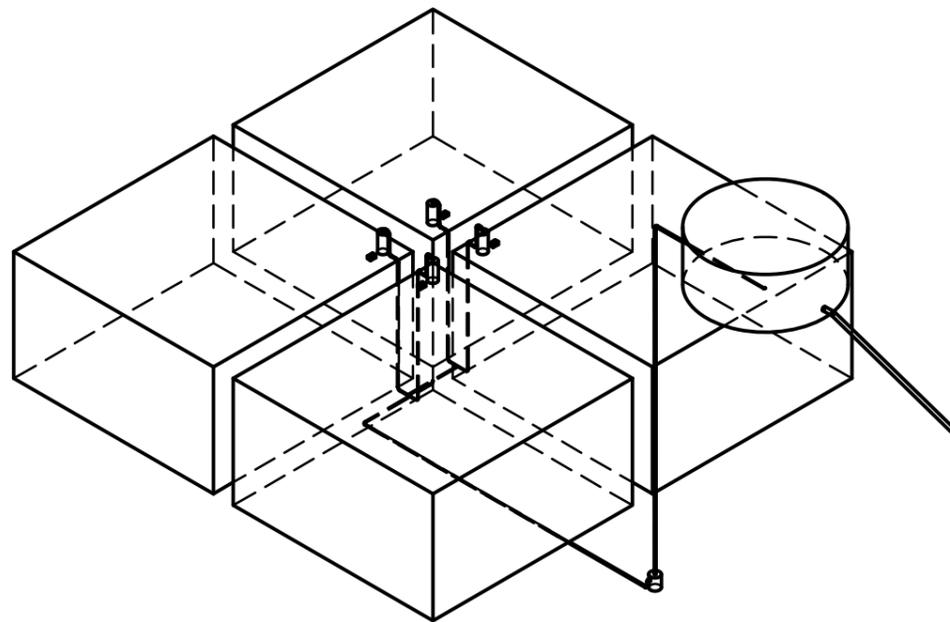
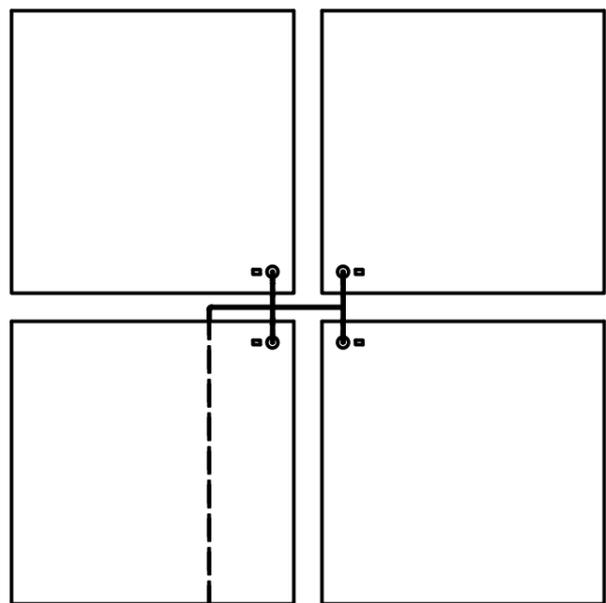
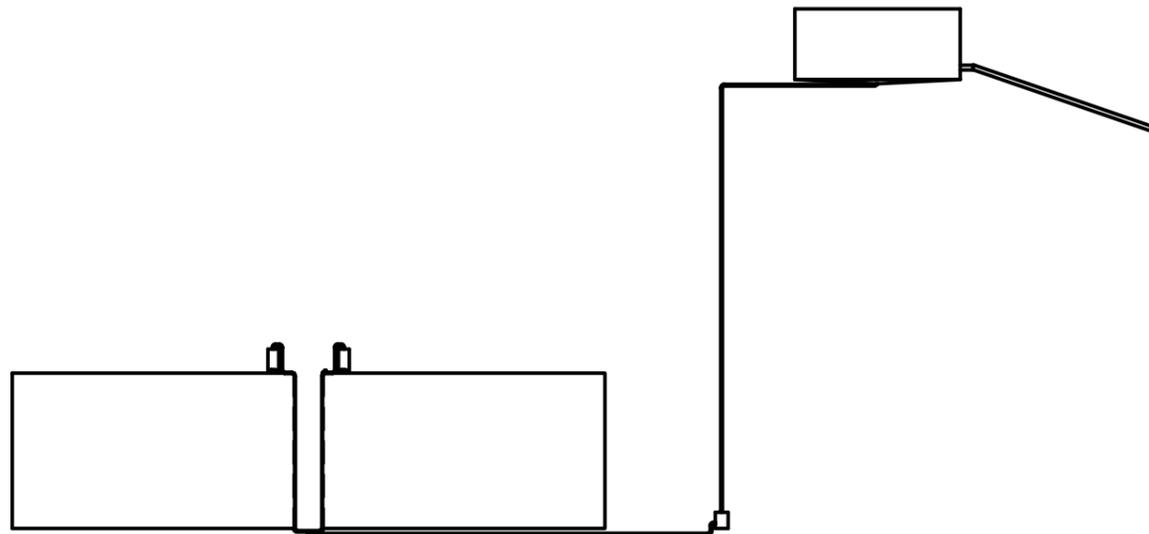
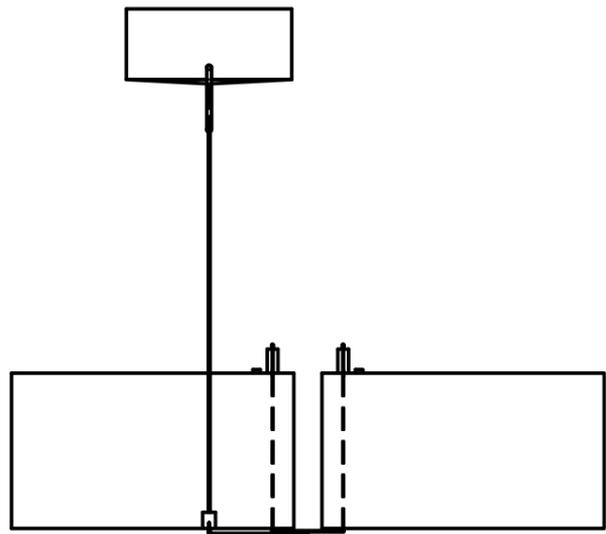
Dibujado por		Firmas	Nombre del plano	
Javier Berbel López		<i>JB</i>	4.1.4.Plano de captación de embalse (1) a embalse (2). (Sólo visibles)	
Fecha:	21/10/2020			
		Escala	Unidades	Número
		2:1	m	Nº6



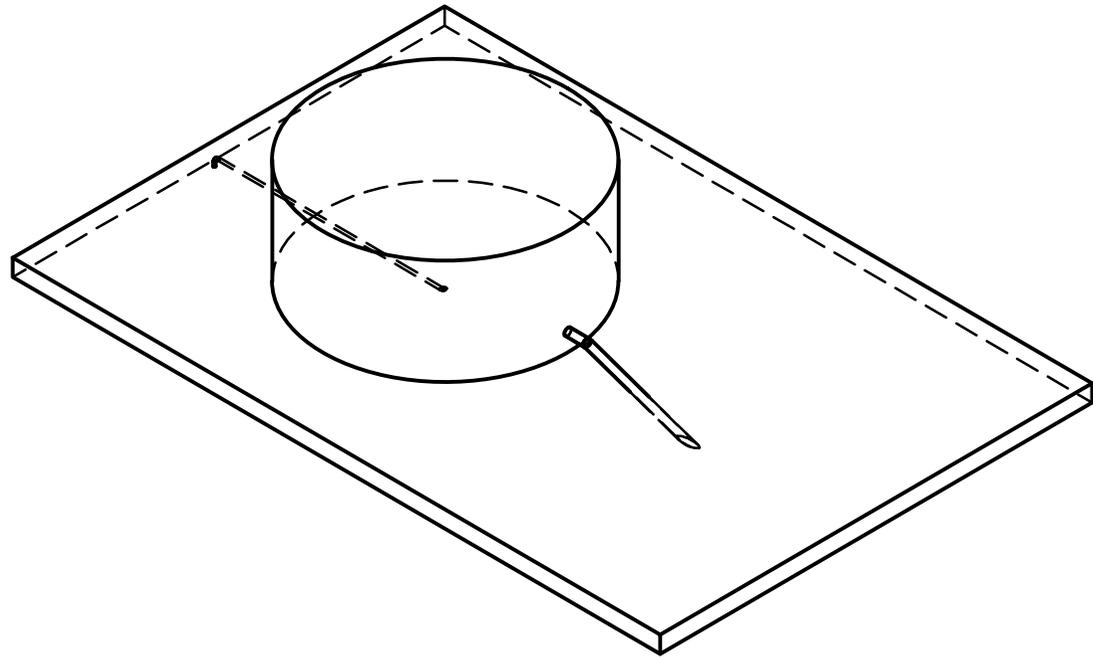
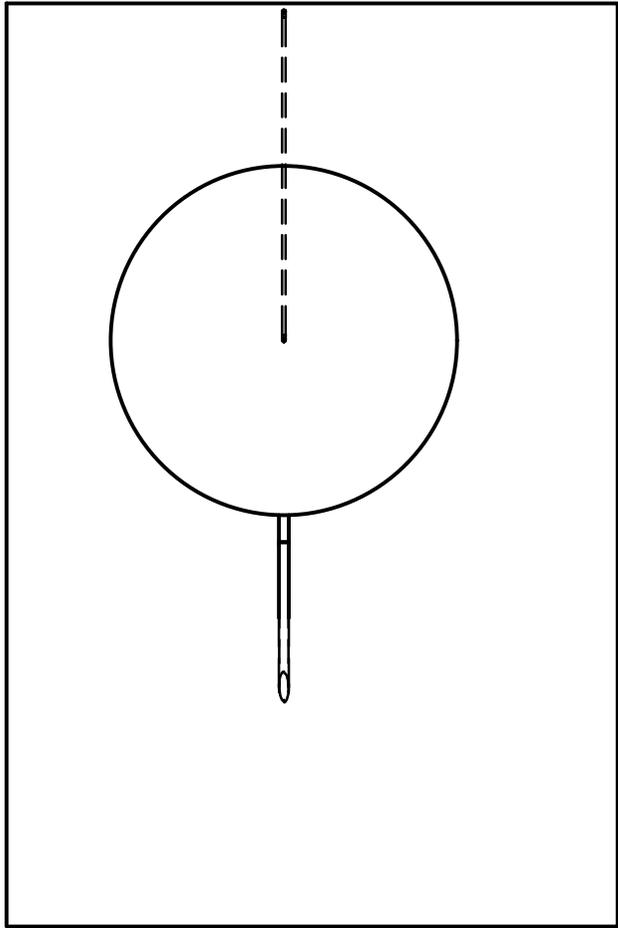
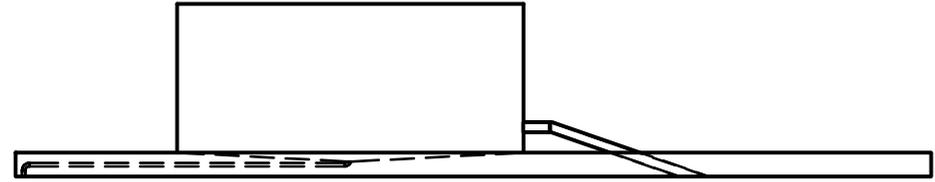
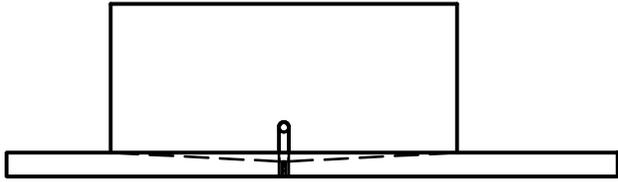
Dibujado por		Firmas	Nombre del plano	
Javier Berbel López		<i>JB</i>	4.1.5.Plano de captación de embalse (1) a embalse (2). (visibles y ocultas)	
Fecha:	21/10/2020			
		Escala	Unidades	Número
		2:1	m	Nº7



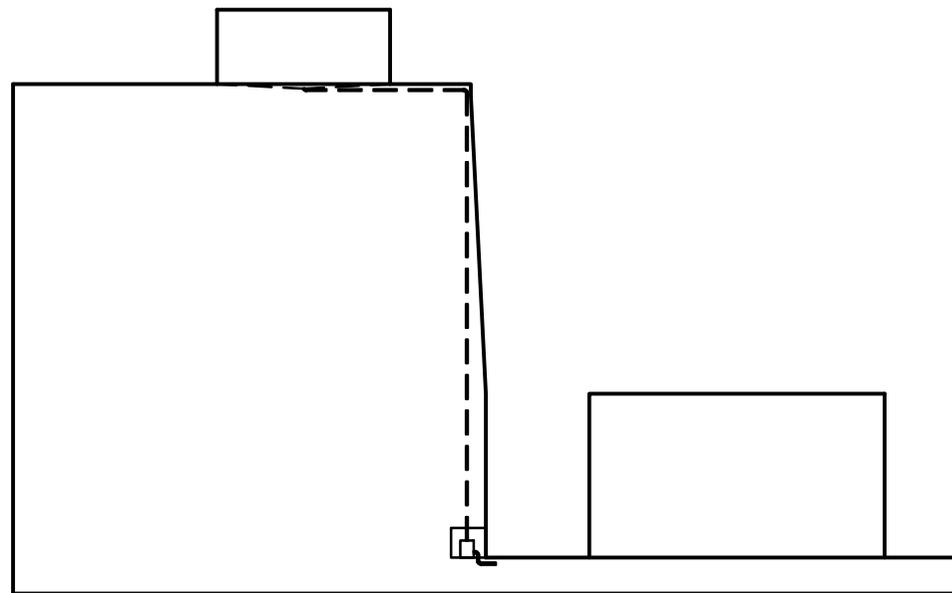
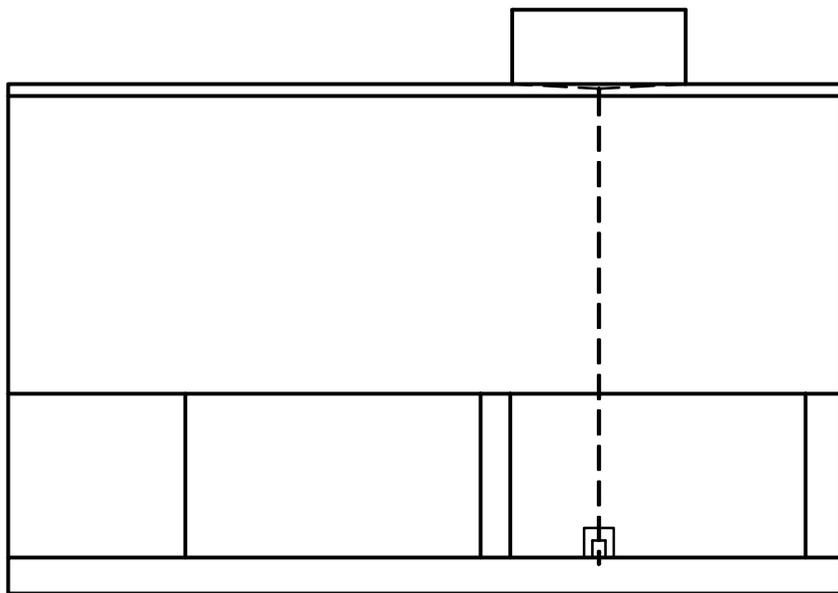
Dibujado por		Firmas	Nombre del plano	
Javier Berbel López		<i>JB</i>	4.2.0.Plano general de la ETAP	
Fecha:	21/10/2020		Escala	Unidades
		2:1	m	Nº8



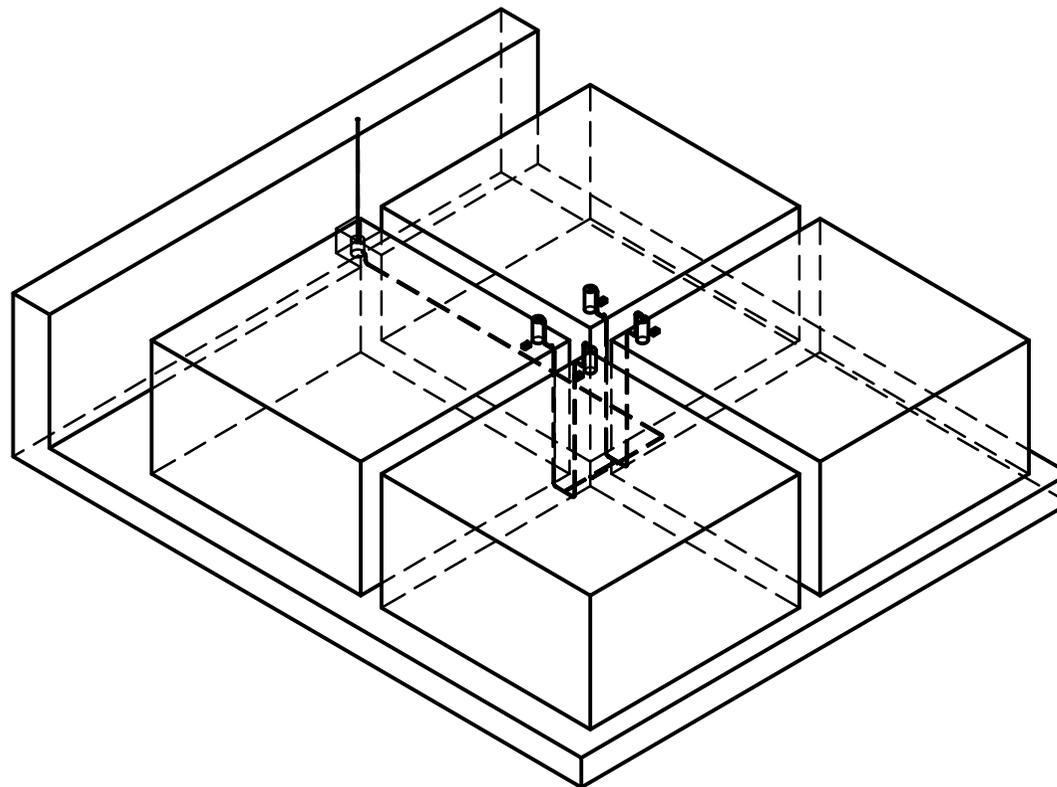
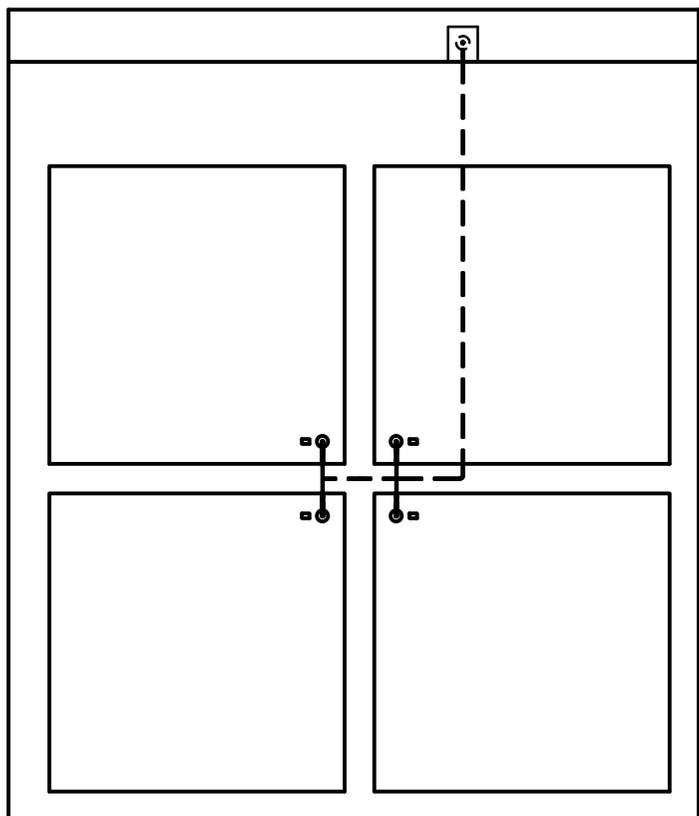
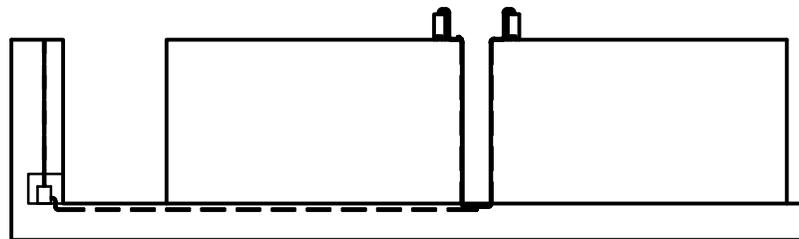
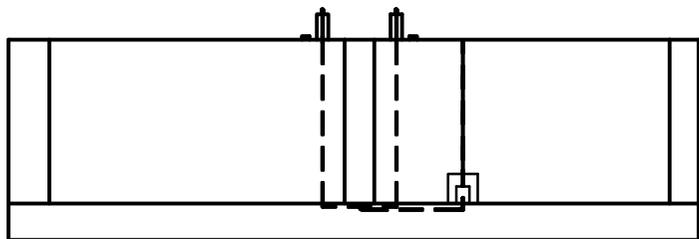
Dibujado por		Firmas	Nombre del plano	
Javier Berbel López		<i>JB</i>	4.2.1.Plano general de las conducciones de la ETAP.	
Fecha:	21/10/2020		Escala	Unidades
		2:1	m	Nº9



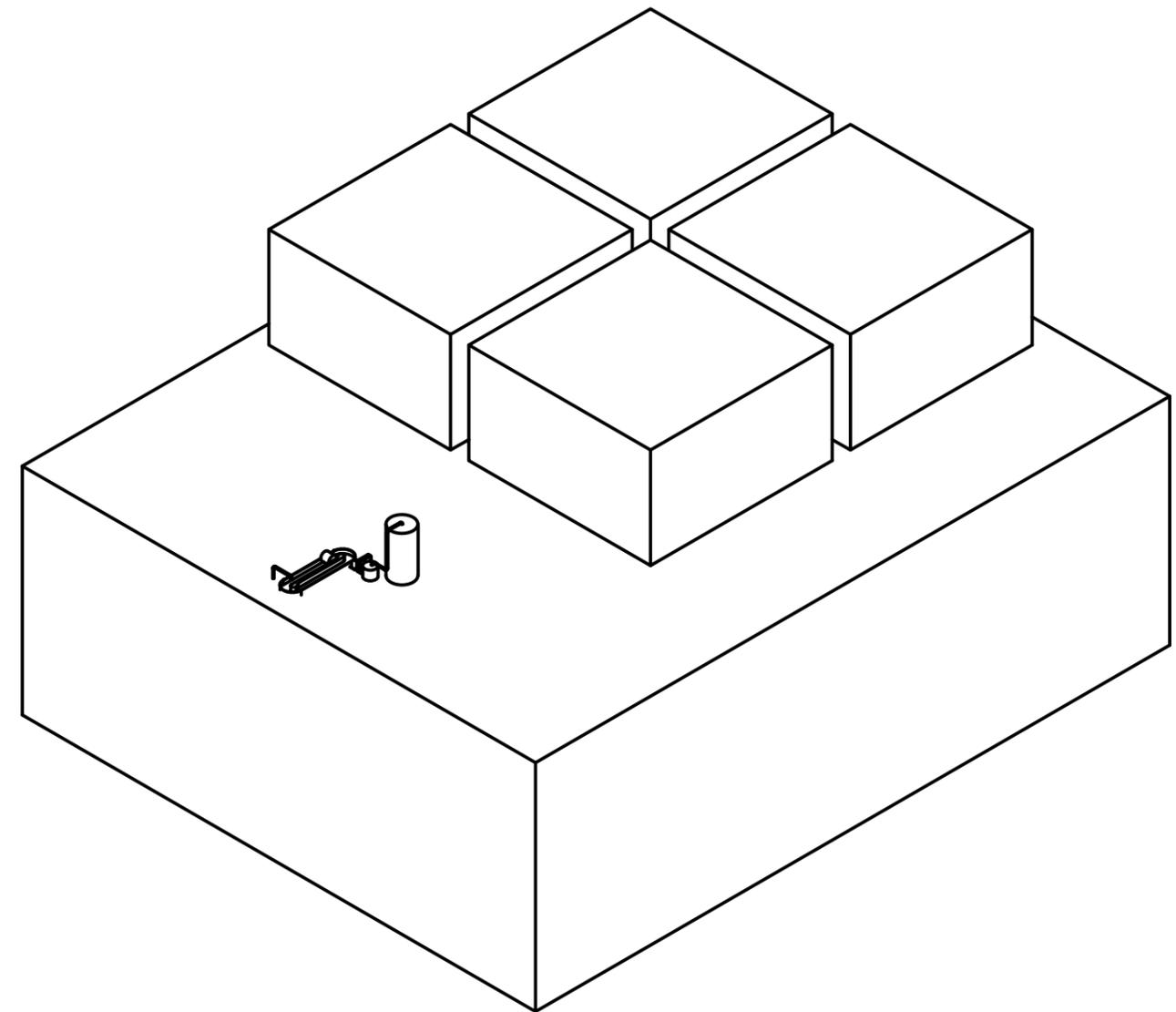
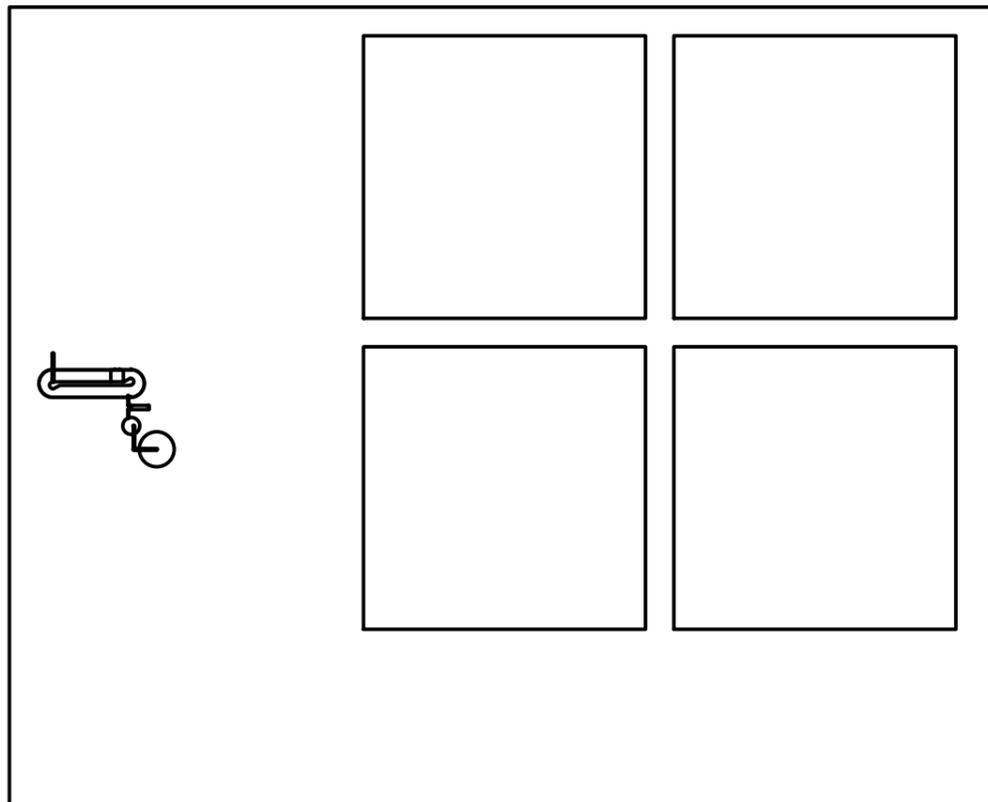
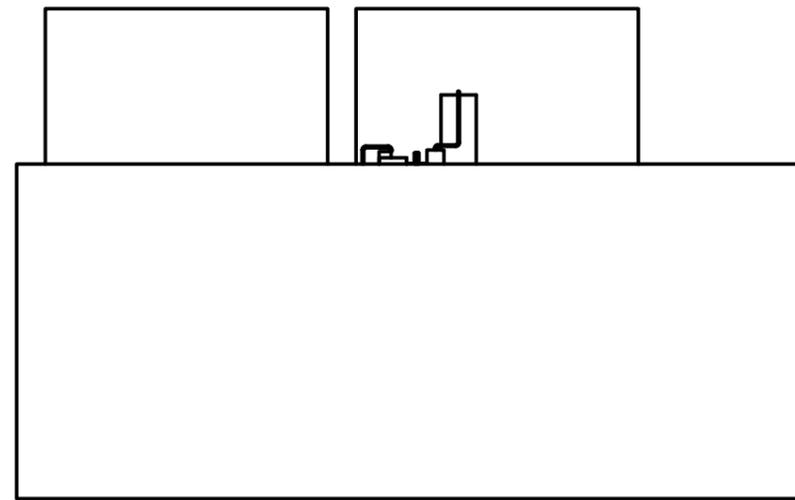
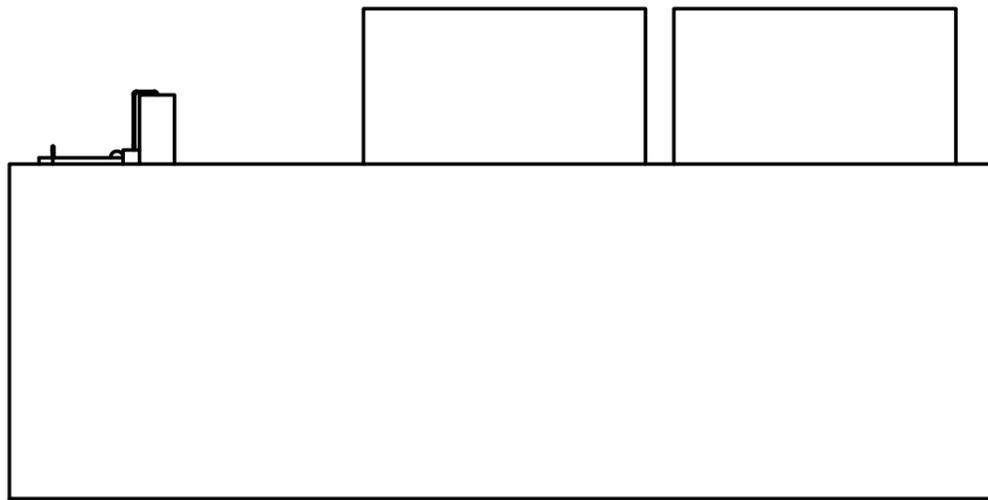
Dibujado por		Firmas	Nombre del plano	
Javier Berbel López		<i>JB</i>	4.2.2.Plano del inicio de la ETAP en el embalse (2).	
Fecha:	21/10/2020			
		Escala	Unidades	Número
		4:1	m	Nº10



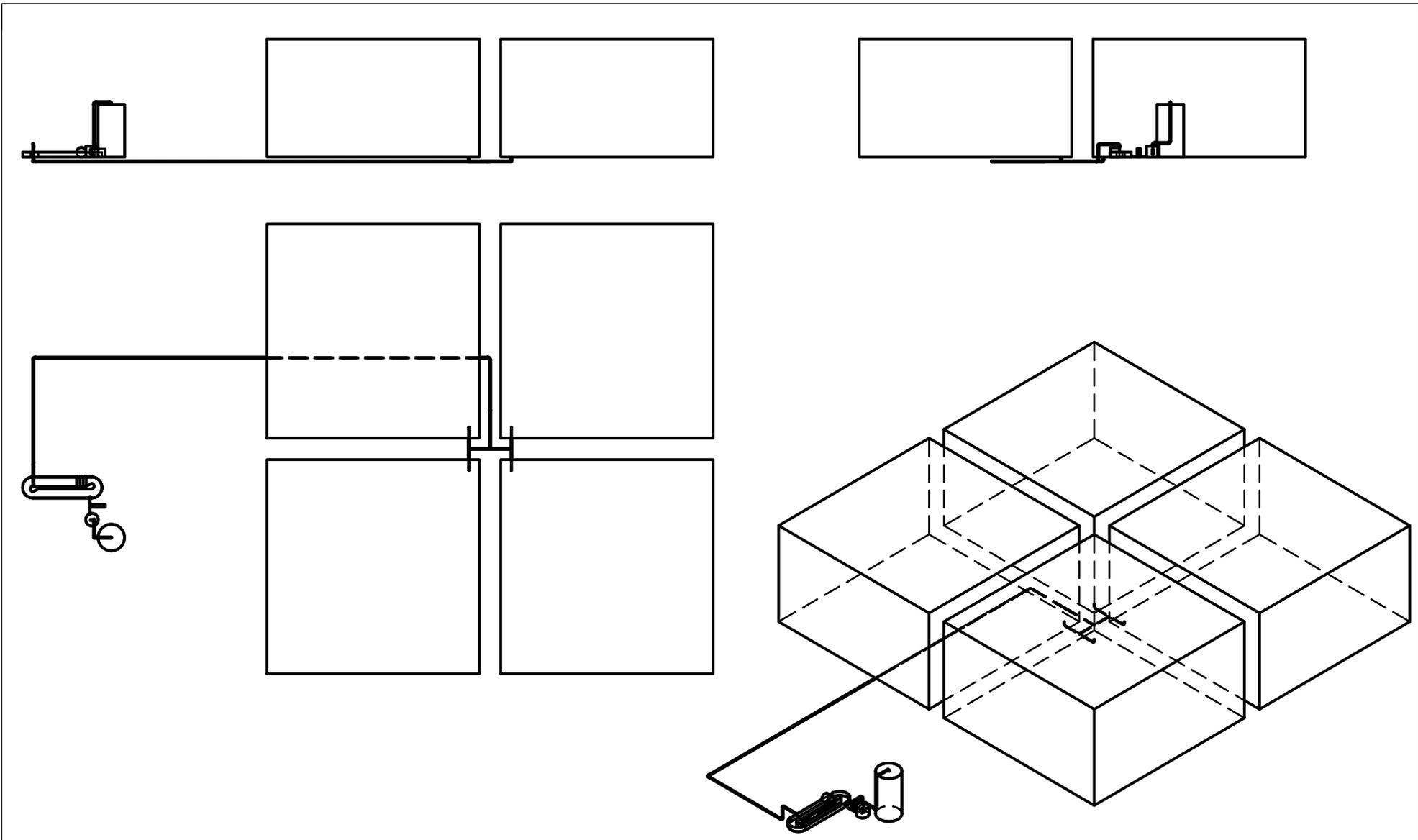
Dibujado por		Firmas	Nombre del plano	
Javier Berbel López		<i>JB</i>	4.2.3.Plano de la ETAP del embalse (1) al filtro de arena.	
Fecha:	21/10/2020		Escala	Unidades
		2:1	m	Nº11



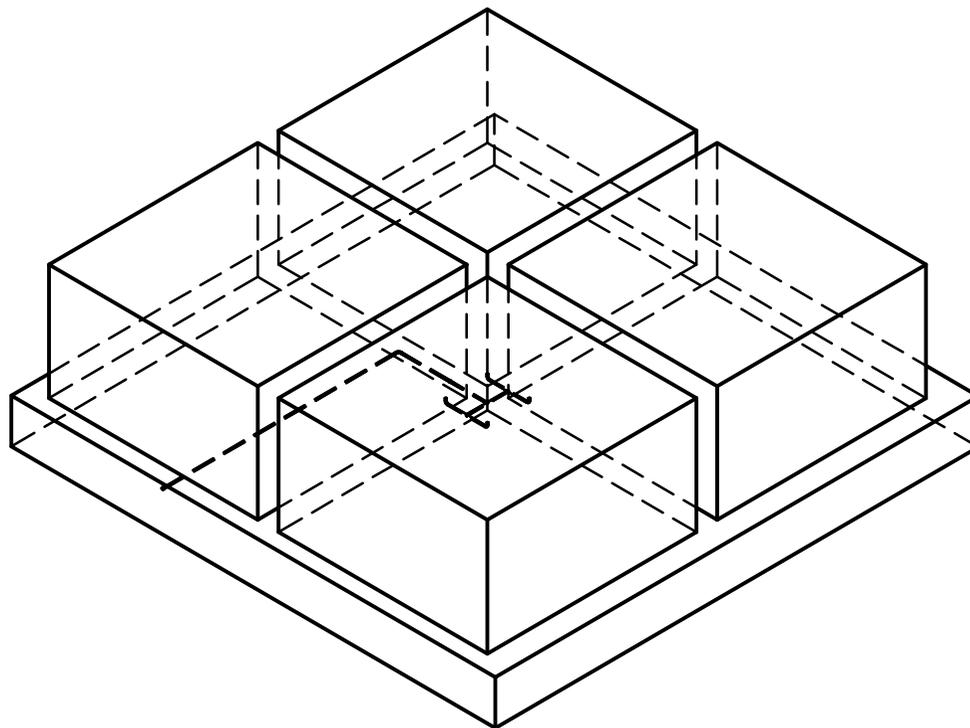
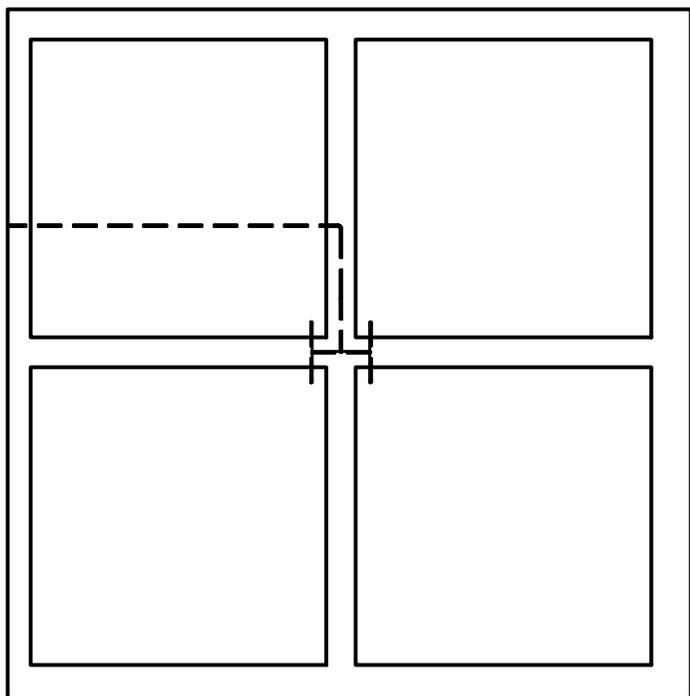
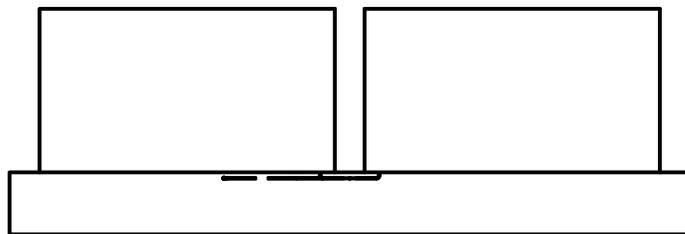
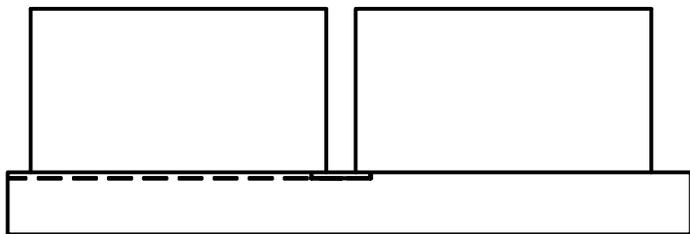
Dibujado por		Firmas	Nombre del plano	
Javier Berbel López		<i>JB</i>	4.2.4.Plano de la ETAP del filtro de arena a los depósitos,	
Fecha:	21/10/2020			
		Escala	Unidades	Número
		2:1	m	Nº12



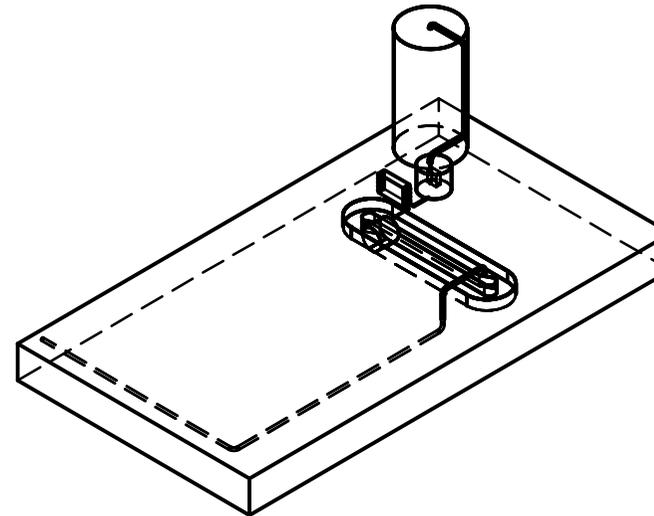
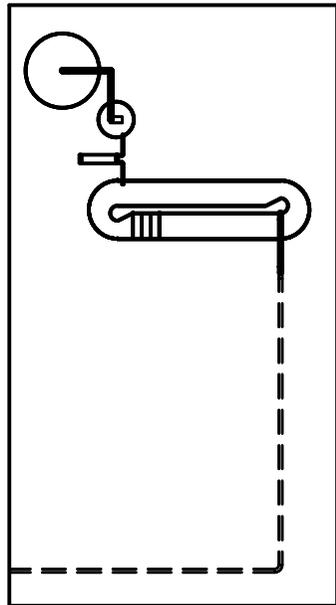
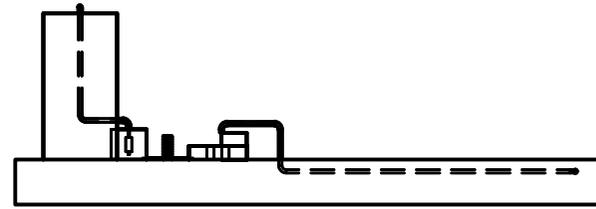
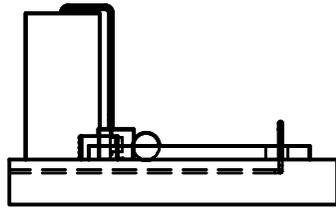
Dibujado por		Firmas	Nombre del plano	
Javier Berbel López		<i>JB</i>	Plano general de la EDAR	
Fecha:	21/10/2020		Escala	Unidades
		2:1	m	Nº13



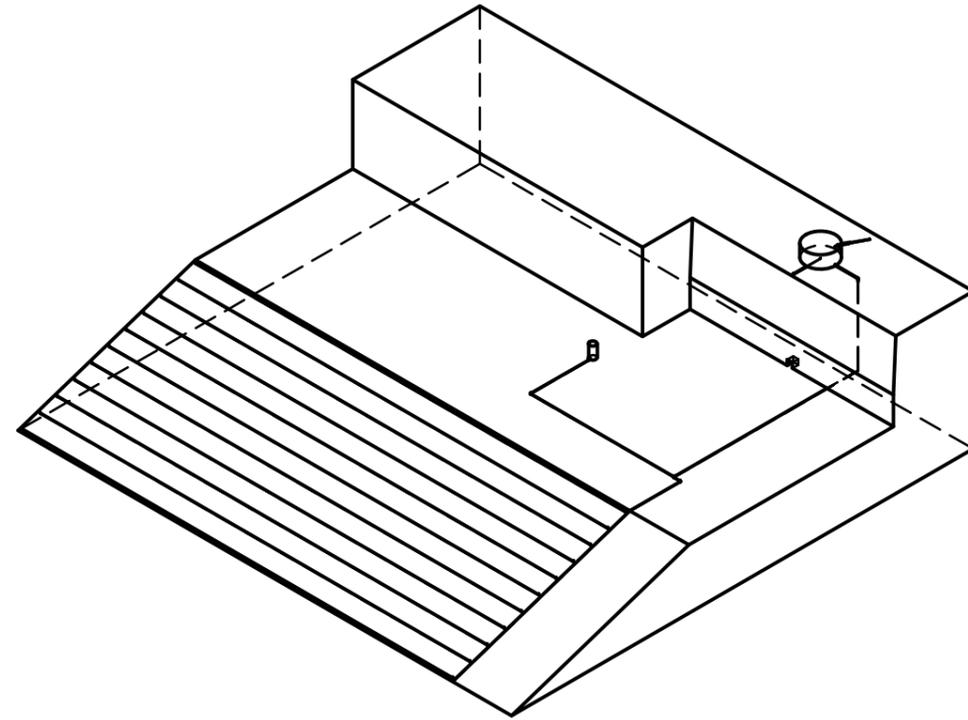
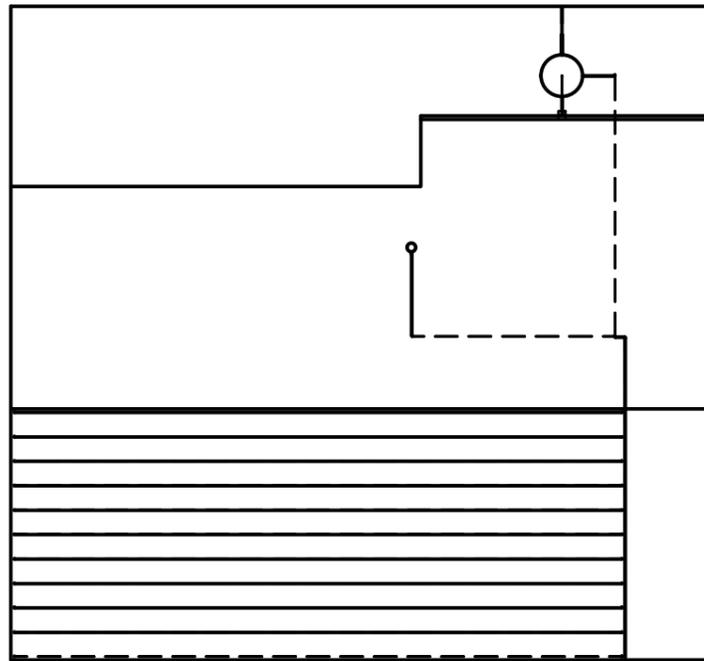
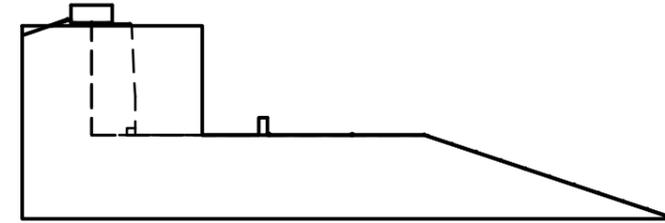
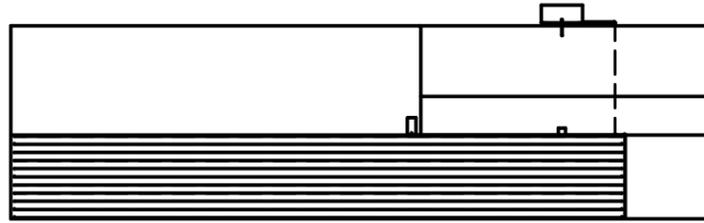
Dibujado por		Firmas	Nombre del plano	
Javier Berbel López		<i>JB</i>	Plano general de la EDAR	
Fecha:	21/10/2020		Escala	Unidades
		2:1	m	Nº14



Dibujado por		Firmas	Nombre del plano	
Javier Berbel López		<i>JB</i>	4.3.2. Plano EDAR tuberías de las viviendas.	
Fecha:	21/10/2020		Escala	Unidades
		2:1	m	Nº15



Dibujado por		Firmas	Nombre del plano	
Javier Berbel López		<i>JB</i>	Plano EDAR hasta depósito	
Fecha:	21/10/2020		Escala	Unidades
		2:1	m	Nº16



Dibujado por		Firmas	Nombre del plano	
Javier Berbel López		<i>JB</i>	4.4.Plano general del regadío.	
Fecha:	21/10/2020		Escala	Unidades
		1:2	m	Nº17

5. Pliego de **condiciones.**

5.1. Pliego de cláusulas administrativas.

5.1.1. Disposiciones generales.

5.1.2. Disposiciones facultativas.

5.1.3. Formación en Seguridad.

5.1.4. Reconocimientos médicos.

5.1.5. Salud e higiene en el trabajo.

5.1.6. Documentación de obra.

5.1.7. Disposiciones Económicas.

5.2. Pliego de condiciones técnicas particulares.

5.2.1. Medios de protección colectiva.

5.2.2. Medios de protección individual.

5.2.3. Instalaciones provisionales de salud y confort.

5.3. Materiales de construcción y equipos a instalar.

5.1. Pliego de cláusulas administrativas

5.1.1. Disposiciones generales

5.1.1.1. Objeto del Pliego de condiciones

El presente Pliego de condiciones, tiene por objeto definir las atribuciones y obligaciones de los agentes que intervienen en materia de Seguridad y Salud, así como las condiciones que deben cumplir las medidas preventivas, las protecciones individuales y colectivas de la construcción de la obra "Diseño de un sistema de captación y tratamiento de agua para el abastecimiento de un complejo rural", situada en Ermita de Sant Marc, Cinctorres (Castellón), según el proyecto redactado por Javier Berbel López. Todo ello con fin de evitar cualquier accidente o enfermedad profesional, que pueden ocasionarse durante el transcurso de la ejecución de la obra o en los futuros trabajos de conservación, reparación y mantenimiento.

5.1.2. Disposiciones facultativas

5.1.2.1. Definición, atribuciones y obligaciones de los agentes de la edificación

Las atribuciones y las obligaciones de los distintos agentes intervinientes en la edificación son las reguladas en sus aspectos generales por la "Ley 38/1999. Ley de Ordenación de la Edificación".

5.1.2.2. El promotor

Es la persona física o jurídica, pública o privada, que individual o colectivamente decide, impulsa, programa y financia con recursos propios o ajenos, las obras de edificación para sí o para su posterior enajenación, entrega o cesión a terceros bajo cualquier título.

Tiene la responsabilidad de contratar a los técnicos redactores del preceptivo Estudio de Seguridad y Salud - o Estudio Básico, en su caso - al igual que a los técnicos coordinadores en la materia en la fase que corresponda, facilitando copias a las empresas contratistas, subcontratistas o trabajadores autónomos contratados directamente por el promotor, exigiendo la presentación de cada Plan de Seguridad y Salud previamente al comienzo de las obras.

El promotor tendrá la consideración de contratista cuando realice la totalidad o determinadas partes de la obra con medios humanos y recursos propios, o en el caso de contratar directamente a trabajadores autónomos para su realización o para trabajos parciales de la misma.

5.1.2.3. El proyectista

Es el agente que, por encargo del promotor y con sujeción a la normativa técnica y urbanística correspondiente, redacta el proyecto.

Tomará en consideración en las fases de concepción, estudio y elaboración del proyecto básico y de ejecución, los principios y criterios generales de prevención en materia de seguridad y de salud, de acuerdo con la legislación vigente.

5.1.2.4. El contratista y subcontratista

Contratista es la persona física o jurídica que asume contractualmente ante el promotor, con medios humanos y materiales propios o ajenos, el compromiso de ejecutar la totalidad o parte de las obras, con sujeción al proyecto y al contrato.

Subcontratista es la persona física o jurídica que asume contractualmente ante el contratista, empresario principal, el compromiso de realizar determinadas partes o instalaciones de la obra, con sujeción al proyecto por el que se rige su ejecución.

El contratista comunicará a la autoridad laboral competente la apertura del centro de trabajo en la que incluirá el Plan de Seguridad y Salud.

Adoptará todas las medidas preventivas que cumplan los preceptos en materia de Prevención de Riesgos Laborales y Seguridad y Salud que establece la legislación vigente, redactando el correspondiente Plan de Seguridad y ajustándose al cumplimiento estricto y permanente de lo establecido en el Estudio Básico de Seguridad y Salud, disponiendo de todos los medios necesarios y dotando al personal del equipamiento de seguridad exigibles, cumpliendo las órdenes efectuadas por el coordinador en materia de seguridad y de salud durante la ejecución de la obra.

Supervisará de manera continuada el cumplimiento de las normas de seguridad, tutelando las actividades de los trabajadores a su cargo y, en su caso, relevando de su puesto a todos aquellos que pudieran menoscabar las condiciones básicas de seguridad personales o generales, por no estar en las condiciones adecuadas.

Entregará la información suficiente al coordinador en materia de seguridad y de salud durante la ejecución de la obra, donde se acredite la estructura organizativa de la empresa, sus responsabilidades, funciones, procesos, procedimientos y recursos materiales y humanos disponibles, con el fin de garantizar una adecuada acción preventiva de riesgos de la obra.

Entre las responsabilidades y obligaciones del contratista y de los subcontratistas en materia de seguridad y salud, cabe destacar:

- Aplicar los principios de la acción preventiva que se recogen en la Ley de Prevención de Riesgos Laborales.

- Cumplir y hacer cumplir a su personal lo establecido en el plan de seguridad y salud.
- Cumplir la normativa en materia de prevención de riesgos laborales, teniendo en cuenta, en su caso, las obligaciones sobre coordinación de actividades empresariales, durante la ejecución de la obra.
- Informar y proporcionar las instrucciones adecuadas y precisas a los trabajadores autónomos sobre todas las medidas que hayan de adoptarse en lo referente a su seguridad y salud en la obra.
- Atender las indicaciones y consignas del coordinador en materia de seguridad y salud, cumpliendo estrictamente sus instrucciones durante la ejecución de la obra.

Responderán de la correcta ejecución de las medidas preventivas fijadas en el plan de seguridad y salud en lo relativo a las obligaciones que les correspondan a ellos directamente o, en su caso, a los trabajadores autónomos por ellos contratados.

Responderán solidariamente de las consecuencias que se deriven del incumplimiento de las medidas previstas en el plan.

Las responsabilidades de los coordinadores, de la Dirección facultativa y del promotor, no eximirán de sus responsabilidades a los contratistas y a los subcontratistas.

5.1.2.5. La Dirección Facultativa

Se entiende como Dirección Facultativa:

El técnico o los técnicos competentes designados por el promotor, encargados de la dirección y del control de la ejecución de la obra.

Las responsabilidades de la Dirección facultativa y del promotor, no eximen en ningún caso de las atribuibles a los contratistas y a los subcontratistas.

5.1.2.6. Coordinador de Seguridad y Salud en Proyecto

Es el técnico competente designado por el promotor para coordinar, durante la fase del proyecto de ejecución, la aplicación de los principios y criterios generales de prevención en materia de seguridad y salud.

5.1.2.7. Coordinador de Seguridad y Salud en Ejecución

El Coordinador de Seguridad y Salud durante la ejecución de la obra, es el técnico competente designado por el promotor, que forma parte de la Dirección Facultativa.

Asumirá las tareas y responsabilidades asociadas a las siguientes funciones:

- Coordinar la aplicación de los principios generales de prevención y de seguridad, tomando las decisiones técnicas y de organización, con el fin de planificar las distintas tareas o fases de trabajo que vayan a desarrollarse simultánea o sucesivamente, estimando la duración requerida para la ejecución de las mismas.
- Coordinar las actividades de la obra para garantizar que los contratistas y, en su caso, los subcontratistas y los trabajadores autónomos, apliquen de manera coherente y responsable los principios de la acción preventiva recogidos en la legislación vigente.
- Aprobar el plan de seguridad y salud elaborado por el contratista y, en su caso, las modificaciones introducidas en el mismo.
- Organizar la coordinación de actividades empresariales.
- Coordinar las acciones y funciones de control de la aplicación correcta de los métodos de trabajo.
- Adoptar las medidas necesarias para que sólo las personas autorizadas puedan acceder a la obra. La Dirección facultativa asumirá esta función cuando no fuera necesaria la designación de un coordinador.

5.1.2.8. Trabajadores Autónomos

Es la persona física, distinta del contratista y subcontratista, que realiza de forma personal y directa una actividad profesional, sin sujeción a un contrato de trabajo y que asume contractualmente ante el promotor, el contratista o el subcontratista, el compromiso de realizar determinadas partes o instalaciones de la obra.

Cuando el trabajador autónomo emplee en la obra a trabajadores por cuenta ajena, tendrá la consideración de contratista o subcontratista.

Los trabajadores autónomos cumplirán lo establecido en el plan de seguridad y salud.

5.1.2.9. Trabajadores por cuenta ajena

Los contratistas y subcontratistas deberán garantizar que los trabajadores reciban una información adecuada de todas las medidas que hayan de adoptarse en lo que se refiere a su seguridad y su salud en la obra.

El contratista facilitará a los representantes de los trabajadores en el centro de trabajo una copia del plan de seguridad y salud y de sus posibles modificaciones.

5.1.2.10. Fabricantes y suministradores de equipos de protección y materiales de construcción.

Los fabricantes, importadores y suministradores de maquinaria, equipos, productos y útiles de trabajo, deberán suministrar la información que indique la forma correcta de utilización por los trabajadores, las medidas preventivas adicionales que deban tomarse y los riesgos laborales que conlleven tanto su uso normal como su manipulación o empleo inadecuado.

5.1.2.11. Recursos preventivos

Con el fin de verificar el cumplimiento de las medidas incluidas en el Plan de Seguridad y Salud, el empresario designará para la obra los recursos preventivos correspondientes, que podrán ser:

- a) Uno o varios trabajadores designados por la empresa.
- b) Uno o varios miembros del servicio de prevención propio de la empresa.
- c) Uno o varios miembros del servicio o los servicios de prevención ajenos.

Las personas a las que se asigne esta vigilancia deberán dar las instrucciones necesarias para el correcto e inmediato cumplimiento de las actividades preventivas. En caso de observar un deficiente cumplimiento de las mismas o una ausencia, insuficiencia o falta de adecuación de las mismas, se informará al empresario para que éste adopte las medidas necesarias para su corrección, notificándose a su vez al Coordinador de Seguridad y Salud y al resto de la Dirección Facultativa.

En el Plan de Seguridad y Salud se especificarán los casos en que la presencia de los recursos preventivos es necesaria, especificándose expresamente el nombre de la persona o personas designadas para tal fin, concretando las tareas en las que inicialmente se prevé necesaria su presencia.

5.1.3. Formación en Seguridad

Con el fin de que todo el personal que acceda a la obra disponga de la suficiente formación en las materias preventivas de seguridad y salud, la empresa se encargará de su formación para la adecuada prevención de riesgos y el correcto uso de las protecciones colectivas e individuales. Dicha formación alcanzará todos los niveles de la empresa, desde los directivos hasta los trabajadores no cualificados, incluyendo a los técnicos, encargados, especialistas y operadores de máquinas entre otros.

5.1.4. Reconocimientos médicos

La vigilancia del estado de salud de los trabajadores quedará garantizada por la empresa contratista, en función de los riesgos inherentes al trabajo asignado y en los casos establecidos por la legislación vigente.

Dicha vigilancia será voluntaria, excepto cuando la realización de los reconocimientos sea imprescindible para evaluar los efectos de las condiciones de trabajo sobre su salud, o para verificar que su estado de salud no constituye un peligro para otras personas o para el mismo trabajador.

5.1.5. Salud e higiene en el trabajo

5.1.5.1. Primeros auxilios

El empresario designará al personal encargado de la adopción de las medidas necesarias en caso de accidente, con el fin de garantizar la prestación de los primeros auxilios y la evacuación del accidentado.

Se dispondrá, en un lugar visible de la obra y accesible a los operarios, un botiquín perfectamente equipado con material sanitario destinado a primeros auxilios.

El contratista instalará rótulos con caracteres legibles hasta una distancia de 2 m, en el que se suministre a los trabajadores y participantes en la obra la información suficiente para establecer rápido contacto con el centro asistencial más próximo.

5.1.5.2. Actuación en caso de accidente

En caso de accidente se tomarán solamente las medidas indispensables hasta que llegue la asistencia médica, para que el accidentado pueda ser trasladado con rapidez y sin riesgo. En ningún caso se le moverá, excepto cuando sea imprescindible para su integridad.

Se comprobarán sus signos vitales (consciencia, respiración, pulso y presión sanguínea), se le intentará tranquilizar, y se le cubrirá con una manta para mantener su temperatura corporal.

No se le suministrará agua, bebidas o medicamento alguno y, en caso de hemorragia, se presionarán las heridas con gasas limpias.

El empresario notificará el accidente por escrito a la autoridad laboral, conforme al procedimiento reglamentario.

5.1.6. Documentación de obra

5.1.6.1. Estudio Básico de Seguridad y Salud

Es el documento elaborado por el técnico competente designado por el promotor, donde se precisan las normas de seguridad y salud aplicables a la obra, contemplando la identificación de los riesgos laborales que puedan ser evitados, indicando las medidas técnicas necesarias para ello.

Incluye también las previsiones y las informaciones útiles para efectuar en su día, en las debidas condiciones de seguridad y salud, los previsibles trabajos posteriores.

5.1.6.2. Plan de seguridad y salud

En aplicación del presente Estudio Básico de Seguridad y Salud, cada contratista elaborará el correspondiente plan de seguridad y salud en el trabajo en el que se analicen, estudien, desarrollen y complementen las previsiones contenidas en el presente estudio básico, en

función de su propio sistema de ejecución de la obra. En dicho plan se incluirán, en su caso, las propuestas de medidas alternativas de prevención que el contratista proponga con la correspondiente justificación técnica, que no podrán implicar disminución de los niveles de protección previstos en este estudio básico.

El coordinador en materia de seguridad y de salud durante la ejecución de la obra aprobará el plan de seguridad y salud antes del inicio de la misma.

El plan de seguridad y salud podrá ser modificado por el contratista en función del proceso de ejecución de la obra, de la evolución de los trabajos y de las posibles incidencias o modificaciones que puedan surgir durante el desarrollo de la misma, siempre con la aprobación expresa del Coordinador de Seguridad y Salud y la Dirección Facultativa.

Quienes intervengan en la ejecución de la obra, así como las personas u órganos con responsabilidades en materia de prevención de las empresas intervinientes en la misma y los representantes de los trabajadores, podrán presentar por escrito y de forma razonada, las sugerencias y alternativas que estimen oportunas. A tal efecto, el plan de seguridad y salud estará en la obra a disposición permanente de los mismos y de la Dirección Facultativa.

5.1.6.3. Acta de aprobación del plan

El plan de seguridad y salud elaborado por el contratista será aprobado por el Coordinador de Seguridad y Salud durante la ejecución de la obra, por la Dirección Facultativa o por la Administración en el caso de obras públicas, quien deberá emitir un acta de aprobación como documento acreditativo de dicha operación, visado por el Colegio Profesional correspondiente.

5.1.6.4. Comunicación de apertura de centro de trabajo

La comunicación de apertura del centro de trabajo a la autoridad laboral competente será previa al comienzo de los trabajos y se presentará únicamente por los empresarios que tengan la consideración de contratistas.

La comunicación contendrá los datos de la empresa, del centro de trabajo y de producción y/o almacenamiento del centro de trabajo. Deberá incluir, además, el plan de seguridad y salud.

5.1.6.5. Libro de incidencias

Con fines de control y seguimiento del plan de seguridad y salud, en cada centro de trabajo existirá un libro de incidencias que constará de hojas por duplicado, habilitado a tal efecto.

Será facilitado por el colegio profesional que vise el acta de aprobación del plan o la oficina de supervisión de proyectos u órgano equivalente cuando se trate de obras de las administraciones públicas.

El libro de incidencias deberá mantenerse siempre en la obra, en poder del Coordinador de Seguridad y Salud durante la ejecución de la obra, teniendo acceso la Dirección Facultativa de la obra, los contratistas y subcontratistas y los trabajadores autónomos, así como las personas u órganos con responsabilidades en materia de prevención en las empresas intervinientes en la obra, los representantes de los trabajadores y los técnicos de los órganos especializados en materia de seguridad y salud en el trabajo de las administraciones públicas competentes, quienes podrán hacer anotaciones en el mismo.

El Coordinador de Seguridad y Salud durante la ejecución de la obra, deberá notificar al contratista afectado y a los representantes de los trabajadores de éste, sobre las anotaciones efectuadas en el libro de incidencias.

Cuando las anotaciones se refieran a cualquier incumplimiento de las advertencias u observaciones anteriores, se remitirá una copia a la Inspección de Trabajo y Seguridad Social en el plazo de veinticuatro horas. En todo caso, deberá especificarse si la anotación se trata de una nueva observación o supone una reiteración de una advertencia u observación anterior.

5.1.6.6. Libro de órdenes

En la obra existirá un libro de órdenes y asistencias, en el que la Dirección Facultativa reseñará las incidencias, órdenes y asistencias que se produzcan en el desarrollo de la obra.

Las anotaciones así expuestas tienen rango de órdenes o comentarios necesarios de ejecución de obra y, en consecuencia, serán respetadas por el contratista de la obra.

5.1.6.7. Libro de subcontratación

El contratista deberá disponer de un libro de subcontratación, que permanecerá en todo momento en la obra, reflejando por orden cronológico desde el comienzo de los trabajos, todas y cada una de las subcontrataciones realizadas en una determinada obra con empresas subcontratistas y trabajadores autónomos.

Al libro de subcontratación tendrán acceso el promotor, la Dirección Facultativa, el Coordinador de Seguridad y Salud en fase de ejecución de la obra, las empresas y trabajadores autónomos intervinientes en la obra, los técnicos de prevención, los delegados de prevención, la autoridad laboral y los representantes de los trabajadores de las diferentes empresas que intervengan en la ejecución de la obra.

5.1.7. Disposiciones Económicas

El marco de relaciones económicas para el abono y recepción de la obra, se fija en los presupuestos del proyecto o en el correspondiente contrato de obra entre el promotor y el contratista, debiendo contener al menos los puntos siguientes:

- Presupuesto de material.
- Presupuesto de personal.
- Presupuesto de ejecución material (PEM).
- Presupuesto total (PT).

5.2. Pliego de condiciones técnicas particulares

5.2.1. Medios de protección colectiva

Los medios de protección colectiva se colocarán según las especificaciones del plan de seguridad y salud antes de iniciar el trabajo en el que se requieran, no suponiendo un riesgo en sí mismos.

Se repondrán siempre que estén deteriorados, al final del periodo de su vida útil, después de estar sometidos a solicitaciones límite, o cuando sus tolerancias sean superiores a las admitidas o aconsejadas por el fabricante.

El mantenimiento será vigilado de forma periódica (cada semana) por el Delegado de Prevención.

5.2.2. Medios de protección individual

Dispondrán de marcado CE, que llevarán inscrito en el propio equipo, en el embalaje y en el folleto informativo.

Serán ergonómicos y no causarán molestias innecesarias. Nunca supondrán un riesgo en sí mismos, ni perderán su seguridad de forma involuntaria.

El fabricante los suministrará junto con un folleto informativo en el que aparecerán las instrucciones de uso y mantenimiento, nombre y dirección del fabricante, grado o clase de protección, accesorios que pueda llevar y características de las piezas de repuesto, límite de uso, plazo de vida útil y controles a los que se ha sometido. Estará redactado de forma comprensible y, en el caso de equipos de importación, traducidos a la lengua oficial.

Serán suministrados gratuitamente por el empresario y se reemplazarán siempre que estén deteriorados, al final del periodo de su vida útil o después de estar sometidos a solicitaciones límite.

Se utilizarán de forma personal y para los usos previstos por el fabricante, supervisando el mantenimiento el Delegado de Prevención.

5.2.3. Instalaciones provisionales de salud y confort

Los locales destinados a instalaciones provisionales de salud y confort tendrán una temperatura, iluminación, ventilación y condiciones de humedad adecuadas para su uso. Los revestimientos de los suelos, paredes y techos serán continuos, lisos e impermeables, acabados preferentemente con colores claros y con material que permita la limpieza con desinfectantes o antisépticos.

El contratista mantendrá las instalaciones en perfectas condiciones sanitarias (limpieza diaria), estarán provistas de agua corriente fría y caliente y dotadas de los complementos necesarios para higiene personal, tales como jabón, toallas y recipientes de desechos.

5.2.3.1. Vestuarios

Serán de fácil acceso, estarán próximos al área de trabajo y tendrán asientos y taquillas independientes bajo llave, con espacio suficiente para guardar la ropa y el calzado.

Se dispondrá una superficie mínima de 2 m² por cada trabajador destinada a vestuario, con una altura mínima de 2,30 m.

Cuando no se disponga de vestuarios, se habilitará una zona para dejar la ropa y los objetos personales bajo llave.

5.2.3.2. Aseos y duchas

Estarán junto a los vestuarios y dispondrán de instalación de agua fría y caliente, ubicando al menos una cuarta parte de los grifos en cabinas individuales con puerta con cierre interior.

Las cabinas tendrán una superficie mínima de 2 m² y una altura mínima de 2,30 m.

La dotación mínima prevista para los aseos será de:

- 1 ducha por cada 10 trabajadores o fracción que trabajen en la misma jornada
- 1 retrete por cada 25 hombres o fracción y 1 por cada 15 mujeres o fracción
- 1 lavabo por cada retrete
- 1 urinario por cada 25 hombres o fracción
- 1 secamanos de celulosa o eléctrico por cada lavabo
- 1 jabonera dosificadora por cada lavabo
- 1 recipiente para recogida de celulosa sanitaria
- 1 portarrollos con papel higiénico por cada inodoro

5.2.3.3. Retretes

Serán de fácil acceso y estarán próximos al área de trabajo. Se ubicarán preferentemente en cabinas de dimensiones mínimas 1,2x1,0 m con altura de 2,30 m, sin visibilidad desde el exterior y provistas de percha y puerta con cierre interior.

Dispondrán de ventilación al exterior, pudiendo no tener techo siempre que comuniquen con aseos o pasillos con ventilación exterior, evitando cualquier comunicación con comedores, cocinas, dormitorios o vestuarios.

Tendrán descarga automática de agua corriente y en el caso de que no puedan conectarse a la red de alcantarillado se dispondrá de letrinas sanitarias o fosas sépticas.

5.2.3.4. Comedor y cocina

Los locales destinados a comedor y cocina estarán equipados con mesas, sillas de material lavable y vajilla, y dispondrán de calefacción en invierno. Quedarán separados de las áreas de trabajo y de cualquier fuente de contaminación ambiental.

En el caso de que los trabajadores lleven su propia comida, dispondrán de calentaplatos, prohibiéndose fuera de los lugares previstos la preparación de la comida mediante fuego, brasas o barbacoas.

La superficie destinada a la zona de comedor y cocina será como mínimo de 2 m² por cada operario que utilice dicha instalación.

5.3. Materiales de construcción y equipos a instalar.

El proyecto se debe realizar mediante materiales de construcción típicos de una obra en caso de cimentar, etc. No obstante, la construcción del embalse (1) y (2), así como las conducciones que componen el sistema de captación, ETAP, EDAR y distribución a regadío, deben componerse de los materiales indicados en la memoria del proyecto o *Anexo F: Equipos y sus características*. Del mismo modo, los equipos a instalar nombrados en la memoria del proyecto deben corresponderse a los mencionados en dicha memoria o *Anexo F*. En caso de no ser mencionados en la memoria, debido a que su diseño queda fuera del proyecto, deben ser equipos que cumplan con las características y requisitos mencionados en la memoria.

6. Mediciones.

6.1. Captación.

6.1.1. Conducciones.

6.1.2. Embalses.

6.1.3. Equipos.

6.2. ETAP.

6.2.1. Conducciones.

6.2.2. Depósitos.

6.2.3. Equipos.

6.3. EDAR.

6.3.1. Conducciones.

6.3.2. Depósitos.

6.3.3. Equipos.

6.4. Distribución a regadío.

6.4.1. Conducciones.

6.1. Captación.

6.1.1. Conducciones.

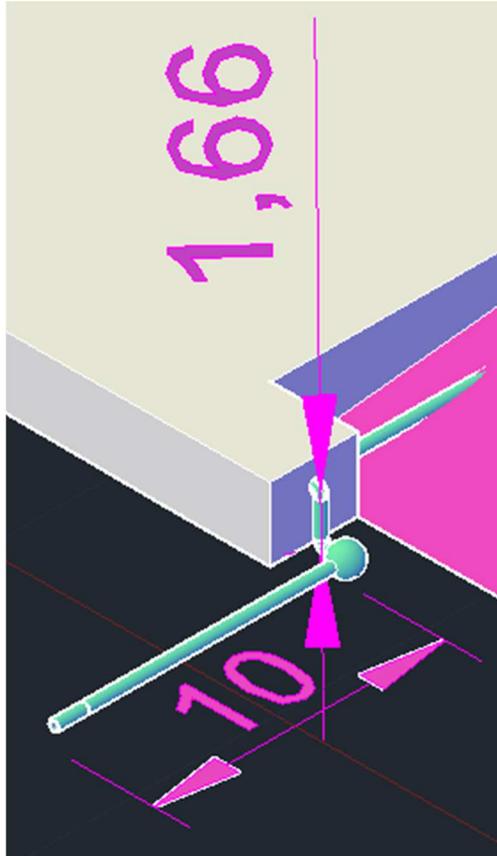


Figura 6.1.1.1: Conducciones de la captación 1.

Captación del Barranc de la Font hasta el embalse (1)	
Material de construcción	Cantidad
Tubería de PP (D = 0.154 m)	12 metros
Codos 90° St de PP (D = 0.154 m)	2

Tabla 6.1.1.1: Materiales para construir la captación 1.

6.1.1.2. Captación y elevación a embalse (2).

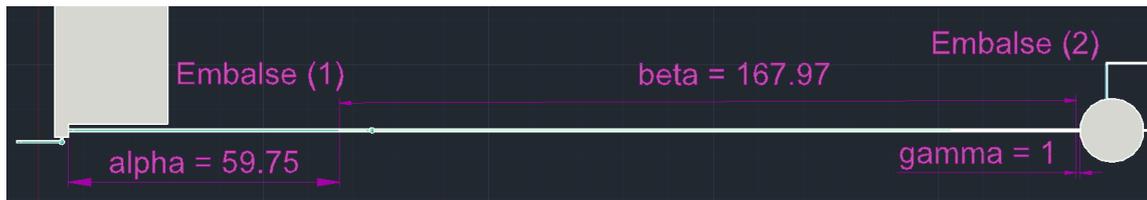


Figura 6.1.1.2: Conducciones de la captación 2.

Captación de embalse (1) a embalse (2)	
Material de construcción	Cantidad
Tubería de PP (D = 0.154 m)	229 metros
Codos 161° de PP (D = 0.154 m)	2
Válvulas de compuerta	1

Tabla 6.1.1.2: Materiales para construir la captación al embalse (2).

6.1.2. Embalses.

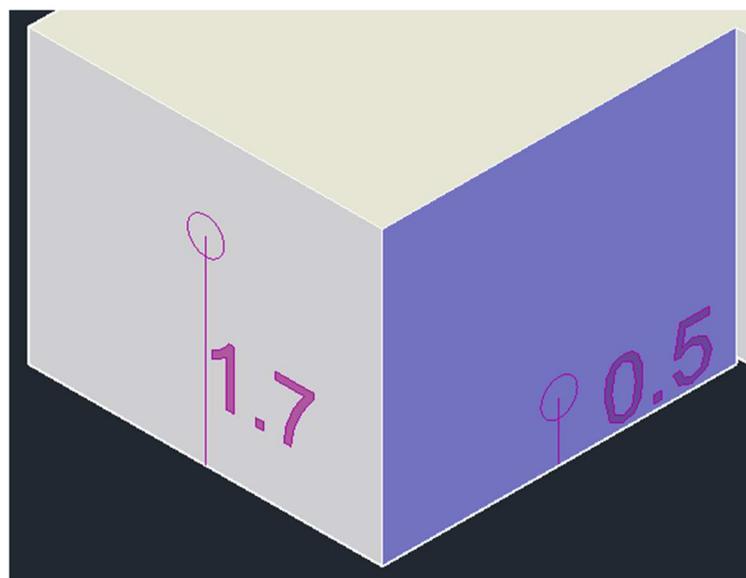


Figura 6.1.2.1.: Altura de entrada y salida del embalse (1).

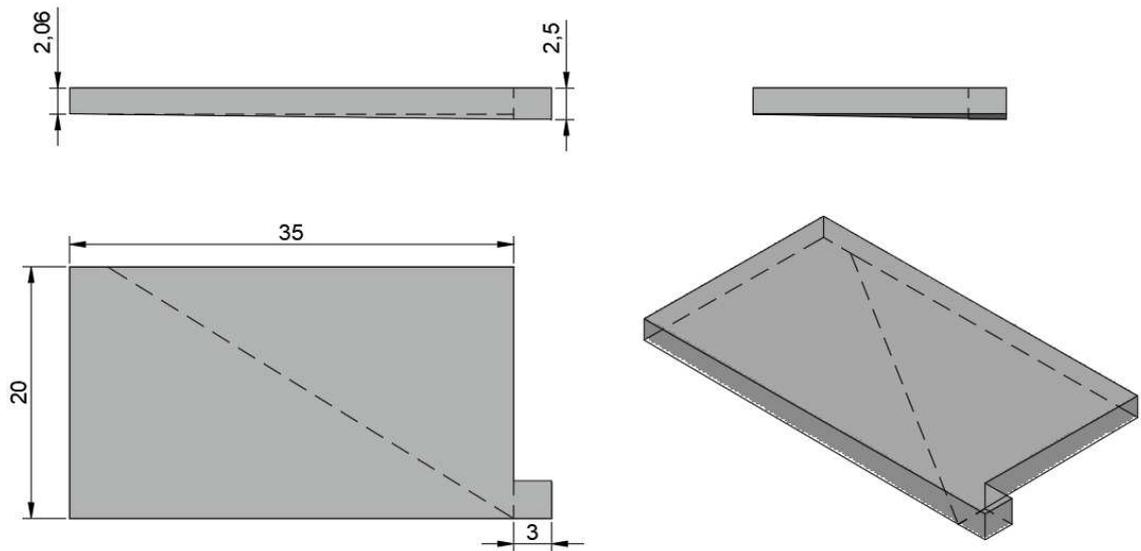


Figura 6.1.2.2: Medidas del embalse (1).

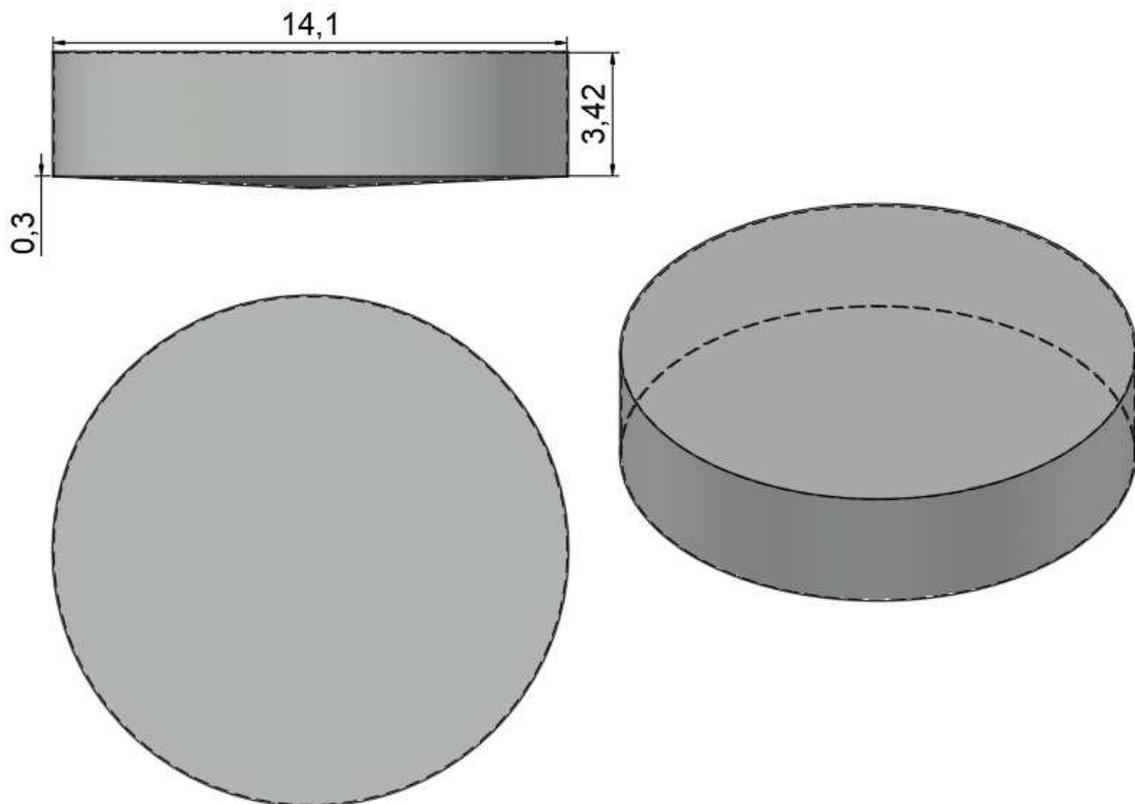


Figura 6.1.2.3: Medidas del embalse (2).

Embalses de la captación		
Material de construcción	Cantidad	V (m³)
Embalse (1) de hormigón	1 embalse	1650
Embalse (2) de acero galvanizado	1 embalse	550

Tabla 6.1.2: Materiales para construir los embalses de la captación.

6.1.3. Equipos para la captación.

La captación requiere de bombas hidráulicas en paralelo según la cantidad de campos de regadío que se adquieran. Las bombas elegidas se encuentran en el *Anexo F: Equipos y sus características*.

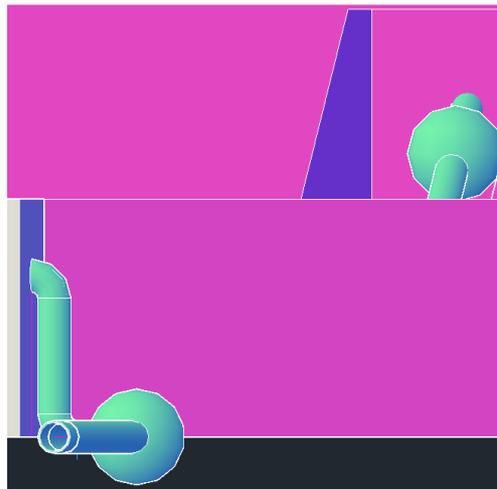


Figura 6.1.3.1: Representación de la localización de las bombas hidráulicas.

N.º de bombas	Q₀' (m³/h)	Q₀ (m³/h)	N.º de regadíos	N.º Paneles
3	14.54	7.27	1 regadío	13
9	50.134	25.067	5 regadíos	38

Tabla 6.1.3: N.º de bombas hidráulicas FC30-2A según caudal.

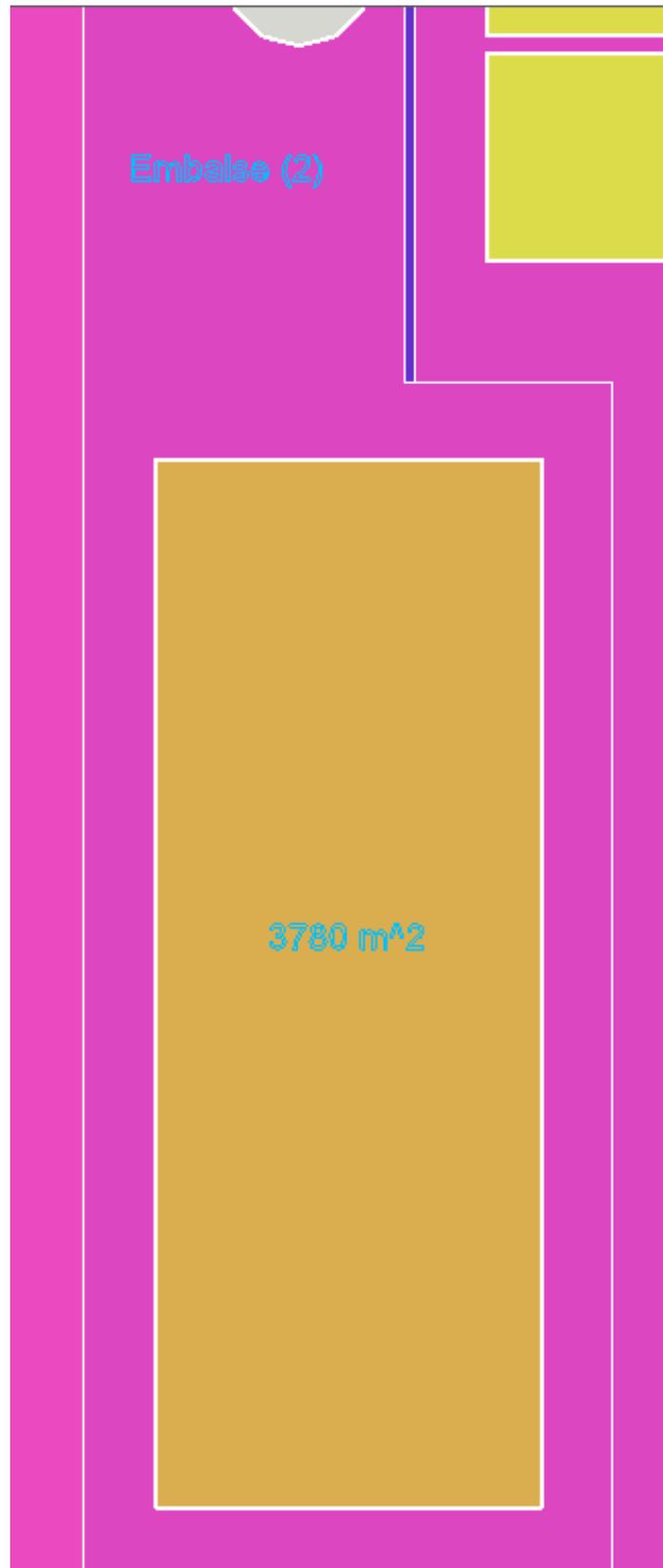


Figura 6.1.3.2: Terreno de instalación de placas fotovoltaicas.

6.2. ETAP.

6.2.1. Conducciones.

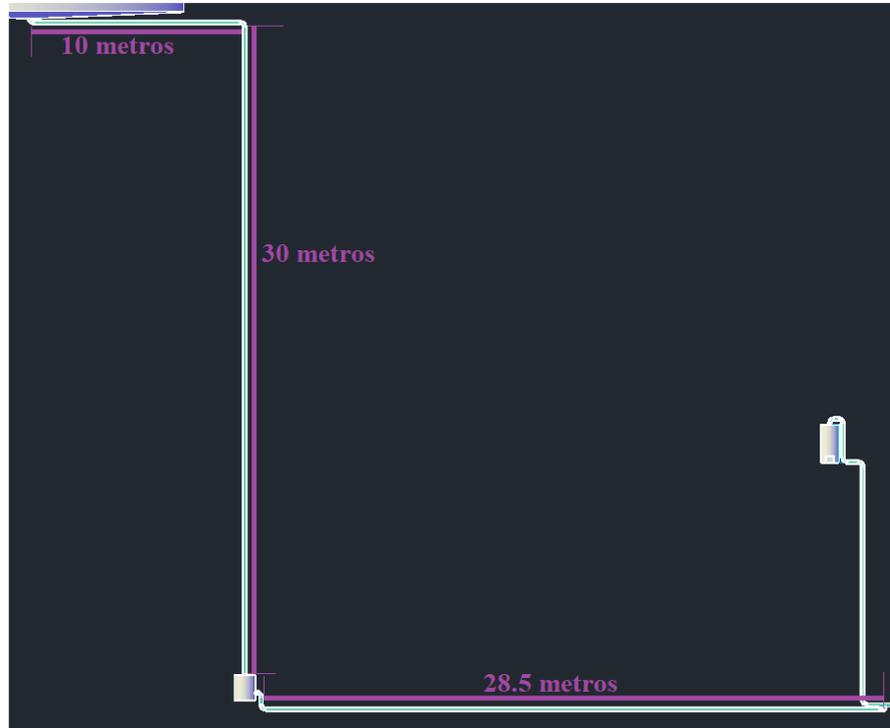


Figura 6.2.1.1: Longitudes de la tubería de ETAP parte 1.

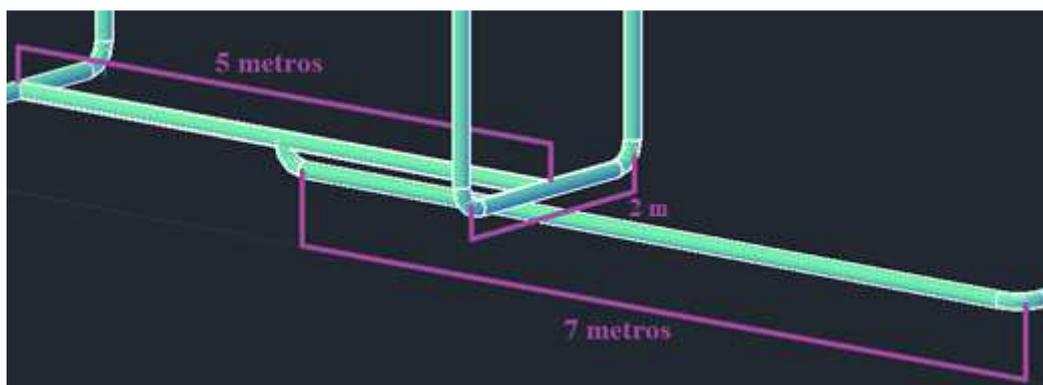


Figura 6.2.1.2: Longitudes de la tubería de ETAP parte 2.

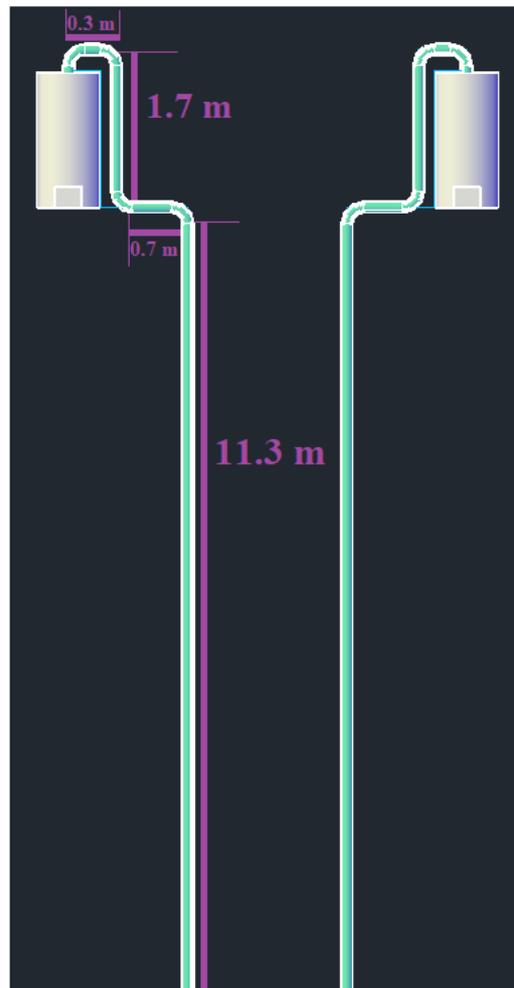


Figura 6.2.1.3: Longitudes de la tubería de ETAP parte 3.

Materiales para la ETAP	
Material de construcción	Cantidad
Tubería de PVC (D = 5.25 cm)	145 metros
Codos 90° St de PVC (D = 5.25 cm)	26
T liso de PVC (D = 5.25 cm)	2
Válvula de compuerta PVC	1

Tabla 6.2.1: Medidas y materiales para ETAP.

6.2.2. Depósitos.



Figura 6.2.2: Imagen del depósito.

Depósitos de las casas		
Material de construcción	Cantidad	Empresa
Depósito ($V = 0.8 \text{ m}^3$) de HDPE	4	Europlast

Tabla 6.2.2: Depósito de agua en las viviendas.

6.2.3. Equipos.

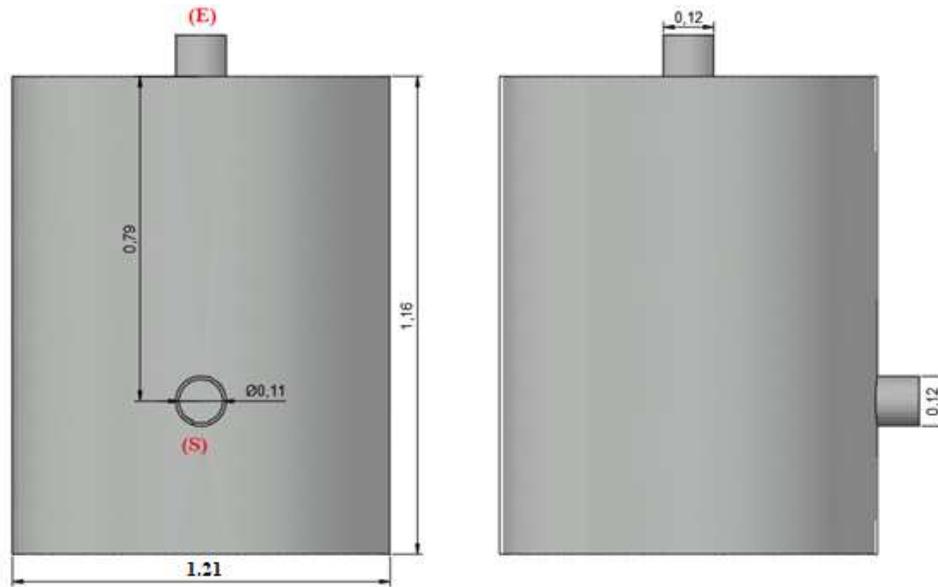


Figura 6.2.3.1: Boceto de las dimensiones del filtro de arena.



Figura 6.2.3.2: Boceto de las dimensiones del filtro de arena.

Filtro de arena y Ozonizador		
Equipo	Cantidad	Empresa
Filtro de arena	1	Reager
Ozonizador	1	CosemarOzono

Tabla 6.2.3: Filtro de arena de la ETAP.

6.3. EDAR.

6.3.1. Conducciones.

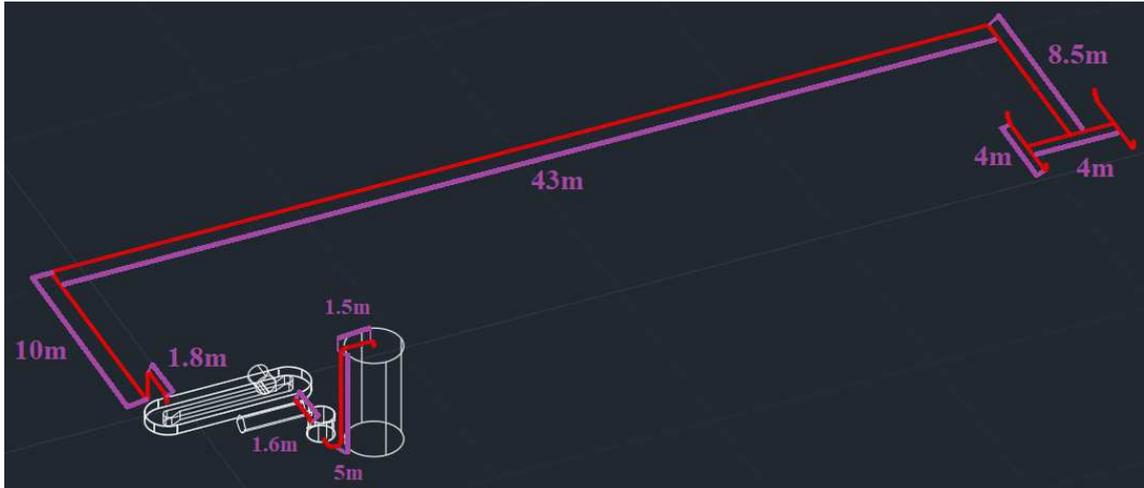


Figura 6.3.1: Medidas de conducciones de la EDAR.

Materiales para la EDAR	
Material de construcción	Cantidad
Tubería de PVC (D = 5.25 cm)	86 metros
Codos 90° St de PVC (D = 5.25 cm)	13
T liso de PVC (D = 5.25 cm)	3

Tabla 6.3.1: Medidas y materiales para ETAP.

6.3.2. Depósitos.

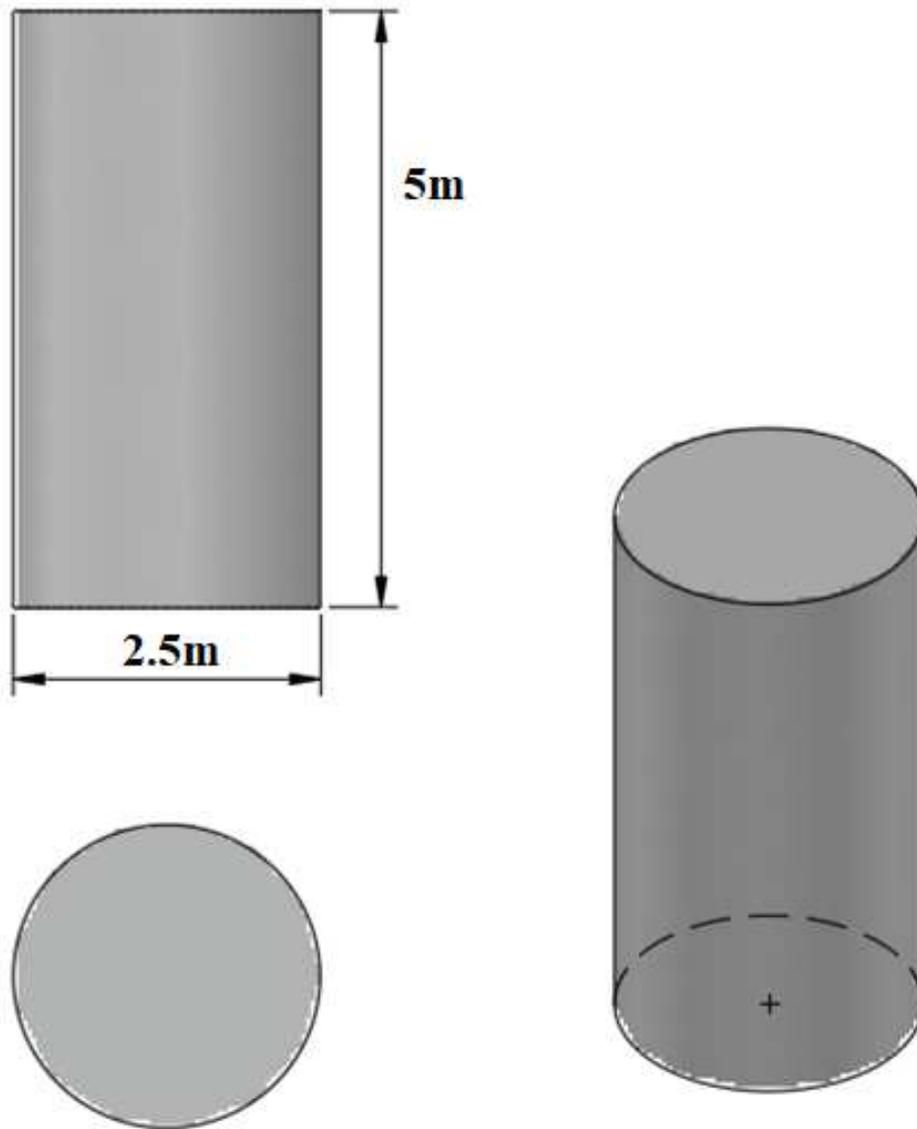


Figura 6.3.2: Boceto del depósito de la EDAR.

Depósito de la EDAR		
Material de construcción	Cantidad	Empresa
HDPE	1	Reager

Tabla 6.3.2: Material del depósito de la EDAR.

6.3.3. Equipos.

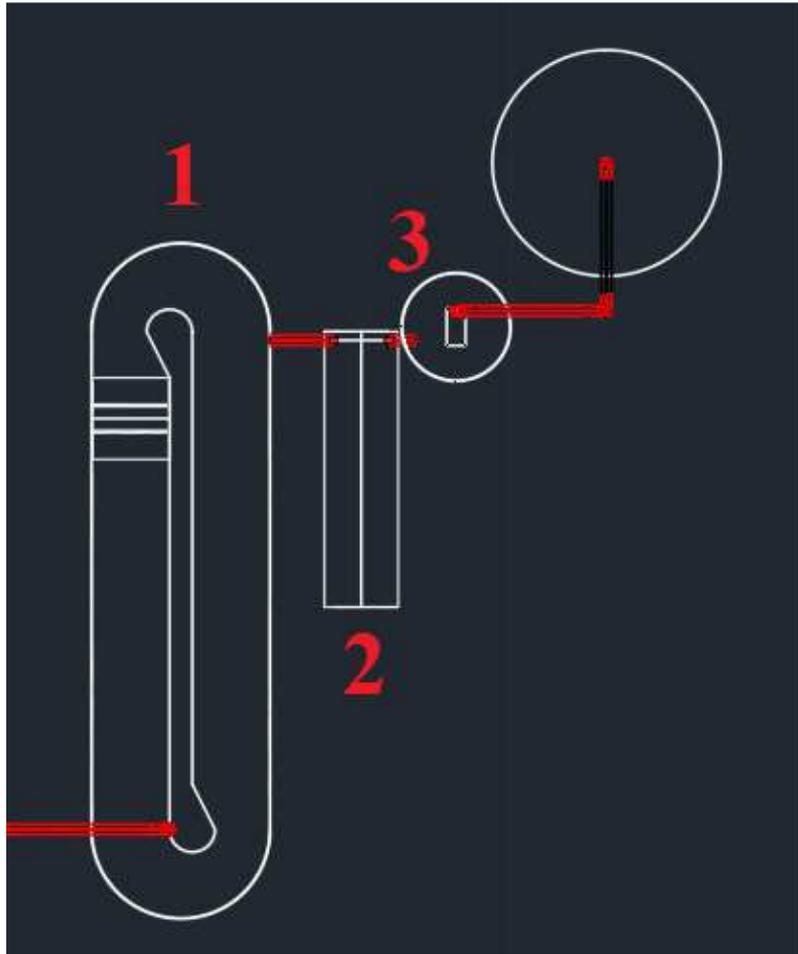


Figura 6.3.3.1: Equipos de la EDAR numerados.

1) Tanque de cultivo.

Tanque de cultivo HRAP de Spirulina		
Material de construcción	Cantidad	Empresa
HDPE	1	Reager

Tabla 6.3.3.1: Tanque de cultivo HRAP de Spirulina.

Reactivos del tanque de cultivo HRAP.

En la zona de borde naranja, al lado del HRAP, es donde es más conveniente colocar los reactivos como el amoniaco o en caso de aumentar el tamaño del proyecto, la urea diluida.

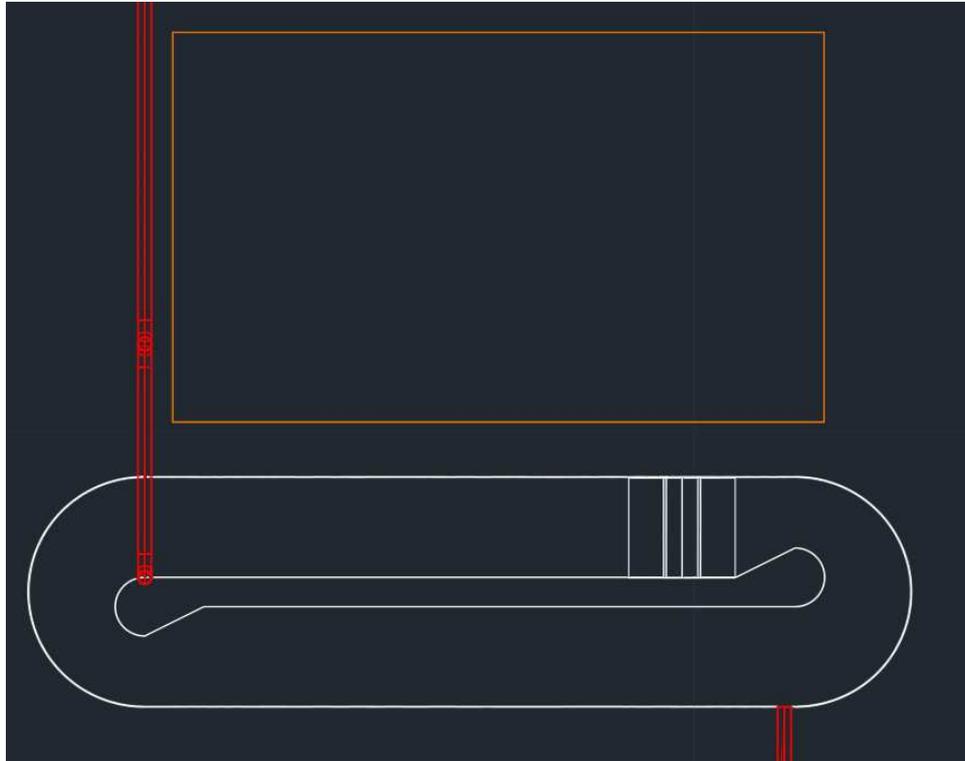


Figura 6.3.3.2: Zona de reactivos.

Reactivo	Empresa
Solución amoniacal	<i>Fertiberia</i>
Urea diluida	<i>Fertiberia</i>
CO ₂ (gas)	<i>Gas Messer</i>

Tabla 6.3.3.2: Reactivos usados en el tanque de cultivo HRAP.

2) Intercambiador.

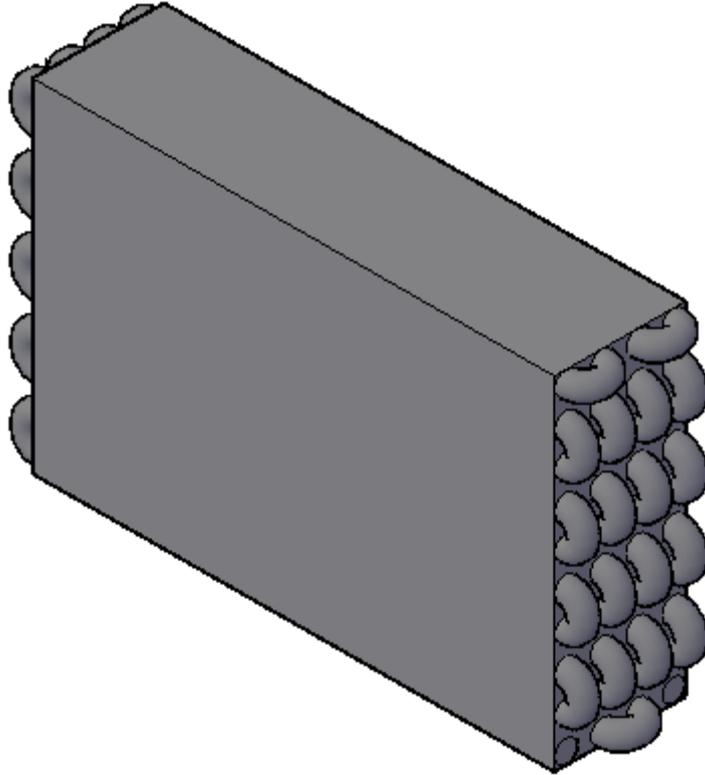


Figura 6.3.3.3: Boceto de intercambiador de calor de doble tubo.

En la zona naranja se puede realizar la instalación de colectores y resistencias calefactoras para calentar el aceite del intercambiador.

Intercambiador de calor		
Material de construcción	Cantidad	Empresa
Intercambiador de acero de baja aleación AISI-304	1	SagaFluid
Resistencias de Níquel-Cromo	2	Repuestock
Colectores	1	TeknoSolar

Tabla 6.3.3.3: Datos del intercambiador de calor.

3) Reactor con módulo de membrana.

En este caso se divide en dos partes, un depósito de HDPE y dentro de este depósito, el módulo de membrana de PES.

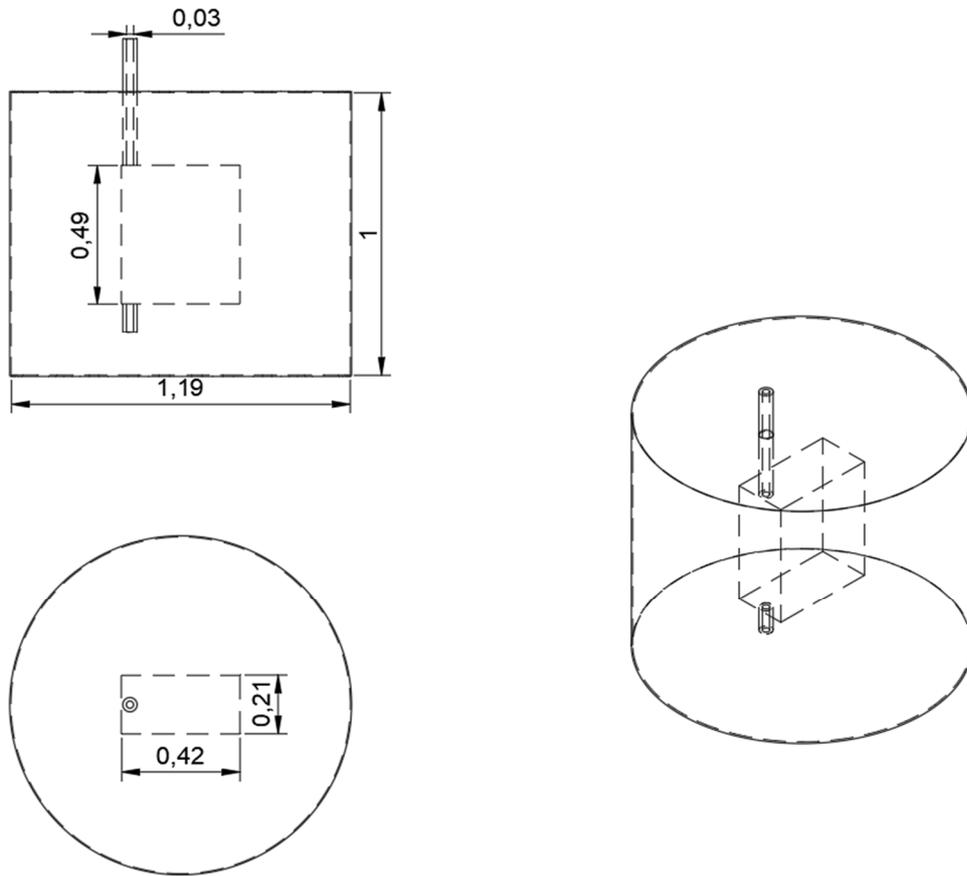


Figura 6.3.3.5: Boceto de reactor con módulo de membrana.

Reactor con membranas		
Material de construcción	Cantidad	Empresa
Depósito: HDPE	1	BioAzul
Módulo de membrana: PES	1	

Tabla 6.3.3.4: Datos del intercambiador de calor.

6.4. Distribución a regadío.

6.4.1. Conducciones.

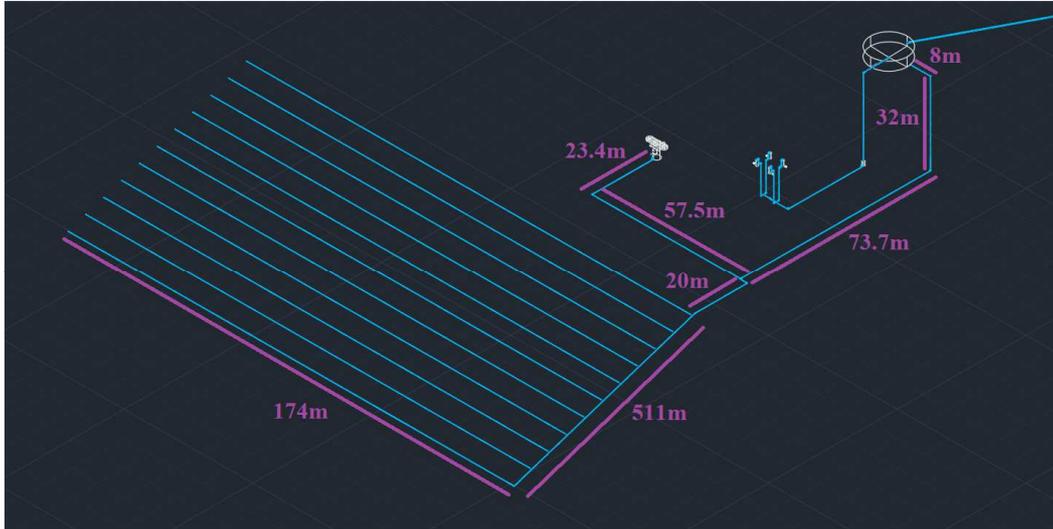


Figura 6.4.1: Medidas de la distribución al regadío.

Materiales para la distribución	
Material de construcción	Cantidad
Tubería de PVC (D = 5.25 cm)	221 metros
Codos 90° St de PVC (D = 5.25 cm)	4
T liso de PVC (D = 5.25 cm)	1
Válvulas de compuerta	2
Tubería de PP (D = 3.5 cm)	2450 metros
Codos 90° St de PP (D = 3.5 cm)	1
T liso de PP (D = 3.5 cm)	10
Tapones o bridas	11

Tabla 6.4.1: Medidas y materiales para la distribución.

6.5. Mediciones totales del proyecto.

Unidades totales del proyecto			
Material	Cantidad	Material	Cantidad
Conducciones PP (D = 15.41 cm)	241 m	Codos 90° St PP (D = 15.41 cm)	2
Conducciones PP (D = 3.5 cm)	2450 m	Codos 90° St PP (D = 3.5 cm)	1
Conducciones PVC	452 m	Codos 90° St PVC	43
Embalse (1)	1	Codos 161° PP	2
Embalse (2)	1	Válvulas de compuerta PVC	3
Depósitos de casas	4	Válvulas de compuerta PP	1
Depósito EDAR	1	Te liso PVC	6
Bombas hidráulicas	3	Te liso PP	10
Filtro de arena	1	Bombonas de CO ₂	5
Ozonizadores	4	Solución amoniacal	1
Tanque de cultivo HRAP	1	Spirulina	1kg
Intercambiador de calor	1	Proteasas	500 gr
Reactor con membranas	1	Resistencias calefactoras	2
Paneles solares	13	Colectores solares	1

Tabla 6.5: Unidades de material totales.

7. Presupuesto.

7.1. Presupuesto de material.

7.2. Presupuesto de personal.

7.3. Presupuesto de ejecución material (PEM).

7.4. Presupuesto total (PT).

7.1. Presupuesto de material.

En este apartado se recogen los costes de todos los materiales para la construcción.

Material	Coste	Material	Coste
Conducciones PP (D = 15.41 cm)	965.11 €	Codos 90° St PP (D = 15.41 cm)	1 €
Conducciones PP (D = 3.5 cm)	937.43 €	Codos 90° St PP (D = 3.5 cm)	0.5 €
Conducciones PVC	944.64 €	Codos 90° St PVC	21.5 €
Embalse (1)	7071.43 €	Codos 161° PP	5 €
Embalse (2)	4779.74 €	Válvulas de compuerta PVC	3.6 €
Depósitos de casas	2200 €	Válvulas de compuerta PP	1.2 €
Depósito EDAR	4975 €	Te liso PVC	4.8 €
Bombas hidráulicas	660 €	Te liso PP	8 €
Filtro de arena	1852 €	Bombonas de CO ₂	573.6 €
Ozonizadores	654 €	Solución amoniacal	230 €
Tanque de cultivo HRAP	12 862.2 €	Spirulina	40 €
Intercambiador de calor	29466 €	Proteasas	210 €
Reactor con membranas	1381.69 €	Resistencias calefactoras	420 €
Paneles solares	4160 €	Colectores solares	240 €
Precio total de material = 74668.44 €			

Tabla 7.1: Presupuesto del material.

7.2. Presupuesto de personal.

Dado que se estima un año en la realización del proyecto, se calculan los salarios de cada personal o mano de obra al cabo de dicho tiempo, salvo el electricista que corresponden a 3 meses de trabajo.

Presupuesto de personal		
Personal	Número	Sueldo (€/mes)
Obrero	7	1000
Jefe de obra	1	1500
Ingeniero	1	3000
Electricista	3	1200

Tabla 7.2: Presupuesto de personal.

7.3. Presupuesto de ejecución material (PEM).

El presupuesto de ejecución material es la suma de costes de la mano de obra, el alquiler de la maquinaria y los materiales usados para realizar las operaciones necesarias para la elaboración del proyecto. Se ha decidido desglosar el proyecto y calcular el presupuesto de ejecución material por fases de la obra previstas en el diagrama de Gantt del apartado 2.10.

Las fases del proyecto, como se observa en el diagrama de Gantt, en ciertas épocas se solapan. Los cálculos del presupuesto están basados en la duración estimada de cada fase de la obra por separado. Con esto se consigue dar cierta holgura al proyecto por si se retrasa alguna de las fases.

Acondicionamiento del terreno			
Material	Maquinaria	Mano de obra	Tiempo
-	Señalización	Obreros	1.5 meses
-	Removedor de tierra	Jefe de obra	Precio
-	-	Ingeniero	26750 €

Tabla 7.3.1: PEM del acondicionamiento de tierra.

Excavación			
Material	Maquinaria	Mano de obra	Tiempo
-	Excavadora	Obreros	2.5 meses
-	Camión de transporte	Jefe de obra	Precio
-	Zanjadora	Ingeniero	97587.25 €

Tabla 7.3.2: PEM de la excavación.

Cimentación			
Material	Maquinaria	Mano de obra	Tiempo
Embalse (1)	Camión hormigonera	Obreros	2 meses
-	Apisonadora	Jefe de obra	Precio
-	-	Ingeniero	104658.68 €

Tabla 7.3.3: PEM de la cimentación.

Estructuras			
Material	Maquinaria	Mano de obra	Tiempo
HRAP	-	Obreros	6 meses
Embalse (2)	-	Jefe de obra	Precio
Intercambiador de calor	-	Ingeniero	119000.73 €
Conducciones PP (D = 15.41cm)	-	-	-
Conducciones PP (D = 3.5cm)	-	-	-
Conducciones PVC	-	-	-
Codos 90° St PP (D = 15.41cm)	-	-	-
Codos 90° St PP (D = 3.5cm)	-	-	-
Codos 90° St PVC	-	-	-
Codos 161° PP	-	-	-
Válvulas de compuerta PVC	-	-	-
Válvulas de compuerta PP	-	-	-
Te liso PVC	-	-	-
Te liso PP	-	-	-

Tabla 7.3.4: PEM de las estructuras.

Instalación			
Material	Maquinaria	Mano de obra	Tiempo
Bombas hidráulicas	-	Obreros	3 meses
Placas fotovoltaicas	-	Jefe de obra	Precio
Filtro de arena	-	Ingeniero	92362.29 €
Resistencias calefactoras	-	Electricistas	-
Colectores solares	-	-	-
Ozonizadores	-	-	-
Depósitos de las casas	-	-	-
Depósito EDAR	-	-	-
Reactor con membranas	-	-	-
Bombonas CO ₂	-	-	-
Solución amoniacal	-	-	-
Spirulina	-	-	-
Proteasas	-	-	-

Tabla 7.3.5: PEM de la instalación.

Fase de la obra	PEM
Acondicionamiento del terreno	26750
Excavación	97587.25 €
Cimentación	104658.68 €
Estructuras	119000.73 €
Instalación	92362.29 €
PEM del proyecto	440358.95 €

Tabla 7.3.6: PEM del proyecto.

7.4. Presupuesto total (PT).

Se calcula el presupuesto de contrata (PC) teniendo en cuenta un 13% en los gastos generales de la mano de obra y un 6% en beneficio industrial a obtener de la obra.

Presupuesto de contrata (PC)	
Presupuesto de ejecución material	440358.95 €
13% gastos generales	57246.66 €
6% Beneficio industrial	26421.54 €
PC = 524027.15 €	

Tabla 7.4: Presupuesto de contrata (PC).

Se recogen los costes del proyecto junto a los impuestos y licencias dando como resultado el presupuesto final.

Presupuesto total (PT)	
PC	524027.15 €
IVA (21% PC)	110045.7 €
Honorarios Seguridad y Salud (3% PEM)	13210.77 €
IVA (21% Honorarios Seguridad y Salud)	110045.7 €
Licencia de obra (4.5% PC)	23581.22 €
Presupuesto total (PT) = 780910.54 €	

Tabla 7.4: Presupuesto total del proyecto.

El proyecto tendría un presupuesto total correspondiente a 780910.54 €, en el apartado 2.11 de la memoria, se realizan los correspondientes cálculos respecto la viabilidad económica del proyecto tomando como valor de la inversión inicial del proyecto el presupuesto total.